



Pièce 7

ÉTUDE D'IMPACT

DÉCEMBRE 2023

Dossier de démantèlement partiel de l'INB 22 - Installation PEGASE



SOMMAIRE

INTRODUCTION	10
1. Présentation générale de l'étude d'impact de l'installation PEGASE	11
1.1- Objet	11
1.2- Réponse à la réglementation	11
1.3- Zones d'étude	12
2. Principe d'évaluation des impacts du projet	14
2.1- Définition des impacts d'un projet industriel	14
2.1.1- Définitions.....	14
2.1.2- Échelles de cotation	15
2.2- Évaluation des impacts résiduels du démantèlement de l'installation PEGASE	16
Partie 1 : État initial du site et de l'environnement	17
1. Introduction	18
2. Le site de Cadarache	19
2.1- Situation géographique.....	19
2.2- Présentation des entités présentes sur le site de Cadarache	23
2.2.1- CEA	23
2.2.2- ITER Organization	24
2.2.3- Agence ITER France	25
2.2.4- IRSN.....	25
2.2.5- INTERCONTROLE.....	26
2.2.6- TechnicAtome.....	26
2.2.7- COGESTAR 3	26
2.3- Activités du site de Cadarache	27
2.3.1- Le Centre de Cadarache	27
2.3.2- ITER	28
3. Environnement atmosphérique	30
3.1- Météorologie	30
3.1.1- Introduction	30
3.1.2- Températures	31
3.1.3- Précipitations	32
3.1.4- Humidité relative (à 2 m du sol)	34
3.1.5- Vents	35
3.2- Qualité de l'air.....	41
3.2.1- Caractérisation de la qualité chimique de l'air	41
3.2.2- Caractérisation de la qualité radiologique de l'air	49
3.2.3- Mesures d'exposition externe (irradiation)	57
4. Environnement terrestre	64
4.1- Sols	64
4.1.1- Caractéristiques radiologiques et chimiques des sols autour de Cadarache.....	64
4.1.2- Caractéristiques radiologiques et chimiques des sols autour de l'installation PEGASE	69
4.2- Produits de la chaîne alimentaire	74
4.2.1- Flore	74
4.2.2- Légumes.....	79
4.2.3- Lait de chèvre	83
5. Environnement aquatique	85
5.1- Eaux souterraines.....	85
5.1.1- Contexte géologique.....	85
5.1.2- Contexte hydrogéologique.....	94

5.1.3-	Qualité chimique des eaux souterraines	102
5.1.4-	Qualité radiologique des eaux souterraines	106
5.2-	Eaux de surface	110
5.2.1-	Hydrographie et hydrologie	110
5.2.2-	Qualité physicochimique et biologique des eaux et des milieux de la Durance.....	121
5.2.3-	Qualité physicochimique des eaux du Ravin de la Bête.....	134
5.2.4-	Qualité radiologique des eaux de surface	139
6.	Environnement écologique	150
6.1-	Introduction.....	150
6.2-	Méthodologie	150
6.2.1-	Étude de l'environnement naturel.....	150
6.2.2-	Évaluation des enjeux écologiques	152
6.3-	Contexte écologique	154
6.3.1-	Zonages de protection et de gestion.....	155
6.3.2-	Zonages d'inventaire	160
6.3.3-	Sur le Centre de Cadarache.....	161
6.4-	Enjeux écologiques	164
6.4.1-	Habitats naturels	165
6.4.2-	Flore.....	166
6.4.3-	Amphibiens	166
6.4.4-	Reptiles	167
6.4.5-	Entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée.....	169
6.4.6-	Mammifères (hors chiroptères).....	171
6.4.7-	Avifaune nicheuse.....	171
6.4.8-	Chiroptères.....	175
6.4.9-	Synthèse des enjeux du milieu naturel.....	177
6.4.10-	Analyse des continuités écologiques.....	177
7.	Environnement humain.....	179
7.1-	Démographie et urbanisation	179
7.2-	Urbanisme	181
7.2.1-	SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale).....	181
7.2.2-	Document d'urbanisme communal	185
7.2.3-	Maîtrise de l'urbanisme sur le Centre de Cadarache	185
7.3-	Occupation des sols et agriculture	186
7.3.1-	Végétation naturelle et environnement forestier.....	186
7.3.2-	Utilisation agricole des sols et élevage.....	188
7.3.3-	Organisation de la profession et labels	191
7.4-	Activités industrielles	193
7.5-	Activités de loisirs.....	195
7.6-	Zones de servitude.....	195
7.7-	Patrimoine culturel et historique	195
7.7.1-	Le domaine de Cadarache.....	196
7.7.2-	Les falaises de Saint-Eucher.....	198
7.7.3-	Le pont de Mirabeau et le défilé de Canteperdrix.....	198
7.7.4-	Chapelle de la Madeleine.....	200
7.8-	Paysages.....	200
7.9-	Environnement sonore	205
7.9.1-	Réglementation	205
7.9.2-	État des lieux.....	206
7.10-	Environnement lumineux.....	208
7.11-	Utilisation de l'énergie et des ressources naturelles.....	211
7.12-	Voies de communication	211
7.12.1-	Infrastructures routières	211

7.12.2-	Réseau ferroviaire	214
7.12.3-	Trafic fluvial	214
7.12.4-	Activités aériennes	214
7.13-	Contexte socio-économique	215
7.14-	Enjeux sur l'environnement humain de l'installation PEGASE	218
8.	Conclusions sur l'état initial du site et de l'environnement	219
8.1-	Synthèse des enjeux	219
8.2-	Évolution probable de l'environnement en l'absence du projet	221
Partie 2 : Présentation de l'installation		222
1.	Description du site de l'installation.....	223
2.	Description des activités.....	224
2.1-	L'installation CASCAD	224
2.2-	L'installation PEGASE	224
3.	Opérations de démantèlement	226
3.1-	Généralités	226
3.2-	Description des opérations	229
3.2.1-	Étape 1 : finalisation des OPDEM, diminution du terme source de l'installation	230
3.2.2-	Étape 2 : démontage des procédés et de leurs utilités ; consolidation de l'état radiologique du génie civil et des sols	231
3.2.3-	Étape 3 : assainissement et démantèlement de l'ensemble des utilités générales et installations techniques auxiliaires	231
3.2.4-	Étape 4 : assainissement des structures	231
3.2.5-	Étape 5 : remise en état des sols (si nécessaire)	232
Partie 3 : Analyse des effets directs et indirects, et des incidences résiduelles du projet de démantèlement		234
1.	Introduction	235
1.1-	Contenu en réponse à la réglementation	235
1.2-	Principes de l'analyse des incidences résiduelles de l'installation PEGASE	237
1.2.1-	Interactions avec l'environnement	237
1.2.2-	Valeurs maximales de rejets dans l'environnement utilisées pour les calculs d'impact	238
1.2.3-	Limites réglementaires de transferts et de rejets	239
2.	Incidences des rejets.....	243
2.1-	Introduction	243
2.2-	Incidences des rejets atmosphériques radiologiques	243
2.2.1-	Hypothèses retenues pour les calculs d'impact	243
2.2.2-	Composante radioactive des rejets atmosphériques retenus dans les calculs d'impact	246
2.2.3-	Résultats des calculs d'impact radiologique	253
2.3-	Incidences des rejets atmosphériques chimiques	258
2.3.1-	Caractéristiques des rejets atmosphériques	258
2.3.2-	Évaluation des incidences sur la santé humaine	261
2.3.3-	Évaluation des incidences sur l'environnement	262
2.3.4-	Étude de compatibilité du fonctionnement de l'installation avec le PRQA, le PPA, et le SRCAE	263
2.4-	Incidences des rejets d'effluents liquides radiologiques	264
2.4.1-	Hypothèses retenues pour les calculs d'impact	264
2.4.2-	Composante radioactive des rejets liquides retenus dans les calculs d'impact	266
2.4.3-	Résultats des calculs d'impact	272
2.5-	Incidences des rejets d'effluents liquides chimiques	275
2.5.1-	Quantification des rejets liquides chimiques retenus pour les calculs d'impact	275
2.5.2-	Mesures de limitation des rejets dans l'environnement	278
2.5.3-	Évaluation des risques environnementaux et sanitaires	278
2.5.4-	Étude de compatibilité avec le SDAGE Rhône-Méditerranée	289
2.6-	Synthèse des incidences des rejets atmosphériques et liquides	292
2.6.1-	Incidences des rejets radiologiques.....	292

2.6.2-	<i>Incidences des rejets chimiques</i>	293
2.7-	Utilisation de produits chimiques.....	293
3.	Incidences des rayonnements ionisants	295
3.1-	Rayonnements à l'intérieur de l'installation.....	295
3.2-	Rayonnements à l'extérieur de l'installation.....	297
4.	Incidences sur l'environnement naturel (écologie)	298
4.1-	Incidences du projet de démantèlement.....	298
4.1.1-	<i>Incidences et mesures sur les habitats naturels et la flore</i>	299
4.1.2-	<i>Incidences sur les amphibiens</i>	300
4.1.3-	<i>Incidences sur les reptiles</i>	301
4.1.4-	<i>Incidences sur l'entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée</i>	303
4.1.5-	<i>Incidences sur les mammifères (hors chiroptères)</i>	304
4.1.6-	<i>Incidences sur l'avifaune</i>	304
4.1.7-	<i>Incidences sur les chiroptères</i>	306
4.2-	Évaluation du cumul des incidences.....	308
4.3-	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000.....	310
4.3.1-	<i>Evaluation des incidences</i>	310
4.3.2-	<i>Synthèse des incidences</i>	313
5.	Incidences sur l'environnement physique	314
5.1-	Incidences sur le climat.....	314
5.1.1-	<i>Climat et changement climatique</i>	314
5.1.2-	<i>Estimation des émissions de gaz à effet de serre</i>	314
5.1.3-	<i>Mesures de limitation des émissions de gaz à effet de serre</i>	317
5.1.4-	<i>Évaluation des incidences résiduelles sur le climat</i>	317
5.1.5-	<i>Vulnérabilité au changement climatique</i>	319
5.2-	Incidences sur la ressource en eau.....	324
5.2.1-	<i>Incidences sur l'aspect quantitatif de la ressource en eau</i>	324
5.2.2-	<i>Incidences sur l'aspect qualitatif de la ressource en eau</i>	325
6.	Incidences sur l'environnement humain	326
6.1-	Incidences sur l'occupation des sols et l'urbanisme.....	326
6.2-	Incidences sur l'agriculture.....	326
6.3-	Incidences sur l'activité industrielle.....	326
6.4-	Incidences sur les paysages, le tourisme, les loisirs, les biens, le patrimoine culturel et l'archéologie.....	326
6.5-	Incidences sur la commodité du voisinage.....	326
6.6-	Incidences des déchets.....	327
6.6.1-	<i>Introduction</i>	327
6.6.2-	<i>Caractérisation et gestion des déchets radioactifs produits</i>	327
6.6.3-	<i>Caractérisation et gestion des déchets conventionnels produits</i>	332
6.6.4-	<i>Compatibilité avec les plans de gestion des déchets</i>	333
6.6.5-	<i>Mesures de limitation de la production de déchets</i>	337
6.6.6-	<i>Conclusions</i>	337
6.7-	Incidences sur les transports, les voies de communication.....	337
6.8-	Incidences sur l'utilisation de l'énergie et des ressources naturelles (matériaux).....	337
6.9-	Incidences socio-économiques.....	338
7.	Cumul des incidences du projet avec le site de Cadarache et les autres projets existants ou approuvés	339
8.	Aperçu des incidences négatives notables du projet résultant de sa vulnérabilité à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs	342
8.1-	Méthode d'analyse des risques.....	342
8.2-	Inventaire des risques.....	342
8.3-	Analyse des risques et dispositions prévues pour les maîtriser.....	343
8.4-	Conséquences potentielles des accidents pour l'environnement.....	344

8.5-	Moyens de secours et d'alerte de la population	344
9.	Synthèse des impacts résiduels du projet	346

Partie 4 : Déroulement de la séquence ERC « éviter, réduire, compenser »350

1.	Introduction	351
1.1-	Objectif	351
1.2-	Principe de recherche du projet de moindre impact : la séquence ERC : « éviter, réduire, compenser »	352
2.	Synthèse des sources possibles d'incidences du projet sur l'environnement ou la santé humaine	355
3.	Mesures d'évitement et de réduction	356
3.1-	Principes et mesures de management de l'environnement	356
3.1.1-	<i>Système de management de la qualité, de la sécurité et de l'environnement</i>	<i>356</i>
3.1.2-	<i>Protection de l'environnement</i>	<i>357</i>
3.1.3-	<i>Management de l'environnement</i>	<i>357</i>
3.2-	Mesures génériques appliquées à l'installation PEGASE	358
3.2.1-	<i>Mesures d'évitement de rejets directs d'effluents atmosphériques radioactifs liés au fonctionnement normal d'une INB en exploitation</i>	<i>359</i>
3.2.2-	<i>Mesures d'évitement de rejets directs d'effluents liquides radioactifs liés au fonctionnement normal d'une INB en exploitation</i>	<i>363</i>
3.2.3-	<i>Mesures d'évitement relatives à la production de déchets radioactifs</i>	<i>366</i>
3.2.4-	<i>Mesures d'évitement de l'extension de l'installation en démantèlement sur l'environnement local</i>	<i>366</i>
3.2.5-	<i>Mesures d'évitement relatives à la gestion incidentelle</i>	<i>367</i>
3.3-	Mesures additionnelles pour l'exploitation de l'installation PEGASE	367
3.3.1-	<i>Mesures de réduction de l'impact des rejets d'effluents atmosphériques radioactifs</i>	<i>368</i>
3.3.2-	<i>Mesures de réduction de l'impact des transferts d'effluents liquides radioactifs</i>	<i>369</i>
3.3.3-	<i>Mesures de réduction de l'emprise sur l'environnement local de l'installation</i>	<i>369</i>
3.4-	Synthèse des mesures d'évitement et de réduction	370
4.	Mesures de compensation	372
5.	Estimation du coût des dépenses correspondantes	373
6.	Contrôle et surveillance du bon fonctionnement de l'installation	374
6.1-	Surveillance radiologique	374
6.1.1-	<i>Surveillance du personnel</i>	<i>374</i>
6.1.2-	<i>Surveillance de la contamination atmosphérique dans les locaux</i>	<i>374</i>
6.2-	Surveillance des rejets atmosphériques	375
6.2.1-	<i>Rejets atmosphériques chimiques</i>	<i>375</i>
6.2.2-	<i>Surveillance des rejets atmosphériques radioactifs</i>	<i>375</i>
6.3-	Surveillance des effluents liquides	376
6.3.1-	<i>Eaux pluviales et eaux d'exhaure des systèmes de drainage</i>	<i>376</i>
6.3.2-	<i>Effluents sanitaires</i>	<i>376</i>
6.3.3-	<i>Effluents industriels</i>	<i>376</i>
6.3.4-	<i>Effluents actifs</i>	<i>376</i>

Partie 5 : Intervenants et méthodologie des études d'évaluation des incidences378

1.	Introduction	379
2.	Les intervenants	380
3.	Étude écologique	381
4.	Évaluation de l'impact des rejets sur l'environnement et la santé	382
4.1-	Méthodologie de calcul des impacts des rejets	382
4.1.1-	<i>Impact des rejets d'effluents radioactifs</i>	<i>383</i>
4.1.2-	<i>Impact des rejets d'effluents chimiques</i>	<i>383</i>
4.1.3-	<i>Utilisation du code CERES pour l'impact en fonctionnement normal</i>	<i>384</i>
4.1.4-	<i>Conséquences potentielles des rejets d'effluents radioactifs sur l'environnement et la santé humaine</i>	<i>388</i>
4.1.5-	<i>Hypothèses et méthodes utilisées pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques</i>	<i>390</i>
4.1.6-	<i>Hypothèses et méthodes utilisées pour le calcul d'impact des rejets liquides</i>	<i>396</i>

4.2-	Limites méthodologiques et incertitudes	398
4.2.1-	<i>Évaluation des rejets dans l'environnement</i>	398
4.2.2-	<i>Calculs d'impacts sur la santé humaine</i>	399
4.2.3-	<i>Calculs d'impacts des rejets radioactifs sur l'environnement</i>	401
Glossaire des acronymes et des définitions		405
1.	Acronymes	406
2.	Définitions	413
Références		432
3.	Références réglementaires	433
3.1-	Textes communautaires	433
3.2-	Cadre législatif français	433
3.3-	Réglementation spécifique applicable au Centre de Cadarache	435
4.	Références bibliographiques	436
4.1-	Documents	436
4.2-	Sites Internet	437

Annexe 1 : Récapitulatif des limites de transferts et de rejets, et des seuils de décision des mesures dans l'environnement		439
1.	Limites réglementaires de transferts et de rejets	440
1.1-	Introduction	440
1.2-	Limites de transferts d'effluents liquides radioactifs l'ensemble du Centre de Cadarache	441
1.3-	Limites réglementaires de rejet des effluents liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache	442
2.	Seuils de décision (SD) des mesures sur échantillons prélevés dans l'environnement	444
2.1-	Seuils de décision minimaux demandés par la décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 modifiée	444
2.2-	Seuils de décision des mesures sur les échantillons prélevés dans l'environnement effectuées par le CEA de Cadarache	444
2.2.1-	<i>Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu atmosphérique</i>	444
2.2.2-	<i>Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu terrestre</i>	445
2.2.3-	<i>Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu aquatique</i>	446
Annexe 2 : Modalités de surveillance de l'environnement du site de Cadarache		447
1.	Introduction	448
2.	Contrôle des rejets liquides potentiellement radioactifs	449
3.	Surveillance radiologique de l'environnement	452
3.1-	Introduction	452
3.2-	Surveillance du milieu atmosphérique	453
3.3-	Surveillance du milieu terrestre	454
3.3.1-	<i>Terre et végétaux bio-indicateurs</i>	454
3.3.2-	<i>Surveillance de la chaîne alimentaire</i>	455
3.4-	Surveillance du milieu aquatique	456
3.4.1-	<i>Surveillance des eaux pluviales</i>	457
3.4.2-	<i>Surveillance des eaux souterraines</i>	457
3.4.3-	<i>Surveillance de la Durance</i>	458
3.5-	Autres moyens de surveillance	460
4.	Surveillance chimique de l'environnement	461
4.1-	Milieu atmosphérique	461
4.2-	Milieu aquatique	461
4.2.1-	<i>Surveillance des prélèvements d'eau brute</i>	461
4.2.2-	<i>Surveillance des eaux pluviales</i>	461
4.2.3-	<i>Surveillance des eaux souterraines</i>	462

4.2.4-	<i>Surveillance des eaux et des milieux de la Durance</i>	462
5.	Contrôle et surveillance chimique des transferts et rejets d'effluents liquides	463
5.1.1-	<i>Au niveau des installations</i>	463
5.1.2-	<i>À la station d'épuration</i>	463
Annexe 3 : Contexte institutionnel relatif au climat et à la qualité de l'air		465
1.	Contexte institutionnel relatif à la qualité de l'air	466
1.1-	Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE)	466
1.2-	Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA)	467
1.3-	Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)	468
1.4-	Plan Climat Énergie Territorial (PCET) du Pays d'Aix	469
1.5-	Plan National de Surveillance de la Qualité de l'Air (PNSQA)	470
Annexe 4 : Contexte institutionnel relatif à la qualité de l'eau et des milieux aquatiques		472
1.	Eaux souterraines	473
1.1-	Contexte institutionnel – SDAGE et DCE	473
1.2-	Objectifs de qualité	478
2.	Eaux de surface	482
2.1-	Contexte institutionnel	482
2.1.1-	<i>SDAGE</i>	482
2.1.2-	<i>SAGE</i>	485
2.1.3-	<i>Contrat de rivière</i>	485
2.2-	Objectifs de qualité chimique et biologique	486
2.2.1-	<i>État chimique</i>	488
2.2.2-	<i>État écologique</i>	489

10

Introduction

INTRODUCTION

1. Présentation générale de l'étude d'impact de l'installation PEGASE

1.1- Objet

La présente étude d'impact est réalisée dans le cadre du dossier de démantèlement partiel de l'Installation Nucléaire de Base « PEGASE/CASCAD » (INB n° 22), située sur le centre de Cadarache du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Le démantèlement porte sur l'installation PEGASE.

1.2- Réponse à la réglementation

L'étude d'impact constitue la pièce n° 7 du dossier de démantèlement partiel de l'INB 22, conformément aux dispositions de l'article R. 593-67 du code de l'environnement. Le lecteur trouvera un rappel de la réglementation en vigueur au moment de son envoi initial fin 2019, en fin de document.

L'étude d'impact de l'installation est prévue à l'article L. 122-1 du code de l'environnement.

La liste des projets entrant dans le champ de l'étude d'impact figure au tableau annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement. L'installation PEGASE, en tant qu'Installation Nucléaire de Base (INB), figure dans la liste des projets soumis à demande d'autorisation assortie d'une étude d'impact systématique.

Le **contenu** de l'étude d'impact de l'installation PEGASE comprend les éléments définis à l'article R. 122-5 du code de l'environnement, précisé et complété par l'article R. 593-17 de ce même code.

L'article R. 122-5 du code de l'environnement précise que : « *le contenu de l'étude d'impact est **proportionné** à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et la nature des travaux, installations, ouvrages ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine* ».

Cette étude d'impact précise les modalités de gestion des nuisances et impacts sur la santé et l'environnement comme requis par l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux Installations Nucléaires de Base selon une **approche proportionnée** à l'importance des risques ou inconvénients présentés par l'installation qui prend en compte l'ensemble des aspects techniques et des facteurs organisationnels et humains pertinents.

Cette pièce étude d'impact a été rédigée en 2019 et présente, dans la mesure du possible, les données les plus récentes disponibles à la date de la rédaction.

Pour répondre à l'ensemble de ces éléments, la présente étude d'impact a été articulée en **5 parties**.

La partie 1 propose une description de l'état initial du site et de son environnement, avant la mise en œuvre du projet de démantèlement, à partir duquel s'évaluent les impacts du projet.

La partie 2 comprend une description synthétique de l'installation et du scénario de démantèlement retenu, après examen de variantes. Les principales raisons du choix effectué sont indiquées.

La partie 3 présente l'évaluation des impacts résiduels notables que le projet de démantèlement final retenu, après mise en œuvre des mesures ERC, est susceptible d'avoir sur l'environnement et la santé humaine. Cette évaluation porte à la fois sur les effets directs et indirects, à court ou long terme, permanents et temporaires, positifs et négatifs du projet. Cette partie présente également le cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, ayant eux-mêmes fait l'objet d'une étude d'impact.

La partie 4 présente le déroulé de la séquence ERC « éviter, réduire, compenser » pour le projet. Elle présente ainsi les mesures prévues pour éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités, et compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables n'ayant pu être évités ni suffisamment réduits. Les dépenses correspondant à ces mesures sont estimées. Cette partie présente également le plan de surveillance de l'environnement qui permet de vérifier que les mesures d'évitement, de réduction, et, le cas échéant, de compensation des impacts, sont efficaces sur le long terme.

Enfin, la partie 5 présente une description des méthodes utilisées pour identifier et évaluer les incidences notables sur l'environnement et la santé humaine. Elle présente également les noms, qualités et qualifications des experts qui ont préparé l'étude d'impact et les études ayant contribué à sa réalisation.

L'étude des incidences écologiques du projet de démantèlement a été réalisée par la société Sinergia Sud (maintenant Synergis Environnement).

L'étude d'impact comprend également un **résumé non technique**, pièce placée en tête de l'étude.

1.3- Zones d'étude

Afin de mener à bien l'étude d'impact du démantèlement de l'installation PEGASE, trois zones d'étude ont été définies autour de l'installation. Elles représentent les périmètres sur lesquels porte l'étude d'impact, à la fois en ce qui concerne la description de l'état initial du site et de son environnement, et l'analyse des impacts résiduels de l'installation sur la sécurité, la santé et la salubrité publiques et la protection de la nature et de l'environnement, après mise en œuvre des mesures pour éviter et réduire les impacts. Ces périmètres sont fonction de la taille et des enjeux du projet.

La zone d'étude immédiate englobe la zone d'emprise potentielle du projet (bâties, voies d'accès, zones d'entreposage, ...), ainsi que la zone de travaux éventuels (voies d'accès et/ou aménagements temporaires, etc.).

La zone d'étude rapprochée englobe l'ensemble de la surface potentiellement perturbée lors de la réalisation du projet et d'éventuels travaux (bruit, poussières, ...). Elle permet de traiter des continuités écologiques, et de comparer la diversité et la richesse écologiques de la zone d'emprise du projet avec les zones alentours

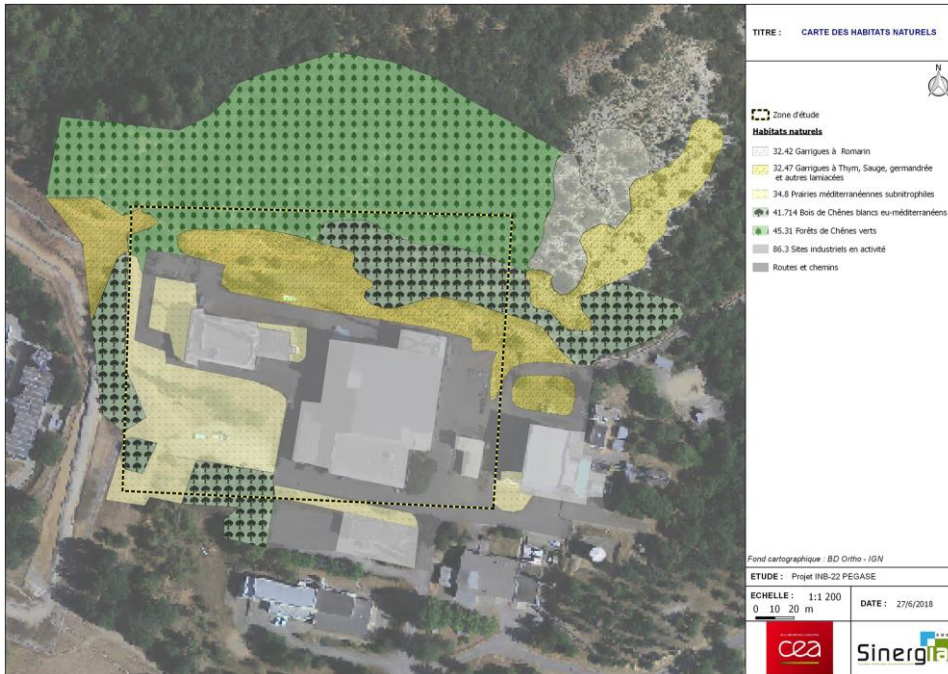


Figure 1 : Zones d'étude immédiate et rapprochée sur le périmètre de l'installation PEGASE

La zone d'étude éloignée permet d'inclure l'environnement au sens large, les zones à enjeux écologiques (Ravin de la Bête, zones Natura 2000 de la Durance, etc.), ainsi que les groupes de population retenus pour l'analyse des incidences de l'installation sur la santé humaine (cf. partie 5 sur la méthode des calculs d'impacts). La zone d'étude éloignée s'étend ainsi sur plusieurs kilomètres autour de l'installation.

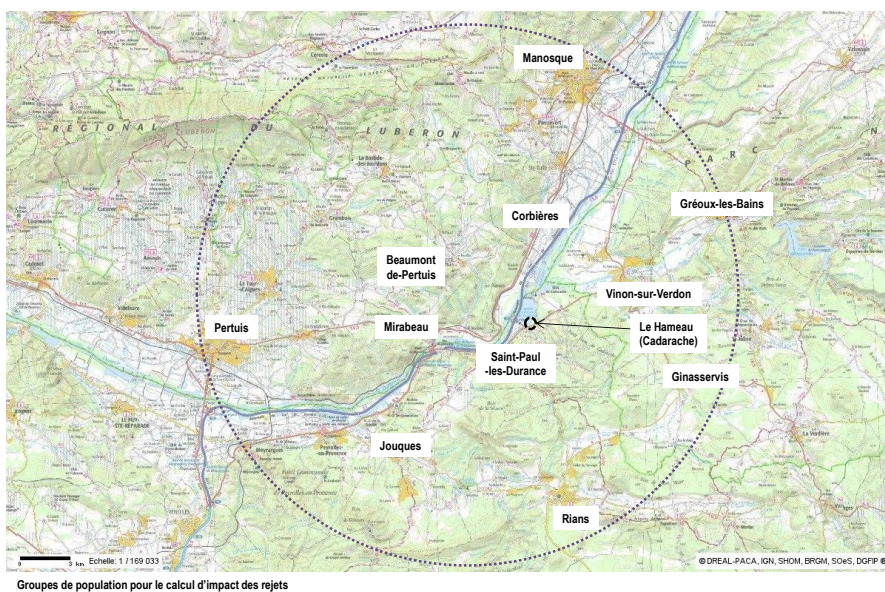


Figure 2 : Zone d'étude éloignée

2. Principe d'évaluation des impacts du projet

2.1- Définition des impacts d'un projet industriel

2.1.1- Définitions

La réalisation d'un projet industriel, quel qu'il soit, occasionne des impacts sur son environnement, le terme étant à prendre au sens large. Certains de ces impacts peuvent être considérés comme positifs ; par exemple le soutien à l'activité économique d'une région. Les impacts négatifs doivent quant à eux être suffisamment faibles pour que le projet puisse être jugé comme acceptable.

Mais une définition même de la notion d'impact s'impose en préambule. Impact, *impactum*, vient du verbe latin *impigere*, qui veut dire « heurter ». Plus généralement, il est utilisé pour décrire la conséquence d'un fait. Cette définition est assez générale et mérite d'être précisée, d'autant que les termes d'effets et d'incidences sont souvent utilisés indifféremment pour nommer les conséquences d'un projet. Par exemple, l'impact de la destruction d'une partie d'un habitat naturel ne sera pas jugé de la même manière si cet habitat a une grande valeur patrimoniale (par sa rareté par exemple) ou bien s'il est commun et bien représenté localement. À partir de cet exemple on voit que l'impact est constitué de deux paramètres : l'**effet** (la destruction d'une partie de l'habitat naturel) et l'**enjeu** de l'élément de l'environnement soumis à cet effet (assorti de sa sensibilité au dit effet).

L'**effet** représente la **conséquence objective** du projet sur l'élément de l'environnement considéré (par exemple, prélèvement d'une certaine quantité d'eau) : c'est une donnée factuelle, qui ne fait pas intervenir de jugement de valeur.

L'**enjeu** désigne la valeur matérielle ou morale que l'on risque dans n'importe quelle entreprise, et par extension, ce que l'on peut gagner ou perdre (au jeu, dans une compétition, dans une situation, face à un aléa, ...). L'enjeu est plus ou moins fort en fonction de l'importance qu'on lui accorde. Par exemple, l'enjeu de la protection d'une espèce animale en voie de disparition est jugé plus fort que celui d'une espèce commune (enjeu de conservation). On voit ici que **la notion d'enjeu est plus subjective**, et fait intervenir une échelle de valeurs, qui pourra être différente en fonction des personnes, de leur sensibilité, de leur implication dans le projet, etc.

Pour caractériser l'impact global d'un projet industriel, il est nécessaire de déterminer, pour chaque compartiment de l'environnement pris au sens large (population, biodiversité, sols, eau, patrimoine culturel, socio-économie, ...), à la fois l'**enjeu** et l'**effet** engendré par le projet. C'est le **croisement** de ces deux critères qui permettra d'estimer l'impact du projet sur le compartiment considéré.

On retrouve ce même principe de croisement de critères dans d'autres domaines, en particulier dans l'analyse des risques naturels : croisement de l'aléa (inondation, séisme, ...) avec les enjeux (personnes, biens, activités, moyens de communication, patrimoine, ...) et leur vulnérabilité.

Il est important de noter que l'impact d'un projet s'évalue au regard de **l'état initial de l'environnement**, avant le projet. Aussi, l'étude d'impact commence par une description des aspects pertinents de l'état initial de l'environnement, susceptibles d'être affectés par le projet.

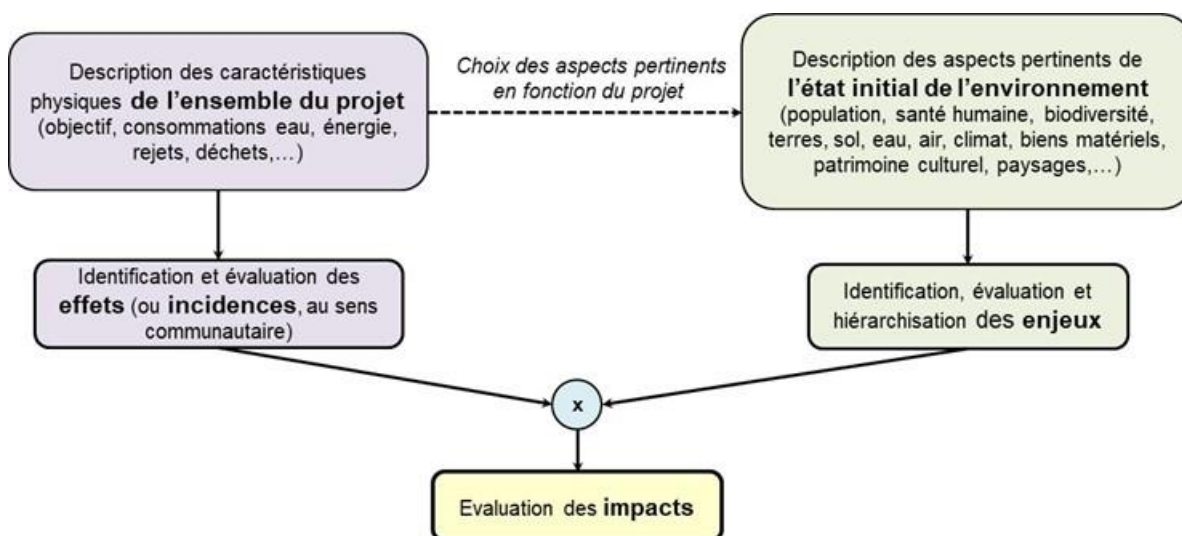


Figure 3 : Évaluation des impacts d'un projet

2.1.2- Échelles de cotation

Il existe des méthodes scientifiques qui permettent de quantifier les effets des rejets sur l'air, les eaux, les sols, les productions agricoles ou la santé humaine : ce sont les résultats des calculs d'impacts, qui fournissent des activités ajoutées dans l'air, l'eau, les sols et les productions agricoles, et des conséquences en termes de dose pour les populations.

Mais dans d'autres cas, les effets, les enjeux et donc les impacts sont plus difficiles à appréhender (ils ne peuvent parfois ne l'être que qualitativement) ; par exemple, l'impact sur le paysage d'une nouvelle installation industrielle est une notion plus subjective qui dépendra de l'appréciation de chacun et de sa position par rapport au projet.

Les critères en jeu sont à la fois « quantitatifs » et « qualitatifs », donc difficiles à comparer. Il est néanmoins nécessaire de définir une échelle de cotation qui soit commune pour permettre d'avoir une vision d'ensemble à la fois des enjeux de l'environnement et des incidences du projet pris dans sa globalité.

Dans le cadre de l'évaluation des impacts du démantèlement de l'installation PEGASE, nous avons choisi, pour qualifier les enjeux, de retenir une échelle qui va de « très faible » à « très fort ». Cette échelle se base sur celle qui a été définie pour les niveaux d'enjeux écologiques, ceci afin d'avoir une échelle de cotation cohérente pour tous les enjeux.

Les effets sont qualifiés selon une échelle allant de « négligeable » à « fort ».

Enfin, nous avons choisi, pour qualifier les impacts, de retenir une échelle qui va de « négligeable » à « très fort ». Cette échelle est classiquement retenue dans les études écologiques des projets. **Un impact est considéré comme significatif si il est au moins moyen.**

La grille de cotation retenue pour qualifier les impacts, croisement des enjeux et des effets, est présentée ci-après. Le principe retenu est que, **pour le niveau d'effet maximal, le niveau d'impact correspond au plus à celui de l'enjeu**, car « on ne peut pas perdre plus que ce qui est mis en jeu ».

Impact = Enjeu x Effet		Enjeu					
		Très faible	Faible	Moyen	Assez fort	Fort	Très fort
Effet	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	Faible	Négligeable	Négligeable	Faible	Faible	Moyen	Assez fort
	Modéré	Négligeable	Faible	Faible	Moyen	Assez fort	Fort
	Fort	Négligeable	Faible	Moyen	Assez fort	Fort	Très fort

Tableau 1 : Grille d'évaluation des niveaux d'impacts retenue pour le démantèlement de l'installation PEGASE

2.2- Évaluation des impacts résiduels du démantèlement de l'installation PEGASE

Les impacts d'un projet s'évaluent toujours par rapport à l'état initial de l'environnement, aussi l'étude d'impact commence par l'identification et la qualification des enjeux dans la partie 1 « État initial de l'environnement ». Un tableau récapitulatif, en fin de la partie 1, donne une vue synthétique des enjeux sur chaque compartiment de l'environnement, selon la grille de cotation retenue.

La partie 4 est dédiée à la présentation des mesures d'Évitement, de Réduction, et de Compensation des impacts mises en œuvre durant le démantèlement de l'installation pour limiter ses incidences sur l'environnement (séquence ERC). Ainsi, les impacts qui sont évalués en partie 3 correspondent aux impacts résiduels après mise en œuvre de ces mesures. Le CEA se fixe pour objectif que les impacts résiduels du projet soient non significatifs dans la mesure du possible, c'est-à-dire cotés négligeables ou faibles (et ne donnant donc pas lieu à des mesures de compensation).

Partie 1 : État initial du site et de l'environnement

1. Introduction

La description de l'état initial du site et de l'environnement, qui va être présentée dans cette partie, permet ensuite d'évaluer les impacts résiduels du projet de démantèlement de l'installation PEGASE (après mise en œuvre des mesures pour éviter et réduire ses impacts).

Précisons que l'état initial de l'installation PEGASE, située au sein du Centre CEA de Cadarache, est celui qui existe après une soixantaine d'années de présence et d'activités du CEA et quasiment autant de fonctionnement de l'installation PEGASE.

Cette partie comporte la description de l'environnement de l'installation PEGASE (et plus généralement celui du Centre de Cadarache), les résultats de la surveillance de l'environnement, ainsi que le traitement des effluents liquides et leur rejet en Durance après traitement (ceux-ci étant globalisés au niveau du Centre).

2. Le site de Cadarache

2.1- Situation géographique

Le site de Cadarache se trouve à l'extrémité nord-est du département des Bouches-du-Rhône (13), sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance (~1 000 habitants), à 15 km de Manosque (~23 000 habitants), 20 km de Pertuis (~19 000 habitants), 35 km d'Aix-en-Provence (~144 000 habitants) et 60 km de Marseille (~859 000 habitants).



Figure 4 : Situation du site de Cadarache

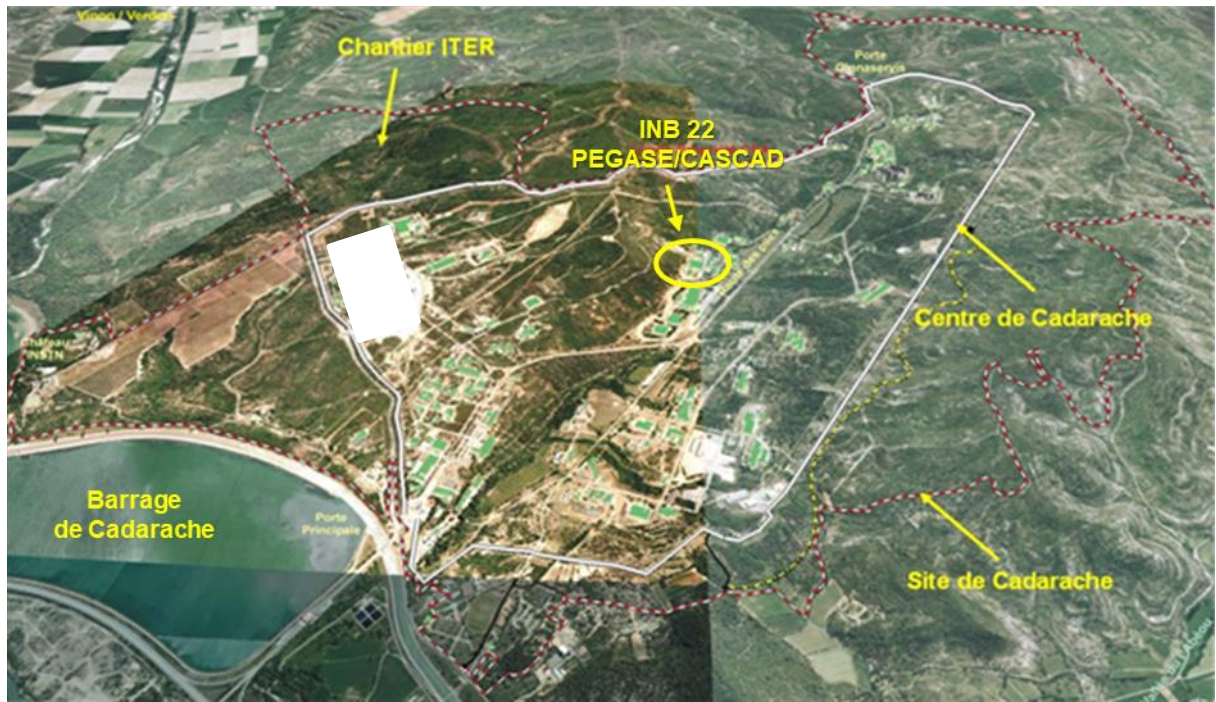


Figure 5 : Site de Cadarache, et limites de Centre (clôturées)

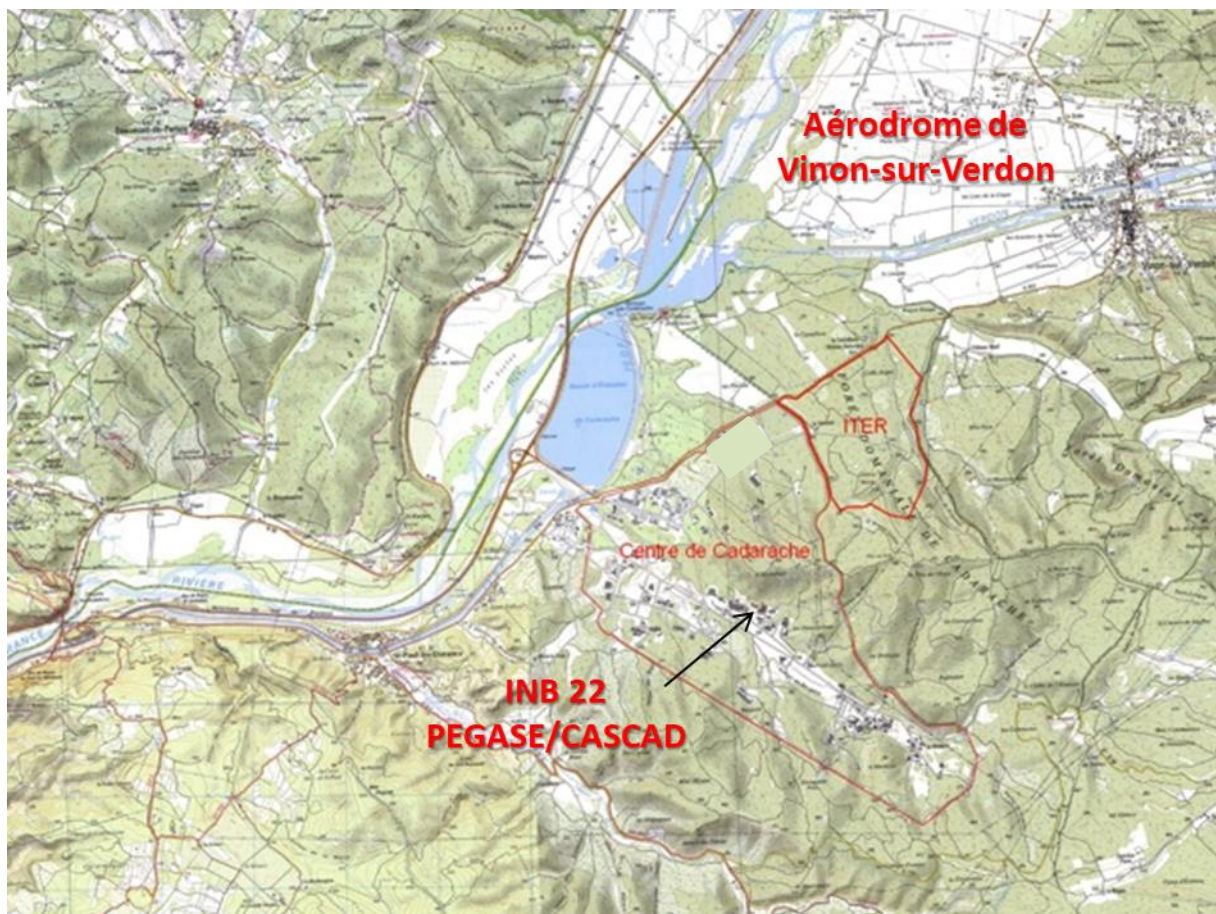


Figure 6 : Carte du site de Cadarache (avec les clôtures du Centre) et de ses environs

Par convention, « **site de Cadarache** » se réfère à la totalité de l'emprise foncière du CEA et « **Centre de Cadarache** » se réfère à l'emprise et aux installations qui se trouvent à l'intérieur de la clôture « CEA ».

Le site de Cadarache se trouve près de la confluence de la Durance et du Verdon, à proximité des départements des Alpes-de-Haute-Provence, du Var et du Vaucluse. La commune de Saint-Paul-lez-Durance est située à l'extrémité sud de la vallée de la moyenne Durance, peu avant un rétrécissement très marqué au niveau du défilé de Mirabeau.

Ce site, propriété du CEA, occupe une superficie totale de 2 050 hectares, dont 900 hectares sont clôturés. 180 hectares, contigus au nord-est du centre de Cadarache, sont dédiés au projet ITER.

Le reste du site n'est pas clôturé ; il abrite notamment le château de Cadarache (monument historique du XV^{ème} siècle, restauré par le CEA, qui sert à présent de maison d'hôtes et accueille également des séminaires et conférences et les locaux de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN, établissement public d'enseignement supérieur, rattaché au CEA et placé sous la tutelle conjointe du Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du Ministère de l'Economie, de l'Industrie et du Numérique).



Figure 7 : Le château de Cadarache et les locaux de l'INSTN

L'orientation principale NO-SE du Centre suit celle d'une petite vallée affluente de la Durance, dite « Ravin de la Bête », le long de laquelle est implantée la majeure partie des réacteurs expérimentaux du CEA (elle est aussi appelée « vallée des piles »).

2.2- Présentation des entités présentes sur le site de Cadarache

De nombreuses entités sont présentes sur le site. Cette présentation se limitera aux exploitants d'installations soumises à autorisation (au sens du code de l'environnement) : Installation Nucléaire de Base (INB), Installation Nucléaire de Base Secrète (INBS) ou Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).

2.2.1- CEA

Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives est un organisme public de recherche à caractère scientifique, technique et industriel. Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le CEA intervient dans quatre grands domaines : la défense et la sécurité, les énergies nucléaire et renouvelables, la recherche technologique pour l'industrie, et la recherche fondamentale (sciences de la matière et sciences de la vie). S'appuyant sur une capacité d'expertise reconnue, le CEA participe à la mise en place de projets de collaboration avec de nombreux partenaires académiques et industriels.



Le CEA en chiffres (fin 2021)

- × 9 centres de recherche
- × 5,6 milliards d'euros de budget, dont 2,4 MDS€ affectés aux activités civiles, 2,4 MDS€ aux activités de défense et 0,7 MDS€ aux activités d'assainissement-démantèlement
- × Effectif total de 21148 agents, dont 16556 CDI, 1522 doctorants et 1018 alternants
- × Partenaires académiques : 37 unités mixtes de recherche et assimilées, 5 alliances thématiques de recherche
- × Présence dans le monde : 11 conseillers nucléaires en ambassade, 50 accords-cadres de coopération en vigueur avec des partenaires étrangers
- × Partenaires industriels : Plus de 700 partenaires industriels, 55 Pôles de compétitivité dont 17 où le CEA est membre de la gouvernance, 6 plateformes régionales de transfert technologiques (PRTT), 3 Instituts du CEA labellisés Institut Carnot
- × 31 infrastructures de recherche et 15 très grandes infrastructures de recherche
- × 414 projets Horizon 2020 en cours
- × Publications : 5307 publications scientifiques, dont 65 % co-publications internationales et 44 % co-publications européennes
- × Innovations : 710 dépôts de brevets prioritaires, 228 start-up technologiques créées depuis 1972 dans le secteur des technologies innovantes
- × 1450 enseignants et experts

Le CEA est implanté sur 9 centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. À ce titre, le CEA est partie prenante des alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (ANCRE), des sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), des sciences et technologies du numérique (ALLISTENE) et des sciences de l'environnement (AllEnvi), et des sciences humaines et sociales (ATHENA).

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international. Le CEA a le statut d'EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial).

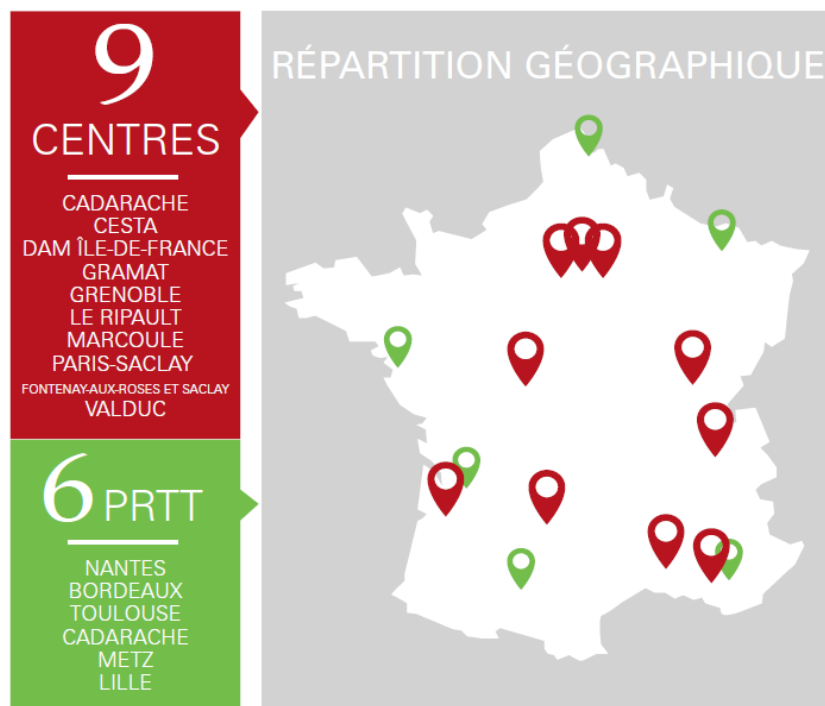


Figure 10 : Implantation des Centres d'études CEA

2.2.2- ITER Organization

« ITER Organization » est une organisation internationale qui a été par l'accord sur l'établissement de l'organisation internationale ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor, et qui signifie aussi « le chemin » en latin) pour l'énergie de fusion en vue de la mise en œuvre conjointe du projet ITER, signé le 21 novembre 2006, par le gouvernement de la République Populaire de Chine, la Communauté Européenne de l'Energie Atomique, le gouvernement de la République d'Inde, le gouvernement du Japon, le gouvernement de la République de Corée, le gouvernement de la Fédération de Russie et le gouvernement des États-Unis d'Amérique, entré en vigueur le 24 octobre 2007, et déposé auprès de l'Agence Internationale pour l'Énergie Atomique (AIEA).



L'organisation internationale est responsable de la conception de l'installation de recherche, de sa construction prévue pendant 10 ans, de son exploitation pendant 20 ans et de sa mise à l'arrêt.

2.2.3- Agence ITER France

Le CEA, via l'Agence ITER France, participe à la bonne réalisation des engagements de la France pour l'accueil d'ITER sur le site de Cadarache (commune de Saint-Paul-lez-Durance) situé à proximité du site d'implantation du CEA. Depuis sa création en 2006, les missions de cette agence couvrent un large champ d'activités : de l'accueil des salariés de l'organisation internationale et de leur famille, à la collecte de la contribution française au projet en passant par la coordination des convois très exceptionnels ITER et les études visant à définir une filière de gestion pour les déchets produits par ITER durant les phases d'exploitation et de démantèlement.

Au titre de ses missions, le CEA-Agence ITER France met aussi en œuvre les prescriptions de l'arrêté préfectoral du 3 mars 2008, en compensation des impacts résiduels de l'aménagement du site ITER à Cadarache : acquisitions foncières, inventaires écologiques et plans de gestion, sensibilisation du public, comités de suivi, etc.



2.2.4- IRSN

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) est un établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle conjointe des ministères chargés de l'écologie, de l'industrie, de la recherche, de la défense et de la santé.



Le champ de compétences de l'IRSN couvre l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants, utilisés dans l'industrie ou la médecine, mais également aux rayonnements naturels. Plus précisément, l'IRSN exerce ses missions d'expertise et de recherche dans les domaines suivants :

- × surveillance radiologique de l'environnement et intervention en situation d'urgence radiologique ;
- × radioprotection de l'homme ;
- × prévention des accidents majeurs dans les installations nucléaires ;
- × sûreté des réacteurs ;
- × sûreté des usines, des laboratoires, des transports et des déchets ;
- × expertise nucléaire de défense.

2.2.5- INTERCONTROLE



INTERCONTROLE (Framatome) est spécialisée dans l'inspection en service par contrôle non destructif automatisé des composants du circuit primaire des réacteurs à eau pressurisée (REP).

INTERCONTROLE est l'exploitant technique opérationnel d'une ICPE sur le centre de Cadarache.

2.2.6- TechnicAtome

TechnicAtome, est spécialisée dans la conception, la réalisation, la mise en service et le maintien en conditions opérationnelles des réacteurs nucléaires compacts, au service de la propulsion navale, la recherche, la médecine nucléaire et l'énergie.



Elle conçoit également des systèmes électroniques, d'instrumentation, de contrôle et de simulation fiables et hautement disponibles. Elle intervient dans les secteurs de l'industrie pour lesquels la sûreté des installations, la sécurité des hommes et la disponibilité des équipements sont indissociables.

TechnicAtome est l'exploitant technique opérationnel de l'INBS Propulsion Nucléaire (INBS-PN) située sur le site de Cadarache.

2.2.7- COGESTAR 3

COGESTAR 3, filiale de la société DALKIA créée en 2008, est une entreprise spécialisée dans le secteur d'activité de la production d'électricité.

Depuis 2018, COGESTAR 3 est l'exploitant d'une nouvelle centrale de cogénération gaz sur le centre de Cadarache. Celle-ci a pour objet la production d'électricité vendue à EdF Obligation d'Achat, ainsi que la fourniture de chaleur au CEA.

La centrale de cogénération est prévue pour fonctionner en Mode Continu pendant 13 hivers, à la suite de quoi l'entreprise sera en charge de son démontage.

2.3- Activités du site de Cadarache

2.3.1- Le Centre de Cadarache

Créé en 1959 et inauguré en 1963, le Centre de Cadarache se consacre à des activités de recherche expérimentale et de développement dans le domaine de l'énergie nucléaire de fission et de fusion, des nouvelles technologies de l'énergie, de la biologie végétale et de la microbiologie.

Il constitue un organisme de recherche d'importance régionale.

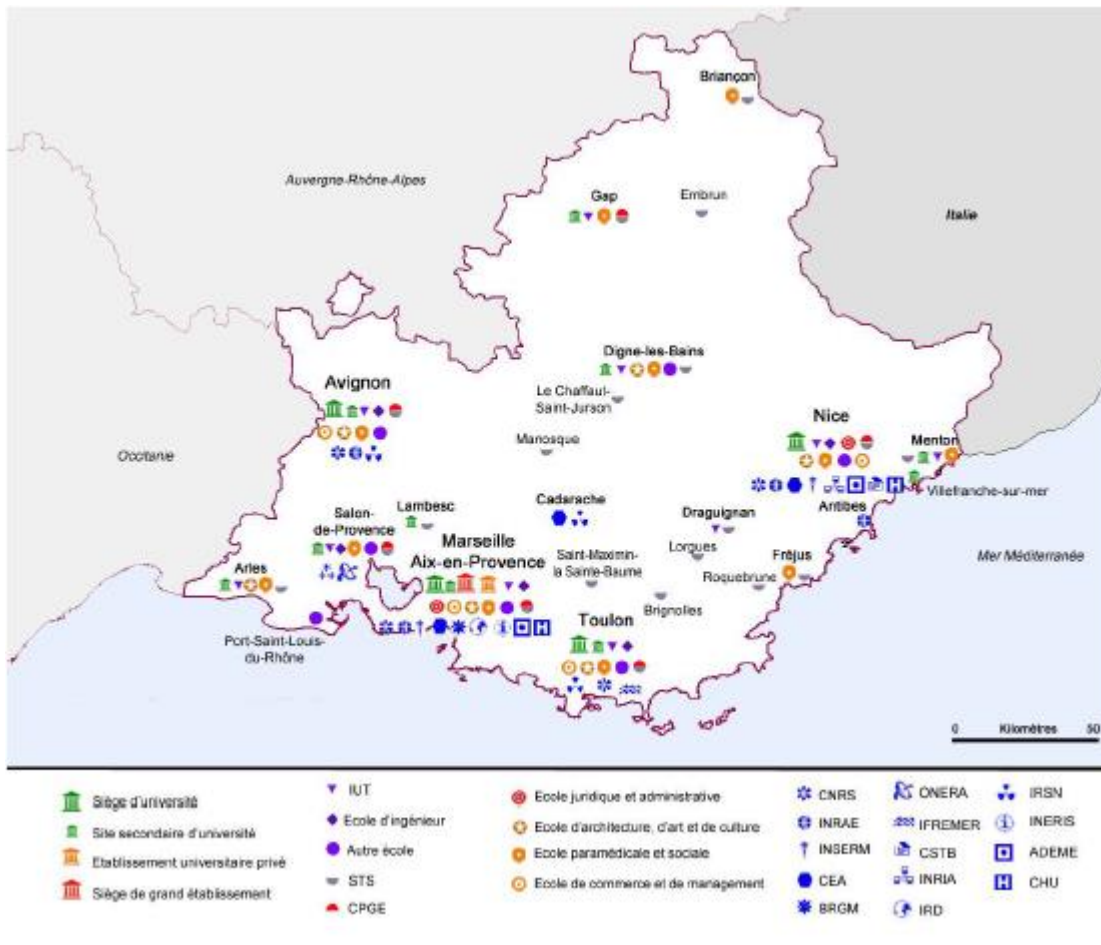


Figure 11 : Carte des implantations des principaux établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche en région PACA. (Source : STRATER, Diagnostic PACA, <http://www.enseignementsup-recherche.gouv.fr>)

Le Centre accueille des unités de la Direction des ÉnergieS Nucléaire (DES), de la Direction de la Recherche Technologique (DRT), de la Direction de la Recherche Fondamentale (DRF), de la Direction des Applications Militaires (DAM) ainsi que de l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires (INSTN).

Comme vu précédemment, des entreprises et organismes extérieurs au CEA sont également implantés à l'intérieur du Centre. C'est notamment le cas de l'IRSN, d'INTERCONTROLE (Framatome) ou de TechnicAtome.

Les effectifs du Centre étaient, pour 2020, d'environ 5500 salariés issus des principaux donneurs d'ordres et de leurs sous-traitants, dont environ 2 500 salariés du CEA, 330 salariés de l'IRSN, 80 salariés de Framatome Intercontrole, 800 salariés de TechnicAtome, 150 doctorants et post-doctorants et environ 1100 stagiaires et étudiants par an.

Le site comprend 21 INB, une INBS dédiée à la Propulsion Nucléaire pour la Marine Nationale dont l'exploitant technique opérationnel est TechnicAtome, des ICPE soumises à déclaration, enregistrement ou autorisation, ainsi que des installations mettant en œuvre de substances radioactives, autorisées par l'ASN au titre du code de la santé publique (anciennement ICPE radioactives).

2.3.2- ITER

ITER Organization (<https://www.iter.org/fr/accueil>) emploie des personnes venues d'une trentaine de pays pour travailler ensemble dans le cadre du projet de coopération internationale ITER.

Le chantier s'est ouvert au cours de l'été 2010 sur une plateforme de 42 hectares préalablement défrichée et nivelée. Les fondations parasismiques ainsi que le radier sur lequel reposera le cœur de l'installation sont désormais en place et la construction du Complexe tokamak a commencé. C'est dans cet édifice, constitué de trois bâtiments, que se dérouleront les expériences de fusion.



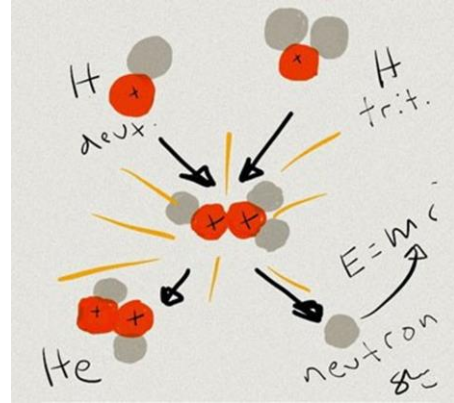
Des bâtiments auxiliaires (usine cryogénique, bâtiment de contrôle, installations pour l'eau de refroidissement, alimentation et transformation électrique, etc.) sont également en cours de construction.

De manière progressive, à partir de 2018, scientifiques et ingénieurs procéderont à l'intégration et à l'assemblage des différents éléments de l'installation ITER. Une phase d'essais, destinée à vérifier que l'ensemble des systèmes fonctionne de manière satisfaisante, préparera la machine en vue de son exploitation. La main d'œuvre chargée de l'assemblage, à la fois sur le site d'ITER et au sein des agences domestiques, atteindra 2 000 personnes lors des pics d'activité. La séquence précise des opérations d'assemblage a été définie et coordonnée dans les différents bureaux d'ITER à travers le monde. Elle a débuté par l'arrivée des premiers composants de grande taille sur le site d'ITER en 2015. Fin 2018, sont attendus les premiers très gros éléments : un secteur de la chambre à vide (440 tonnes) et la première des 18 bobines de champ toroïdal (310 tonnes).

Lors de sa 25^{ème} session, en novembre 2019, le Conseil ITER a confirmé l'objectif de production du premier plasma en décembre 2025 et de démarrage des opérations en deutérium-tritium en 2035.



Tokamak et plasma



Principe de la fusion

L'Organisation internationale ITER est un exploitant nucléaire en France depuis le Décret n° 2012-1248 du 9 novembre 2012 l'autorisant à créer une installation nucléaire de base dénommée « ITER » sur son site sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance.

3. Environnement atmosphérique

3.1- Météorologie

3.1.1- Introduction

La connaissance fine des conditions météorologiques et climatiques est importante pour les études d'impact. Elle permet en effet de connaître et de modéliser les déplacements des masses d'air autour des installations et ainsi de pouvoir appréhender la dispersion des rejets atmosphériques (gazeux et particules en suspension).

30

Partie 1

Le site de Cadarache est situé à l'aval de la confluence de la Durance et du Verdon, peu avant un rétrécissement très marqué au niveau du défilé de Mirabeau. La vallée de la Durance y joue un rôle important dans les écoulements de masses d'air. Elle est orientée nord-est sud-ouest (NE-SO) au nord de Cadarache et passe est-ouest après le défilé de Mirabeau.

Le climat de la région de Cadarache est de type semi-continentale ; il constitue une transition entre le climat méditerranéen et les climats alpin et rhodanien.

D'une manière générale, le climat du bassin de la moyenne Durance est caractérisé par de forts contrastes diurnes et annuels (température, humidité, vent), une sécheresse (sécheresse) importante de l'atmosphère à certains moments de l'année, des vents locaux placés sous l'influence prépondérante du relief (brises de vallées).

La climatologie du site de Cadarache est suivie par trois stations météorologiques : les stations de la Verrerie, de la Grande Bastide (station équipée d'un pylône de 110 m) et de Cabri. Ces mesures sont complétées par celles d'une station météorologique (dite Xaria) exploitée suivant les règles de Météo-France et dont les données sont transmises en continu vers le Centre Météorologique Régional de Maignane. Cette station est située au lieu-dit de la Verrerie, à proximité immédiate de celle du CEA.



Implantation des postes météorologiques sur le site de Cadarache (Nord ↑)



Station Xaria

Figure 12 : Stations météorologiques sur le site de Cadarache

3.1.2- Températures

On dispose des valeurs mesurées à 2 mètres du sol sur les stations depuis 1960, archivées dans un premier temps sur support papier puis sur support informatique (début des années 1990).

Elles permettent de calculer des températures moyennes annuelles présentées dans la figure ci-dessous.

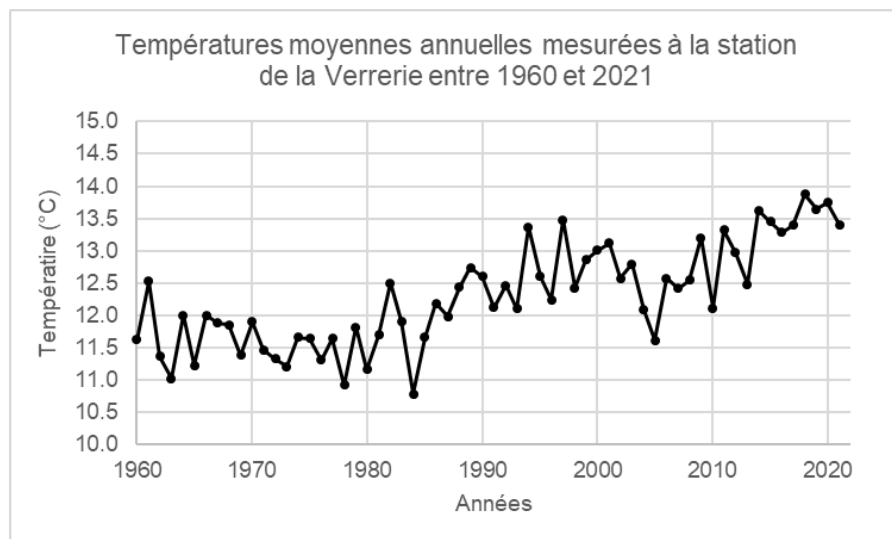


Figure 13 : Températures mesurées à la station de la Verrerie de 1960 à 2021

Pour avoir les données représentatives de la situation actuelle, le Tableau 2 présente un récapitulatif des valeurs de température observées (moyennes, minimums et maximums mensuels) sur la période 2010 à 2021 (acquisition au pas de temps 10 minutes).

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	Année
2010	3,2	4	8	11,7	14,7	19,8	24,6	22,3	17,2	12	7,2	2,7	12,5
2011	3,5	5	8,4	13,5	17,5	19,7	21	22,4	19,5	14	9,1	5,8	13,2
2012	4,7	0,5	9,7	11,4	16,1	21,5	23,1	23,9	18,5	14,1	8,7	3,6	13
2013	3,2	2,8	7,8	11,9	13,8	19,7	22,7	22,2	18,4	15,4	7,1	4,2	12,2
2014	5,8	6,4	9	13,2	15,4	20,5	21,8	21,1	19,1	15,3	10,4	5,3	13,7
2015	4,4	3,9	9,3	12,7	17,7	21,5	25,2	22,6	16,9	12	8,5	6,3	13,4
2016	5,3	6,7	8	12,6	15,4	20,8	23,8	22,8	19,5	12,2	8,4	3,4	13,2
2017	1,9	8	10,4	12,1	16,6	22,9	24,5	23,9	16,4	14,3	6,7	2,7	13,4
2018	7,8	2,9	7,9	14	16,1	20,6	24,4	22,6	20,1	14,4	9,6	5,3	13,9
2019	2,3	5,8	9,6	11,1	14,6	22	24,9	23,7	19,2	15,2	7,7	6,7	13,7
2020	4,7	8,1	9	12,9	17,6	19,9	24,2	23,8	18,7	12,2	8,9	4,7	13,7
2021	4,4	7,9	8,6	10,4	15,1	21,9	23,6	22,5	19,3	12,6	7,6	4,4	13,2
Moyenne	4,2	5,3	8,8	12,3	16,1	21,1	23,9	22,9	18,6	13,7	8,4	4,7	13,4
Minimum	-10,2	-12,8	-6,9	-4,9	0,9	6,6	9	7,1	1,1	-1,9	-6,5	-10,8	-12,8
Maximum	19,6	23,5	25,8	29,5	32,9	44	38,7	40,1	34,9	30,1	23,5	21,4	44

Tableau 2 : Températures moyennes et extrêmes depuis 2010 (en °C)

3.1.3- Précipitations

3.1.3.1 Pluie

Cadarache connaît un régime de pluie correspondant au climat méditerranéen, avec des étés secs et les plus fortes pluies au printemps et à l'automne. Les pluies sont le plus souvent intenses et brèves.

Les hauteurs de précipitation sont mesurées par :

- * un relevé journalier et manuel d'un pluviomètre à lecture directe ;
- * l'enregistrement automatique des basculements d'un pluviomètre à coupelle.



Pluviomètre à lecture directe



Pluviomètre à coupelle

Ces deux moyens sont donc complémentaires car ils permettent de s'assurer que la valeur de pluie est cohérente d'un instrument à l'autre, et le cas échéant de compléter les mesures indisponibles (mise en sécurité électrique notamment).

Le Tableau 3 donne les hauteurs de pluie mensuelles et annuelles mesurées sur Cadarache à la station de la Verrerie (à partir des relevés journaliers manuels) pour la période 2010-2021.

	Cumuls mensuels (mm/mois)												Cumuls annuels (mm/an)
	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc	
2010	78.3	62.1	60.6	37.3	63.3	112.8	1	5.6	37.2	123.8	64.6	60.9	708
2011	26.8	25.9	63.4	42.6	5.4	87.3	62	21.8	63.9	56.2	266.1	10.4	732
2012	22.7	0.2	10	91.3	92.7	7.6	0.4	16.9	32.8	151.9	132.5	28.7	588
2013	23.1	21.2	136.7	70.2	84	1.8	33.8	18.8	25.8	42.4	31.3	89.8	579
2014	129.3	99.8	27.6	23.2	18.6	33.3	45.9	51.2	34.4	71.6	135.1	19.2	689
2015	51.4	73.8	34.3	18.4	1.4	165	15.1	107.6	50.1	105.2	11.8	4.4	639
2016	16.6	55.7	38.3	9.6	61.9	28.5	25.1	6.5	65.5	134.8	141.1	10.9	595
2017	15	25.3	78.9	55.5	43	17.8	0.6	4	13.8	0	18.4	81.6	354
2018	66.3	21.6	65.9	56.2	133.5	51.5	38.3	60.6	5.4	270.3	101.5	38.8	910
2019	5.3	17.3	0.2	89.7	44.7	9.7	11.8	29	62.9	240.8	210.4	83.8	806
2020	15	11.6	32.8	41.2	62.9	83.1	0.2	9.6	51.4	35.4	36.9	41	421
2021	59	32.8	4.4	73.8	81	4.8	19	33.9	82.9	72.3	59.3	78.8	602
Moyenne	39	36	43	49	58	47	20	33	44	100	101	46	605

Tableau 3 : Hauteurs de pluie moyennes mensuelles mesurées à la station de la Verrerie

Les précipitations sont très variables d'une année sur l'autre, avec globalement un maximum de précipitations entre octobre et novembre. Depuis 2010, la moyenne interannuelle est d'environ 605 mm/an, avec un minimum de 354 mm en 2017 et un maximum de 910 mm en 2018.

La pluie peut entraîner un dépôt au sol accéléré d'aérosols qui se trouvent en suspension dans l'air. Pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques, il est donc important de connaître avec précision le débit de pluie instantané et la durée de la pluie.

De plus, la pluie alimente les modèles qui permettent d'évaluer la contamination des nappes d'eau souterraine, ou d'estimer le risque d'inondation par remontée de nappe, soient deux problématique de sûreté très regardée à Cadarache.

3.1.3.2 Phénomènes électriques associés aux précipitations

D'une manière générale, les phénomènes orageux sont fréquents dans la région. Les renseignements fournis par Météorage permettent de comparer les phénomènes observés sur le site de Cadarache, avec les moyennes de ceux observés pour le reste de la France (base de données allant de 1992 à 2011).

Le nombre d'impacts de foudre par an, dans un rayon de 10 km, est de 632 dans la région de Cadarache, soit plus de deux fois la moyenne française (276). Le nombre d'impacts de très forte intensité (> 100 000 A) est de 5,1, à comparer à 3,75 pour la moyenne nationale.

3.1.3.3 Neige

Dans la région PACA, 25 épisodes neigeux à une altitude inférieure à 500 m ont été recensés pour la période 2000-2013. Huit de ces épisodes ont donné une hauteur de neige supérieure à 10 cm.

La densité moyenne de la neige est voisine de 0,1 ce qui signifie que 1 cm de neige équivaut à 1 mm de précipitation. La densité de la neige atteint 0,2 dans le cas de neige collante.



Chute de neige sur le Centre en 2002

3.1.4- Humidité relative (à 2 m du sol)

La Figure 14 présente l'histogramme d'humidité relative mesurée depuis 2009 (période d'acquisition au pas de temps 10 minutes).

On y constate une probabilité forte de conditions proches de la saturation (avec une humidité relative supérieure à 90 %) qui peuvent correspondre à des conditions de brouillard.

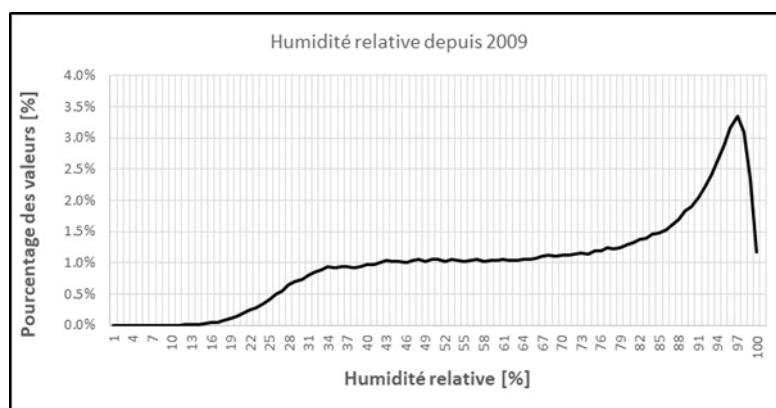


Figure 14 : Histogramme des mesures d'humidité relative depuis 2009

Cette situation est souvent liée aux conditions d'inversion thermique qui sont propices à l'apparition de brouillard dit « de rayonnement ». En se refroidissant au contact du sol l'air atteint son point de rosée, ce qui entraîne la formation d'une nappe de brouillard.

La probabilité d'atteindre des conditions saturées en humidité est variable pendant l'année, elle est maximale pour les mois d'automne. De même, la probabilité de saturation de l'air en humidité suit un cycle journalier. Les histogrammes ci-dessous présentent l'évolution de la probabilité de saturation de l'air (humidité relative supérieure à 90 %) en fonction des heures de la journée, et ce pour différents mois de l'année.

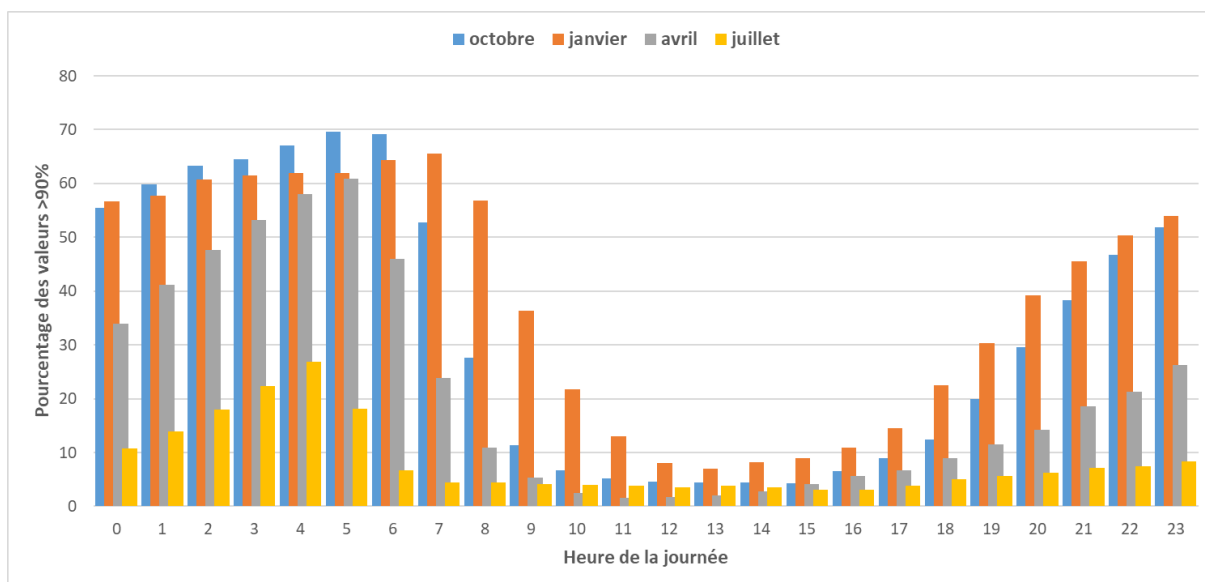


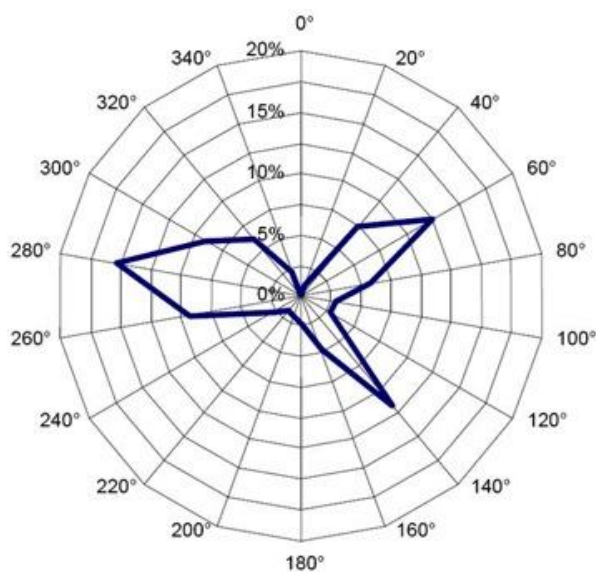
Figure 15 : Évolution de la probabilité de saturation de l'air en humidité en fonction du mois de l'année

3.1.5- Vents

3.1.5.1 Directions et vitesses de vents

Sur Cadarache, la direction et la vitesse du vent sont mesurées aux stations météorologiques de la Verrerie (à 15 m au-dessus du sol) et Grande Bastide (à 110 m au-dessus du sol).

La localisation du mât de 110 m de la Grande Bastide a été choisie au confluent des deux vallées principales (vallée des Piles et vallée de la Durance). La hauteur de mesure à 110 m permet de se dégager en partie de l'influence du relief de la vallée des Piles, et de donner des caractéristiques plus proches de celles du vent en altitude (vent synoptique).



Principe de lecture de la rose des vents

Pour lire la rose des vents : un exemple

Le point à 280° est à environ 15 %. Cela signifie que 15 % du temps, les vents viennent de cette direction à +/- 10° (donc entre 270° et 290°).

0° correspond au nord, 90° à l'est, 180° au sud et 270° à l'ouest.

Cette rose des vents présente 3 directions principales :

- ✖ les vents d'ouest/nord-ouest (280°) peuvent avoir plusieurs origines : circulation générale d'ouest, brise de mer, circulation plaine-montagne, ou Mistral. Ce dernier, qui présente les vitesses de vent les plus fortes, est associé à des conditions diffusives (diffusion normale « DN » dans le formalisme de Doury, cf. encart ci-après) ;
- ✖ le vent de sud-est (140°), souvent associé à la pluie, est traditionnellement appelé « Marin » ;
- ✖ le vent de nord-est (60°) qui est canalisé par la vallée de la Durance.



Mât de la Grande Bastide

Le vent de nord-est est essentiellement constaté de nuit et a en général une origine thermique (vent catabatique).

3.1.5.2 Gradient thermique vertical et conditions de diffusion

Le vent seul ne permet pas d'avoir une perception exacte des conditions atmosphériques, il faut également connaître le **gradient thermique vertical** (c'est-à-dire la variation de la température avec l'altitude) qui donne une indication de la stabilité atmosphérique, c'est-à-dire de la capacité de brassage thermique de l'air sur la verticale.

Le mécanisme sous-jacent du brassage d'origine thermique est le suivant : du fait de la baisse de la pression atmosphérique avec l'altitude, un volume d'air élémentaire déplacé vers le haut se détend, et par conséquent se refroidit. Ainsi, pour une élévation de 100 m, l'air saturé en eau se refroidit de 0,5°C (gradient pseudo-adiabatique).

36

Partie 1

L'évolution de la température de l'atmosphère avec l'altitude peut cependant s'écarter de ces conditions (cf. la figure suivante) :

- * Si le gradient vertical de température de l'atmosphère est **inférieur** au gradient thermique de l'adiabatique, alors tout volume d'air déplacé vers le haut a une température plus élevée que l'air de son voisinage. Il est donc plus léger que l'air qui l'entoure et continue de ce fait de se déplacer vers le haut. **L'atmosphère favorise alors les déplacements de l'air sur la verticale et est qualifiée d'instable.**
- * Si le gradient vertical de température de l'atmosphère est **supérieur** au gradient thermique de l'adiabatique, alors tout volume d'air déplacé vers le haut a une température moins élevée que l'air de son voisinage. Il est donc plus lourd que l'air qui l'entoure et tend à revenir vers le bas à sa position initiale. **L'atmosphère ne favorise alors pas les déplacements de l'air sur la verticale et est qualifiée de stable.**

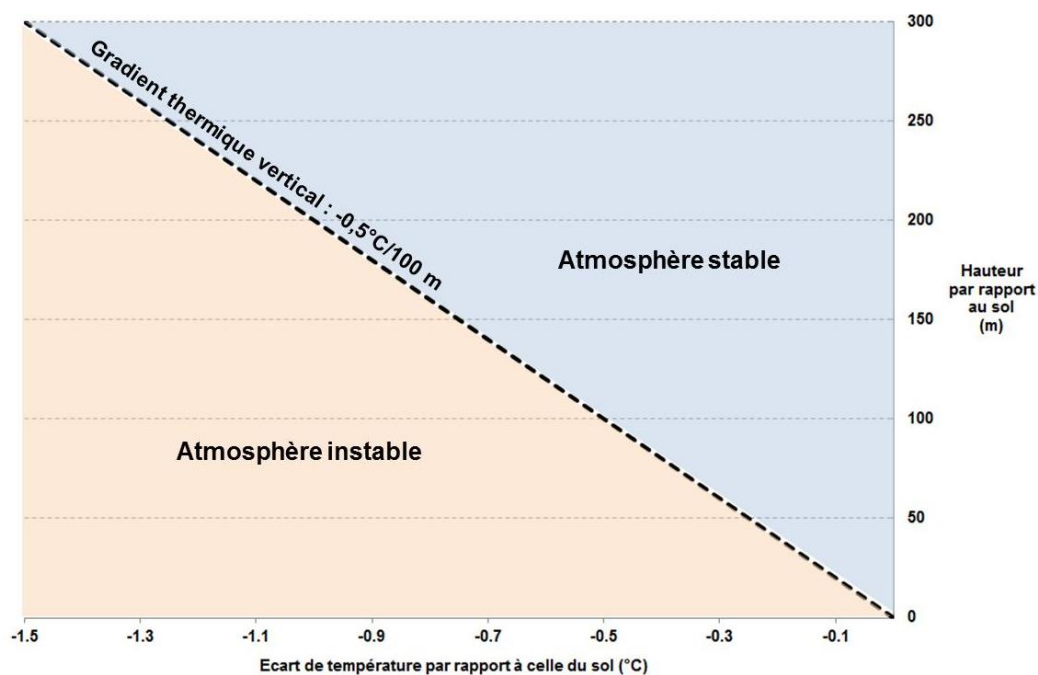


Figure 16 : Comparaison entre gradient vertical de température de l'atmosphère réelle et gradient thermique pseudo-adiabatique

Classes de stabilité de l'atmosphère, dispersion et formalisme de Doury : les conditions de stabilité de l'atmosphère vont avoir un impact sur la dispersion de panaches de gaz. Différents modèles existent, qui lient les paramètres de dispersion aux conditions de stabilité de l'atmosphère. Le modèle établi par Doury, à partir de résultats de plusieurs campagnes de mesures, ne retient que deux classes de stabilité : la diffusion normale (DN) et la diffusion faible (DF), qui sont fonction du gradient thermique vertical de l'atmosphère.

Si le gradient thermique vertical est **inférieur ou égal à $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$** , alors les conditions atmosphériques sont instables, diffusives : c'est la situation de **diffusion normale (DN)**.

Si le gradient thermique vertical est **supérieur à $-0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$** , alors les conditions atmosphériques sont stables, peu diffusives : c'est la situation de **diffusion faible (DF)**.

Les conditions de stabilité atmosphérique pour la zone de Cadarache sont estimées à partir de la mesure du gradient thermique vertical au niveau de la station de la Grande Bastide. Cette mesure est déduite de l'écart des températures mesurées entre le sommet du mât à 110 m et sa base à 2 m.

De manière générale, on constate sur Cadarache une forte probabilité de conditions stables, associées à des conditions de vent faible.

Les mesures indiquent de fréquentes **inversions thermiques** (couche d'air où la température croît avec l'altitude). Cependant, la mesure de température n'étant effectuée qu'en deux points distants, il n'est pas possible de connaître avec précision la hauteur de la couche d'inversion.



Inversion thermique au-dessus du bassin de Cadarache révélée par un écobuage

L'observation de panaches de fumées à proximité du site permet d'observer l'effet d'une couche d'inversion thermique : elle bloque le développement du panache sur la verticale, et celui-ci reste bloqué à une certaine hauteur dans la couche d'inversion.

La condition de stabilité doit aussi être corrélée **à la présence ou à l'absence de pluie**, qui modifie la stabilité atmosphérique et influence le dépôt au sol. Il n'y a pas de conditions stables par temps de pluie, la stabilité ne se développant que par temps clair, sans nuages.

Suivant les conditions de stabilité atmosphérique rencontrées sur Cadarache, on considère trois situations de brassage atmosphérique :

- × diffusion faible – temps sec (DF) ;

- * diffusion normale – temps sec (DN) ;
- * diffusion normale – temps de pluie (DNp).

A chaque situation est associée une rose des vents, celles-ci sont présentées ci-après sous forme de graphique et de tableaux. Ces roses des vents sont utilisées pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques du Centre CEA de Cadarache.

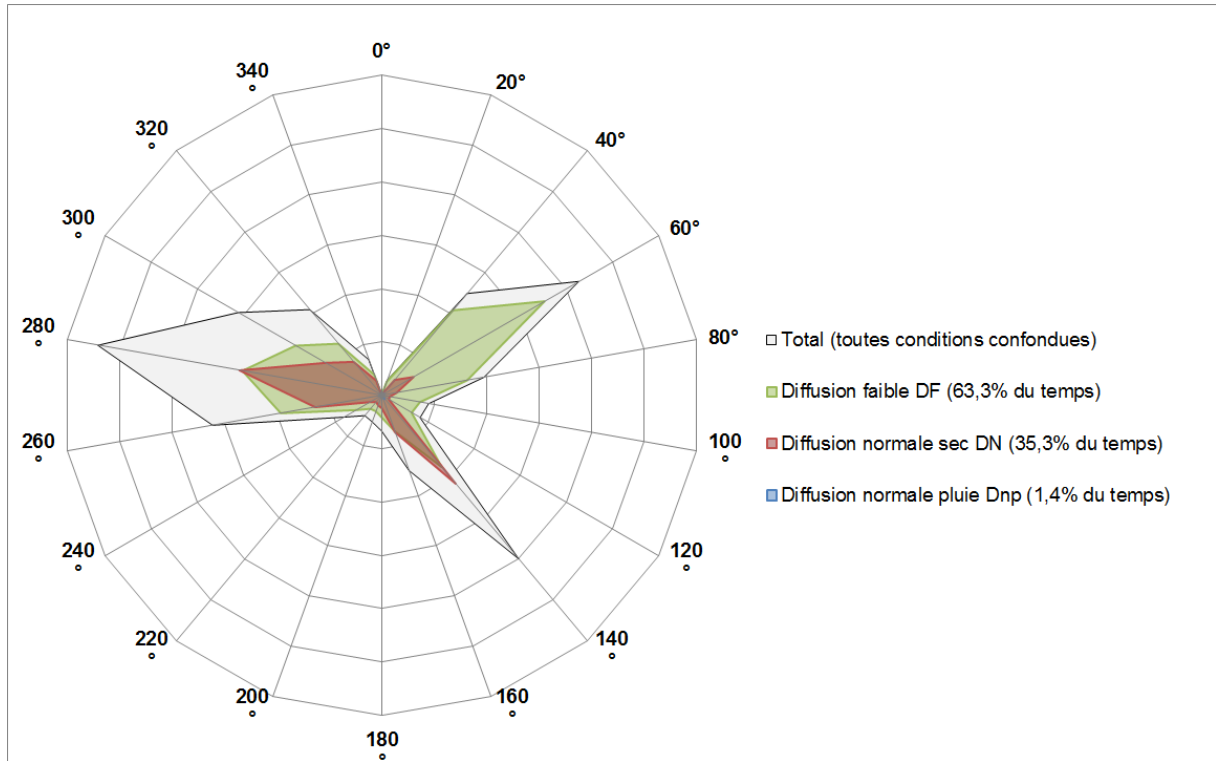


Figure 17 : Rose des vents à la Grande Bastide 110 m présentée suivant les conditions de stabilité atmosphérique rencontrées sur Cadarache (période 1999 – 2001)

La répartition en fréquence met en évidence la prédominance de conditions de diffusion faible. Elles sont associées à une stratification des couches de l'atmosphère, rendue possible par les conditions nocturnes de ciel clair avec de faibles vitesses de vent. A contrario, dès que sont atteintes des conditions de vent modéré (par exemple 3 m/s, soit environ 11 km/h), le brassage généré par la turbulence empêche la formation de ces couches stables de fond de vallée.

Les tableaux ci-après détaillent les répartitions en fréquence pour les trois conditions. À noter que les occurrences mentionnées concernent celles de mesures de vitesses de vent, et ne correspondent donc pas systématiquement à des conditions de vent établi (en effet, il n'y a pas de durée associée à l'occurrence). Sous nos latitudes, les conditions de diffusion faible supposent des écoulements laminaires, qui ne sont pas possibles dans les conditions orographiques du site de Cadarache avec des vitesses de vent supérieures à 3 m/s (écoulements turbulents).

Conditions de diffusion faible (DF)							
Intervalles de vitesses (m/s)	<0,9	[0,9-2[	[2-3[	[3-6[	[6-12[	≥12	
Valeur moyenne de vent (m/s)	0,5	1	2	5	8	13	
Secteur de vent (°)	Diffusion faible - Proportion du temps en ‰						Total (%)
[350-10[	0,02	0,02	0,04	0,08	0,15	0,10	0,04%
[10-30[	0,95	2,16	2,98	1,96	0,13	0,00	0,82%
[30-50[	3,70	12,12	23,30	22,67	0,74	0,00	6,25%
[50-70[	6,29	18,27	38,34	41,55	1,47	0,01	10,59%
[70-90[	5,59	11,36	17,53	14,18	0,23	0,00	4,89%
[90-110[	4,52	6,51	5,99	4,71	0,12	0,00	2,18%
[110-130[	3,18	4,31	4,56	6,66	0,68	0,08	1,95%
[130-150[	3,37	4,55	6,71	24,22	12,43	1,32	5,26%
[150-170[	2,86	3,67	3,72	8,61	2,62	0,04	2,15%
[170-190[	2,72	3,18	2,43	3,48	0,53	0,01	1,23%
[190-210[	2,52	2,92	2,13	1,88	0,07	0,00	0,95%
[210-230[	2,44	3,14	2,63	1,52	0,08	0,01	0,98%
[230-250[	2,50	4,03	4,82	4,69	0,37	0,01	1,64%
[250-270[	2,66	5,10	10,40	33,37	6,01	0,17	5,77%
[270-290[	2,35	5,27	10,88	40,08	20,73	0,40	7,97%
[290-310[	2,12	4,28	8,01	17,58	22,98	1,02	5,60%
[310-330[	1,44	3,00	3,72	7,51	19,19	3,12	3,80%
[330-350[	0,51	1,06	0,94	2,19	5,58	2,18	1,25%
Total (%)	4,97%	9,49%	14,91%	23,70%	9,41%	0,85%	63,3%

Tableau 4 : Rose des vents en conditions de diffusion faible – temps sec (DF)

Conditions de diffusion normale – temps sec (DN)							
Intervalles de vitesses (m/s)	<0,9	[0,9-2[	[2-3[	[3-6[	[6-12[	≥12	
Valeur moyenne de vent (m/s)	0,5	1	2	5	8	13	
Secteur de vent (°)	Diffusion normale sec - Proportion du temps en ‰						Total (%)
[350-10[	0,01	0,01	0,01	0,01	0,08	0,01	0,01%
[10-30[	0,06	0,18	0,33	0,33	0,01	0,00	0,09%
[30-50[	0,38	1,35	3,63	5,54	0,50	0,01	1,14%
[50-70[	0,92	3,38	8,18	7,70	0,55	0,01	2,07%
[70-90[	0,89	2,58	3,25	1,71	0,08	0,04	0,86%
[90-110[	0,81	1,61	1,44	0,53	0,06	0,01	0,45%
[110-130[	0,64	1,31	1,15	1,30	0,35	0,03	0,48%
[130-150[	0,67	1,10	1,59	20,56	35,84	5,06	6,48%
[150-170[	0,50	0,86	1,12	10,64	8,81	0,21	2,21%
[170-190[	0,57	0,95	0,93	3,89	0,82	0,01	0,72%
[190-210[	0,57	0,87	1,09	2,80	0,56	0,04	0,59%
[210-230[	0,50	0,99	1,23	1,70	0,33	0,04	0,48%
[230-250[	0,40	1,01	1,59	3,85	0,67	0,01	0,75%
[250-270[	0,58	1,59	3,28	22,60	9,83	0,16	3,80%
[270-290[	0,50	1,81	5,35	42,97	30,06	0,64	8,13%
[290-310[	0,38	1,64	3,77	11,93	17,14	1,76	3,66%
[310-330[	0,13	0,57	1,50	3,06	15,27	4,15	2,47%
[330-350[	0,02	0,08	0,21	0,54	4,67	3,27	0,88%
Total (%)	0,86%	2,19%	3,96%	14,17%	12,56%	1,55%	35,3%

Tableau 5 : Rose des vents en conditions de diffusion normale – temps sec (DN)

Conditions de diffusion normale – temps de pluie (DNp)							
Intervalles de vitesses (m/s)	<0,9	[0,9-2[	[2-3[	[3-6[	[6-12[	≥12	
Valeur moyenne de vent (m/s)	0,5	1	2	5	8	13	
Secteur de vent (°)	Diffusion normale pluie - Proportion du temps en ‰						Total (%)
[350-10[	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00%
[10-30[	0,01	0,02	0,04	0,04	0,00	0,00	0,01%
[30-50[	0,02	0,08	0,22	0,51	0,08	0,00	0,09%
[50-70[	0,06	0,12	0,47	0,70	0,29	0,00	0,16%
[70-90[	0,06	0,15	0,21	0,47	0,07	0,00	0,10%
[90-110[	0,05	0,06	0,17	0,19	0,06	0,00	0,05%
[110-130[	0,06	0,11	0,16	0,28	0,10	0,02	0,07%
[130-150[	0,03	0,12	0,15	1,15	1,18	0,04	0,27%
[150-170[	0,06	0,09	0,13	0,43	0,55	0,03	0,13%
[170-190[	0,06	0,08	0,05	0,18	0,16	0,01	0,05%
[190-210[	0,04	0,05	0,09	0,08	0,07	0,00	0,03%
[210-230[	0,04	0,03	0,07	0,06	0,02	0,00	0,02%
[230-250[	0,04	0,07	0,08	0,19	0,06	0,00	0,04%
[250-270[	0,04	0,12	0,13	0,52	0,11	0,02	0,09%
[270-290[	0,06	0,08	0,21	0,78	0,17	0,01	0,13%
[290-310[	0,04	0,06	0,19	0,26	0,08	0,00	0,06%
[310-330[	0,01	0,04	0,06	0,05	0,17	0,04	0,04%
[330-350[	0,00	0,01	0,03	0,04	0,08	0,03	0,02%
Total (%)	0,07%	0,13%	0,25%	0,59%	0,33%	0,02%	1,4%

Tableau 6 : Rose des vents en conditions de diffusion normale – temps de pluie (DNp)

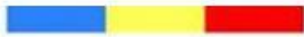
Qualification du vent pour Météo France¹ : sur terre, l'expression de **vent calme** traduit l'absence de vent ou l'existence d'un vent excessivement faible, de 1 ou 2 km/h au maximum (< 1 m/s). Au-delà, jusqu'à une douzaine de km/h (~ 3 m/s), souffle le **vent faible** (encore appelé vent léger), qui est un vent discret, mais perceptible. Au-delà, jusqu'à une trentaine de km/h (~ 8 m/s), vient le **vent modéré**, qui est un vent nettement perçu, mais sans effets gênants. Au-delà, jusqu'à une cinquantaine de km/h au maximum (~ 13 m/s) souffle le **vent assez fort**, perçu comme un facteur important de l'environnement instantané et comme un porteur possible d'effets gênants, en raison notamment des rafales susceptibles de l'accompagner. Le **vent fort**, ensuite, est perçu comme un facteur prioritaire de l'environnement immédiat et comme un porteur possible d'effets très gênants, avec une vitesse pouvant atteindre environ 75 km/h (~ 21 m/s), et des rafales proches de la centaine de km/h (~ 28 m/s).

La rose des vents est représentative des conditions de vent dans l'environnement immédiat (quelques kilomètres) ; à une plus grande échelle les conditions de vent sont très différentes, comme le montre la carte suivante, à l'échelle de la région PACA.

¹ D'après : <http://www.meteofrance.fr/publications/glossaire/154552-vent>

Vitesse de vent

[2-4] [5-8] > 8 m/s
[7-14] [18-29] > 29 km/h



30%



0%



% de vent calme
(max 1-2 km/h)

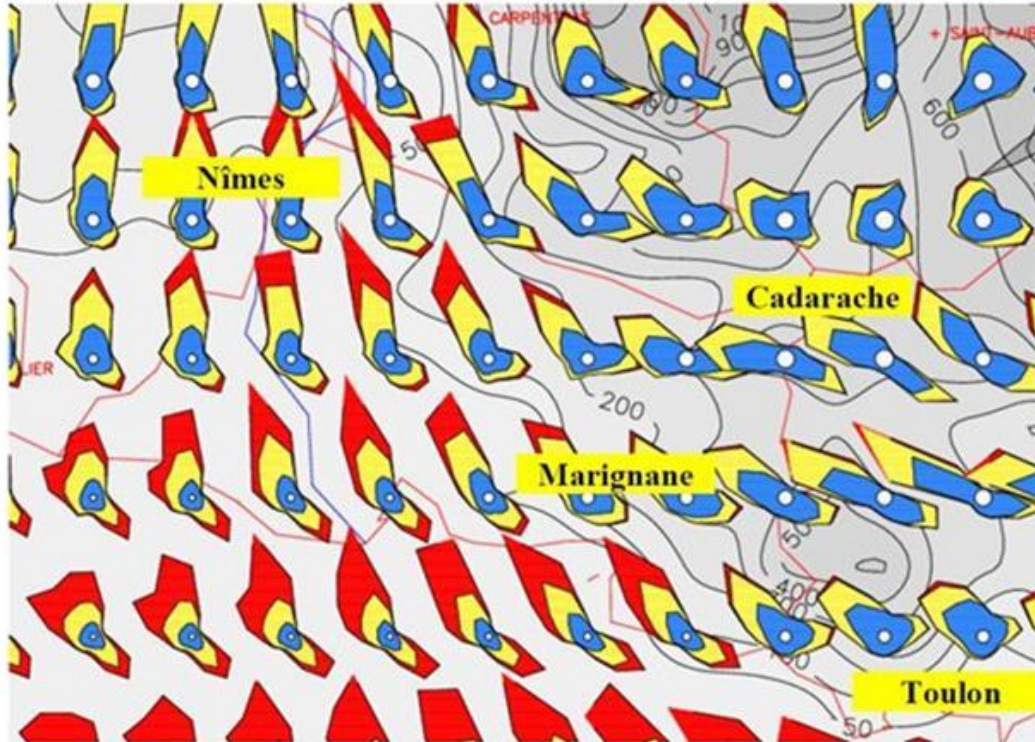


Figure 18 : Variation de la rose des vents sur la région PACA (Source : Météo France)

On constate sur la figure précédente :

- × la réorientation du Mistral qui passe d'une direction nord dans la vallée du Rhône, à une direction ouest dans le secteur de Cadarache ;
- × l'atténuation de la vitesse du vent dans le secteur de Cadarache avec l'augmentation de la probabilité de vents calmes.

3.2- Qualité de l'air

3.2.1- Caractérisation de la qualité chimique de l'air

3.2.1.1 Objectifs de qualité chimique de l'air

Les objectifs de qualité chimique de l'air, les seuils d'alerte et les valeurs limites sont définis à l'article R. 221-1 du code de l'environnement. Cet article fixe également un ensemble de valeurs repères importantes pour la protection de la santé humaine et de l'environnement, dont les valeurs sont précisées dans le Tableau 7 :

- * une « valeur limite » correspond à un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser (en d'autres termes un niveau maximal supportable pendant une durée limitée) ; il est fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble ;
- * un « objectif de qualité » correspond à un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ;
- * un « seuil d'information et de recommandation » correspond à un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population, et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions ;
- * un « seuil d'alerte » correspond à un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population, ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence ;
- * un « niveau critique » correspond à un niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, au-delà duquel des effets nocifs directs peuvent se produire sur certains récepteurs, tels que les arbres, les autres plantes ou écosystèmes naturels, à l'exclusion des êtres humains.

	Valeurs limites (santé humaine)	Objectifs de qualité (santé humaine et environnement)	Seuils d'information et de recommandation (santé humaine, groupes sensibles)	Seuils d'alerte (santé humaine et l'environnement)	Niveaux critiques pour la protection de la végétation
NO ₂	- moyenne annuelle civile : 40 µg/m ³ - moyenne horaire : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile	moyenne annuelle civile : 40 µg/m ³	moyenne horaire : 200 µg/m ³	moyenne horaire : - 400 µg/m ³ - 200 µg/m ³ si dépassement de ce seuil la veille et risque de dépassement le lendemain	
NO _x					moyenne annuelle civile (équivalent à du NO ₂) : 30 µg/m ³
PM ₁₀	Pour la protection de la santé humaine : - moyenne annuelle civile : 40 µg/m ³ - moyenne journalière : 0 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par année civile	moyenne annuelle civile : 30 µg/m ³	moyenne sur 24h : 50 µg/m ³ (selon modalités de déclenchement définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement)		
PM _{2,5}	moyenne annuelle civile : 25 µg/m ³ (augmentés de marges de dépassement indiquées dans l'article pour les années antérieures à 2015)	moyenne annuelle civile : 10 µg/m ³			
Plomb	moyenne annuelle civile 0,5 µg/m ³	moyenne annuelle civile : 0,25 µg/m ³			

	Valeurs limites (santé humaine)	Objectifs de qualité (santé humaine et environnement)	Seuils d'information et de recommandation (santé humaine, groupes sensibles)	Seuils d'alerte (santé humaine et l'environnement)	Niveaux critiques pour la protection de la végétation
SO ₂	pour la protection de la santé humaine : moyenne journalière : 125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par année civile. - moyenne horaire : 350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile.	moyenne annuelle civile : 50 µg/m ³	moyenne horaire : 300 µg/m ³	moyenne horaire : 500 µg/m ³ dépassés pendant 3 heures consécutives	- moyenne annuelle : 20 µg/m ³ - moyenne hivernale (1 ^{er} oct-1 ^{er} mars) : 20 µg/m ³
CO	pour la protection de la santé humaine : Maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures : 10 mg/m ³				
Ozone O ₃		pour la protection de la santé humaine : max journalier de la moyenne sur 8 h, pendant une année civile : 120 µg/m ³ pour la protection de la végétation : 6 000 µg/m ³ par heure à partir des valeurs enregistrées sur une heure de mai à juillet	moyenne horaire : 180 µg/m ³	Seuil d'alerte, en moyenne horaire, pour une protection sanitaire pour toute la population : 240 µg/m ³ Seuils, en moyenne horaire, pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence : 1 ^{er} seuil : 240 µg/m ³ dépassés pendant 3 h consécutives 2 ^{ème} seuil : 300 µg/m ³ dépassé pendant 3 h consécutives 3 ^{ème} seuil : 360 µg/m ³	
Benzène	moyenne annuelle civile : 5 µg/m ³	moyenne annuelle civile : 2 µg/m ³			

Nota 1 : 1 µg = 1 microgramme = 0,001 mg

Nota 2 : PM_{2,5} et PM₁₀ = poussières aérodynamiques de diamètre inférieur à 2,5 et 10µm respectivement

Tableau 7 : Valeurs de référence en matière de qualité chimique de l'air (article R.221-1 du code de l'environnement)

Les valeurs réglementaires relatives à la qualité de l'air, ainsi définies, seront utilisées :

- * afin d'évaluer la qualité actuelle de l'air au niveau du Centre de Cadarache ;
- * pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques induits par le projet.

Le contexte institutionnel relatif au climat et à la qualité de l'air est présenté en annexe 3.

3.2.1.2 Caractérisation de la qualité chimique de l'air à proximité du centre de Cadarache

Dans la région Provence Alpes Côte d'Azur, la qualité de l'air est vérifiée en continu par l'association AtmoSud (anciennement Air PACA) grâce à des stations fixes où sont mesurées les concentrations en différents polluants. De plus, AtmoSud dispose de stations mobiles (véhicules laboratoires, cabines) de mesure de polluants de l'air permettant de multiplier les campagnes mobiles en sillonnant le territoire. Elle peut également mettre en place des campagnes de mesures temporaires sur certains sites.

AtmoSud dispose d'une cinquantaine de stations fixes de mesure sur le département des Bouches-du-Rhône (Figure 19).

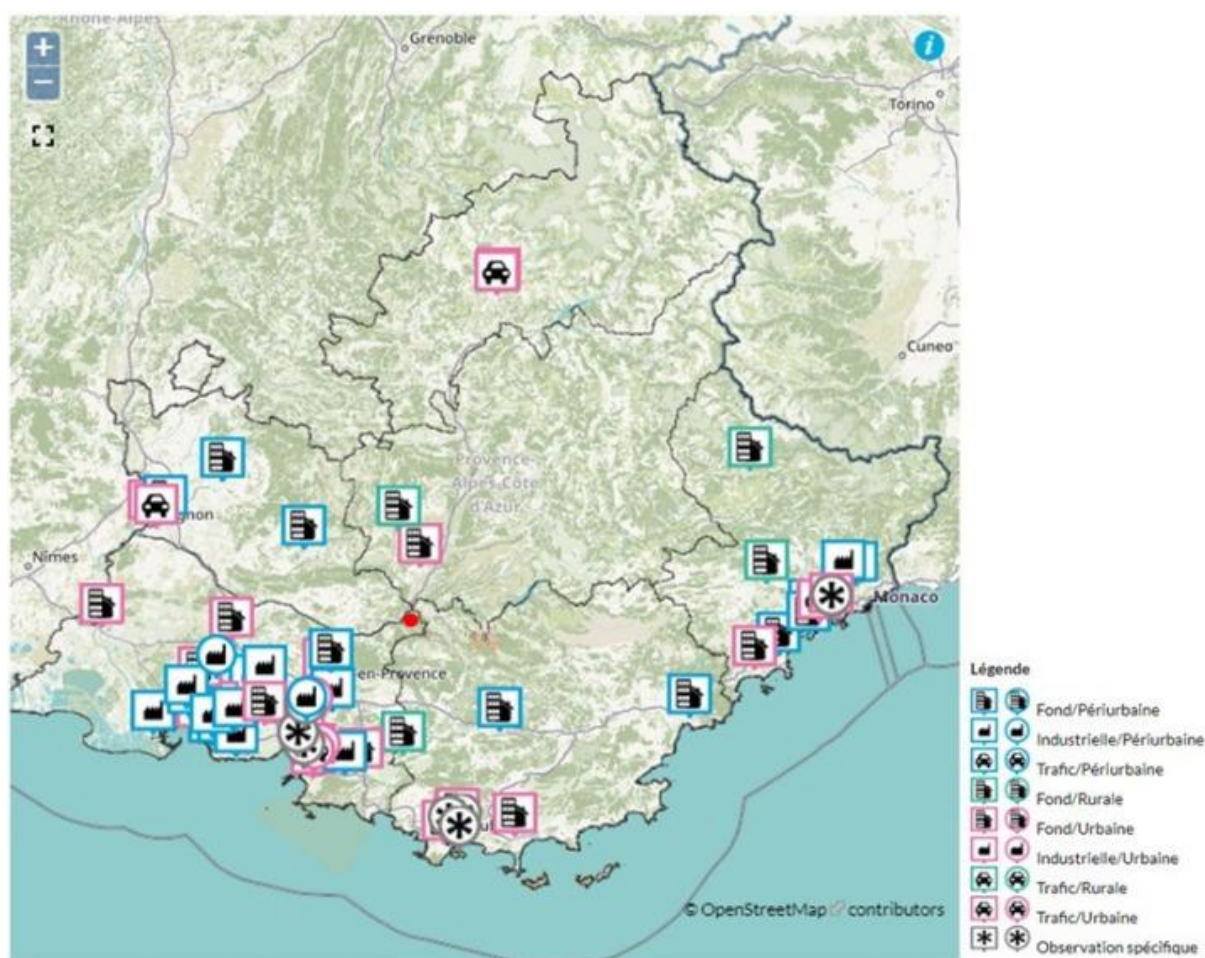


Figure 19 : Stations fixes de mesures de la qualité de l'air en région PACA (Atmosud)

La surveillance de la qualité de l'air permet de mettre en évidence la baisse régulière, par rapport à l'année de référence 2000, des concentrations de polluants réglementés en région PACA (Figure 20). Cette tendance suit celle observée à l'échelle nationale.

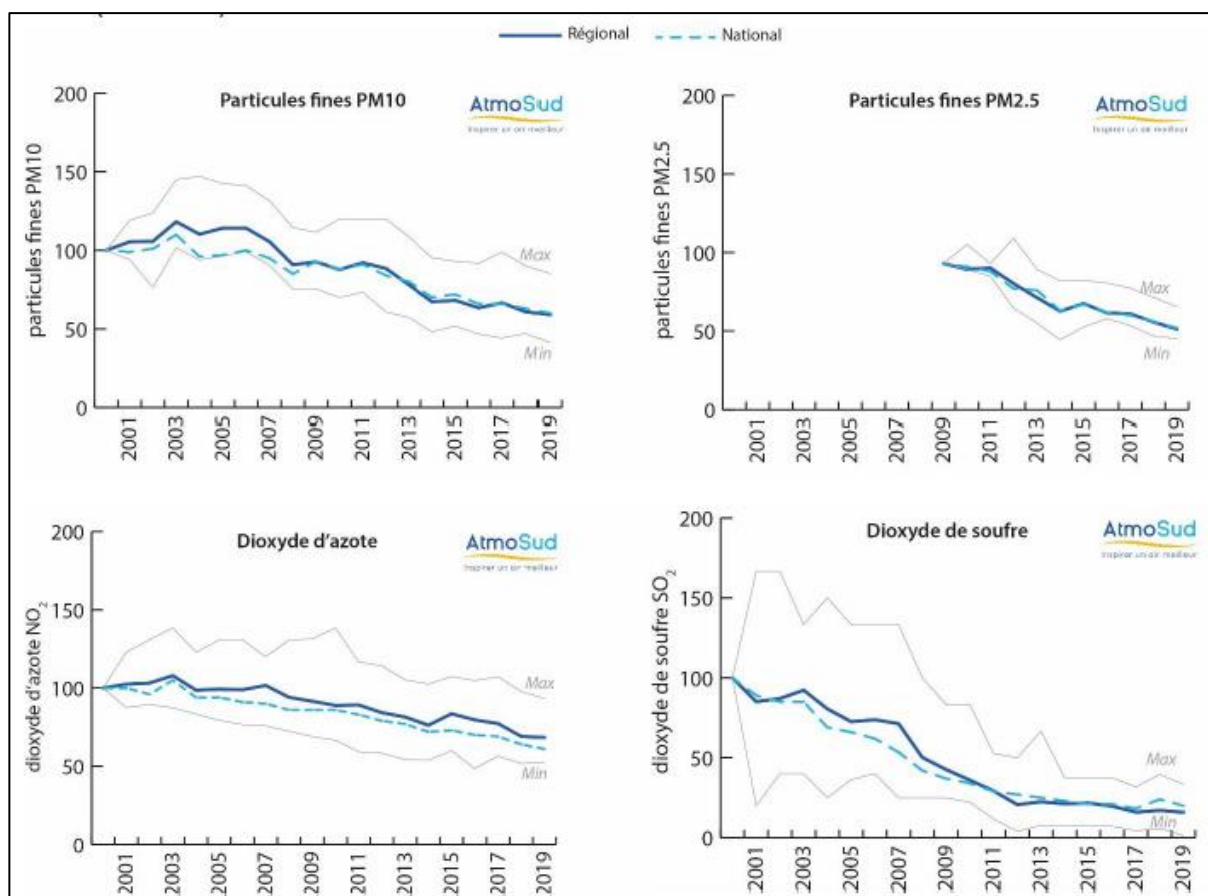


Figure 20 : Évolution depuis 2000 des concentrations de polluants réglementés dans l'air, en région PACA

La diminution des concentrations mesurées en polluants est le résultat d'un renforcement de nombreuses réglementations en matière d'émissions, d'une amélioration des procédés industriels et des technologies de dépollution. Cette tendance globale à la baisse se combine cependant avec des fluctuations annuelles, en lien direct avec la rigueur climatique (conditionnant en particulier les besoins en combustible de chauffage). On observe par ailleurs des disparités locales sur la région : les zones les plus urbanisées du territoire, où les sources de pollution sont les plus nombreuses et dans lesquelles la dispersion des polluants est moins efficace, présentent des concentrations plus élevées.

On notera que la concentration en ozone dans la région ne suit pas cette même tendance à la baisse (Figure 21). Les températures estivales élevées et l'influence du climat Méditerranéen constituent en effet des conditions propices à la formation de polluants secondaires comme l'ozone (dont les précurseurs sont notamment les polluants d'origine industrielle et automobile). Les conditions météorologiques caniculaires en périodes estivales, communes aux régions du Sud de la France, favorisent la formation et l'accumulation d'ozone.

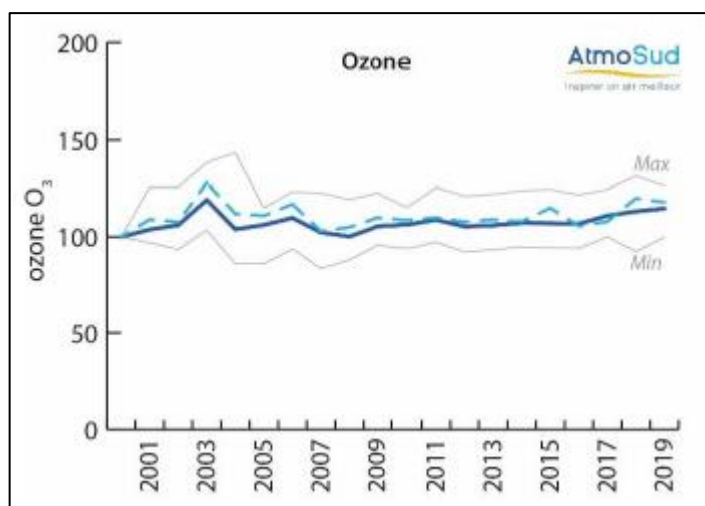


Figure 21 : Évolution de la concentration en ozone depuis 2000, en région PACA

Plus localement, la Figure 22 présente les contributions des principaux secteurs à la pollution chimique de l'air de la commune de Saint-Paul-lez-Durance.

Le transport routier est majoritairement à l'origine des émissions des polluants sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance : particules et oxydes d'azote NO_x , (véhicules diesel, poids lourds notamment), benzène (véhicules essence) et de certains métaux lourds inclus dans les carburants.

Le résidentiel / tertiaire émet essentiellement des polluants liés à la combustion (chauffage, brûlages...). Il s'agit du monoxyde de carbone CO , du dioxyde de soufre SO_2 , des particules et du Benzo(a)Pyrène B(a)P, induit par le chauffage domestique.

L'industrie est moins présente sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance, contribuant pour moins de 13 % environ pour les particules, le dioxyde de soufre, les composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), et certains métaux.

L'agriculture, sylviculture et nature est le principal émetteur en COVNM parmi lesquels ceux d'origine naturelle sont majoritaires.

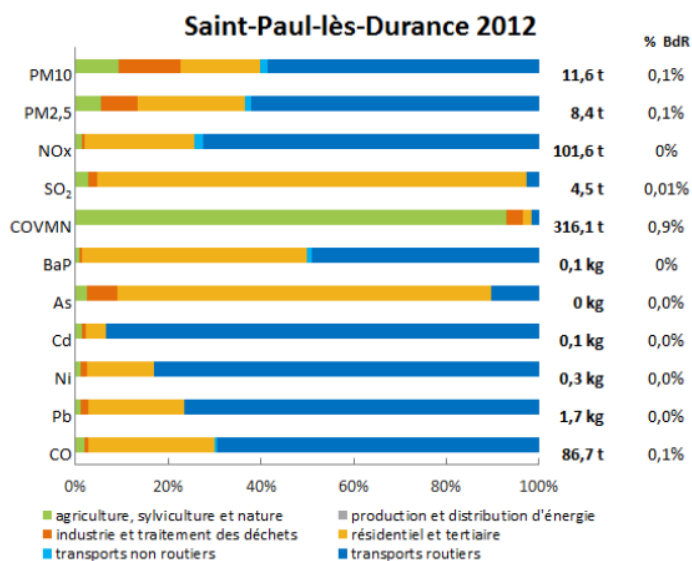


Figure 22 : Contributions des principaux secteurs à la pollution chimique de l'air de la commune de Saint-Paul-lez-Durance (source données : inventaire 2012-v2014, AtmoSud)

À titre indicatif, les seuils de recommandation et d'alerte n'ont jamais été atteints vis-à-vis des concentrations volumiques en SO₂, CO et NO_x à Saint-Paul-lez-Durance, durant la période pendant laquelle ces paramètres y étaient mesurés. En revanche, pour l'ozone, la valeur cible pour la protection de la santé humaine (120 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures) est régulièrement dépassée (plus de 25 jours par an). Ce phénomène est dû au transfert atmosphérique de la pollution émise dans les régions situées au sud de Cadarache (Figure 23).

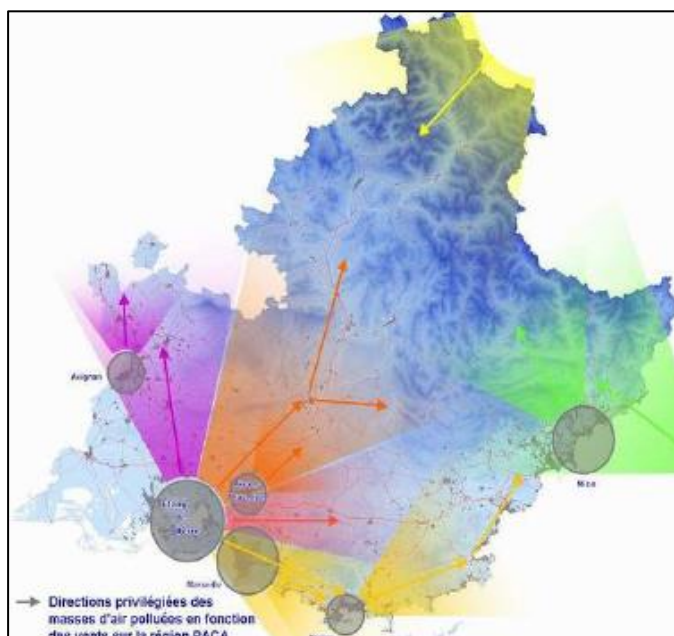


Figure 23 : Directions privilégiées des masses d'air polluées en fonction des vents en PACA (PPA des Bouches du Rhône)

La station fixe de mesure de qualité de l'air la plus proche de Cadarache est celle de Manosque. La concentration moyenne journalière en ozone (O_3), mesurée à la station de Manosque depuis 2010, est présentée sur la Figure 24 (Source : Atmosud). Elle met en évidence les variations saisonnières, avec des périodes estivales où l'objectif de qualité est régulièrement dépassé.

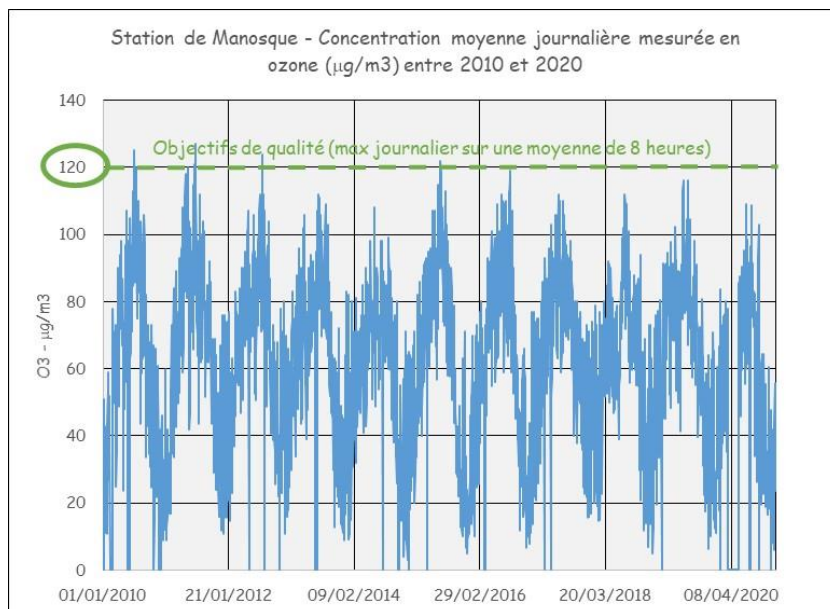


Figure 24 : Concentration en ozone dans l'air (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la station de Manosque depuis 2010 (source données : AtmoSud)

Le Tableau 8 présente les moyennes annuelles des concentrations en polluants mesurées sur la station de Manosque, depuis 2010.

Moyennes annuelles des polluants mesurés sur la station de Manosque depuis 2010						
Année	NO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO _x $\mu\text{g}/\text{m}^3$	O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM _{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2010				62,49		
2011				65,22		
2012				65,39		
2013	4,00	12,86	18,95	62,11		
2014	3,37	11,38	16,54	59,61	18,53	11,47
2015	3,76	11,91	17,80	62,03	17,60	12,46
2016	4,54	11,82	18,93	60,95	15,94	11,22
2017	3,82	11,52	17,48	64,85	17,97	12,80
2018	2,9	10,1	14,7	60	16,8	
2019	2,7	10,2	14,4	64,6	13,4	8,2
2020	2,4	8,6	12,3		13,3	8,4
2021	2,5	8,3		60,4	13,7	8,0

Tableau 8 : Moyennes annuelles depuis 2010 des polluants mesurés sur la station de Manosque (source données : AtmoSud)

L'indice Synthétique Air (ISA) pour la région PACA en 2017, basé sur les concentrations annuelles en particules (PM₁₀), ozone et dioxydes d'azote (NO₂), est présenté sur la Figure 25.

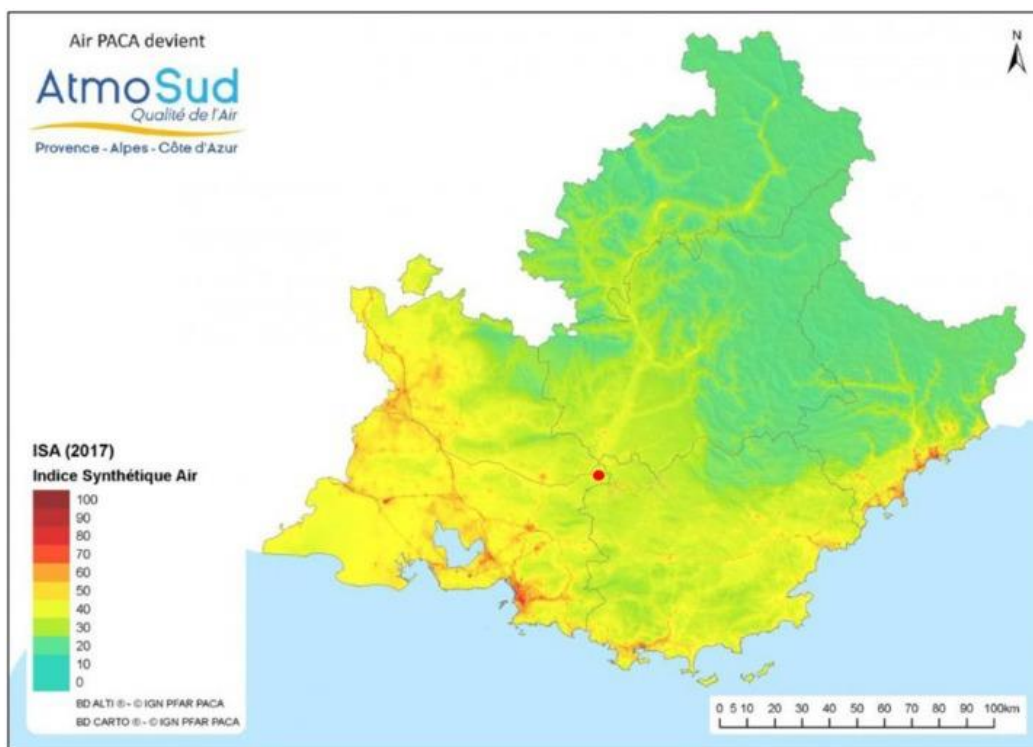


Figure 25 : Indice Synthétique Air pour la région PACA en 2017 (source données : AtmoSud)

Les pôles urbains denses (Aix-Marseille, Avignon, Toulon, Nice, Cannes), ainsi que la zone industrielle de Fos-Berre et les grands axes routiers, restent les zones de plus forte exposition de la population à la pollution. La qualité de l'air aux environs de Cadarache est globalement bonne. Les niveaux de particules sont à l'origine de presque tous les indices mauvais, rencontrés principalement en période hivernale (chauffage collectif, brûlages...). L'ozone est en cause en période estivale.

3.2.2- Caractérisation de la qualité radiologique de l'air

3.2.2.1 Limites

Il n'existe à l'heure actuelle aucune valeur guide de qualité radiologique de l'air en Europe ou en France.

Les **limites annuelles de dose efficace ajoutée** en vigueur, fixées dans le code de la santé publique, sont les suivantes :

- × pour le public : 1 mSv/an (cela ne concerne ni l'exposition médicale ni l'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle) ;
- × pour les travailleurs : 20 mSv/an, cependant les femmes enceintes ne doivent pas dépasser la dose d'1 mSv/an au niveau de l'abdomen, le fœtus étant considéré comme public.

3.2.2.2 Caractérisation de la qualité radiologique de l'air du Centre de Cadarache

Le laboratoire d'analyses nucléaires et de surveillance de l'environnement (LANSE) du CEA de Cadarache effectue des contrôles sur les aérosols, les halogènes et le tritium.

Il mesure par ailleurs la radioactivité des retombées humides (précipitations) et l'irradiation ambiante. Les stations fixes de la Grande Bastide, de la Verrerie et de Cabri assurent le contrôle et la surveillance atmosphérique à l'intérieur du Centre.

À l'extérieur du site, deux stations sont placées sous les vents dominants : la station de Ginasservis et la station de Saint-Paul-lez-Durance.

Aérosols (particules en suspension)

Des mesures d'activités α global et β global sur des prélèvements d'aérosols (filtres) sont réalisées de façon journalière sur les stations de Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance, la Grande Bastide et la Verrerie. Les activités volumiques (alpha global et bêta global) moyennes calculées annuellement à partir des mesures journalières réalisées sur les filtres de 2017 à 2021 sont reportées dans les Tableau 9 et Tableau 10. Tous les types de mesures ne sont pas effectués systématiquement pour toutes les stations, en accord avec le programme de surveillance radiologique de l'environnement du Centre de Cadarache.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique alpha global moyenne (Bq/m ³)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Grande Bastide	4,5E-05	3,8E-05	4,8E-05	4,8E-05	5,2E-05
Verrerie	5,6E-05	3,9E-05	4,7E-05	5,2E-05	5,5E-05
St-Paul-lez-Durance	4,9E-05	3,7E-05	4,4E-05	4,9E-05	5,2E-05
Ginasservis	4,7E-05	3,9E-05	4,8E-05	5,1E-05	5,7E-05

Tableau 9 : Activités volumiques moyennes α global des aérosols (en Bq/m³) calculées annuellement de 2017 à 2021

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique bêta global moyenne (Bq/m ³)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Grande Bastide	5,8E-04	6,4E-04	6,3E-04	7,1E-04	6,9E-04
Verrerie	7,4E-04	6,0E-04	6,4E-04	7,4E-04	7,3E-04
St-Paul-lez-Durance	6,5E-04	6,4E-04	6,2E-04	7,3E-04	7,0E-04
Ginasservis	6,2E-04	6,5E-04	6,4E-04	7,4E-04	7,4E-04

Tableau 10 : Activités volumiques moyennes β global des aérosols (en Bq/m³) calculées annuellement de 2017 à 2021

Les activités mesurées sont essentiellement dues aux poussières radioactives naturellement présentes dans l'air et qui se déposent sur les filtres. La réalisation de mesure par spectrométrie gamma sur les filtres d'aérosols permet de retrouver par exemple :

- le **Béryllium-7**, radionucléide solide émetteur γ résultant de l'interaction du rayonnement cosmique avec la haute atmosphère ;
- le **Ploomb-210**, descendant solide du Radon-222.

À titre indicatif, le bilan de l'état radiologique de l'environnement français 2018 à 2020 réalisé par l'IRSN montre des activités volumiques de Beryllium-7 et de Plomb-210 dans l'atmosphère qui varient en fonction des saisons et des régions. Les activités mesurées sont de l'ordre de 0,3 à 0,7 mBq/m³ pour le Plomb-210 et de 2 à 10 mBq/m³ pour le Béryllium-7 (voir Figure 27). Les valeurs observées à Cadarache sont donc comparables aux bornes inférieures de celles observées en France.

Halogènes

Des mesures d'activités en Iode 131 représentatif des halogènes sont effectuées de façon hebdomadaire sur des cartouches de charbon actif, prélevées au niveau des stations de la Grande Bastide, de la Verrerie, de Cabri, de Ginasservis et de Saint-Paul-lez-Durance. Les résultats d'activité volumique moyenne en ¹³¹I, calculés annuellement à partir des mesures réalisées entre 2017 et 2021 sur les cartouches sont reportés dans le Tableau 11 :

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne en ¹³¹ I (Bq/m ³)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Grande Bastide	< 1,6E-03	< 1,9E-03	< 1,3E-03	< 1,3E-03	< 1,4E-03
Verrerie	< 1,6E-03	< 9,2E-03	< 1,3E-03	< 2,0E-03	< 1,7E-03
Cabri	< 1,4E-03	< 1,1E-03	< 1,9E-03	< 1,3E-03	< 1,5E-03
Saint-Paul-lez-Durance	< 1,7E-03	< 1,6E-03	< 1,2E-03	< 1,4E-03	< 1,5E-03
Ginasservis	< 1,8E-03	< 1,3E-03	< 1,4E-03	< 1,8E-03	< 2,3E-03

Tableau 11 : Activités volumiques moyennes en ¹³¹I (en Bq/m³) calculées annuellement de 2017 à 2021

Les analyses effectuées sur la période 2017-2021 sur les cartouches des 5 stations de surveillance donnent des résultats non significatifs. Les valeurs moyennes reportées correspondent au seuil de décision maximum. Il n'y a donc aucun impact sur l'environnement dû aux rejets des halogènes du Centre CEA de Cadarache.

Un peu de métrologie...

Les notions de « seuil de décision » (SD) et de « valeur non significative » sont expliqués rapidement ci-dessous pour faciliter la lecture de la suite. Des explications plus détaillées peuvent être trouvées dans les définitions données à la fin du document, à l'entrée L : « Limite de quantification de méthodes d'analyses et termes apparentés ».

Seuil de Décision (SD) : Dans le cas de la recherche de très faibles activités, la mesure d'un échantillon peut donner un résultat très proche de celui obtenu lors de la détermination du bruit de fond (bdf) de l'installation de mesure (signal détecté en l'absence du radionucléide recherché).

Le seuil de décision correspond à une valeur de comptage, pour laquelle on estime que, compte-tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer avec une probabilité suffisamment élevée de ne pas se tromper, qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré.

Valeur non significative : Une valeur est dite non significative lorsqu'elle est inférieure au seuil de décision. Les résultats non significatifs sont exprimés : « inférieurs au seuil de décision » (< SD)

Tritium (^3H)

Les mesures d'activités du tritium sont effectuées de façon hebdomadaire sur les stations de la Grande Bastide, de la Verrerie, de Cabri et de Saint-Paul-lez-Durance. Elles sont réalisées en deux étapes :

- ✗ le tritium de l'air sous forme de vapeur d'eau (HTO) et sous forme gazeux (HT) est piégé en continu dans des flacons contenant de l'eau appelés « barboteurs » ;
- ✗ l'activité en tritium de l'eau de ces barboteurs est ensuite mesurée en différé par scintillation liquide.

Les résultats des mesures d'activité du tritium réalisées entre 2017 et 2021 sur les barboteurs au niveau des quatre stations sont reportés dans le Tableau 12. On constate qu'ils sont tous inférieurs au seuil de décision requis par la réglementation ($< 0,5 \text{ Bq/m}^3$). Seules quelques mesures significatives ont été mesurées en 2019 et 2020 à la station de Cabri, à l'occasion du fonctionnement du réacteur CABRI.



Barboteur pour la mesure du tritium

Station de surveillance de l'environnement		Activité volumique moyenne en Tritium (Bq/m^3)				
		2017	2018	2019	2020	2021
Grande Bastide	Phase vapeur d'eau	< 0,22	< 0,14	< 0,14	< 0,24	< 0,14
	Phase gazeuse	< 0,21	< 0,14	< 0,22	< 0,13	< 0,13
Verrerie	Phase vapeur d'eau	< 0,30	< 0,14	< 0,13	< 0,25	< 0,14
	Phase gazeuse	< 0,29	< 0,14	< 0,14	< 0,13	< 0,14
Cabri	Phase vapeur d'eau	< 0,22	< 0,13	0,38	0,26	< 0,12
	Phase gazeuse	< 0,22	< 0,14	< 0,13	0,47	< 0,13
Saint-Paul-lez-Durance	Phase vapeur d'eau	< 0,22	< 0,14	< 0,12	< 0,25	< 0,12
	Phase gazeuse	< 0,14	< 0,13	< 0,12	< 0,12	< 0,13

Tableau 12 : Activités volumiques moyennes en tritium (en Bq/m^3) mesurées de 2017 à 2021

Dans son « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 », l'IRSN indique que l'activité en tritium d'origine naturelle est de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq/L dans l'eau, ce qui correspond à des activités de l'ordre de 0,001 à 0,006 Bq/m^3 d'air (tritium sous forme de vapeur d'eau).

Les activités en tritium mesurées dans l'environnement sont toujours supérieures à ces valeurs, car à ce tritium naturel s'ajoute la rémanence du tritium apporté par les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires dans l'hémisphère nord de 1945 à 1980, mais principalement entre 1953 et 1963. L'activité en tritium dans l'eau de pluie a ainsi atteint un maximum de près de 600 Bq/L en 1963. Elle a considérablement décru ensuite, après l'arrêt des essais atmosphériques d'armes nucléaires. Le bruit de fond du tritium varie maintenant de 0,3 à 2 Bq/L dans l'eau de pluie, ce qui correspond à une activité de l'air de l'ordre de 0,005 à 0,01 Bq/m^3 (voir Figure 27).

Gaz rares

Les gaz rares sont des gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont le néon, l'hélium, le krypton, le xénon et le radon.

Les gaz rares atmosphériques sont mesurés en continu à l'aide de chambres d'ionisation différentielles à circulation de gaz sur les stations de Cabri, de la Grande Bastide et de la Verrerie. Les mesures réalisées par ces chambres sont ensuite ramenées à une activité volumique en équivalent-radon.

Les activités volumiques moyennes des gaz rares calculées annuellement entre 2017 et 2021 à partir des mesures des chambres d'ionisation, sont reportées dans le Tableau 13.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne en gaz rares (Bq/m ³ équivalent radon)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Grande Bastide	21,7	18,9	18,4	<i>renouvellement en cours</i>	43
Verrerie	18,4	21,4	26,4	27	27
Cabri	26,1	<i>hors service</i>	<i>hors service</i>	<i>renouvellement en cours</i>	14

Tableau 13 : Activités volumiques moyennes des gaz rares (en Bq/m³ équivalent radon) calculées annuellement 2017 à 2021 sur les stations de surveillance

Carbone 14

Les mesures d'activité du carbone 14 sont effectuées de façon mensuelle sur les stations de la Verrerie, de Ginasservis et de Saint-Paul-lez-Durance. Elles sont réalisées en deux étapes :

- × le carbone 14 présent dans l'air sous forme de dioxyde de carbone ou de composés organiques gazeux est piégé dans des flacons appelés « barboteurs » et contenant une solution aqueuse (eau additionnée de soude NaOH pour augmenter le rendement du piégeage) ;
- × l'activité en carbone 14 de la solution aqueuse contenue dans ces barboteurs est ensuite mesurée en différé par scintillation liquide.

Entre 2017 et 2021, les résultats d'activité volumique moyenne annuelle calculée en carbone 14 sur l'ensemble des stations de surveillance, sont présentés dans le Tableau 14. Ils sont tous inférieurs au seuil de décision requis par la réglementation (< 0,1 Bq/m³).

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne en ¹⁴ C (Bq/m ³)				
	2017	2018	2019	2020	2021
Ginasservis	0,063	0,063	0,064	0,067	0,064
Verrerie	0,062	0,070	0,074	0,077	0,070
Saint-Paul-lez-Durance	0,061	0,071	0,066	0,069	0,070

Tableau 14 : Activités volumiques moyennes en ¹⁴C (en Bq/m³) mesurées de 2017 à 2021 sur les stations de surveillance

À titre indicatif, l'IRSN donne dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 un bruit de fond de carbone-14 atmosphérique situé entre 0,02 et 0,06 Bq/m³ (Figure 27). Comme pour le tritium, ce bruit de fond est légèrement supérieur à l'activité d'origine naturelle, du fait de la rémanence des essais atmosphériques d'armes nucléaires dans l'hémisphère nord.

Radon

Compte-tenu de leur fonction d'entreposage de déchets, l'INB n° 56 (Parc d'entreposage) et l'INB n° 164 (CEDRA) font l'objet d'une surveillance particulière dédiée à la mesure du radon (²²²Rn), au moyen de deux stations qui effectuent une mesure en continu de l'activité volumique de ce radionucléide.

Les résultats d'activité volumique moyenne en ²²²Rn calculés annuellement à partir des mesures réalisées entre 2017 et 2021 sur les deux stations sont reportés dans le Tableau 15.

Station de surveillance de l'environnement	Activité volumique moyenne en Radon (Bq/m ³)				
	2017	2018	2019	2020	2021
INB 56 – Parc d'entreposage	27,0	25,6	27,7	26,8	32,6
INB 164 – CEDRA	8,5	4,8	4,6	13,4	13,6

Tableau 15 : Activité volumique moyenne en radon (en Bq/m³) calculée annuellement à partir des mesures en continu de 2017 à 2021 sur le site de Cadarache.

Les niveaux d'activité sont globalement stables et comparables à ceux mesurés les années précédentes.

Les activités volumiques en radon mesurées près des installations surveillées ne révèlent pas d'émanation consécutive à des éléments radifères (contenant du radium), soit entreposés dans les bâtiments contrôlés, soit en tant qu'éléments composant le sol *in situ*.

Dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020, l'IRSN précise que les activités volumiques en radon mesurées dans l'atmosphère sont comprises, pour ce qui concerne le bruit de fond radiologique naturel, entre quelques Bq/m³ et une centaine de Bq/m³. Elles varient en fonction de nombreux facteurs dont la géologie, la distance par rapport au sol, la topographie, ainsi que les conditions atmosphériques.

Pour le cas particulier de l'air dans des habitations, l'IRSN donne dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014 des moyennes des activités volumiques en radon par département. Les moyennes mesurées vont de 0 à 50 Bq/m³ dans les Bouches-du-Rhône et l'activité volumique moyenne en ²²²Rn à l'intérieur de l'habitat en France métropolitaine est de 60 Bq/m³.

Pour le cas particulier de l'air dans des habitations, l'IRSN fournit des valeurs d'activités volumiques en radon par zone géographique, en fonction des roches composant le sous-sol (Figure 26). Les moyennes mesurées vont de 0 à 50 Bq/m³ dans les Bouches-du-Rhône, tandis que l'activité volumique moyenne en ²²²Rn à l'intérieur de l'habitat en France métropolitaine, pondérée par la population et le type d'habitat, est de 60 Bq/m³.

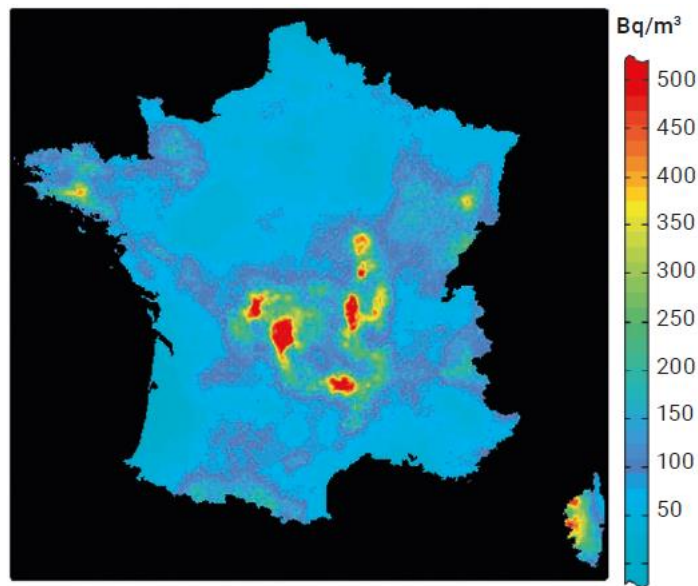


Figure 26 : Activité volumique (Bq/m³) potentielle du radon à l'intérieur des habitations, déduite de la nature des roches composant le sous-sol

La Figure 27 propose une synthèse du bruit de fond radiologique dans l'air en France, en présentant des activités moyennes sur les 10 dernières années, de quelques radionucléides artificiels et naturels mesurés par l'IRSN. Pour chaque radionucléide sont fournis le nombre de résultats exploités (supérieurs au seuil de décision, SD) et le nombre total d'analyses (exemple : 15/20)

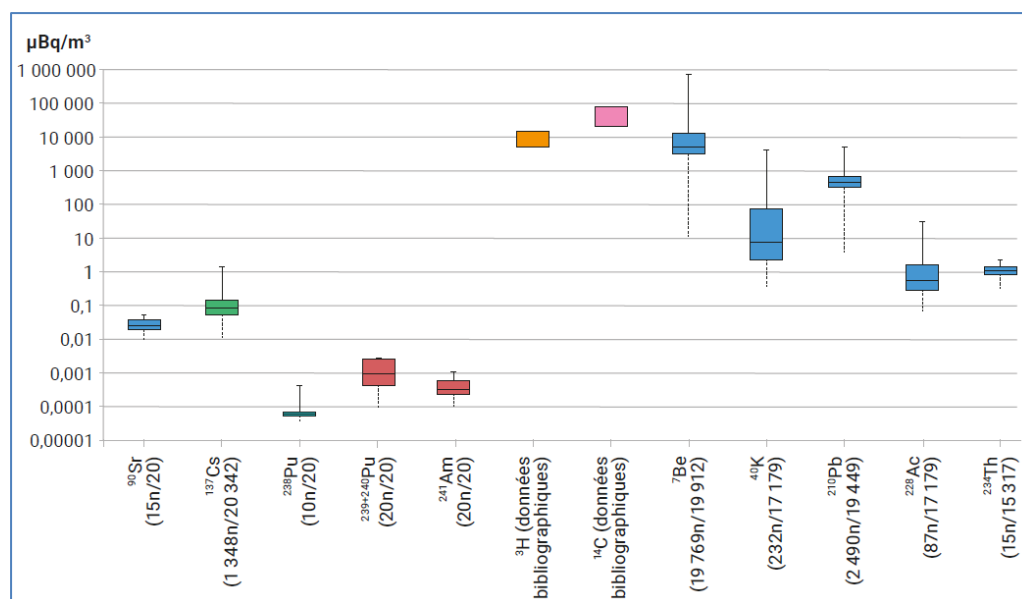


Figure 27 : Synthèse du bruit de fond radiologique dans l'air en France, moyennées sur les 10 dernières années

La Figure 28 présente une synthèse de l'évolution des activités des principaux radionucléides artificiels mesurés dans l'air au cours des 60 dernières années. Ces données ont été acquises en France par l'IRSN (principalement après 2012) et en Allemagne (Physikalisch-Technische Bundesanstalt (source H. Verschöfen).

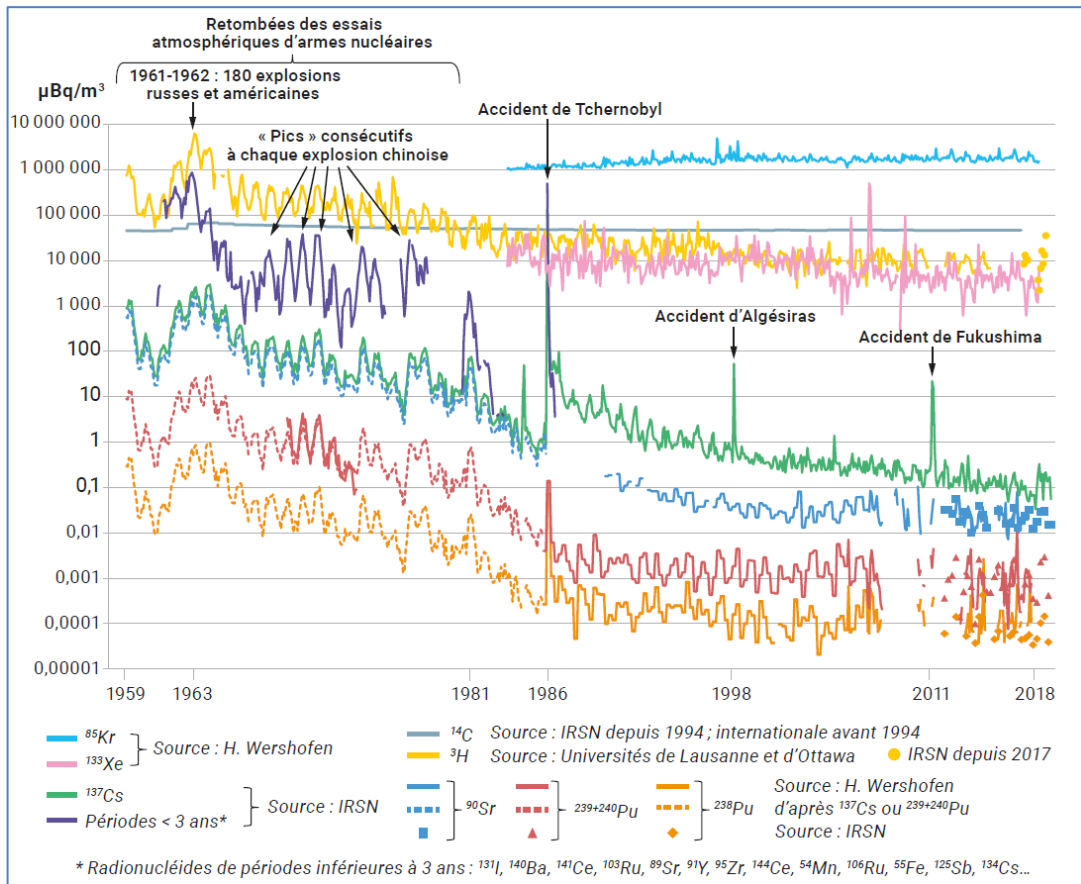


Figure 28 : Évolution des activités de principaux radionucléides artificiels et naturels mesurés dans l'air en France et en Allemagne au cours des 60 dernières années (Source : Bilan radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 de l'IRSN)

Retombées atmosphériques humides

Les eaux de pluies sont collectées sur les stations de Ginasservis, de la Verrerie (station de référence Météo-France), de Vinon-sur-Verdon et de Saint-Paul-lez-Durance. Chaque semaine, un échantillon est prélevé (en cas d'épisodes pluvieux suffisants) et soumis à deux types de mesure en différé :

- ✕ activité volumique bêta global sur l'eau brute ;
- ✕ activité volumique tritium sur l'eau filtrée.

Les résultats des mesures réalisées entre 2017 et 2021 sur les prélèvements hebdomadaires des précipitations collectées sur l'ensemble des stations de surveillance, sont présentés dans le Tableau 16.

Activités volumiques des précipitations (Bq/L)					
Années	2017	2018	2019	2020	2021
Ginasservis					
alpha global	8,1E-02	3,2E-02	3,0E-02	6,3E-02	< 6,1E-02
béta global	1,1E-01	7,0E-02	1,0E-01	9,3E-02	6,9E-02
Tritium	5	< 4,71	< 4,58	< 4,5	< 9,0
Verrerie					
alpha global	7,2E-02	3,3E-02	7,5E-02	5,0E-02	4,1E-02
béta global	1,2E-01	8,2E-02	1,2E-01	9,1E-02	9,0E-02
Tritium	< 4,8	< 4,72	< 4,63	< 4,5	< 4,6
Vinon-sur-Verdon					
alpha global	8,9E-02	5,8E-02	5,7E-02	8,5E-02	5,2E-02
béta global	1,8E-01	1,1E-01	9,6E-02	1,7E-01	1,2E-01
Tritium	< 4,85	< 4,73	< 4,76	< 4,9	< 5,0
Saint-Paul-Lez-Durance					
alpha global	5,5E-02	4,8E-02	6,8E-02	5,1E-02	4,2E-02
béta global	1,2E-01	8,8E-02	1,7E-01	7,0E-02	9,7E-02
Tritium	< 4,9	< 4,83	< 5,09	< 4,5	< 4,5

Tableau 16 : Activités volumiques (Bq/L) alpha globales, béta globales et tritium des précipitations collectées entre 2017 et 2021

Les résultats montrent des valeurs stables, comparables aux années précédentes, sur les prélèvements hebdomadaires d'eau de pluie. Ces résultats sont à rapprocher des seuils de décision requis par la réglementation, c'est-à-dire < 0,05 Bq/L pour les mesures alpha, < 0,25 Bq/L pour les mesures bêta, et < 10 Bq/L pour le tritium.

À chaque mesure bêta significative (supérieure au seuil de décision) sur un échantillon d'eau de pluie, une spectrométrie gamma et un dosage en potassium ont été réalisés. Lors de ces investigations, aucun radioélément artificiel n'a été détecté par spectrométrie gamma sur la période 2017-2021, et les valeurs élevées sont liées à la présence de Potassium.

Les activités en tritium des précipitations mesurées en 2021 sont non significatives (inférieures au seuil de décision proche de 5 Bq/L hormis au mois de décembre pour la station de Ginasservis avec un résultat inférieur à la limite de détection 9 Bq/L).

3.2.3- Mesures d'exposition externe (irradiation)

Mesures de dosimétrie active gamma (γ) ambiant

Cinq balises mesurent en continu **le débit de dose (γ) ambiant** sur les stations de Ginasservis, Saint-Paul-Lez-Durance, Grande Bastide, Verrerie et Cabri. Ces dispositifs permettent de mesurer à la fois la radioactivité naturelle et la radioactivité artificielle. Les résultats de débit de dose gamma ambiant moyen calculés à partir des mesures effectuées sur les 5 stations de surveillance, pour les années 2017 à 2021, sont présentés dans le Tableau 17.

Station de surveillance de l'environnement	Valeur moyenne du débit de dose gamma ambiant en nSv/h				
	2017	2018	2019	2020	2021
Ginasservis	72	73	74	71	71
St-Paul-lez-Durance	73	73	73	72	73
Grande Bastide	76	75	76	77	77
Verrerie	89	90	89	89	90
Cabri	74	74	73	73	73
Moyenne des stations	76	77	77	76	77

Tableau 17 : Débits de dose γ ambiant annuels moyens (en nSv/h) calculés à partir des mesures de dosimétrie active en continu de 2017 à 2021 sur les stations de surveillance

Les résultats du tableau précédent sont exprimés en sievert (Sv), unité de l'équivalent de dose (ou de dose efficace).

En retenant comme hypothèses pénalisantes la valeur moyenne annuelle la plus élevée de 77 nSv/h, et une présence permanente 24h/24 et 365 jours par an, la dose calculée serait de 0,7 mSv/an. Elle reste inférieure à la limite maximale réglementaire d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine artificielle (hors applications médicales) pour le public, qui est de **1 mSv/an** (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

Les valeurs mesurées sont en grande partie liées à la radioactivité naturelle, et notamment :

- * aux rayonnements cosmiques constitués de particules chargées de haute énergie qui réagissent avec l'atmosphère pour aboutir à la formation de radionucléides émetteurs gamma ;
- * aux rayonnements telluriques dus à la désintégration de radionucléides émetteurs gamma présents naturellement dans les sols tels que le potassium 40 et les isotopes de la chaîne de l'uranium.

La Figure 29 , issue du bilan radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020 de l'IRSN, présente ainsi la carte des débits de dose gamma, cosmique et tellurique, établie à partir de dosimètres témoins. Elle fait apparaître que les régions présentant les débits de dose les plus élevés (Massif central, Massif armoricain, les Vosges et la Corse) sont toutes constituées de formations géologiques granitiques, relativement riches en uranium. On constate que le débit de dose gamma ambiant moyen de 77 nSv/h, mesuré sur les stations de surveillance à proximité du centre de Cadarache, est cohérent avec les données locales issues du bilan radiologique de l'IRSN.

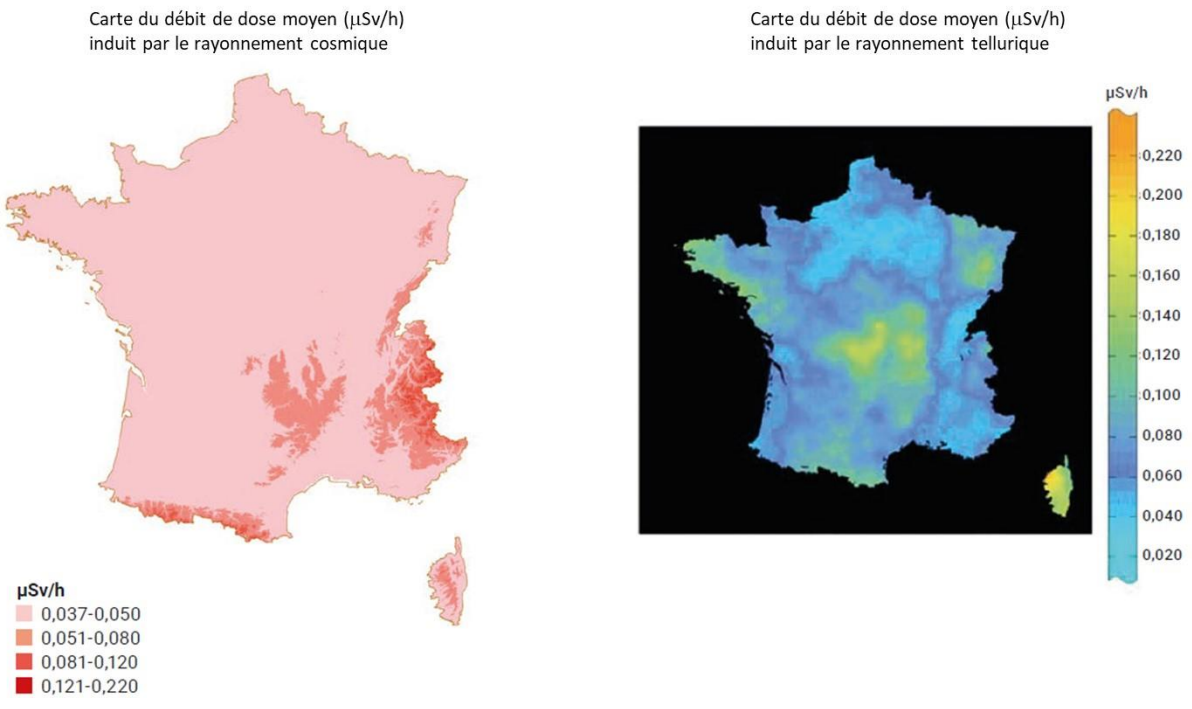


Figure 29 : Carte des débits de dose gamma induits par les rayonnements cosmique et tellurique (Source : IRSN, Bilan radiologique 2018-2020)

Mesures de dosimétrie passive gamma (γ) ambiant en clôture du Centre

Des mesures de débit de dose γ ambiant sont également réalisées en continu avec traitement mensuel et trimestriel en différé en clôture du Centre de Cadarache.

La localisation des points de mesure en clôture de Centre est présentée sur la Figure 30, et les moyennes annuelles calculées à partir des mesures de dosimétrie passive, réalisées entre 2017 et 2021, sont présentées dans le Tableau 18.

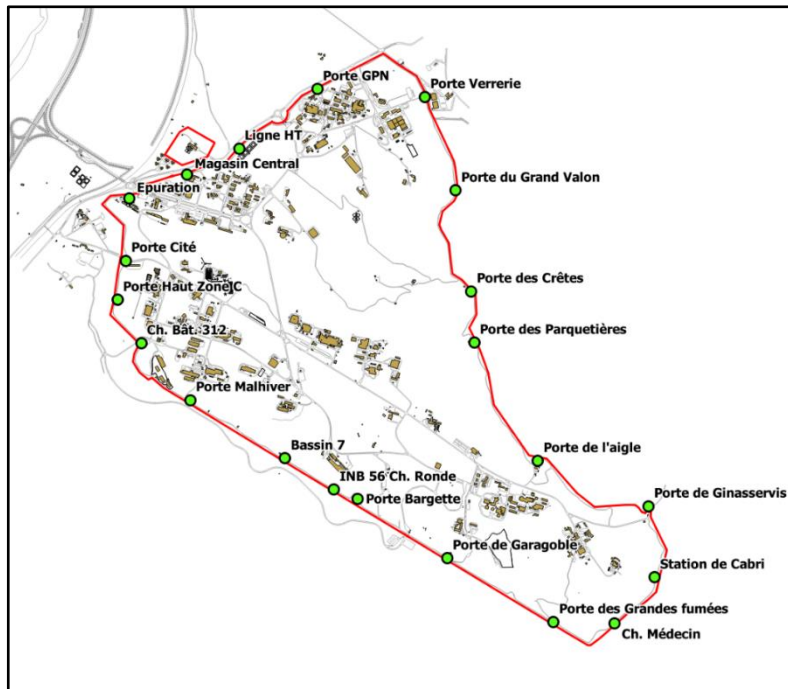


Figure 30 : Stations de mesure en continu du débit de dose gamma ambiant en clôture de Centre (dosimétrie passive)

Débit de dose gamma ambiant annuel moyen calculé à partir des mesures de dosimétrie passive (nSv/h)					
Station en clôture / Année	2017	2018	2019	2020	2021
Bassin 7	64	60	64	68	69
Station de Cabri	82	80	74	67	73
Ch. Bât. 312	73	63	62	70	76
Ch. Médecin	74	71	68	69	71
Épuration	84	79	70	62	71
INB 56 Ch. Ronde	122	137	123	89	111
Ligne HT	79	72	65	56	71
Magasin Central	67	68	63	64	70
Point Haut Zone C	94	81	77	65	82
Porte de l'aigle	84	78	72	69	84
Porte Bargette	95	85	87	82	97
Porte Cité	85	77	71	67	80
Porte des Crêtes	72	69	64	60	67
Porte de Garagobie	73	58	65	73	64
Porte Grandes fumées	77	82	66	66	73
Porte de Ginasservis	69	78	75	81	76
Porte GPN	79	80	72	66	75
Porte du Grand Vallon	74	65	67	71	72
Porte Malhivert	72	73	67	58	66
Porte des Porquetières	69	64	60	65	63
Porte Verrerie	75	75	72	59	66

Tableau 18 : Débits de dose γ ambiant annuels moyens (en nSv/h) calculés à partir des mesures de dosimétrie passive, réalisées en continu à différentes localisations en clôture du Centre de Cadarache de 2017 à 2021

Ces résultats montrent d'une manière générale, que les débits de dose γ ambiants mesurés à la clôture du centre sont stables voire diminuent. La Figure 31 permet de comparer les mesures obtenues pour l'année 2021 aux valeurs moyennes calculées sur les 5 dernières années, et confirme cette tendance à la diminution.



Figure 31 : Comparaison des valeurs annuelle moyennes de dosimétrie ambiante (nSv/h) mesurées en clôture du site pour 2021, aux valeurs moyennes des 5 dernières années

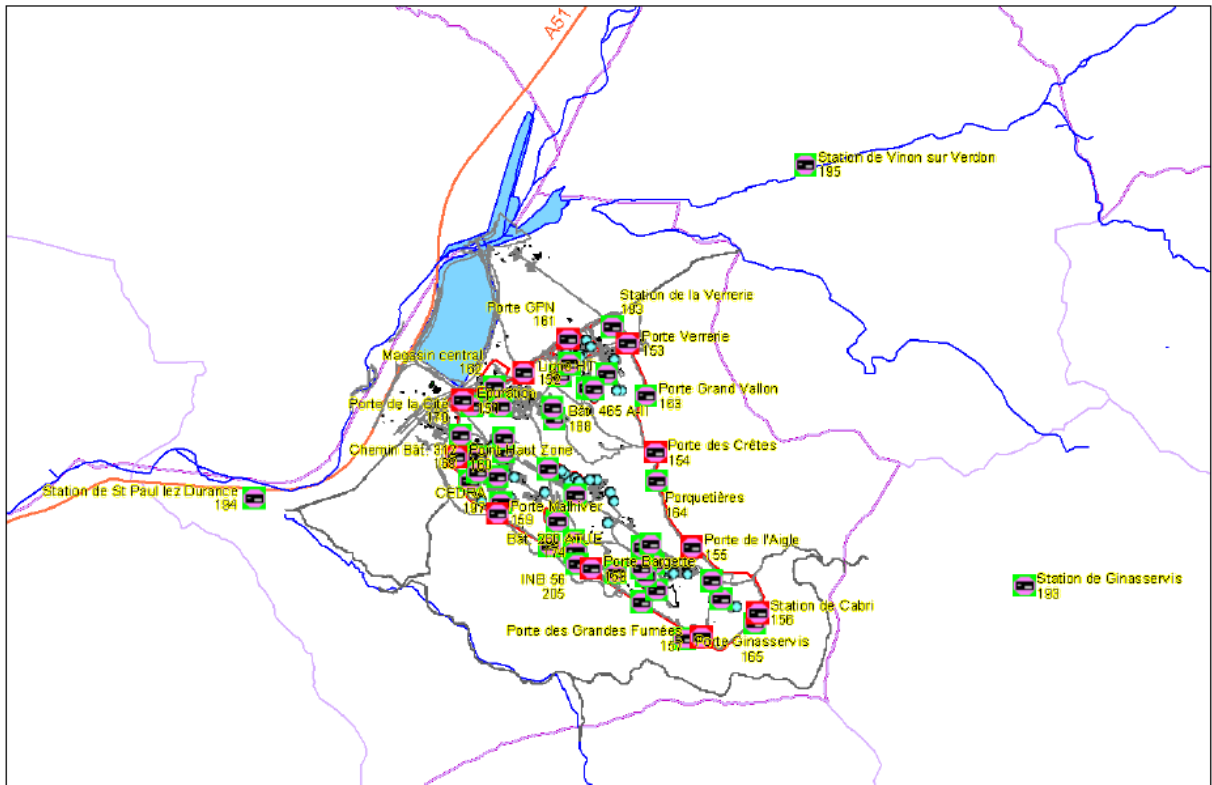
Les valeurs de dosimétrie ambiante mesurées en clôture de site en 2021 sont globalement inférieures à la valeur moyenne calculée depuis 2017. Il convient de noter cependant que la valeur annuelle moyenne sur les 5 dernières années du débit de dose du dosimètre « INB 56 chemin de ronde » est égale à 117 nSv/h. Cette valeur est due à l'influence de l'entreposage de déchets sur l'INB 56 en bordure de clôture.

À titre de comparaison, la valeur moyenne enregistrée à Manosque (valeur régionale, hors de toute activité nucléaire) est de 79 nSv/h en 2021.

Malgré les hypothèses pénalisantes de temps de présence à la clôture, la dose ajoutée reste, dans tous les cas, inférieure à la limite de 1 mSv/an pour le public (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

Mesures de dosimétrie passive gamma (γ) ambiant à proximité des installations

Des dosimètres ont également été implantés sur le site de Cadarache pour mesurer en continu, avec traitement trimestriel en différé, le débit de dose γ ambiant à **proximité des installations**. La Figure 32 montre le positionnement de ces dosimètres.



Nota : des dosimètres témoins placés à Sainte-Tulle et Manosque n'apparaissent pas sur la figure

Figure 32 : Stations de mesure de dosimétrie différée pour la mesure de l'exposition gamma ambiante.

La Figure 33 présente le débit de dose γ ambiante moyen annuel calculé d'après les mesures en continu, pour les différents dosimètres installés, pour l'année 2021.

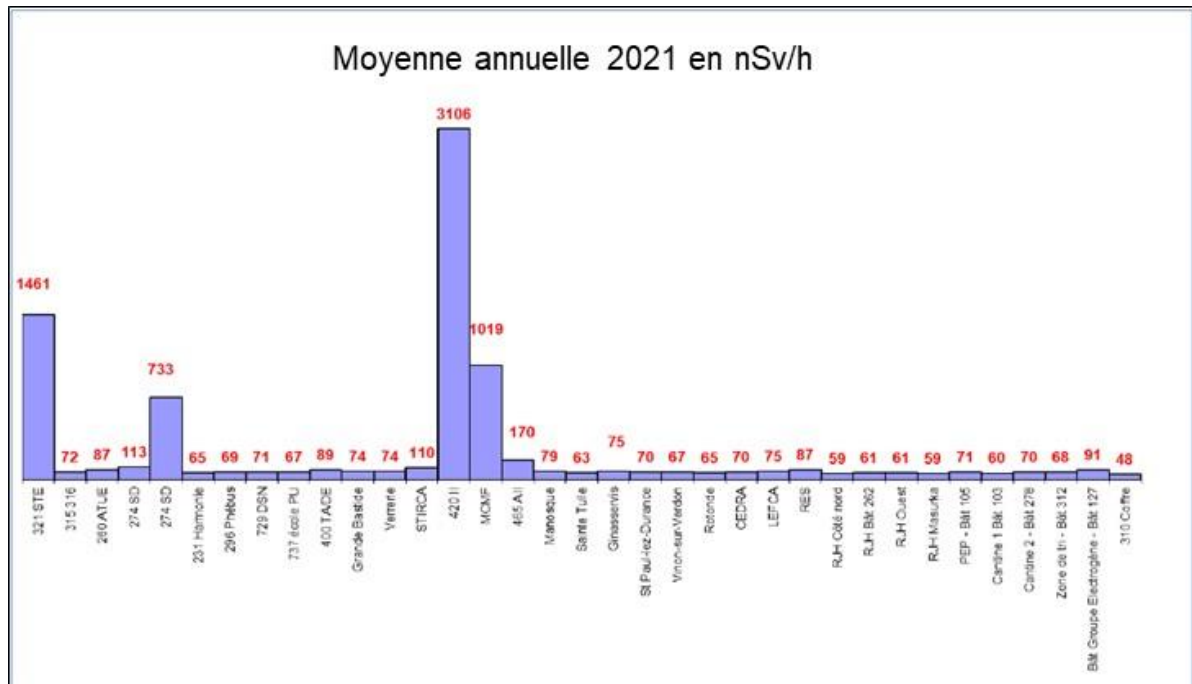


Figure 33 : Débit de dose γ ambiante moyen annuel (en nSv/h) calculé d'après les mesures en continu pour les différents dosimètres installés à proximité des installations

Les valeurs de dosimétrie intégrée moyenne mesurées en 2021, les plus élevées, correspondent à des points de mesure situés à proximité d'installations d'entreposage de déchets ou d'effluents radioactifs. Ce sont les points de mesures suivants :

- * le dosimètre noté « 321 STE », situé à proximité de l'INB 37B ;
- * le dosimètre noté « 274 SD », situé à proximité de l'INB 56 ;
- * le dosimètre noté « MCMF », situé à proximité du MCMF (bâtiment 411) ;
- * le dosimètre noté « 420 II », situé à proximité du bâtiment où sont entreposés les fûts de résidus radifères Rhodia.

Le dosimètre implanté à proximité de l'installation PEGASE (737 école Pu) indique pour 2021 un débit de dose moyen annuel de l'ordre de 67 nSv/h, soit des doses annuelles ajoutées de l'ordre de 2,7 μ Sv/an et 0,59 mSv/an, en supposant une présence à proximité de l'installation respectivement de 40 heures par an et de 24h/24 et 365 jours/an.

On peut donc considérer que l'irradiation externe due au rayonnement direct de l'installation PEGASE n'est pas perceptible à la clôture du Centre de Cadarache.

4. Environnement terrestre

4.1- Sols

4.1.1- Caractéristiques radiologiques et chimiques des sols autour de Cadarache

4.1.1.1 Caractéristiques radiologiques

En application de la prescription [CEACAD-46] de la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017, un prélèvement annuel de sol est effectué à Saint-Paul-lez-Durance à proximité de la station de surveillance atmosphérique, sur lequel une spectrométrie gamma et une spectrométrie alpha sont réalisées. Les résultats des analyses radiologiques réalisées sur la terre brute entre 2015 et 2019 sont reportés dans le Tableau 19.

Année	Radioéléments Naturels (Bq/kg sec)			Radioéléments artificiels (Bq/kg sec)						
	²²⁶ Ra+ desc.	²²⁸ Ra+ desc.	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am	²³⁴ U	²³⁵ U	²³⁸ U
2015	20	26	290	22	< 0,015	0,42	< 0,11	-	-	-
2016	-	-	280	16	< 0,02	0,34	< 0,052	-	-	-
2017	-	-	170	3,9	< 0,01	0,15	0,08	-	-	-
2018	-	-	-	5,1	< 0,015	0,12	< 0,032	9,7	0,46	9,2
2019	-	-	-	12	< 0,028	< 0,26	0,1	22	1,3	22

Tableau 19 : Activités massiques de l'échantillon de terre (sol) prélevé à Saint-Paul-lez-Durance.

Des traces de radionucléides d'origine artificielle, tels que le césium-137 ou l'américium-241, sont mesurées.

À titre indicatif, des analyses ont été réalisées par le CEA sur des échantillons de terre prélevés sur la commune de Cucuron (commune située à une trentaine de kilomètres au nord-nord-ouest de Cadarache) considérés comme **échantillons de référence** de la radioactivité « naturelle » de la région proche de Cadarache (échantillons non marqués par les activités du site de Cadarache, du fait de la situation géographique de la commune).

Le Tableau 20 présente les résultats des mesures effectuées sur les échantillons de terre prélevés à Cucuron en 2008, 2009 et 2010.

Point, Année	Radioéléments Naturels (Bq/kg sec)			Radioéléments artificiels (Bq/kg sec)			
	²²⁸ Ra+desc.	⁴⁰ K	²¹⁰ Pb	¹³⁷ Cs	²³⁸ Pu	²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	²⁴¹ Am
TER1, 2008	15	140	44	33			
TER2, 2008	27	490	42	16			
TER3, 2009	11	130		19	< 0,05	0,4	< 0,05
TER4, 2010	14	140		24			

Tableau 20 : Activités massiques des échantillons de terre (sol) prélevés à Cucuron

Les activités massiques mesurées en 2019 pour les radionucléides artificiels sont comparables.

Ces éléments montrent que les activités mesurées en 2019 en césium 137, et en plutonium 239 et plutonium 240 dans l'échantillon prélevé à Saint-Paul-lez-Durance sont comparables, non seulement à celles mesurées les années précédentes, mais également à celles faisant office de référence en matière de radioactivité naturelle. L'activité massique en césium 137 est par ailleurs cohérente avec le niveau moyen d'activité mesuré sur le territoire français et consécutif aux retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986. Les activités massiques en plutonium sont, elles, cohérentes avec le marquage dû aux retombées des essais aériens d'armes nucléaires (de 1945 à 1980).

Les activités massiques d'un plus grand nombre de radionucléides ont été mesurées sur des échantillons de sol (sur six points de prélèvement) dans le cadre du « point zéro radiologique » d'ITER réalisé en 2007². La localisation des points de prélèvements est précisée sur la Figure 34, et les résultats sont présentés dans le Tableau 21.



Figure 34 : Points de prélèvements des sols superficiels et des végétaux sur le site d'ITER

² Point zéro réalisé dans le cadre du dossier de Demande d'Autorisation de Création (DAC) d'ITER sur le site de Cadarache en 2007. L'analyse de l'état initial du site d'ITER est présentée dans l'étude d'impact qui est consultable sur le site Internet d'ITER à l'adresse suivante : <https://www.iter.org/fr/dac>.

Radionucléide	Prélèvements de sol de 0 à -0,05 m (Bq/kg de matière sèche)	Prélèvements de sol De -0,05 à - 0,20 m (Bq/kg de matière sèche)
⁷ Be	< 3 à 6,7	< 3
⁴⁰ K	147 à 379, 5	170,1 à 379,5
⁵¹ Cr	<1 à < 3	<2 à < 3
⁵⁴ Mn	< 0,2 à < 0,3	<0,2 à < 0,3
⁶⁰ Co	<0,1 à < 0,3	<0,2 à < 0,3
¹²⁹ I	<3 à < 5	<3 à < 5
¹³³ Ba	<0,4 à < 0,5	<0,3 à < 0,5
¹³⁴ Cs	<0,2 à < 0,3	< 0,2 à < 0,3
¹³⁷ Cs	< 0,5 à 61,34	4,23 à 22,91
²²⁶ Ra	< 1 à 44,6	10,2 à 33,7
²²⁸ Ra	< 2 à 32,5	14,6 à 37,6
Radionucléide	Prélèvements de sol de 0 à -0,05 m (Bq/kg de matière sèche)	Prélèvements de sol De -0,05 à - 0,20 m (Bq/kg de matière sèche)
¹⁵² Eu	<0,5 à < 1,2	<0,5 à < 1
¹⁵⁴ Eu	<0,5 à < 2	<0,8 à < 1
²² Na	<1 à < 4	<3 à < 4
²³⁵ U	<3 à < 4	< 3 à 5,3
²³⁸ U	12,6 à 24,9	8,8 à 23,1
²⁴¹ Am	<0,6 à < 0,9	<0,5 à < 0,8
⁹⁰ Sr	21,3 et 52,4	27,7 et 30,5
Mesure α totale	8,27 et 13,6	8,45 et 12,02
Carbone 14	<42 à < 64	<57 à < 60

Tableau 21 : Activités massiques (Bq/kg sec) des sols superficiels mesurées sur le site d'ITER

À titre indicatif, la Figure 35 présente les activités des principaux radionucléides dans les sols et les sédiments français, présentées dans le Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2015 à 2017 publié par l'IRSN. Pour chaque catégorie de sols ou de sédiments sont fournis le nombre de résultats exploités (supérieurs au seuil de décision) et le nombre d'analyses (exemple : 262/270).

Les activités volumiques mesurées ne montrent aucune anomalie par rapport aux valeurs caractéristiques de la région.

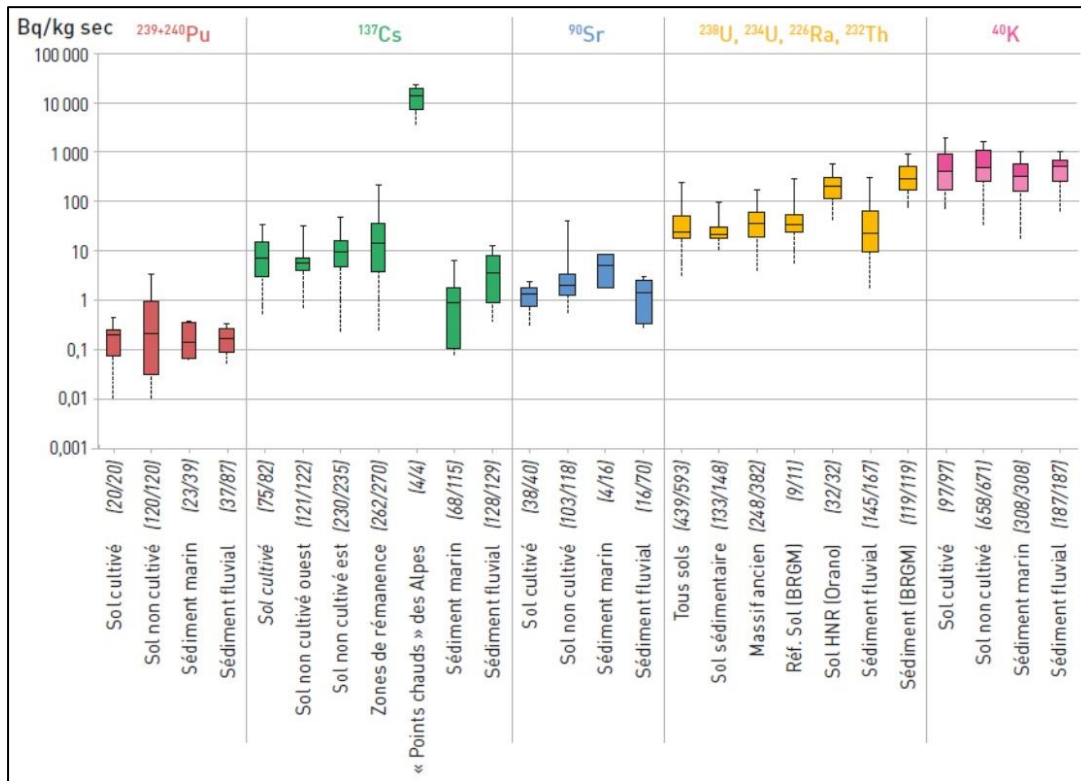


Figure 35 : Principaux radionucléides dans les sols et les sédiments français (Source : IRSN)

4.1.1.2 Caractéristiques chimiques

Dans le cadre du « point zéro chimique » d'ITER, des analyses chimiques détaillées ont été réalisées sur des échantillons de sols superficiels prélevés entre 0,2 à 0,4 m, ainsi que sur des échantillons de sols profonds prélevés entre 2 et 19 m (prélèvements réalisés à partir de carottes de terrain issues de la construction de piézomètres sur la zone du projet ITER). Les résultats de ces analyses, ainsi que la concentration de référence de chaque substance chimique dans les sols pour la région PACA (bruit de fond géochimique), sont présentés dans le tableau suivant.

Substance	Unité	Concentration des sols superficiels entre 0,2 et 0,4 m	Concentration des sols profonds entre 2 et 19 m	Bruit de fond
Dioxines et Furannes	pg/g	0 à 1,65	0	
Aluminium	mg/kg	190 00 à 48000	150 00 à 24 000	
Arsenic	mg/kg	5,5 à 15	1,6 à 8,8	8,96
Béryllium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	< 2
Cadmium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	0,12 / 0,42
Chrome total	mg/kg	26 à 93	21 à 160	44 / 75
Cuivre	mg/kg	4,2 à 20	2,2 à 11	22,2 / 14,9
Mercure	mg/kg	< 0,05	< 0,05	0,022
Nickel	mg/kg	16 à 48	11 à 27	21,8 / 41,3
Plomb	mg/kg	7,8 à 24	3,2 à 7,6	17,2 / 64,8
Zinc	mg/kg	21 à 65	12 à 50	47 / 149
Fer	mg/kg	10 000 à 31 000	6 000 à 13 000	
Manganèse	mg/kg	200 à 1 000	140 à 180	1585
Cyanures totaux	mg/kg	< 2	< 2	
Indice Hydrocarbures	mg/kg	< 200	< 200	

Nota : le second chiffre, quand il est présent dans la colonne du bruit de fond correspond à la valeur de référence pour le programme ASPITET (Programme lancé par l'INRA en 1994 : Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces)

Tableau 22 : Concentrations en substances chimiques dans les sols échantillonnés sur la zone ITER

Pour le chrome, toutes les valeurs ont été mesurées à des concentrations inférieures à 47 mg/kg, sauf en un endroit (PL3 et IT43, cf. localisation en figure suivante). Ces concentrations pourraient s'expliquer par la présence d'une verrerie dans le passé qui aurait utilisé du chrome pour la fabrication du verre ou de ses accessoires.

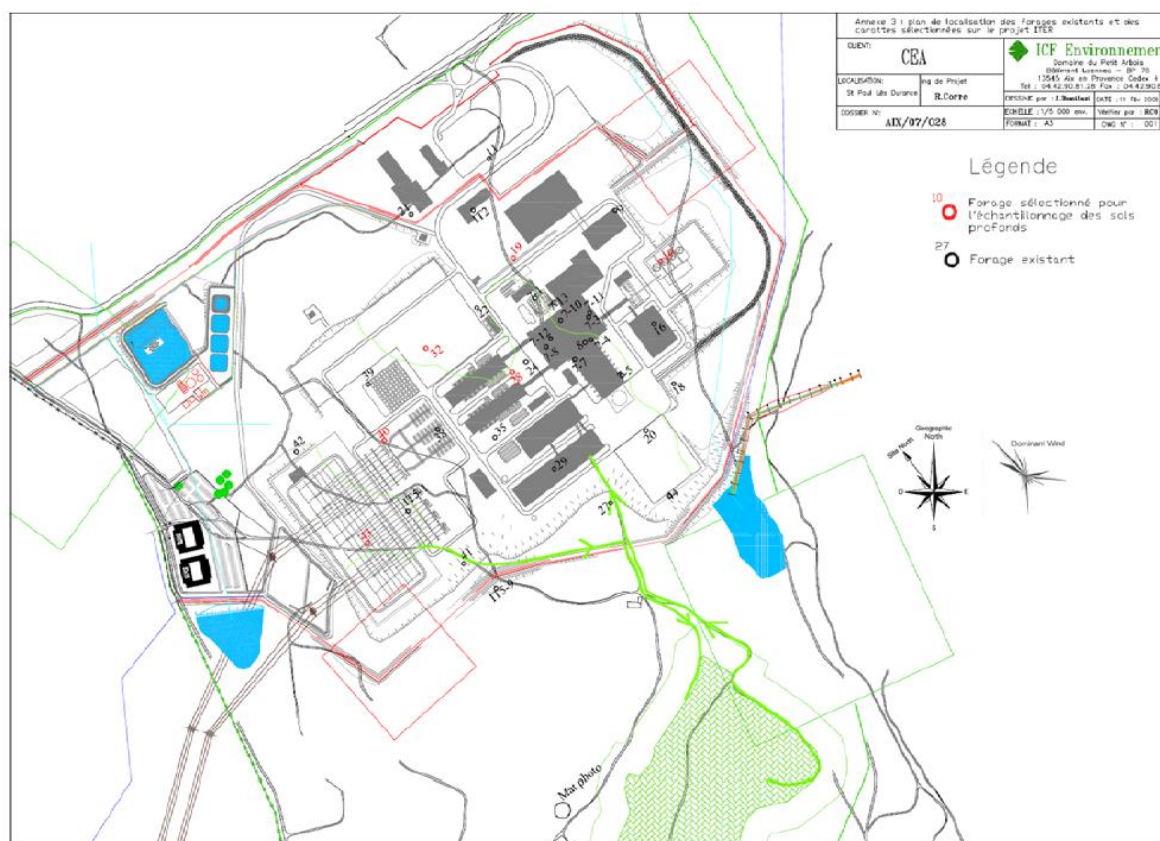


Figure 36 : Emplacement des sondages pour les prélèvements de sols profonds et d'eaux souterraines sur le site d'ITER

4.1.2- Caractéristiques radiologiques et chimiques des sols autour de l'installation PEGASE

Un état des lieux de l'état radiologique et chimique des sols autour de l'INB 22 a été effectué en 2015. Les paragraphes suivants présentent la méthodologie de caractérisation, et les résultats obtenus.

4.1.2.1 Méthodologie appliquée

La méthodologie de caractérisation préliminaire des sols du périmètre de l'INB 22, présentée ci-après, suit les principes édictés dans la Norme ISO 18 557 « Principes de caractérisation des sols, bâtiments et infrastructures contaminées par des radionucléides, à des fins de réhabilitation ».

Depuis les années 2000, le CEA a mis en place une méthodologie basée sur le retour d'expérience du centre de Fontenay-Aux-Roses et les méthodologies existantes (Guide IRSN de gestion des sites potentiellement contaminés par des substances radioactives version 2001, directive EURATOM 96-29, etc.).

La méthodologie comprend plusieurs étapes qu'il est possible de synthétiser selon le logigramme ci-après.

Analyse historique et fonctionnelle

La réalisation d'études historiques et fonctionnelles est une phase préalable, incontournable et d'une grande importance pour la maîtrise de l'état radiologique initial. Sans ces études, les actions nécessaires à la réalisation de l'état initial imposent beaucoup plus d'investigations, de prélèvements et d'analyses qui induisent des coûts importants. Cette étape doit permettre d'identifier toutes les activités qui se sont déroulées sur le site, le(s) périmètre(s) qu'ont connu(s) les installations, les radionucléides manipulés, les événements, etc. L'étude des vues aériennes existantes est indispensable. La précision des relevés et des cartographies doit être inférieure au mètre si l'on ne veut pas générer, lors de l'assainissement final, des mètres cubes de déchets inutiles. Dans ce contexte, le CEA/Fontenay-aux-Roses a développé KARTOTRAK®, un système d'information géographique (SIG) permettant d'utiliser tout type de support géoréférencé, selon plusieurs formats (vectoriel, etc.).

L'utilisation d'un GPS avec correction différentielle submétrique en continu permet de connaître avec précision la position notamment des points de prélèvement et de mesures in-situ



Mesures radiologiques des sols en surface

La seconde étape consiste à caractériser les sols en surface. Lorsque les polluants sont des émetteurs gamma, l'utilisation de détecteurs usuels (NaI, Spectrométrie-Gamma, Scintillateurs Plastiques) permet de mesurer le flux. L'association d'un positionnement GPS et d'une mesure in-situ et/ou d'un prélèvement est un minimum. Le CEA a développé des dispositifs de mesures en temps réel associés à la plateforme logicielle KARTOTRAK, qui permet, le dispositif se déplaçant à 2,6 km/h, de collecter à chaque seconde les mesures des différents détecteurs. L'exploitation par géostatistique de ces données, très souvent collectées de façon exhaustive sur le site, permet une restitution en 2D d'une carte mettant en évidence, les zones d'intérêt où le flux gamma est différent. Complétées par quelques échantillons dans un premier temps, les cartographies sont très rapidement exploitables. Dans l'impossibilité de réaliser des mesures gamma in situ pour certains radionucléides, des prélèvements d'échantillons sont réalisés en utilisant un maillage approprié.

La **géostatistique** se réfère aux méthodes d'analyse probabiliste pour étudier des phénomènes corrélés dans l'espace appelés « phénomènes régionalisés ». Elle propose des solutions de prédiction spatiale de variables mesurées en différents points d'une zone d'intérêt, d'analyse du risque de dépassements de seuils, ainsi que d'optimisation d'échantillonnage.

Les méthodes géostatistiques sont utilisées dans de nombreux domaines, notamment dans les géosciences, dès lors qu'il est besoin d'interpolation spatiale « intelligente » à partir de mesures ponctuelles, assortie d'une cartographie quantifiée de l'incertitude associée à cette interpolation : domaine minier, domaine pétrolier, sites et sols pollués, bathymétrie, pluviométrie, hydrogéologie, etc.

Plan d'échantillonnage dans les zones d'intérêt

Cette étape permet d'implanter les sondages dans les aires où l'incertitude et la variabilité sont importantes contrairement à ce qui était habituellement fait par le passé lorsque l'on implantait presque tous les sondages dans les zones où l'activité était la plus importante.

Analyse des profils de la pollution

Les sondages de sols sont réalisés avec des techniques n'utilisant pas l'eau pour minimiser la lixiviation de l'échantillon, il convient de collecter des échantillons représentatifs de carotte ou de tronçon de carotte. Cette opération est précédée dans un premier temps par une mesure de gamma scanning de la carotte par pas de 10 cm afin d'identifier la présence d'éventuels « points chauds » (c'est-à-dire des points de mesure qui se dégagent nettement de la valeur moyenne), puis dans un second temps par des prélèvements sur la carotte. Ceux-ci sont réalisés par pas de 25 cm.

Chaque échantillon fait l'objet en laboratoire de mesures par spectrométrie gamma et/ou de mesures radiochimiques et d'émetteurs bêta purs. Les résultats permettent de tracer les profils des différents radionucléides. À partir de cette étape, on peut valider l'analyse fonctionnelle du site, et s'attacher à comprendre les mécanismes de pénétration de chaque radionucléide dans les sols qu'ils soient composés de remblais ou de terrain naturel.

Les mesures radiologiques ont été complétées à partir de 2004 par des mesures chimiques afin d'identifier d'éventuelles pollutions chimiques associées aux pollutions radiologiques. Outre un suivi permanent des opérations de sondages par un géologue et un contrôle visuel des carottes, des échantillons sont analysés en laboratoire afin de déterminer les exutoires prévisionnels (déchets conventionnels, déchets radioactifs).

Cartographie radiologique en 3D

Comme pour la réalisation des cartographies en 2D, la réalisation d'une cartographie tridimensionnelle utilise la géostatistique comme technique d'analyse des données et d'estimation des niveaux d'activité. Cette cartographie va permettre d'obtenir des épures basées notamment sur des probabilités de dépassement de niveau d'activité. Ces résultats sont utilisés dans un premier temps pour comparer les différents scénarios de réhabilitation de la zone d'un point de vue technique et financier.

Étude coût/avantage – Réhabilitation et impact sanitaire associé

À partir du résultat des différentes étapes et pour un impact sanitaire résiduel (après retrait de la contamination) acceptable en fonction de la réutilisation envisagée du site, une étude coût /avantage est conduite pour chaque profil de pollution. En fonction des profondeurs à atteindre pour assainir le site, le coût pourra évoluer très rapidement. L'ensemble de ces données va permettre d'élaborer une représentation synthétique de l'approche coût/avantage à travers un graphe dont l'analyse montrera quel objectif il est raisonnable d'atteindre. Il peut indiquer également si l'enlèvement supplémentaire de sols est efficace en terme de réduction de l'impact sanitaire à partir d'une certaine profondeur. A contrario, dès lors que la pollution est bien bornée et peu profonde, l'étude conclut généralement à un retrait total de la contamination.

Contrôles finaux à la fin de la réhabilitation

En fin d'assainissement, on utilisera des outils statistiques (selon la norme ISO/TR 8550) afin de s'assurer de l'atteinte de l'objectif final.

Il conviendra aussi de prendre en compte l'analyse des profils de sols ainsi que les ratios des mesures alpha et bêta existant après le traitement d'une pollution afin d'adapter le type de contrôle et d'analyse à faire sur les échantillons pour l'estimation de l'activité résiduelle.

4.1.2.2 Résultats

Une recherche de radioéléments émetteurs gamma a été réalisée autour de l'INB 22 en février 2017 à l'aide d'une sonde embarquée en véhicule (Figure 37). Ces mesures viennent compléter le contrôle radiologique réalisé en novembre 2015 au niveau du talus situé au nord du Bâtiment 216 et sur les voiries (Figure 38).

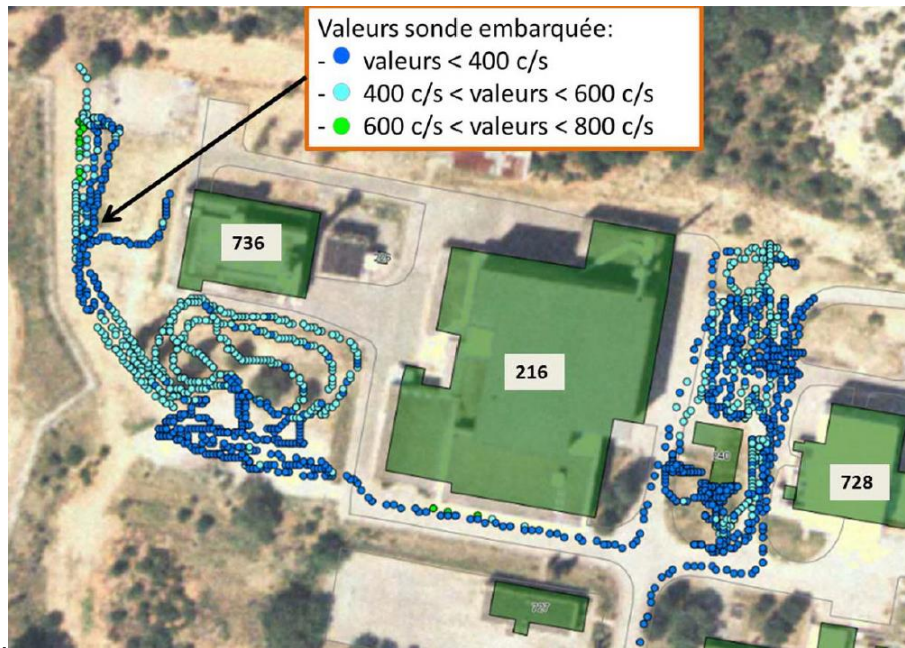


Figure 37 : Cartographie des mesures directes réalisée en février 2017 autour de l'INB 22



Figure 38 : Cartographie des mesures directes réalisée en novembre 2015 autour de l'INB 22

Les analyses radiologiques par spectrométrie gamma et alpha ont montré que les niveaux d'activité sont comparables à ceux mesurés dans les terres hors influence du Centre de Cadarache.

À l'issue des mesures réalisées en février 2017, 8 prélèvements surfaciques de terre ont été réalisés en différents points autour de l'INB 22 (voir figure ci-après) et ont fait l'objet d'analyses radiologiques et chimiques.

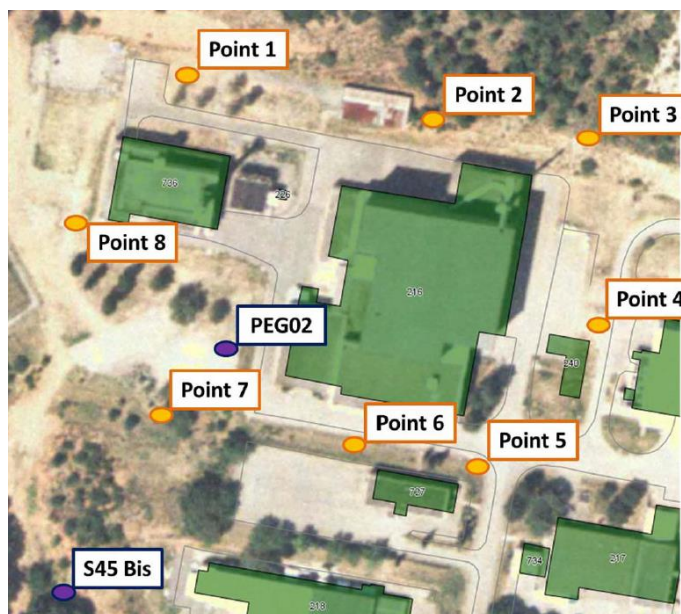


Figure 39 : Cartographie des 8 points de prélèvement de terres autour de l'INB 22

Les résultats des analyses par spectrométrie gamma sur les huit prélèvements de terre sont présentés dans le tableau suivant :

Localisation	N° DA	Résultats Spectrométrie gamma (Bq/g)		
		Cs-137	U-235	U-238
Point n°1	333432	3.10⁻⁰³	3,1.10⁻⁰³	< 2.10 ⁻⁰²
Point n°2	333433	3,6.10⁻⁰³	< 1,9.10 ⁻⁰³	< 2,7.10 ⁻⁰²
Point n°3	333435	1,7.10⁻⁰²	< 8,6.10 ⁻⁰⁴	1,8.10⁻⁰²
Point n°4	333437	2,5.10⁻⁰³	< 1,5.10 ⁻⁰³	4,1.10⁻⁰²
Point n°5	333438	8,4.10⁻⁰³	< 9,4.10 ⁻⁰⁴	2,5.10⁻⁰²
Point n°6	333440	2,7.10⁻⁰³	< 8,2.10 ⁻⁰⁴	< 1,3.10 ⁻⁰²
Point n°7	333441	6,2.10⁻⁰³	< 6,9.10 ⁻⁰⁴	< 1,2.10 ⁻⁰²
Point n°8	333442	3,9.10⁻⁰³	< 1,1.10 ⁻⁰³	3,6.10⁻⁰²

* les valeurs significatives sont notées en gras

Tableau 23 : Résultats des analyses radiologiques des prélèvements de terre

Les résultats montrent des traces de Cs-137 à des valeurs situées entre $2,5 \cdot 10^{-03}$ et $1,7 \cdot 10^{-02}$ Bq/g. Ces niveaux d'activités sont comparables à ceux que l'on mesure dans les terres hors influence du centre de Cadarache. Aucun autre radioélément artificiel n'a été mesuré. On relève également la présence d'U-235 et d'U-238 à des niveaux d'activités caractéristiques de l'uranium naturel.

Les analyses chimiques ont été réalisées sur ces mêmes 8 prélèvements de terre. Ces analyses ont été réalisées par un laboratoire extérieur accrédité COFRAC, conformément à la norme NFX 31-620 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution) ». Sont ainsi recherchés, de manière standard : éléments traces métalliques (ETM), hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB), composés aromatiques, Composés Organiques Volatils (COV), etc. Les éléments traces métalliques sont comparés à la borne supérieure de la « Gamme de valeurs couramment observées dans les sols « ordinaires » de toute granulométrie » du programme ASPITET de l'INRA (1997), ainsi qu'à la maille 2036 de la base de données Indiquasol (indicateur de la qualité des sols).

Ces analyses ont montré des teneurs inférieures aux seuils de la base de données Indiquasol pour les Eléments Traces Métalliques et des teneurs majoritairement inférieures aux limites de qualification analytique pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), les PCB et les autres composés aromatiques et volatils au sein de l'ensemble des échantillons.

4.2- Produits de la chaîne alimentaire

Pour assurer la surveillance du milieu terrestre, le laboratoire de surveillance de l'environnement du CEA de Cadarache prélève dans les communes situées autour du site, divers types d'échantillons d'origine végétale et animale, avec en particulier des denrées alimentaires destinés à la consommation humaine (fruits et légumes à feuilles et à racines), ainsi que du lait de chèvre et du thym.

4.2.1- Flore

4.2.1.1 Analyses radiologiques

Chaque mois, des prélèvements de thym sont effectués par le CEA sur les stations de Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance, La Grande Bastide et la Verrerie. Le thym est un bio-indicateur qui permet de renseigner sur une éventuelle contamination radiologique car il concentre certains radionucléides émis par l'industrie nucléaire, tel que le Césium 137 en particulier.

Après traitement (étuvage et calcination), les végétaux prélevés sont analysés au laboratoire afin de :

- * réaliser une mesure d'activité bêta global ;
- * rechercher des émetteurs gamma, notamment le potassium 40.

Une fois par an, des mesures de l'activité en tritium (libre et organiquement lié) et en carbone 14 sont également effectuées sur des échantillons lyophilisés, ainsi qu'une spectrométrie alpha sur l'échantillon calciné.

Les suivants présentent les résultats obtenus entre 2017 et 2021 sur des prélèvements de thym (valeurs moyennes en Bq/kg frais, sauf pour le ^{14}C en Bq/kg de carbone total).

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais				
2017	Ginasservis	Saint-Paul-lez-Durance	Grande Bastide	Verrerie
⁴⁰ K	256	295	227	190
¹³⁷ Cs	0,41	0,66	0,51	0,48
¹³⁴ Cs	< 1,8	< 2,3	< 1,7	< 2,6
¹⁴ C(Bq/kg de C total)	237	248	225	210
³ H libre	< 0,30	< 0,36	< 0,51	< 0,41
³ H lié	< 0,67	< 0,60	< 0,52	< 0,24
²³⁸ Pu + ²⁴¹ Am	< 1,3E-03	< 1,2E-03	< 2,5E-03	< 7,0E-04
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	9,5E-03	1,2E-02	< 5,2E-03	6,6E-03

Tableau 24 : Activités massiques moyennes mesurées dans le thym prélevé sur les stations de surveillance de l'environnement en 2017

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais				
2018	Ginasservis	Saint-Paul-lez-Durance	Grande Bastide	Verrerie
⁴⁰ K	207	211	144	132
¹³⁷ Cs	< 2,1	2,4	< 2,1	< 2,1
¹³⁴ Cs	< 2,3	< 2,2	< 2,4	< 2,2
¹⁴ C(Bq/kg de C total)	240	248	228	220
³ H libre	< 0,70	< 0,69	< 0,70	< 0,82
³ H lié	< 0,42	< 0,48	< 0,38	< 0,42
²³⁴ U	2,8	2,4	2,1	3,0
²³⁵ U	1,3E-01	< 6,9E-02	< 5,9E-02	< 1,7E-01
²³⁸ U	2,3	2,1	1,6	2,6
²³⁸ Pu	< 1,0E-02	< 1,8E-02	< 3,0E-02	< 3,1E-01
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	8,0E-02	9,9E-02	8,8E-02	5,1E-01
²⁴¹ Am	< 4,0E-02	< 2,5E-02	< 4,4E-02	< 4,1E-02

Tableau 25 : Activités massiques moyennes mesurées dans le thym prélevé sur les stations de surveillance de l'environnement en 2018

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais				
2019	Ginasservis	Saint-Paul-lez-Durance	Grande Bastide	Verrerie
⁴⁰ K	196	204	168	176
¹³⁷ Cs	< 2,2	1,8	1,1	< 2,4
¹³⁴ Cs	< 2,5	< 2,6	< 2,8	< 2,7
¹⁴ C(Bq/kg de C total)	241	247	238	236
³ H libre	< 7,4E-01	< 7,3E-01	< 8,4E-01	< 8,1E-01
³ H lié	< 4,1E-01	< 3,7E-01	< 3,2E-01	< 4,3E-01
²³⁴ U	1,0	1,23E-01	1,2E-01	6,8E-02
²³⁵ U	4,8E-02	< 3,73E-03	< 4,2E-03	< 3,72E-03
²³⁸ U	8,8E-01	1,0E-01	1,1E-01	5,6E-02
²³⁸ Pu	< 1,9E-03	< 1,2E-03	< 3,4E-03	< 2,5E-03
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	< 6,4E-04	7,9E-03	1,75E-02	< 5,3E-03
²⁴¹ Am	< 9,3E-03	< 4,8E-03	< 3,8E-03	< 8,6E-03

Tableau 26 : Activités massiques moyennes mesurées dans le thym prélevé sur les stations de surveillance de l'environnement en 2019

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais				
2020	Ginasservis	Saint-Paul-lez-Durance	Grande Bastide	Verrerie
⁴⁰ K	219	200	224	194
¹³⁷ Cs	< 2,6	< 2,3	< 2,6	< 3
¹³⁴ Cs	< 3,1	< 2,7	< 3,1	< 3,4
¹⁴ C(Bq/kg de C total)	219	210	230	227
³ H libre	< 7,1E-01	< 7,9E-01	< 7,3E-01	< 7,2E-01
³ H lié	< 5E-01	< 3,9E-01	< 4,8E-01	< 5,3E-01
²³⁴ U	8,2E-02	8,9E-02	8,7E-02	1,9E-01
²³⁵ U	< 5E-03	< 6,6E-03	< 4,1E-03	8,2E-03
²³⁸ U	7,1E-02	7,5E-02	8,2E-02	1,8E-01
²³⁸ Pu	< 2,6E-03	< 5,6E-03	< 8,2E-03	< 4,3E-03
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	< 5,2E-03	< 7,5E-03	7,2E-02	< 1E-02
²⁴¹ Am	< 1E-02	< 1,1E-02	< 1,4E-01	< 1,2E-02

Tableau 27 : Activités massiques moyennes mesurées dans le thym prélevé sur les stations de surveillance de l'environnement en 2020

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais				
2021	Ginasservis	Saint-Paul-lez-Durance	Grande Bastide	Verrerie
⁴⁰ K	2,01E+02	2,05E+02	2,14E+02	2,22E+02
¹³⁷ Cs	< 1,6E+00	< 1,5E+00	< 1,9E+00	< 2,6E+00
¹³⁴ Cs	< 1,8E+00	< 1,9E+00	< 2,2E+00	< 3,0E+00
¹⁴ C(Bq/kg de C total)	1,94E+02 ± 14%	2,0E+02 ± 14%	2,05E+02 ± 13,7%	2,27E+02 ± 14,4%
³ H libre	< 5,6E-01	< 7,1E-01	< 7,2E-01	< 7,2E-01
³ H lié	< 6,5E-01	< 5,6E-01	< 5,1E-01	< 1,1E+00
²³⁴ U	2,0E-01 ± 11%	1,7E-01 ± 12%	1,0E-01 ± 17%	2,7E-01 ± 9,8%
²³⁵ U	1,3E-02 ± 36%	< 1,1E-02	3,2E-02 ± 32%	1,3E-02 ± 35%
²³⁸ U	2,1E-01 ± 11%	1,9E-01 ± 12%	1,1E-01 ± 19%	2,7E-01 ± 9,9%
²³⁸ Pu	< 4,9E-03	< 4,1E-03	< 1,1E-02	< 3,4E-03
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	< 1,2E-02	< 1,3E-02	< 4,1E-02	< 1,3E-02
²⁴¹ Am	< 1,1E-02	< 1,4E-02	< 1,8E-02	< 8,4E-03

Tableau 28 : Activités massiques moyennes mesurées dans le thym prélevé sur les stations de surveillance de l'environnement en 2021

Le potassium 40, isotope radioactif du potassium est naturellement présent dans les végétaux à l'inverse du césium 137 qui a une origine artificielle. À titre indicatif, les analyses réalisées en 2009 et 2010 sur des échantillons de thym « de référence » prélevés à Cucuron, à une trentaine de kilomètres de Cadarache, montrent des niveaux d'activité massique en potassium 40 de l'ordre de 7 Bq/g de cendre (soit environ 202 Bq/kg frais).

Les niveaux d'activité massique en carbone 14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les végétaux.

Les niveaux d'activité massique en césium 137 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées sur le sol français (retombées de l'accident de Tchernobyl en 1986).

Les valeurs annuelles en tritium libre et en tritium organiquement lié sont toutes inférieures aux seuils de décision.

Des mesures ont également été réalisées dans le cadre du « point zéro radiologique » d'ITER en 2007, sur des échantillons de thym et de chêne vert, ce dernier étant un bio-indicateur de tritium dans le cycle de l'eau.

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau suivant.

Elément	Activités massiques - Thym (Bq/kg de matière sèche)	Activités massiques - Chêne vert (Bq/kg de matière sèche)
⁷ Be	60,6 à 197,9	18,8 à 89,4
⁴⁰ K	<11 à 429	<11 à <194
⁵¹ Cr	<1 à <11	<1 à <12
⁵⁴ Mn	<0,4 à <0,7	< 0,3 à <0,7
⁶⁰ Co	<0,3 à <0,7	< 0,3 à <0,8
¹²⁹ I	<2 à <72	< 2 à <72
¹³³ Ba	<0,3 à <0,9	< 0,4 à <0,7
¹³⁴ Cs	<0,4 à <0,7	<0,3 à <0,6
¹³⁷ Cs	<0,3 à 2,17	<0,3 à 1,95
²²⁶ Ra	<4 à <12	< 5 à <10
²²⁸ Ra	1,8 à 3,53	<1 à <3
¹⁵² Eu	<0,5 à <1	<0,4 à <0,8
¹⁵⁴ Eu	<0,2 à <0,7	< 0,3 à <0,6
²² Na	<0,4 à < 0,8	< 0,3 à <0,7
²³⁵ U	<0,3 à <0,7	< 0,3 à <0,6
²³⁸ U	< 1 à <27	< 1 à <23
²⁴¹ Am	<0,3 à <0,9	< 0,3 à <1
Tritium de l'eau libre	<3 à < 24	<3 à < 9
Tritium sous forme organique	0,5 à <4,2	0,4 à <1,2
Carbone 14	47 à 232	44,1 à 230
Carbone organique total	58 à 163	38 à 110

Tableau 29 : Activités massiques mesurées sur des échantillons de thym et de chêne vert prélevés sur le site d'ITER

Ces différents résultats ne montrent pas de valeur anormale dans l'environnement autour du site de Cadarache.

4.2.1.2 Analyses chimiques

Pour ce qui concerne le volet chimique, on dispose des analyses des végétaux réalisées lors du « point zéro chimique » sur le site d'ITER. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Nature	Unité	Concentration des végétaux - Thym	Concentration des végétaux - Chêne vert	Bruit de fond géochimique (*)
Dioxines et furannes	pg/g	0 à 0,29	0 à 0,79	
Aluminium	mg/kg	410 à 990	120 à 420	
Arsenic	mg/kg	< 0,5	< 0,5	
Béryllium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	
Cadmium	mg/kg	< 0,5	< 0,5	
Chrome total	mg/kg	0,91 à 2,4	0,62 à 2,5	0,2 à 1
Cuivre	mg/kg	6,3 à 8,3	3,5 à 4,6	2 à 12
Mercuré	mg/kg	0,052 à 0,078	< 0,05 à 0,07	
Nickel	mg/kg	1,1 à 1,7	< 0,5 à 10	0,1 à 3
Plomb	mg/kg	0,86 à 1,3	< 0,5 à 0,95	<3
Zinc	mg/kg	58 à 85	24 à 31	10 à 100
Fer	mg/kg	290 à 660	110 à 350	
Manganèse	mg/kg	49 à 140	25 à 450	
Cyanures totaux	mg/kg	< 2	< 2	
Hydrocarbures	mg/kg	1200 à 4900	< 660 à 830	

(*) Aucune valeur de bruit de fond géochimique n'ayant été trouvée pour la France, les valeurs indiquées par le Ministère Fédéral Allemand de la Coopération et du Développement Economique (BMZ) ont été utilisées

Tableau 30 : Concentrations en substances chimiques du thym et du chêne vert prélevés sur le site d'ITER

4.2.2- Légumes

Afin d'évaluer l'impact potentiel des rejets radioactifs du CEA Cadarache sur les produits de consommation d'origine végétale cultivés dans la région, des légumes sont achetés tous les trimestres dans des communes situées autour du Centre : à Saint-Paul-lez-Durance, Vinon-sur-Verdon, Ginasservis et Peyrolles (à noter que ce suivi trimestriel a eu lieu jusqu'à fin 2017, et qu'à partir de 2018, cette collecte devient annuelle, conformément à la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017).

Dans la mesure du possible, différents types de végétaux de consommation sont sélectionnés : légumes-fruits (aubergines courgettes, tomates), légumes-feuilles (blettes, salades) et légumes-racines (carottes, pommes de terre, oignons).

Après traitement (étuvage, calcination), une mesure de l'activité bêta globale, et une spectrométrie gamma permettant notamment la mesure du potassium 40, sont réalisées sur chaque échantillon. Pour chaque lieu de récolte, ces mesures sont complétées sur un échantillon par des mesures de l'activité tritium, carbone 14, strontium-90/yttrium-90 et par une spectrométrie alpha permettant notamment la mesure des transuraniens (Am, Pu).

Les résultats des analyses des végétaux de consommation prélevés de 2017 à 2021 sont reportés dans les tableaux suivants. Les moyennes sont calculées pour chaque type de légumes (feuilles, fruits et racines), toutes stations confondues. Les seuils de décision indiqués dans les tableaux sont les seuils les plus élevés obtenus sur l'ensemble des mesures réalisées pour un type de légumes.

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais (sauf 14C en Bq/kg de C)			
2017	Légume feuilles	Légume fleurs	Légume racines
¹⁴ C	231	-	268
³ H Eau libre	< 1,2	-	< 1,0
³ H organiquement lié	< 6,2E-02	-	< 0,18
⁴⁰ K	117	94	130
¹³⁷ Cs	< 0,13	< 0,11	< 0,11
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	< 3,7E-04	-	< 5,1E-04
²³⁸ Pu	< 5,9E-04	-	< 5,1E-04
²⁴¹ Am	< 6,5E-04	-	< 6,2E-04
⁹⁰ Sr	< 2,8E-02	-	< 1,8E-02

Tableau 31 : Activités massiques moyennes dans les végétaux de consommation prélevés en 2017

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais (sauf ^{14}C en Bq/kg de C)			
2018	Légume feuilles	Légume fleurs	Légume racines
^{14}C	234	224	-
^3H Eau libre	< 0,73	< 1,3	-
^3H organiquement lié	< 0,35	< 4,9E-02	-
^{40}K	70	73	125
^{137}Cs	< 0,19	< 0,16	< 0,39
$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	< 5,3E-04	< 3,5E-04	-
^{238}Pu	< 2,4E-03	< 1,7E-04	-
^{241}Am	< 4,9E-04	< 2,5E-04	-
^{90}Sr	< 2,8E-02	< 1,8E-02	-
^{234}U	1,6E-02	4,1E-03	-
^{235}U	< 9,3E-04	< 3,2E-04	-
^{238}U	1,6E-02	3,2E-03	-

Tableau 32 : Activités massiques moyennes dans les végétaux de consommation prélevés en 2018

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais (sauf ^{14}C en Bq/kg de C)			
2019	Légume feuilles	Légume fleurs	Légume racines
^{14}C	259	243	260
^3H Eau libre	< 1	< 1,2	< 1,1
^3H organiquement lié	< 1,1E-01	< 6,7E-02	< 9,8E-02
^{40}K	223	88	105
^{137}Cs	< 6,5E-01	< 4,5E-01	< 4,3E-01
$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	< 2,85E-03	< 1,2E-03	< 4,3E-03
^{238}Pu	< 8,3E-04	< 3,75E-04	< 7,6E-04
^{241}Am	< 2,1E-03	< 5,4E-03	< 1,2E-03
^{90}Sr	< 1,7E-01	< 5,3E-02	< 8,8E-02
^{234}U	3,3E-02	2,8E-03	1,4E-02
^{235}U	< 1,7E-03	< 6,2E-04	< 8,8E-04
^{238}U	3,0E-02	2,7E-03	1,2E-02

Tableau 33 : Activités massiques moyennes dans les végétaux de consommation prélevés en 2019

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais (sauf ^{14}C en Bq/kg de C)			
2020	Légume feuilles	Légume fleurs	Légume racines
^{14}C	246	238	262
^3H Eau libre	< 1,3E+00	< 1,3E+00	< 1,0E+00
^3H organiquement lié	< 2,0E-01	< 5,0E-02	< 2,0E-01
^{40}K	102	81	111
^{137}Cs	< 3,6E-01	< 3E-01	< 3,6E-01
$^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$	< 1,5E-03	< 6,4E-04	< 4,0E-03
^{238}Pu	< 9,7E-04	< 9,3E-04	< 6,3E-03
^{241}Am	< 2,1E-03	< 1,1E-03	< 2,1E-03
^{90}Sr	< 1,4E-01	< 1,1E-01	< 6,3E-01
^{234}U	2,3E-02	4,1E-03	2,7E-02
^{235}U	< 1,2E-03	< 1,1E-03	< 3,8E-03
^{238}U	1,7E-02	1,8E-03	2,3E-02

Tableau 34 : Activités massiques moyennes dans les végétaux de consommation prélevés en 2020

Activités massiques moyennes en Bq/kg frais (sauf ¹⁴ C en Bq/kg de C)			
2021	Légume feuilles	Légume fleurs	Légume racines
¹⁴ C	2,02E+02 ± 17%	2,0E+02 ± 14%	2,24E+02 ± 14,1%
³ H Eau libre	< 1,5E+00	< 1,3E+00	< 1,2E+00
³ H organiquement lié	< 6,2E-02	< 6,1E-03	< 1,3E-01
⁴⁰ K	1,02E+02	6,8E+01	6,8E+01
¹³⁷ Cs	< 2,7E-01	< 1,2 E-01	< 2,2E-01
²³⁹ Pu + ²⁴⁰ Pu	< 5,3E-04	< 1,2E-03	< 1,5E-03
²³⁸ Pu	< 3,2E-03	< 7,7E-04	< 8,6E-04
²⁴¹ Am	< 6,4E-04	< 9,0E-04	< 1,9E-03
⁹⁰ Sr	< 7,0E-02	< 6,4E-02	< 1,2E-01
²³⁴ U	7,0E-03 ± 13%	2,5E-03 ± 25%	5,9E-03 ± 18%
²³⁵ U	< 8,3E-04	< 4,7E-04	< 1,0E-03
²³⁸ U	6,4E-03 ± 15%	2,2E-03 ± 26%	5,6E-03 ± 20%

Tableau 35 : Activités massiques moyennes dans les végétaux de consommation prélevés en 2021

Les analyses réalisées montrent la présence de potassium 40, isotope radioactif du potassium naturellement présent dans les végétaux, avec des activités comprises entre 44 et 168 Bq/kg frais en 2021.

À titre indicatif, les analyses réalisées sur des échantillons de végétaux de consommation « de référence » prélevés en 2009 et 2010 à Cucuron, à une trentaine de kilomètres de Cadarache, montrent que les activités en potassium 40 sont de l'ordre de 12 à 15 Bq/g de cendres (soit environ 154 Bq/kg de frais).

Les activités mesurées en tritium, ⁹⁰Sr, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²³⁸Pu, ²⁴¹Am et ¹³⁷Cs sont toutes inférieures aux seuils de décision.

À titre indicatif, l'IRSN donne, dans ses bilans annuels de l'état radiologique de l'environnement français, des valeurs de bruit de fond en strontium 90 mesuré sur les salades : de l'ordre de 0,1 Bq/kg frais en 2009, et 0,076 Bq/kg frais en 2011. Ce bruit de fond est attribuable aux traces encore mesurables des retombées des essais aériens d'armes nucléaires (la période radioactive du strontium 90 est de 29,14 ans).

Les niveaux d'activité en carbone 14 (environ 209 Bq/kg de carbone en moyenne en 2021) sont proches des valeurs trouvées communément dans les végétaux (les mesures effectuées sur les échantillons de végétaux prélevés à Cucuron ont montré des activités en carbone 14 de l'ordre de 266 ± 35 Bq/kg de carbone).

Les mesures en transuraniens sont la plupart du temps inférieures au seuil de décision.

Il en est de même pour le césium 137, dont les mesures sont la plupart du temps inférieures au seuil de décision.

Les valeurs publiées par l'IRSN dans le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020, et présentées sur les Figure 40 et Figure 41, montrent que les mesures issues de la surveillance sont cohérentes avec les valeurs de bruit de fond.

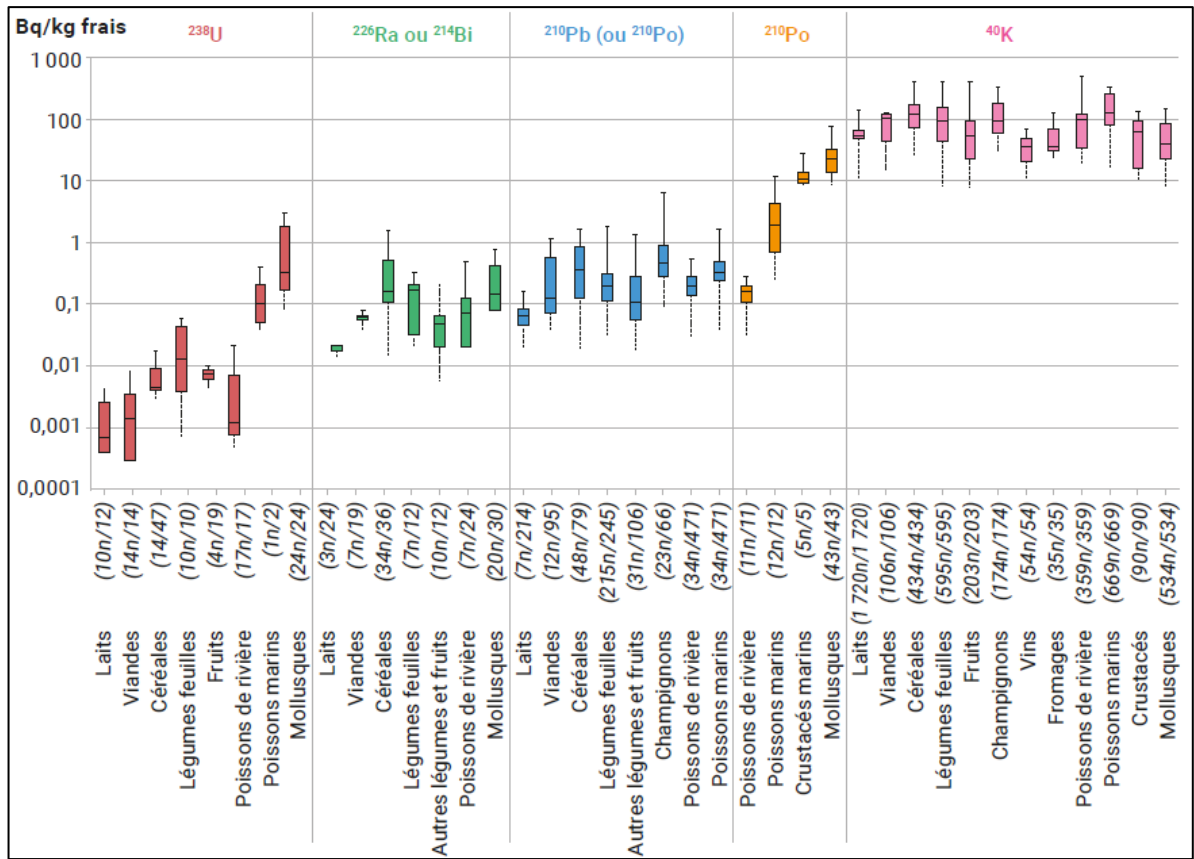


Figure 40 : Activités (Bq/kg frais) des principaux radionucléides naturels dans les denrées produites en France (IRSN : Bilan radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020)

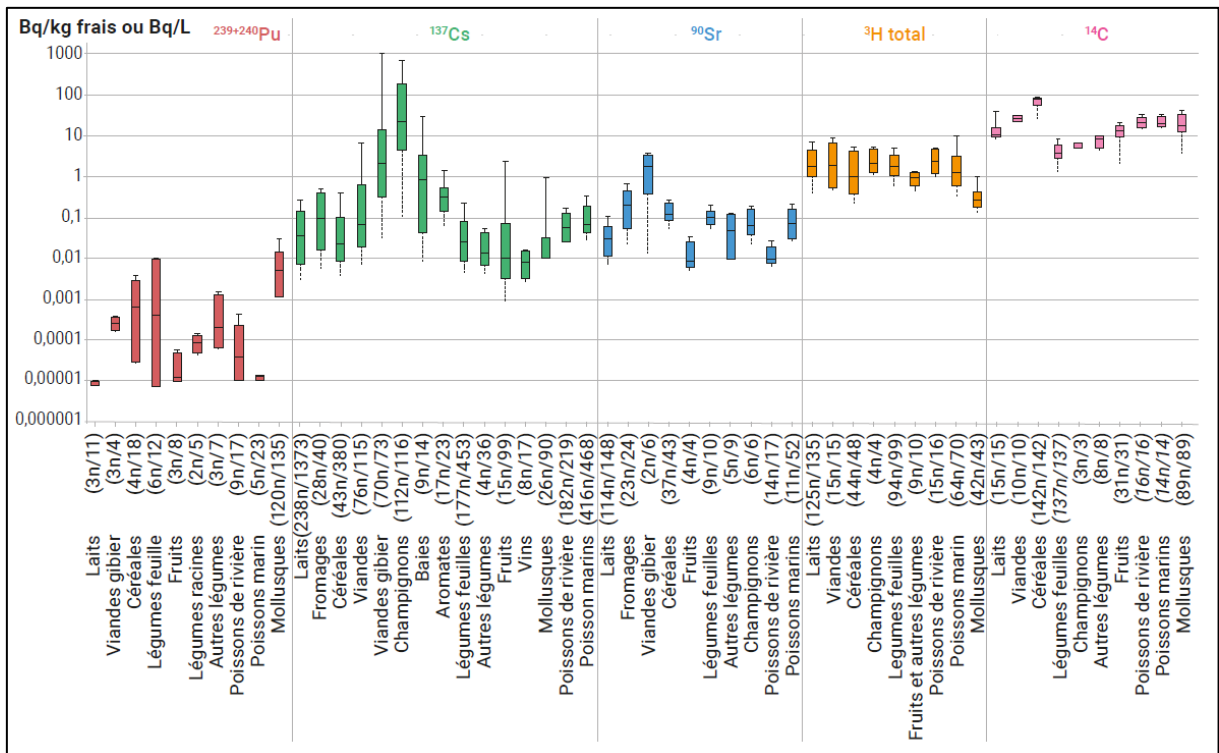


Figure 41 : Activités des principaux radionucléides artificiels dans les denrées produites en France en Bq/kg frais (IRSN : Bilan radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020)

4.2.3- Lait de chèvre

Afin d'évaluer l'impact des rejets radioactifs du CEA Cadarache sur les produits de consommation d'origine animale de type laitage, un échantillon de lait de chèvre est collecté tous les mois chez un éleveur local (à noter que ce suivi mensuel a eu lieu jusqu'à fin 2017, et qu'à partir de 2018, cette collecte devient trimestrielle, conformément à la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017). Les analyses radiologiques réalisées sur ces échantillons sont :

- × la mesure de l'activité volumique bêta ;
- × une spectrométrie gamma permettant notamment la mesure de l'iode 131 et du potassium 40.

Une fois par an, une analyse complémentaire est faite sur un échantillon pour mesurer le carbone 14 et le tritium (libre et organiquement lié), et, à partir de 2019, le strontium 90. À noter qu'aucun prélèvement n'est réalisé au cours de la période hivernale car le lait produit par les chèvres à cette période de l'année est réservé aux chevreaux.

Les résultats des analyses des laits prélevés entre 2017 et 2021 sont reportés dans le Tableau 36.

Année	Activités volumiques moyennes en Bq/L (sauf pour le ¹⁴ C, activité en Bq/kg de carbone)							
	¹⁴ C	³ H eau libre	³ H organiquement lié (TOL)	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	¹³¹ I	¹³⁴ Cs	⁹⁰ Sr
2017	218	< 1,09	< 0,14	69	< 0,35	< 0,35	-	-
2018	234	< 1,1	< 0,14	58	< 0,55	< 0,61	-	-
2019	232	< 1,2	< 0,14	61	< 0,56	< 0,59	-	< 0,096
2020	249	< 1,2	< 0,15	55	< 0,38	< 0,38	< 0,43	< 0,14
2021	230	< 1,2	< 0,17	63	< 0,45	< 0,44	< 0,4	< 0,14

Tableau 36 : Activités volumiques moyennes mesurées dans le lait de chèvre prélevé entre 2017 et 2021

Les mesures réalisées en césium 137 sont inférieures aux seuils de décision. Les mesures réalisées en tritium sont inférieures à 10 Bq/L, seuil de décision requis réglementairement.

Le potassium 40, isotope radioactif du potassium, et le carbone 14, isotope radioactif du carbone, sont des composants naturels présents dans le lait.

À titre indicatif, des analyses réalisées sur des échantillons de lait de chèvre prélevés à une trentaine de kilomètres de Cadarache ont montré des niveaux d'activité volumique en potassium 40 du même ordre de grandeur (de 52 à 62 Bq/L).

Les niveaux d'activité en carbone 14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les matières vivantes.

Dans tous les cas, les résultats des analyses radiologiques effectuées sur le lait de chèvre collecté localement ne dépassent pas les normes d'acceptabilité en matière de produits de consommation humaine (Codex Standard 193-1995 du Codex alimentarius FAO/OMS).

À titre indicatif, la Figure 42, issue du bilan radiologique de l'environnement français 2018-2020 réalisé par l'IRSN, présente l'évolution des activités dans le lait et les salades entre 1963 (au plus fort des retombées des essais d'armes nucléaires) et 2020. La figure montre un maximum mesuré lors des retombées de l'accident de Tchernobyl (1986) ; elle montre également qu'il n'y a actuellement pratiquement plus de tritium et de carbone 14 artificiels, hérités des essais nucléaires.

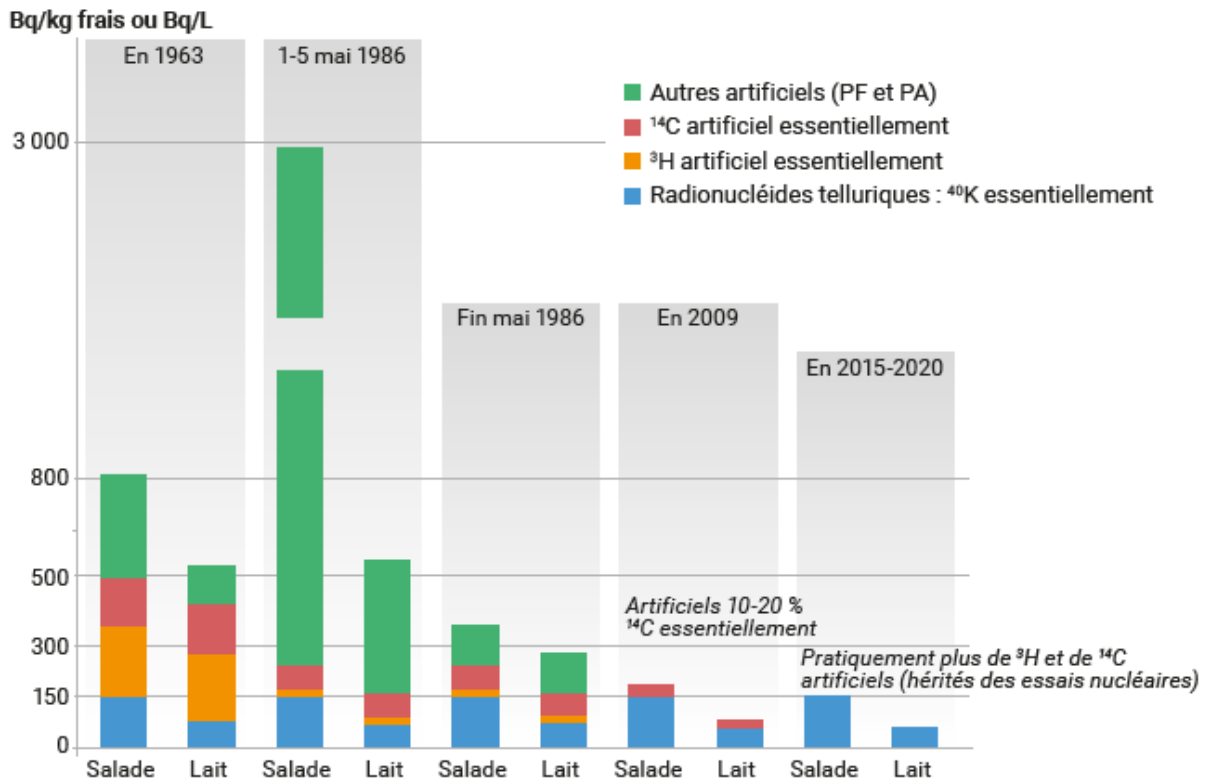


Figure 42 : Activités des salades (Bq/kg de frais) et du lait (Bq/L) en France au plus fort des retombées des essais d'armes nucléaires (1963), maximales lors des retombées de l'accident de Tchernobyl (du 1^{er} au 5 mai 1986), fin mai 1986, en 2009, et en 2015 - 2020 (Source ; IRSN – Bilan radiologique de l'environnement français 2018-2020)

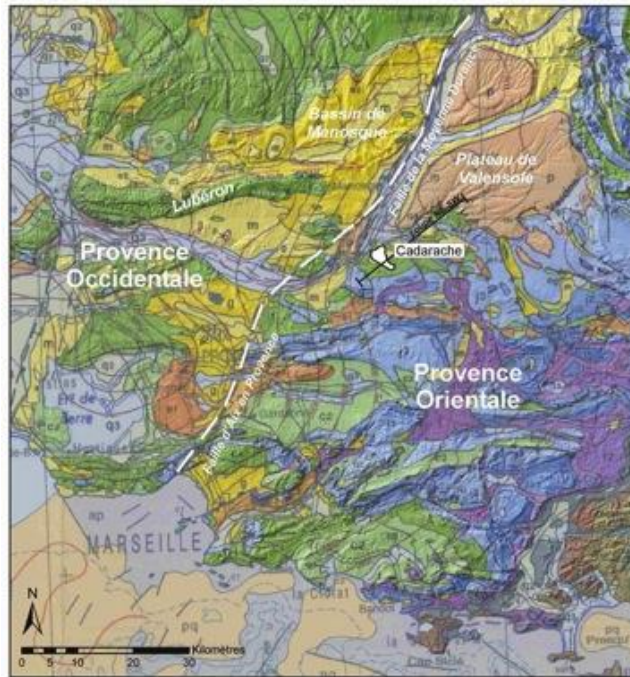
5. Environnement aquatique

5.1- Eaux souterraines

5.1.1- Contexte géologique

5.1.1.1 Contexte géologique structural

À l'échelle régionale, le site de Cadarache se déploie en bordure ouest de la « Provence Orientale » au sens géologique du terme, c'est-à-dire à l'est de la Moyenne Durance. L'épaisseur des sédiments déposés et préservés depuis le début de l'ère secondaire, est d'environ 2 km. Cette caractéristique contraste fortement avec la « Provence Occidentale » (ouest de la Moyenne Durance) où cette épaisseur sédimentaire pourrait atteindre, voire dépasser, les 10 km.



Carte géologique de la Provence

La transition entre ces deux domaines, aux comportements mécanique et tectonique différents, se fait par le système de failles de la Moyenne Durance. Ce système de failles, majeur à l'échelle régionale, se localise à quelques kilomètres à l'ouest du site de Cadarache.

A une échelle intermédiaire, en analysant une coupe NE-SO, le site de Cadarache se situe entre deux plis de rampe : les chevauchements de Vinon-Gréoux au nord (déversés vers le nord) et le pli de la Vautubière au sud (déversé vers le sud).

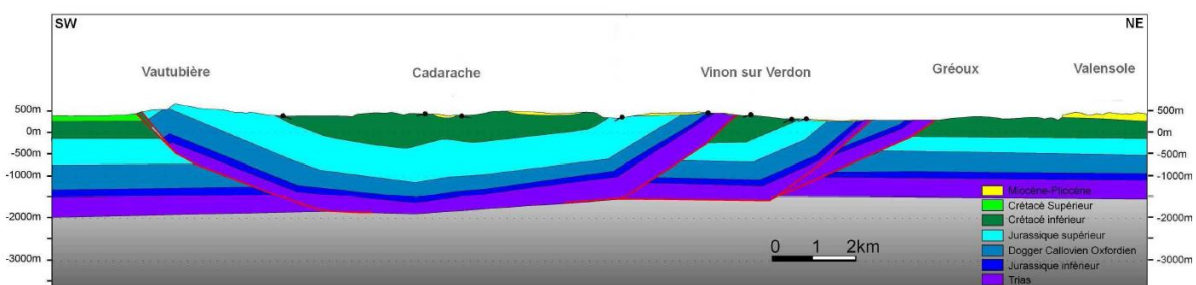


Figure 43 : Coupe géologique NE-SO (l'emplacement de la coupe est repéré sur la figure précédente)

Entre ces deux structures, on peut dénombrer 3 vallées principales, avec du nord au sud :

- * la vallée du ruisseau de Boutre ;
- * la vallée de la Bête ;
- * la vallée de l'Abéou.

Le Centre de Cadarache est majoritairement situé dans la vallée centrale qu'emprunte le ruisseau de la Bête, rebaptisée « vallée des Piles » à la création du Centre.

À l'échelle locale, d'autres vallées secondaires sont des tributaires de celle de la Bête (vallon de Mourre Frais et de Bargette notamment). La vallée actuelle emprunte globalement le tracé ancien d'une vallée plus profonde, aujourd'hui comblée de sédiments (on parlera de « paléovallée »).

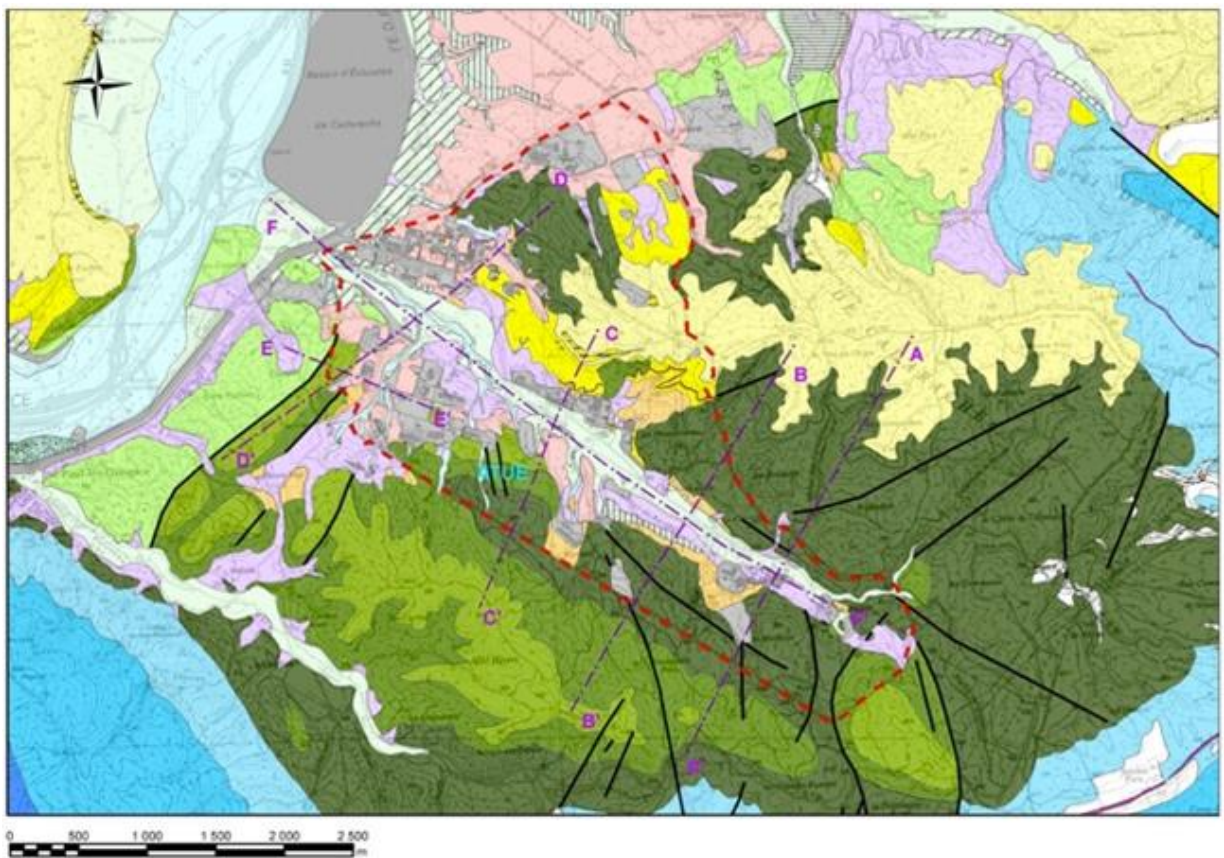


Figure 44 : Carte géologique du site de Cadarache (avec l'emplacement des coupes géologiques)

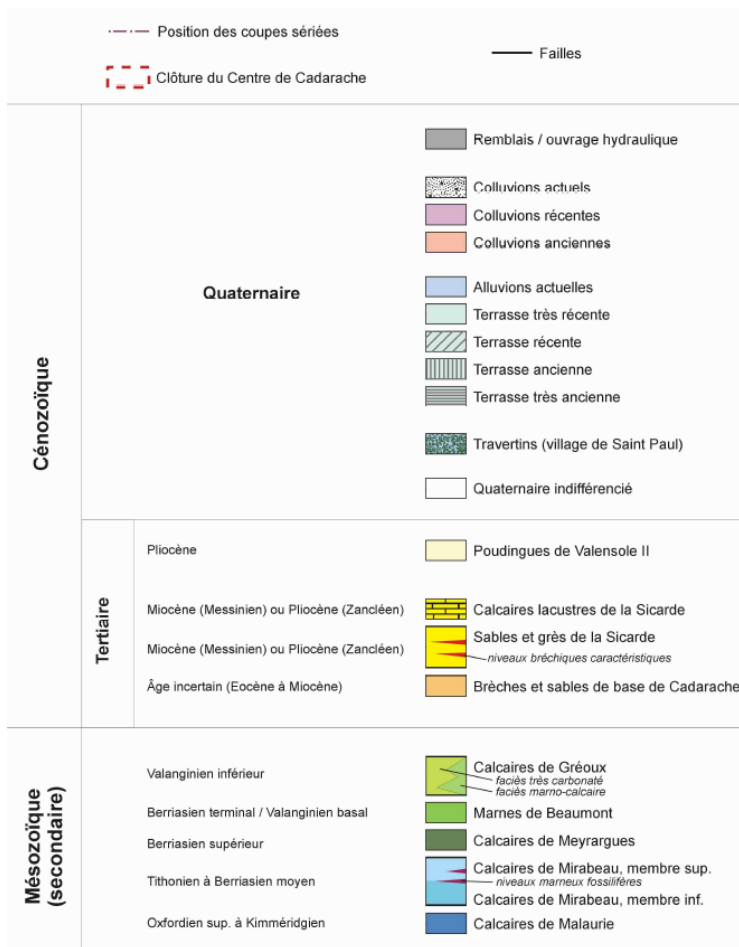


Figure 45 : Légende de la carte et des coupes géologiques

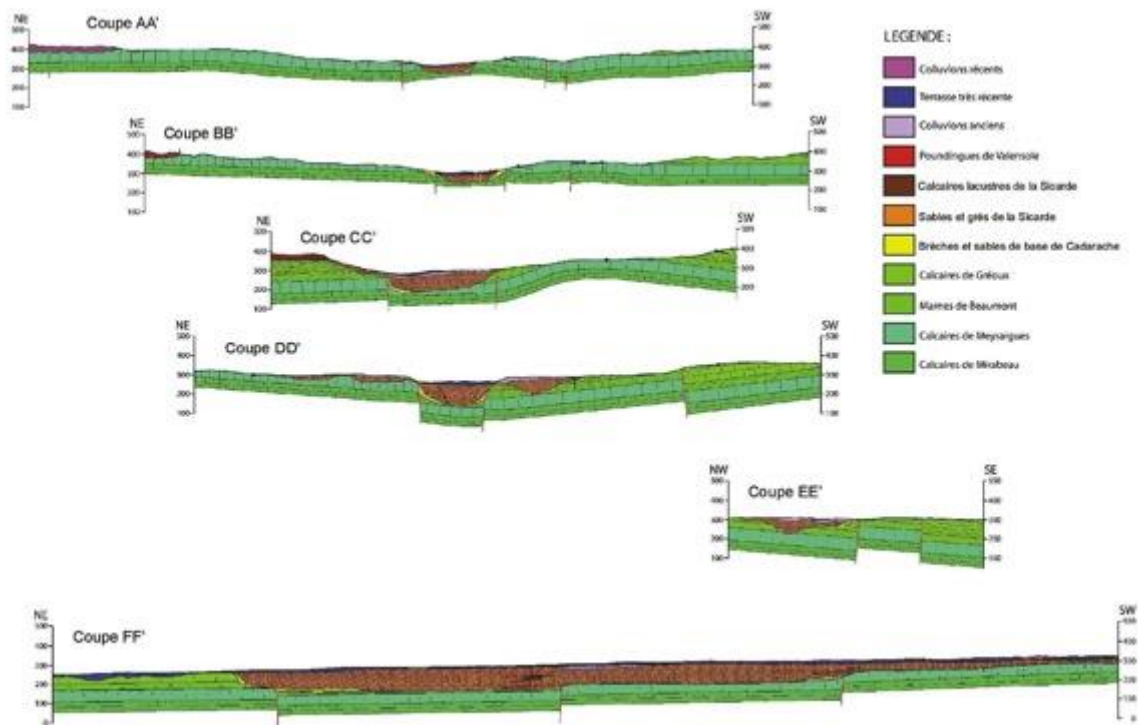


Figure 46 : Coupes géologiques (la localisation des coupes est indiquée sur la carte géologique de Cadarache)

5.1.1.2 Stratigraphie du site de Cadarache

Les paléovallées du site ont été creusées dans des **formations carbonatées du Secondaire** (Mésozoïque). Sur Cadarache, on identifie trois unités principales (des plus anciennes aux plus récentes) :

- * les calcaires de Meyrargues épais de 50 à 60 mètres ;
- * les marnes de Beaumont dans lesquelles s'intercalent de petits bancs de calcaire d'épaisseur centimétrique ; leur épaisseur est d'une quarantaine de mètres ;
- * les calcaires de Gréoux épais de 60 à 80 mètres.

Les formations du Secondaire affleurent sur une bande d'environ 300 m de large au nord du site dans la zone ITER, au niveau de la plateforme du Tokamak.

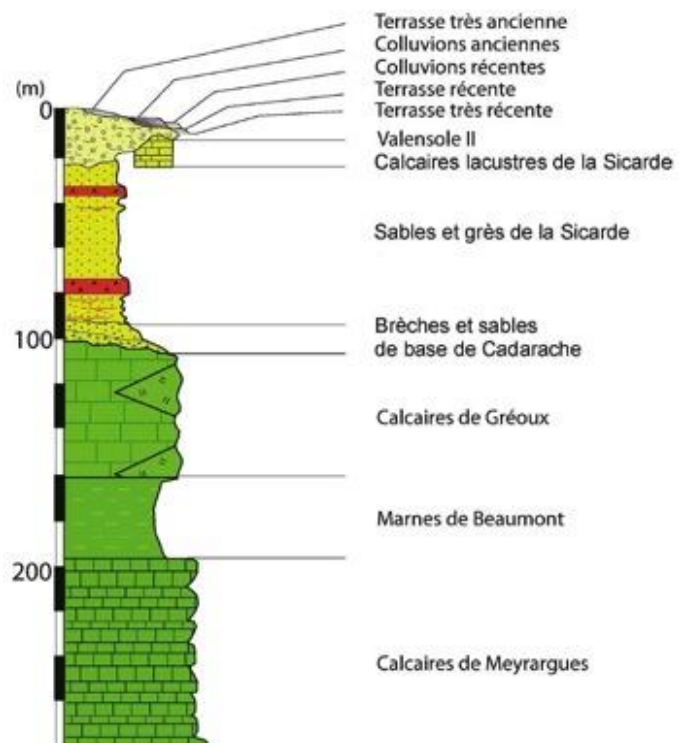
Les **formations tertiaires** sont les suivantes (des plus anciennes aux plus récentes) :

- * Les brèches et sables de base de Cadarache.
- * Les sables et grès de la Sicarde, de près de 100 m d'épaisseur, où alternent des sables limoneux à dominante rouge et ces mêmes sables transformés en grès. Il s'agit de la principale formation de remplissage (en termes de volume) de la paléovallée de Cadarache.
- * Les calcaires lacustres de la Sicarde. On les rencontre sur la colline du Maladroit (à peu près au milieu du site sur la rive droite du Ravin de la Bête), sur une épaisseur d'une dizaine de mètres.
- * Les poudingues de Valensole. Généralement, il s'agit de galets d'origine durancienne, altérés, à dominante jaune et joints par une matrice. L'épaisseur de cette formation varie de 25 à 50 mètres.

Les **formations quaternaires** sont nombreuses et organisées en terrasses et cônes de déjection (ou colluvions). Les terrasses forment des aplanissements plus ou moins marqués dans le paysage et sont, pour certaines, étagées. Les cônes de déjections sont disposés de manière étagée au débouché des vallées et reposent sur les terrasses. On dénombre cinq unités alluviales et deux formations de colluvions dans la vallée de Cadarache.

Les unités alluviales :

- * La terrasse très ancienne, constituée de galets duranciens, forme des replats généralement situés entre 320 et 323 mètres d'altitude.



Stratigraphie type de Cadarache

- × La terrasse ancienne est caractérisée par un conglomérat n'affleurant qu'en position de relief ou dans les fonds de vallon. Son épaisseur varie de 4 m en amont à 10 m en aval et elle se situe entre 269 et 278 mètres d'altitude.
- × La terrasse récente, formée par un conglomérat hétérogène à matrice sableuse grise, est localisée entre 259 mètres d'altitude (depuis l'entrée du Centre) et 273 mètres.
- × La terrasse très récente, composée d'éléments fins (alluvions) et grossiers (grèzes), constitue les bords de la plaine alluviale de la Durance. Elle n'affleure donc pratiquement jamais et est difficilement dissociable de la terrasse récente. Lorsqu'elle est bien différenciée, elle se situe entre 258 et 260 mètres d'altitude (Château de Cadarache).
- × Les alluvions actuelles, formées de galets, d'argiles et limons, elles correspondent au lit majeur de la Durance, aux « ravins » actuels (Ravin de la Bête par exemple), etc.

Les formations de colluvions :

- × Les colluvions anciennes, caractérisées par des dépôts fins limoneux ainsi que des reliquats de roches fracturées par le gel, se présentent sous forme de tabliers d'éboulis. Les travaux sur le chantier d'AGATE en ont révélé une formation dépassant 10 mètres d'épaisseur. Inclus dans cette formation, des calcaires travertineux³ ont été découverts à l'est de la Maison Forestière.
- × Les colluvions récentes, également constituées de débris de roches fracturées par le gel ainsi que de dépôts sableux et argileux, ne s'organisent pas en tabliers comme les formations de colluvions anciennes mais s'observent plus particulièrement en position de talus en bordure des terrasses très récentes.

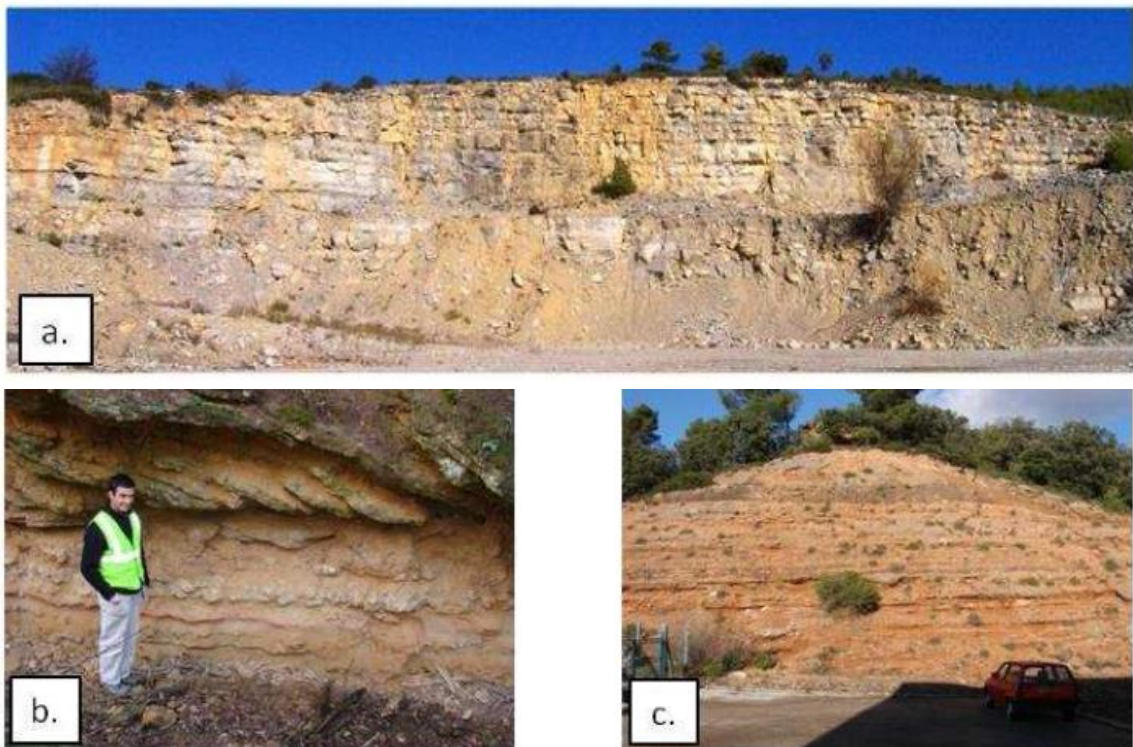
La datation approximative de ces différentes formations est présentée dans le tableau ci-après.

Quelques exemples de photos de formations à l'affleurement sont présentés sous le tableau.

³ Les travertins sont des roches sédimentaires calcaires à aspect concrétionné. Ils se déposent aux émergences de certaines sources, et dans les cours d'eau peu profonds à petites cascades : ils sont dus à la précipitation de carbonates, qui est activée par les turbulences et la perte de CO₂.

Eres	Système ou Période	Séries ou époques	Âges (MA)	Age des formations de Cadarache	Evénements non géologiques		
Quaternaire		Holocène actuel		Formations quaternaires	Homo sapiens		
		Pléistocène	1,8				
CENOZOÏQUE (Tertiaire)	NEOGENE	Pliocène	5,3	Poudingues (-3,6 / -1,9) ; Sicarde (-7/-5)	Glaciations Homo habilis Anthropoïdes		
		Miocène	23				
	PALEOGENE	Oligocène	23	Brèches et sables de base (-40/-7)			
		Eocène	34				
		Paléocène	54				
MESOZOÏQUE (Secondaire)	CRETACE	Crétacé supérieur	65	Formations du secondaire (-140/145)	Fin des dinosaures Plantes à fleurs		
		Crétacé inférieur					
	JURASSIQUE	Jurassique supérieur	145				Oiseaux Premiers mammifères
		Jurassique moyen					
		Jurassique inférieur					
	TRIAS		195				Premiers dinosaures Conifères
PALEOZOÏQUE (Primaire)	PERMIEN		235				
	SUP	CARBONIFERE	Carbonifère supérieur	290	reptiles, insectes		
		DEVONIEN	Devonien supérieur	340	Amphibiens Fougères Poissons		
			Devonien moyen				
	Devonien inférieur						
	SILURIEN		400	Plantes terrestres			
	INF	ORDOVICIEN	Ordovicien supérieur	440			
			Ordovicien moyen				
Ordovicien inférieur							
CAMBRIEN		500					
ANTECAMBRIEN		570					
		3200		Apparition de la vie			
		4600		Formation de la terre			

Tableau 37 : Age de mise en place des formations géologiques de Cadarache



A. Affleurement des calcaires de Meyrargues à Saint-Paul-lez-Durance, Alternance régulière de bancs calcaires dominants et d'inter-bancs marneux. B. Sables et grès à stratifications obliques (Formation des « brèches et sables de base de Cadarache »). C. Alternance de sables limoneux et passées bréchiques (Formation des « sables et grès de la Sicarde »)

Figure 47 : Aperçu de quelques-unes des formations géologiques présentes sur le site de Cadarache

5.1.1.3 Contexte tectonique et reconstruction de l'histoire géologique du site de Cadarache

Vers -84 millions d'années, au Crétacé et jusqu'à la fin de l'Eocène (-23 millions d'années), le régime tectonique devient compressif, en raison d'un changement du mouvement relatif du bloc ibérique et du bloc européen. C'est la phase dite « pyrénéo-provençale » qui donne notamment naissance à la chaîne des Pyrénées. À cette époque, le bloc Corse-Sardaigne ne s'était pas encore détaché du continent : une chaîne de montagne se prolongeait à l'est des Pyrénées actuelles, à la position de l'actuel Golfe du Lion. Une haute chaîne de montagne existait au sud de la Provence actuelle. C'est dans ce contexte que de nombreuses structures tectoniques de la Provence se sont mises en place. Le raccourcissement a d'abord induit une déformation cassante précoce, puis un plissement accompagné de failles inverses à petite et grande échelles (rampes et chevauchements). La mise en place du chevauchement de Vinon-sur-Verdon et de la Vautubière date de cette période. Le Luberon prend lui aussi naissance lors de cette phase pyrénéo-provençale mais son histoire se prolongera ultérieurement.

À la fin de l'Éocène et pendant l'Oligocène, le régime tectonique devient extensif. Le bloc corso-sarde se sépare du continent. En Provence, des failles induisent la création de fossés - ou graben - (bassin de Manosque par exemple). La paléovallée de Cadarache correspond probablement à un petit graben, bordé de failles qui ne sont plus actives aujourd'hui.

Au Miocène, le régime tectonique global redevient compressif et c'est au tour des Alpes de se former. À la latitude de Cadarache, les accidents de la Provence orientale sont peu réactivés, à l'inverse de ceux de la Provence occidentale (notamment le Luberon). La Durance charrie en grande quantité les produits de l'érosion des Alpes, des galets notamment qui vont former les poudingues de Valensole. Ceux-ci sont présents sous le Belvédère de Cadarache. Leur dépôt s'achève vers -2 millions d'années.

Le Quaternaire se caractérise par l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires très marquées impliquant des modifications du niveau de la mer, et, en conséquence, du niveau de base du réseau hydrographique local. Il en résulte la mise en place de différents niveaux de terrasses, étagées ou emboîtées.

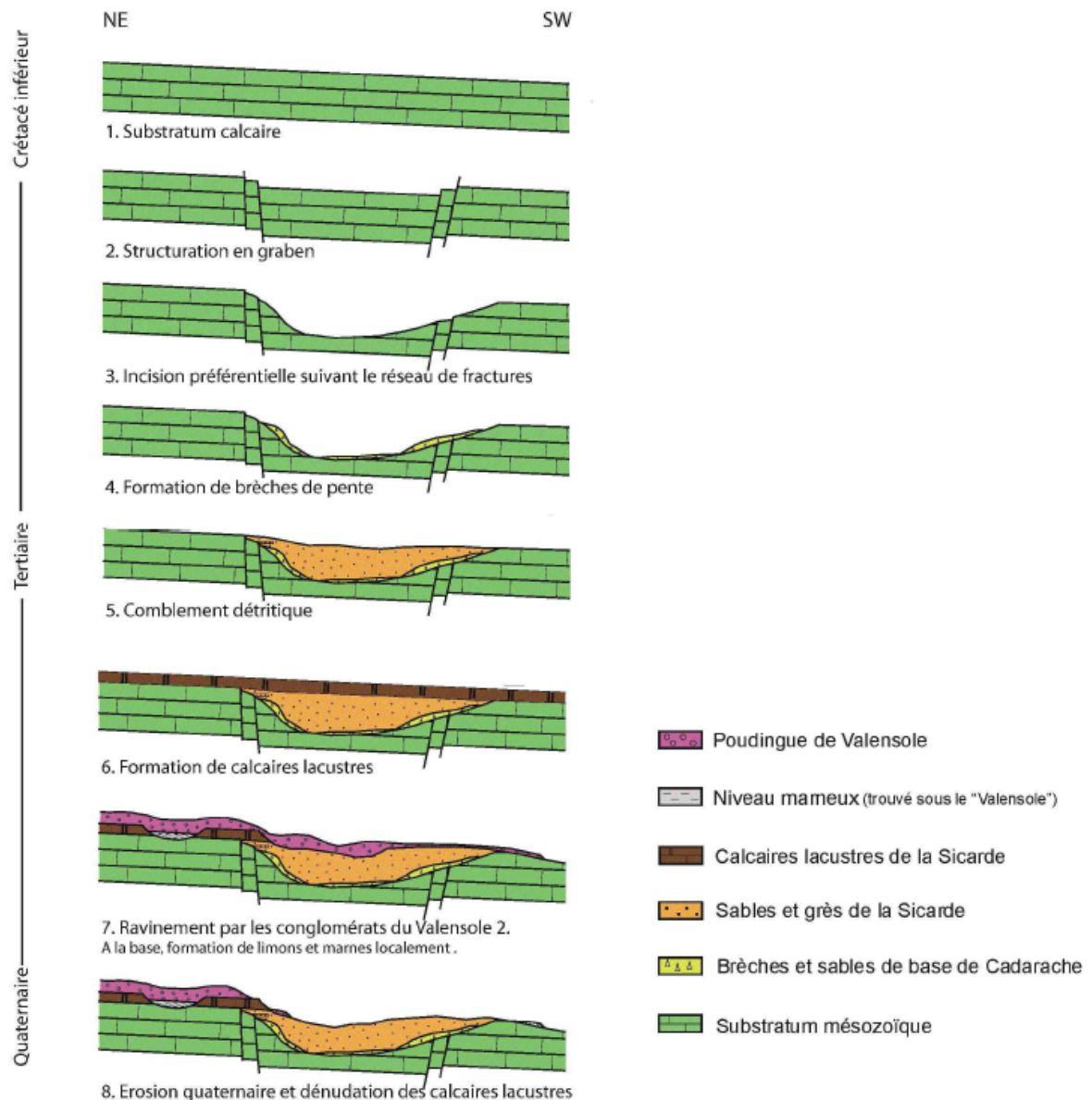


Figure 48 : « Histoire géologique » possible de la mise en place des formations de Cadarache

5.1.1.4 Contexte géologique local de l'installation PEGASE

L'installation PEGASE est fondée sur des terrains appartenant à des formations géologiques d'âge Tertiaire reposant elles-mêmes sur des formations géologiques d'âge Secondaire (voir Figure 49).

Sur l'ensemble du périmètre de l'INB, on trouve, selon la profondeur, des remblais (constitués de terre végétale, sables et graviers) ainsi que des formations géologiques secondaires, tertiaires et quaternaires, qui sont observables à l'affleurement, principalement au nord et à l'est du site.

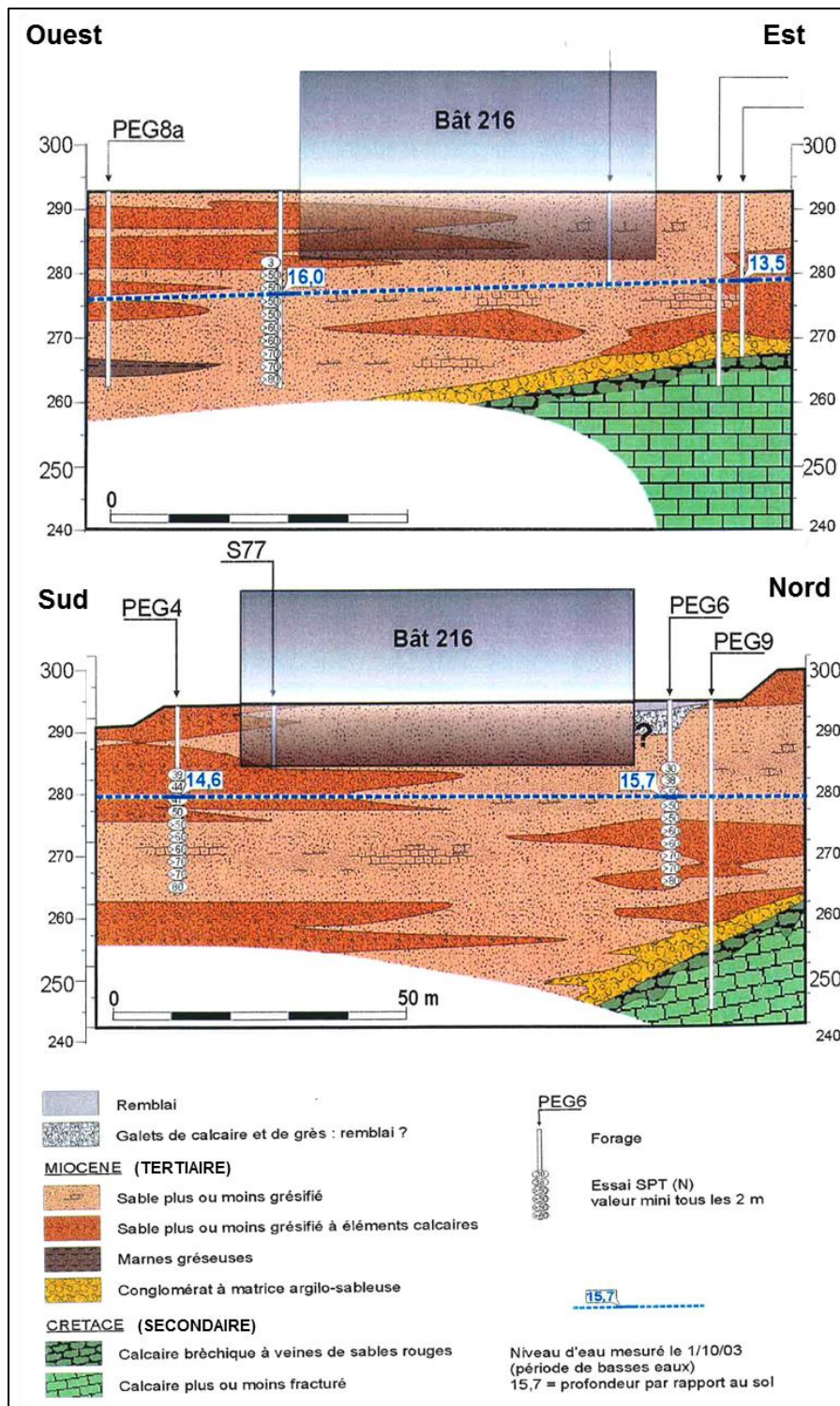


Figure 49 : Coupes géologiques des terrains traversés au niveau de l'installation PEGASE

5.1.2- Contexte hydrogéologique

5.1.2.1 À l'échelle du site de Cadarache

Trois principaux aquifères sont présents à l'échelle du site de Cadarache, avec des comportements hydrauliques a priori spécifiques et des interactions. Ce sont, du haut en bas :

- × l'aquifère des alluvions quaternaires ;
- × l'aquifère des formations miocènes ;
- × l'aquifère des calcaires du Crétacé – Jurassique.

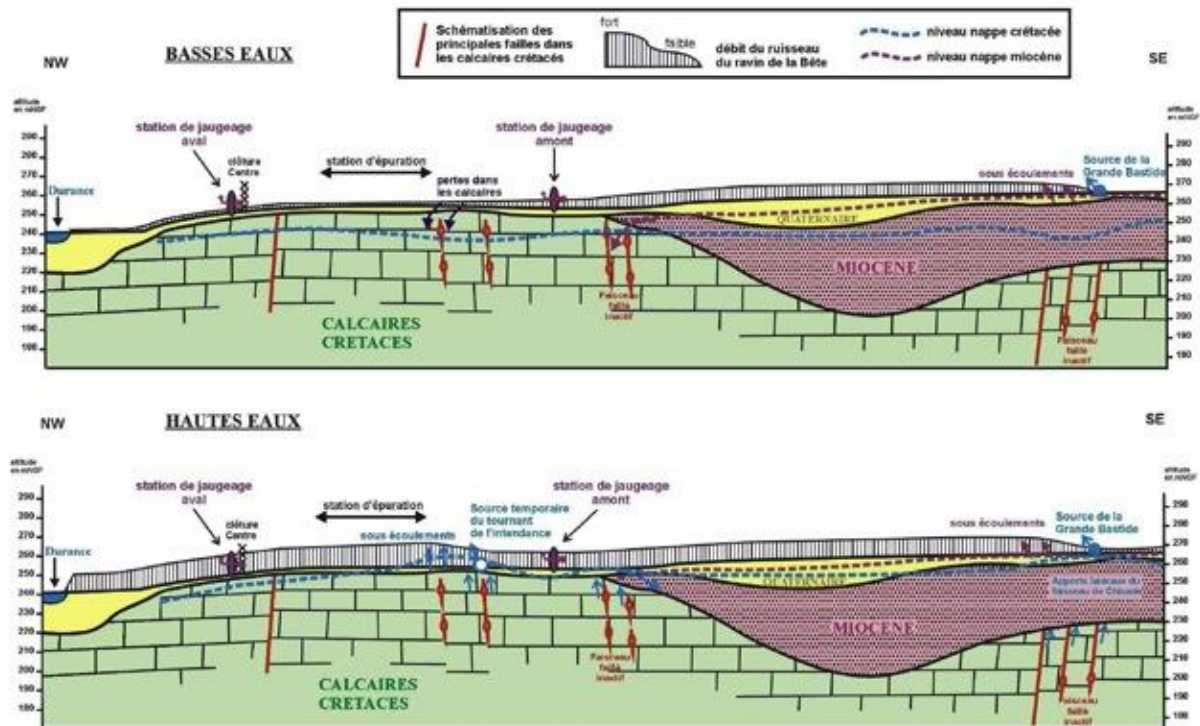


Figure 50 : Schéma interprétatif des relations hydrauliques entre le Ravin de la Bête et les différents aquifères

Ces trois aquifères présentent des connexions hydrauliques entre eux, varient en fonction du régime hydrologique (période de basses eaux ou de hautes eaux). Ainsi, des phénomènes de drainage ou de mise en charge peuvent avoir lieu entre ces différentes unités.

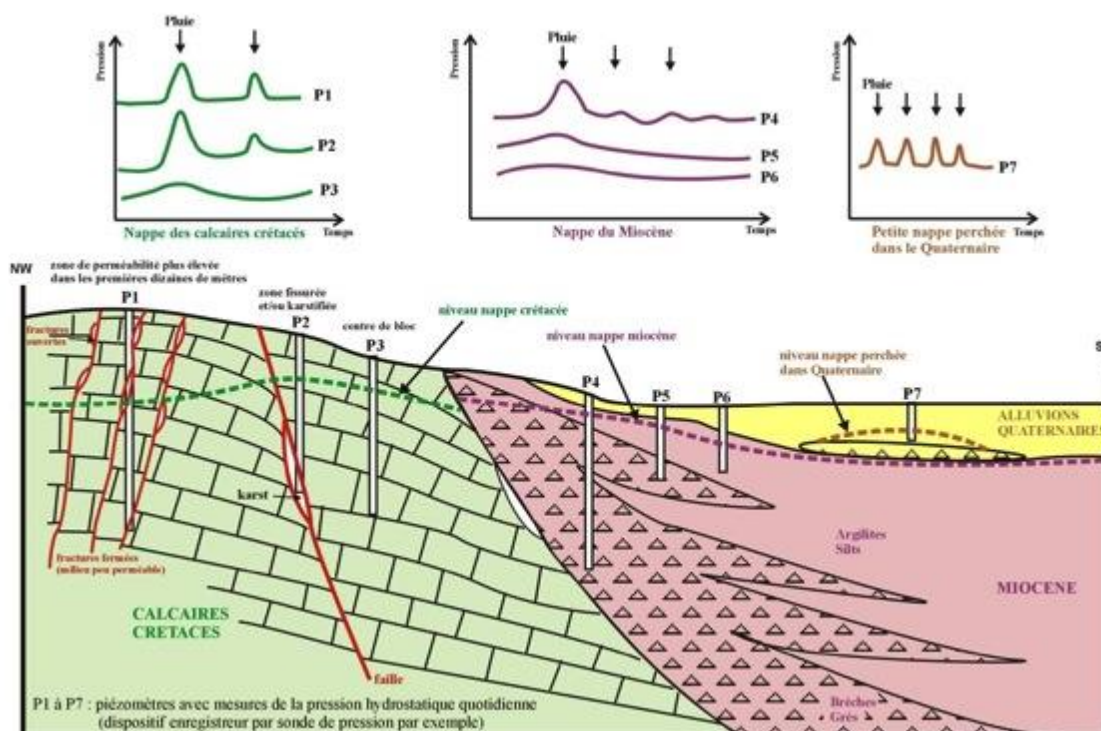


Figure 51 : Schéma illustrant le comportement piézométrique des trois principaux aquifères présents au niveau du site

Aquifère des alluvions quaternaires

Les alluvions quaternaires reposent sur les sables miocènes, voire directement sur les calcaires au niveau de trois secteurs : la vallée de la Durance, le Ravin de la Bête et le vallon de Mourre-Frais (au sud-ouest, à l'extérieur du site). Il n'y a pas d'existence de formations imperméables permettant d'individualiser un système aquifère unique au niveau de ces secteurs. Néanmoins, la présence d'un imperméable peut permettre l'existence d'un aquifère perché : ce type de configuration a été mis en évidence au niveau de l'INB n° 56, dans la partie sud du site de CEDRA, et sur le site d'AGATE.

L'alimentation de cet aquifère au niveau du site de Cadarache se fait par l'infiltration directe des précipitations, mais également par des alimentations des aquifères sous-jacents ou adjacents (Miocène et Crétacé), lors d'épisodes de crues (hautes eaux).

La conductivité hydraulique est variable, forte au niveau des niveaux de galets, sables et cailloutis avec des valeurs comprises entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s et plus faible pour les formations argileuses (10^{-8} à 10^{-7} m/s). Une quarantaine de piézomètres sont implantés au niveau des alluvions du Quaternaire.

Aquifère dit « du Miocène »

Cet aquifère se développe au sein des formations de remplissage des paléovallées (Ravin de la Bête et 3 paléovallées principales situées au sud : Vallon du Mourre Frais, la Bargette par ex.), ainsi que dans la partie septentrionale, séparée du vallon du Ravin de la Bête par un escarpement de calcaires. Sa géométrie est liée d'une part à celle de son soubassement constitué par les calcaires crétacés affectés par des failles, et d'autre part aux conditions de dépôt sédimentaire.

Les formations aquifères sont des sables, des grès, des brèches. Des niveaux de plus faibles perméabilités existent au niveau de formations argileuses.

L'aquifère est alimenté principalement par les précipitations, mais également par l'aquifère sous-jacent lors de conditions hydrologiques de hautes eaux (mise en charge). Il existe des connexions hydrauliques entre l'aquifère sous-jacent contenu dans les calcaires du Crétacé et l'aquifère dit du Miocène ; ces échanges peuvent se dérouler dans les deux sens en fonction des différences de charges hydrauliques entre les deux nappes. L'exutoire de l'aquifère dit du Miocène se situe au niveau des sources de la Grande Bastide ; ces sources ne constituent probablement pas l'exutoire unique de cet aquifère, au vu de l'existence localisée d'échanges entre les aquifères et des directions d'écoulement au sein de cet aquifère.

Les directions d'écoulement en fonction des conditions hydrologiques se font soit en suivant l'axe de drainage du vallon du Ravin de la Bête en direction de la Durance, soit plus au nord, pour rejoindre probablement la vallée de la Durance. Une centaine de piézomètres sont implantés au niveau des formations dites du Miocène.

La figure suivante présente un exemple de carte piézométrique établie pour l'aquifère du Miocène à partir des mesures de niveau piézométrique effectuées en contexte de hautes eaux (avril 2009).

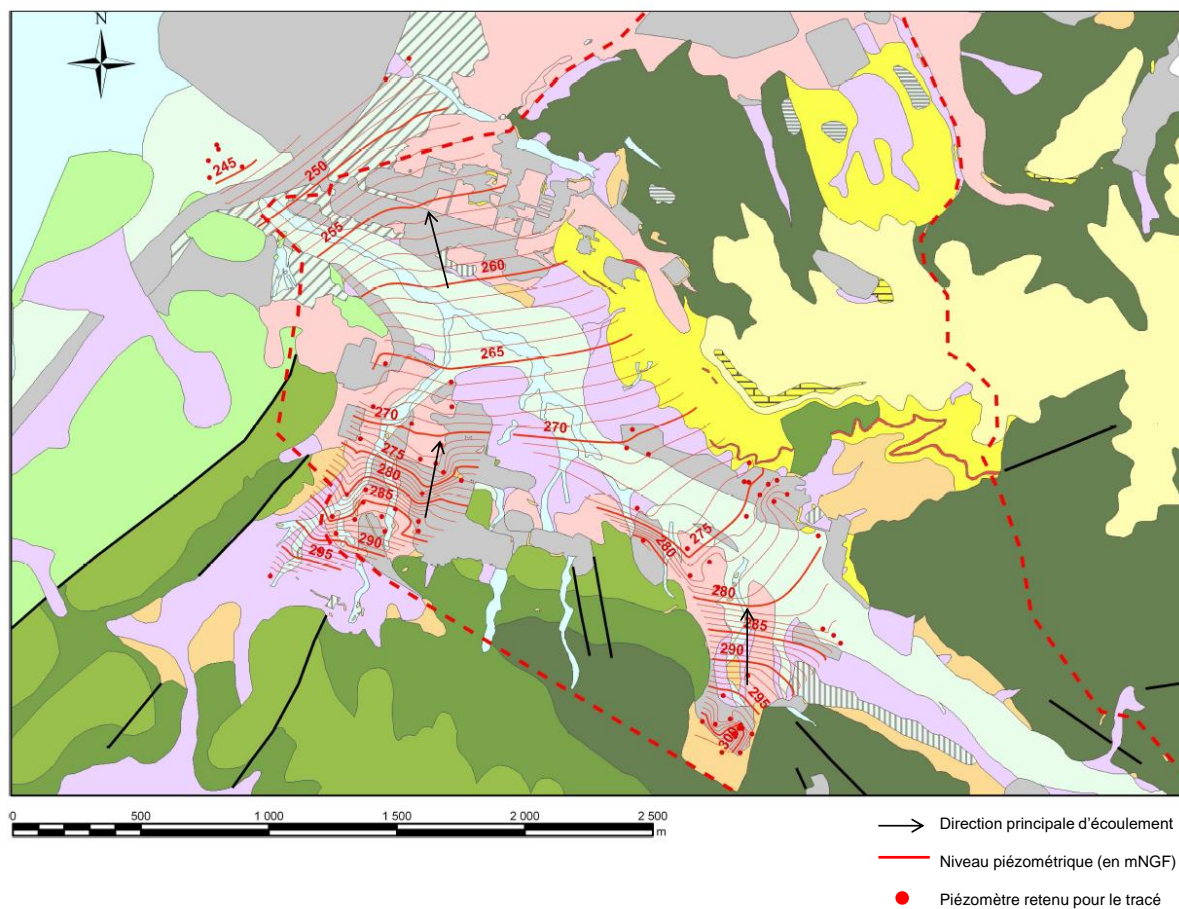


Figure 52 : Carte piézométrique de l'aquifère miocène en contexte de hautes eaux (avril 2009)

Aquifère des calcaires du Crétacé – Jurassique

L'aquifère se développe au sein des formations calcaires massives au niveau du Jurassique et de la base du Crétacé, avec des formations caractérisées par davantage d'inter-bancs dans la partie sommitale. Les calcaires sont affectés par des discontinuités : plans de stratification, fractures, structures de distension, de dissolution. On note une ouverture des fractures N-S et des fractures NE-SO et une tendance générale de fermeture des fractures E-O, en considérant le champ de contraintes qui a régné depuis le début du Tertiaire (cf. l'histoire tectonique exposée au § 5.3). Les circulations seraient associées à des ouvertures pluri-centimétriques de fractures décrochantes sans dissolution importante. Des phénomènes de dissolution sous la discordance du Miocène existent : vestige de lapiaz et épikarst avec remplissage. Les indices de karstification rencontrés au niveau des fouilles et des forages sur les différents sites, sont globalement peu importants ; ils ne sont pas reconnus au-delà des cotes 275 m NGF⁴ (entre 320 et 275 m NGF, sur la bordure SO du site de Cadarache).

Des faisceaux de failles jouant un rôle hydraulique très local sont présents, notamment au niveau de l'installation CHICADE (vers le milieu du Centre de Cadarache), mais ne marquent pas la piézométrie. Néanmoins, des contrastes de perméabilité existent et se traduisent notamment par des phénomènes de mise en charge importante et des remontées de nappe sous certains des bâtiments.

L'établissement d'une carte piézométrique traduit un aquifère de type milieu continu fissuré pouvant être localement compartimenté, mais globalement sans existence d'un réseau de conduits karstiques très perméables et très organisés au niveau de la zone prospectée. Environ 200 piézomètres concernent les calcaires du Crétacé et deux, les calcaires et dolomies du Jurassique.

L'alimentation de cet aquifère carbonaté est assurée par infiltration gravitaire au niveau des formations crétacées affleurantes dans le périmètre du Centre de Cadarache mais également à l'extérieur, au niveau des formations jurassiques, par les aquifères sus-jacents et/ou adjacents (Miocène et Quaternaire) et par la perte de cours d'eau (Ravin de la Bête et peut être par les pertes au niveau de l'Abéou en période de basses eaux). Lorsque les calcaires sont directement en contact avec les alluvions de la Durance, en fonction du niveau de charge, on peut supposer que l'aquifère se décharge à ce niveau. Les sources de l'Abéou situées à l'extérieur de l'emprise du Centre de Cadarache pourraient théoriquement constituer un des exutoires des calcaires du Crétacé et du Jurassique. Un autre exutoire possible est, en conditions de hautes eaux, un drainage de l'aquifère vers les aquifères de sub-surface et une alimentation des cours d'eau. La source de la Grande Bastide pourrait être un exutoire indirect de l'aquifère des calcaires, lors de mise en charge.

⁴ NGF : Nivellement Général de la France.

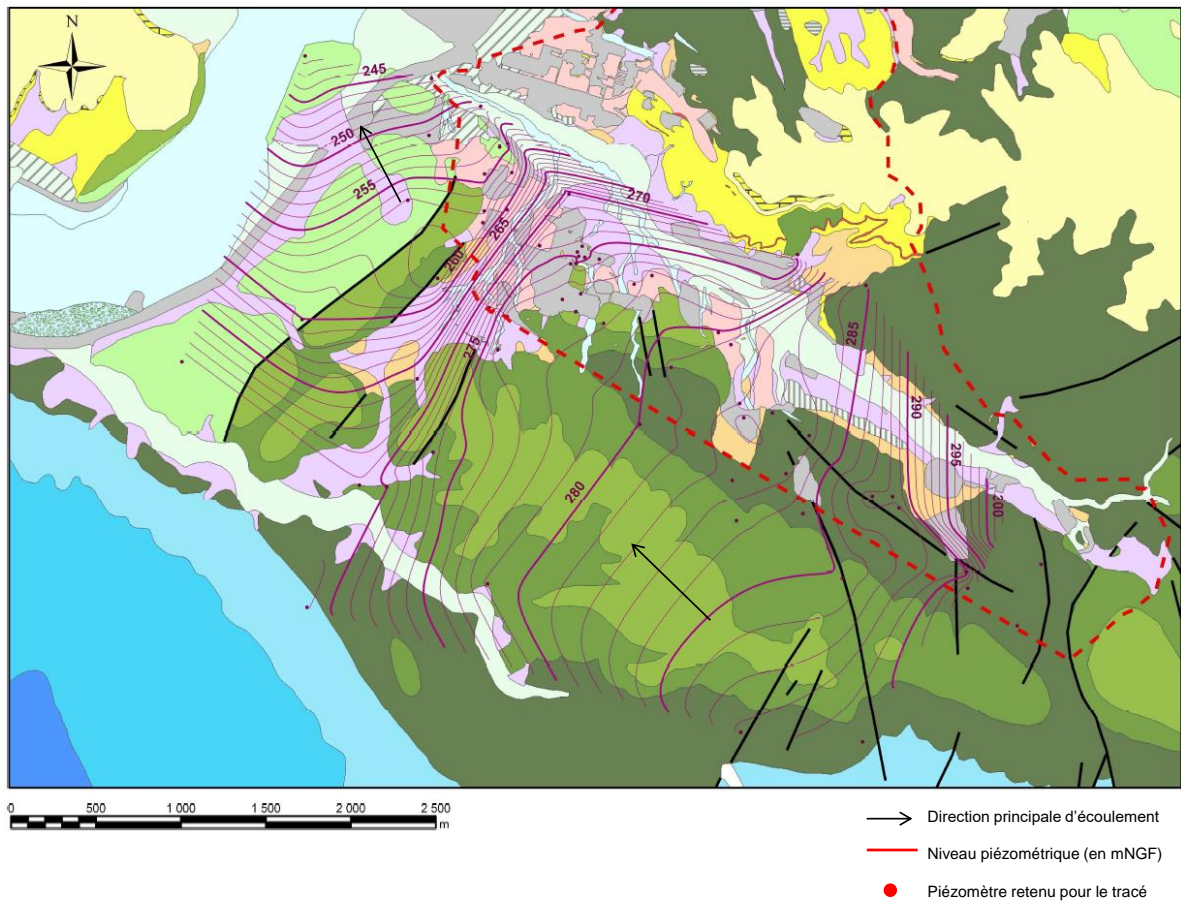


Figure 53 : Carte piézométrique de l'aquifère crétacé en contexte de hautes eaux (avril 2009)

En résumé

Trois aquifères sont présents au niveau du site de Cadarache, l'aquifère quaternaire, l'aquifère dit du Miocène et l'aquifère des calcaires du Crétacé, dont la limite inférieure ne correspond pas à la base des formations du Crétacé mais au niveau des marnes callovo-oxfordiennes du Jurassique moyen. Si les propriétés hydrauliques de ces aquifères sont connues du point de vue de l'échelle macroscopique, des incertitudes existent au niveau de leurs limites, de leur exutoire et au niveau de leurs échanges.

Les eaux des aquifères du Crétacé et du Miocène sont du même faciès, mais néanmoins il est possible de les distinguer les unes des autres.

Les limites hydrogéologiques ainsi que les directions principales d'écoulements sont synthétisées au sein de la carte hydrogéologique présentée ci-après.

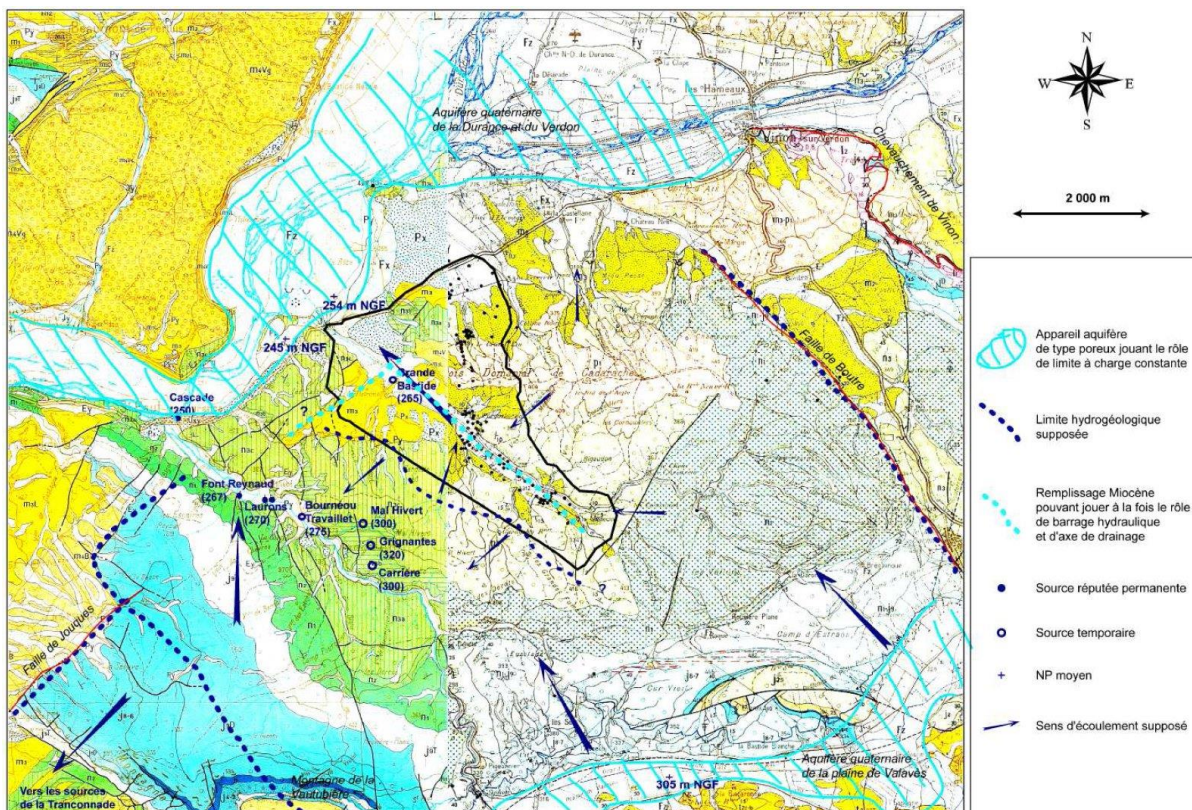


Figure 54 : Carte hydrogéologique du site de Cadarache à grande échelle

5.1.2.2 Contexte hydrogéologique local de l'installation PEGASE

L'INB22 dispose d'un réseau de surveillance piézométrique qui permet de bien appréhender le fonctionnement hydrodynamique ainsi que les directions et sens d'écoulement de la nappe miocène. La localisation des piézomètres est précisée sur la figure 55.

Les dépôts miocènes constituent un aquifère de type « poreux » (comparable à la nappe alluviale de la Durance) dont le comportement piézométrique se traduit généralement par des variations amorties et de faibles amplitudes. Les battements annuels de la nappe sont généralement de quelques mètres et s'effectuent sur plusieurs semaines voire plusieurs mois.

La figure 56 illustre les différences de comportement hydrodynamique entre la nappe miocène (en rouge) et la nappe crétacée sous-jacente (en vert). La courbe verte illustre le fonctionnement de la nappe crétacée dans un piézomètre crétacé implanté à une centaine de mètres au Nord Est de l'INB 22. Il est intéressant de constater que dans ce secteur, les mises en charge de la nappe du Crétacé n'ont pas d'influence perceptible sur les niveaux piézométriques de la nappe du Miocène.

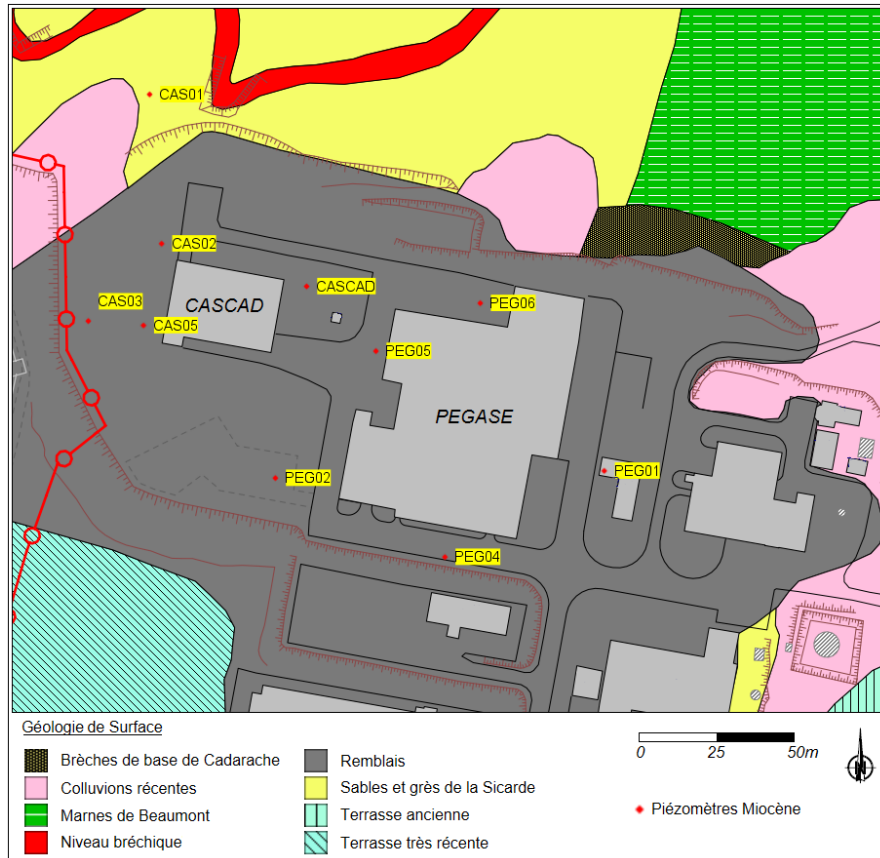


Figure 55 : Carte géologique à l’affleurement et localisation des piézomètres au niveau de l’INB22

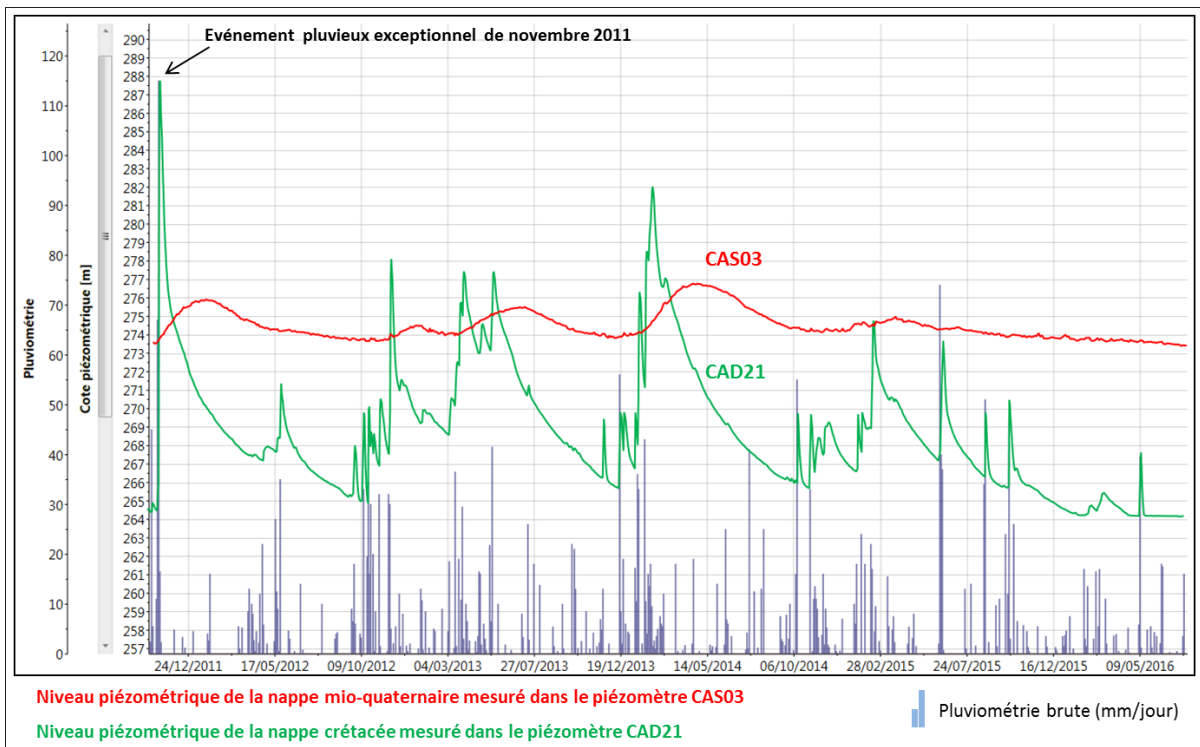


Figure 56 : Illustration du comportement hydrodynamique de la nappe du Miocène (en rouge) et de la nappe du Crétacé (en vert) dans le secteur de l’INB 22 entre 2011 et 2016.

La figure suivante présente la carte piézométrique de l'aquifère miocène réalisée en janvier 2015 au niveau de l'INB 22. Comme le montre cette carte, les écoulements de la nappe miocène dans le secteur de l'INB 22 se font globalement vers le Nord-Ouest, en direction du LEFCA et de la Durance. Cette direction correspond logiquement à l'axe de la palovallée des Piles qui a été creusée dans le substratum calcaire et qui constitue le principal axe de drainage de la nappe du Miocène à l'échelle du site de Cadarache.

À noter que la piézométrie de la nappe miocène dans ce secteur est sensiblement la même en périodes de hautes et basses eaux.

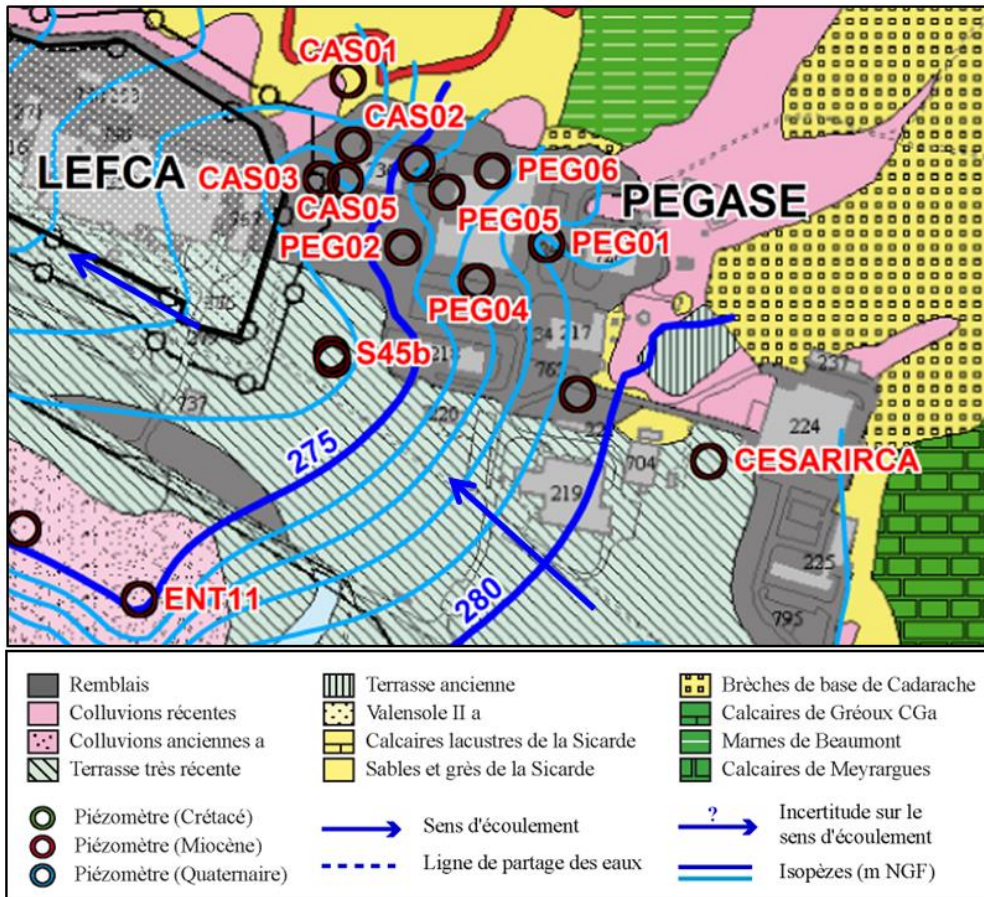


Figure 57 : Carte piézométrique de la nappe miocène en janvier 2015 au niveau de l'INB22

5.1.2.3 Usages des eaux souterraines

Dans l'ancien arrêté préfectoral n°113-2006 A du 25 septembre 2006, il était prévu que l'installation de potabilisation du Centre de Cadarache pouvait être alimentée en secours par des captages dans la nappe alluviale de la Durance. Ces captages n'étant pas utilisés, cette disposition a été supprimée dans l'arrêté préfectoral n°2020-497-PC du 27 octobre 2022.

Les nappes phréatiques présentes sous l'installation PEGASE ne sont pas utilisées pour l'eau potable (ni par le Centre ni en aval immédiat du Centre).

5.1.3- Qualité chimique des eaux souterraines

5.1.3.1 Objectifs de qualité

Le contexte institutionnel relatif aux eaux souterraines (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Directive Cadre sur l'Eau en particulier) ainsi que les objectifs de qualité qui en découlent (Norme de Qualité Environnementale en particulier), sont présentés en annexe.

5.1.3.2 Qualité chimique des eaux souterraines du site de Cadarache

À l'occasion du « point zéro chimique » d'ITER, une caractérisation chimique des eaux souterraines a été réalisée en 2007 à partir d'échantillons prélevés sur 9 des piézomètres implantés sur la zone du projet ITER dans les formations miocènes et crétacées. Le tableau suivant présente les fourchettes de valeurs obtenues pour les différents paramètres physico-chimiques mesurés. À titre indicatif, la dernière colonne du tableau donne les Valeurs seuils ou Normes de Qualité Environnementale retenues pour l'évaluation de la qualité des eaux souterraines dans le bassin Rhône-Méditerranée, listées dans le SDAGE 2022-2027.

Nature	Paramètre	Unité	Fourchette de concentrations eaux souterraines - Zone ITER	Valeur seuil ou Norme de Qualité pour le bassin Rhône-Méditerranée
Minéralisation	Conductivité à 25°C	µS/cm	455 à 725	1 100
	Fluorures	mg/L	< 0,1 à 0,7	1,5
	Calcium	mg/L	62 à 150	-
	Chlorures	mg/L	4,8 à 14	250
	Magnésium	mg/L	2,3 à 17	-
	Potassium	mg/L	< 1	-
	Silicates solubles	mg/L	4 à 4,7	-
	Sodium	mg/L	3,7 à 8	200
Fer et manganèse	Sulfates	mg/L	5,6 à 27	250
	Fer	mg/L	< 0,010 à 0,021	0,2
Oligo-éléments - Micro polluants minéraux	Manganèse	mg/L	< 0,002 à 0,076	0,05
	Aluminium	mg/L	< 0,010 à 0,042	0,2
	Nickel	mg/L	< 0,005	0,02
Oxygènes et matières organiques	Zinc	mg/L	0,031 à 0,620	5
	Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/L	< 5 à 35	-

Tableau 38 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines sur le site d'ITER (formations miocènes et crétacées)

Les concentrations de tous les éléments sont du même ordre de grandeur que le bruit de fond géochimique du site de Cadarache. Sur un piézomètre particulier, le zinc a été mesuré et confirmé à des concentrations supérieures au bruit de fond mais à des valeurs bien inférieures aux valeurs conseillées pour l'eau potable par l'Organisation Mondiale de la Santé⁵. L'hypothèse retenue aujourd'hui pour expliquer cette concentration en Zinc serait la présence d'une ancienne verrerie à cet emplacement il y a plusieurs décennies (cf. § 4.1.1.2 le point de mesure de sol avec une concentration plus élevée en chrome pour la même raison évoquée), qui aurait utilisé ce métal pour son activité. Le zinc aurait notamment été utilisé pour certains ornements appliqués sur le verre.

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral n°2020-497-PC du 27 octobre 2022 (article 4.6 Surveillance des impacts sur les milieux aquatiques et les sols), les caractéristiques chimiques des eaux souterraines du Centre de Cadarache sont également suivies réglementairement, par un réseau de 9 forages dont la localisation est précisée sur la Figure 58. Des échantillons y sont prélevés trimestriellement. Le Tableau 39 présente les concentrations (mg/L) rencontrées sur ces 9 piézomètres réglementaires pour l'année 2021. À titre indicatif, la seconde colonne donne les Valeurs seuils ou Normes de Qualité Environnementale retenues pour l'évaluation de la qualité chimique des eaux souterraines dans le bassin Rhône-Méditerranée, listées dans le SDAGE 2022-2027.

2021	Valeurs seuil ou NQE (mg/L)	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	P18	F19
Chlorures	250	36,8	14,5	27,75	32,0	14,8	59,8	6,1	25,2	9,6
Sulfates	250	48,3	40,5	44,25	49,5	55,5	52,8	25,3	16,3	4,9
Fluorures	1,5	0,1	0,07	0,075	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1
Hydrocarbures totaux	1	< 0,1	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
Aluminium	0,2	0,187	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,023	0,002
Fer	0,2	0,030	0,005	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01
Zinc	5	0,015	0,009	0,005	0,005	0,002	0,009	0,009	0,060	0,042
Bore	1	0,016	0,024	0,03	0,05	0,02	0,01	0,01	0,04	0,01
Phosphore total	0,2 (mg/L P _{tot})	0,184	0,033	0,02	0,142	<0,01	0,06	0,0177	0,065	0,011
Demande chimique en oxygène (DCO)	-	10,850	13,500	10	12	< 5	16,6	< 5	67,6	< 5
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	-	1,850	1,450	1,45	0,60	0,8	2,95	0,5	15,1	< 0,5
Azote Global	-	4,795	3,45	1,73	0,115	0,83	<0,02	3,9625	1,01	0,4

Tableau 39 : Bilan de la surveillance chimique des eaux souterraines du CEA de Cadarache pour l'année 2021

⁵ L'OMS publie des « Directives pour la qualité de l'eau potable ». Dans la quatrième édition datant de 2011, l'OMS indique que le Zinc ne pose pas de problème pour la santé aux concentrations normalement observées dans les eaux potables, aussi aucune valeur guide pour la santé humaine n'a été proposée pour cette substance. En revanche, une valeur guide est proposée pour des raisons d'acceptabilité des consommateurs : en effet, de l'eau contenant du Zinc à des concentrations de 3-5 mg/L peuvent apparaître opalescentes et développer un film gras lors de l'ébullition.

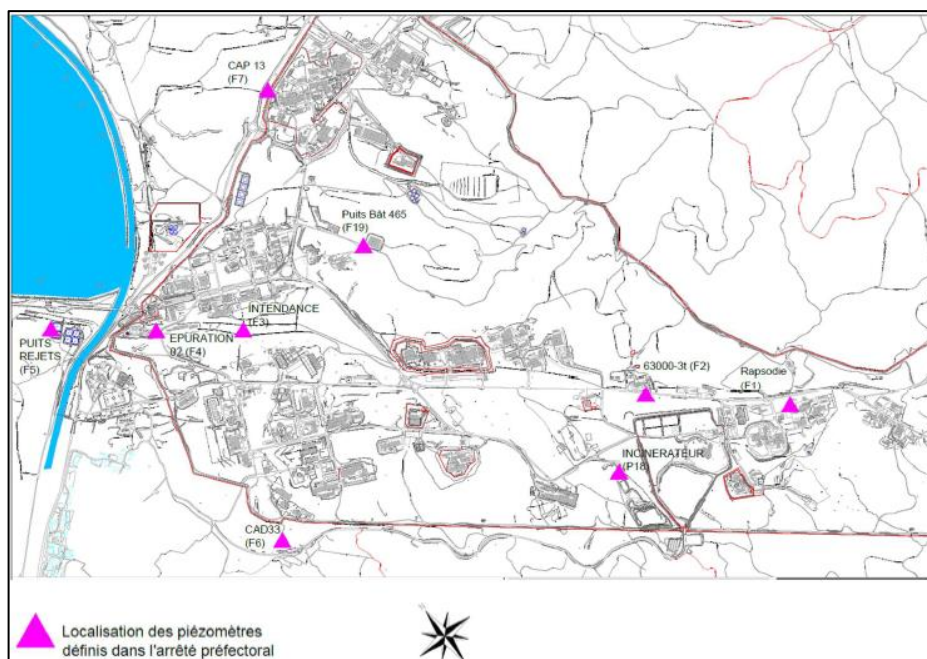


Figure 58 : Localisation des piézomètres régis par l'Arrêté Préfectoral n° 2020-497-PC

On constate que pour l'ensemble des 9 piézomètres, aucune valeur anormale n'est constatée, toutes les valeurs significatives restant proches des limites de quantification et, dans tous les cas, inférieures aux valeurs seuils (pour celles du bassin Rhône-Méditerranée mentionnées dans le tableau).

5.1.3.3 Qualité chimique des eaux souterraines à proximité de l'installation PEGASE

Des prélèvements d'eaux souterraines sont réalisés mensuellement sur les piézomètres PEG02 et S45bis (voir figure ci-après) conformément à la décision n° 2010-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017.

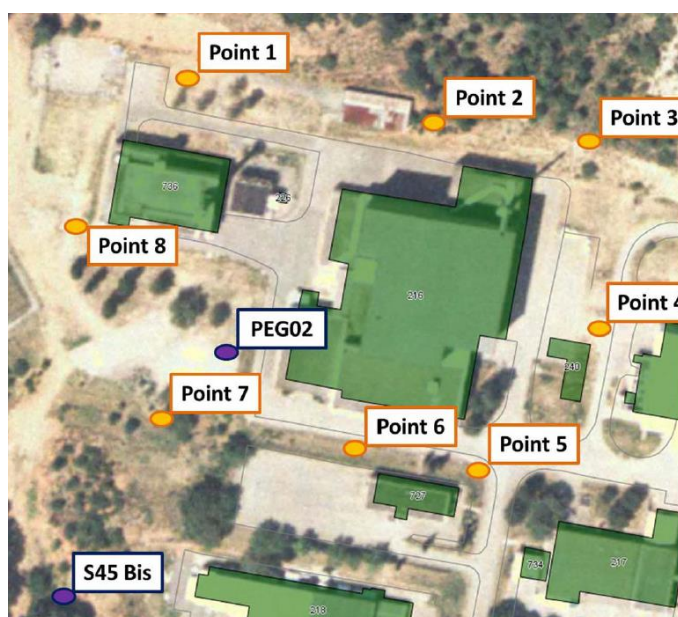


Figure 59 : Localisation des forages PEG02 et S45Bis

Des analyses chimiques de chacun de ces 2 piézomètres ont été réalisées en 2017, par un laboratoire extérieur accrédité COFRAC, conformément à la norme NFX 31-620 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués (études, ingénierie, réhabilitation de sites pollués et travaux de dépollution) ». Sont ainsi recherchés, de manière standard, comme pour les sols : éléments traces métalliques, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), polychlorobiphényles (PCB), composés aromatiques, Composés Organiques Volatils (COV), etc.

Les résultats d'analyse ont montré une teneur en nickel supérieure à la norme de qualité au sein de PEG2, et de très faibles teneurs voire l'absence de quantification en composés volatils, hydrocarbures C₁₀-C₄₀, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), PCB ainsi que pour le reste des Eléments Traces Métalliques analysés.

Paramètres	S45bis (mg/L)	PEG02 (mg/L)	Valeurs seuil ou Normes de Qualité pour le bassin Rhône-Méditerranée (mg/L)
Antimoine	< 0,02	< 0,02	0,5
Arsenic	< 0,005	< 0,005	0,01
Baryum	0,035	0,046	0,7
Cadmium	< 0,005	< 0,005	0,005
Chlorures	47,1	29,9	250
Chrome total	0,009	0,005	0,05
Cuivre	< 0,01	0,14	2
Fluorures	< 0,5	< 0,5	1,5
Indice hydrocarbures C10-C40	< 0,03	< 0,03	1
Mercure	< 0,20	< 0,20	0,001
Molybdène	< 0,005	< 0,005	0,07
NGL (Azote Global) ⁶	9,13	19,5	-
Nickel	< 0,005	0,047	0,02
Nitrates	7,45	15,9	50
Nitrites	< 0,04	< 0,04	0,5
Orthophosphates	< 0,10	< 0,10	0,2 pour le Phosphore total
pH (Potentiel en Hydrogène)	7,4	7,5	9
Plomb	< 0,005	0,007	0,01
Sélénium	< 0,01	< 0,01	0,01
Sulfates	26,8	42	250
Zinc	0,02	4,73	5

Tableau 40 : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimiques réalisées sur 2 piézomètres de suivi de la nappe miocène à proximité de l'installation PEGASE – campagne de prélèvement de 2017

⁶ Azote Global : C'est la somme en azote de toutes les formes d'azote différentes contenues dans un prélèvement (azote gazeux exclu) : azote totale Kjeldahl (azote organique et azote ammoniacal) + azote nitreux (nitrites / N-NO₂) + azote nitrique (nitrates / N-NO₃).

5.1.4- Qualité radiologique des eaux souterraines

5.1.4.1 Valeurs guides

Valeurs guides du code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine

Les valeurs guides déterminées en application du code de la santé publique par l'arrêté du 12 mai 2004 modifié fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine (articles 3 et 4) sont les suivantes :

- * 0,1 Bq/L pour l'activité α global ;
- * 1 Bq/L pour l'activité β global ;
- * 100 Bq/L pour l'activité tritium.

Ces valeurs guides n'interviennent pas dans les critères de potabilité d'une eau au sens du code de la santé publique, elles ne servent que de seuil d'alerte pour déclencher des investigations complémentaires. En effet, si les activités dépassent ces valeurs guides, il est procédé à la recherche, selon le cas (en fonction des caractéristiques naturelles de la ressource exploitée et de la présence éventuelle à proximité d'installations susceptibles de rejeter des radionucléides artificiels), du ou des radioélément(s) suivant(s) (mentionné(s) à l'article 5 de l'arrêté) :

- * pour la radioactivité naturelle : l'uranium 234, l'uranium 238, le radium 226, le radium 228, le polonium 210 et le plomb 210 ;
- * pour la radioactivité artificielle : le carbone 14, le strontium 90, les radionucléides émetteurs de rayonnements gamma, en particulier le cobalt 60, l'iode 131, le césium 134 et le césium 137, et les radionucléides émetteurs de rayonnements alpha, en particulier le plutonium 238, le plutonium 239, le plutonium 240 et l'américium 241.

Ces valeurs guides sont applicables pour les eaux destinées à la consommation humaine, elles ne constituent donc pas une référence valide pour les autres usages de l'eau, tel que l'irrigation, par exemple. Elles ont toutefois été prises comme références dans le cadre de la présente étude d'impact car il n'existe pas à l'heure actuelle de valeurs limites contraignantes au niveau de la qualité radiologique des eaux.

Valeurs guides de l'OMS pour les radionucléides communément trouvés dans les eaux de boisson

L'Organisation Mondiale pour la Santé présente dans ses « Directives pour la qualité des eaux de boisson » des valeurs guides établies pour certains radionucléides, dont les radionucléides naturellement présents, ainsi que les radionucléides artificiels les plus communément détectés dans les eaux de boisson. Pour chaque radionucléide, la valeur guide correspond à l'activité volumique qui, si elle est présente dans l'eau de boisson consommée tout au long de l'année, avec une hypothèse de consommation de 2 L par jour (soit 730 L par an), conduirait à une dose individuelle de 0,1 mSv/an (en utilisant des coefficients de dose pour un adulte).

À titre d'exemple, la valeur guide OMS pour le tritium est de 10 000 Bq/L, soit 100 fois supérieure à la valeur guide donnée par le code de la santé publique (100 Bq/L).

L'OMS considère également qu'aucune action de recherche spécifique de radionucléides n'est nécessaire si l'activité volumique maximale des eaux de boisson n'excède pas 0,5 Bq/L et 1 Bq/L respectivement pour l'activité volumique alpha global et bêta global.

5.1.4.2 Qualité radiologique des eaux souterraines du site de Cadarache

Le Centre de Cadarache dispose de plus de 100 forages, qui permettent d'assurer une surveillance radiologique des eaux souterraines. Au minimum, 48 d'entre eux font l'objet d'un suivi mensuel, dans le cadre de la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017. Les autres forages permettent de faire un état des aquifères au droit de certaines installations et de compléter la R&D sur la modélisation des écoulements à l'échelle du site.

Des analyses mensuelles réalisées sur les eaux prélevées concernent :

- ✗ les mesures d'activités alpha globale et bêta globale sur l'eau brute décantée ;
- ✗ les mesures de l'activité tritium et de la concentration en potassium sur l'eau filtrée.

Le tableau suivant présente les fourchettes de résultats des prélèvements mensuels réalisés dans les piézomètres qui surveillent l'aquifère des calcaires du Crétacé à l'extérieur du Centre, entre 2017 et 2021.

Élément mesuré	2017	2018	2019	2020	2021
Activité α globale (Bq/L)	0,04 à 0,39	0,03 à 0,12	0,038 à 0,10	<0,032 à 0,08	<0,032 à 0,073
Activité β globale (Bq/L)	0,05 à 0,53	0,05 à 0,45	0,04 à 0,58	0,054 à 0,32	0,051 à 0,28
Tritium (Bq/L)	< 5	< 5	< 4,3	<8,9	<9,3
Potassium (mg/L)	0,4 à 4,1	0,4 à 26	0,5 à 17	0,5 à 11	0,43 à 9,3

Tableau 41 : Activités volumiques (α , β , et ^3H) et concentration en potassium mesurées de 2017 à 2021 dans l'aquifère des calcaires du Crétacé à l'extérieur du Centre

Depuis de nombreuses années, les résultats des mesures alpha et bêta globales, ainsi que des mesures en tritium effectuées sur les eaux souterraines à l'extérieur du Centre sont inférieurs ou très proches des seuils de décision prescrits réglementairement par la décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 modifiée (décision « environnement »), à savoir :

- ✗ pour la mesure du tritium libre dans l'eau : 10 Bq/L ;
- ✗ pour la détermination de l'activité alpha globale dans l'eau : 0,05 Bq/L ;
- ✗ pour la détermination de l'activité bêta globale dans l'eau : 0,25 Bq/L.

Ces valeurs ne montrent aucune anomalie par rapport aux eaux souterraines de la région.

Lors du « point zéro radiologique » d'ITER, des analyses radiologiques ont été effectuées en 2007 sur 9 des piézomètres implantés sur le site (cf. § 4.1.1-). Le tableau suivant présente les fourchettes de valeurs rencontrées sur les 9 piézomètres.

Élément mesuré	Unité	Fourchettes d'activités volumiques des eaux souterraines prélevées sur la zone ITER en 2007
⁷ Be	Bq/L	<0,05 à < 0,1
⁴⁰ K	Bq/L	< 0,08 à 2,42
⁵¹ Cr	Bq/L	< 0,01 à < 0,2
⁵⁴ Mn	Bq/L	< 0,003 à < 0,01
⁶⁰ Co	Bq/L	< 0,003 à < 0,01
⁶⁴ Cu	Bq/L	< 90
¹⁸⁷ W	Bq/L	< 0,2 à < 9
¹²⁹ I	Bq/L	< 0,004 à < 2
¹³³ Ba	Bq/L	< 0,004 à < 0,7
¹³⁴ Cs	Bq/L	< 0,004 à < 0,7
¹³⁷ Cs	Bq/L	< 0,007 à < 0,7
²²⁶ Ra	Bq/L	< 0,08 à < 0,3
²²⁸ Ra	Bq/L	< 0,01 à < 0,05
¹⁵² Eu	Bq/L	< 0,005 à < 0,02
¹⁵⁴ Eu	Bq/L	< 0,003 à < 0,01
²² Na	Bq/L	< 0,003 à < 0,01
²³⁵ U	Bq/L	< 0,005 à < 0,02
²³⁸ U	Bq/L	< 0,03 à < 0,8
²⁴¹ Am	Bq/L	< 0,003 à < 0,03
⁹⁰ Sr	Bq/L	< 0,010 à 0,160
Tritium Eau libre (HTO)	Bq/L	< 3,0 à < 3,4
Carbone 14	Bq/L	< 2 à < 3
Mesure alpha totale	Bq/L	0,018 à 0,136
Matières en suspension (MES)	g/L	0,004 à 3,195
Activité bêta globale des cendres du précipité des MES	Bq/kg	0,008 à 1,64

Tableau 42 : Résultats des analyses radiologiques réalisées sur les échantillons d'eau souterraine prélevés sur 9 piézomètres de la zone ITER en 2007

À l'intérieur du Centre, les activités volumiques mesurées sont généralement inférieures aux seuils de décision réglementaires, les quelques valeurs significatives restant proches des seuils de décision, à l'exception de quelques points singuliers identifiés et plus particulièrement surveillés, en raison de marquages historiques connus.

5.1.4.3 Qualité radiologique des eaux souterraines à proximité de l'installation PEGASE

Des prélèvements d'eaux souterraines sont réalisés mensuellement sur les piézomètres PEG02 et S45bis pour analyses radiologiques conformément à la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017 (voir figure ci-après).

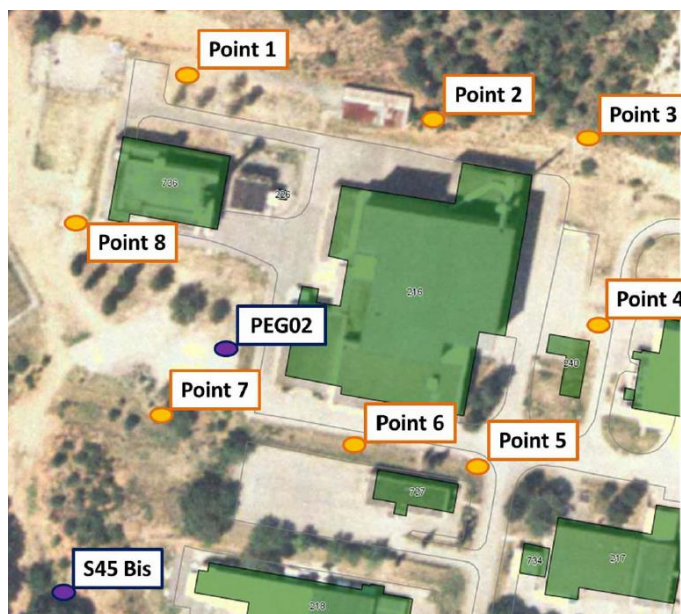


Figure 60 : Localisation des forages PEG02 et S45Bis

Les analyses radiologiques depuis 2018 n'ont pas montré d'évolution significative :

Élément mesuré	2018	2019	2020	2021	2022
Activité α globale (Bq/L)	0,048	< 0,041	0,059	0,050	0,045
Activité β globale (Bq/L)	0,083	0,064	0,083	0,063	0,060
Tritium (Bq/L)	< 4,7	< 4,6	< 4,6	< 8,9	4,5
Potassium (mg/L)	1,5	1,1	1,2	0,98	1,1

Tableau 43 : Activités volumiques (α , β , et 3H) et concentration en potassium mesurées de 2018 à 2022 – piézomètre PEG02

Élément mesuré	2018	2019	2020	2021	2022
Activité α globale (Bq/L)	0,058	0,065	0,049	0,061	0,12
Activité β globale (Bq/L)	0,099	0,13	0,11	0,049	0,1
Tritium (Bq/L)	< 4,7	< 4,6	< 4,5	< 4,6	4,6
Potassium (mg/L)		2,3	2,7	0,67	0,77

Tableau 44 : Activités volumiques (α , β , et 3H) et concentration en potassium mesurées de 2018 à 2022 – piézomètre S45bis

5.2- Eaux de surface

5.2.1- Hydrographie et hydrologie

5.2.1.1 Présentation générale

Le site de Cadarache se trouve sur la rive gauche de la Durance, à proximité de sa confluence avec le Verdon. Une partie des eaux réunies de ces deux rivières alimentent, par l'intermédiaire d'un canal de dérivation, cinq usines hydroélectriques avant de se déverser dans l'Étang de Berre. L'autre partie des eaux rejoint le Rhône vers Avignon. Le barrage de Cadarache, dont le volume utile est de 600 000 m³, constitue le premier ouvrage de cette chaîne d'aménagements industriels de la basse Durance. Il restitue à l'ancien cours un **débit de réserve de 9 m³/s** dans lequel sont déversés les effluents du site, après traitement. Ce débit minimal est assuré contractuellement par EDF et est imposé par l'arrêté interpréfectoral n° SEL/VER 27-2014 du 30 décembre 2014⁷. Le canal de dérivation se substitue pratiquement à la Durance pour assurer ses fonctions traditionnelles d'alimentation en eaux de boisson et d'irrigation. Un bassin d'écluse a été mis en service, en 1980, pour assurer le délimonage⁸ des eaux. La surface du bassin est de 125 ha à la cote de retenue maximale, soit 256 mNGF. Ce bassin, d'un volume utile de 3 500 000 m³, est aujourd'hui envasé à 95 % et son utilité est de ce fait limitée.

5.2.1.2 Le Verdon et les aménagements hydrauliques

Le Verdon est soumis à un régime pluvio-nival méditerranéen avec des hautes eaux au printemps et des basses eaux en été ; les orages méditerranéens provoquent également des hautes eaux en automne. Ses eaux sont retenues, en amont à proximité de Cadarache, par le barrage de Gréoux-les-Bains/Esparron-de-Verdon. Elles alimentent une usine hydroélectrique à Vinon-sur-Verdon (débit nominal turbinable de 40 m³/s) et le canal de Provence (débit nominal de 55 m³/s) qui passe à proximité du site de Cadarache (1 à 2 km), en galerie souterraine, et dont l'entrée se situe à environ 4 km dans la direction est/nord-est.

⁷ Arrêté inter préfectoral n° SEL/VER 27-2014 du 30 décembre 2014 portant relèvement du débit minimal à laisser en rivière à l'aval du barrage de Cadarache, sur la Durance – communes de Saint-Paul les Durance et Beaumont-de-Pertuis.

⁸ Délimonage : élimination des limons, formation sédimentaire dont les grains sont de taille intermédiaire entre les argiles et les sables.

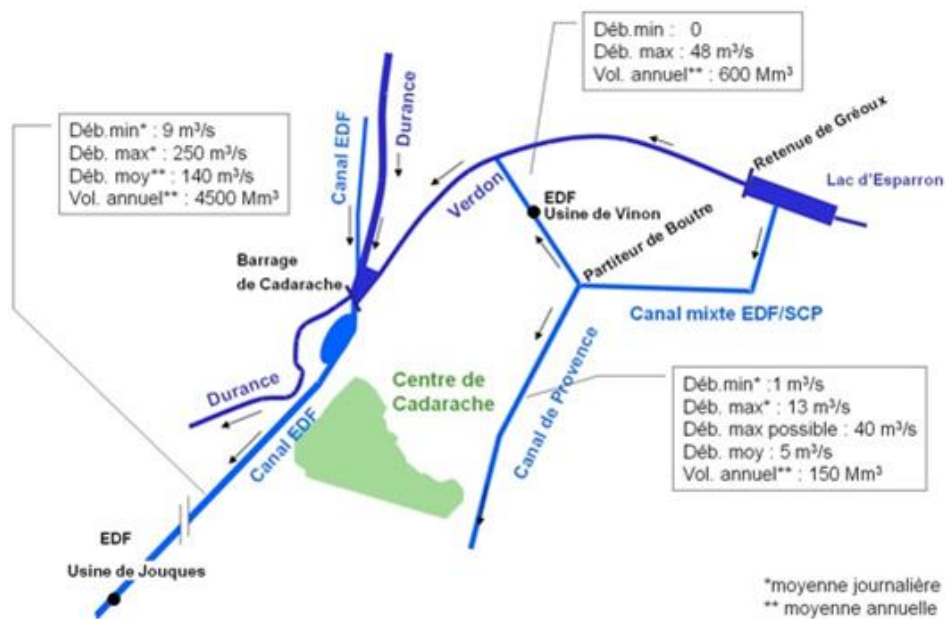


Figure 61 : Schéma hydrologique local

5.2.1.3 La Durance

Présentation générale

À partir de sa source, près du col de Montgenèvre à 2 500 m d'altitude, à la frontière italienne, la Durance suit une direction générale nord-est vers sud-ouest jusqu'au seuil de Mirabeau, à 5 km en aval du site de Cadarache.

Se heurtant ensuite au massif de Sainte Victoire, elle tourne à l'ouest/nord-ouest pour rejoindre le Rhône, sur sa rive gauche, à environ 300 km en aval d'Avignon. Son tracé passe, entre les Alpilles au sud et le Luberon au nord, dans une plaine fertile où l'on trouve notamment les grands centres agricoles de Pertuis, Cavailon et Châteaurenard. Les affluents notables sont en rive droite : la Clarée, la Guisane, la Gyronde, le Buech, le Jabron, le Largue et le Coulon ; en rive gauche : le Guil, l'Ubaye, la Bléone, l'Asse et surtout le Verdon.

La Durance est un cours d'eau de caractère alpestre et pluvio-nival à l'amont de Serre-Ponçon, plutôt de caractère méditerranéen à l'aval. Ceci se traduit par des apports variables en eaux suivant les saisons : hautes eaux au printemps (55 % des apports annuels), basses eaux (étiage) accentuées en été (15 %), reprise d'un débit moyen en automne (21 %), nouvel étiage sévère en hiver (9 %). En automne et en hiver les pluies, sporadiquement brutales, peuvent entraîner des crues violentes mais courtes.



Figure 62 : Au premier plan, le Verdon ; au second plan le bassin d'écluse et au fond la Durance

Débits de la Durance estimés en amont du barrage de Cadarache

Le bassin versant de la Durance au niveau de Cadarache est de près de 12 000 km² (11 700 km²) dont 2 200 km² pour le Verdon. Ces bassins versants ont une altitude moyenne de 1 290 m NGF pour la Durance et 1 065 m NGF pour le Verdon. Les apports annuels du bassin versant de la Durance sont de l'ordre de 6 à 7 milliards de m³. La pente de la Durance est forte, 3 m/km, soit cinq fois celle du Rhône.

Le débit moyen mensuel naturel de la Durance (en faisant donc abstraction des débits régulés) en amont du barrage de Cadarache, estimé sur la base de 94 ans (entre 1918 et 2011) de données sur le bassin versant amont est présenté dans le tableau suivant.

Débit		JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
Débit moyen mensuel	m ³ /s	142,0	143,0	180,0	230,0	316,0	293,0	148,0	86,2	93,5	140,0	181,0	152,0
Débit moyen mensuel	m ³ /h	5,1E+05	5,1E+05	6,5E+05	8,3E+05	1,1E+06	1,1E+06	5,3E+05	3,1E+05	3,4E+05	5,0E+05	6,5E+05	5,5E+05

Tableau 45 : Débits moyens mensuels naturels de la Durance estimés en amont du barrage de Cadarache

Le débit moyen annuel naturel (appelé **module interannuel**) de la Durance est de **175 m³/s** en amont du barrage de Cadarache. Avant la mise en œuvre de l'équipement hydroélectrique actuel (notamment le barrage de Serre-Ponçon), l'étiage d'été pouvait tomber à 35 m³/s alors que les crues pouvaient dépasser 6 000 m³/s.

Le tableau suivant présente les **débits classés naturels** estimés sur cette même période de données (1918 à 2011). Le débit classé est ici exprimé en valeur de débit non dépassée n jours par an (le nombre de jours étant exprimé en pourcentage de l'année).

%		99%	95%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	5%
Débit	m ³ /s	683,00	424	323	245	196	160	132	110	95,7	82	64	51
Débit	m ³ /h	2,46E+06	1,53E+06	1,16E+06	8,82E+05	7,06E+05	5,76E+05	4,75E+05	3,96E+05	3,45E+05	2,95E+05	2,30E+05	1,84E+05

Tableau 46 : Débits classés de la Durance en amont du barrage de Cadarache

Les **débits de crue** estimés pour plusieurs périodes de retour sont présentés dans le tableau suivant :

Fréquence	Débit journalier - QJ (m ³ /s) -	Débit journalier - QJ (m ³ /h) -
Biennale	880,00	3,17E+06
Quinquennale	1300,00	4,68E+06
Décennale	1600,00	5,76E+06
Vicennale	1900,00	6,84E+06
Cinquantennale	2200,00	7,92E+06

Tableau 47 : Débits de crue estimés pour plusieurs périodes de retour

Enfin, les **débits d'étiage** calculés pour deux périodes de retour sont les suivants :

- * débit d'étiage de période de retour 5 ans : QMNA – 5 ans : 36 m³/s soit 129 600 m³/h ;
- * débit d'étiage de période de retour 2 ans : QMNA – 2 ans : 67 m³/s soit 241 200 m³/h.

Débits de la Durance mesurés en aval du barrage de Cadarache

En aval du barrage de Cadarache, EDF garantit un débit minimal (dit d'étiage ou de réserve) de la Durance. Jusqu'en 2014, ce débit de réserve était fixé à 4,5 m³/s (soit à 1/40^{ème} du module). Depuis 2014, par arrêté interpréfectoral, ce débit de réserve a été relevé à **9 m³/s** (soit à 1/20^{ème} du module).

Les débits de la Durance en aval du barrage de Cadarache sont estimés au niveau de la station hydrométrique dite « Cadarache » (Code station X3001010). Cette station se trouve à l'intérieur de l'usine EDF de Cadarache. Sur la période 2010-2014, le débit moyen est de 36 m³/s. L'étiage le plus marqué se situe au mois d'août, avec le seul débit de réserve de 9 m³/s.

Les rejets du Centre de Cadarache (eaux pluviales collectées par le Ravin de la Bête, et eaux de sortie de STEP (station d'épuration) après passage par des bassins de collecte et contrôles) sont effectués dans la Durance en aval du barrage de Cadarache. Le débit de dilution à considérer est donc celui de la Durance mesuré à cette station.

Les riverains de la Durance, exposés de tous temps à ses caprices et sa puissance redoutable, ont détourné, depuis plus de 800 ans, une partie de ses eaux à des fins agricoles, en profitant de la forte pente de la rivière.

C'est ainsi qu'aujourd'hui, entre Serre-Ponçon et la mer, 80 000 hectares sont irrigués grâce à 25 canaux agricoles répartissant un débit pouvant atteindre 130 m³/s. Sur ce débit, 15 m³/s sont consacrés à l'alimentation en eau, notamment de la ville de Marseille. L'aménagement hydroélectrique du fleuve a permis de réaliser une réalimentation régulière des irrigations et de minimiser les périodes de pénurie, notamment en été, tout en atténuant les irrégularités de son régime.

La majeure partie des canaux agricoles se situe dans la Basse Durance, à l'aval du barrage de Cadarache (117 m³/s répartis sur 22 canaux).



Figure 63 : Les grands canaux alimentés par la Durance (Canal EDF, ouvrages de la Société du Canal de Provence, Canal de Marseille, Canal de Craponne et Canal de Carpentras), en 2012 (Source : <http://www.canal-de-provence.com/>)

5.2.1.4 Utilisation de l'eau en aval du site de Cadarache

La plupart des canaux agricoles qui prenaient naguère leur eau dans la Durance, sont dorénavant alimentés par le canal EDF par lequel transite la quasi-totalité du débit nominal de la Durance et du Verdon. Seuls les canaux de la région d'Avignon restent alimentés par la Durance, au niveau du barrage de Bonpas.

Pour ce qui est de l'eau de boisson, les villes et villages du Val de Durance s'alimentent, en général, dans la nappe alluviale ou grâce à des sources captées. Le réseau d'adduction de la ville de Marseille est alimenté par le canal EDF au niveau de la chute de Saint Estève Janson. L'eau du canal EDF est également utilisée, pour l'eau potable, par Salon et, au niveau de Saint-Chamas, par quelques communes riveraines de l'Etang de Berre. Par un jeu complexe de canaux, cette eau alimente le sud du département des Bouches-du-Rhône, jusqu'à La Ciotat.

Les services de la Ville de Pertuis effectuent des prélèvements directs dans la Durance pour la production d'eau potable (Adduction Syndicat Mixte Pertuis) qui dessert également les communes de la Bastidonne, Mirabeau, Beaumont-de-Pertuis, la Tour d'Aigues, Grambois ou encore la Bastide des Jourdans.

Un volume annuel de 3,6 milliards de m³ transite par le canal EDF au niveau de Cadarache. Sur ce volume, 2,1 milliards de m³ sont restitués à l'Étang de Berre et 1,5 sont destinés à l'agriculture. Le volume qui, depuis Cadarache, atteint le Rhône par le lit proprement dit de la rivière, reste inférieur à 100 millions de m³ en régime normal et s'élève à un milliard de m³ les années de crue.

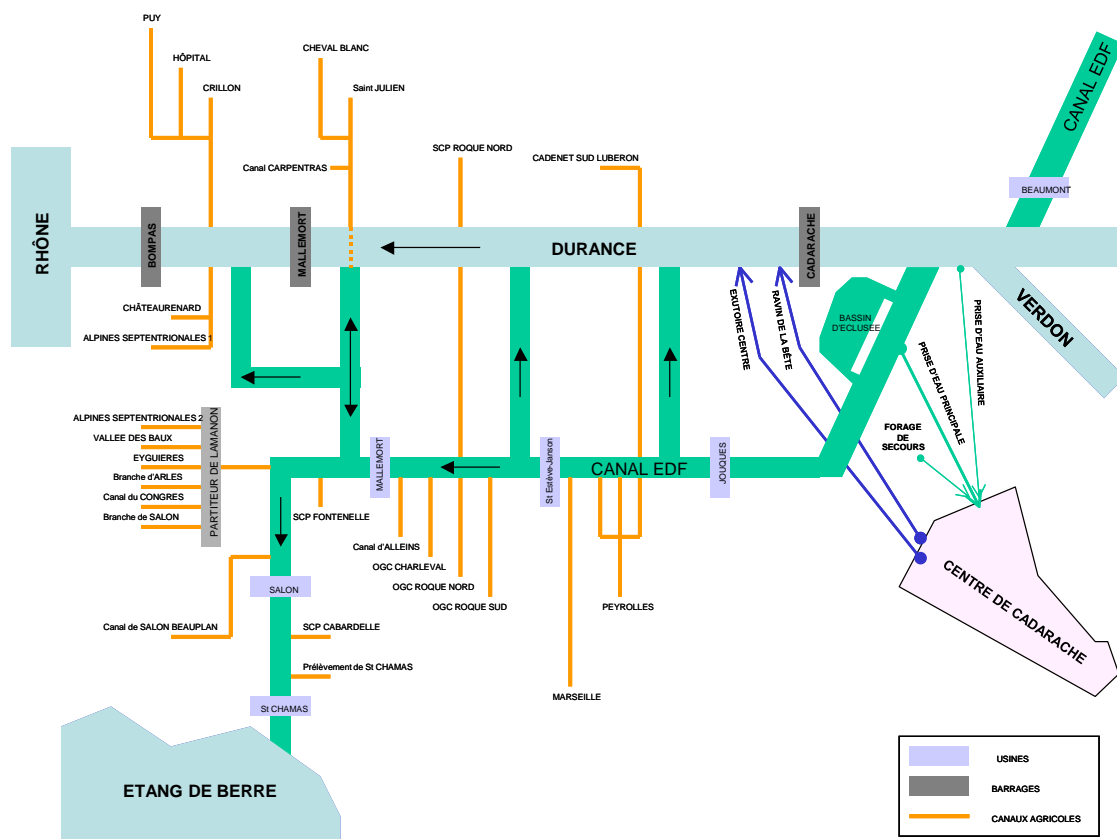


Figure 64 : Utilisation des eaux en aval de Cadarache

Au niveau de Mallemort, le transfert est possible dans un sens ou dans l'autre, entre la Durance et le canal EDF, suivant les rapports qui existent entre, d'une part, la demande des canaux mixtes de Saint-Julien et des canaux issus de Bonpas et, d'autre part, l'apport des affluents de la Durance entre Cadarache et Bonpas.

5.2.1.5 Sur le site de Cadarache : le Ravin de la Bête

Présentation générale

Le site de Cadarache est traversé en grande partie par le Ravin de la Bête, petit ruisseau qui se jette dans la Durance. Le bassin versant naturel de ce ruisseau a été évalué à 25 km² (2 500 ha).

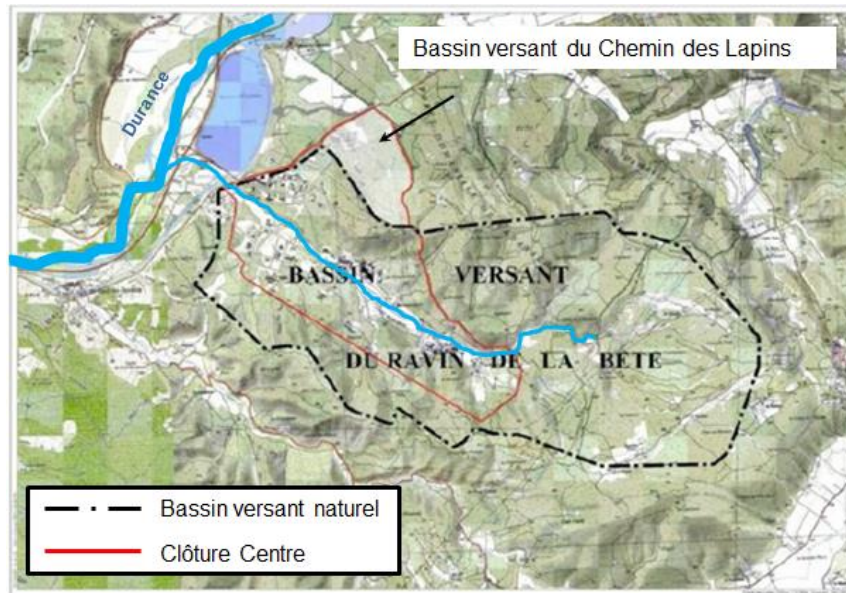


Figure 65 : Bassin versant du Ravin de la Bête

Ce cours d'eau n'est en eau que de façon intermittente. Dans sa partie aval, il peut être alimenté par une petite résurgence (dite des « sources de la Grande Bastide ») située en contrebas du rond-point de Carcy. Le ruisseau ne coule en amont de cette résurgence que lors de fortes précipitations.

Les eaux pluviales arrivant à l'exutoire du Ravin de la Bête au niveau de la grille en sortie de Centre de Cadarache proviennent :

- * du bassin versant naturel du Ravin de la Bête ;
- * du bassin versant du Chemin des Lapins, qui récupère la totalité des eaux pluviales des zones INBS et Tore-Supra/WEST⁹ au nord du Centre, ainsi que la zone imperméabilisée du site ITER¹⁰ (le bassin versant du Chemin des Lapins a été raccordé sur celui du Ravin de la Bête en 2009 afin d'avoir un exutoire unique des eaux pluviales pour l'ensemble du site de Cadarache).

Le Ravin de la Bête draine ainsi un bassin versant élargi d'environ 2 650 ha.

Par ailleurs, des rejets issus de drains mis en place sous certaines installations pour limiter les remontées de nappe peuvent avoir lieu suite à des épisodes pluvieux.

⁹ Tore-Supra est un tokamak supraconducteur, en exploitation depuis 1988 à Cadarache. Tore Supra est principalement dédié à l'étude de la physique et des technologies permettant de réaliser des plasmas performants de longues durées.

¹⁰ Le bassin versant total de la zone ITER a une superficie d'environ 260 ha, il comprend une zone imperméabilisée clôturée (180 ha) ainsi qu'une zone naturelle boisée au sud-est divisée en 2 bassins versants. Les eaux collectées sur les bassins versants naturels rejoignent le Verdon, juste avant sa confluence avec la Durance.

Le Ravin de la Bête traverse le Centre de Cadarache sur 5 km environ. Ce ruisseau est aérien et naturel dans la majorité de sa partie amont (depuis la Porte de Ginasservis, à l'extrémité sud-est du Centre), puis est busé sur environ 1 200 m (ovoïde de Carcy), et redevient naturel de l'aval du rond-point de Carcy jusqu'à la sortie du Centre. Il est de nouveau busé pour passer sous la D952 (route de Saint-Paul-lez-Durance) ainsi que sous le canal EDF. Il reprend ensuite un tracé naturel jusqu'à sa confluence avec la Durance, excepté un court passage artificialisé sous l'autoroute A51. La figure suivante montre le tracé schématique du Ravin de la Bête.

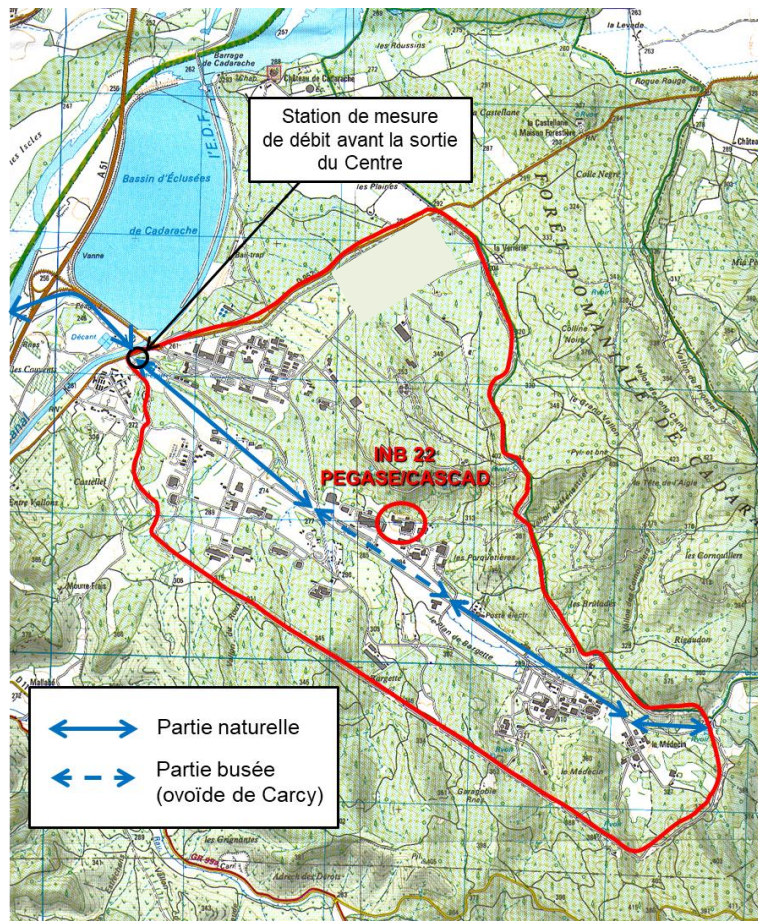


Figure 66 : Présentation générale du Ravin de la Bête



Figure 67 : Exemples de vues du Ravin de la Bête dans ses parties naturelles

Débits

Lors des forts épisodes de pluie, le Ravin de la Bête recueille les eaux pluviales de l'ensemble du Centre, et connaît alors des augmentations rapides et brutales de débits, avec des eaux très turbides. La décrue est également rapide (quelques heures). Les photos suivantes prises au cours d'un épisode de pluie intense (4 septembre 2011, avec un total de 65 mm enregistré à la station météorologique de la Verrerie) et le lendemain, montrent l'état du débit du Ravin de la Bête en sortie de l'ovoïde de passage sous la route de Saint-Paul-lez-Durance.

118

Partie 1



4 septembre 2011



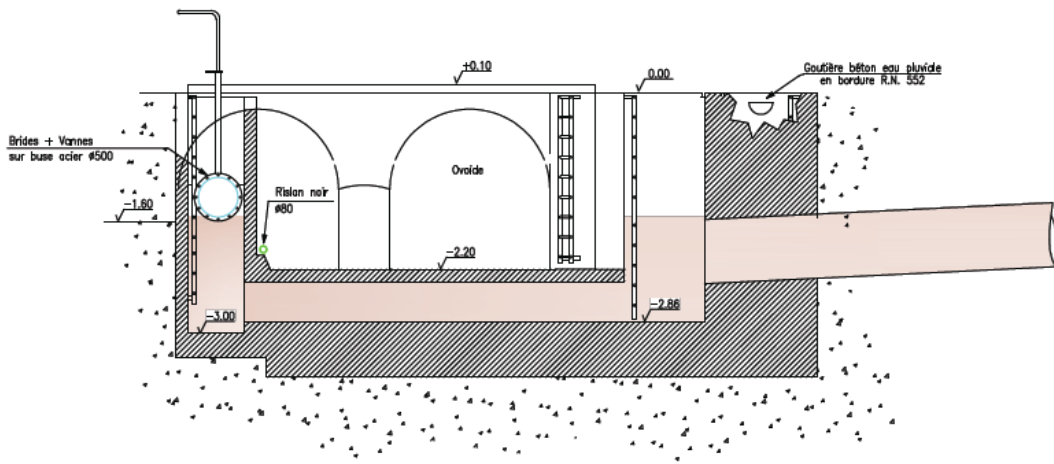
5 septembre 2011

Figure 68 : Photos du Ravin de la Bête prises au cours et le lendemain d'un épisode de pluie intense

Les débits du Ravin de la Bête sont mesurés en continu juste avant la sortie du Centre. Cette station de mesure est installée dans l'ovoïde de passage sous la D952 (route de Saint-Paul-lez-Durance) et le canal EDF. Elle est équipée d'un débitmètre électromagnétique installé sur un col de cygne¹¹, en aval immédiat d'un petit seuil de 90 cm de hauteur. Il faut noter que lors des fortes crues, une partie des débits part en surverse au-dessus du seuil et n'est donc pas comptabilisée par le débitmètre. Des études hydrologiques réalisées sur le bassin versant du Ravin de la Bête ont néanmoins montré que **les débits de pointe peuvent atteindre plusieurs milliers de m³ par heure.**

La figure suivante montre les schémas de la station de mesure de débit.

¹¹ Pièce recourbée qui imite la forme d'un col de cygne.



COUPE AA

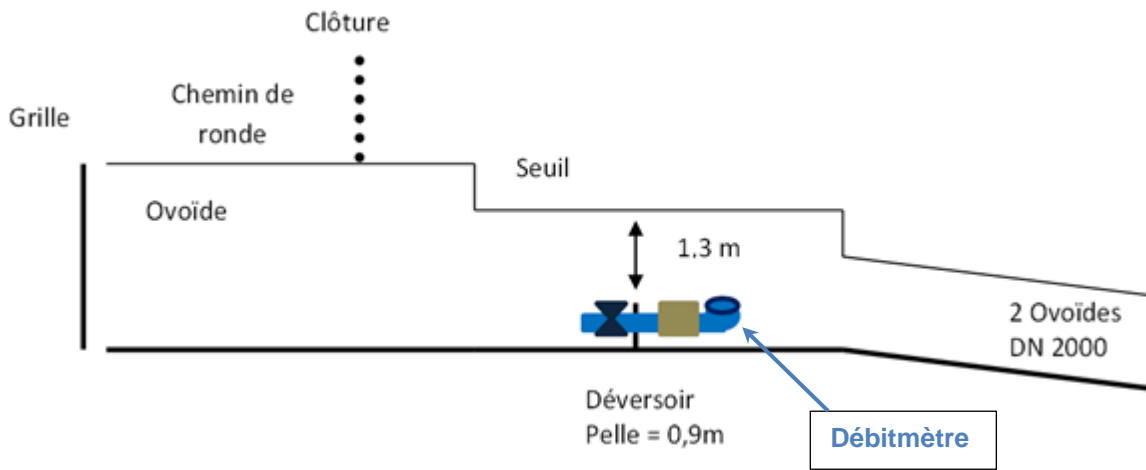


Figure 69 : Schémas et photo de la station de mesure aval du débit du Ravin de la Bête

Le Tableau 48 et le Tableau 49 présentent les débits mensuels corrigés¹² du Ravin de la Bête, respectivement moyen et maximal, mesurés entre 2017 et 2021.

Débits moyens (m ³ /h)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
2017	5,1	7,6	18,2	18,1	-	-	2,7	3	3,6	2,8	3,1	7,9	7,2
2018	8,3	-	12,8	-	28	5,9	5,4	12,4	3,4	44	131,2	96,7	34,8
2019	69,5	60,4	25,1	28,6	8,8	3,6	1,3	4,2	0,3	-	-	-	22,2
2020	242,8	206,1	147,2	114,4	91,0	52,4	1,3	0,5	6,5	7,7	10,6	8,9	77,3
2021	0.1	0.02	0.01	13.2	17.2	3.6	-	-	-	-	-	-	4.3

Tableau 48 : Débits moyens du Ravin de la Bête (en m³/h) à la sortie du Centre entre 2017 et 2021

Débits max (m ³ /h)	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
2017	215,3	227,9	319,1	132,1	-	-	4,9	118	133,9	39,4	154	296,5	319,1
2018	215,7	-	275	-	539	43,5	371,6	558,8	137,8	642,8	584,9	501,6	642,8
2019	114,2	254,9	73,7	311,6	441,3	269,6	120,5	453,4	29,9	-	-	-	453,4
2020	305,6	284,4	316,6	342,7	500,1	410,2	66,7	43,1	194,4	245,3	568,2	254,1	568,2
2021	591.3	2.7	171.0	260.6	325.9	27.8	-	-	-	-	-	-	591.3

Tableau 49 : Débits maximaux du Ravin de la Bête (en m³/h) à la sortie du Centre entre 2017 et 2021

Les chroniques de débits mesurés corrigés entre 2017 et 2021 indiquent une valeur maximale de **643 m³/h** en octobre 2018.

5.2.1.6 Les cours d'eau à proximité du site

La Durance a pour affluent, au niveau de Saint-Paul-lez-Durance, le ruisseau de l'Abéou. Celui-ci s'écoule du sud-est vers le nord-ouest suivant un tracé quasiment parallèle au ruisseau du Ravin de la Bête. Le bassin versant topographique de ce cours d'eau représente une surface d'environ 120 km² pour un débit spécifique évalué en 1977 à 6,9 L/s/km². Son cours devient permanent à partir de Mallabé où plusieurs sources pérennes, dite sources de Saint-Paul-lez-Durance, lui délivrent un débit soutenu qui peut varier de quelques centièmes de m³/s à l'étiage à près de 20 m³/s en crue.

¹² Lorsque la hauteur d'eau dans l'ovoïde est supérieure à 90 cm, une partie des eaux pluviales va sur-verser au lieu de passer par le débitmètre. Une correction du débit est donc réalisée à partir des données de hauteur mesurées.

5.2.1.7 Risques d'inondation

Le site de Cadarache est naturellement protégé des risques d'inondation dus aux crues de la Durance et du Verdon, en raison de sa situation perchée. En cas de rupture du barrage de Serre-Ponçon (événement ayant les conséquences les plus importantes au niveau de Cadarache), le niveau maximal atteindrait, au droit de Cadarache, une cote de 265 mNGF en 5h40 min, sur lit sec, très en dessous des installations à caractère nucléaire. La carte ci-contre représente les zones qui seraient inondées. L'installation PEGASE, en raison de sa position élevée (aux environs de 290 mNGF), n'est pas concerné par le risque d'inondation par la Durance.



Zones inondées en cas de rupture du barrage de Serre-Ponçon

5.2.2- Qualité physicochimique et biologique des eaux et des milieux de la Durance

5.2.2.1 Objectifs de qualité

Le contexte institutionnel relatif aux eaux de surface (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Directive Cadre sur l'Eau en particulier) ainsi que les objectifs de qualité qui en découlent (Norme de Qualité Environnemental en particulier), sont présentés en annexe.

5.2.2.2 La Durance en aval du barrage de Cadarache : une Masse d'Eau Fortement Modifiée (MEFM)

Potentiel écologique

Afin d'évaluer l'influence des rejets d'effluents liquides du Centre de Cadarache (après traitement par la STEP), la qualité des eaux et des milieux de la Durance est suivie en amont et en aval du point de rejet. Le point de rejet, comme les points de suivi de la qualité sont situés en aval du barrage de Cadarache. C'est donc la masse d'eau « FRDR2032 – La Durance du canal EDF au vallon de la Campagne » qui est concernée. Dans ce cas, la Durance est considérée comme un cours d'eau de type « très grand » (TG6-7/2), appartenant à l'Hydroécocorégion de niveau 1 (HER) n° 6 « Méditerranée » et de type « Exogène de l'HER 2 ou 7 ». Mais surtout, c'est une **masse d'eau fortement modifiée** (MEFM), c'est-à-dire que ses caractéristiques morphologiques ont été fondamentalement modifiées pour permettre des activités économiques (barrages, etc.). Ce cours ne pourra donc pas retourner à son état initial d'avant aménagements. À ce titre, on parle d'objectif d'atteinte de **bon potentiel écologique** et non pas de bon état.

Classification du potentiel écologique

La classification du potentiel écologique s'établit en 4 classes : bon et plus, moyen, médiocre et mauvais. Dans l'attente de la définition des classes de potentiel écologique selon une démarche compatible avec la DCE¹³, l'évaluation du potentiel écologique des masses d'eau fortement modifiées est définie selon une démarche mixte croisant certaines données disponibles relatives à l'état écologique, et une démarche « alternative » fondée sur les mesures d'atténuation des impacts¹⁴.

Pour évaluer le bon potentiel, il est tenu compte :

- * de la **typologie de cas des MEFM** (grand type de masse d'eau x type d'ouvrage ou d'aménagement physique) ;
- * des **données « milieux »** disponibles.

Dans le cas des MEFM « cours d'eau », les seules données « milieux » **actuellement utilisables** sont **l'Indice Biologique Diatomées** et les **éléments physico-chimiques** de l'état écologique (paramètres physico-chimiques généraux, et polluants spécifiques de l'état écologique, présentés en annexe). En effet, il n'existe pas encore de références ni de protocole d'échantillonnage pour les autres éléments de qualité biologique (invertébrés, macrophytes et poissons).

Fiche d'état des eaux de la Durance à la station de Cadarache, en aval du Centre

Le tableau ci-après présente la fiche d'état des eaux de la Durance à la Saint-Paul-lez-Durance, station de Cadarache, située en aval des rejets du Centre (Code station : 06162000). Cette fiche est issue du Système d'Information sur l'Eau (SIE) de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse (<http://sierm.eaurmc.fr/surveillance/eaux-superficielles/index.php>).

Années	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments		Acidification	Polluants spécifiques	Diatomées	Potentiel écologique	Etat chimique
			Nutriments N	Nutriments P					
2021	TBE	Ind	TBE	TBE	BE	MAUV	TBE	MOY	BE
2020	TBE	Ind	TBE	TBE	BE	BE	TBE	MOY	BE
2019	TBE	Ind	BE	BE	BE	BE	TBE	MOY	BE

¹³ Les travaux d'intercalibration du bon potentiel sont en cours au sein du groupe de travail Ecostat et doivent aboutir à une réactualisation du document : *Guidance n° 4 - heavily modified water bodies - HMWB (WG 2.2)*.

¹⁴ Dans le principe, cette démarche définit les valeurs correspondant au bon potentiel écologique comme étant celles obtenues dans une situation où sont mises en œuvre toutes les mesures d'atténuation des impacts qui : (i) ont une efficacité avérée sur le plan de la qualité et de la fonctionnalité des milieux (y compris, par exemple, des mesures concernant l'amélioration des modes de gestion hydraulique ou la maîtrise des flux de nutriments pour contenir l'eutrophisation), et (ii) sont techniquement et socio-économiquement faisables sans remettre en cause le (ou les) usage(s) à la base de la désignation comme MEFM, c'est-à-dire qui tiennent compte des contraintes techniques obligatoires (CTO) pour la pratique de cet(ces) usage(s).

Années	Bilan de l'oxygène	Température	Nutriments		Acidification	Polluants spécifiques	Diatomées	Potentiel écologique	Etat chimique
			Nutriments N	Nutriments P					
2018	TBE	Ind	BE	BE	BE	BE	TBE	MOY	BE
2017	TBE	Ind	BE	BE	BE	BE	TBE	MOY	MAUV

Légende

État écologique

TBE	Très bon état
BE	Bon état
MOY	État moyen
MED	État médiocre
MAUV	État mauvais
Ind	État indéterminé : absence actuelle de limites de classes pour le paramètre considéré, ou absence actuelle de référence pour le type considéré (biologie), ou données insuffisantes pour déterminer un état (physicochimie). Pour les diatomées, la classe d'état affichée sera "indéterminé" si l'indice est calculé avec une version de la norme différente de celle de 2007 (Norme AFNOR NF T 90-354)
NC	Non Concerné
	Absence de données

État chimique

BE	Bon état
MAUV	Non atteinte du bon état
Ind	Information insuffisante pour attribuer un état
	Absence de données

Tableau 50 : Fiche d'état des eaux de la Durance à la station de Cadarache (Code : 06162000)

Les résultats sont présentés **conformément à l'arrêté du 27 juillet 2015** modifiant l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010. La modification de l'arrêté du 25 janvier 2010 a pour objectif de mettre à jour les règles d'évaluation de l'état des eaux, notamment avec de nouveaux indices, des seuils harmonisés au niveau de l'Union européenne, et une liste actualisée des polluants chimiques.

La fiche d'état des lieux de la Durance à Saint-Paul-lez-Durance montre globalement un bon état chimique et un potentiel écologique moyen. On notera néanmoins un déclassement de la qualité physico-chimique de l'eau en 2021, à la suite d'une mesure de concentration en zinc supérieure à la NQE (7,8 g/L). Cette non-conformité a été observée sur une seule mesure, réalisée le 20 avril 2020 ; mais l'état des lieux de la Durance pour une année donnée étant basée sur des mesures réalisées les trois années précédentes, ce déclassement perdurera vraisemblablement en 2022 et 2023.

5.2.2.3 Principe du suivi effectué par le CEA et de la présentation des résultats

Le suivi de la Durance à Saint-Paul-lez-Durance (station de Cadarache) est réalisé par le CEA pour le compte de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse (www.eaurmc.fr). Ce suivi permet à l'Agence de l'eau d'établir la fiche d'état de la Durance à cette station présentée dans le tableau précédent.

Le suivi comporte deux volets : d'une part, **un suivi mensuel de la qualité physico-chimique** de l'eau et, d'autre part, une **évaluation ponctuelle annuelle de la qualité écologique des milieux**.

Évaluation de la qualité physico-chimique (état chimique)

Les résultats sont exprimés à l'aide du système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau, le SEQ-Eau. Le SEQ-Eau est un outil national d'évaluation de la qualité des eaux, dont la réalisation a été conduite par le Ministère en charge de l'environnement, les D.I.R.E.N. (Direction Régionale de l'Environnement, à présent DREAL Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) et les Agences de l'Eau. Ce système (1999) se situait dans la continuité des outils précédemment utilisés par les différents acteurs de l'environnement en proposant des classes de qualité avec la représentation classique à 5 couleurs (bleu, vert, jaune, orange, rouge). Il innovait cependant en créant 15 altérations qui sont des groupements de paramètres, en proposant des indices de qualité qui permettent une évaluation plus précise que les classes de qualité, et en définissant des classes d'aptitude à la biologie et aux usages.

La qualité de l'eau est décrite, pour chaque altération, avec un indice et 5 classes de qualité.






Indice	Classe	Qualité
100		
	Très bonne	
80		
	Bonne	
60		
	Passable	
40		
	Mauvaise	
20		
	Très mauvaise	
0		

Tableau 51 : Indices et classes de qualité des eaux de surface selon le SEQ-Eau

La classe « bleue » de référence permet la vie, la production d'eau potable (après une simple désinfection), les loisirs et sports aquatiques, tandis que la classe « rouge » ne permet plus de satisfaire au moins l'un de ces critères.

Le tableau ci-dessous reprend les classes d'aptitudes en fonction des paramètres analysés sur les divers échantillons d'eau. Pour les métaux, les valeurs retenues sont celles qui correspondent à une dureté de l'eau moyenne (sachant que la dureté de la Durance varie de 19 à 28 degrés français).

LEGENDE (grille d'évaluation SEQ-Eau)

Classes et indices de la qualité de l'eau par altération

sur l'eau brute

PARAMETRES	CLASSE D'APTITUDE				
	Eau de très bonne qualité	Eau de bonne qualité	Eau de qualité moyenne	Eau de qualité médiocre	Eau de mauvaise qualité
	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Classe de qualité →					
Indice de qualité →	80	60	40	20	
MES (mg/l)	2	25	38	50	-
DCO (mg O₂/l)	20	30	40	80	-
DBO₅ (mg O₂/l)	3	6	10	25	-
NTK (mg N/l)	1	2	4	6	-
NO₃ (mg NO₃/l)	2	10	25	50	-
NO₂ (mg NO₂/l)	0,03	0,3	0,5	1	-
NH₄ (mg NH₄/l)	0,5	1,5	2,8	4	-
PO₄ (mg PO₄/l)	0,1	0,5	1	2	-
TAC (d°f)	8	5	3	0	-
TA (°f)	-	-	-	-	-
As (µg/l)	1	35	70	100	-
Cd (µg/l)	0,004	0,04	0,37	1,3	-
Hg (µg/l)	0,007	0,07	0,7	1	-
Zn (µg/l)	0,43	4,3	43	98	-
B (µg/l)	-	-	-	-	-
Pt (mg P/l)	0,05	0,2	0,5	1	-
CCL₄ (µg/l)	2	2,3	2,5	20	-
Coliformes thermotolérants (u/100 ml)	50	500	5000	10000	-

Tableau 52 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux de la Durance suivant le SEQ-Eau

L'utilisation des Normes de Qualité Environnementales (NQE) a maintenant remplacé l'interprétation par le SEQ-Eau. Néanmoins, du fait du nombre limité de NQE disponibles par rapport aux paramètres mesurés, les résultats seront présentés selon le SEQ-Eau afin d'apprécier la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, et de faciliter la comparaison avec les années précédentes.

Évaluation du potentiel écologique

L'évaluation de la qualité biologique des milieux aquatiques de la Durance en amont et en aval du point de rejet des effluents du Centre est réalisée à l'aide de méthodes quantitatives du type « Indice Biologique » fondées sur l'application d'un principe général, selon lequel à un milieu donné correspond une association végétale et animale particulière. Ainsi, une analyse comparative (amont-aval) permet d'évaluer l'impact lié aux modifications de l'environnement sur les communautés. Dans cette optique, les deux indices biologiques suivants sont déterminés : l'Indice Biologique Global (**IBGN et IBG-DCE**) relatif aux peuplements de macro invertébrés vivant au fond de la rivière et l'Indice Biologique Diatomées (**IBD**) qui concerne les diatomées, population d'algues microscopiques particulières.



En aval du barrage de Cadarache, la Durance étant considérée comme une masse d'eau fortement modifiée (MEFM), il faut rappeler que **seul l'indice biologique diatomées est actuellement requis**, en attente de la définition de classes de potentiel écologique selon une démarche compatible avec la DCE. Néanmoins, le CEA suit l'indice biologique macro-invertébrés en complément.

Cette appréciation écologique des milieux est complétée par l'évaluation de la concentration en micropolluants minéraux (métaux) sur les sédiments et sur les végétaux. Les analyses sur végétaux sont couramment effectuées sur des mousses (**bryophytes**) qui sont d'excellents bio-concentrateurs de métaux lourds. Cependant, le lit de la Durance ne contenant pas de bryophytes autochtones, les analyses doivent être réalisées sur des mousses aquatiques provenant d'une autre rivière et précédemment implantées au niveau des stations de prélèvements.

Seuls les résultats du suivi physico-chimique et biologique de l'année 2021 sont présentés par la suite afin de ne pas trop alourdir le document. Les résultats des années antérieures sont du même ordre.



Points de prélèvement en Durance

5.2.2.4 Qualité physico-chimique des eaux

Les résultats d'analyses physico-chimiques sur les deux stations suivies (amont et aval du point de rejet du site de Cadarache), pour l'année 2021, sont synthétisés et comparés à l'ancienne grille d'évaluation SEQ-Eau, dans le Tableau 53. À noter qu'au mois de mai, en raison de la Durance en crue, l'accès au lit de la Durance a été interdit, et le bilan n'a pas pu être réalisé.

Paramètres	Unité	18 au 19 JANVIER 2021		03 au 04 FEVRIER 2021		15 au 16 MARS 2021		01 au 02 AVRIL 2021		MAI 2021		17 au 18 JUIN 2021	
		STATION		STATION		STATION		STATION		STATION		STATION	
		AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL
pH	u.pH	8.24	8.09	8.11	8.12	8.14	8.18	8.29	8.22	-	-	7.89	8.17
Conductivité à 25°C	µS/cm	502	515	512	525	427	464	463	483	-	-	492	494
Matières En Suspension (MES)	mg/L	11	3.2	46	28	3.6	8.4	10	4.3	-	-	31	13
Demande Biologiques en Oxygène à 5 jours (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.3	< 0,5	0.8	1.4	0.6	2.6	0.9	2.6	-	-	1.6	0.7
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	mg O ₂ /L	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	-	-	< 20	< 20
Azote total Kjeldahl (NTK)	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	-	< 0,5	< 0,5
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	-	-	< 0,01	0,01
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	2,00	2,80	2,40	2,80	1,30	4,30	1,40	2,00	-	-	1,60	1,80
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	-	-	< 0,05	< 0,05
Orthophosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/L	0,04	0,04	0,03	0,02	< 0,01	0,02	0,01	0,07	-	-	0,06	0,01
Carbonates (CaCO ₃)	mg/L	141	150	175	180	152	161	150	158	-	-	136	146
Arsenic	µg/l	0,76	0,58	0,28	0,23	0,34	0,33	0,39	0,34	-	-	0,59	0,49
Cadmium	µg/l	0,105	< 0,01	< 0,01	0,013	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,030	-	-	0,013	0,077
Mercurure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	< 0,01	< 0,01
Phosphore total	mg/L	0,011	0,010	0,023	< 0,010	< 0,010	0,013	< 0,010	0,019	-	-	0,016	0,010
Tétrachlorure de carbone	µg/L	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	-	-	< 0,50	< 0,50
Coliformes thermotolérants	UFC/100 ml	85	42	1400	720	120	60	86	24	-	-	320	240

Paramètres	Unité	01 au 02 JUILLET 2021		30 au 31 AOUT 2021		01 au 02 SEPTEMBRE 2021		14 au 15 OCTOBRE 2021		02 au 03 NOVEMBRE 2021		01 au 02 DECEMBRE 2021	
		STATION		STATION		STATION		STATION		STATION		STATION	
		AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL	AMONT	AVAL
pH	u.pH	8.31	8.15	8.24	8.14	8.23	8.19	8.32	8.24	8.14	8.14	8.20	8.15
Conductivité à 25°C	µS/cm	493	512	465	487	470	479	473	488	484	507	480	495
Matières En Suspension (MES)	mg/L	5.7	3.2	9.8	7.1	9.2	6.5	31	24	146	73	20	17
Demande Biologiques en Oxygène à 5 jours (DBO ₅)	mg O ₂ /L	1.0	0.9	1.6	1.4	1.1	1.6	1.5	1.8	1.7	2.4	1.8	2.5
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	mg O ₂ /L	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
Azote total Kjeldahl (NTK)	mg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Nitrites (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	0,01	0,01	< 0,01
Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/L	2,00	2,10	1,40	1,80	1,10	1,60	2,30	2,60	2,00	2,30	1,40	1,20
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Orthophosphates (PO ₄ ²⁻)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,04	0,02	0,15	0,10	< 0,01	< 0,01
Carbonates (CaCO ₃)	mg/L	138	148	144	147	138	147	153	159	147	164	128	139
Arsenic	µg/l	0,52	0,46	0,60	0,44	0,43	0,38	0,41	0,41	0,47	0,38	0,70	0,61
Cadmium	µg/l	< 0,01	0,040	< 0,01	< 0,01	0,010	< 0,01	< 0,01	0,021	0,014	0,015	< 0,01	< 0,01
Mercurure	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Phosphore total	mg/L	< 0,01	< 0,01	0,013	< 0,01	0,013	0,013	0,032	0,013	0,044	0,034	< 0,01	< 0,01
Tétrachlorure de carbone	µg/L	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Coliformes thermotolérants	UFC/100 ml	140	90	150	40	540	170	230	180	4200	1500	180	90

Tableau 53 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de la Durance en 2021

Les deux stations présentent, sur l'ensemble des campagnes mensuelles, une bonne qualité de l'eau. Les résultats sont assez similaires entre l'amont et l'aval.

On remarque une médiocre ou mauvaise qualité de l'eau sur les mois de février et novembre en ce qui concerne les matières en suspension, qui s'expliquent très probablement par la remise en suspension des sédiments induits par les événements pluvieux survenus avant les prélèvements.

L'absence de résultats pour le mois de mai s'explique par l'interdiction de l'accès au lit de la Durance, en raison de sa crue.

Le rejet des effluents chimiques en provenance du centre de Cadarache n'impacte pas la qualité physico-chimique des eaux.

5.2.2.5 Qualité biologique des eaux

IBG-DCE – Indice Biologique Global compatible Directive Cadre sur l’Eau

Les évolutions entraînées par la DCE dans la caractérisation de la qualité biologique ont conduit au remplacement de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) par l'Indice Biologique Global (IBG DCE). À partir de 2016, l'impact des rejets de Cadarache du point de vue biologique, c'est-à-dire en fonction de la macrofaune benthique et des micro-algues présentes dans la Durance, est étudié en utilisant l'IBG-DCE.

Le tableau suivant présente les résultats des indices IBG-DCE déterminés à partir des analyses biologiques de 2017 à 2021 sur les deux stations de mesure amont et aval de la Durance.

Qualité Biologique - IBG-DCE - (HER 6-7/2)									
Durance amont					Durance aval				
2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Bon	Très Bon	Bon	Bon	Bon

Tableau 54 : Indices IBG-DCE de 2017 à 2021 sur les deux stations de mesure amont et aval de la Durance

L'analyse des listes faunistiques ainsi que l'ensemble des traits biologiques liés aux invertébrés benthiques montrent une bonne qualité biologique. Ceux-ci ne semblent pas mettre en évidence de différences significatives entre les deux stations.

Le rejet du CEA de Cadarache semble donc avoir peu d'impact sur les invertébrés aquatiques de la Durance sur le linéaire étudié.

IBD – Indice Biologique Diatomées

Le Tableau 55 présente les résultats des indices IBD déterminés à partir des analyses biologiques de 2017 à 2021 sur les deux stations de mesure amont et aval de la Durance.

Qualité Biologique - IBD - (HER 6-7/2)									
Durance amont					Durance aval				
2017	2018	2019	2020	2021	2017	2018	2019	2020	2021
Très Bon	Très Bon	Très Bon	Très Bon	Très Bon	Très Bon	Bon	Très Bon	Très Bon	Très Bon

Tableau 55 : Indices IBD de 2017 à 2021 sur les deux stations de mesure amont et aval de la Durance

L'indice diatomées indique une très bonne qualité sur les deux stations. Les analyses sont proches entre l'amont et l'aval, et aucune modification importante n'est observée dans les caractéristiques écologiques des espèces.

D'après l'IBD, le rejet du CEA Cadarache ne semble pas avoir d'impact sur la qualité de la Durance.

Conclusion

En conclusion, les analyses hydrobiologiques des macro-invertébrés des 2 stations révèlent des peuplements très proches : la faune est indicatrice d'un milieu moyennement productif en nutriments et caractéristique d'un cours d'eau à granulométrie grossière avec présence d'algues.

Seules quelques différences mineures ont pu être observées entre l'amont et l'aval, liées principalement à la différence de courant et à un milieu un peu plus chargé en matière organique.

L'IBD montre une stabilité de la qualité des stations amont et aval, qui restent en état écologique très bon.

Les IBG-DCE et IBD indiquent une bonne qualité de l'état écologique de la Durance. Le rejet du CEA de Cadarache semble donc avoir peu d'impact sur les communautés aquatiques d'invertébrés et de diatomées.

5.2.2.6 Analyses sur sédiments et bryophytes

Sédiments

Les résultats des analyses menées sur les sédiments, de 2017 à 2021, sont présentés dans les Tableaux 57 à Tableau 61. Ils sont comparés à la classification « SEQ Eau version 2 micropolluants minéraux sur sédiments » présentée dans le Tableau 56. Notons que les paramètres fer, aluminium, chrome hexavalent et azote Kjeldhal ne font pas partie de cette classification.

LEGENDE (grille d'évaluation SEQ-Eau)					
Classes et indices de la qualité de l'eau par altération					
sur les sédiments					
	CLASSE D'APTITUDE				
	Eau de très bonne qualité	Eau de bonne qualité	Eau de qualité moyenne	Eau de qualité médiocre	Eau de mauvaise qualité
	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Classe de qualité →	80	60	40	20	
Indice de qualité →					
PARAMETRES					
NTK (mg/kg)	-	-	-	-	-
As (mg/kg)	1	9,8	33	-	-
Cd (mg/kg)	0,1	1	5	-	-
Cu (mg/kg)	3,1	31	140	-	-
Cr (mg/kg)	4,3	43	110	-	-
Cr VI (mg/kg)	-	-	-	-	-
Ni (mg/kg)	2,2	22	48	-	-
Pb (mg/kg)	3,5	35	120	-	-
Zn (mg/kg)	12	120	460	-	-
Fe (mg/kg)	-	-	-	-	-
Hg (mg/kg)	0,02	0,2	1	-	-
Al (mg/kg)	-	-	-	-	-

Tableau 56 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux de la Durance par altération sur les sédiments suivant le SEQ-Eau

PARAMETRES	Unités	STATION AMONT	STATION AVAL
Matières sèches	% MB	27,3	35,4
Azote total Kjeldhal (NTK)	mg/kg MS	< 4,10	< 5,32
Arsenic (As)	mg/kg MS	5,41	4,38
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,10	< 0,10
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	12,64	11,05
Chrome (Cr)	mg/kg MS	23,91	23,32
Chrome hexavalent (Cr VI)	mg/kg MS	< 0,916	< 0,708
Nickel (Ni)	mg/kg MS	31,00	28,73
Plomb (Pb)	mg/kg MS	10,33	9,20
Zinc (Zn)	mg/kg MS	59,34	50,00
Fer (Fe)	mg/kg MS	15 350	14 169
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,044	0,049
Aluminium (Al)	mg/kg MS	15 498	14 899
Bore (B)	mg/kg MS	31,83	29,6

Analyse sur sédiments – Campagne de 2017 (MS : Matière Sèche)

Tableau 57 : Analyse sur sédiments de la Durance en 2017

PARAMETRES	Unités	STATION AMONT	STATION AVAL
Matières sèches	% MB	55,9	54,5
Azote total Kjeldhal (NTK)	mg/kg MS	< 15	< 15
Arsenic (As)	mg/kg MS	3,47	4,79
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,15	0,10
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	7,64	16,09
Chrome (Cr)	mg/kg MS	19,99	35,57
Chrome hexavalent (Cr VI)	mg/kg MS	< 0,25	< 0,25
Nickel (Ni)	mg/kg MS	10,22	38,45
Plomb (Pb)	mg/kg MS	12,20	11,16
Zinc (Zn)	mg/kg MS	38,54	61,43
Fer (Fe)	mg/kg MS	12 846	18 577
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,023	0,024
Aluminium (Al)	mg/kg MS	7 589	18 194
Bore (B)	mg/kg MS	17,21	34,95

Analyse sur sédiments – Campagne de 2018 (MS : Matière Sèche)

Tableau 58 : Analyse sur sédiments de la Durance en 2018

PARAMETRES	Unité	STATION AMONT	STATION AVAL
Azote total Kjeldhal (NTK)	mg/kg MB	< 15	< 15
Arsenic (As)	mg/kg MS	3,84	4,37
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,10	0,10
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	14,90	15,54
Chrome (Cr)	mg/kg MS	32,06	21,52
Chrome hexavalent (Cr VI) sur extrait aqueux	mg/kg MB	< 0,025	< 0,025
Nickel (Ni)	mg/kg MS	32,54	31,52
Plomb (Pb)	mg/kg MS	9,71	9,91
Zinc (Zn)	mg/kg MS	61,90	63,43
Fer (Fe)	mg/kg MS	17 638	17 437
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,029	0,030
Aluminium (Al)	mg/kg MS	23 069	16 951
Bore (B)	mg/kg MS	39,36	23,80

Analyse sur sédiments – Campagne de 2019 (MS : Matière Sèche)

Tableau 59 : Analyse sur sédiments de la Durance en 2019

PARAMETRES	Unité	STATION AMONT	STATION AVAL
Azote total Kjeldahl (NTK)	mg/kg MB	< 5,82	< 4,97
Arsenic (As)	mg/kg MS	6,29	5,78
Cadmium (Cd)	mg/kg MS	0,10	0,10
Cuivre (Cu)	mg/kg MS	14,22	13,63
Chrome (Cr)	mg/kg MS	29,66	39,68
Chrome hexavalent (Cr VI) sur extrait aqueux	mg/kg MB	< 0,064	< 0,076
Nickel (Ni)	mg/kg MS	32,61	34,10
Plomb (Pb)	mg/kg MS	10,40	10,21
Zinc (Zn)	mg/kg MS	60,62	65,11
Fer (Fe)	mg/kg MS	17 562	17 723
Mercure (Hg)	mg/kg MS	0,029	0,031
Aluminium (Al)	mg/kg MS	22 545	32 026
Bore (B)	mg/kg MS	36,14	68,92

Analyse sur sédiments – Campagne de 2020 (MS : Matière Sèche)

Tableau 60 : Analyse sur sédiments de la Durance en 2020

2021	Unités	Station amont	Station aval
Azote total Kjeldhal	mg/kg MS	< 8,95	< 3,76
Arsenic	mg/kg MS	5,82	3,9
Cadmium	mg/kg MS	< 0,10	< 0,10
Cuivre	mg/kg MS	16,93	12,1
Chrome	mg/kg MS	24,07	19,8
Chrome hexavalent sur extrait aqueux	mg/kg MS	< 0,044	< 0,097
Nickel	mg/kg MS	31,1	24,34
Plomb	mg/kg MS	11,21	7,8
Zinc	mg/kg MS	50,7	45,17
Fer	mg/kg MS	21009	15171
Mercuré	mg/kg MS	0,046	0,027
Aluminium	mg/kg MS	17273	15414
Bore	mg/kg MS	24,94	24

Analyse sur sédiments – Campagne de 2021 (MS : Matière Sèche)

Tableau 61 : Analyse sur sédiments de la Durance en 2021

Les résultats montrent que les deux stations de mesure présentent des caractéristiques relativement similaires.

L'azote Kjeldahl met en évidence des sédiments riches en débris végétaux.

Le fer et l'aluminium sont toujours des éléments majeurs présents en quantité significative en amont comme en aval. Il est établi que le flux sédimentaire atteignant le barrage de Cadarache provient en grande partie de l'érosion mécanique des Terres noires callovo-oxfordiennes de la Moyenne Durance. Cette formation est marneuse et contient une phase argileuse qui lui confère ses fortes teneurs en aluminium et fer. De plus, la couleur grisâtre du sédiment peut indiquer la présence de minéraux riches en fer.

Les sédiments sont caractéristiques d'une bonne qualité du milieu naturel, excepté pour le paramètre Nickel qui se situe dans la classe de qualité moyenne en aval.

Bryophytes

Le Tableau 63 montre les résultats des analyses sur bryophytes de 2017 à 2021. Ils sont comparés à la classification « SEQ Eau version 2 micropolluants minéraux sur bryophytes », présentée dans le tableau ci-après.

LEGENDE (grille d'évaluation SEQ-Eau)

Classes et indices de la qualité de l'eau par altération					
sur les bryophytes					
	CLASSE D'APTITUDE				
	Eau de très bonne qualité	Eau de bonne qualité	Eau de qualité moyenne	Eau de qualité médiocre	Eau de mauvaise qualité
Classe de qualité →	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Indice de qualité →	80	60	40	20	
PARAMETRES					
As (mg/kg de poids sec)	4,5	9	27	54	-
Hg (mg/kg de poids sec)	0,15	0,30	0,85	1,7	-
Cd (mg/kg de poids sec)	1,2	2,5	7	14	-

Tableau 62 : Grille d'évaluation de la qualité des eaux de la Durance par altération sur les bryophytes suivant le SEQ-Eau

Paramètre	Arsenic (mg/kg MS)		Mercure (mg/kg MS)		Cadmium (mg/kg MS)	
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
Année						
2017	0,01	0,30	< 0,001	< 0,001	0	0
2018	0,23	0,08	0	0	0	0
2019	0,04	<0,01	<0,048	<0,047	<0,05	<0,05
2020	1,45	0,82	<0,05	<0,05	<0,047	<0,047
2021	0,96	<0,10	< 0,049	< 0,049	<0,05	<0,05

Tableau 63 : Analyses sur bryophytes (MS : Matière Sèche)

L'implantation des bryophytes s'est avérée satisfaisante dans le lit de la Durance au vu de la croissance de ces dernières au travers du maillage durant la période d'implantation.

Les concentrations sont similaires d'une station à l'autre. Elles se situent entre une bonne qualité et une très bonne qualité du milieu en référence à l'ancien système SEQ-Eau.

Les bryophytes sont caractéristiques d'une très bonne qualité du milieu naturel.

5.2.2.7 Conclusion

L'étude menée sur la Durance sur ces dernières est dans l'ensemble satisfaisante. Le suivi physico-chimique n'a décelé aucune pollution pouvant être imputée au rejet du site de Cadarache sur le milieu naturel.

Les deux stations de mesure présentent des caractéristiques relativement similaires. Le rejet des effluents du centre de Cadarache ne présente donc aucun impact négatif sur le milieu naturel. Les résultats au format SEQ-Eau démontrent dans l'ensemble une bonne qualité du milieu naturel de la Durance.

Au vu de l'ensemble des paramètres étudiés, le rejet des installations du site de Cadarache n'a pas d'impact sur le milieu récepteur, la Durance.

5.2.3- Qualité physicochimique des eaux du Ravin de la Bête

Dans le cadre de l'arrêté préfectoral du 25 septembre 2006, abrogé par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 qui a maintenu les mêmes dispositions de suivi, une surveillance réglementaire de la qualité des eaux pluviales rejetées est réalisée au sein du Centre de Cadarache. Les résultats des analyses effectuées entre 2017 et 2021 au point de rejet du Ravin de la Bête dans la Durance (point de rejet n° 2 de l'arrêté), sont présentés dans les Tableau 64 à Tableau 68. Les valeurs mentionnées en rouge correspondent à des dépassements des valeurs seuils.

134

Partie 1

Depuis fin 2017, en application de la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017, 5 points du Ravin de la Bête et du Chemin des Lapins sont surveillés.

Contrôle mensuel du Ravin de la Bête 2017																				
Mois		janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	Décembre							
Points													17	17b	18	19				
Date du prélèvement		23/01/17	28/02/17	01/03/17	10/04/17	11/05/17	12/06/17	13/07/17	14/08/17	15/09/17	16/10/17	17/11/17	11/12/2017	11/12/2017	11/12/2017	11/12/2017				
	Unités	Seuil																		
Hydrocarbures	mg/l	<5 ppm	<0,1	<0,1	<0,1	0,14	0,47										0,23	<0,1	<0,1	<0,1
pH à T° échantillon	Unités pH	5,5<pH <8,5 u. pH	7,89 à 17,5°C	7,89 à 12,2°C	6,98 à 18,9°C	7,77 à 12,9°C	7,88 à 13,1°C										8,38 à 16,9°C	8,11 à 16,3°C	8,29 à 16,9°C	8,32 à 17°C
MES	mg/l	<35 ppm	3	133	9	6	3	absence d'eau	absence d'eau	absence d'eau	absence d'eau	absence d'eau	absence d'eau	absence d'eau			623	108	26	74
DCO	mg/l	<125 ppm	<30	32	<30	<30	<30										<30	<30	<30	<30
DBO5 nd	mg/l O2	<30 ppm	<3	9,0	<30	5,0	<3										4	3	<3	<3

Tableau 64 : Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2017

Contrôle mensuel du Ravin de la Bête 2018															
Paramètres	Seuils	Point de prélevement	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	
			09/01/2018	28/02/2018	15/03/2018	12/04/2018	11/05/2018 et 25/05/2018	11/06/2018		13/08/2018		08/10/2018	06/11/2018	19/12/2018	
Hydrocarbures en mg/l	<5 mg/l	17	0,42	< 0,1	0,13	0,13	< 0,1	< 0,1			0,2		< 0,1	0,23	< 0,1
		17b	0,5	< 0,1	0,14	0,22	< 0,1	< 0,1			0,12		< 0,1	0,18	0,18
		18	0,35	0,25	0,19	0,13	0,13	< 0,1			0,21		< 0,1	0,42	0,16
		19	0,3	< 0,1	0,15	0,14	0,16	0,13			0,26		< 0,1	0,18	0,27
pH à T° échantillon	5,5 < pH < 8,5	17	7,96	8,39	8,47	7,19	7,62	8,18			7,17		8,37	8,19	7,79
		17b	7,93	8,07	8,04	7,69	7,69	8,17			8,2		6	8,09	8,13
		18	8,19	8,05	8,22	7,76	8,58	8,18			7,33		8,6	8,35	8,04
		19	8,18	8,73	8,91	8,15	8,6	8,27			8,43		8,71	8,36	8,51
MES en mg/l	<35 mg/l	17	68	152	58	13	3	26			61		100	84	30
		17b	32	325	227	572	25	32	absence d'eau	absence d'eau	351		6	91	11
		18	41	245	134	252	1438	22			111		67	58	3
		19	22	723	210	427	1426	33			115		65	54	24
DCO en mg/l	<125 mg/l	17	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30	< 30			31		< 30	< 30	< 30
		17b	< 30	40	33	44	< 30	< 30			33		< 30	< 30	< 30
		18	< 30	35	39	31	52	< 30			< 30		< 30	< 30	< 30
		19	< 30	50	< 30	< 30	51	< 30			< 30		< 30	< 30	< 30
DBO5 nd en mg/l O ₂	<30 mg/l	17	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3			< 3		< 3	< 3	< 3
		17b	< 3	< 3	4	4	< 3	3			< 3		< 3	< 3	< 3
		18	< 3	4	3	3	14	4			< 3		< 3	< 3	< 3
		19	< 3	< 3	< 3	< 3	13	< 3			< 3		< 3	< 3	< 3

Tableau 65 : Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2018

	Point de prélèvement	Date de prélèvement	DBO5 nd* en mg/l O2	DCO en mg/l	Hydrocarbure en mg/l	MES en mg/l	pH à T° échantillon en u.pH
Seuils			< 30	< 125	< 5	< 35	5,5 < PH < 8,5
JANVIER	17 + 17b + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
FEVRIER	17	01/02/2019	< 3	< 30	0,29	9	7,54
	17b	01/02/2019	< 3	< 30	0,25	52	7,97
	18	01/02/2019	< 3	< 30	0,23	11	7,27
	19	01/02/2019	< 3	< 30	0,25	237	7,97
	50	01/02/2019	< 3	< 30	0,2	12	7,99
MARS	17 + 17b + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
AVRIL	17	03/04/2019	74	592	0,54	1339	7,31
	17b	03/04/2019	27	81	0,16	70	7,57
	18	18/04/2019	< 3	< 30	0,99	78	7,74
	19	18/04/2019	< 3	< 30	1	204	7,84
	50	04/04/2019	8	36	0,12	82	8,76
MAI	17 + 17b + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
JUIN	17 + 17b + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
JUILLET	17	09/07/2019	22	72	0,15	28	7,67
	17b	09/07/2019	19	75	0,13	28	7,74
	18	09/07/2019	19	75	0,13	27	7,4
	19	09/07/2019	19	68	0,23	27	7,67
	50	09/07/2019	22	72	0,27	30	7,63
AOUT	17 + 17b + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
SEPTEMBRE	17	10/09/2019	< 3	< 30	0,14	88	8,59
	17b	10/09/2019	< 3	< 30	0,12	113	5,44
	18	10/09/2019	< 3	< 30	0,14	46	8,44
	19	10/09/2019	< 3	< 30	0,12	85	9,05
	50	10/09/2019	< 3	< 30	0,15	9	8,12
OCTOBRE	17	15/10/2019	< 3	< 30	0,43	141	8,1
	17b	15/10/2019	< 3	< 30	< 0,1	130	7,8
	18	15/10/2019	< 3	< 30	0,27	69	8,11
	19	15/10/2019	< 3	< 30	< 0,1	82	8,17
	50	15/10/2019	< 3	< 30	0,18	56	8,17
NOVEMBRE	17	15/11/2019	< 3	< 30	0,32	5	8
	17b	15/11/2019	< 3	< 30	0,22	20	7,9
	18	15/11/2019	< 3	< 30	0,22	3	7,8
	19	15/11/2019	< 3	< 30	0,24	3	7,9
	50	15/11/2019	< 3	< 30	0,21	3	7,6
DECEMBRE	17	20/12/2019	< 3	< 30	< 0,1	< 2	8
	17b	20/12/2019	< 3	< 30	< 0,1	< 2	8,1
	18	20/12/2019	< 3	< 30	0,11	3	7,9
	19	20/12/2019	< 3	< 30	< 0,1	< 2	8,1
	50	20/12/2019	15	76	< 0,1	27	6,8

nd : non décanté

Tableau 66 : Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau des points de prélèvement pour l'année 2019

	Point de prélèvement	Date de prélèvement	DBO5 nd* en mg/l O2	DCO en mg/l	Hydrocarbure en mg/l	MES en mg/l	pH à T° échantillon en u.pH	
Seuils			< 30	< 125	< 5	< 35	5,5 < PH < 8,5	
JANVIER	17	15/01/2020	< 3	< 5	< 0,1	< 2	8	
	17bis	15/01/2020	< 3	< 5	< 0,1	< 2	8,1	
	18	15/01/2020	< 3	< 5	0,11	3	7,9	
	19	15/01/2020	< 3	< 5	< 0,1	< 2	8,1	
	50	15/01/2020	15	76	< 0,1	27	6,8	
FEVRIER	17	27/02/2020	< 3	18	< 0,1	666	8	
	17bis	27/02/2020	< 3	6	< 0,1	6	8,1	
	18	27/02/2020	4	27	< 0,1	7	7,8	
	19	27/02/2020	Pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
	50	27/02/2020	8	52	< 0,1	30	7,8	
MARS	17	02/03/2020	< 3	9	< 0,1	21	8,1	
	17bis	02/03/2020	< 3	18	< 0,1	174	7,8	
	18	02/03/2020	< 3	9	< 0,1	32	7,7	
	19	02/03/2020	< 3	12	< 0,1	63	8,4	
	50	02/03/2020	< 3	10	< 0,1	24	8,5	
AVRIL	17	21/04/2020	< 3	5	0,19	3	7,8	
	17bis	21/04/2020	< 3	8	0,15	20	7,7	
	18	21/04/2020	< 3	< 5	0,28	< 2	7,8	
	19	21/04/2020	6	49	< 0,1	34	7,9	
	50	21/04/2020	< 3	20	0,76	< 2	8	
MAI	17	11/05/2020	< 3	13	0,13	28	7,7	
	17bis	11/05/2020	< 3	6	< 0,1	6	7,9	
	18	11/05/2020	< 3	15	< 0,1	< 2	7,7	
	19	11/05/2020	4	42	< 0,1	13	7,4	
	50	11/05/2020	< 3	16	0,13	7	7,7	
JUIN	17	04/06/2020	3	19	0,46	27	7,9	
	17bis	04/06/2020	< 3	15	< 0,1	88	7,8	
	18	04/06/2020	< 3	7	< 0,1	107	8,2	
	19	04/06/2020	< 3	11	< 0,1	113	8,3	
	50	04/06/2020	3	15	< 0,1	7	7,9	
JUILLET	17 + 17bis + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement						
AOUT	17 + 17bis + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement						
SEPTEMBRE	17	22/09/2020	37	336	0,32	1500	8	
	17bis	22/09/2020	8	259	0,11	1600	7,8	
	18	22/09/2020	5	119	0,15	609	8,7	
	19	22/09/2020	4	115	0,23	698	8,6	
	50	22/09/2020	3	40	0,11	74	8,4	
OCTOBRE	17	02/10/2020	< 3	34	< 0,1	5	6,9	
	17bis	02/10/2020	< 3	15	0,15	11	8,0	
	18	02/10/2020	5	34	0,15	14	7,5	
	19	02/10/2020	3	52	0,31	55	8,3	
	50	02/10/2020	< 3	38	0,11	18	7,8	
NOVEMBRE	17 + 17bis + 18 + 19 + 50	pas de précipitation suffisante pour prélèvement						
DECEMBRE	17	04/12/2020	4	12	0,2	13	7,8	
	17bis	04/12/2020	< 3	8	< 0,1	34	7,8	
	18	04/12/2020	< 3	10	< 0,1	5	7,6	
	19	04/12/2020	11	33	0,33	65	7,8	
	50	04/12/2020	< 3	13	0,15	5	8,0	

Tableau 67 : Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2020

	Point de prélèvement	Date du prélèvement	DBO5 nd mg/l O2	DCO en mg/l	Hydrocarbures mg/l	MES en mg/l	pH à T° échantillon 5,5<pH <8,5 u. pH	
Seuils			< 30 mg/L	< 125 mg/L	< 5 mg/L	< 35 mg/L		
JANVIER	17	22/01/2021	3	48	<0,1	378	7,9	
	17b	22/01/2021	4	59	<0,1	828	8,1	
	18	22/01/2021	<3	31	<0,1	389	8,5	
	19	22/01/2021	<3	29	<0,1	329	8,5	
	50	22/01/2021	<3	14	<0,1	47	8,2	
FEVRIER	17		pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
	17b							
	18							
	19							
	50							
MARS	17		pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
	17b							
	18							
	19							
	50							
AVRIL	17	29/04/2021	4	28	<0,1	119	6,9	
	17b	29/04/2021	<3	12	<0,1	9	7,1	
	18	29/04/2021	3	18	<0,1	18	7,2	
	19	29/04/2021	4	38	<0,1	157	7,6	
	50	29/04/2021	10	22	<0,1	24	7,4	
MAI	17	10/05/2021	3	20	0,32	29	6,8	
	17b	10/05/2021	3	18	0,34	29	6,8	
	18	10/05/2021	<3	18	0,43	18	7,2	
	19	10/05/2021	<3	14	0,65	19	7,3	
	50	10/05/2021	<3	13	0,31	13	7,1	
JUIN	17		pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
	17b							
	18							
	19							
	50							
JUILLET	17		pas de précipitation suffisante pour prélèvement					
	17b							
	18							
	19							
	50							
AOÛT	17	25/08/2021	3	43	1,1	283	8,3	
	17b	25/08/2021	3	38	0,21	135	7,8	
	18	25/08/2021	3	35	4,96	121	8,2	
	19	25/08/2021	<3	27	0,28	226	8,1	
	50	25/08/2021	<3	27	0,33	4	8	
SEPTEMBRE	17	18/09/2021	9	19	<0,1	72	7,9	
	17b	18/09/2021	8	49	3,74	74	7,1	
	18	18/09/2021	7	40	<0,1	59	7,2	
	19	18/09/2021	8	34	<0,1	51	7,2	
	50	18/09/2021	7	51	<0,1	54	8,4	
OCTOBRE	17	04/10/2021	1	8	<0,1	43	7,8	
	17b	04/10/2021	1	5	<0,1	13	7,6	
	18	04/10/2021	1	9	<0,1	29	8	
	19	04/10/2021	1	9	0,14	12	8	
	50	04/10/2021	1	9	0,17	4,8	8	
NOVEMBRE	17		pas de précipitation					
	17b							
	18							
	19							
	50							
DECEMBRE	17	08/12/2021	2	10	0,38	18	7,3	
	17b	08/12/2021	1	9	0,53	26	7,3	
	18	08/12/2021	2	13	0,32	44	7,6	
	19	08/12/2021	3	11	0,27	19	7,8	
	50	08/12/2021	2	7	0,26	26	7,8	

Tableau 68 : Qualité des eaux du Ravin de la Bête au niveau du point de rejet dans la Durance pour l'année 2021

Les résultats d'analyses montrent 18 dépassements de la valeur limite pour le paramètre MES (Matières En Suspension). Ceux-ci constituent des non-conformités vis-à-vis de l'arrêté préfectoral.

La topographie des points de rejet est à l'origine de ces dépassements. En effet, le lit et les berges de ces deux exutoires sont en terre. Ceux-ci sont également entourés d'arbres et autres plantes qui apportent une multitude de déchets végétaux dans les eaux (branchages, feuilles mortes). Les prélèvements étant privilégiés par jour de pluie et donc souvent suivant les périodes d'orage, le brassage de tous ces éléments explique l'ensemble de ces non-conformités.

Pour les paramètres pH, DBO₅, DCO et hydrocarbures, il n'y a eu aucun dépassement de la valeur limite en 2021.

5.2.4- Qualité radiologique des eaux de surface

5.2.4.1 Valeurs guides

Les seules valeurs guides proposées par la réglementation en matière de qualité radiologique des eaux concernent les eaux destinées à la consommation humaine. Elles ont été présentées au chapitre 5.1.4- concernant les eaux souterraines. Il s'agit des valeurs guides déterminées en application du code de la santé publique, ainsi que des valeurs guides proposées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

5.2.4.2 Caractérisation radiologique de la Durance

Eaux superficielles

Les activités volumiques moyennes α global, β global et tritium, des eaux de surface, mesurées entre 2017 et 2021, au niveau de la station de pompage de l'eau brute pour alimenter le Centre (en amont du site), de la station du Pont Mirabeau (en aval du site), de la station de Jouques (prélèvement dans le canal EDF) ont été reportées dans le Tableau 69. Les résultats sont exprimés en Bq par litre.

Activité volumique moyenne	α global (Bq/L)	β global (Bq/L)	³ H (Bq/L)
Station de prélèvement	Station de pompage – Amont Site (moyenne calculée sur les mesures en différé réalisées sur les aliquotes hebdomadaires prélevés par un hydro-collecteur)		
2017	0,05	0,08	< 4,8
2018	0,058	0,077	< 4,36
2019	0,04	0,067	< 4,38
2020	< 0,04	0,067	< 4,2
2021	0,048	0,06	< 4,2
Station de prélèvement	Station de Mirabeau – Aval site (moyenne calculée sur les mesures en différé réalisées sur les aliquotes hebdomadaires prélevés par un hydro-collecteur)		
2017	0,07	0,09	< 4,8
2018	0,046	0,068	< 4,39
2019	0,04	0,07	< 4,38
2020	0,037	0,073	< 4,2
2021	0,062	0,069	< 9,3
Station de prélèvement	Station de Jouques – Canal EDF – Aval site (moyenne calculée sur les mesures en différé réalisées sur les aliquotes mensuels)		

Activité volumique moyenne	α global (Bq/L)	β global (Bq/L)	^3H (Bq/L)
2017	0,1	0,1	< 4,7
2018	0,058	0,091	< 4,39
2019	0,057	0,074	< 9,2
2020	0,039	0,065	< 4,2
2021	0,066	0,073	< 4,2

Tableau 69 : Activités volumiques moyennes des eaux de surface entre 2017 et 2021

Les activités alpha globales, bêta globales, et tritium sont du même ordre de grandeur pour les échantillons d'eau de la Durance prélevés en amont (Station de pompage) et en aval (Station de Mirabeau) du Centre.

Par ailleurs, ces activités volumiques sont bien inférieures aux valeurs guides de 0,1 Bq/L en alpha global, 1 Bq/L en bêta global et 100 Bq/L en tritium recommandées par le code de la santé publique pour les eaux destinées à la consommation humaine.

À titre indicatif, l'IRSN donne, dans le « bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2010-2011 », des résultats de radioactivité mesurée en 2010 dans les cours d'eau de la métropole éloignés des installations nucléaires :

- * les activités alpha globales mesurées sont de l'ordre de 0,02 à 0,04 Bq/L. Ces activités sont attribuées à la présence des radionucléides des chaînes d'uranium d'origine naturelle ;
- * les activités bêta globales mesurées sont de l'ordre de 0,08 à 0,15 Bq/L.



La station du Pont de Mirabeau

À titre indicatif également, l'IRSN donne dans le « bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2018-2020 » une activité en tritium d'origine naturelle de l'ordre de 0,1 à 0,6 Bq/L.

Végétaux aquatiques

Des prélèvements de végétaux aquatiques sont réalisés une fois par an en amont du Centre dans le Verdon au niveau de Vinon-sur-Verdon et en Durance à Manosque, et en Durance, à 800 m en aval du Centre au niveau du lieu-dit Saint-Eucher. Des prélèvements annuels sont également réalisés dans le Ravin de la Bête, au niveau de sa confluence avec la Durance.

Les Tableaux 70 à 74 présentent les résultats des activités massiques mesurées pour les années 2017 à 2021.

Activités (Bq/kg frais) - 2017	St-Eucher	Manosque	Vinon
^{40}K	52	33	86
^{137}Cs	< 0,3	< 0,18	0,096
^{238}Pu	< 0,0042	-	-
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	< 0,0103	-	-
^{241}Am	< 0,0041	-	-
^{90}Sr	< 0,53	-	-
^3H libre	< 1,1	-	-
^3H TOL ¹⁵	nm*	-	-

*nm = non mesuré par manque de matière dans l'échantillon prélevé

Tableau 70 : Activités massiques mesurées dans les végétaux aquatiques prélevés en 2017

Activités (Bq/kg frais) - 2018	St-Eucher	Manosque	Vinon
^{40}K	50	78	81
^{137}Cs	< 0,85	< 0,31	< 0,32
^{238}Pu	< 0,0089	-	-
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	< 0,005	-	-
^{241}Am	< 0,0016	-	-
^{90}Sr	< 0,17	-	-
^3H libre	< 1,1	-	-
^{234}U	1,1	-	-
^{235}U	0,043	-	-
^{238}U	0,81	-	-

Tableau 71 : Activités massiques mesurées dans les végétaux aquatiques prélevés en 2018

¹⁵ Tritium Organiquement Lié

Activités (Bq/kg frais) - 2019	St-Eucher	Manosque	Vinon
⁴⁰ K	5,10E+01	8,30E+01	6,60E+01
¹³⁷ Cs	< 7,2E-01	< 2,5E-01	< 4,1E-01
²³⁸ Pu	< 3,6E-03	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	< 5,6E-03	-	-
²⁴¹ Am	< 2,9E-03	-	-
⁹⁰ Sr	< 8,8E-01	-	-
³ H libre	< 1,1E+00	-	-
²³⁴ U	1,40E+00	-	-
²³⁵ U	< 5,6E-02	-	-
²³⁸ U	1,03E+00	-	-

Tableau 72 : Activités massiques mesurées dans les végétaux aquatiques prélevés en 2019

Activités (Bq/kg frais) - 2020	St-Eucher*	Manosque	Vinon
⁴⁰ K	-	1,2E+02	1,0E+02
¹³⁷ Cs	-	< 1,2E+00	< 6,2E-01

* Pas de mesures à St-Eucher, le lit ayant été dépourvu de végétaux aquatiques suite à des épisodes de crues de la Durance

Tableau 73 : Activités massiques mesurées dans les végétaux aquatiques prélevés en 2020

Activités (Bq/kg frais) - 2021	St-Eucher	Manosque	Vinon
⁴⁰ K	4,5E+01	9,9E+01	1,3E+02
¹³⁷ Cs	3,8E-01	2,8E-01	3,7E-01
²³⁸ Pu	<1,1E+00	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	< 9,4E-03	-	-
²⁴¹ Am	< 1,2E-02	-	-
⁹⁰ Sr	< 5,9E-01	-	-
²³⁴ U	1,3E+00	-	-
²³⁵ U	6,5E-02	-	-
²³⁸ U	1,1E+00	-	-

Tableau 74 : Activités massiques mesurées dans les végétaux aquatiques prélevés en 2021

Les cours d'eau torrentiels comme la Durance ou le Verdon ne favorisant pas l'ancrage des végétaux aquatiques dans certaines zones (présence majoritaire de galets et sables). Pour cette raison, les prélèvements de végétaux aquatiques ne sont parfois pas possibles.

Les analyses réalisées détectent la présence de potassium-40, isotope radioactif du potassium naturellement présent dans les végétaux.

La spectrométrie alpha et la mesure du Sr-90 réalisées sur les végétaux de Saint-Eucher (Durance aval) sont non significatives.

La mesure de tritium libre est non significative.

Concernant les uraniums, l'IRSN présente pour les végétaux aquatiques du Rhône des concentrations moyennes en ^{238}U variant de 71 Bq/kg sec à 41 Bq/kg sec. Les valeurs en uraniums mesurées au point St-Eucher sont bien inférieures à ces mesures.

À titre de comparaison, l'IRSN mesure les activités dans les algues marines prélevées sur le littoral français. Le bilan 2009 indique que la radioactivité mesurée est représentée quasi-exclusivement par le potassium-40 (entre 59 ± 7 et 312 ± 19 Bq/kg frais), et, selon les stations, par quelques traces (au maximum 0,17 Bq/kg frais) de radionucléides d'origine artificielle comme le cobalt 60, l'iode 129, le césium 137, l'américium et les isotopes du plutonium. Les activités mesurées en carbone-14 varient quant à elles entre $240,10 \pm 0,92$ et $291,08 \pm 1,03$ Bq/kg de carbone total.

Sédiments

La radioactivité des sédiments est mesurée une fois par an aux mêmes points de prélèvement que la flore aquatique, ainsi que dans les bacs de prélèvements des stations de Mirabeau (Durance, en aval du site) et Jouques (canal EDF). Les émetteurs γ mesurés sont le potassium 40 (radioélément naturel) et le césium 137. Les tableaux ci-après présentent les résultats pour les années 2017 à 2021.

Activités (Bq/kg sec) - 2017	Vinon	Manosque	St-Eucher	Station MIRABEAU	Station JOUQUES
^{40}K	210	260	320	-	-
^{137}Cs	2,4	1	2,1	-	-
^{238}Pu	-	-	< 0,0041	-	-
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	-	-	0,049	-	-
^{241}Am	-	-	< 0,0369	-	-
^{90}Sr	-	-	< 3,2	-	-

Tableau 75 : Activités massiques mesurées dans les sédiments prélevés en 2017

Activités (Bq/kg sec) - 2018	Vinon	Manosque	St-Eucher	Station MIRABEAU	Station JOUQUES
^{40}K	170	350	430	360	370
^{137}Cs	1,7	2,9	2,9	2,2	2,5
^{238}Pu	-	-	< 0,017	-	-
$^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$	-	-	< 0,047	-	-
^{241}Am	-	-	< 0,029	-	-
^{90}Sr	-	-	< 4,1	-	-
^{234}U	-	-	11	-	-
^{235}U	-	-	0,6	-	-
^{238}U	-	-	9,5	-	-

Tableau 76 : Activités massiques mesurées dans les sédiments prélevés en 2018

Activités (Bq/kg sec) - 2019	Vinon	Manosque	St-Eucher	Station MIRABEAU	Station JOUQUES
⁴⁰ K	3,0E+02	5,3E+01	2,5E+02	-	3,9E+02
¹³⁷ Cs	1,5E+00	2,1E+00	1,3E+00	-	2,2E+00
²³⁸ Pu	-	-	< 9,8E-03	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	-	< 3,2E-02	-	-
²⁴¹ Am	-	-	< 1,3E-02	-	-
⁹⁰ Sr	-	-	< 4,2E-00	-	-
²³⁴ U	-	-	1,3E+01	-	-
²³⁵ U	-	-	6,0E-01	-	-
²³⁸ U	-	-	1,3E+01	-	-

Tableau 77 : Activités massiques mesurées dans les sédiments prélevés en 2019

À noter qu'en raison de crues, le prélèvement à la station de Mirabeau n'a pas été possible en 2019.

Activités (Bq/kg sec) - 2020	Vinon	Manosque	St-Eucher
⁴⁰ K	7,8E+01	2,29E+02	3,2E+02
¹³⁷ Cs	7,1E-01	1,2E+00	1,7E+00
²³⁸ Pu	-	-	< 2,2E-02
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	-	< 7,2E-02
²⁴¹ Am	-	-	< 6,1E-02
⁹⁰ Sr	-	-	< 5,4E+00
²³⁴ U	-	-	1,9E+01
²³⁵ U	-	-	1,0E+00
²³⁸ U	-	-	1,9E+01

Tableau 78 : Activités massiques mesurées dans les sédiments prélevés en 2020

Activités (Bq/kg sec) - 2021	Vinon	Manosque	St-Eucher
⁴⁰ K	2,4E+02	3,5E+02	4,0E+02
¹³⁷ Cs	1,6E+00	1,2E+00	2,2E+00
²³⁸ Pu	-	-	< 3,1E-01
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	-	< 2,9E-01
²⁴¹ Am	-	-	< 2,1E-01
⁹⁰ Sr	-	-	5,6E+00
²³⁴ U	-	-	2,0E+01
²³⁵ U	-	-	1,1E+00
²³⁸ U	-	-	2,1E+01

Tableau 79 : Activités massiques mesurées dans les sédiments prélevés en 2021

Les émetteurs gamma mesurés sont le potassium 40 (mesures de l'ordre de 80 à 320 Bq/kg sec), isotope radioactif du potassium, naturellement présent dans les sédiments, et le césium 137, radioélément artificiel, dont des traces dues aux retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986 sont encore mesurables. À noter que les concentrations en césium-137 dans les sédiments peuvent varier d'un ordre de grandeur en fonction de l'abondance et de la nature de la fraction la plus fine, souvent riche en minéraux argileux.

La spectrométrie alpha réalisée dans les sédiments de la Durance en aval du point de rejet (St-Eucher) montre des traces d'uranium. Les teneurs en uranium sont du même ordre de grandeur que celles du bilan radiologique de l'environnement français 2018-2020 réalisé par l'IRSN, c'est-à-dire entre 10 et 100 Bq/kg sec pour les sédiments fluviaux.

Dans le bilan radiologique de l'environnement français 2018-2020, l'IRSN a également présenté l'activité des principaux radionucléides d'origine naturelle dans les sols et les sédiments. La figure correspondante a déjà été reprise dans le chapitre sur les sols (Figure 35).

Poissons

Chaque année, une campagne de pêche est organisée en collaboration avec l'INRAe. Cette campagne permet de prélever différentes espèces de poissons ubiquistes et carnassières (i.e. chevesnes, barbeaux, hotus, truites, etc.) en amont du site de Cadarache (Oraison sur la Durance et Vinon-sur-Verdon pour le Verdon) et en aval du site : à l'exutoire de la canalisation des rejets du Centre et en Durance au lieu-dit Saint-Eucher (à 800 m à l'aval de l'exutoire).



Campagne de pêche dans la Durance

Les Tableau 80 à Tableau 83 présentent les résultats des campagnes de pêche de 2016 à 2020. En raison des fortes crues de la Durance en fin d'année 2019 (octobre à décembre) les pêches électriques prévues n'ont pas pu avoir lieu.

Activités (Bq/kg frais) - 2017	St-Eucher	Exutoire	Oraison	Vinon
⁴⁰ K	9,6E+01	5,9E+01	6,9E+01	7,8E+01
¹³⁷ Cs	< 1,2E-01	< 2,2E-01	< 5,1E-01	< 6,5E-01
²³⁸ Pu	< 6,6E-03	-	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	< 4,7E-03	-	-	-
²⁴¹ Am	< 2,7E-03	-	-	-
⁹⁰ Sr	< 2,1E-01	-	-	-
³ H libre	< 9,7E-01	-	-	-
³ H TOL	< 1,2E+00	-	-	-

Activités (Bq/kg frais) - 2017	St-Eucher	Exutoire	Oraison	Vinon
¹⁴ C (en Bq/kg de C tot)	2,17E+02	-	-	-
²³⁴ U	2,2E-02	-	-	-
²³⁵ U	< 1,3E-03	-	-	-
²³⁸ U	2,0E-02	-	-	-

Tableau 80 : Résultats de la campagne de pêche 2017

Activités (Bq/kg frais) - 2018	St-Eucher	Exutoire	Oraison	Vinon
⁴⁰ K	9,4E+01	1,1E+02	8,2E+01	7,8E+01
¹³⁷ Cs	< 6,1E-01	< 1,3E+00	< 2,7E-01	< 3,3E-01
²³⁸ Pu	-	< 1,9E-03	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	< 5,1E-03	-	-
²⁴¹ Am	-	< 2,4E-03	-	-
⁹⁰ Sr	-	< 3,0E-01	-	-
³ H libre	-	< 9,8E-01	-	-
³ H TOL	-	< 1,5E-01	-	-
¹⁴ C (en Bq/kg de C tot)	-	2,05E+02	-	-
²³⁴ U	-	3,8E-02	-	-
²³⁵ U	-	< 4,0E-03	-	-
²³⁸ U	-	5,4E-02	-	-

Tableau 81 : Résultats de la campagne de pêche 2018

Activités (Bq/kg frais) - 2020	St-Eucher	Exutoire	Oraison	Vinon
⁴⁰ K	7,4E+01	1,0E+02	9,0E+01	1,0E+02
¹³⁷ Cs	< 4,1E-01	< 3,3E-01	< 3,1E-01	< 3,7E-01
²³⁸ Pu	-	< 2,7E-03	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	< 6,9E-03	-	-
²⁴¹ Am	-	< 4,4E-03	-	-
⁹⁰ Sr	-	< 9,7E-01	-	-
³ H libre	-	< 1,1E+00	-	-
³ H TOL	-	< 3,1E-01	-	-
¹⁴ C (en Bq/kg de C tot)	-	1,98E+02	-	-
²³⁴ U	-	4,1E-02	-	-
²³⁵ U	-	< 3,9E-03	-	-
²³⁸ U	-	5,3E-02	-	-

Tableau 82 : Résultats de la campagne de pêche 2020

Activités (Bq/kg frais) - 2021	St-Eucher	Exutoire	Manosque	Vinon
⁴⁰ K	107	95	115	97
¹³⁷ Cs	< 0,33	< 0,54	< 0,31	< 0,39
²³⁸ Pu	-	< 1,2E-02	-	-
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	-	< 5,4E-03	-	-
²⁴¹ Am	-	< 4,4E-03	-	-
⁹⁰ Sr	-	< 3,2E-01	-	-
³ H libre	-	< 1,1E+00	-	-
³ H TOL	-	< 3E-01	-	-
¹⁴ C (en Bq/kg de C tot)	-	2,0E+02	-	-
²³⁴ U	-	2,4E-02	-	-
²³⁵ U	-	< 2,4E-03	-	-
²³⁸ U	-	2,0E-02	-	-

Tableau 83 : Résultats de la campagne de pêche 2021

Aucune activité anormale n'a été mise en évidence dans les poissons prélevés ces dernières années.

L'activité bêta globale mesurée dans les poissons est essentiellement due à la présence de potassium 40, isotope radioactif du potassium, présent naturellement dans les poissons. Aucun radioélément artificiel n'a été détecté.

Les niveaux d'activité en carbone 14 sont proches des valeurs trouvées communément dans les produits biologiques (200 à 250 Bq/kg de C tot).

L'IRSN présente par ailleurs dans son bilan 2018-2020 de l'état radiologique de l'environnement (voir Figure 40 et Figure 41) :

- × des valeurs en potassium 40 dans les poissons de rivières autour de 100 Bq/kg frais ;
- × des niveaux d'activités en uranium 238 de l'ordre de 1E-02 à 1E-03 Bq/kg frais.

5.2.4.3 Caractérisation radiologique du Ravin de la Bête

Des prescriptions sont imposées au CEA en matière d'activité volumique des eaux collectées par le Ravin de la Bête et rejetées en Durance. L'autorisation de rejet, ainsi que les conditions de rejet sont données par l'arrêté n° 2020-497-PC du 27/10/2022. Les valeurs moyennes journalières à respecter sont indiquées dans le Tableau 84.

Paramètre	Activité volumique moyenne journalière maximale des effluents liquides rejetés par le Centre dans le Ravin de la Bête (point n°2) selon l'arrêté préfectoral du 27/10/2022	Périodicité des mesures
Alpha total	0,1 Bq/L	mensuelle
Bêta total	0,15 Bq/L	mensuelle
Tritium	10 Bq/L	mensuelle

Tableau 84 : Activités volumiques moyennes journalières maximales de rejet en matière de radioactivité au niveau du Ravin de la Bête selon l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27/10/2022)

Des prélèvements hebdomadaires avec analyses en différé ont été réalisés jusqu'en 2017 au point 17 (en sortie du Ravin de la Bête à proximité de la station de rejets, juste avant sa confluence avec la Durance), ainsi que dans le regard collectant les eaux pluviales du versant nord du Centre au point 50. Suite à la mise en application de la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017, à compter du 13 octobre 2017, la fréquence d'analyse des eaux pluviales est devenue mensuelle et trois points de surveillance supplémentaires ont été ajoutés sur le ravin de la Bête. Ce sont :

- * le Point 17 Bis : situé à proximité du Bâtiment 124 ; il était auparavant prélevé uniquement en cas de manque d'eau au Point 17 ;
- * le point 18, situé au carrefour de Carcy ;
- * le point 19 situé en amont du Ravin de la Bête, à proximité d'EOLE.

Ces analyses concernent les mesures des activités alpha globales et bêta globales sur l'eau brute et de l'activité du tritium sur l'eau filtrée. Une mesure de la teneur en potassium et une spectrométrie gamma sont également réalisées si l'activité bêta globale est significative. À partir de 2019, une spectrométrie alpha est également réalisée si l'activité alpha globale est significative.

Les valeurs moyennes annuelles des activités volumiques mesurées pour les années 2017 à 2021 sont indiquées dans les Tableau 85 à Tableau 89 :

2017	Activités volumiques en moyenne annuelle – Ravin de la Bête (Bq/L)	
	Point 17	Point 50
a global	0,062	0,064
β global	0,37	0,17
Tritium	< 5	< 4,8

Tableau 85 : Activités volumiques moyennes annuelles le long du Ravin en 2017

2018	Activités volumiques en moyenne annuelle – Ravin de la Bête (Bq/L)				
	Point 17	Point 17bis	Point 18	Point 19	Point 50
α global	0,048	0,04	0,049	0,10	0,048
β global	0,28	0,11	0,13	0,17	0,12
Tritium	< 4,4	< 4,5	< 4,6	< 4,59	< 4,48

Tableau 86 : Activités volumiques moyennes annuelles le long du Ravin en 2018

2019	Activités volumiques en moyenne annuelle – Ravin de la Bête (Bq/L)				
	Point 17	Point 17bis	Point 18	Point 19	Point 50
α global	0,041	0,0032	0,077	0,034	0,075
β global	0,12	0,081	0,076	0,15	0,15
Tritium	< 4,4	< 4,4	< 4,5	< 4,6	< 4,6

Tableau 87 : Activités volumiques moyennes annuelles le long du Ravin en 2019

2020	Activités volumiques en moyenne annuelle – Ravin de la Bête (Bq/L)				
	Point 17	Point 17bis	Point 18	Point 19	Point 50
α global	0,041	0,042	0,053	0,053	0,035
β global	0,12	0,081	0,063	0,12	0,1
Tritium	< 4,2	< 4,3	< 5,2	< 4,4	< 4,4

Tableau 88 : Activités volumiques moyennes annuelles le long du Ravin en 2020

2021	Activités volumiques en moyenne annuelle – Ravin de la Bête (Bq/L)				
	Point 17	Point 17bis	Point 18	Point 19	Point 50
a global	0,042	0,04	0,038	0,04	0,04
β global	0,09	0,08	0,13	0,12	0,18
Tritium	< 4,2	<4,3	< 4,3	< 4,4	< 4,8

Tableau 89 : Activités volumiques moyennes annuelles le long du Ravin en 2021

Sur l'ensemble de ces années, les résultats montrent que **les eaux de ruissellement du Ravin de la Bête ne présentent aucune valeur anormale de radioactivité.**

Aucune valeur de mesure de tritium n'est significative.

Les spectrométries gamma réalisées sur les échantillons présentant une activité β globale significative ne révèlent la présence d'aucun radioélément d'origine artificielle. Cette activité beta globale trouve son origine par la présence de Potassium 40, radionucléide naturel.

6. Environnement écologique

6.1- Introduction

Le CEA a confié les aspects écologiques de l'étude d'impact du projet de démantèlement de l'installation PEGASE à la société Sinergia Sud pour un diagnostic écologique ciblé sur le périmètre de l'installation.

L'étude d'impact réglementaire doit comporter un volet naturel, dit Volet Naturel de l'Étude d'Impact (VNEI), qui comprend notamment l'établissement de l'état initial, l'identification et la hiérarchisation des enjeux écologiques, les préconisations visant à réduire les effets du projet, ainsi que l'évaluation des impacts avant et après la mise en œuvre de ces mesures d'atténuation. L'étude écologique comporte également une évaluation appropriée des incidences Natura 2000.

Ce chapitre présente une synthèse des principaux aspects de l'état initial des milieux naturels, de la flore et de la faune, complété par quelques notions sur la gestion du patrimoine naturel du Centre de Cadarache.

6.2- Méthodologie

6.2.1- Étude de l'environnement naturel

La description de l'état initial des milieux naturels, de la flore et de la faune a été établie par Sinergia Sud à partir :

- * D'une analyse cartographique : l'examen des documents disponibles (cartes topographiques, géologiques, pédologiques, de végétation, etc.) permet d'appréhender les différents habitats naturels ou semi-naturels susceptibles d'être rencontrés au sein de la zone d'étude, ainsi que les espèces végétales et animales qui leur sont liés. Cette phase préparatoire est indispensable à la détermination des espèces à enjeux potentiellement présentes, et à la mise en place du plan d'échantillonnage (dates de passage, méthodologies adoptées, etc.). Les résultats de cette étude sont ensuite confrontés à ceux des enquêtes et des recherches bibliographiques ainsi qu'aux repérages réalisés lors de la première visite sur la zone à inventorier.
- * D'enquêtes auprès des organismes et des personnes ressources susceptibles de détenir des données floristiques et faunistiques, et de recherches bibliographiques (publications naturalistes, rapports d'études mis à disposition par le CEA, etc.). Elles sont menées en parallèle à l'analyse cartographique.

- * D'inventaires de terrain : l'étude porte sur l'identification et la cartographie des habitats naturels ainsi que sur le recensement des espèces végétales (Flore vasculaire) et animales (Oiseaux, Mammifères, Reptiles, Amphibiens et certains Insectes : libellules, papillons de jour et Orthoptères). Les inventaires de terrain se veulent les plus complets possibles pour les groupes étudiés, sans pour autant prétendre à l'exhaustivité qui nécessiterait plusieurs années d'études. La planification des inventaires de terrain s'établit en corrélation avec les meilleures périodes d'observation de la faune et la flore, et en particulier avec la phénologie (période optimale de développement ou de floraison de l'espèce) des espèces à enjeux potentiellement présentes ; les visites sur le site étant organisées de manière à approcher l'exhaustivité sur les espèces remarquables et/ou protégées. La zone d'étude est parcourue selon un itinéraire orienté de façon à couvrir les différentes formations végétales identifiées lors de la lecture cartographique du site ; il est couplé à un itinéraire aléatoire au sein des habitats naturels les plus importants en termes de superficie. Dans le cas où une espèce remarquable et/ou protégée est découverte, un pointage GPS est réalisé et diverses informations telles que le nombre d'individus ou l'état de conservation de la station sont notées. Le tableau suivant indique les dates de prospection des inventaires naturalistes :

Taxons	Date	Période d'intervention	Observateur	Nombre de journées
Flore et habitats	04/05/2018	Diurne	K. LEBAILLIF	1 jour
	24/05/2018	Diurne	K. LEBAILLIF	1 jour
	15/06/2018	Diurne	K. LEBAILLIF	1 jour
Amphibiens	25/04/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit
	24/05/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit
	06/06/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit
Reptiles	25/04/2018	Diurne	Y. RONCHARD	1 jour
	24/05/2018	Diurne	Y. RONCHARD	1 jour
	07/06/2018	Diurne	Y. RONCHARD	1 jour
Passereaux nicheurs	26/04/2018	Diurne	F. SANTUCCI	1 jour
	24/05/2018	Diurne	E. CORNIEUX	1 jour
	07/06/2018	Diurne	E. CORNIEUX	1 jour
Entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée	04/05/2018	Diurne	E. CORNIEUX	1 jour
	24/05/2018	Diurne	E. CORNIEUX	1 jour
	07/06/2018	Diurne	E. CORNIEUX	1 jour
Chiroptères	25/04/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit
	24/05/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit
	06/06/2018	Nocturne	Y. RONCHARD	1 nuit

Tableau 90 : Caractéristiques des visites de terrain effectuées pour établir l'état des lieux des milieux naturels, de la flore et de la faune sur le périmètre de l'installation

6.2.2- Évaluation des enjeux écologiques

6.2.2.1 Quelques définitions préalables

Afin de bien comprendre la notion de statut d'une espèce (végétale ou animale) et ses conséquences, il convient d'abord d'explicitier la notion de « protégé ». En France, toute la faune sauvage est protégée, sauf les espèces qui sont chassables ou celles qui temporairement tombent sous le coup d'un Arrêté Préfectoral permettant leur destruction. En conséquence la quasi-totalité des espèces méritent d'être qualifiées comme « protégées ».

Pour les espèces présentant un intérêt particulier, on parlera plutôt d'espèces « remarquables » ou « patrimoniales », dont certaines sont « réglementées ». Le site de l'INPN¹⁶ (qui dépend du Muséum d'Histoire Naturelle) qui est la référence emploie le terme « réglementé ».

L'intérêt patrimonial est une définition qui doit être partagée par tous, mais dont l'application est subjective, car elle doit faire la part du point de vue réglementaire (listes qui font l'objet d'une directive européenne ou d'un décret national) et écologique (listes rouges, qui sont des outils, mais n'ont pas de portée réglementaire).

L'intérêt patrimonial doit parfois être relativisé au regard de la situation régionale et locale. C'est l'objet de la définition des **enjeux locaux de conservation**, qui s'appliquent aux habitats et aux espèces.

Il s'agit donc de différencier :

- * **l'enjeu écologique**, qui est évalué par la rareté des espèces et les menaces qui pèsent sur elles. Pour celles qui sont rares ou menacées, on parle **d'espèces remarquables**. Elles font partie du patrimoine commun et il convient à ce titre de les conserver ;
- * et la **contrainte réglementaire** : il s'agit **des espèces protégées par la loi**.

Ainsi toutes les espèces remarquables ne sont pas protégées et toutes les espèces protégées ne sont pas remarquables. En effet, le législateur n'a pas pensé la loi uniquement dans le sens de la protection des espèces remarquables mais également pour soustraire des groupes d'espèces à certaines pratiques. Par exemple, dans le cas des oiseaux, toutes les espèces non chassables sont protégées, même les plus communes d'entre elles.

Ces distinctions peuvent être clarifiées de manière simplifiée **en classant les espèces en quatre catégories** :

- * **Les espèces protégées et remarquables**, dont la destruction est interdite par la loi et qui font l'objet de toute l'attention des services instructeurs. C'est le cas par exemple du Lézard ocellé ou, dans une moindre mesure, de la Magicienne dentelée et de la Zygène cendrée. En cas d'impact significatif sur ces espèces ou sur leurs habitats, une demande de dérogation à l'interdiction de destruction est obligatoire (avec avis du Conseil National de la Protection de la Nature (CNP)).

¹⁶ L'Inventaire national du Patrimoine Naturel (sous l'égide du MNHN Muséum National d'Histoire Naturelle) est l'aboutissement d'un long travail qui associe scientifiques, collectivités territoriales, naturalistes et associations de protection de la nature en vue d'établir une synthèse sur le patrimoine naturel en France.

- × **Les espèces protégées et communes** (donc présentant un enjeu écologique faible, cas du Lézard des murailles, de la Tarente de Maurétanie, du Pinson des arbres, de la Mésange huppée...), dont la destruction est également interdite et qui théoriquement, en cas d'impact significatif, doivent également faire l'objet d'une demande de dérogation. De telles espèces se retrouvant dans la quasi-totalité des projets, le CNPN serait submergé de demandes, et des réflexions sur la manière de les traiter sont en cours mais sans réponse pour le moment ; les services instructeurs réagissent donc au cas par cas. En tout état de cause, ces espèces étant protégées, éviter leur destruction est une obligation légale, et des mesures doivent être mises en œuvre en conséquence afin de conserver leurs populations locales. Par exemple, adapter les dates des défrichements afin d'éviter la destruction des nichées, conserver certains arbres, etc.
- × **Les espèces remarquables non protégées** (cas de l'Arcyptère provençale), dont la loi n'interdit pas la destruction mais qui doivent être prises en compte dans l'étude d'impact et pour lesquelles des mesures de conservation doivent être instaurées si un impact est avéré.
- × **Les espèces communes non protégées**, qui ne font l'objet d'aucune contrainte particulière.

6.2.2.2 Évaluation des enjeux écologiques

Pour les habitats naturels et les espèces, l'enjeu local de conservation est apprécié sur la base de critères réglementaires et scientifiques tels que :

- × les paramètres d'aire de répartition, d'affinité de la répartition, et de distribution ;
- × la vulnérabilité biologique ;
- × la biologie de l'espèce (migration / nidification pour les oiseaux, migration / hibernation / reproduction pour les chiroptères) ;
- × le statut de patrimonialité (textes réglementaires, listes rouges, espèces déterminantes de ZNIEFF...);
- × les menaces ;
- × les dires d'experts ;
- × l'état de conservation actuel et prévisible de la population locale.

Tout particulièrement pour les espèces présentant des enjeux importants, les différentes observations de terrain sont prises en compte, puisqu'elles permettent de mieux se rendre compte de l'enjeu écologique des espèces :

- × la biologie et l'écologie de l'espèce, afin de comprendre l'importance de l'écosystème local pour ces espèces ;
- × une réflexion est menée sur la présence d'habitats favorables à ces espèces dans la zone d'étude et autour de celle-ci, afin de préciser si les espèces pourront trouver aisément des milieux favorables à proximité de la zone d'étude ;
- × une analyse de l'état de conservation actuel et prévisible de la population locale des espèces en présence.

Les espèces inventoriées sont présentées dans le rapport avec leur enjeu de conservation local et l'enjeu écologique sur la zone d'étude, ce dernier est décrit à partir des enjeux de conservation et réévalué par rapport au comportement et à l'abondance de l'espèce.

De fait, cette analyse conduit à mettre en évidence des espèces qui ne sont pas réglementées, mais présentant un enjeu local à considérer. Inversement, des espèces réglementées, mais présentant un faible voire un très faible enjeu local de conservation peuvent ne pas être mises en avant.

Le niveau de protection peut être considéré de façons différentes selon les groupes taxonomiques, par exemple la majorité des espèces françaises d'oiseaux sont protégées à l'échelle nationale alors que le nombre d'espèces floristiques protégées est beaucoup plus faible. Il est également important de recouper les informations concernant la réglementation française et européenne ainsi que les statuts de patrimonialités (Liste rouge, espèces déterminantes de ZNIEFF...) afin d'évaluer au mieux les enjeux écologiques.

À noter que l'enjeu local de conservation d'une espèce ne doit pas être confondu avec la sensibilité de cette espèce au regard de l'aménagement prévu. Ainsi, une espèce à fort enjeu local de conservation (ex : Agrion de mercure) peut ne présenter qu'une faible sensibilité au regard du projet d'aménagement si de nombreux habitats favorables se trouvent à proximité. Autre exemple : certaines espèces d'oiseaux sont sensibles à la présence d'êtres humains qui se promèneraient à proximité de leurs zones de repos, de nourrissage ou de reproduction.

Il est également important de noter qu'une espèce très rare au niveau mondial peut être très fréquemment rencontrée dans son aire de répartition.

Les habitats peuvent aussi eux-mêmes avoir un intérêt patrimonial, en dehors de toute présence d'espèce animale ou végétale.

Dans la présentation des résultats, les enjeux écologiques sont évalués sur une échelle unique, applicable aux espèces comme aux habitats, qui va de « Très faible » à « Très fort », avec un code de couleurs associé.



Figure 70 : Echelle de cotation des niveaux d'enjeux écologiques

6.3- Contexte écologique

De par sa situation à proximité de la vallée de la Durance, en aval de la confluence avec le Verdon, le Centre de Cadarache est situé entre trois entités écologiques d'importance : le Bas-Verdon à l'est, la Montagne Sainte-Victoire au sud-ouest et le Luberon au nord-ouest. Il s'intègre donc dans un secteur de haute valeur patrimoniale sur le plan de la faune et de la flore.

6.3.1- Zonages de protection et de gestion

6.3.1.1 Réseau Natura 2000

Le **réseau Natura 2000** est un réseau développé à l'échelle européenne qui se base sur les deux directives suivantes :

- × la Directive n° 79/409 pour la conservation des oiseaux sauvages ((dite « Oiseaux »),
- × la Directive n° 92/43 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que la flore et la faune sauvages (dite « Habitats »).

Ces directives ont donné naissance respectivement aux Zones de Protection Spéciale (ZPS) et aux Zones Spéciales de Conservation (ZSC). Avant d'être reconnues comme ZSC, ces zones sont qualifiées de Sites d'Importance Communautaire (SIC). La France a aussi mis en place un inventaire des zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) sur lequel elle s'appuie pour définir ses ZPS.

Le Centre de Cadarache n'est concerné par aucun site Natura 2000. En revanche, on trouve dans un rayon de 5 km quatre sites Natura 2000 :

Type	Code	Nom	Superficie	Distance au site	Opérateur
ZSC	FR9301589	La Durance	15920 ha	1,7 km	Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD)
ZPS	FR9312003	La Durance	20008 ha	1,7 km	Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD)
ZSC	FR9301605	Montagne Sainte Victoire	32759 ha	2,5 km	Grand Site Sainte Victoire (Syndicat)
ZPS	FR9310075	Massif du Petit Luberon	17049 ha	3,4 km	DREAL Provence-Alpes-Côte-d'Azur

Tableau 91 : Sites Natura 2000 à proximité de Cadarache

ZSC FR9301605 Montagne Sainte Victoire

Ce site a été désigné comme Zone Spéciale de Conservation par arrêté préfectoral en juin 2014.

La montagne de la Sainte Victoire est une limite biogéographique avec en adret une végétation mésoméditerranéenne (groupements de falaises et d'éboulis) et en ubac des groupements euroméditerranéens (landes à Genêt de Lobel). La flore, d'affinité orophile, présente des éléments rares pour la France. La ZSC FR9301605 « Montagne Sainte Victoire » présente donc une diversité de milieux naturels méditerranéens en fonction de l'exposition, avec notamment 15 habitats d'intérêt communautaire dont 4 prioritaires.

Non retrouvée depuis les années 1970, malgré des prospections ciblées en 2004 (inventaires DOCOB), la présence sur le site d'*Arenaria provincialis*, plante endémique provençale, reste toutefois fortement probable du fait de sa discrétion, de son caractère sporadique et du caractère escarpé de son habitat (éboulis), rendant sa prospection difficile. Enfin, les zones karstiques, les milieux ouverts et les vieilles forêts constituent un complexe d'habitats favorables aux chiroptères (trois espèces de Rhinolophes sur le site).

ZSC FR9301589 – La Durance

Ce site a été désigné comme Zone Spéciale de Conservation en janvier 2014.

La Durance constitue un bel exemple de système fluvial méditerranéen, présentant une imbrication de milieux naturels plus ou moins humides et liés au cours d'eau. La variété des situations écologiques se traduit par une grande diversité d'habitats naturels. La plupart de ces habitats sont remaniés à chaque crue et présentent ainsi une grande instabilité et originalité. La ZSC FR9301589 « La Durance » présente donc un intérêt particulier puisqu'elle concentre, sur un espace réduit, de nombreux habitats naturels d'intérêt communautaire (19 habitats d'intérêt communautaire dont 4 prioritaires) à la fois marqués par les influences méditerranéenne et montagnarde (rivières des étages plantaires à montagnard avec végétation du *Ranunculon fluitantis* et du *Callitricho-Batrachion* ou encore Prairies humides méditerranéennes à grandes herbes du *Molinio-Holoschoenion*).

Le cours d'eau et ses abords accueillent de nombreuses espèces d'intérêt patrimonial, dont certaines plantes extrêmement rares en France telles que le Polygale grêle (*Polygala exilis*) ou le Corisperme à fruits ailés (*Corispermum leptopterum*). La mosaïque de milieux naturels, plus ou moins secs (ripisylves¹⁷, roselières, anciennes gravières, pelouses sèches, etc.) est favorable à une grande richesse spécifique, où s'entremêlent les éléments méditerranéens et alpins. Parmi les espèces remarquables typiques, signalons la Petite Massette (*Typha minima*), le Castor d'Europe, l'Apron, poisson endémique du bassin versant du Rhône, l'Agrion bleuissant, libellule méditerranéenne rare, le Rollier d'Europe et le Faucon hobereau, oiseaux des ripisylves, etc.

Enfin, la Durance assure un rôle fonctionnel important pour la faune et la flore : fonction de corridor (déplacement des espèces, telles que les poissons migrateurs), fonction de diversification (mélange d'espèces montagnardes et méditerranéennes) et fonction de refuge (milieux naturels relictuels permettant la survie de nombreuses espèces).

ZPS FR9312003 - La Durance

Ce site a été désigné comme Zone de Protection Spéciale en avril 2006.

Considérée comme l'un des sites de France où la diversité avifaunistique est la plus grande, la ZPS FR9312003 « La Durance » couvre le lit majeur de la Durance, seule grande rivière provençale à régime méditerranéen, depuis le lac de Serre-Ponçon jusqu'à son embouchure avec le Rhône.

Les divers milieux présents sur le site (ripisylves, roselières, bancs de galets et zones agricoles) sont régulièrement fréquentés par plus de 60 espèces d'oiseaux d'intérêt communautaire (Sterne pierregarin, Héron pourpré, Vautour percnoptère, Rollier d'Europe, OEdicnème criard) qui y nidifient, hivernent ou migrent. Ceci en fait un site d'importance majeure au sein du réseau européen Natura 2000.

¹⁷ Ripisylve : formations végétales qui se développent sur les bords des cours d'eau ou des plans d'eau situés dans la zone frontière entre l'eau et la terre (écotones).

ZPS FR 9310075 – Massif du Petit Luberon

Ce site a été classé en ZPS suite à l'arrêté en vigueur du 23 décembre 2003.

La ZPS « Massif du Petit Luberon » comprend le massif du Petit Luberon ainsi que certains secteurs des Monts de Vaucluse ou à côté de Mirabeau. La diversité des milieux (falaises et barres rocheuses, éboulis, crêtes dénudées, forêts de feuillus et de conifères, garrigues...) et leur imbrication offrent des conditions très favorables aux oiseaux. En particulier, il s'agit d'un site d'importance nationale pour la reproduction de plusieurs espèces de rapaces : Vautour percnoptère (*Neophron percnopterus*), Aigle de Bonelli (*Hieraetus fasciatus*) et Grand-duc d'Europe (*Bubo bubo*).

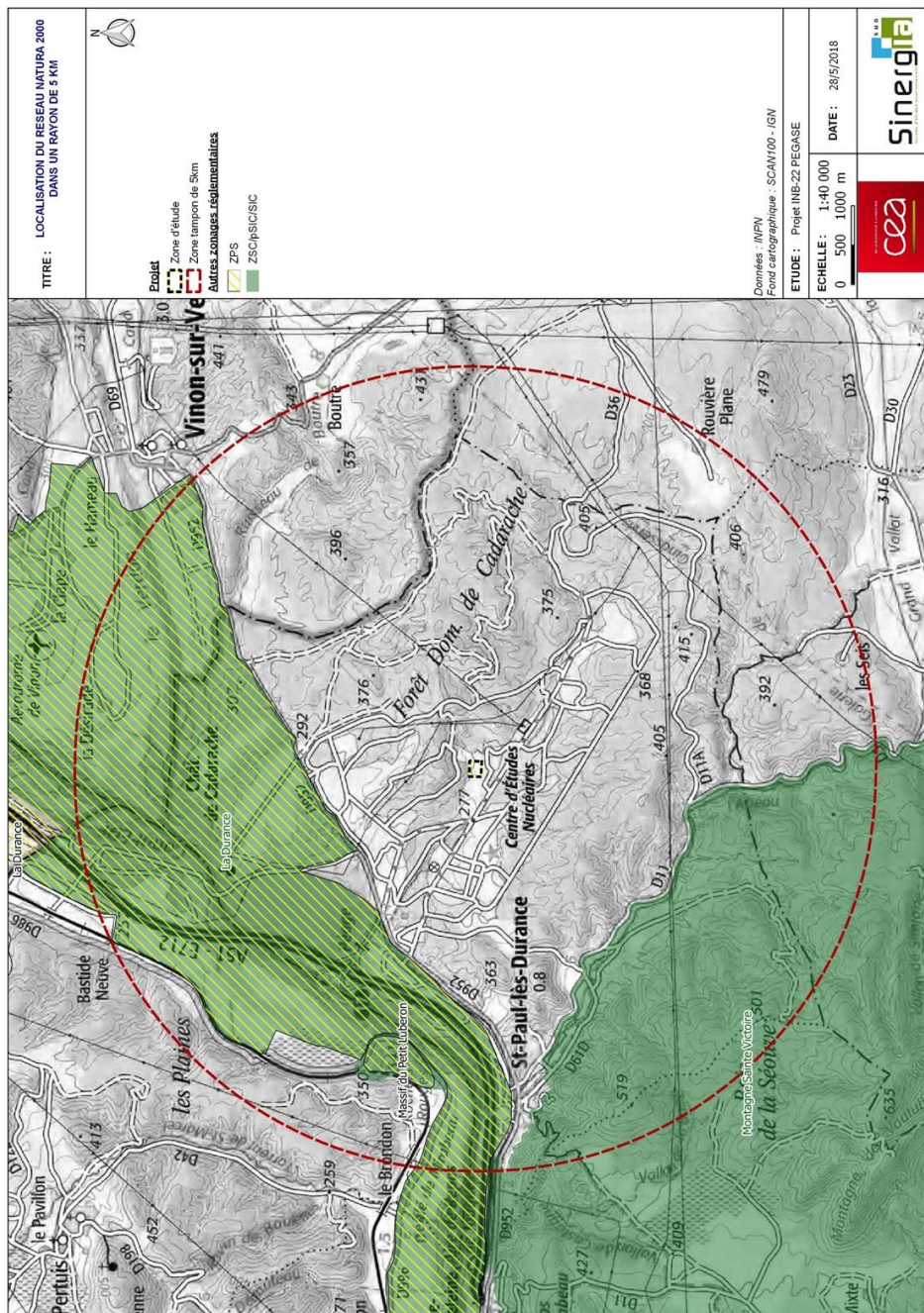


Figure 71 : Localisation du réseau Natura 2000 à proximité de Cadarache

6.3.1.2 Autres zonages de protection et de gestion

Les réserves de biosphères

Les réserves de biosphère sont des zones d'écosystèmes terrestres ou côtiers où l'on privilégie les solutions permettant de concilier la conservation de la biodiversité et son utilisation durable.

Trois réserves de biosphère sont recensées dans un rayon de 5 km autour du site :

- * Luberon Lure (zone centrale) ;
- * Luberon Lure (zone tampon) ;
- * Luberon Lure (zone de transition).

Les Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB)

L'objectif des arrêtés préfectoraux de protection de biotope est la préservation des habitats naturels nécessaires à la survie des espèces végétales et animales menacées. Cet arrêté est pris par le Préfet au niveau départemental et fixe les mesures qui doivent permettre la conservation des biotopes.

C'est un outil de protection réglementaire de niveau départemental, dont la mise en œuvre est relativement souple. Il fait partie des espaces protégés relevant prioritairement de la Stratégie de Création d'Aires Protégées mise en place actuellement, et se classe en catégorie IV de l'UICN1 (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) en tant qu'aire de gestion. En effet, la plupart des arrêtés de protection de biotope font l'objet d'un suivi soit directement à travers un comité placé sous l'autorité du préfet, soit indirectement dans le cadre de dispositifs tels que Natura 2000 et par appropriation par les acteurs locaux.

Un APPB est recensé dans les 5 km autour du site. Il s'agit de l'APPB : Biotope des grands rapaces du Luberon.

Les réserves naturelles

L'objectif d'une réserve naturelle est de protéger les milieux naturels exceptionnels, rares et/ou menacés en France.

Les réserves naturelles peuvent être instaurées par l'État ou les régions. Toute action susceptible de nuire au développement de la flore ou de la faune, ou entraînant la dégradation des milieux naturels est interdite ou réglementée.

Aucune réserve naturelle régionale ou nationale n'est répertoriée dans un rayon de 5 km autour du site.

Les réserves de chasse

Les réserves de chasse et de faune sauvage (arrêté départemental) et les réserves nationales de chasse et de faune sauvage (arrêté ministériel) ont pour but de préserver la quiétude et les habitats du gibier et de la faune sauvage en général. Certaines activités peuvent y être réglementées ou interdites (articles R. 422-82 et suivants du code de l'environnement).

Aucune réserve de chasse nationale n'est recensée dans un rayon de 5 km autour du site.

Les parcs nationaux et les parcs naturels régionaux (PNR)

Ces deux types de parcs ont des réglementations et des finalités différentes. En effet, les onze parcs nationaux ont pour but de protéger des milieux naturels de grande qualité, leurs zones cœur constituant des « sanctuaires ». La liste des dispositions qui leurs sont applicables figure à l'article R. 331-85 du code de l'environnement.

Le PNR a, quant à lui, pour objectif de permettre un développement durable dans des zones au patrimoine naturel et culturel riche, mais fragile.

On retrouve deux Parcs Naturels Régionaux dans un rayon de 5 km, le PNR du Verdon et le PNR du Luberon.

Les réserves biologiques

Les réserves biologiques sont des outils de protection pour un milieu particulier : les forêts. Le classement en réserve biologique se fait donc à l'initiative de l'Office National des Forêts et est validé par arrêté interministériel. Il en existe deux types :

- ✕ les réserves biologiques intégrales : exclusion de toute exploitation forestière ;
- ✕ les réserves biologiques dirigées : soumise à une gestion dirigée pour la conservation du milieu et de sa richesse faunistique.

Aucune réserve biologique n'est répertoriée dans un rayon de 5 km autour du site.

Les sites acquis par le Conservatoire d'Espaces Naturels (CEN)

Les Conservatoires d'Espaces Naturels (CEN) contribuent à la gestion, la protection et la valorisation du patrimoine naturel notamment par la maîtrise foncière. Ainsi, on dénombre 3108 sites en 2018, qui recouvrent 160 455 ha du territoire français. Ces sites sont acquis ou font l'objet de baux emphytéotiques ce qui permet au CEN d'en avoir la gestion à long terme.

De plus, 35 % de ces sites bénéficient aussi d'un statut de protection comme : ENS, APPB ou réserves naturelles.

Aucun site acquis par le CEN n'est recensé dans un rayon de 5 km autour du site.

6.3.2- Zonages d'inventaire

L'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique ou Floristique (ZNIEFF) repose sur la richesse des milieux naturels ou la présence d'espèces floristique ou faunistique rares ou menacées. On distingue les ZNIEFF de type I (qui sont des secteurs limités géographiquement ayant une valeur biologique importante), et de type II (qui regroupent de grands ensembles plus vastes).

Aucune de ces zones n'est présente au sein du Centre de Cadarache, mais 14 d'entre elles sont situées dans un rayon de 5 km autour du site :

Type	Code	Nom	Superficie	Distance au site PEGASE
ZNIEFF II	930012391	Rochers de Saint-Eucher	37,6 ha	3,4 km
ZNIEFF II	930020199	Montagne de Vautubière - Massif de Mirabeau - Plaine de la Séouve	2058 ha	4,3 km
ZNIEFF II	930020485	La Basse Durance	2685 ha	3,1 km
ZNIEFF II	930012394	La Basse Durance	2329 ha	2,2 km
ZNIEFF II	930020218	Site de la Castellane	325 ha	3,7 km
ZNIEFF II	930020249	Le Bas Verdon entre Vinon-sur-Verdon et le Lac d'Esparron - Bois de Maurras - Plaine alluviale du Colostre à l'aval de Saint-Antoine	793 ha	3,6 km
ZNIEFF II	930012471	Aérodrome de Vinon-sur-Verdon, le Plan de la Clape	729,8 ha	3,9 km
ZNIEFF I	930012393	La Basse Durance, des Rochers rouges au Pont de Mirabeau	60 ha	3,3 km
ZNIEFF I	930020477	La Basse Durance, des Rochers rouges au Pont de Mirabeau	139,9 ha	3,3 km
ZNIEFF I	930012392	Confluence Durance-Verdon - Retenue de Cadarache	261 ha	2 km
ZNIEFF I	930020475	Confluence Durance-Verdon - Retenue de Cadarache	201 ha	3,2 km
ZNIEFF I	930020456	Confluence Durance-Verdon - Retenue de Cadarache	94 ha	3,8 km
ZNIEFF I	930020484	La Moyenne Durance, de l'aval de la Retenue de l'Escale à la confluence avec le Verdon	123 ha	4,5 km
ZNIEFF I	930012698	La Moyenne Durance, de l'aval de la Retenue de l'Escale à la confluence avec le Verdon	3335 ha	4,4 km

Tableau 92 : Liste des ZNIEFF localisées dans un rayon de 5 km

La carte suivante synthétise les zonages d'inventaires présentés :

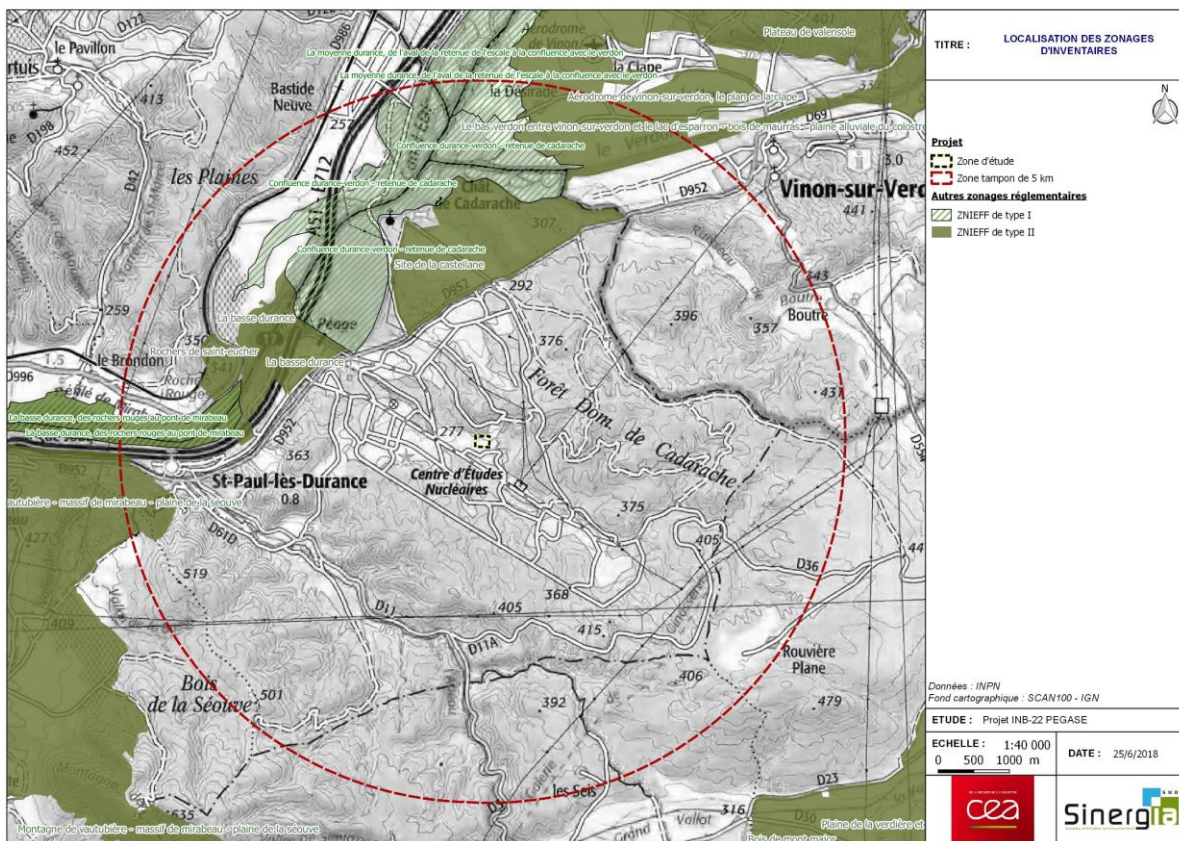


Figure 72 : Localisation des zonages d'inventaires dans un rayon de 5 km

6.3.3- Sur le Centre de Cadarache

Une zone à fort enjeu écologique

Le CEA Cadarache dispose d'une propriété de 1 600 hectares dont la très grande majorité sont des espaces naturels, essentiellement boisés ou en pelouses sèches et garrigue. Le reste de la propriété est constitué de zones urbanisées, comprenant elles-mêmes des surfaces importantes d'espaces verts entretenus et d'espaces débroussaillés.

Quatre grands types de milieux naturels se rencontrent sur le site de Cadarache :

- ✗ Les chênaies pubescentes, qui constituent la formation forestière majeure (le patrimoine forestier est composé à plus de 75 % de feuillus), associée aux ambiances les plus fraîches et les sols les plus profonds, et qui offrent refuge et nourriture pour la grande faune sauvage (glands, feuilles, herbes au sol).
- ✗ Les pinèdes et cédraies, avec une grande diversité de résineux : pins sylvestres et pins d'Alep en peuplement naturel, cèdres de l'Atlas, pins noirs, sapins méditerranéens et pins brutia issus de plantations. Elles offrent aussi refuge et nourriture à la faune (graines pour les écureuils et les oiseaux).

- * Les milieux ouverts, dominés par une végétation herbacée xérophile parfois clairsemée, qui ont tendance à se refermer naturellement par des arbustes, puis des arbres. Les travaux de débroussaillage réguliers menés pour l'entretien du site et la Défense des Forêts Contre l'Incendie (DFCI) contribuent à les entretenir. Ces pelouses sèches et garrigues abritent généralement un grand nombre d'espèces végétales et animales.
- * Les milieux humides, cantonnés, sur le site de Cadarache, au Ravin de la Bête, alimenté en eau une grande partie de l'année. Des espèces de feuillus telles que les peupliers blancs, ormes, tilleuls à petites feuilles, merisiers, s'y développent, et forment un cordon végétal qui assure le lien, pour de nombreuses espèces, entre les milieux humides de la Durance et du Verdon, et le massif forestier.

Cette variété de milieux naturels est favorable au développement d'une flore et d'une faune diversifiées parmi lesquelles plusieurs espèces remarquables. Ainsi, au sein du Centre ou à ses abords proches, on rencontre des plantes protégées telles que la Gagée de Lacaita (*Gagea lacaitae*), la Gagée des prés (*Gagea pratensis*), l'Ophrys de la Drôme (*Ophrys bertolonii subsp. saratoi*), l'Ophrys de Provence (*Ophrys provincialis*), l'Inule variable (*Inula bifrons*), la Nigelle de France (*Nigella gallica*), ainsi que plusieurs animaux d'intérêt patrimonial tels que le Lézard ocellé, le Psammodrome d'Edwards, l'Arcyptère provençale (*Arcyptera kheili*), la Proserpine (*Zerynthia rumina*).



Arcyptère provençale (Photo : Sinergia Sud)



Proserpine (Photo : If Ecologie Conseil)

Figure 73 : Quelques insectes remarquables sur le Centre de Cadarache

La gestion du patrimoine naturel

Lors de la création du centre en 1959, au cœur de la grande et vieille forêt de Cadarache, un territoire forestier de près de 900 hectares a alors été clôturé pour recevoir les 400 installations et bâtiments liés à l'activité de recherche. Ce foncier a permis depuis, et permet encore aujourd'hui, à d'autres constructions de voir le jour.

Le Centre de Cadarache a élaboré, dès 1997, un schéma directeur de gestion de la forêt et des milieux naturels. Confiée à des entreprises spécialisées, la gestion du domaine était, jusqu'en 2009, essentiellement guidée par un souci de limitation du risque incendie (débroussaillage), en particulier au niveau de la zone clôturée, en conformité avec les exigences réglementaires. Depuis, de nouveaux enjeux de conservation des peuplements forestiers et des espèces animales et végétales vivant sur le site se sont rajoutés à cette préoccupation initiale. La composante forestière a en effet gardé une grande part de sa naturalité, qu'il est important de préserver par une intégration « respectueuse » lors de l'implantation de nouvelles installations ou infrastructures. Désormais, le « Schéma Directeur de gestion de la forêt et des milieux naturels de Cadarache 2021-2031 », élaboré par l'Office National des Forêts (ONF), est un outil de gestion durable de l'espace naturel qui dresse un état des lieux du patrimoine forestier et propose un plan d'actions sur dix ans. Il s'inscrit dans la continuité du précédent, en réorientant les actions prévues sur la période 2010-2019 pour tenir compte des réelles possibilités de mise en œuvre mises en évidence par le bilan, ainsi que d'une volonté accrue d'axer les actions sur l'intégration des enjeux de biodiversité dans la gestion forestière.

Pour les experts forestiers de l'ONF, les enjeux de la gestion du patrimoine naturel du Centre de Cadarache sont multiples et imbriqués :

- * renouveler progressivement les peuplements ponctuellement sénescents¹⁸ (très vieux chênes par exemple), en tenant compte du fait qu'ils constituent par ailleurs des réservoirs de biodiversité¹⁹ ;
- * préserver la mosaïque forestière (chênaies pubescentes, pinèdes et cédraies, milieux ouverts), pour ses qualités écologiques et paysagères ;
- * suivre finement les peuplements lors des opérations de coupes et des travaux.

Se rajoute l'enjeu de l'équilibre à trouver entre la forêt et la grande faune sauvage. En effet, le Centre de Cadarache est caractérisé par la présence de gros gibiers : sangliers, chevreuils, cerfs Sika d'origine japonaise et mouflons de Corse, dont les populations sont « cantonnées » à l'intérieur de la zone clôturée. Il s'agit d'éviter leur surnombre, et de leur permettre de vivre le mieux possible en espace clos tout en préservant leur environnement forestier.

Des comptages²⁰ sont organisés pour évaluer les populations. Les populations de sangliers et les cerfs Sika sont régulées par battues. Celles des mouflons sont trop importantes pour l'espace disponible, et des animaux doivent être capturés afin d'être relâchés en milieu naturel en dehors du site.

¹⁸ La sénescence est le processus de vieillissement biologique, processus physiologique qui débute après la phase de maturité et se traduit par la dégradation progressive et inéluctable des fonctions vitales, qui aboutit à la mort de l'organisme.

¹⁹ Les arbres réservoirs de biodiversité (ARB) : Les très vieux arbres, tels que des chênes, en phase de sénescence, accueillent une flore et une faune spécifiques liées au bois mort ou en décomposition : insectes saproxylophages, champignons, oiseaux cavernicoles, chauves-souris, etc.

²⁰ 108 sangliers, 43 cerfs Sika, et 121 mouflons de Corse ont été comptés en 2016. Il est important de noter que les populations réelles peuvent être de 50 % (voire plus) supérieures à la valeur de comptage, en particulier pour les espèces craintives.



Sangliers



Cerf

Figure 74 : Sangliers et cerfs (Photos ONF)



Figure 75 : Mouflon (Source : Bilan du Développement Durable CEA CAD 2011)

Entretien du Ravin de la Bête

Sur le linéaire de sa traversée du Centre, le Ravin de la Bête a été divisé en trois secteurs. Chaque année, aux mois d'octobre-novembre, un entretien a lieu sur l'un des trois secteurs, afin de limiter les risques d'embâcle. Il consiste en :

- * un nettoyage (débranchage, curage, etc.) sur une largeur de 5 m de part et d'autre du cours d'eau ;
- * un enlèvement des arbres tombés sur une largeur 20 m de part et d'autre du cours d'eau.

L'ensemble du linéaire du Ravin dans sa traversée du Centre est donc couvert sur une période de 3 ans.

6.4- Enjeux écologiques

Ce paragraphe reprend les principaux éléments de l'étude écologique réalisée par la société Sinergia Sud sur le périmètre de l'installation, pour ce qui concerne l'état initial du milieu naturel.

6.4.1- Habitats naturels

Sur la zone d'étude, 8 habitats ont été recensés. L'enjeu de chaque habitat identifié sur la zone d'étude est présenté dans le tableau ci-dessous :

Enjeu patrimonial	Habitat CORINE Biotope	Habitat EUNIS	Zone humide	Surfaces incluses dans la zone d'étude (en ha)	Habitat Natura 2000	Enjeu sur site ou à proximité
Faible	32.42 Garrigues à Romarin	F6.12 Garrigues occidentales à <i>Rosmarinus officinalis</i>	Non	0	-	Faible
Faible	32.47 Garrigues à Thym, Sauge, germandrée et autres lamiacées	F6.17 Garrigues occidentales à <i>Teucrium</i> et autres labiées	Non	0,425	-	Faible
Faible	34.8 Prairies méditerranéennes subnitrophiles	E1.6 Pelouses à annuelles subnitrophiles	Non	0,552	-	Faible
Faible	41.714 Bois de Chênes blancs eu-méditerranéens	G1.714 Chênaies à Chêne blanc euméditerranéen	Non	0,358	-	Faible
Faible	45.31 Forêts de Chênes verts	G2.121 Chênaies à <i>Quercus ilex</i> mésoméditerranéennes	Non	0,272	-	Faible
Très faible	86.3 Sites industriels en activités	J1.4 Sites industriels et commerciaux en activité des zones urbaines et périphériques	Non	0,601	-	Très faible
Très faible	Routes et chemins	Routes et chemins	Non	0,738	-	Très faible

Tableau 93 : Liste et enjeux des habitats naturels inventoriés

Les enjeux des habitats naturels sont cotés de très faibles à faibles.

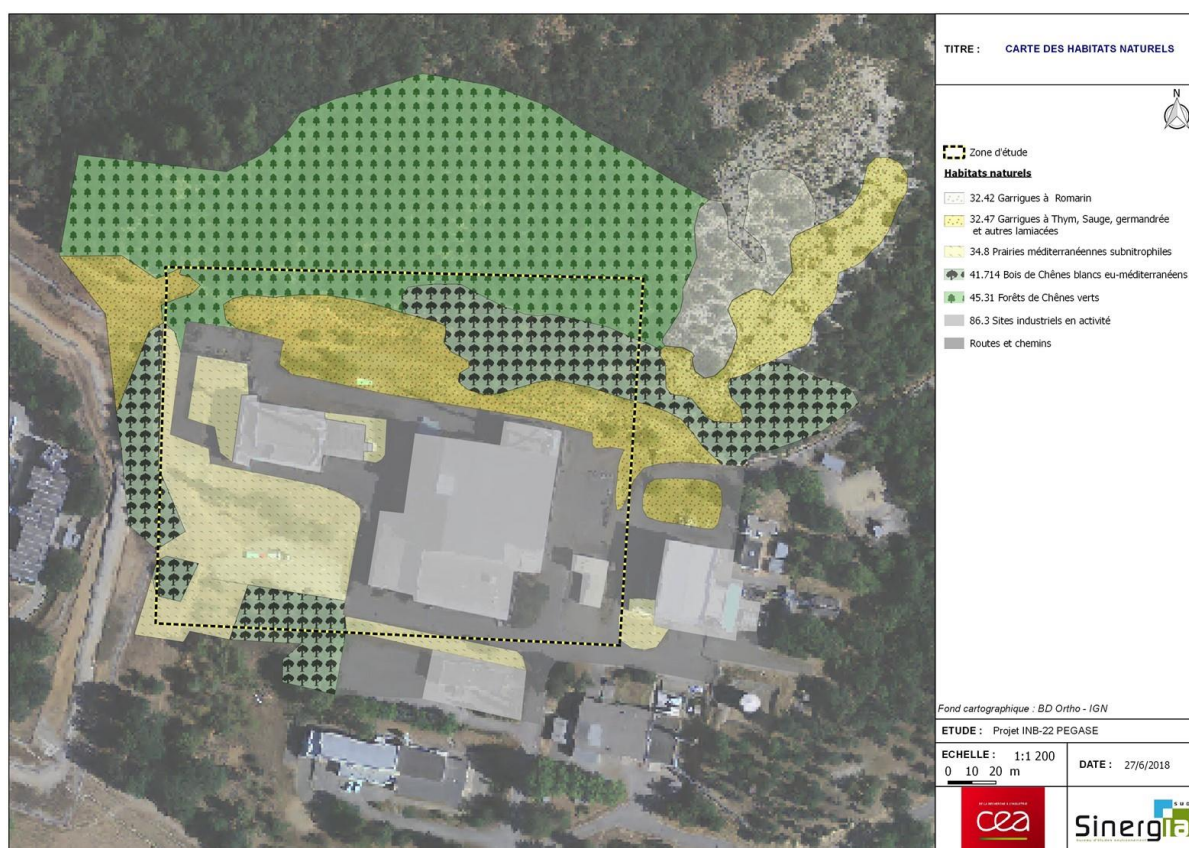


Figure 76 : Cartographie des habitats naturels



Figure 77 : Cartographie des enjeux des habitats naturels

6.4.2- Flore

Au cours des prospections, 78 espèces floristiques différentes ont été inventoriées dans la zone d'étude. Ce nombre d'espèces, relativement peu élevé, trouve son explication dans la composition des habitats homogènes et peu diversifiés. Parmi ces espèces, aucune n'est protégée ou ne possède un enjeu patrimonial.

6.4.3- Amphibiens

Au cours des prospections de terrain, 2 espèces et 1 groupe d'espèces ont été identifiés. L'enjeu de chaque espèce observée est présenté dans le tableau ci-dessous :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				Enjeu sur le site et/ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Habitat	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA	
Faible	Crapaud calamite	<i>Epidalea calamita</i>	Article 2	Annexe IV	LC	LC	LC	LC	Faible
Faible	Crapaud épineux	<i>Bufo bufo spinosus</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	Faible
Très faible	Grenouille verte	<i>Pelophylax sp.</i>	-	-	-	-	-	-	Très faible

Tableau 94 : Liste et enjeu des espèces d'amphibiens observées

La zone d'étude est globalement peu favorable aux amphibiens. On ne retrouve en effet qu'un seul point d'eau stagnante artificiel. Des têtards du groupe des grenouilles vertes ont été observés dans ce point d'eau lors de la première sortie. Cependant, lors des sorties suivantes plus aucun têtard n'était présent dans ce milieu. Il est fort probable que celui-ci se voit asséché au fil des jours et que les têtards n'aient pas eu le temps de se métamorphoser pour pouvoir sortir de l'eau.

Lors des inventaires des chiroptères, un individu de Crapaud épineux et un individu de Crapaud calamite ont été observés en déplacement. Le Crapaud épineux a été observé proche des bâtiments et le Crapaud calamite a été observé lors d'une soirée pluvieuse en zone de garrigue.

Un individu adulte de Crapaud calamite a également été observé en pleine journée sous un caillou. Celui-ci devait probablement être en train de se reposer entre deux déplacements nocturnes car ce caillou avait été soulevé lors des deux précédentes sorties mais aucun amphibien n'était dessous.

La zone d'étude est donc utilisée par les amphibiens lors de transits mais elle n'est pas favorable à la reproduction car la seule zone où de l'eau est présente n'est pas pérenne pour permettre un succès de reproduction.

6.4.4- Reptiles

Au cours des prospections de terrain, 4 espèces de reptiles ont été identifiées. Parmi celles-ci on retrouve une espèce d'enjeu fort, le Léopard ocellé et une espèce d'enjeu moyen, le Psammodrome d'Edwards. L'enjeu de chaque espèce observée est présenté dans le tableau ci-dessous :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				Enjeu sur le site et/ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Habitat	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA	
Fort	Léopard ocellé	<i>Timon lepidus</i>	Article 3	-	VU	NT	NT	NT	Fort
Faible	Léopard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	Article 2	Annexe IV	LC	LC	LC	LC	Faible
Moyen	Psammodrome d'Edwards	<i>Psammodromus edwardsianus</i>	Article 3	-	NT	LC	LC	NT	Moyen
Faible	Tarentule de Maurétanie	<i>Tarentola mauritanica</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	Faible

Tableau 95 : Liste et enjeu des espèces de reptiles observées

Les milieux présents sur la zone d'étude sont plus ou moins favorables aux reptiles. En effet, alors que les zones rudérales et anthropisées sont peu utilisées par les reptiles, les zones de garrigues et de pierriers sont par contre très favorables. Les espèces vont ainsi y trouver des zones refuges pour se cacher et des places de thermorégulation privilégiées car très exposées au soleil.

La végétation rase des garrigues est particulièrement appréciée du Psammodrome d'Edwards qui fréquente essentiellement ces types de milieux. Il va se mettre à l'abri dans le thym puis trouver des places de thermorégulation intéressantes avant de partir en chasse.

Le Léopard des murailles fréquente également les milieux de garrigue basse même s'il est plus ubiquiste et peut fréquenter une plus grande diversité de milieux.

Un individu de Lézard ocellé a été observé également en milieu de garrigue, en train de s'exposer au soleil pour se réchauffer. Celui-ci est ensuite parti se réfugier dans un buisson.

Lors des inventaires nocturnes, un individu de Tarente de Maurétanie a été observé sur un bâtiment. Cette espèce vit la nuit et chasse les insectes qui se posent sur différentes structures. Les bâtiments présents sur la zone d'étude sont tous globalement favorables à cette espèce car elle a simplement besoin de petites anfractuosités pour se réfugier à l'intérieur.

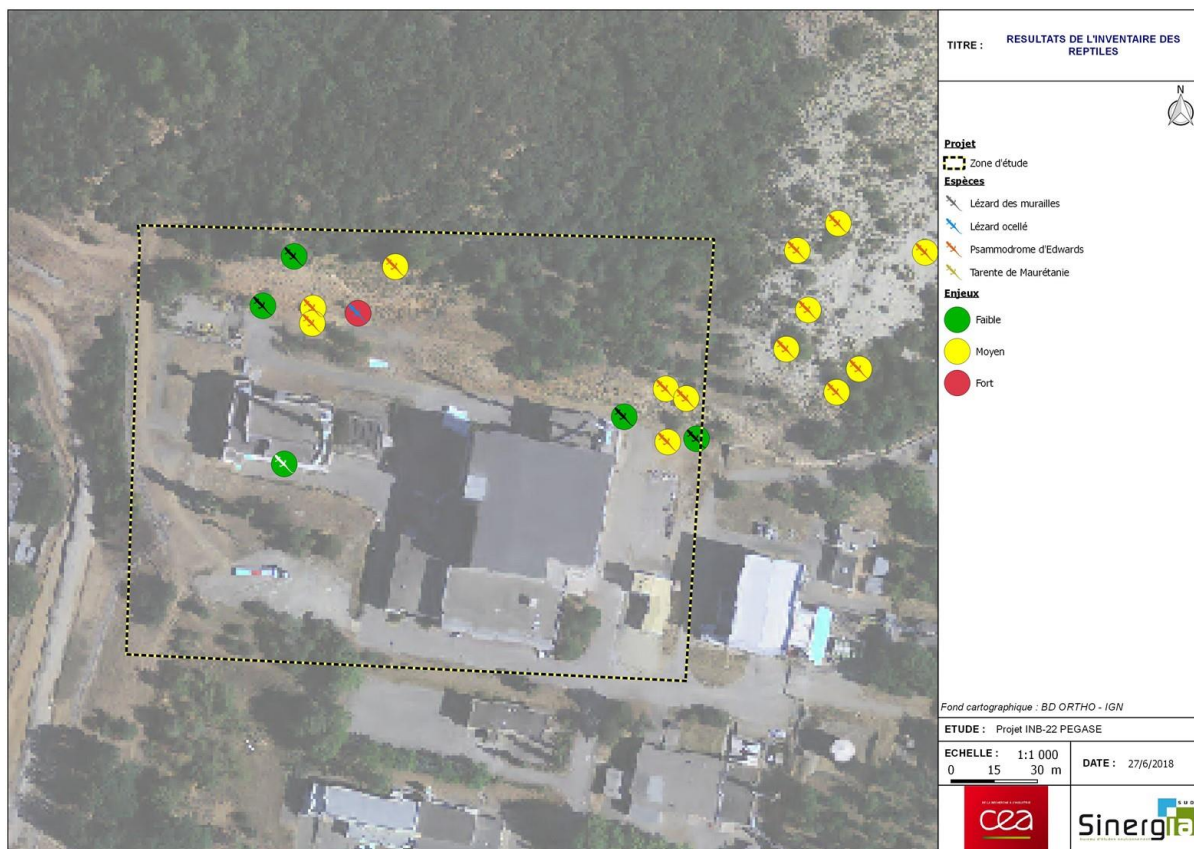


Figure 78 : Carte de localisation des reptiles

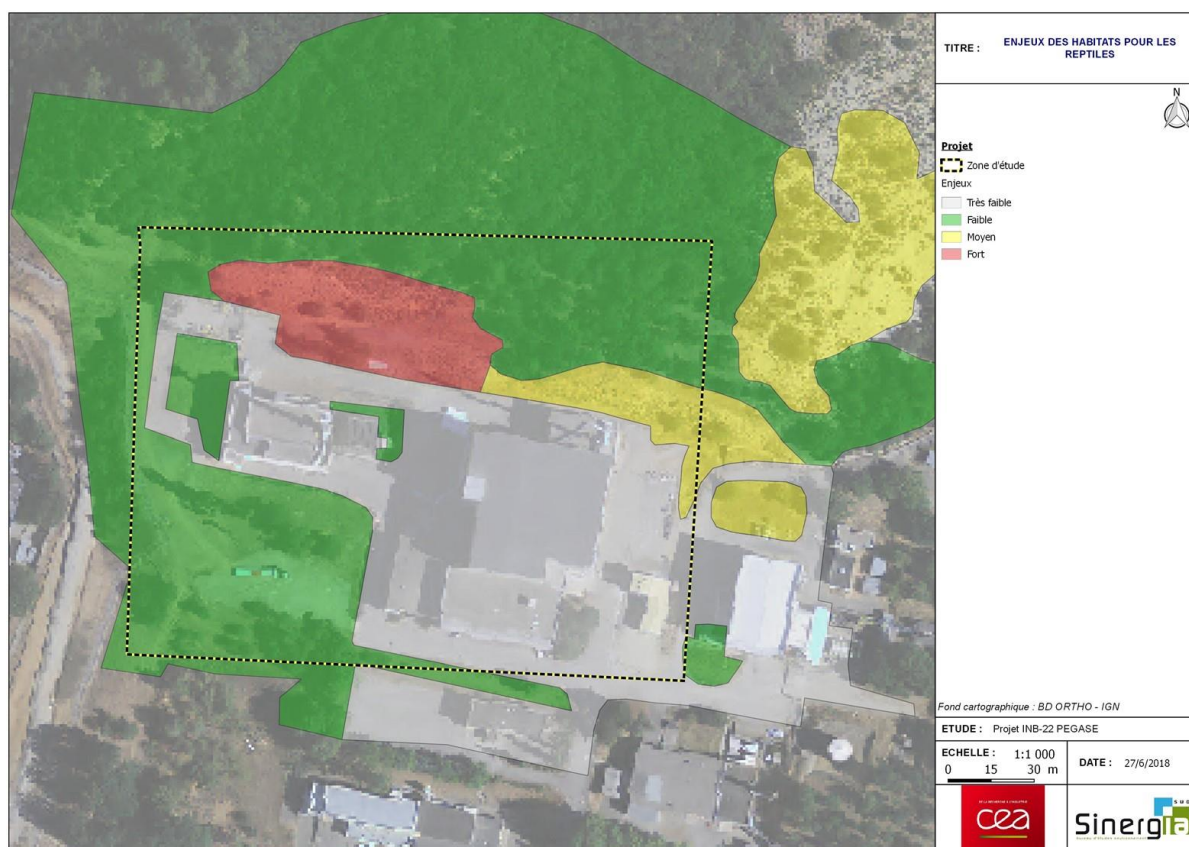


Figure 79 : Enjeux des habitats pour les reptiles

6.4.5- Entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée

Au cours des prospections de terrain, 31 espèces d’insectes ont été identifiées. Parmi ces espèces, on en retrouve 4 présentant un enjeu patrimonial :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				Enjeu sur site ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Habitat	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA	
Moyen	Scorpion languedocien	<i>Buthus occitanus</i>	-	-	-	-	-	-	Moyen
Moyen	Scorpion à pattes jaunes	<i>Euscorpis flavicaudis</i>	-	-	-	-	-	-	Moyen
Fort	Criquet hérisson	<i>Prionotropis azami</i>	Article 3	-	-	EN	EN	-	Fort
Moyen	Zygène cendrée	<i>Zygaena rhadamanthus</i>	Article 3	-	-	-	-	LC	Moyen

Tableau 96 : Liste et enjeu des espèces de l’entomofaune et des autres taxons de la faune invertébrée patrimoniales et/ou protégées observées

Les milieux qui composent la zone d’étude sont moyennement favorables aux insectes. En effet, on retrouve de la garrigue, des pelouses rases, alternant avec des zones à végétation moyennement haute (buissons épars) La zone est également composée de milieux pierreux (dalles calcaires) servant de refuges aux scorpions présents sur le site. Enfin une partie du site est couverte par une forêt de chênes verts (pas favorables aux insectes en général).

Parmi les espèces répertoriées sur la zone, 4 sont patrimoniales et présentent donc un enjeu local de conservation :

- * La Zygène cendrée *Zygaena rhadamanthus* est un hétérocère déterminant ZNIEFF et protégé au niveau national (article 3). Trois individus ont été observés sur la zone, au pied de la pente présente au milieu du site. La principale plante-hôte de cette zygène *Dorycnium pentaphyllum* n'est pas abondante sur le site mais est tout de même présente.
- * Le Criquet hérissé *Prionotropis azami* est un orthoptère protégé à l'échelon national par l'article 3. Il est également considéré comme « En Danger » sur les Listes Rouges Mondiale et Européenne. Un seul individu a été trouvé lors de la dernière journée de prospection car les conditions météo n'étaient pas propices à l'activité de l'espèce. Cet individu a été observé dans un milieu qui lui est favorable, soit de la pelouse rase de type garrigue. De manière générale la garrigue de la zone d'étude représente un habitat favorable pour le Criquet hérissé.
- * Le Scorpion à pattes jaunes *Euscorprius flavicaudis* est l'espèce de scorpion la plus commune de France. Cet arthropode que l'on retrouve sur la zone de pierriers au nord du site, possède un enjeu local patrimonial. Un seul individu a été découvert dans cette zone mais il est très probable que plusieurs individus y séjournent.
- * Le Scorpion languedocien *Buthus occitanus* est le plus grand représentant de son groupe en France. Comme son cousin le Scorpion à pattes jaunes, on le retrouve dans les zones de pierriers calcaires au nord de la zone d'étude. Une petite dizaine d'individus a été trouvée au total mais il semblerait logique que la population soit beaucoup plus importante, étant donné que ces invertébrés vivent cachés la journée. Il possède également un enjeu moyen sur site en raison de sa patrimonialité.

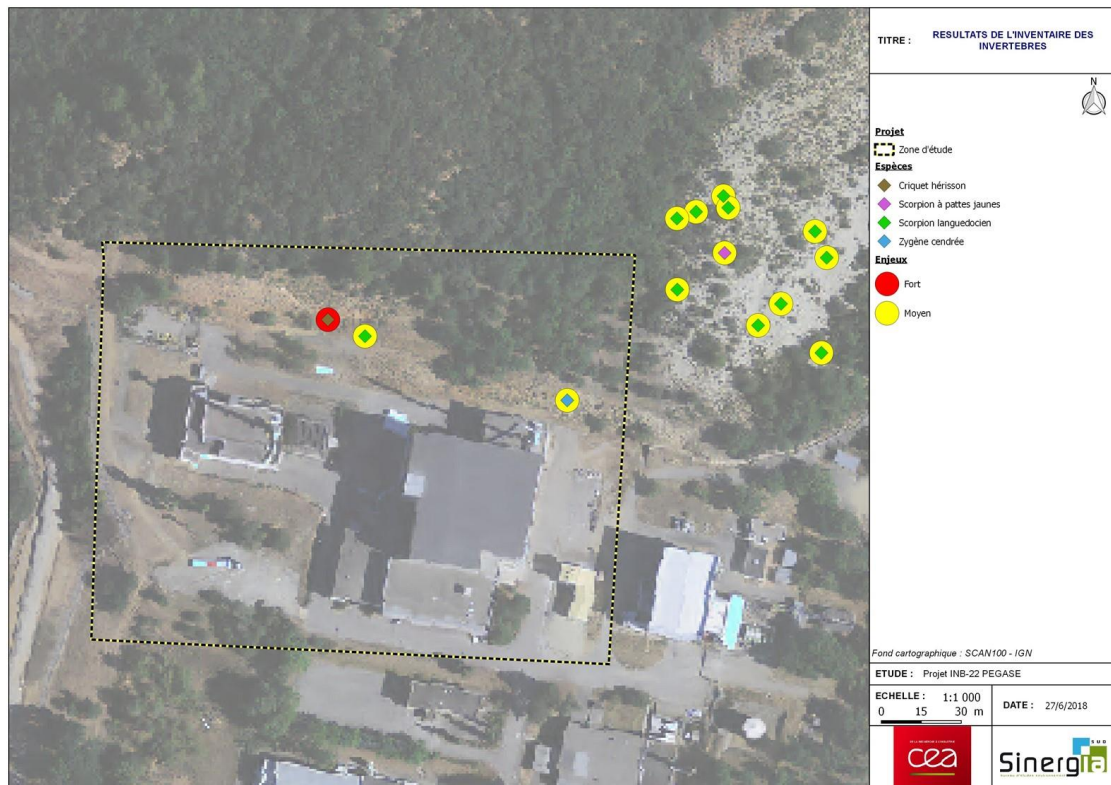


Figure 80 : Carte de localisation de l'entomofaune et des autres taxons de la faune invertébrée à enjeu

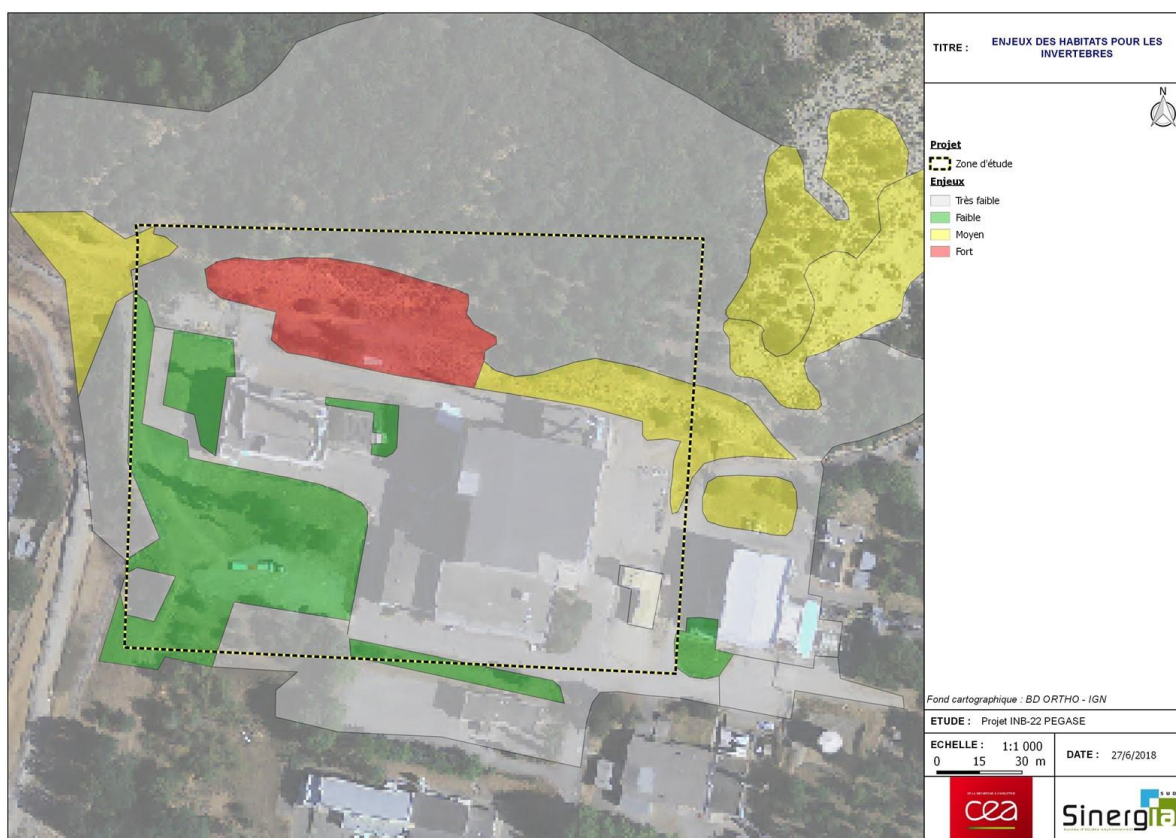


Figure 81 : Enjeux des habitats pour les invertébrés

6.4.6- Mammifères (hors chiroptères)

Lors des prospections, 2 espèces de mammifères terrestres ont été identifiées à partir d’observations directes ou d’indices de présence. Les enjeux de ces espèces sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				Enjeu sur le site et/ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Habitat	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA	
Faible	Mouflon méditerranéen	<i>Ovisgmelini musimon x Ovis sp.</i>	-	-	-	-	-	-	Faible
Très faible	Sanglier	<i>Sus scrofa</i>	-	-	LC	LC	LC	LC	Très faible

Tableau 97 : Liste et enjeux des espèces de mammifères (hors chiroptères) observés

6.4.7- Avifaune nicheuse

Nocturne : Au cours des prospections, aucune espèce d’oiseau nocturne n’a été contactée. La zone boisée et les zones de garrigues au nord de la zone d’étude sont pourtant assez intéressantes pour les rapaces nocturnes.

Diurne : Les inventaires de l’avifaune diurne ont permis de recenser 24 espèces d’oiseaux. Parmi ces dernières, 4 espèces possèdent des enjeux notables sur le site et/ou à proximité. Il s’agit de l’Alouette lulu *Lulula arborea*, le Chardonneret élégant *Carduelis carduelis*, le Serin cini *Serinus serinus* et le Verdier d’Europe *Carduelis Chloris*.

Quatre cortèges d'espèces sont présents dans la zone d'étude, il s'agit des espèces de milieux fermés, semi-ouverts, de milieux ouverts, et de bâtis.

* Les milieux fermés

Ces milieux sont représentés sur le site par des boisements denses de type méditerranéen. On retrouve plusieurs espèces de mésanges, le Geai des chênes *Garrulus glandarius* et le Grimpereau des jardins *Certhia brachydactyla* par exemple. On ne retrouve aucune espèce à enjeu écologique moyen sur le site et/ou à proximité.

* Les milieux semi-ouverts

Ces milieux constitués de fourrés sont présents en limite du boisement de chêne vert. Ils accueillent des espèces comme le Bruant jaune *Emberiza citrenella* (entendu une seule fois sur zone), le Merle noir *Turdus merula* et le Pinson des arbres *Fringilla coelebs*. On ne retrouve aucune espèce à enjeu écologique moyen sur le site et/ou à proximité.

* Les milieux ouverts (pente pierreuse)

Ce milieu est couvert de petites dalles calcaires présentes par l'action naturelle d'usure de la roche. On y retrouve alors de nombreuses pierres longues et plates, servant notamment de refuges aux scorpions et insectes du site. La seule espèce observée sur ce type de milieu est l'Alouette lulu *Lullula arborea*. Elle est d'ailleurs d'enjeu moyen sur le site et/ou à proximité.

- L'Alouette lulu *Lullula arborea* a été contactée de nombreuses fois au-dessus de la zone d'étude. Il ne fait alors aucun doute que l'espèce niche à proximité immédiate du site. Elle affectionne particulièrement les zones ouvertes pour se nourrir et niche exclusivement dans ce type de milieu. Il est alors fortement probable qu'au moins un couple soit installé dans des milieux ouverts autour de la zone d'étude.

* Les milieux bâtis (Bâtiments, routes, parcs, etc...)

Ces milieux sont représentés sur la zone par quelques bâtiments, routes goudronnées et espaces verts aménagés et entretenus. On retrouve dans cette zone le cortège des oiseaux dits « citadins ». On y retrouve par exemple le Chardonneret élégant *Carduelis carduelis*, le Verdier d'Europe *Carduelis chloris* ou encore le Moineau domestique *Passer domesticus*.

Parmi ces espèces, trois ont un enjeu moyen sur le site et/ou à proximité. Celles-ci sont présentées ci-dessous :

- Le Chardonneret élégant *Carduelis carduelis* a été observé lors de chaque passage sur le site. Il est très probable que plusieurs couples soient installés dans les arbustes et haies autour des bâtiments, et certain qu'au moins un couple niche sur le site. L'espèce a pour habitude de s'installer près des infrastructures humaines, notamment dans les haies des jardins.

- Le Verdier d'Europe *Carduelis chloris* a été observé sur la zone, souvent à proximité des bâtiments, dans les arbres et arbustes. Même si l'espèce n'a pas été contactée lors de chacun des trois passages, il reste très probable que plusieurs couples se reproduisent sur et autour de la zone d'étude. Habituellement l'espèce se rencontre dans les parcs urbains ainsi que les jardins des maisons. Elle peut aussi nicher en prairie bocagère. Le site peut alors servir à la reproduction du Verdier d'Europe.
- Le Serin cini *Serinus serinus* a été contacté lors de chaque passage sur la zone d'étude. Même si l'espèce n'est pas à proprement parlé une espèce urbaine, il est certain qu'un couple niche sur la zone, au sud est, dans un groupement de quelques pins. A noter que l'espèce peut potentiellement fréquenter tous les milieux de la zone d'étude.

L'enjeu de chaque espèce observée est présenté dans le tableau ci-après :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				NPO	NPR	NC	Observations	Enjeu sur site et/ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Oiseaux	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA					
Moyen	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Article 3	Annexe I	LC	LC	LC	LC		3	1	Aller-retour depuis une même zone (hors zone)	Moyen
Moyen	Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	Article 3	-	VU	LC	LC	NT	1			Sur zone	Faible
Moyen	Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	Article 3	-	VU	LC	LC	LC	5	2	1	Transport nourriture (sur zone)	Moyen
Faible	Étourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	-	Annexe II/2	LC	LC	LC	LC	1				Très faible
Très faible	Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	-	Annexe II/2	LC	LC	LC	LC	1			Sur zone	Très faible
Faible	Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC		2		Sur zone	Faible
Très faible	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	-	Annexe II/2	LC	LC	LC	LC		1			Très faible
Faible	Loriot d'Europe	<i>Oriolus oriolus</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	1				Faible
Très faible	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	-	Annexe II/2	LC	LC	LC	LC	1			Sur zone	Très faible
Faible	Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	1				Très faible
Faible	Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	-	2	1		Sur zone	Faible
Faible	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC		2			Faible
Faible	Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	Article 3	-	LC	-	LC	LC	1				Très faible
Très faible	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	-	Annexe II/1 et Annexe III/1	LC	LC	LC	LC				2T	Très faible
Faible	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	-	1	3	1	Femelle au nid	Faible
Faible	Pouillot de Bonelli	<i>Phylloscopus bonelli</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	DD	4				Très faible
Faible	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	3			Sur zone	Très faible
Faible	Rougequeue à front blanc	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC		2	1	Transport nourriture (sur zone)	Faible
Faible	Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC		1	1	Transport nourriture (sur zone)	Faible
Moyen	Serin cini	<i>Serinus serinus</i>	Article 3	-	VU	LC	LC	LC	2	3	1	Transport nourriture (hors zone)	Moyen
Faible	Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC		1			Faible
Faible	Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>	-	Annexe II/2	LC	LC	LC	LC	1				Très faible
Faible	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	Article 3	-	LC	LC	LC	LC	1				Très faible
Moyen	Verdier d'Europe	<i>Carduelis chloris</i>	Article 3	-	VU	LC	LC	LC	2	2		Sur zone	Moyen

Tableau 98 : Liste et enjeu des espèces d'oiseaux diurnes observées

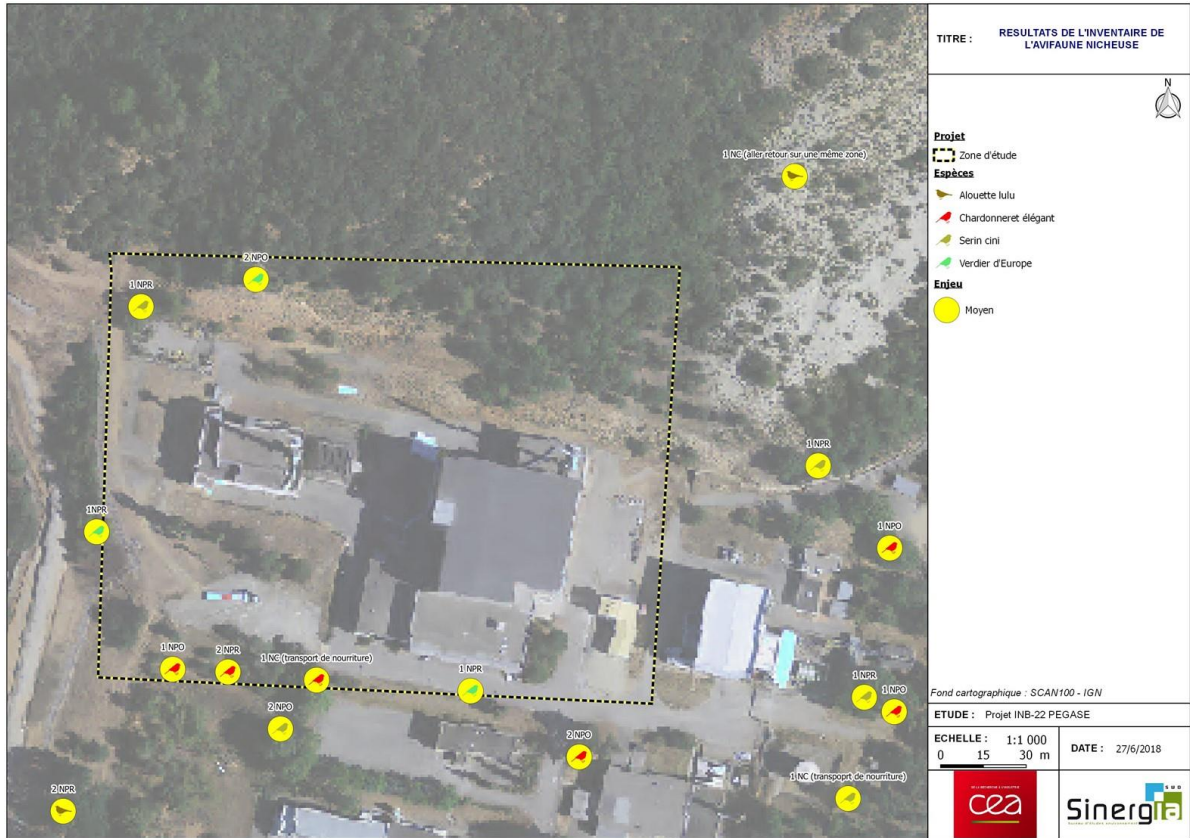


Figure 82 : Localisation des espèces d'avifaune nicheuse diurne à enjeux

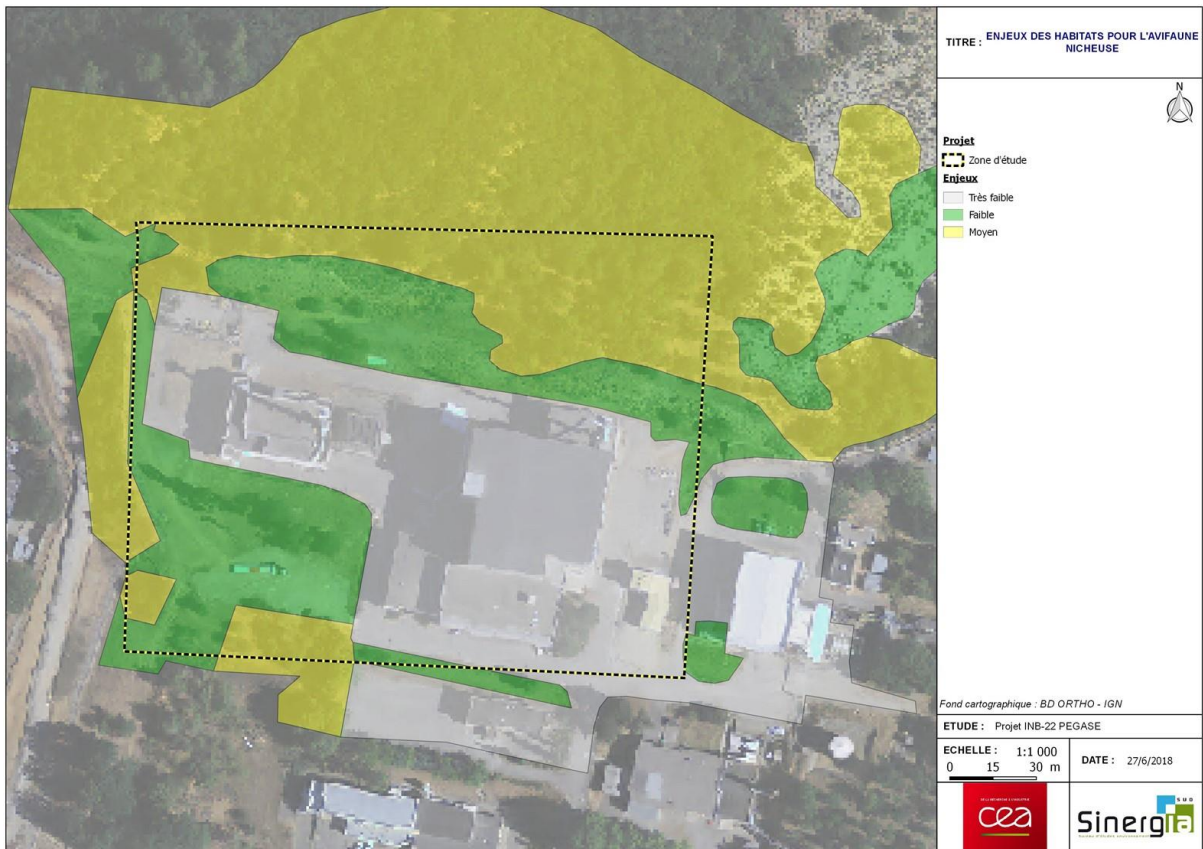


Figure 83 : Enjeux des habitats pour l'avifaune nicheuse

6.4.8- Chiroptères

Evaluation du potentiel en gîtes

Sur la zone d'étude de PÉGASE, on retrouve des boisements de chênes qui pourraient être intéressants pour les chiroptères et l'établissement de gîtes arboricoles. Cependant, les prospections n'ont pas permis de mettre en évidence la présence de ce genre de gîte dans les boisements. Les arbres sont d'un diamètre trop faible pour pouvoir présenter des anfractuosités susceptibles d'accueillir des chauves-souris.

Concernant les bâtiments, ceux-ci sont très favorables aux chauves-souris. En effet, on retrouve de nombreuses anfractuosités pouvant accueillir des chauves-souris. Si aucune chauve-souris n'a été observée au niveau du bâtiment PÉGASE, plusieurs individus ont été observés en journée et en sortie de gîte dans le bâtiment CASCAD. En effet, des observations en journée ont permis de mettre en évidence la présence d'individus de différentes espèces sous les plaques bleues au niveau de la corniche. Des inventaires en début de nuit ont permis de déterminer que les espèces qui fréquentent ce bâtiment sont principalement des Pipistrelles de Kuhl et quelquefois des individus de Noctule de Leisler.

La façade nord semble plutôt abriter des individus isolés. En revanche, la façade sud abrite probablement une colonie de Pipistrelle de Kuhl car plusieurs individus ont été observés en train de faire des aller-retours en début de nuit au niveau du même endroit.

Analyse des chiroptères

Au cours des prospections de terrain, 7 espèces ont été identifiées. Parmi ces espèces, plusieurs possèdent des enjeux notables sur le site et/ou à proximité. Il s'agit du Molosse de Cestoni, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Kuhl et le Vespère de Savi. L'enjeu de chaque espèce observée est présenté dans le tableau ci-dessous :

Enjeu patrimonial	Espèce		Statut réglementaire		Statut patrimonial				Enjeu sur site ou à proximité
	Nom commun	Nom scientifique	Statut national	Directive Habitat	Liste rouge UICN France	Liste rouge UICN Europe	Liste rouge UICN Monde	Liste rouge PACA	
Moyen	Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Article 2	Annexe IV	NT	LC	LC	-	Moyen
Moyen	Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Article 2	Annexe IV	NT	LC	LC	-	Moyen
Moyen	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Article 2	Annexe IV	NT	LC	LC	-	Faible
Faible	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Article 2	Annexe IV	LC	LC	LC	-	Moyen
Faible	Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Article 2	Annexe IV	LC	LC	LC	-	Faible
Moyen	Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Article 2	Annexe IV	NT	LC	LC	-	Faible
Moyen	Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Article 2	Annexe IV	LC	LC	LC	-	Moyen

Tableau 99 : Liste et enjeu des espèces de chiroptères observées

Lors des sessions d'écoutes réalisées, les espèces les plus contactées sont la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler. Elles représentent respectivement 58,94% et 19,10% des contacts de chauves-souris identifiées. Cela s'explique par le fait que ces espèces sont assez communes dans le sud de la France et également par le fait qu'elles fréquentent le bâtiment CASCAD. De nombreux individus de la taille de la Pipistrelle de Kuhl ont été observés en journée (détermination difficile en raison de la localisation des individus) et les inventaires en sortie de gîte ont confirmé qu'il s'agit bien de cette espèce.

Ces deux espèces utilisent aussi la zone d'étude pour le transit et la chasse. De nombreux cris sociaux de Pipistrelle de Kuhl et des signaux de chasse ont été entendus.

Peu de contacts de Pipistrelle commune (2,85% des contacts enregistrés), Pipistrelle pygmée (0,70% des contacts enregistrés) et Sérotine commune (2,85% des contacts enregistrés) ont été captés. On peut en déduire que la zone d'étude est probablement peu utilisée par ces espèces pour les déplacements ou la chasse.

Sur la zone d'étude de PÉGASE, l'activité est globalement forte. En effet, de nombreux contacts de chauves-souris ont été captés, que ce soit en transit ou en activité de chasse.

Plusieurs secteurs ont été identifiés comme des secteurs de chasse utilisés par les chauves-souris. On retrouve parmi ceux-ci les zones de garrigue et les zones boisées. Ces structures sont utilisées par les chauves-souris pour se déplacer et également pour chasser car certains insectes vont se regrouper dans ces habitats et profiter de la végétation présente. Les insectes vont également se regrouper au niveau des zones rocailleuses pour profiter du dégagement de la chaleur emmagasinée durant la journée. Ces milieux représentent donc des zones de chasse privilégiée pour les chauves-souris.

L'activité est moins importante au niveau des zones anthropisées. On retrouve cependant des activités ponctuellement fortes proches des sources de lumière. La lumière va en effet attirer les insectes et les chauves-souris vont donc profiter de ce regroupement pour se nourrir sans difficulté. Les espèces qui chassent au niveau des sources lumineuses sont principalement des espèces ubiquistes telles que la Pipistrelle de Kuhl.

La diversité de milieux (naturels ou non) va permettre de regrouper une grande diversité d'insectes et ainsi attirer des espèces de chauves-souris consommant des proies différentes.

6.4.9- Synthèse des enjeux du milieu naturel

La carte suivante présente la synthèse des enjeux du milieu naturel.

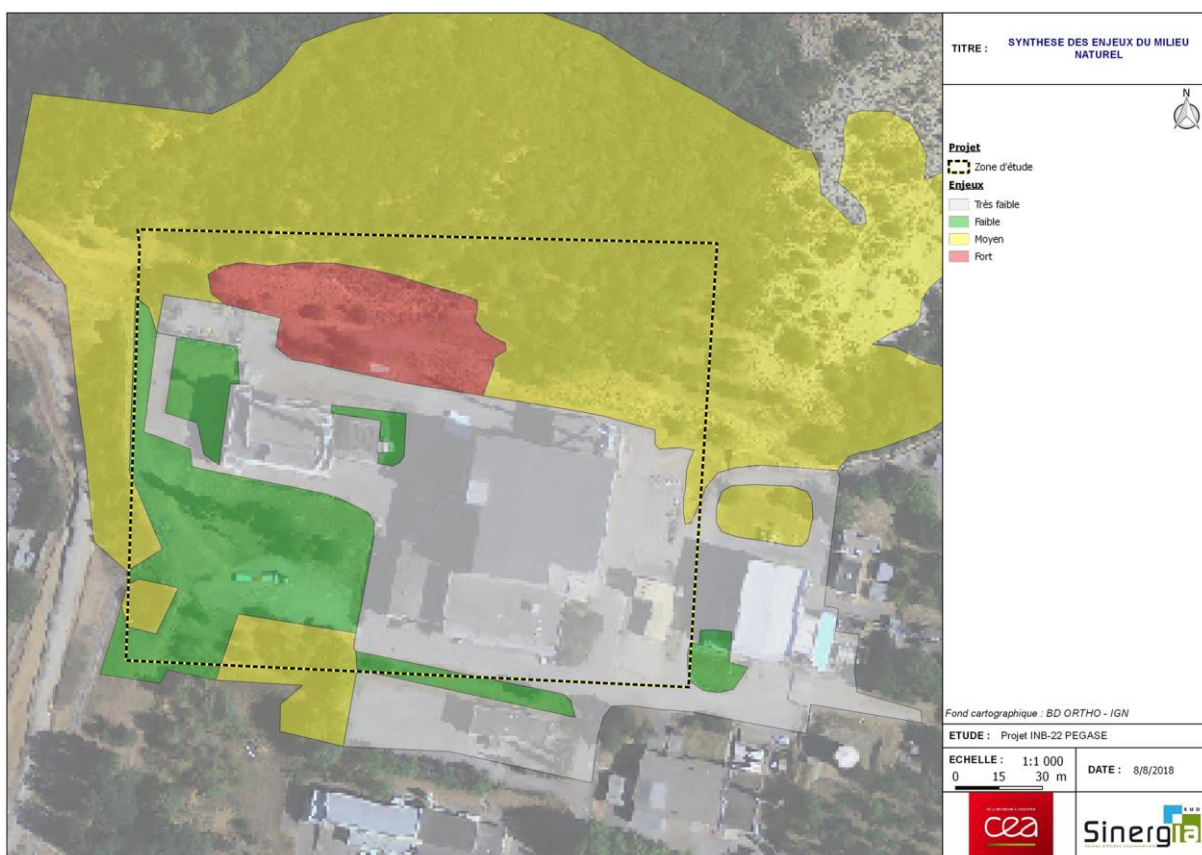


Figure 84 : Synthèse des enjeux du milieu naturel

6.4.10- Analyse des continuités écologiques

Les continuités écologiques, qui participent aux équilibres biologiques d'un territoire, sont définies à l'article L.371-1 du Code de l'environnement.

D'une manière générale, elles sont regroupées sous la notion de **Trame Verte et Bleue (TVB)** qui peut se définir comme une infrastructure naturelle, maillage d'espaces et milieux naturels, permettant le maintien d'une continuité écologique sur le territoire et ainsi le déplacement des individus. Ce réseau s'articule souvent autour de deux éléments majeurs (Comité Opérationnel TVB) :

- × Réservoirs de biodiversité : « espaces dans lesquels la biodiversité, rare ou commune, menacée ou non menacée, est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou partie de leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos) et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement, en ayant notamment une taille suffisante. Ce sont des espaces pouvant abriter des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent, ou susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations. »

- ✧ Corridors écologiques : « voies de déplacement empruntées par la faune et la flore, qui relient les réservoirs de biodiversité. Cette liaison fonctionnelle entre écosystèmes ou habitats d'une espèce permet sa dispersion et sa migration. On les classe généralement en trois types principaux : structures linéaires (soit des haies, chemins et bords de chemins, ripisylves...) ; structures en « pas japonais » (soit une ponctuation d'espaces relais ou d'îlots-refuges, mares, bosquets...) ; matrices paysagères (soit un type de milieu paysager, artificialisé, agricole...) »



Figure 85 : Eléments de la Trame Verte et Bleue (Source : Analyse des continuités écologiques, Guide méthodologique, RREN PACA, 2015)

La prise en compte de ces différentes composantes permet d'évaluer les réseaux fonctionnels à l'échelle d'un territoire, qui assurent les transferts d'énergies/matières entre les éléments de l'écosystème et contribuent ainsi au maintien de son équilibre biologique.

Analyse

Au niveau de la zone d'étude, aucun boisement ni cours d'eau ne sont présents ni ne pourraient constituer un réservoir de biodiversité ou un corridor écologique. A noter également que la clôture délimitant l'enceinte du CEA de Cadarache va de toute façon limiter le déplacement des mammifères.

7. Environnement humain

7.1- Démographie et urbanisation

La carte de densité de population ci-après, établie sur la base du recensement INSEE de 2017 donne la répartition de la population dans un rayon de 80 km autour du Centre de Cadarache (Densité de Saint-Paul-lez-Durance = moins de 20 hab/km²).

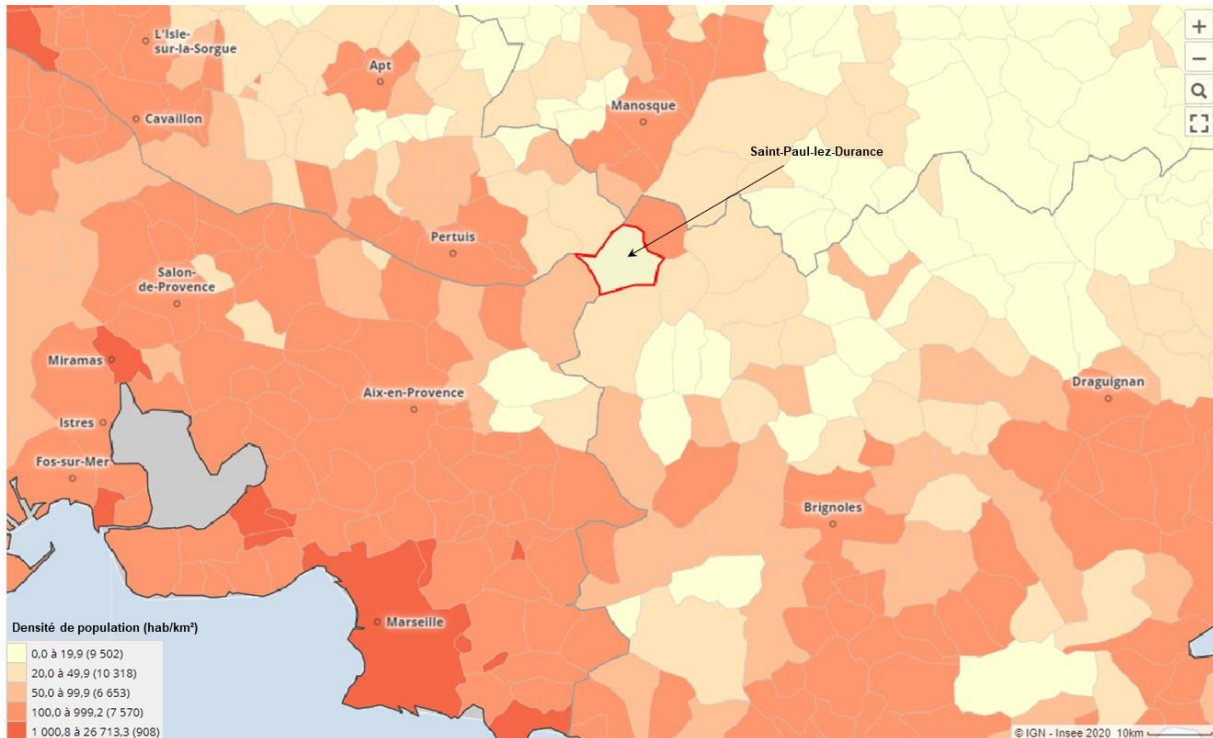


Figure 86 : Densité de population (habitants/km²) en 2017 autour de Cadarache

Elle met en évidence que la région de Cadarache appartient à une zone de peuplement faible, voire très faible vers le nord et vers l'est (régions à prédominance montagneuse). Par contre, les densités croissent vers l'ouest et surtout le sud-ouest pour atteindre des valeurs élevées, entre 100 et 1 000 hab/km², dépassant localement ce dernier seuil dans la région côtière marseillaise. Ces secteurs ne sont pas situés sous les vents dominants.

Cette population est par conséquent essentiellement concentrée au-delà d'un rayon de 40 km, sur le littoral avec les agglomérations de Toulon et Marseille, autour de l'étang de Berre et dans la vallée du Rhône. Plus près de Cadarache, se trouve également l'agglomération d'Aix-en-Provence à environ 35 km au sud-ouest. La ville la plus importante située à proximité du site est Manosque (environ 22 000 habitants) à 15 km dans la direction du nord.

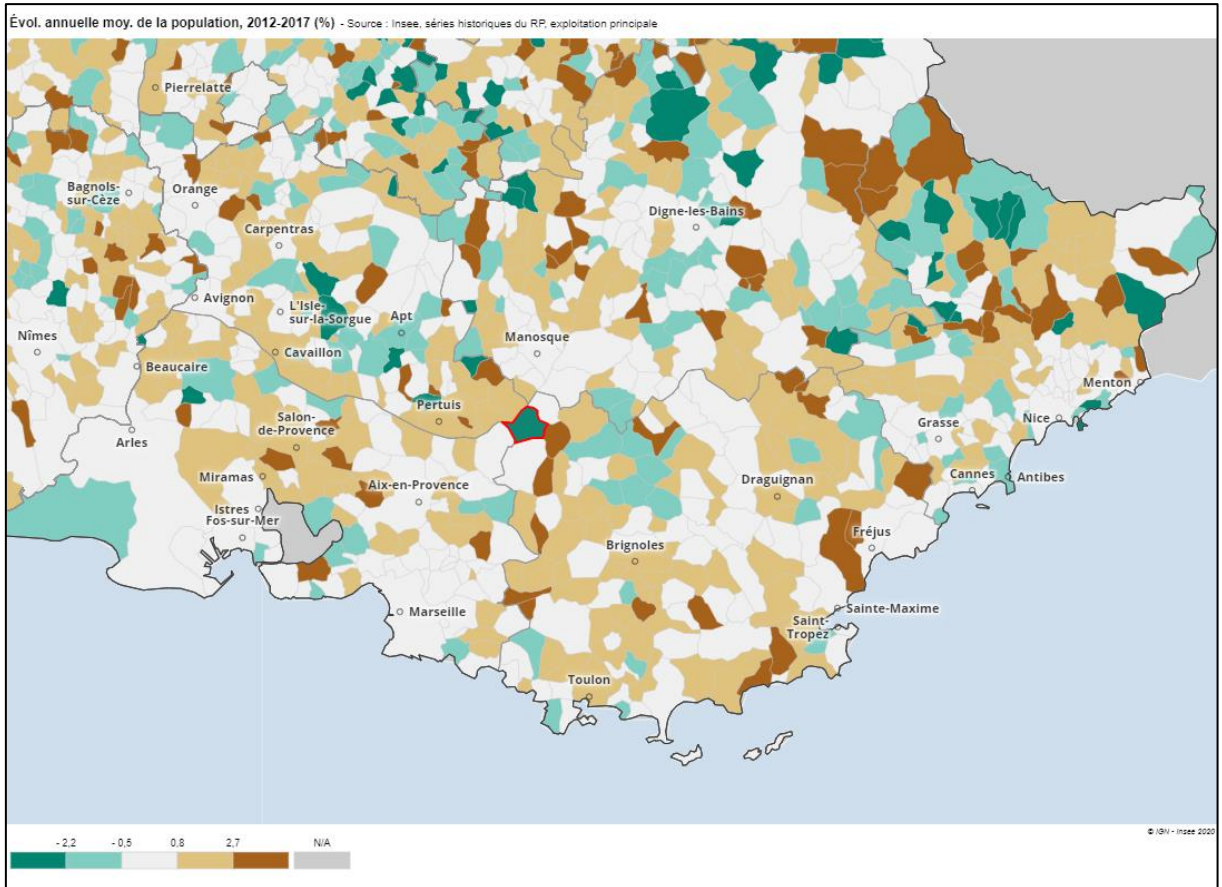


Figure 87 : Évolution de la population entre 2012 et 2017

La figure précédente montre l'évolution de la densité de population sur le même territoire entre les deux recensements de 2012 et 2017. On constate qu'autour de Cadarache, la population a sensiblement augmenté, notamment à l'Est ; seul le village de Saint-Paul-Les-Durance fait exception à cette tendance entre les deux derniers recensements.

Le site de Cadarache est entouré de 8 communes rurales situées dans un rayon de 7,5 km. Le Tableau 100 donne l'évolution de la population entre 1999 et 2017 (la population légale millésimée 2017 est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2020).

Commune	Dépt.	Population INSEE 1999	Population légale 2006	Population légale 2012	Population légale 2017	Différence entre 1999 et 2017
Corbières	4	791	935	1 062	1 216	+425
Jouques	13	3 321	3 979	4 375	4 510	+1 189
Saint-Paul-lez-Durance	13	790	962	995	888	+98
Ginasservis	83	984	1 403	1 583	1 834	+850
Rians	83	3 628	4 289	4 398	4 294	+666
Vinon-sur-Verdon	83	2 992	3 799	4 299	4 321	+1 329
Beaumont-de-Pertuis	84	934	1 019	1 115	1 152	+218
Mirabeau	84	907	1 076	1 228	1 326	+419
Total		14 347	17 462	19 055	19 541	+5 194

Tableau 100 : Évolution de la population entre 1999 et 2017

Dans ce périmètre, l'apport estival de la population touristique n'est pas significatif, excepté sur la commune de Vinon-sur-Verdon en raison de l'activité de l'aérodrome. On constate que les environs immédiats du site de Cadarache sont très peu peuplés. Les concentrations de populations les plus proches sont localisées au village de Saint-Paul-lez-Durance et à la zone d'activités située entre le village et le site (direction ouest), au Hameau destiné essentiellement au logement des stagiaires et situé à proximité de l'entrée principale (direction nord-ouest), au château de Cadarache (direction nord) et surtout au village de Vinon-sur-Verdon (à 5 km de Cadarache dans la direction nord-est).

Au-delà de ce périmètre de 7,5 km, il y a une activité touristique importante avec la station thermale de Gréoux-les-Bains à environ 14 km du site et le lac d'Esparron à environ 20 km. Cette activité est de caractère plutôt estival et concerne essentiellement les mois de juillet et août. Les communes de concernées sont situées dans la direction nord-est par rapport au site de Cadarache. Enfin, une communauté religieuse est installée sur la commune de Jouques, au lieu-dit Notre Dame de la Fidélité, à 12 km du site dans la direction ouest/sud-ouest.

7.2- Urbanisme

7.2.1- SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale)

La commune de Saint-Paul-lez-Durance fait partie de la métropole d'Aix-Marseille-Provence (AMP), créée le 1^{er} janvier 2016, et issue de la fusion de 6 intercommunalités comme le montre la Figure 88. La métropole regroupe aujourd'hui 92 communes. Cette métropole est la plus étendue des métropoles Françaises avec 3173 km², soit une superficie représentant 10% de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Ce territoire se caractérise par la juxtaposition de zones urbanisées densément bâties et des massifs forestiers, plaines agricoles, vallées et plateaux. 61% de la superficie est occupée par des espaces naturels. L'espace urbain occupe environ 15% du territoire, mais gagne chaque année de l'ordre de 900 hectares sur les surfaces agricoles.

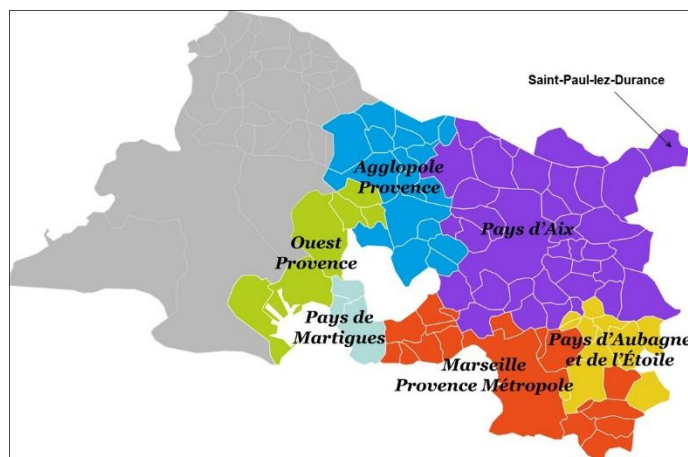


Figure 88 : Métropole Aix-Marseille-Provence issue de la fusion de 6 intercommunalités

À l'heure actuelle, la métropole applique 5 Schémas de Cohérence Territorial (SCoT), déjà existants sur son territoire au moment de sa création (Marseille Provence, Pays d'Aix, Pays Salonais, Pays d'Aubagne, Ouest Etang de Berre), approuvés entre 2012 et 2015. A terme, elle vise à élaborer un document unique définissant des orientations sur le long terme, qui porteront jusqu'en 2040 ; la démarche d'élaboration a débuté en décembre 2016 et s'achèvera mi-2022.

En attendant, la commune de Saint-Paul-Les-Durance entre dans le périmètre du Schéma de Cohérence Territoriale du Pays d'Aix, qui touche les départements des Bouches-du-Rhône et du Vaucluse (Pertuis), et regroupe 36 communes.

Définition

Le SCoT est un document de planification urbaine créé par la loi de Solidarité et Renouvellement Urbains (SRU) du 13 décembre 2000, qui vise à mettre en cohérence, à l'échelle d'un territoire, l'ensemble des politiques d'aménagement en matière : d'urbanisme, d'habitat, de déplacements, d'économie et d'équipements commerciaux, de préservation des espaces agricoles, naturels et des paysages.

Le SCoT est un outil privilégié de l'aménagement de l'espace, et sert également de cadre de référence au projet de développement durable du territoire qui doit répondre à une triple exigence : renforcer l'attractivité des territoires, améliorer la qualité de vie des habitants et économiser les ressources naturelles. En fixant les grandes orientations en matière d'organisation de l'espace, il doit viser à garantir un équilibre entre les zones habitées, industrielles, touristiques, agricoles et naturelles.

Son ambition est d'organiser le fonctionnement du territoire pour les 15 à 20 prochaines années, et de proposer des réponses à des questions simples et essentielles mais complexes à traiter : où se loger, comment se déplacer, où travailler, où consommer ?

Articulation avec les autres documents d'urbanisme

Le SCoT du Pays d'Aix est lié à d'autres documents de planification s'appliquant sur son périmètre, par des relations de compatibilité et de prise en compte fixées par le code de l'urbanisme.

Le SCoT doit notamment être compatible avec des documents de rang supérieur :

- * la Directive Territoriale d'Aménagement (DTA) des Bouches-du-Rhône ;
- * la charte du Parc Naturel Régional du Luberon (PNRL) ;
- * le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SDAGE) Rhône-Méditerranée ;
- * le Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau (SAGE) de l'Arc ;
- * le Plan Climat Énergie Territorial (PCET) du Pays d'Aix.

Il doit aussi prendre en compte les schémas régionaux tels que le Sraddet (Schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire).

Enfin, il implique la mise en compatibilité des documents d'ordre inférieur, tels que le Plan Local d'Urbanisme (PLU) des communes, et les documents de planification sectorielle élaborés par la CPA : Programme Local de l'Habitat (PLH) et Plan de Déplacements Urbains (PDU).

Le SCoT n'a pas vocation à définir la destination et l'usage des sols à la parcelle, mais il fixe des orientations et prescriptions avec lesquelles, notamment, les Plans Locaux d'Urbanisme (PLU), devront être compatibles.

L'élaboration du SCoT remise sur l'ouvrage en 2014

La procédure d'élaboration du SCoT vise à produire un document composé de quatre pièces :

- ✦ Un rapport de présentation, qui comprend le diagnostic territorial (pièce n° 1) et l'état initial de l'environnement (pièce n° 2). Il justifie également, notamment sur la base de l'évaluation environnementale, les choix ayant conduit au projet de territoire (décliné dans le PADD, pièce n° 3), et les principes qui en découlent (définis dans le DOO, pièce n° 4).
- ✦ Un projet d'aménagement et de développement durables (PADD). Cette pièce fondamentale du SCoT, représente son projet de territoire. Elle doit permettre de répondre aux enjeux mis en évidence par le diagnostic et l'état initial de l'environnement, en fixant des orientations générales et des objectifs d'aménagement.
- ✦ Un Document d'Orientations et d'Objectifs (DOO). C'est le document opérationnel et opposable du SCoT. Il définit les principes à mettre en œuvre afin de respecter les orientations et d'atteindre les objectifs fixés par le PADD, avec lequel il doit être logiquement cohérent. Il détermine ainsi des règles aux travers de prescriptions, qu'il peut accompagner de recommandations. Le code de l'urbanisme définit assez précisément ce que le DOO doit ou peut prescrire. Il explique enfin de quelle manière le SCoT respecte les relations de compatibilité avec les autres documents de planification évoqués précédemment.

À partir de 2009, alors qu'elle n'était encore composée que de 34 communes, la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix avait commencé à élaborer un SCoT. Fin 2013, la procédure était déjà bien avancée, puisque le projet de SCOT avait été arrêté. Or, l'entrée des communes de Gardanne et de Gréasque dans la CPA au 1^{er} janvier 2014 a entraîné l'élargissement du périmètre de SCoT du Pays d'Aix. La réglementation actuelle ne prévoyant pas de mesures transitoires pour un SCoT dont le périmètre est élargi au cours de son élaboration, la CPA a donc été dans l'obligation de relancer l'élaboration du SCoT à son stade initial. Ainsi, une délibération du conseil communautaire du 3 juillet 2014 a prescrit l'élaboration du SCoT sur son nouveau périmètre, regroupant désormais 36 communes.

Suite à l'arrêt du projet de SCoT lors du conseil communautaire du 19 février 2015, celui-ci a été soumis à enquête publique du 17 juin au 22 juillet 2015. Le SCoT du Pays d'Aix est exécutoire depuis le 21 février 2016 (source : <http://www.agglo-paysdaix.fr/>).

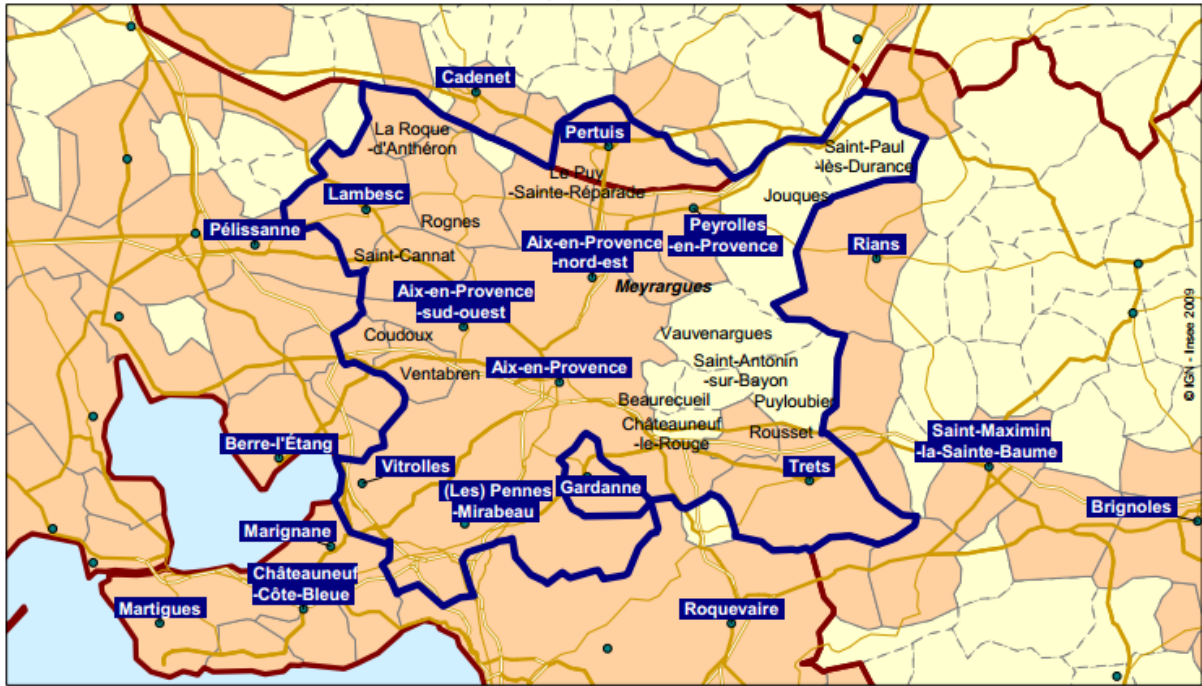


Figure 89 : Délimitation du SCoT du Pays d'Aix avec 34 communes en 2009 (Source : INSEE)

7.2.2- Document d'urbanisme communal

La commune de Saint-Paul-lez-Durance disposait d'un Plan d'Occupation des Sols (POS²¹), depuis le 9 avril 1996. Par délibération du Conseil Municipal du 29 juillet 2014, la commune a prescrit la procédure d'élaboration du Plan Local d'Urbanisme (PLU) pour remplacer le Plan d'Occupation des Sols. Le 23 mai 2016 a eu lieu une première réunion publique de présentation du diagnostic et des esquisses du Projet d'Aménagement et de Développement Durables (PADD)²². Le 26 juillet 2017, le PLU a été arrêté en Conseil Municipal. L'enquête publique a eu lieu du 30 novembre au 30 décembre 2017. Par délibération en date du 28 juin 2018, le Conseil de la Métropole Aix-Marseille Provence a approuvé le Plan Local d'Urbanisme de la commune.

La majeure partie du Centre de Cadarache est classée en zone urbaine UN (Filière de production d'énergie d'origine nucléaire et renouvelable), sur laquelle il n'y a pas de restriction de construction.

7.2.3- Maîtrise de l'urbanisme sur le Centre de Cadarache

Le Centre de Cadarache présente la particularité d'être à la fois un domaine boisé, et un centre de recherches avec un bâti qui évolue. Le classement en « zone urbaine » de l'ensemble des parcelles du Centre de Cadarache représente une particularité pour un domaine boisé, et dégage le CEA de posséder des documents réglementaires face à l'espace boisé. Le « Schéma Directeur de Gestion de la forêt et des milieux naturels du CEA de Cadarache 2021-2031 », élaboré par l'ONF, et présenté précédemment, constitue un outil non réglementaire dont le CEA s'est doté dans sa volonté d'appliquer un mode de gestion durable et raisonné dans le temps de sa propriété.

Le CEA s'est également doté, depuis juillet 2013, d'un Comité de gestion du patrimoine écologique du site. En effet, les contraintes environnementales et de préservation de la biodiversité sont à prendre en compte au même titre que les autres contraintes (géotechniques, accès, VRD²³, etc.), et à ce titre, elles sont à intégrer dès la conception des projets. Le Comité de gestion du patrimoine écologique du centre de Cadarache, mis en place par la Direction du Centre, permet de prendre des décisions stratégiques en intégrant notamment :

- × la réalisation de projets ou de grands travaux ayant une emprise foncière ;
- × la gestion des forêts et des espaces naturels ;
- × les enjeux écologiques ;
- × les autres activités sur les terrains du CEA (chasses, fréquentation du public, etc.).

²¹ Depuis la loi relative à la solidarité et au renouvellement urbains du 13 décembre 2000, dite « loi SRU », le plan local d'urbanisme (PLU) est le principal document de planification de l'urbanisme au niveau communal ou intercommunal, qui a remplacé le Plan d'Occupation des Sols.

²² Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) est la clef de voûte du dossier de Plan Local d'Urbanisme (PLU). Il en définit les orientations. C'est un document simple et concis, donnant une information claire aux citoyens et habitants sur le projet territorial.

²³ VRD : Voirie et Réseaux Divers.

Ce comité est présidé par le Directeur Délégué à la Sûreté et à la Sécurité, et est composé de représentants de chaque entité du Centre ayant potentiellement une influence sur le patrimoine écologique (Direction, Chargé de Mission Environnement, service logistique, département des projets, etc.).

7.3- Occupation des sols et agriculture

7.3.1- Végétation naturelle et environnement forestier

Les statistiques relatives au domaine forestier sont fournies par l'inventaire forestier, un service de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN). Ce service est chargé de l'inventaire permanent des ressources forestières nationales de manière à permettre à l'état de connaître l'évolution dans le temps et les potentialités de la forêt française.

L'IGN a établi pour la période 2017-2021 une carte du taux de boisement (la surface forestière rapportée à la surface totale du territoire) des régions Françaises, révélant d'importantes disparités entre les régions du Sud-Est les plus boisées (Corse, PACA), et celles du quart Nord-Ouest (Normandie, Pays de la Loire). Dans ce panorama, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur possède le 2^e taux de boisement le plus élevé après la Corse, avec 52 % de sa surface totale boisée (contre 31 % à l'échelle nationale). Ses forêts sont pour 14 % des forêts ouvertes ; elles représentent 30 % des forêts ouvertes du territoire métropolitain.

La région de Cadarache fait partie de la Provence occidentale calcaire, composée en alternance de reliefs compacts et de bassins sédimentaires meubles. Elle présente un peuplement sylvestre en accord avec les terrains, quoique l'essor rapide de l'exploitation économique et industrielle du territoire ait entraîné des modifications importantes du tapis végétal.

Différentes espèces occupent des terrains souvent en relation avec les conditions micro-climatologiques, le site de Cadarache étant à la limite de leurs zones de végétation (Figure 90).

Ces différentes espèces sont les suivantes :

- * la chênaie, presque partout présente sous forme de taillis médiocres, qui se maintient difficilement dans les régions de la vallée de la Durance ainsi que sur les régions côtières sous l'action de la sécheresse, du vent et de l'impact humain ;
- * dans les zones incultes, on trouve également le pin d'Alep, le pin pignon et le pin maritime ;
- * les taillis qui sont pour leur part constitués de térébinthes, buis, troènes, cornouillers, genévriers, tandis que les clairières sont peuplées entre autres de romarin, de thym et de chênes kermès. Le long des cours d'eau (moins de 1 % du peuplement), se trouvent également des peupliers, des aulnes et des ormeaux.

Le domaine de Cadarache représente un domaine naturel important (2 050 ha dont environ 900 ha clos) malgré les activités qui y sont implantées. La Figure 90 donne la carte de peuplement du domaine constitué, pour une part importante, de chênes verts et de chênes pubescents et pour une part moindre de futaie de pins d'Alep.

SCHEMA DIRECTEUR DE GESTION - CEA CADARACHE
Carte des peuplements

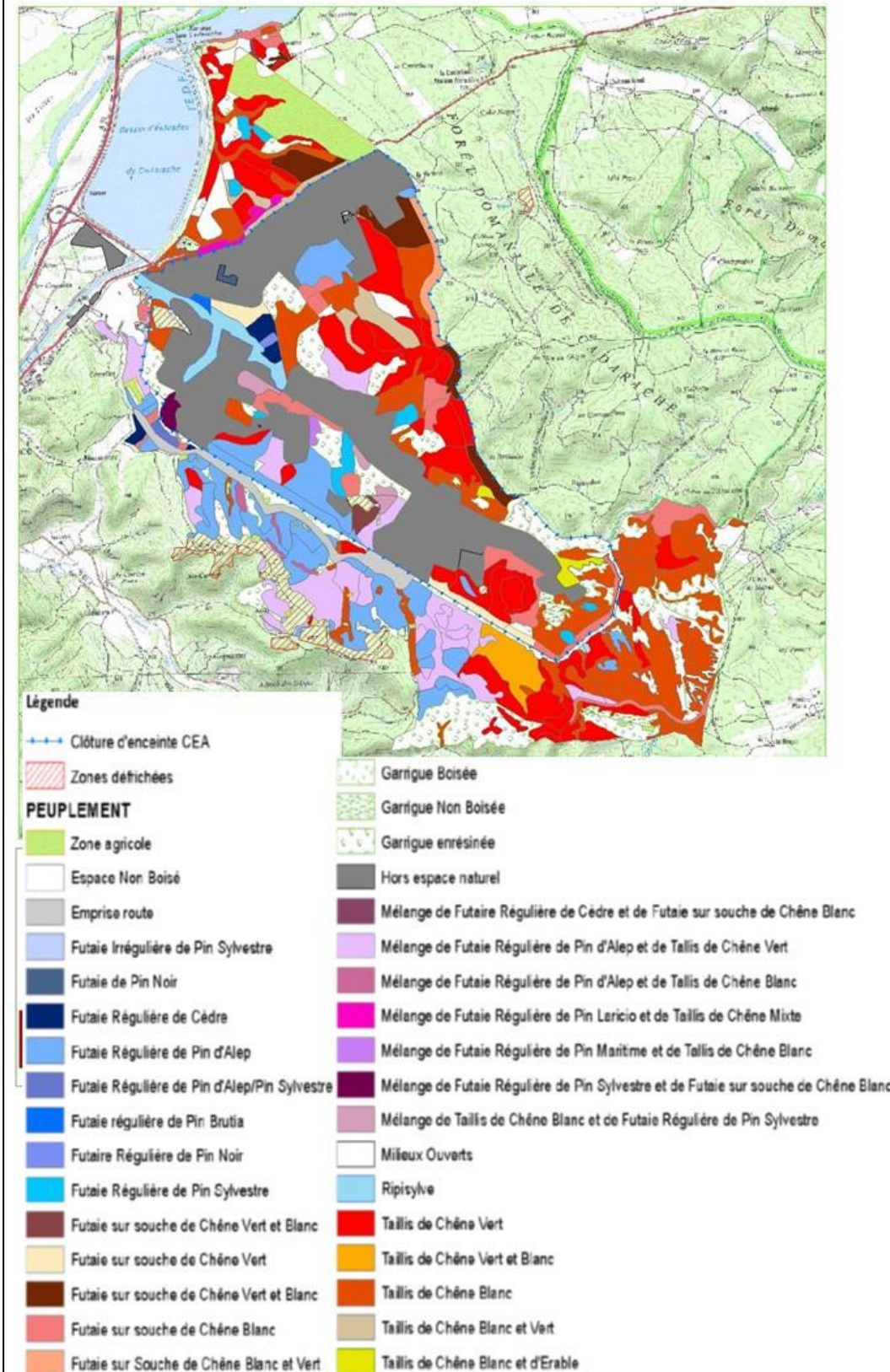


Figure 90 : Peuplement forestier du site de Cadarache en 2021 (Source : ONF)

La végétation qui entoure et peuple le site de Cadarache est particulièrement sensible au feu notamment après une longue période de sécheresse et en présence de vent. En effet, sur le plan de la sécurité, l'orographie, le régime particulier des vents, la topographie et surtout la prédominance des espaces boisés sont des facteurs propres à amplifier les effets d'un éventuel incendie de forêt. L'incendie des 1^{er}, 2 et 3 août 1989 avait ainsi détruit 4 300 hectares aux abords du Centre dont 17 hectares à l'intérieur.

7.3.2- Utilisation agricole des sols et élevage

Les données décrivant l'agriculture locale sont extraites du Recensement Général Agricole (RGA), dont la dernière actualisation date de 2020.

En 2020, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur compte 18 025 exploitations, valorisant un total de 627 200 ha, soit une hausse de 3 % par rapport à 2010 ; plus de la moitié (57 %) sont des surfaces en prairies, composante essentielle de l'agriculture des départements alpins du fait de la nature extensive de l'élevage, valorisant et entretenant de vastes espaces d'estives.

Entre 2010 et 2020, le tissu d'exploitations de la région PACA a continué de se recomposer autour d'unités de moins en moins nombreuses, mais de + en + « robustes » (Figure 91). La Surface Agricole Utile (SAU) moyenne d'une exploitation en région PACA s'établit en 2020 autour de 35 ha.

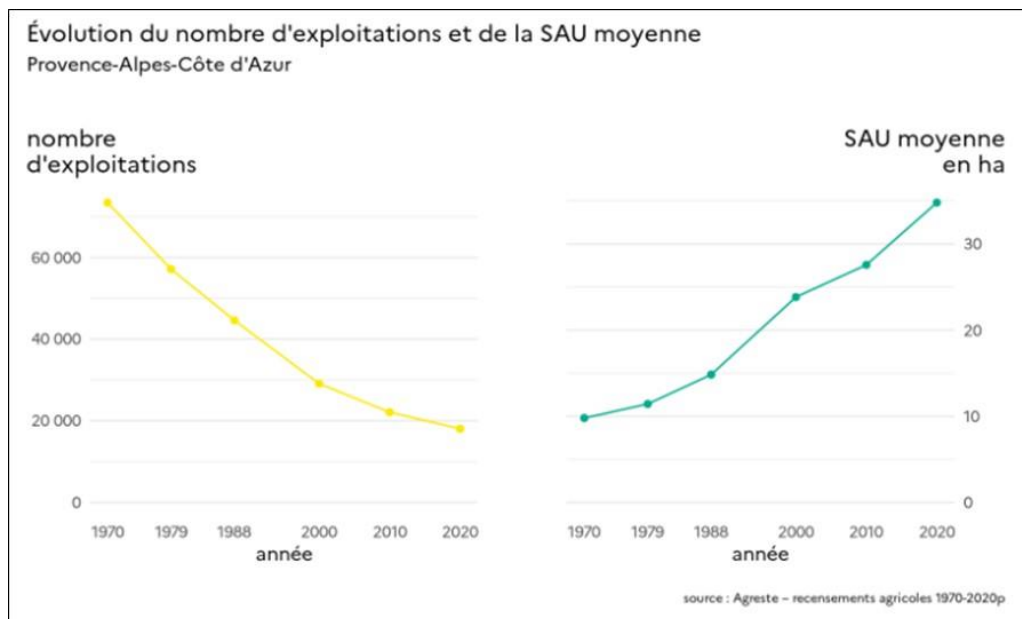


Figure 91 : Évolution du nombre d'exploitations et de la Surface Agricole Utilisée (SAU) en région PACA

Les surfaces agricoles recouvrent un quart du territoire de la région PACA en 2020, et sont particulièrement orientées vers la production de vin (34 % des exploitations), de fruits (16 %) et de légumes (14 %). Ainsi, la région est le 1^{er} producteur national de raisin de table, de cerises, d'olives, de riz ou encore de plantes à parfum aromatiques et médicinales. Par ailleurs, un quart des surfaces agricoles est consacré à l'agriculture biologique (en progression de 14 points par rapport à 2010); la région arrive à ce titre à la 1^{er} place métropolitaine.

On notera enfin que la part des exploitations sous autres labels officiels de qualité ou d'origine (Label Rouge, IGP, AOC-AOP, STG) est de 44 %, en progression de 6 % au cours de la dernière décennie.

La perte d'exploitations en région PACA est particulièrement prononcée en arboriculture et grandes cultures, tandis que le maraîchage progresse, à l'image des ventes en circuit court (la part des exploitations vendant en circuit court a progressé de 12 % en une décennie) ou de l'agriculture biologique (Figure 92).

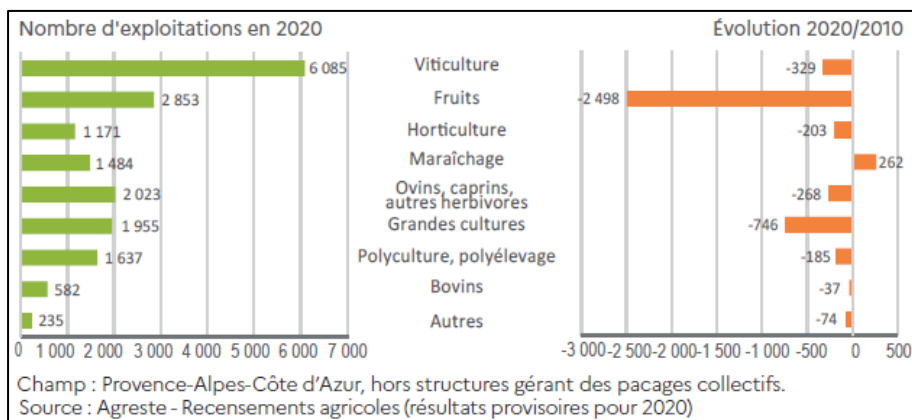


Figure 92 : Évolution de l'orientation technico-économique des exploitations agricoles entre 2010 et 2020 en région PACA

Hors prairies et fourrages, les surfaces cultivées reculent de 6 %. La diminution des surfaces semées en céréales (-35 000 ha) et des cultures fruitières (-3 000 ha) n'est que partiellement compensée par la progression en plantes à parfum, aromatiques et médicinales (+11 000 ha), légumes frais (+2 000 ha), et viticulture (+2 000 ha).

L'orientation technico-économique des exploitations de la région, par commune, est présentée sur la Figure 93.

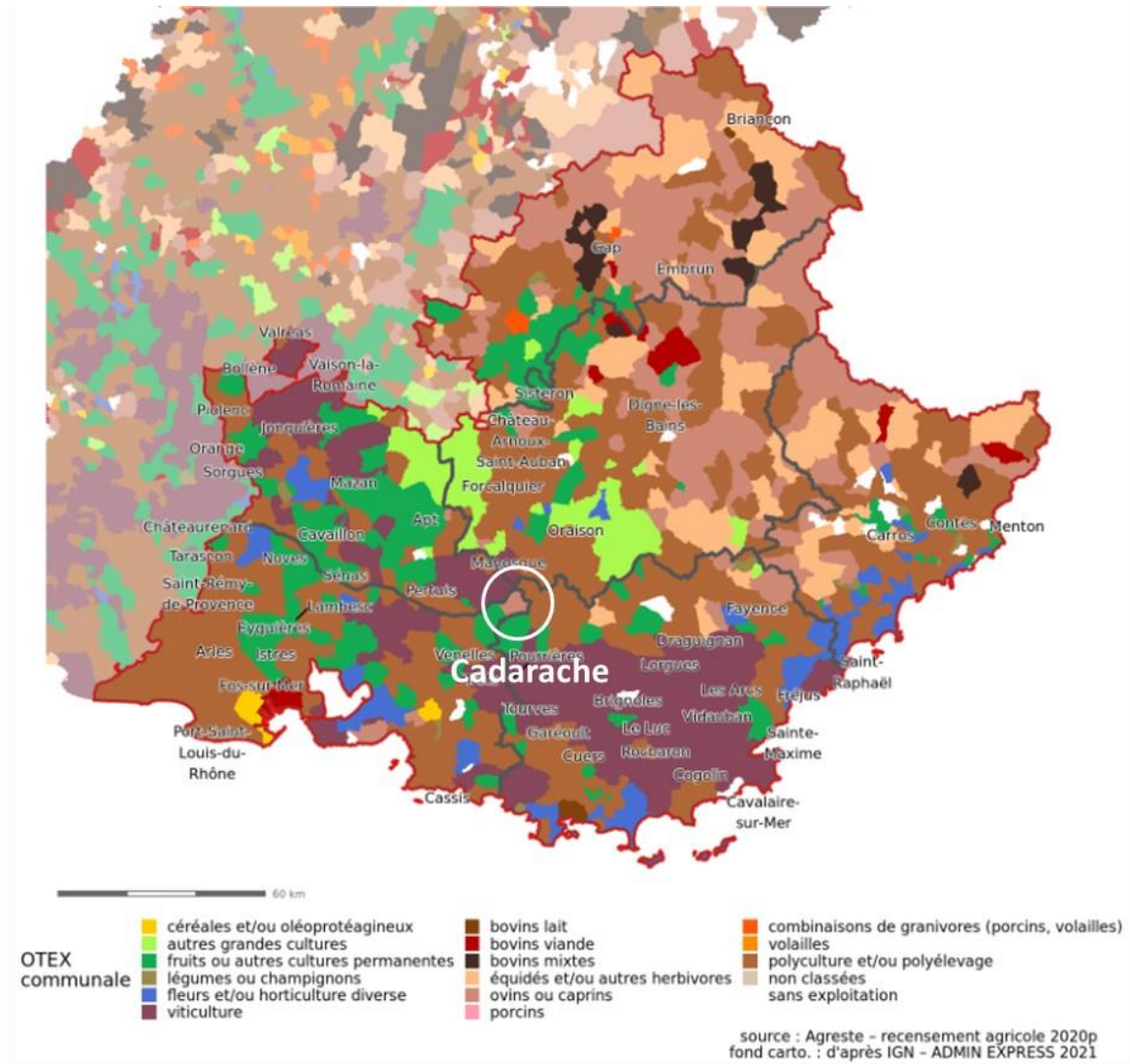


Figure 93 : Orientation technico-économique par communes pour la région PACA (Agreste RGA 2020)

L'économie agricole des régions avoisinant le site de Cadarache se partage entre plusieurs activités conditionnées par l'altitude des terrains :

- * sur les hautes terres et collines : soit des forêts ou des peuplements arbustifs déjà décrits, soit des prairies naturelles ou artificielles servant de pacage, soit des cultures de plantes à parfums (lavande principalement) ou médicinales (sauge principalement), soit de la vigne ;
- * dans les fonds de vallée ou les terres irrigables : des cultures vivrières diverses dans des zones très particularisées (rives de la Durance entre Manosque et Avignon, nord-ouest d'Aix entre cette agglomération et la Durance, zone sud du Luberon dans un polygone ayant pour sommets Lauris, la Bastide-des-Jourdans, Mirabeau, Pertuis, et enfin au sud de Cadarache aux alentours de Rians).

Il est difficile de disposer d'éléments représentatifs permanents qui sont en effet liés :

- * aux choix effectués par les agriculteurs en fonction de la météorologie, des demandes du marché, des directives régionales, nationales ou européennes ;
- * à la période de l'année : telle parcelle plantée en céréales jusqu'au mois de juillet sera, pendant l'été plantée en melon, ou restera en jachère.

On peut néanmoins constater que les orientations technico-économiques des communes situées dans un rayon de 5 km autour du Centre de Cadarache ont relativement peu évolué entre 2000 et 2020 comme le montre le Tableau 101 :

Orientations technico-économiques des communes dans un rayon de 5 km autour du Centre de Cadarache			
Commune	2000	2010	2020
Beaumont-de-Pertuis	Viticulture	Viticulture	Viticulture
Corbières	Viticulture	Viticulture	Viticulture
Ginasservis	Polyculture / polyélevage	Polyculture / polyélevage	Polyculture / polyélevage
Jouques	Polyculture / polyélevage	Fruits et autres cultures permanentes	Fruits et autres cultures permanentes
Mirabeau	Viticulture	Viticulture	Viticulture
Rians	Polyculture et polyélevage	Polyculture / polyélevage	Fruits et autres cultures permanentes
Saint-Paul-lès-Durance	Céréales et oléoprotéagineux	Céréales et oléoprotéagineux	Ovins ou caprins
Vinon-sur-Verdon	Cultures générales (autres grandes cultures)	Cultures générales (autres grandes cultures)	Polyculture / polyélevage

Tableau 101 : Orientations technico-économiques des communes sur un périmètre de 5 km autour du Centre de Cadarache (RGA 2020)

7.3.3- Organisation de la profession et labels

Chaque branche d'activité a sa propre organisation. Les céréales sont vendues directement aux utilisateurs (minotiers, fabricants de pâtes, etc.) par les coopératives. La commercialisation des fruits et légumes se fait principalement à un niveau individuel, soit par l'intermédiaire de négociants, soit par vente directe sur les marchés régionaux. Les cultures fourragères, peu utilisées directement sur les exploitations, sont vendues à des négociants.

La viticulture

La production viticole à proximité du Centre de Cadarache s'est organisée pour partie en producteurs indépendants (à Beaumont-de-Pertuis, à Gréoux-les-Bains, à Mirabeau, etc.) et pour partie en caves coopératives.

Les producteurs de Beaumont-de-Pertuis et de Mirabeau peuvent prétendre au label Indication Géographique Protégée (IGP) « Vin de pays d'Aigues », de même que ceux des communes vauclusiennes du sud-Luberon pour les vins qui ne peuvent avoir l'appellation d'origine contrôlée « Côtes-du-Luberon ».

La pomme de terre de Pertuis

La confrérie de la pomme de terre de Pertuis a été créée en 2008 et le 29 janvier 2010 la pomme de terre de Pertuis devient une marque. Cultivée dans la région de Pertuis, Cadenet, Lambesc, Peyrolles, elle est conditionnée en sacs portant le logo officiel de la « Pomme de terre de Pertuis ».

L'agneau de Sisteron

Les agneaux élevés pendant 60 jours minimum avec la mère en bergerie, âgés de 70 à 150 jours et d'un poids de 13 à 19 kg peuvent prétendre à l'IGP label rouge Agneau de Sisteron.

Le miel de Provence

Les apiculteurs produisant du miel ayant les caractéristiques suivantes : miel monofloral ou polyfloral, y compris miel de miellat, issu de la flore spontanée de Provence ou d'une culture spécifique à la Provence, à l'exception des cultures de colza, de tournesol ou de luzerne ainsi que toute autre culture non spécifique avec des pollens spécifiques à la Provence, spectre pollinique des miels devant, dans tous les cas, présenter une spécificité provençale peuvent prétendre à l'appellation IGP Miel de Provence.

Huile d'olive de Provence AOC

Pour pouvoir postuler à l'AOC, l'huile d'olive de Provence doit être élaborée à base des variétés aglandau, bouteillan, cayon, salonenque ainsi que celles dénommées localement brun, cayet, petit ribier et belgentiéroise. Il faut au moins deux de ces variétés principales présentes au sein de l'oliveraie. Plusieurs oliveraies à proximité de Cadarache peuvent prétendre à ce label, notamment sur la commune de Mirabeau.

7.4- Activités industrielles

La figure suivante indique la localisation des sites industriels les plus importants dans un rayon de 80 km autour de Cadarache.

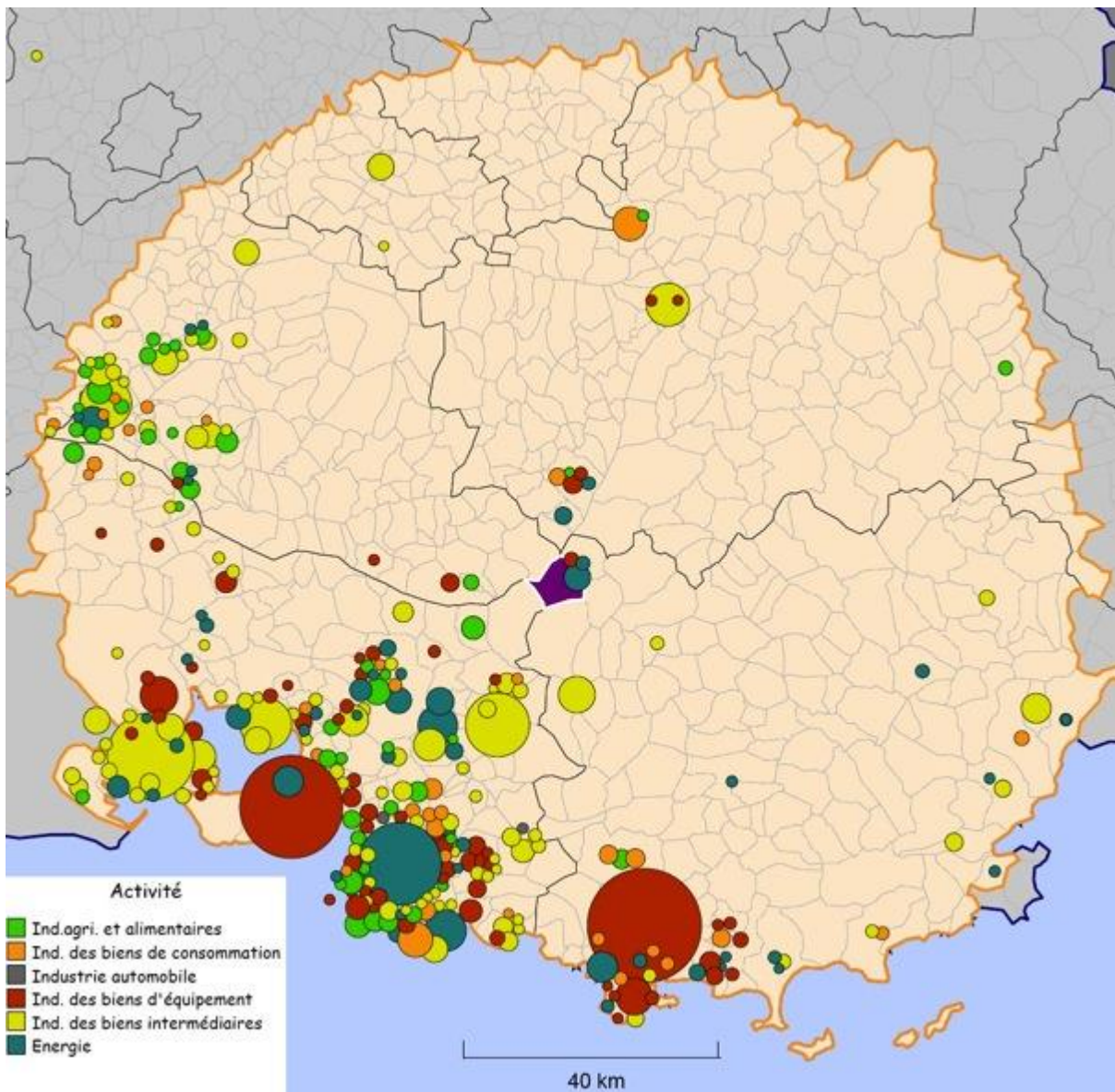


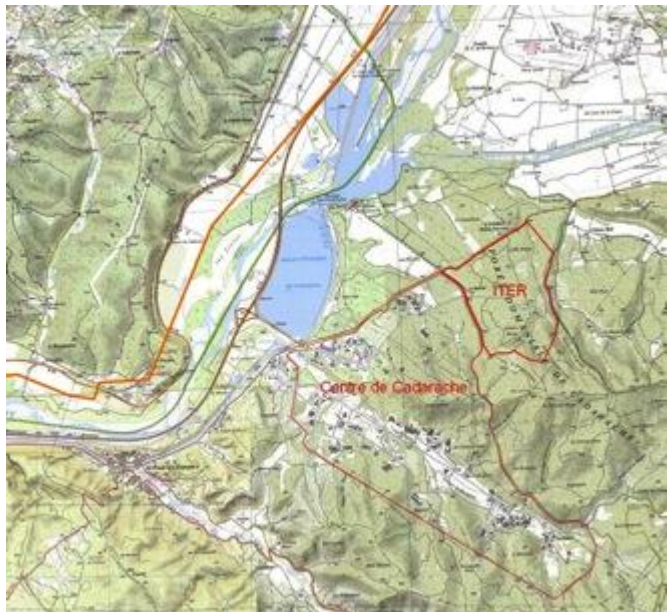
Figure 94 : Carte des principaux sites industriels autour du Centre de Cadarache

Le Centre de Cadarache est éloigné des grandes agglomérations et des grands centres industriels. Les concentrations industrielles importantes se situent à plus de 50 km (usines chimiques Arkema à Saint-Auban et Sanofi à Sisteron au nord, agglomération marseillaise au sud et périphérie de l'Étang de Berre au sud-ouest).

Dans un rayon de 20 km autour du Centre de Cadarache, se sont développées des zones industrielles de taille plus modeste qui accueillent notamment beaucoup de sous-traitants du CEA. C'est en particulier le cas à Saint-Paul-lez-Durance et Vinon-sur-Verdon, mais aussi à Manosque et Sainte-Tulle dans les Alpes de Haute-Provence. A Manosque (20 km au nord), on trouve des entreprises spécialisées en mécanique de précision, en électronique ou en optique, ainsi qu'en traitement des déchets.

L'activité industrielle la plus importante de la vallée de la Durance concerne la production et la distribution d'énergie hydroélectrique. L'ensemble hydraulique comprend 18 centrales représentant une puissance de 2 000 MW. Celles-ci sont pilotées à distance, à partir d'un poste de commande centralisée localisé à Sainte-Tulle à 10 km au nord de Cadarache. Les centrales les plus proches de Cadarache sont celles de Sainte-Tulle (10 km), Beaumont-de-Pertuis (5 km) et Jouques (8 km).

A Manosque il existe un site de stockage souterrain pour les hydrocarbures et le méthane, dans des cavités de sel, équipé dès la fin de 1992. L'exploitation du gaz rend nécessaire la constitution d'un stockage permettant un meilleur équilibre des ressources et des pointes de consommation sur le réseau national. La liaison avec l'artère principale qui passe au sud d'Aix-en-Provence s'effectue par une canalisation de 68 km de long et de 750 mm de diamètre nominal. Elle transporte le méthane humide à la pression maximale de 80 Bar. Le cheminement de la canalisation est représenté sur la carte ci-contre. Celle-ci passe à 1,5 km de la limite ouest du site. Les vannes de sécurité sont installées au nord de Peyrolles et à Sainte-Tulle, à 10 km environ du site de Cadarache.



Trajet de la conduite de gaz

Deux pipelines passent par ailleurs à plus de 15 km au nord-ouest du site. Ils relient la zone de Fos sur Mer à Manosque (GEOPIPE) pour le transport d'hydrocarbures ou à Saint-Auban pour le transport d'éthylène gazeux.

Un recensement des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation ou à autorisation avec servitude a été réalisé auprès des DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) des quatre départements 04, 13, 83 et 84. Il en ressort qu'aucune ICPE de ce type n'est présente dans un rayon de 10km autour du site. Quant aux ICPE soumises à déclaration, le recensement effectué auprès des préfetures et l'analyse des activités pratiquées, croisées avec leur éloignement montre que celles-ci n'engendrent pas de risques particuliers pour le Site de Cadarache.

7.5- Activités de loisirs

La région constitue une zone touristique appréciée. Dans un rayon de 20 km à l'est, au nord et à l'ouest de Cadarache séjournent, en été, plus de 10 000 touristes dans les villages provençaux et dans les bases de loisirs, le long du Verdon.

La région possède un grand nombre de sites historiques attractifs (pays d'Aix, d'Arles et le littoral) et des festivals permanents et dispersés sur le territoire. Près d'Aix, se trouvent par exemple le village de Lambesc dont bon nombre de bâtisses sont protégées, Lançon-de-Provence qui domine la plaine de la Durance, le village de La Roque d'Anthéron avec son abbaye (Silvacane), le village de Vauvenargues.

A 10 km à vol d'oiseau du site se trouve le village de Gréoux-les-Bains qui possède un établissement thermal affilié à la chaîne thermale du soleil, ouvert entre mars et décembre. Le thermalisme était présent à Gréoux dès l'antiquité, à présent troisième centre thermal français. Les affections traitées concernent la rhumatologie et les voies respiratoires. Environ 27 000 personnes suivent chaque année une cure d'une durée de 6, 12 ou 18 jours.



Les thermes de Gréoux-les-Bains

Les zones d'intérêt touristique les plus proches du site de Cadarache sont, outre Gréoux-les-Bains, le lac d'Esparron, dont l'extrémité ouest est à moins de 15 kilomètres à vol d'oiseau du site et Manosque (ville historique, lieu de vie de Jean Giono, lac de baignade) à environ 20 kilomètres. On peut également citer Mirabeau (5 km), dont la fontaine a servi de lieu de tournage pour le film *Manon des Sources* et dont le défilé est non seulement célèbre, mais propice à l'escalade.

Enfin à Vinon-sur-Verdon se trouvent un aérodrome de tourisme (aviation légère, planeurs, ULM), un club de canoë-kayak sur le Verdon, un ranch et un parc d'aventures et d'attractions animalières.

7.6- Zones de servitude

Les seules servitudes occasionnées par le site de Cadarache sont celles relatives à la restriction de la circulation aérienne.

7.7- Patrimoine culturel et historique

Le patrimoine culturel et historique est très riche dans la région. Ce bref aperçu se limitera au site de Cadarache et aux éléments de patrimoine les plus marquants à proximité immédiate.

7.7.1- Le domaine de Cadarache

Déjà, au néolithique supérieur (environ 3 000 ans avant J.C), les premiers essais industriels des hommes de la moyenne Durance qui vivaient en aval de Saint-Paul ont laissé des traces : des silex taillés, des os ouvrés, ainsi que d'importants débris de poterie.

À l'âge des métaux, les indices de la présence humaine se multiplient dans le périmètre même de Cadarache. Ensuite, De nombreux vestiges témoignent d'une permanence d'un habitat sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance, du 1^{er} au 5^{ème} siècle après J.C. Le site de Cadarache se situait sur la voie romaine qui reliait Aix-en-Provence à Riez, puis vers les Alpes et Fréjus.

196

Partie 1



La nécropole reconstituée sur le Centre de Cadarache

C'est en 1964, lors de travaux de terrassement liés à l'extension du Centre, que fut mis au jour un ensemble de cimetières allant du premier âge du fer (6^{ème} siècle avant J.C) à l'époque des invasions barbares (3^{ème} au 5^{ème} siècle).

Les fouilles réalisées en 1964 ont mis à jour 198 sépultures ; les archéologues ont alors découvert des ossements et objets divers (assiettes et vases en céramique).

Les quelques tombeaux reconstitués en surface, datent de l'époque mérovingienne (5^{ème} et 6^{ème} siècle après J.C).

Il faut attendre le début du 11^{ème} siècle pour trouver la première mention de Cadarache dans les textes, en 1066, le domaine était la propriété de Hughes de Cadarache. Un premier château a probablement été détruit vers 1386, pendant la guerre contre Raymond de Turenne qui ravagea la Provence. Dans l'enceinte du château, se trouvait aussi un village avec une population relativement nombreuse jusqu'au 13^{ème} siècle. Le village est tombé en ruines à la fin du 14^{ème} siècle. Il n'en reste plus rien aujourd'hui.

Le château a été reconstruit au 15^{ème} siècle. Outre les fondations, qui suivent probablement le contour du rocher, ne subsistent de cette époque que quelques pans d'une enceinte primitive et la porte d'entrée au nord qui présente des caractères anciens. Les écuries (aujourd'hui, la Ferme) sont au moins aussi anciennes et remontent au 13^{ème} ou 14^{ème} siècle. Le château est inscrit au répertoire des monuments historiques depuis 1925.

Le domaine de Cadarache a toujours appartenu à d'illustres familles, mais il ne constitua jamais la pièce maîtresse d'une fortune foncière. Il a donc rarement été une résidence principale, mais plutôt un agréable lieu de séjour campagnard voué aux parties de chasse.

En 1905, le domaine fut légué par testament à la commune d'Embrun. Au début du 20^{ème} siècle, seule la chasse restait vivace et elle fut louée à un groupe d'hommes d'affaires marseillais. Le domaine fut vendu en 1914 et par un jeu d'échange avec des forêts en Gironde, il échut à l'État.



La cour intérieure du château de Cadarache

L'Administration des Eaux et Forêts le transformera en un parc pour le repeuplement du gibier au début des années 30. Sur une surface boisée de 170 hectares, des aménagements considérables furent entrepris pour l'élevage des faisans, perdrix, lièvres, chevreuils... jusqu'à l'introduction surprenante de mouflons de Corse en 1935, prévus pour être réintroduits en Yougoslavie et en Pologne. Mais comme entretemps le roi de Yougoslavie mourut, personne ne réclama les mouflons qui sont restés à Cadarache et ont prospéré depuis. Cette même année, le domaine fut à nouveau transformé, cette fois en école nationale des garde-chasses.

En 1959, le CEA qui cherchait un nouveau Centre est autorisé à venir s'installer à Cadarache. Cet endroit présentait en effet de nombreux atouts comme le rappela le Haut-commissaire de l'époque, Francis Perrin, lors de l'inauguration du Centre en 1963 : « près d'une ville universitaire, sans expropriation, des sols propices aux constructions lourdes, près d'une rivière pour le refroidissement, dans une région attrayante ».

7.7.2- Les falaises de Saint-Eucher

Au bord de la Durance, sur la rive opposée au site de Cadarache se trouvent les falaises de Saint-Eucher, du nom de l'évêque de Lyon de 435 à 449. Auparavant, celui-ci fut sénateur d'Aquae-Sextiae (Aix-en-Provence), puis moine dans les îles de Lérins et enfin ermite dans les falaises qui portent son nom.

Afin de s'isoler d'un monde, qu'il avait connu civilisé et qui sombrait dans la barbarie, Eucher vécut dans une grotte murée et seules Galla, son épouse, Tullia et Consortia ses deux filles purent le visiter et lui apporter sa pitance. Mais en 434, la réputation de l'ermite du Luberon était telle, qu'à la mort de l'évêque de Lyon, on descendit le chercher dans sa solitude provençale pour le placer sur le trône épiscopal. Un martyrologue lyonnais du 8^{ème} siècle précise d'ailleurs qu'Eucher fit de la résistance puisque l'archidiacre chargé de cette mission dut casser le mur de la grotte et l'obliger à le suivre pour être sacré à Lyon.



Prélèvement d'eau au pied des falaises de St-Eucher

Dès son arrivée à Lyon, son premier souci fut d'écrire à sa fille Tullia pour lui ordonner de prendre sa place dans sa grotte. Décédée peu après sa claustration, celle-ci fut ensevelie dans une crypte rupestre, sur un site appelé depuis lors Tullæ, qui fut ensuite transformé en Sainte-Tulle, village à quelques kilomètres en amont des falaises. Au Moyen Âge, son sépulcre fut recouvert par une chapelle.

7.7.3- Le pont de Mirabeau et le défilé de Canteperdrix

Le rétrécissement de la Durance, quelques kilomètres en aval de Cadarache sur la commune de Mirabeau, où la rivière se fraye un chemin entre deux falaises de calcaire abruptes, le défilé de Canteperdrix (site d'escalade sur la rive droite), a donné lieu à quatre ponts successifs. L'ancienne route romaine qui reliait Aix-en-Provence à Riez passait en ce lieu et l'on utilisait des bacs à chaîne dès la première moitié du 18^{ème} siècle.

Le pont édifié au 15^{ème} siècle fut en partie détruit quatre fois en 1440, 1635, 1843 et 1881 par une Durance déchaînée, au débit multiplié par cent. Il fut chaque fois reconstruit car son péage était lucratif.

Après deux projets de pont non retenus en 1816 et 1817, Marc Seguin évoque l'idée d'un pont suspendu en 1825. C'est Jean-François Théophile Sauzet qui l'exécute en 1831. Le pont est de type « fil de fer » sur 150 m de long pour 5,50 m de large. Les suspensions sont arrimées à deux immenses portiques néo-roman encore debout aujourd'hui (inscrits Monument historique le 6 juillet 1988). Achevé en 1835, il est emporté par la crue millénale le 2 novembre 1843 et reconstruit en 1845.

Ce pont, détruit pendant la Première Guerre mondiale, est remplacé par un pont d'une travée unique de 175 m de long surplombant la Durance à 14 m de hauteur et doté de deux pylônes en béton armé de 22 m de haut. L'ouvrage est achevé en juillet 1935, une sculpture et un bas-relief sont exécutés par Antoine Sartorio et symbolisent les quatre départements limitrophes. On disait que le pont de Mirabeau (troisième du nom) avait un pied dans chacun des quatre départements limitrophes (Alpes-de-Haute-Provence, Bouches-du-Rhône, Var et Vaucluse) et chacun des piliers illustre son département par une frise.



Le troisième pont de Mirabeau (en 1961)

Durant la libération, les Alliés, voulant retarder la retraite des chars allemands, le firent bombarder sans succès par leur aviation pendant trois jours. Finalement ce furent les résistants qui le firent sauter le 17 août 1944. Il fut reconstruit en 1947.

L'actuel pont moderne date de 1988 et les frises de Sartorio se trouvent désormais réunies au centre du giratoire, situé sur la rive gauche de la Durance.



Pont de Mirabeau actuel et détail des frises d'Antoine Sartorio

7.7.4- Chapelle de la Madeleine

A quelques dizaines de mètres en amont se trouve la chapelle de Cante Perdrix, dite à l'époque Sancte Marie de Roca Ruffa, possession de l'Abbaye de Villeneuve-lès-Avignon. Ce prieuré, un des plus anciens de Provence (fin du 12^{ème} siècle) dédié à la Madeleine, était le lieu de culte d'une confrérie de bateliers-pontoniers de la Durance. Sa façade conserve une inscription latino-provençale au sujet d'une éclipse du 13^{ème} siècle : « *L'an du Seigneur 1239, le 3 des nonnes de juin, le soleil s'est obscurci. Réfléchis, prends garde, si tu commences comment tu finiras. Qui bien fera, bien [finira]* ».



Chapelle de la Madeleine (ou de Cante Perdrix)

7.8- Paysages

Le site Internet du Grand site de la Sainte-Victoire qualifie le paysage autour de Cadarache ainsi : (<http://www.grandsitesainte victoire.com>).

« **Cadarache entre Durance et Haut-Var...**

Cette unité, tout en contraste, est formée de collines boisées et de vallons cultivés qui rythment le paysage. Cet ensemble typique de la montagne de Basse Provence est formé de chênaies blanches et de pinèdes, denses et âgés. La présence des ripisylves de la Durance et de l'Abéou offre une



Sur les hauteurs de Saint-Paul-lez-Durance

(auteur Simone Dominati)

linéarité boisée et une couleur particulière le long des cours d'eau. Le domaine de Cadarache est adossé à une succession de collines basses de chênaies blanches et pinèdes. La diversité des essences et l'âge des peuplements marquent cette forêt domaniale et lui confèrent une exceptionnalité forestière, rare dans le département. Les collines ne dépassent pas 338 m d'altitude et présentent un relief moins accidenté que Concors. Espace perçu mais interdit, le complexe industriel de Cadarache marque fortement le paysage et contraste avec l'ambiance « naturelle » du lieu ».

On pourrait également ajouter que le site de Cadarache a su se faire discret, ses installations étant le plus souvent peu élevées et intégrées dans le paysage de sorte à minimiser leur impact visuel.

Une autre réalisation de l'homme a également marqué le paysage, il s'agit de l'aménagement de la Durance, notamment le canal EDF et le barrage de Cadarache.



Saint-Paul-lez-Durance et le canal EDF

Dans un rayon de 30 kilomètres autour de Cadarache se trouvent des paysages célèbres dans le monde entier : la montagne de la Sainte-Victoire au sud-est, celle de la Sainte-Baume au sud, le lac de Sainte-Croix à l'est et l'entrée des gorges du Verdon, les falaises de Moustiers-Sainte-Marie au nord-est et le Luberon au nord-ouest.

Autour de Cadarache, il n'existe cependant aucun site classé.

Le site de Cadarache se trouve aux confins de deux unités paysagères : « la vallée de l'Abéou - le plateau de Cadarache » et « la vallée de la Moyenne Durance ».

Les cartes suivantes présentent les enjeux paysagers (ces cartes sont issues de l'atlas des paysages publié par le Conseil général des Bouches-du-Rhône <https://www.cg13.fr/a-la-decouverte-du-13/atlas-de-paysages/?L=0>).

L'atlas des paysages entre dans le cadre législatif de la loi dite « Paysage » (loi n° 93- 24 du 8 janvier 1993 sur la protection et la mise en valeur des paysages) et de la loi dite « Barnier » (loi n° 95- 101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement qui classe le paysage comme « patrimoine commun de la nation »).

La nécessité d'intégrer la dimension paysagère aux décisions et aux projets d'aménagement ont encouragé une politique d'inventaires départementaux des paysages pour disposer d'une connaissance partagée et concertée en la matière qui soit un document de référence. La démarche est menée par les Services de l'État (DIREN (maintenant DREAL), DDE selon les cas) auxquels sont associées les Collectivités Locales ou bien à l'initiative de ces dernières.

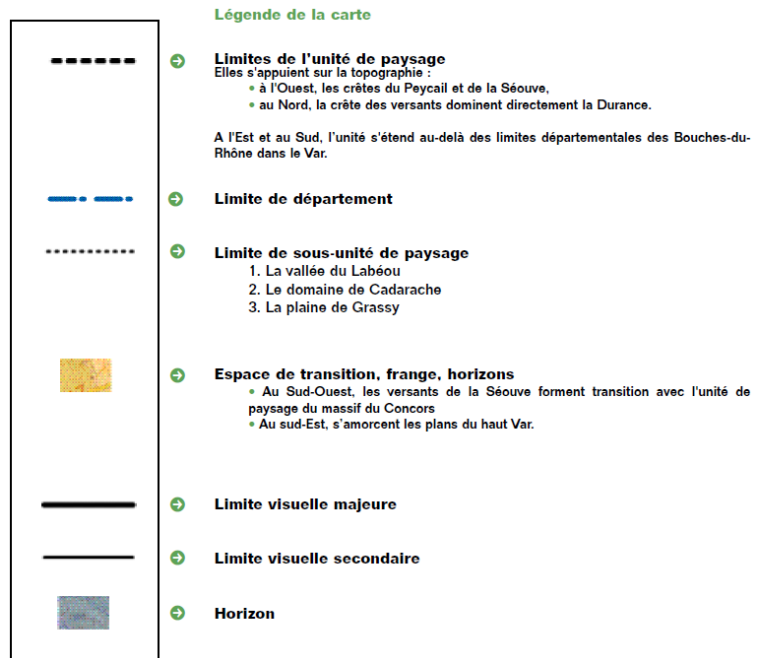
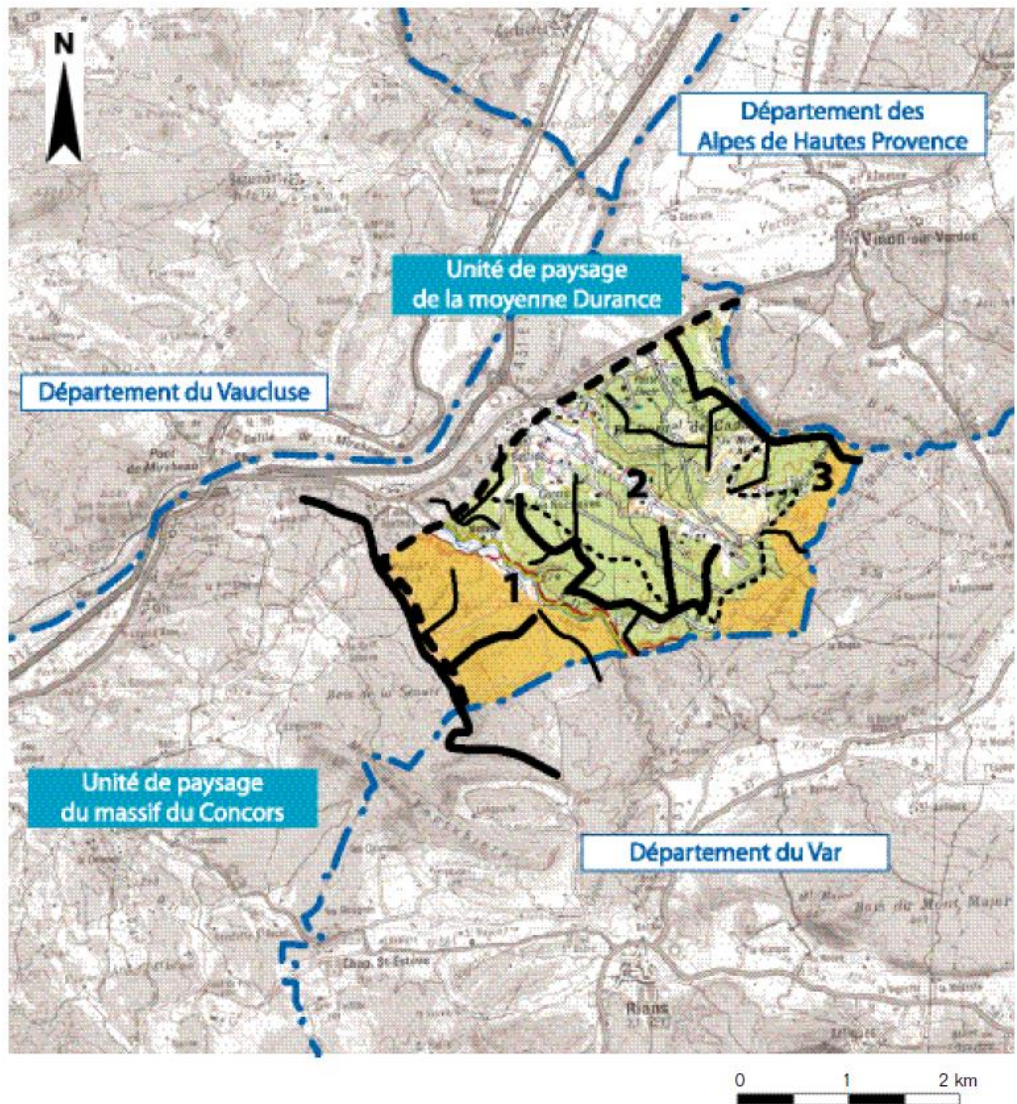
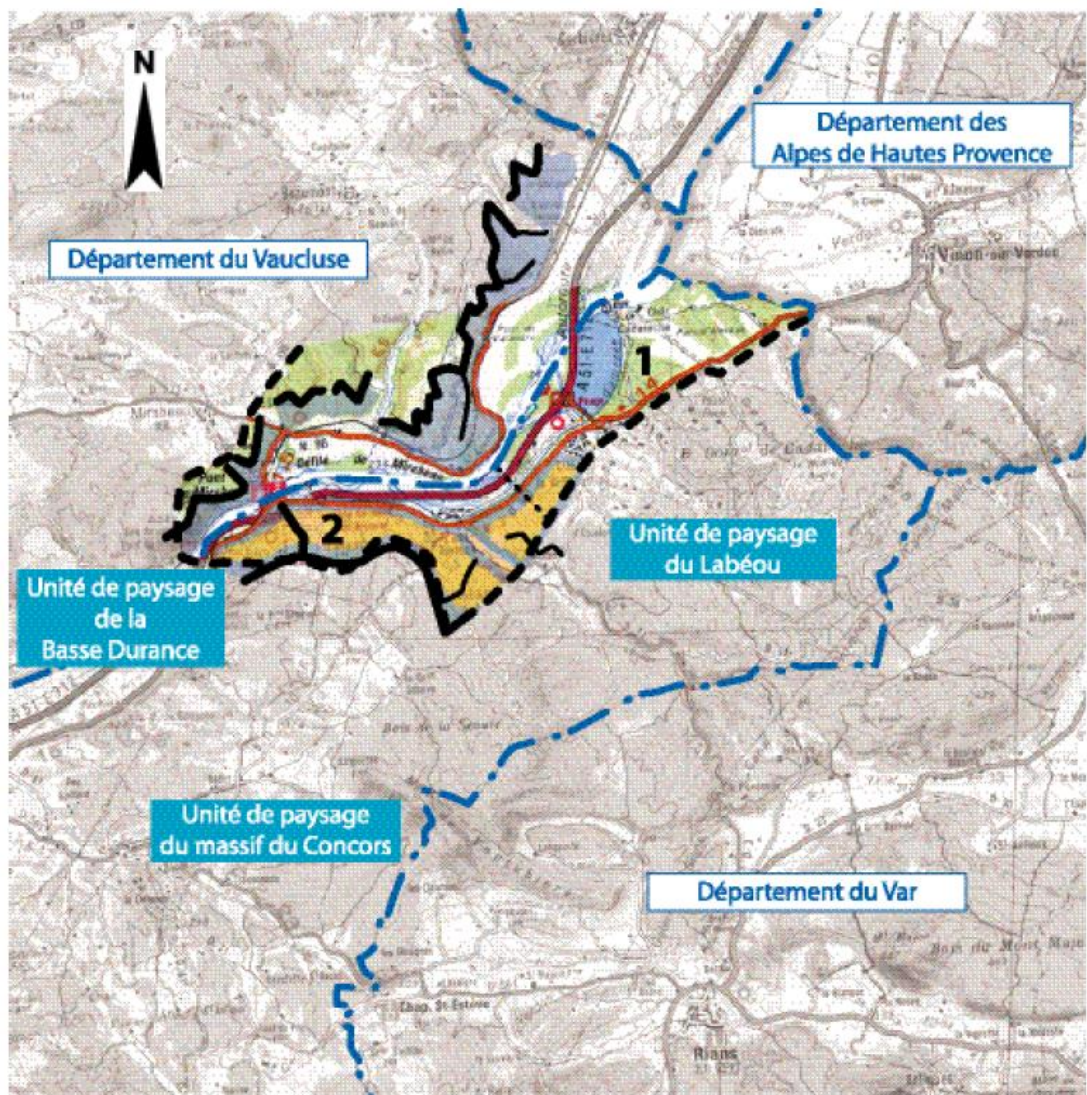


Figure 96 : Unité de paysage de la vallée de l'Abéou et du plateau de Cadarache



0 1 2 km

Légende de la carte








	➤ Limites de l'unité de paysage Ce secteur de l'unité de paysage de la moyenne Durance qui s'étend sur les Bouches-du-Rhône correspond à la rive gauche de la vallée, depuis la confluence avec le Verdon jusqu'au défilé de Mirabeau. Les versants périphériques constituent les limites visuelles et le cadre paysager de la vallée. Ils ont une importance variable dans la composition paysagère, selon les rapports d'échelle entre leur dénivelé et la largeur de la vallée. Ces versants sont marginaux au niveau de Cadarache où la largeur et l'ouverture du site les relèguent en limite lointaine. Ils définissent la vallée au niveau du défilé de Mirabeau.
	➤ Limite de département
	➤ Limite de sous-unité de paysage 1. Le site de Cadarache 2. Le défilé de Mirabeau
	➤ Espace de transition, frange, horizons Dans tous les cas, la morphologie des versants et leur couvert végétal les lient aux unités de paysage contiguës, celle du massif du Concors et celle du Labéou. Ils forment ainsi transition entre ces unités et la vallée de la moyenne Durance.
	➤ Limite visuelle majeure
	➤ Limite visuelle secondaire
	➤ Horizon

Figure 97 : Unité de paysage de la vallée de la Moyenne Durance

7.9- Environnement sonore

7.9.1- Réglementation

L'article 4.3.5 de l'arrêté du 7 février 2012²⁴ modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (arrêté INB) précise que : « *Toute installation nucléaire de base doit être conforme aux dispositions de limitation du bruit fixées à l'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1997 dans sa version mentionnée en annexe I²⁵, sauf disposition contraire fixée par décision de l'Autorité de sûreté nucléaire prise en application du 3° du IV de l'article 18 du décret du 2 novembre 2007, eu égard aux caractéristiques particulières de l'installation ou de son environnement et après avis du conseil départemental mentionné à l'article R. 1416-1 du code de la santé publique.*

Ces dispositions ne sont pas applicables en cas de fonctionnement exceptionnel d'organes contribuant à la sûreté nucléaire. Elles excluent également la prise en compte des bruits permanents produits par les ouvrages implantés en cours d'eau.

Le respect des dispositions relatives aux niveaux de bruit s'apprécie en limite d'établissement. »

L'article 3 de l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), indique que les émissions sonores des installations ne doivent pas engendrer une émergence supérieure aux valeurs admissibles fixées dans le tableau suivant, dans les zones où celle-ci est réglementée.

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergence réglementée (incluant le bruit des installations)	Émergence admissible pour la période allant de 7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés	Émergence admissible pour la période allant de 22h à 7h, ainsi que les dimanches et jours fériés
Supérieur à 35dB(A) et inférieur ou égal à 45dB(A)	6dB(A)	4dB(A)
Supérieur à 45dB(A)	5dB(A)	3dB(A)

Tableau 102 : Niveaux réglementaires en matière de bruit fixés par l'arrêté du 23 janvier 1997

Les niveaux sonores en limite de site de Cadarache doivent en outre être inférieurs aux limites fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 soit :

- * le jour (7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés) : 60 dB(A) ;
- * la nuit (22h à 7h), les dimanches et jours fériés : 50 dB(A).

²⁴ L'arrêté « INB » a abrogé l'arrêté du 31 décembre 1999 fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base.

²⁵ Version en vigueur au moment de la parution de l'arrêté « INB », soit le 8 février 2012.

7.9.2- État des lieux

Le tableau suivant montre les résultats des mesures de bruit effectuées depuis 2013. Les limites de 60 dB(A) le jour et 50 dB(A) la nuit sont respectées.

Point de mesure	Niveaux relevés en 2013 dB(A)		Niveaux relevés en 2016 dB(A)		Niveaux relevés en 2019 dB(A)		Niveaux relevés en 2022 dB(A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
N° 1	59,0	38,0	47,0	42,5	51,0	44,5	45,0	46,0
N° 2	57,0	39,0	54,0	48,5	57,0	49,5	50,5	48,0
N° 3	44,0	41,5	39,0	43,0	47,5	44,0	43,5	43,5
N° 4	43,5	44,0	39,0	41,5	41,0	26,0	59,0	35,0
N° 5	40,0	22,5	36,0	34,0	35,0	33,0	36,5	30,5
N° 6	43,5	35,5	35,5	34,0	37,5	33,0	40	37,5

Tableau 103 : Mesures de bruit effectuées entre 2013 et 2022

Les points de mesure de niveaux de bruit sont repérés sur le plan du Centre, ci-après. L'installation PEGASE est entourée en bleu.

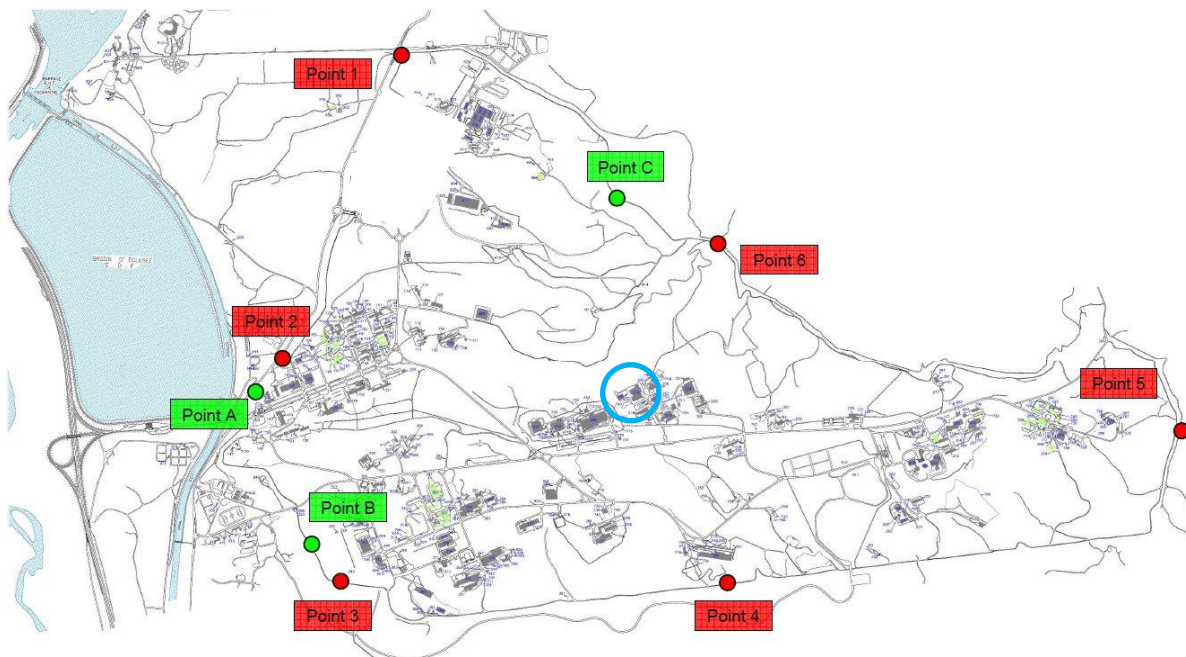


Figure 98 : Points de mesure de bruit

Trois points supplémentaires (A, B et C) ont été mis en place en limite de site (dans l'inter clôture) à 1,5 m au-dessus du sol pour obtenir le **bruit résiduel** servant au calcul d'émergence.

Le **bruit ajouté** par les installations du Centre de Cadarache, appelé **émergence**, a été calculé à partir des mesures effectuées aux points 1 à 6 et A à C.

Les résultats des trois dernières campagnes réalisées en 2016, 2019, et 2022 sont présentés dans les tableaux suivants.

Point	Emergence jour en dB(A)	Emergence max. jour autorisée en ZER ²⁶ - dB(A)	Emergence nuit en dB(A)	Emergence max. nuit autorisée en ZER - dB(A)
N° 1	0**	5	0**	4
N° 2	*	5	3,0	3
N° 3	0**	5	0*	4
N° 4	0**	6	1,0	3
N° 5	0	6	***	***
N° 6	0**	6	***	***

* : l'impact sonore de ce point de mesure correspond seulement au trafic routier, en effet, le micro du point n°2 est placé légèrement plus proche de la route que celui du point A ; ** : le niveau résiduel mesuré étant plus important que le niveau de bruit ambiant, l'émergence théorique serait négative, elle est donc imposée arbitrairement à zéro (traduit une absence de bruit ajouté) ; *** : niveau de bruit ambiant inférieur à 35 dB(A), l'indicateur d'émergence n'est pas applicable car il n'y a plus de seuils fixés par la réglementation

Tableau 104 : Bruit ajouté par les installations du Centre de Cadarache en 2016

Point	Emergence jour en dB(A)	Emergence max. jour autorisée en ZER - dB(A)	Emergence nuit en dB(A)	Emergence max. nuit autorisée en ZER - dB(A)
N°1	0*	5	0*	4
N°2	4,5	5	1,5	3
N°3	0*	5	2	4
N°4	5	6	1,0	4
N°5	0*	6	0*	4**
N°6	0,5	6	0*	4**

* : le niveau résiduel mesuré étant plus important que le niveau de bruit ambiant, l'émergence théorique serait négative, elle est donc imposée arbitrairement à zéro (traduit une absence de bruit ajouté) ; ** : l'émergence n'est plus directement réglementée pour des niveaux inférieurs à 35 dB(A). Pour établir le constat de conformité, le critère retenu est +4 dB (cas des niveaux entre 35 et 45 dB(A))

Tableau 105 : Bruit ajouté par les installations du Centre de Cadarache en 2019

Point	Emergence jour en dB(A)	Emergence max. jour autorisée en ZER - dB(A)	Emergence nuit en dB(A)	Emergence max. nuit autorisée en ZER - dB(A)
N°1	0	5	0	3
N°2	2,5	5	0,5	3
N°3	2	6	0,5	3
N°4	7	-*	0	3
N°5	1	6	0	3
N°6	3	6	0,5	3

* Il n'existe pas de ZER à proximité du point 4 donc il n'y a pas lieu de conclure sur la conformité de l'émergence en ce point, cette dernière est fournie seulement à titre indicatif.

Tableau 106 : Bruit ajouté par les installations du Centre de Cadarache en 2022

²⁶ ZER : Zone d'Emergence Réglementée.

Toutes les mesures réalisées sont conformes aux seuils fixés par la réglementation. D'une manière générale, le site est très peu perceptible, il est tellement étendu et vallonné que le bruit des installations est vite arrêté.

La principale source de bruit à proximité du site de Cadarache est due à la circulation routière. Cette constatation est confirmée par les mesures qui ont été réalisées en 2007 sur le site d'ITER, présentées dans le tableau suivant.

Point	Niveaux relevés en dB(A) – ITER - 2007	
	Jour	Nuit
Près de la clôture CEA, au sud d'ITER	33,5	31,5
Au nord du site ITER en limite	33,5	29,5
Bord de la route, face à la maison de l'ONF	48,5	32,5

Tableau 107 : Mesures de bruit réalisées en 2007 sur le site d'ITER

L'enjeu lié à la pollution sonore est faible. En effet, les premières habitations se trouvent à plus d'un kilomètre du Centre de Cadarache et de l'installation PEGASE.

7.10- Environnement lumineux

L'enjeu de la pollution lumineuse est lié, d'une manière générale, aux perturbations qu'elle peut engendrer sur l'observation du ciel, et sur la biologie des animaux (comportements migratoires, relations proies-prédateurs, dérangement des chauves-souris, etc.). Selon l'Association Nationale pour la Protection du Ciel et de l'Environnement Nocturnes (ANPCEN), les nuisances lumineuses touchent tout le territoire français, à la fois la population et les milieux naturels, et ont tendance à augmenter.

D'après la carte de pollution lumineuse établie en 2017 par l'association d'astronomie du Vexin AVEX, présentée ci-dessous, le site de Cadarache (dont la zone d'ITER, bien visible en partie nord) est une source de pollution lumineuse du même ordre de grandeur que celle des petites communes avoisinantes comme Vinon-sur-Verdon ou Rians : en échelle visuelle, coloration majoritairement verte et jaune (cf. échelle visuelle en page suivante). L'influence de Cadarache est très inférieure à celle des communes avoisinantes plus importantes (Manosque, Pertuis, Aix-en-Provence).

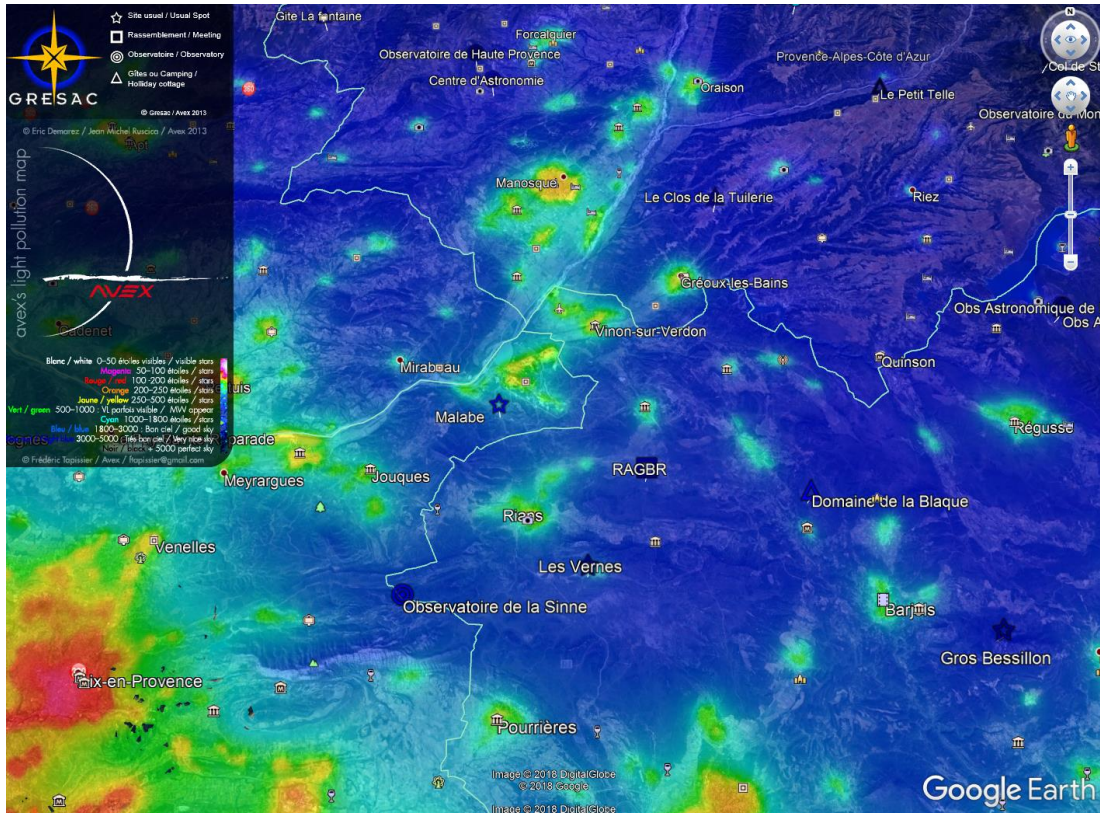
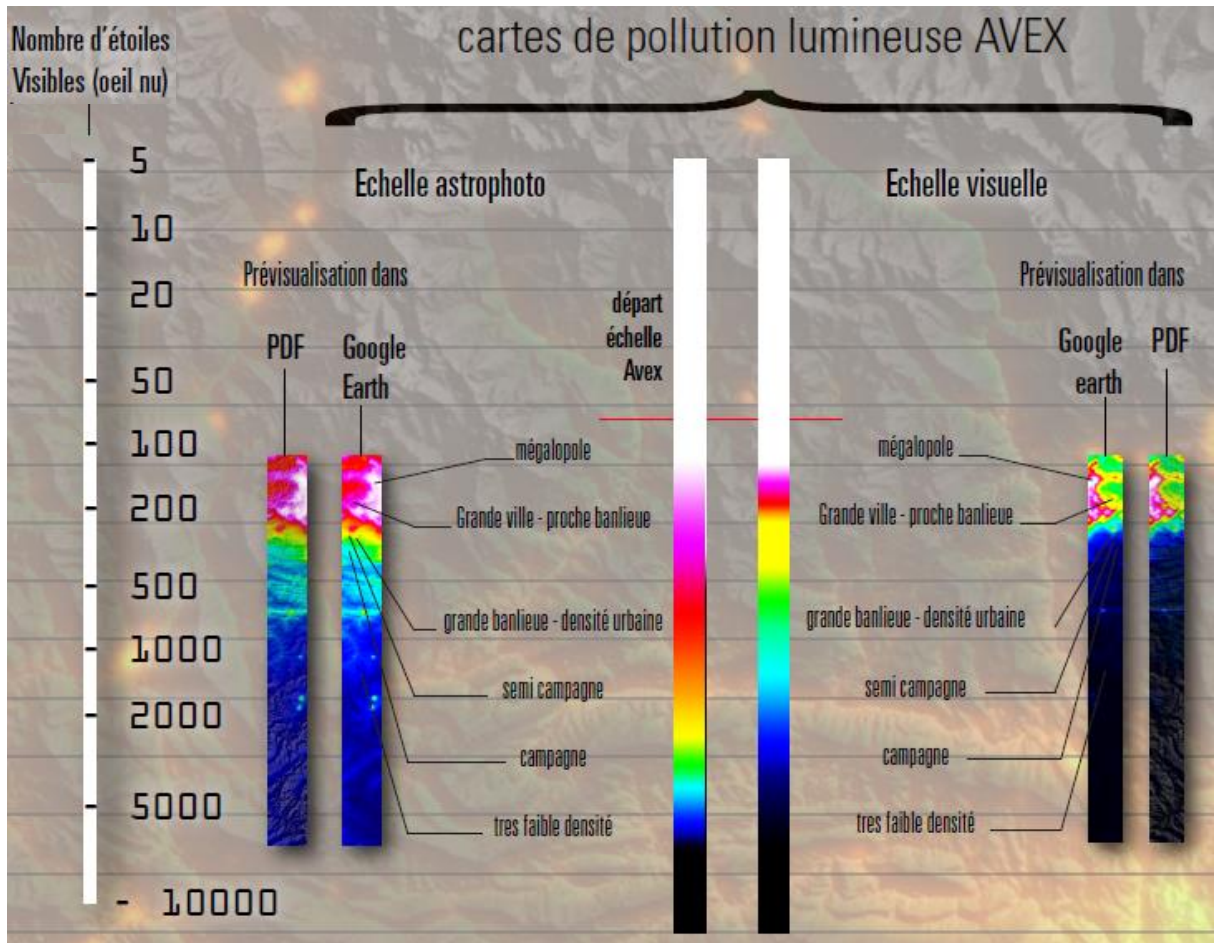


Figure 99 : Carte 2017 de pollution lumineuse en fausses couleurs Google Earth (source AVEX <https://www.avex-asso.org/>)



Blanc : 0-50 étoiles visibles (hors planètes) selon les conditions. Pollution lumineuse très puissante et omniprésente. Typique des très grands centres urbains et grande métropole régionale et nationale

Magenta : 50-100 étoiles visibles, les principales constellations commencent à être reconnaissables.

Rouge : 100 -200 étoiles : les constellations et quelques étoiles supplémentaires apparaissent. Au télescope, certains Messiers se laissent apercevoir

Orange : 200-250 étoiles visibles, dans de bonnes conditions, la pollution est omniprésente, mais quelques coins de ciel plus noir apparaissent ; typiquement moyenne banlieue.

Jaune : 250-500 étoiles : Pollution lumineuse encore forte. Voie Lactée peut apparaître dans de très bonnes conditions. Certains Messiers parmi les plus brillants peuvent être perçus à l'œil nu

Vert : 500-1000 étoiles : grande banlieue tranquille, faubourg des métropoles, Voie Lactée souvent perceptible, mais très sensible encore aux conditions atmosphériques ; typiquement les halos de pollution lumineuse n'occupent qu'une partie du Ciel et montent à 40 -50° de hauteur

Cyan : 1000-1800 étoiles : La Voie Lactée est visible la plupart du temps (en fonction des conditions climatiques) mais sans éclat, elle se distingue sans plus

Bleu : 1800-3000 : Bon ciel, la Voie Lactée se détache assez nettement, on commence à avoir la sensations d'un bon ciel, néanmoins, des sources éparses de pollution lumineuse sabotent encore le ciel ici et là en seconde réflexion, le ciel à la verticale de l'observateur est généralement bon à très bon

Bleu nuit : 3000-5000 : Bon ciel : Voie Lactée présente et assez puissante, les halos lumineux sont très lointains et dispersés, ils n'affectent pas notablement la qualité du ciel

Noir : + 5000 étoiles visibles, plus de problème de pollution lumineuse décelable à la verticale sur la qualité du ciel. La pollution lumineuse ne se propage pas au-dessus de 8° sur l'horizon

Figure 100 : Échelle visuelle et évaluation de la pollution lumineuse (Source : <https://www.avex-asso.org/>)

L'enjeu lié à la pollution lumineuse est relativement limité : il perturbe les observations du ciel et également le comportement de certains animaux nocturnes. Pour ce qui concerne la gêne des habitants, l'enjeu est faible, car il n'y a pas d'habitants à proximité de l'installation PEGASE. L'enjeu global est donc considéré comme faible.

7.11- Utilisation de l'énergie et des ressources naturelles

Les consommations en eau et en électricité de l'installation PEGASE depuis 2013 sont stables dans le temps, elles sont respectivement d'environ 300 m³/an et 160 000 kWh/mois.

Actuellement, une vingtaine de personnes environ sont présentes sur l'installation PEGASE.

Eau

Annuellement la consommation d'eau est relevée à hauteur de 300 m³. Cette valeur est à comparer à la consommation moyenne annuelle d'un foyer français de 2,5 personnes, évaluée selon l'INSEE à 120 m³/an.

Elle représente moins de 0,2 % de la limite annuelle de consommation autorisée pour le fonctionnement des installations nucléaires de base civiles du Centre de Cadarache²⁷, fixée à 170 000 m³/an, conformément à la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017.

Elle représente par ailleurs 2,2 % de la quantité d'eau réellement consommée par les INB 2018 (à savoir 13 748 m³, volume représentant seulement 8,1 % de la limite annuelle de prélèvement autorisée pour le Centre de Cadarache).

La consommation en eau du fonctionnement de l'installation PEGASE reste marginale par rapport aux limites de prélèvements autorisés du Centre de Cadarache.

L'enjeu sur la ressource en eau est jugé faible en raison des particularités locales : la ressource est en effet abondante, que ce soit dans les nappes alluviales de la Durance et du Verdon, ou dans les canaux de la Société du Canal de Provence et d'EDF. Cette relative abondance n'exclut pas la recherche d'économie.

La perturbation occasionnée sur les ressources en eau est donc considérée comme très faible sur la ressource globale en eau.

Matériaux

Les activités de l'installation PEGASE n'engendrent pas de consommation particulière ni significative de matériaux.

7.12- Voies de communication

7.12.1- Infrastructures routières

La figure suivante présente les principales voies de communication dans l'environnement du Centre de Cadarache.

²⁷ À l'exclusion des eaux de refroidissement du Réacteur Jules Horowitz (RJH).

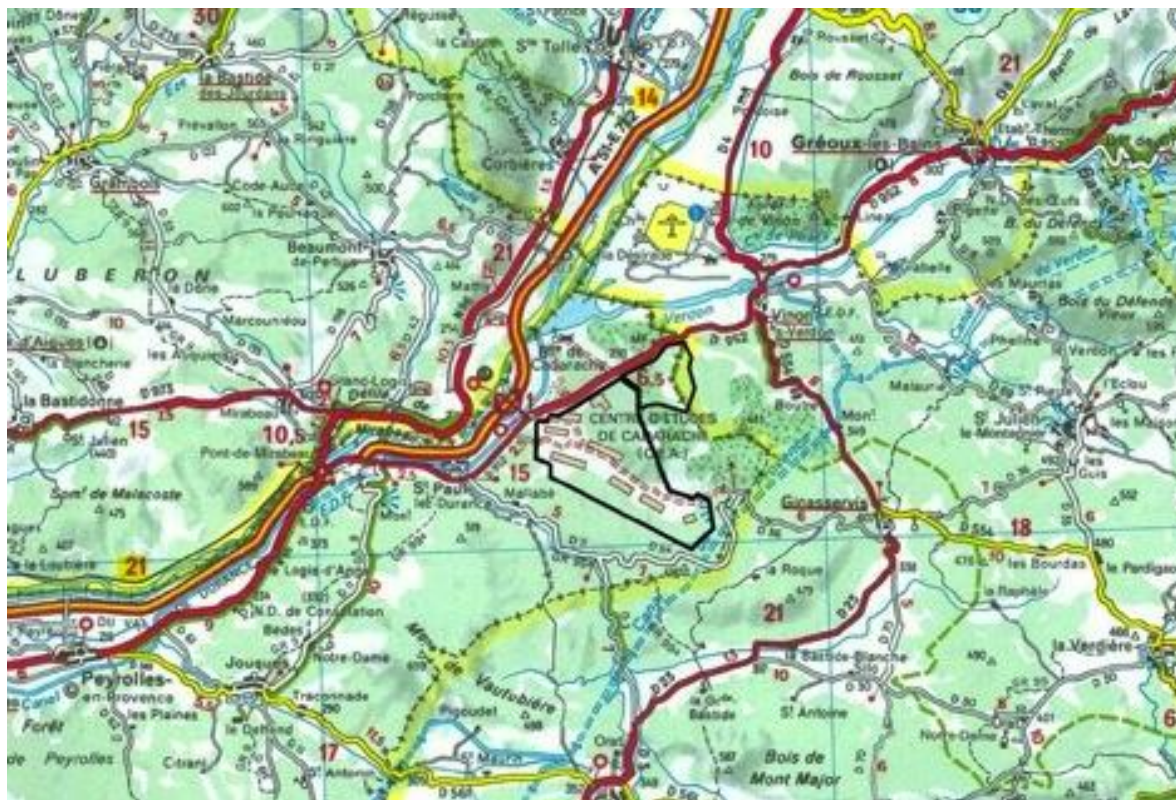


Figure 101 : Les voies de communication autour du CEA de Cadarache

Le site est accessible, à partir du sud (Aix-en-Provence, Marseille) et du nord (Manosque) par la Route Nationale 96, la Route Départementale 952 et l'autoroute A51 dont la bretelle d'accès de la gare de St-Paul-lez-Durance est reliée à la Route Départementale 952 par un rond-point situé devant l'entrée principale du Centre.

Outre la RD 952, les routes les plus proches sont la RD 11 et la RD 36 qui permettent d'accéder au Centre par la Porte de Ginasservis, côté est. Quinze portes réparties le long de la clôture permettent de rejoindre ces voies en utilisant des chemins forestiers. Elles peuvent être utilisées en cas de situation exceptionnelle.

Le chantier ITER est accessible par une seule entrée située sur la RD 952, de même que l'accès aux bureaux.

La RN 96 et la RD 952 sont de bonne qualité, d'au moins 7 mètres de large. Les autres voies sont de qualité moyenne.

La circulation sur la RN 96 est très importante mais a nettement chuté depuis la mise en service de l'autoroute A51. Sa fréquentation moyenne journalière est descendue en 2002 à 7 530 véhicules au sud du pont de Mirabeau et à 6 400 véhicules sur la portion la plus proche du site de Cadarache située dans le département du Vaucluse.

L'autoroute A 51 a absorbé de son côté en 2001 un trafic moyen journalier de 15 600 véhicules sur la section située entre Pertuis et Cadarache, et de 14 800 véhicules sur la section située entre Manosque et Cadarache. La différence entre ces 2 sections correspond essentiellement au trafic en provenance d'Aix-en-Provence lié à l'activité de Cadarache. Pour l'ensemble de ces données, la part de trafic correspondant aux poids lourds et aux cars est de 7 à 8 %.

En moyenne journalière annuelle, 3 810 véhicules ont emprunté la gare autoroutière de Saint-Paul-lez-Durance en 2001, dont 3 630 véhicules de tourisme et 180 cars ou poids lourds. La circulation en ce lieu est principalement due aux activités du site de Cadarache.

Il en est de même sur la route départementale 952 qui longe le Centre côté nord-ouest. Les comptages effectués par la DDE 13 indiquent pour 2002 un trafic moyen journalier de 5 730 véhicules au nord de l'entrée du Centre et de 5 710 véhicules du côté de Saint-Paul-lez-Durance. Les pointes principales se situent aux heures de début et de fin de journée (7h-9h et 16h-17h).

Les autres routes départementales, plus éloignées, ont une fréquentation moindre. En particulier, la fréquentation moyenne journalière de la RD 11 au sud-ouest du Centre était de 1 050 véhicules en 2002.

La circulation sur le Centre et sur l'emprise d'ITER obéit aux règles appliquées communément en agglomération. Sur le Centre, le trafic s'écoule suivant un réseau d'axes principaux reliés entre eux par des transversales, des routes et des chemins forestiers. Une piste de 4 mètres de large fait le tour de la clôture par l'intérieur et relie entre elles les différentes entrées.

Une analyse complémentaire concernant le trafic de matières dangereuses aux abords du site a été réalisée par le CETE Méditerranée en 2004. Cette étude montre que l'essentiel du trafic concerne l'autoroute A51 (150 poids lourds transportant des matières dangereuses en moyenne par jour).

Quelques poids lourds empruntent également la RD 952 qui longe les clôtures du Centre et d'ITER côté ouest, pour desservir la commune de Vinon-sur-Verdon.

L'approvisionnement du Centre en carburants (essence et gazole) a atteint un niveau stable ces dernières années avec 12 livraisons annuelles représentant environ 150 m³ pour l'essence et 120 m³ pour le gazole. Les trajets de camions d'hydrocarbure sur le Centre sont accompagnés d'un véhicule de la FLS sur le trajet porte principale – chaufferie – porte principale. En ce qui concerne les gaz comprimés (air, argon, butane, hélium, hydrogène, oxygène, méthane, propane, ammoniac, etc.), le flux d'entrée/sortie est d'environ 600 kg/an, sauf pour l'azote pour lequel il est de 6 000 kg/an. Le Centre est aussi approvisionné en produits chimiques divers, soit en capacités allant jusqu'à plusieurs mètres-cubes par an, soit en colis de petites quantités d'éthanol, d'acide nitrique ou sulfurique, de soude caustique (colis de 1 à 5 litres), ou encore de benzène (moins d'un colis de 5 ou 10 litres par mois).

7.12.2- Réseau ferroviaire

Le réseau ferroviaire à proximité du Centre de Cadarache se limite à la ligne Aix-en-Provence / Manosque /Sisteron. Cette ligne non électrifiée est peu utilisée, principalement pour le trafic voyageur.

En ce qui concerne le trafic ferroviaire de matières dangereuses sur la voie qui longe la RN 96, celui-ci a été recensé en 2005 sur la base des informations fournies par la SNCF et les industriels concernés. L'essentiel de ce trafic est dû à l'usine ATOFINA de Saint-Auban (04) qui a communiqué le détail de ses transports sous réserve de confidentialité.

7.12.3- Trafic fluvial

La Durance et le Verdon ne sont pas navigables, il n'y a aucun trafic fluvial à proximité du Centre de Cadarache.

7.12.4- Activités aériennes

L'interdiction de survol à basse altitude édictée pour le Centre de Cadarache s'applique également à l'installation PEGASE.

À proximité, se trouve un aéroport limité à l'aviation légère et aux planeurs.

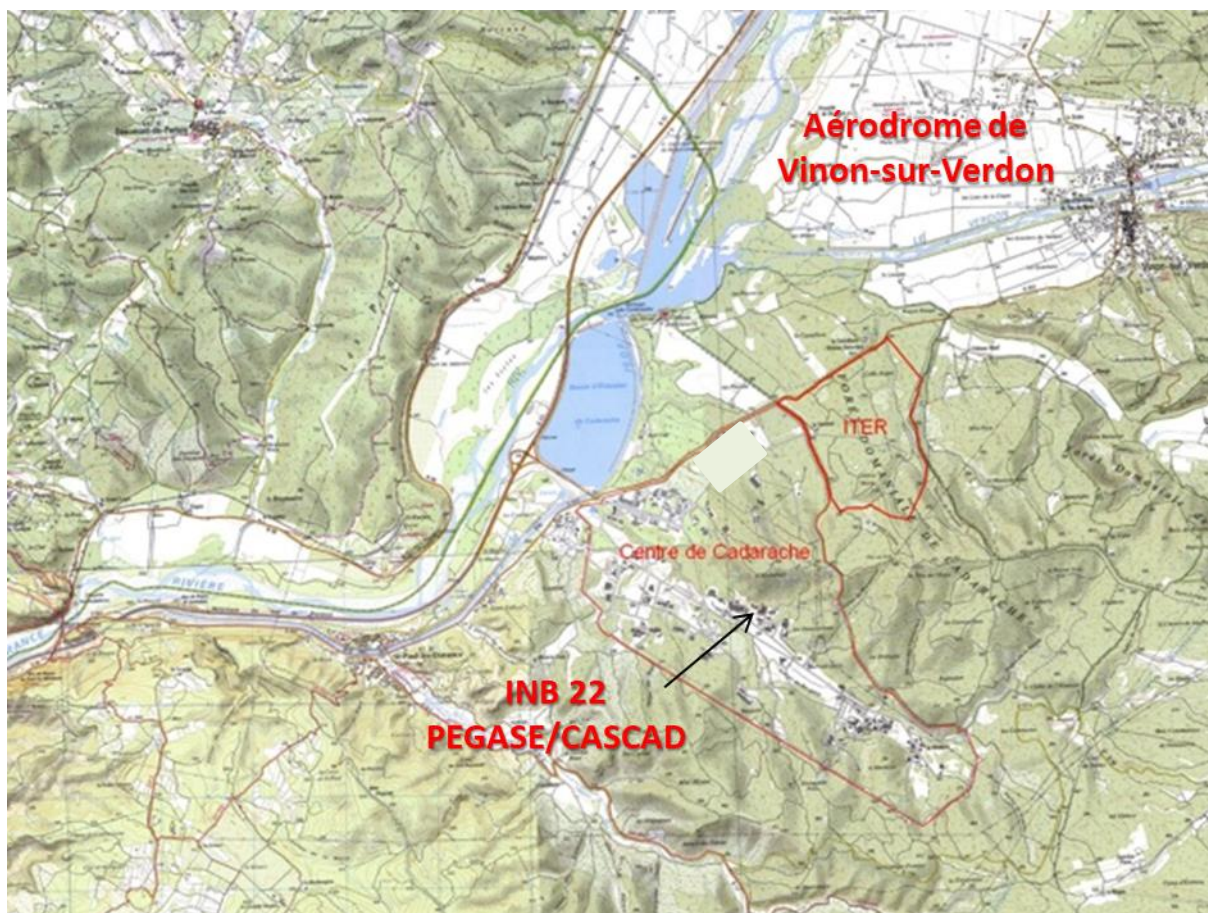


Figure 102 : Aéroport de Vinon-sur-Verdon, au nord du Centre de Cadarache

7.13- Contexte socio-économique

L'installation PEGASE se trouve sur le Centre de Cadarache où travaillent tous les jours plus de 5 500 personnes (Voir chapitre 1.2-). Cadarache représente un pôle d'emploi très important pour la région Provence Alpes Côte d'Azur. En 2013, il a été évalué que l'activité de la plateforme Cadarache (hors ITER) permettait la création (ou le maintien) de près de 1 500 emplois dits « induits » en région, et que ses achats généraient la création (ou le maintien) de plus de 3 000 emplois dits « indirects », dont près de la moitié en PACA. Soit, si l'on prend en compte les emplois dits « directs » valorisés à près de 3 500, plus de 8 000 emplois sont ainsi créés et/ou maintenus par la présence du Centre, dont environ 6 500 en PACA.

Les fiches résumées ci-après sont réalisées par l'INSEE, elles présentent les chiffres clés des deux zones d'emploi autour de Cadarache : celle d'Aix-en-Provence (76 communes des départements 13, 83 et 84) et celle de Manosque (62 communes du département 04).

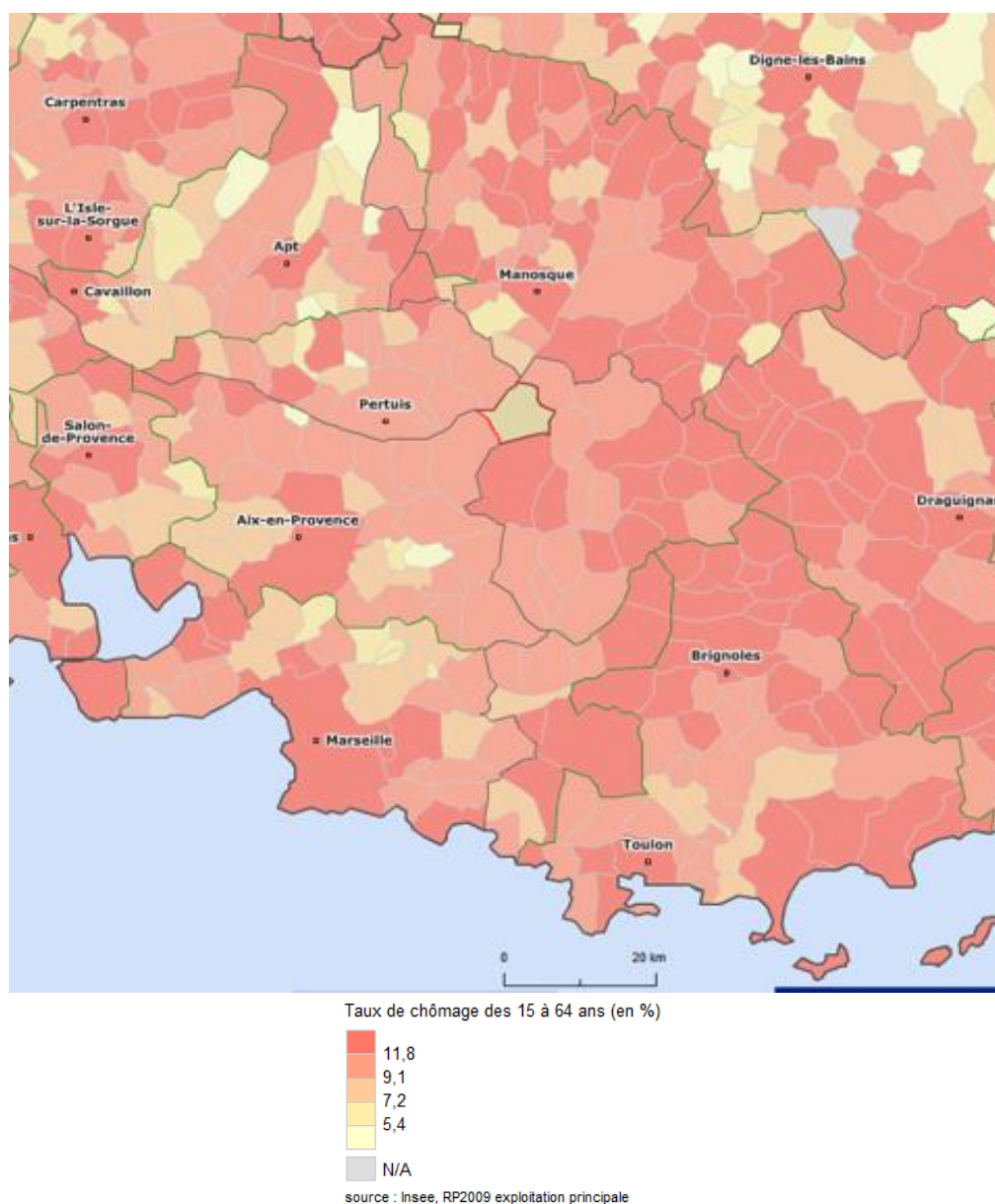


Figure 103 : Taux de chômage (en %) des 15-64 ans en 2009 (les zones d'emploi sont délimitées en vert)

Population	Aix-en-Provence (13001)
Population en 2011	140 684
Densité de la population (nombre d'habitants au km ²) en 2011	756,0
Superficie (en km ²)	186,1
Variation de la population : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %	-0,3
<i>dont variation due au solde naturel : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %</i>	+0,4
<i>dont variation due au solde apparent des entrées sorties : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %</i>	-0,6
Nombre de ménages en 2011	67 957
<i>Sources : Insee, RP2006 et RP2011 exploitations principales</i>	
Naissances domiciliées en 2011	1 532
Décès domiciliés en 2011	1 063
<i>Source : Insee, état civil</i>	
Logement	Aix-en-Provence (13001)
Nombre total de logements en 2011	78 233
Part des résidences principales en 2011, en %	86,9
Part des résidences secondaires (y compris les logements occasionnels) en 2011, en %	4,7
Part des logements vacants en 2011, en %	8,4
Part des ménages propriétaires de leur résidence principale en 2011, en %	37,5
<i>Sources : Insee, RP2011 exploitation principale</i>	
Revenus	Aix-en-Provence (13001)
Revenu net déclaré moyen par foyer fiscal en 2011, en euros	30 124
Foyers fiscaux imposables en % de l'ensemble des foyers fiscaux en 2011	61,2
<i>Source : DGFIP, Impôt sur le revenu des personnes physiques.</i>	
Emploi - Chômage	Aix-en-Provence (13001)
Emploi total (salarié et non salarié) au lieu de travail en 2011	86 394
<i>dont part de l'emploi salarié au lieu de travail en 2011, en %</i>	88,5
Variation de l'emploi total au lieu de travail : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %	+1,1
Taux d'activité des 15 à 64 ans en 2011	66,7
Taux de chômage des 15 à 64 ans en 2011	13,2
<i>Sources : Insee, RP2006 et RP2011 exploitations principales</i>	
Établissements	Aix-en-Provence (13001)
Nombre d'établissements actifs au 31 décembre 2011	20 597
Part de l'agriculture, en %	1,7
Part de l'industrie, en %	4,4
Part de la construction, en %	6,8
Part du commerce, transports et services divers, en %	70,2
<i>dont commerce et réparation automobile, en %</i>	17,4
Part de l'administration publique, enseignement, santé et action sociale, en %	17,0
Part des établissements de 1 à 9 salariés, en %	24,4
Part des établissements de 10 salariés ou plus, en %	7,3
<i>Champ : ensemble des activités</i>	
<i>Source : Insee, CLAP (connaissance locale de l'appareil productif).</i>	

Tableau 108 : Résumé statistique de la commune d'Aix-en-Provence

Population	Manosque (04112)
Population en 2011	22 316
Densité de la population (nombre d'habitants au km ²) en 2011	393,4
Superficie (en km ²)	56,7
Variation de la population : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %	+1,1
<i>dont variation due au solde naturel : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %</i>	+0,2
<i>dont variation due au solde apparent des entrées sorties : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %</i>	+0,8
Nombre de ménages en 2011	10 197
<i>Sources : Insee, RP2006 et RP2011 exploitations principales</i>	
Naissances domiciliées en 2011	282
Décès domiciliés en 2011	198
<i>Source : Insee, état civil</i>	
Logement	Manosque (04112)
Nombre total de logements en 2011	11 461
Part des résidences principales en 2011, en %	89,0
Part des résidences secondaires (y compris les logements occasionnels) en 2011, en %	2,0
Part des logements vacants en 2011, en %	9,1
Part des ménages propriétaires de leur résidence principale en 2011, en %	48,2
<i>Sources : Insee, RP2011 exploitation principale</i>	
Revenus	Manosque (04112)
Revenu net déclaré moyen par foyer fiscal en 2011, en euros	22 470
Foyers fiscaux imposables en % de l'ensemble des foyers fiscaux en 2011	51,6
<i>Source : DGFIP, Impôt sur le revenu des personnes physiques.</i>	
Emploi - Chômage	Manosque (04112)
Emploi total (salarié et non salarié) au lieu de travail en 2011	12 347
<i>dont part de l'emploi salarié au lieu de travail en 2011, en %</i>	87,3
Variation de l'emploi total au lieu de travail : taux annuel moyen entre 2006 et 2011, en %	+1,9
Taux d'activité des 15 à 64 ans en 2011	71,4
Taux de chômage des 15 à 64 ans en 2011	16,0
<i>Sources : Insee, RP2006 et RP2011 exploitations principales</i>	
Établissements	Manosque (04112)
Nombre d'établissements actifs au 31 décembre 2011	3 014
Part de l'agriculture, en %	3,4
Part de l'industrie, en %	4,7
Part de la construction, en %	8,1
Part du commerce, transports et services divers, en %	68,2
<i>dont commerce et réparation automobile, en %</i>	19,6
Part de l'administration publique, enseignement, santé et action sociale, en %	15,6
Part des établissements de 1 à 9 salariés, en %	27,4
Part des établissements de 10 salariés ou plus, en %	6,2
<i>Champ : ensemble des activités</i>	
<i>Source : Insee, CLAP (connaissance locale de l'appareil productif).</i>	

Tableau 109 : Résumé statistique de la commune de Manosque

7.14- Enjeux sur l'environnement humain de l'installation PEGASE



Figure 104 : Vue d'ensemble du site de Cadarache depuis la tour de veille

218

Partie 1

L'enjeu concernant l'occupation des sols est faible, car le site de l'installation PEGASE se trouve à l'intérieur du Centre de Cadarache, sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance.

Les éléments du patrimoine culturel, les sites industriels autres que le site de Cadarache les plus proches sont à plus d'un kilomètre de l'installation PEGASE. Il en est de même pour les premières habitations. Les enjeux sur l'urbanisme, l'activité industrielle, les vibrations, les poussières, les odeurs, les émissions lumineuses, l'ambiance sonore, sont donc considérés comme faibles.

Dans l'aire d'étude lointaine du site, la région proche du Centre de Cadarache est essentiellement agricole. Les terres agricoles les plus proches sont cependant assez éloignées (plusieurs kilomètres).

De nombreuses terres destinées à une agriculture de produits sous signes officiels d'identification de l'origine et de la qualité (AOC-AOP-IGP) sont situées dans la zone d'étude. L'enjeu est fort concernant l'environnement agricole.

Le principal attrait touristique et de loisirs à proximité du site est le défilé de Mirabeau. La présence de la Durance constitue également un attrait touristique. L'enjeu est moyen concernant l'environnement touristique, car les grands sites touristiques sont éloignés.

Le monument historique le plus proche est le château de Cadarache, à plus d'un kilomètre de l'installation PEGASE. L'enjeu lié au patrimoine culturel est faible, en raison de l'éloignement.

L'enjeu sur les paysages est également considéré comme moyen en raison de l'absence de sites remarquables à proximité et de la relative discrétion du Centre de Cadarache.

Les routes les plus proches de l'installation PEGASE, en dehors des voies d'accès au sein du Centre de Cadarache, sont la RD 952 et la D11.

L'enjeu sur la consommation d'énergie est fort, c'est une problématique d'importance nationale.

L'enjeu relatif à la socio-économie est considéré comme fort, en raison du nombre élevé de demandeurs d'emploi dans le bassin d'emploi.

8. Conclusions sur l'état initial du site et de l'environnement

La description de l'état initial du site et de l'environnement qui vient d'être présentée, permet ensuite d'évaluer les impacts résiduels du projet (après mise en œuvre des mesures pour éviter et réduire ses impacts).

Après une synthèse des enjeux des différents compartiments de l'environnement décrits dans les paragraphes précédents, un aperçu de l'évolution probable de l'environnement en l'absence de mise en œuvre du démantèlement de l'installation PEGASE est proposé.

8.1- Synthèse des enjeux

La synthèse de l'évaluation des enjeux des différents compartiments de l'environnement, issue de la description de l'état initial du site, est présentée dans le tableau suivant.

	Thème	Évaluation de l'enjeu	Enjeu
Environnement physique	Climat	<p>Bien qu'assez marqué, le climat dans la région de Cadarache ne présente pas d'extrêmes particuliers comme par exemple des froids intenses et prolongés. Les précautions à prendre pour les constructions restent donc classiques. Une attention particulière est cependant apportée aux précipitations violentes qui se traduisent par un dimensionnement adapté de systèmes d'évacuation d'eau pluviale.</p> <p>L'influence que peut avoir un projet industriel sur le climat est sa contribution au changement climatique planétaire. Même s'il faut des quantités cumulées importantes de gaz à effet de serre pour influencer le climat, l'enjeu climatique planétaire justifie un niveau d'enjeu non négligeable.</p>	Moyen
	Air	<p>La qualité chimique et radiologique de l'air est relativement bonne aux alentours du site et les mesures ont montré l'absence de pollution particulière de l'air, hormis des dépassements en ozone liés au transfert atmosphérique de la pollution émise dans les régions plus urbanisées au sud de Cadarache.</p> <p>L'enjeu associé est considéré comme moyen, car il faut des quantités importantes de polluants pour influencer la qualité de l'air à distance et il n'y a pas d'habitations à proximité immédiate de l'installation PEGASE.</p>	Moyen
	Sols, végétaux et produits de consommation	<p>L'enjeu concernant les sols est considéré comme faible quant à la surface immobilisée par le démantèlement de l'installation PEGASE. Il est considéré comme moyen quant à leur qualité, en raison de la localisation à l'intérieur du Centre de Cadarache (l'enjeu aurait été qualifié de fort à l'extérieur du Centre).</p> <p>L'enjeu sur les végétaux et sur les produits de consommation a été regroupé avec celui de l'agriculture (cf. le thème environnement humain).</p>	Moyen
	Sous-sol et eaux souterraines	<p>L'eau souterraine au droit de l'installation PEGASE s'écoulement globalement vers l'ouest-nord-ouest. Les analyses radiologiques réalisées régulièrement sur les piézomètres en aval hydraulique ne montrent pas de pollution particulière.</p> <p>Les eaux de la nappe ne sont pas utilisées pour l'eau potable.</p>	Moyen
	Ressource en eau	<p>L'enjeu sur la ressource en eau est jugé faible en raison des particularités locales : la ressource est extrêmement abondante, que ce soit dans les nappes phréatiques de la Durance et du Verdon ou dans les canaux de la Société du Canal de Provence et d'EDF.</p>	Faible
	Eaux superficielles	<p>La Durance reçoit les rejets liquides de l'ensemble des installations du Centre de Cadarache, après traitement par la STEP. La surveillance</p>	Moyen

	Thème	Évaluation de l'enjeu	Enjeu
	(rejets liquides)	radiologique, physico-chimique et biologique en amont et en aval du point de rejet ne met pas en évidence d'altération de la qualité due à ces rejets. L'enjeu est jugé moyen, car il faudrait des quantités très importantes de substances rejetées par l'installation PEGASE pour influencer la qualité des eaux.	
Environnement naturel (écologie)	Habitats naturels	Le périmètre de l'installation PEGASE, très anthropisé, présente peu d'intérêt du point de vue des habitats.	Très faible à faible
	Flore terrestre	Aucune espèce à enjeu observée sur la zone d'étude.	Très faible
	Faune terrestre	Milieux favorables aux reptiles (Lézard ocellé) et au Criquet hérisson.	Très faible à fort
	Sites Natura 2000	Le Centre de Cadarache ainsi que la zone d'étude de l'installation PEGASE ne sont concernés par aucun site Natura 2000. En revanche, on trouve dans un rayon de moins de 10 km deux Zones Spéciales de Conservation (ZSC) et deux Zones de Protection Spéciale (ZPS). À ce titre, l'enjeu est qualifié de moyen.	Moyen
Environnement humain	Occupation du sol, urbanisme	Les opérations de fonctionnement ont lieu pour la grande majorité à l'intérieur des bâtiments de l'installation, elle-même située à l'intérieur du Centre de Cadarache.	Faible
	Agriculture (emprise)	Agriculture de produits sous signes officiels d'identification de l'origine et de la qualité (AOC-AOP-IGP).	Fort
	Agriculture (pollution)	La région proche du Centre de Cadarache est essentiellement agricole. Les terres agricoles les plus proches sont cependant assez éloignées (plusieurs kilomètres).	Moyen
	Activités industrielles	Il y a peu d'activités industrielles autour de Cadarache.	Faible
	Tourisme et loisirs	La région est propice au tourisme et aux loisirs de plein air. Les zones les plus proches sont néanmoins situées à plusieurs kilomètres du site de Cadarache.	Moyen
	Patrimoine culturel et historique	A plus de 3 km, hors champ de vision.	Faible
	Archéologie	Installation existante depuis le début des années 1980, et absence de travaux prévus dans le cadre de l'exploitation..	Faible
	Paysages	Pas de site remarquable à proximité immédiate de Cadarache et de la zone d'étude.	Moyen
	Environnement sonore	Les premières habitations se trouvent à plus d'un kilomètre du Centre de Cadarache et de l'installation PEGASE.	Faible
	Environnement lumineux	L'enjeu lié à la pollution lumineuse est relativement limité : il perturbe les observations du ciel et également le comportement de certains animaux nocturnes. Pour ce qui concerne la gêne des habitants, l'enjeu est faible, car il n'y a pas d'habitants à proximité de l'installation PEGASE. L'enjeu global est donc considéré comme faible.	Faible
	Odeurs	Les premières habitations se trouvent à plus d'un kilomètre du Centre de Cadarache et de l'installation PEGASE.	Faible
	Vibrations	Les premières habitations se trouvent à plus d'un kilomètre du Centre de Cadarache et de l'installation PEGASE.	Faible
	Poussières	Les premières habitations se trouvent à plus d'un kilomètre du Centre de Cadarache et de l'installation PEGASE.	Faible
	Déchets	Solutions d'entreposage et de stockage.	Moyen
	Transport / Voies de communication	Pas de voies engorgées à proximité, à l'exception de l'accès à Cadarache sur des durées limitées aux heures d'embauche/débauche.	Faible
	Zones de servitude	Les seules servitudes occasionnées par le site de Cadarache sont celles relatives à la restriction de la circulation aérienne.	Faible
Utilisation de l'énergie et des	Souci des économies d'utilisation de l'énergie et des ressources naturelles au sens large (eau, matériaux, etc.).	Moyen	

	Thème	Évaluation de l'enjeu	Enjeu
	ressources naturelles		
	Socio-économie	Taux de chômage important en PACA.	Fort
	Santé humaine	Groupes de population présents autour du site de Cadarache.	Fort

Tableau 110 : Synthèse de l'évaluation des enjeux autour de Cadarache

Les enjeux sont cotés de très faibles à forts. Les enjeux forts sont liés :

- ✗ pour l'environnement naturel : à la présence du Lézard ocellé (reptile) et du Criquet Hérisson (entomofaune) ;
- ✗ pour l'environnement humain : aux produits agricoles AOC-AOP-IGP, à l'activité socio-économique (emploi) et à la santé des populations autour de Cadarache.

8.2- Évolution probable de l'environnement en l'absence du projet

L'état initial du site et de l'environnement qui vient d'être présenté, est celui qui existe après une soixantaine d'années de présence et d'activités du CEA de Cadarache, et quasiment autant de fonctionnement de l'installation PEGASE. Il est donc délicat de définir des changements « naturels » qui pourraient se produire en l'absence du démantèlement de l'installation, étant donné que sa part relative dans des activités humaines qui *a priori* vont perdurer est faible.

Il est probable que l'évolution « naturelle » de l'environnement proche soit d'avantage assujettie à d'éventuels projets de plus grande envergure, ainsi qu'aux effets du changement climatique (sécheresse estivale, augmentation des températures), qu'à la réalisation ou non du projet de démantèlement.

Partie 2 : Présentation de l'installation

Cette partie présente l'installation dans son fonctionnement actuel, ainsi que le projet de démantèlement. Pour une description plus détaillée de l'installation et de son état actuel, le lecteur est invité à consulter la pièce n° 2. Les opérations de démantèlement projetées sont quant à elle présentées en détail dans la pièce n° 3.

1. Description du site de l'installation

Le Centre CEA de Cadarache se trouve à la limite des départements des Alpes-de-Haute-Provence, des Bouches-du-Rhône, du Vaucluse, du Var. Le Centre est situé près du confluent de la Durance et du Verdon. Il est implanté dans la commune de Saint-Paul-lez-Durance, commune qui occupe le point nord-est du département des Bouches-du-Rhône, à l'extrémité sud de la vallée de la Moyenne Durance.

Le terrain, relativement accidenté, s'étage entre 250 et 400 mètres d'altitude. Il est en majeure partie couvert de forêts (bois domaniaux formés surtout d'espèces méditerranéennes).

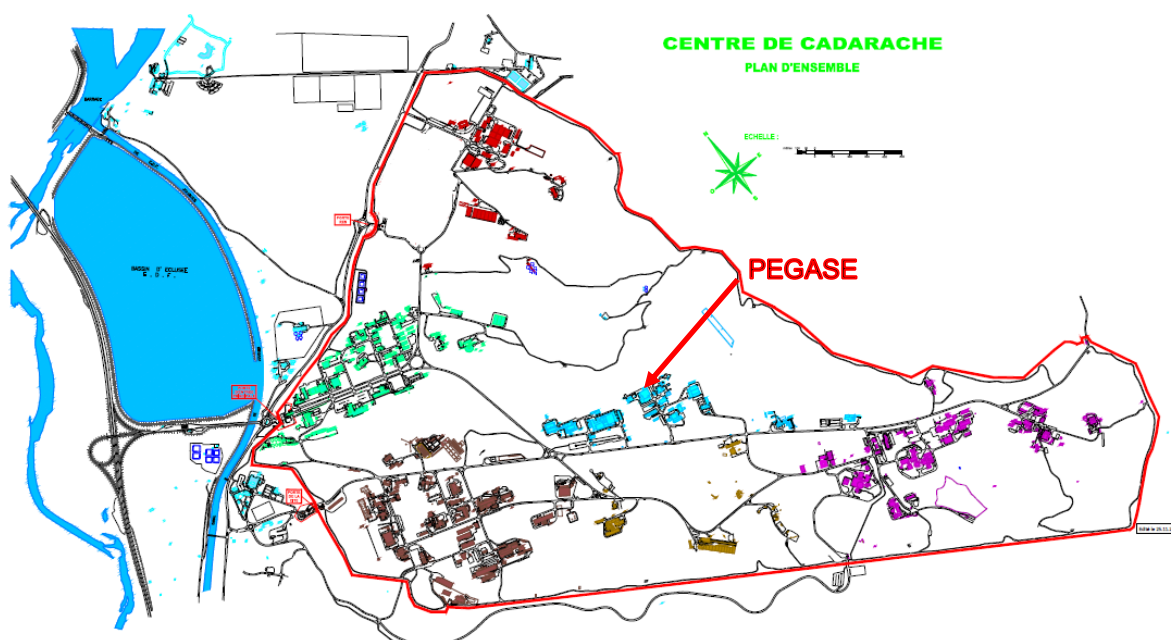


Figure 105 : Plan d'ensemble du CEA Cadarache

La superficie totale du site de Cadarache est de 2 050 hectares, dont la partie enclose délimitant le Centre couvre environ 900 hectares. L'orientation principale est-ouest est parallèle à une petite vallée affluente de la Durance (Ravin de la Bête), le long de laquelle est implantée la majeure partie des réacteurs expérimentaux, d'où son appellation de « Vallée des Piles ». C'est dans cette vallée que se situe l'INB n° 22. Le reste du site consiste en une zone moyennement inclinée vers la Durance et surplombant la Vallée des Piles.

2. Description des activités

2.1- L'installation CASCAD

La CASemate de CADarache, qui fait partie de l'INB 22, a pour fonction d'entreposer à sec des combustibles irradiés, dont les conditions économiques du moment font reporter à une échéance plus lointaine le retraitement ou l'élimination. L'évacuation de l'énergie calorifique due aux combustibles est réalisée par convection naturelle de l'air, refroidissant les puits d'entreposage. C'est par le décret en date du 4 septembre 1989, publié au *Journal officiel* du 8 septembre 1989, que le Commissariat à l'énergie atomique a été autorisé à modifier l'INB 22 par la réalisation de l'installation d'entreposage à sec de combustibles nucléaires irradiés dénommée CASCAD. La mise en service de l'installation a été autorisée le 8 juin 1990 pour l'entreposage de combustibles provenant de la Centrale de Brennilis (combustible EL4). Depuis, les activités d'entreposage de combustibles concernent des combustibles de différents types de réacteurs et qui se présentent sous différentes formes physico-chimiques. Ces éléments combustibles sont entreposés après instruction du dossier de sûreté particulier et autorisation d'entreposage délivrée par l'Autorité de sûreté nucléaire. La casemate constitue un entreposage pérenne de matière nucléaire. Elle possède son propre référentiel de sûreté et fait également l'objet de son propre plan de démantèlement.

2.2- L'installation PEGASE

Le réacteur PEGASE a eu pour objet de tester, à l'échelle 1 et dans des conditions réelles de fonctionnement, d'éléments combustibles de réacteurs refroidis au gaz. Il a fonctionné de 1963 à 1975, date à laquelle il a été arrêté, compte tenu de l'abandon de la filière graphite-gaz.

Depuis la mise à l'arrêt définitif du réacteur PEGASE en décembre 1975 et la modification de l'installation, le CEA utilise principalement l'installation PEGASE, depuis 1980, pour l'entreposage de combustibles irradiés et de fûts de sous-produits de fabrication d'éléments combustibles, en attendant leur reprise et leur évacuation vers une autre installation. L'évacuation des fûts de sous-produits de fabrication d'éléments combustibles s'est terminée fin 2013.

Les principales activités menées dans l'installation PEGASE concernent :

- * l'entreposage sous eau en conteneur, de combustibles irradiés de type :
 - o fertiles et fissiles de la filière neutrons rapides (Rapsodie, Phénix...),
 - o siloé (ancien réacteur de recherche situé à Grenoble, ex INB 20 déclassée),
 - o expérimentaux de la filière neutrons rapides, et de la filière eau légère,
- * l'entreposage en emballage de transport de combustibles,
- * l'entreposage de substances et de matériels radioactifs (carbure de bore, éléments réflecteurs en béryllium, objets irradiants issus du démantèlement du réacteur PEGASE...),
- * les opérations liées à l'exploitation de l'installation, et consistant notamment à :

- assurer l'expédition des combustibles irradiés conteneurisés ou non, et des fûts de sous-produits de fabrication d'éléments combustibles,
- décharger ou charger les emballages de transport à sec ou sous eau,
- disposer ou reprendre les éléments combustibles irradiés et les conteneurs dans des casiers bien déterminés,
- procéder aux transferts des casiers dans la piscine ou le bassin d'entreposage,
- procéder à des vérifications périodiques,
- procéder aux opérations de maintenance nécessaires,
- procéder au désentreposage des éléments combustibles irradiés,
- réaliser des opérations de mécanique simple sur des matériels irradiants ou de structures d'éléments combustibles en cellule blindée. Ponctuellement, l'installation pourrait être amenée à procéder à des transferts de sources d'un emballage dans un autre via la cellule blindée.

À la suite de la réévaluation de sûreté de l'installation de 2003, l'Autorité de sûreté nucléaire a conclu que la tenue du bâtiment principal au Séisme Majoré de Sécurité (SMS) n'était pas assurée. Compte tenu de l'importance des travaux de renforcement à réaliser, le CEA a décidé de mettre un terme à l'entreposage et s'est engagé à réaliser le désentreposage total de l'installation.

Le périmètre de l'INB 22 englobe :

- × le groupe de bâtiments de l'ancien réacteur PEGASE comprenant :
 - un bâtiment principal abritant les entreposages (Bâtiment 216),
 - un bâtiment traitement des eaux (côté Ouest, rez-de-chaussée),
 - un bâtiment ventilation (côté Nord, rez-de-chaussée),
 - un bâtiment électrotechnique (côté Sud sur trois niveaux) qui contient notamment la salle de contrôle de PEGASE au 2^{ème} étage, ainsi que des bureaux aux 1^{er} et 2^{ème} étages,
 - le hall robotique (côté Sud-Ouest, rez-de-chaussée) qui accueillait à l'origine les groupes électrogènes dans lequel sont menées des activités d'exploitation « non nucléarisées » de l'installation.
- × deux GEF : le GEF de PEGASE et le GEF du procédé de désentreposage des fûts Pu et du procédé DECAP qui sont situés à l'extérieur du hall robotique,
- × un bâtiment de liaison à la galerie technique (Bâtiment 226),
- × l'installation CASCAD (Bâtiment 736).

La pièce 6 du dossier de démantèlement présente le périmètre modifié de l'INB 22 pour les besoins du démantèlement de l'installation PEGASE.

3. Opérations de démantèlement

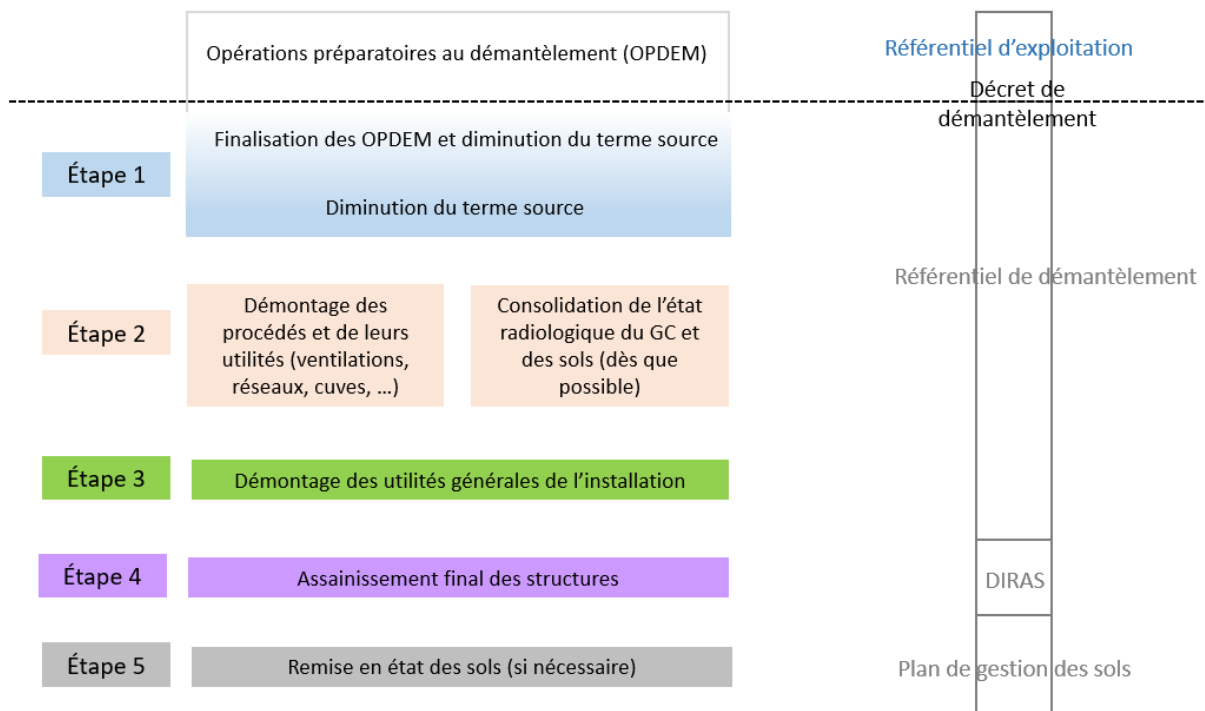
3.1- Généralités

Le démantèlement partiel de l'INB 22 PEGASE-CASCAD consiste en l'évacuation du terme source radiologique entreposé dans PEGASE, au démantèlement des équipements procédés et support, et à l'assainissement de l'installation. L'objectif est de pouvoir déclasser le zonage radiologique et le zonage déchets de l'installation PEGASE respectivement vers une zone non délimitée au sens de la radioprotection et vers une zone à déchets conventionnels.

226

Partie 2

L'enchaînement des étapes de démantèlement, telles que définies dans le § B.1 de la Pièce 3 du dossier de démantèlement et rappelé ci-dessous, a permis de structurer un déroulé général des opérations de démantèlement et de poser un premier scénario global.



Optimisation du scénario de démantèlement

Dans le cadre de la priorisation des opérations d'assainissement/démantèlement des installations du CEA, le CEA a transmis aux Autorités de sûreté nucléaire en décembre 2016 un dossier relatif à la stratégie de démantèlement de l'ensemble des installations du CEA et de gestion des déchets radioactifs. De l'instruction de ce dossier par ces Autorités, il en résulte une priorisation des opérations de démantèlement du CEA. Dans le cadre de l'installation PEGASE, la priorisation porte sur les opérations de diminution du terme source radiologique entreposé sous eau (cf. étape 1 du logigramme ci-avant), les autres opérations d'assainissement/démantèlement (relatives aux étapes 2 à 5) ont été définies comme non prioritaires.

L'optimisation du scénario de démantèlement a donc porté sur les premières opérations du scénario, à savoir celles de diminution du terme source radiologique entreposé sous eau, afin d'aboutir à un scénario permettant de réaliser ces opérations dans un délai aussi court que possible et dans des conditions économiquement acceptables.

Pour l'optimisation globale des opérations de diminution du terme source radiologique (étape 1), plusieurs scénarios ont été analysés pour répondre à l'objectif d'évacuation des combustibles sans emploi²⁸ entreposés dans la piscine de PEGASE avant fin 2030 :

- Scénario 1 : l'envoi à l'INB 55 STAR pour traitement thermique des combustibles avant leur entreposage dans l'installation CASCAD (installation d'entreposage à sec) de l'INB 22,
- Scénario 2 : l'évacuation au plus tôt vers le canal de l'II RES en attendant la mise à disposition par l'INB 55 STAR d'un moyen de traitement thermique des combustibles sans emploi,
- Scénario 3 : le reconditionnement des étuis de combustibles en conteneurs dans l'installation PEGASE de l'INB 22 sans traitement.

La présence d'araldite à l'intérieur des étuis de combustible génère un risque de production de gaz pouvant provoquer une surpression ou une explosion. Ce risque peut être maîtrisé par la réalisation des actions suivantes :

- soit le traitement thermique permettant la destruction de l'araldite et donc la source production des gaz,
- soit des contrôles réguliers de la pression à l'intérieur des conteneurs avec des fréquences de contrôle adaptées.

En plus des contraintes techniques, doivent être prises en compte les contraintes de disponibilité des installations et l'avancement des études sur le procédé de traitement thermique.

Deux contraintes majeures apparaissent alors dans la mise en œuvre du scénario 1 :

- le délai pour l'approvisionnement du procédé de traitement thermique sur l'installation STAR. Le procédé de traitement thermique n'étant pas disponible actuellement celui-ci ne pourra être mis en œuvre suffisamment tôt pour répondre à l'objectif d'évacuation des matières avant fin 2030. Par ailleurs, des études ont déjà été effectuées sur le procédé de désaralditage et elles ne permettent pas de garantir l'absence totale d'araldite (et donc l'absence de production d'hydrogène) à l'issue du traitement. L'incertitude sur la performance du traitement thermique rendra certainement nécessaire la réalisation de contrôles réguliers de la pression à l'intérieur des conteneurs à CASCAD.
- une importante coactivité avec d'autres projets conduit à ce que le plan de charge de l'installation STAR n'est pas compatible avec le traitement des combustibles sans emploi en vue de leur évacuation de l'installation PEGASE dans un délai acceptable.

²⁸ À l'état initial, les combustibles présents sont constitués par des combustibles araldités et des combustibles non araldités. L'ensemble de ces combustibles sont appelés « combustibles sans emploi » (CSE).

Le scénario 2 consiste à évacuer la totalité des combustibles sans emploi vers la piscine de l'II RES en attendant la disponibilité de l'installation STAR pour le traitement thermique de l'araldite et leur conteneurisation avant l'évacuation vers l'installation CASCAD. Compte tenu des enjeux spécifiques de la Direction des Applications Militaires du CEA (utilisation prioritaire de la piscine du RES pour les besoins spécifiques du CEA/DAM) et des incertitudes sur la capacité de traitement de STAR (voir scénario 1 ci-dessus), ce scénario n'a pas été retenu.

Le scénario 3 consiste à créer sur l'installation PEGASE une chaîne de reconditionnement des combustibles sans emploi en conteneurs plus résistants, qui seront transférés pour entreposage dans l'installation CASCAD et qui pourront faire l'objet de contrôles réguliers de leur pression interne pour effectuer un dégazage éventuel des gaz de radiolyse du fait de l'absence de traitement thermique de désaralditage. Ce scénario est plus rapide et plus robuste car :

- il supprime les transports entre les installations PEGASE et STAR ou le RES,
- il n'a pas de coactivité avec d'autres projets,
- le procédé de reconditionnement sur l'installation PEGASE met en œuvre des équipements déjà éprouvés (il n'y a pas de R&D procédé nécessaire).

C'est donc le scénario 3 qui a été retenu, que l'on dénomme Projet DECAP (DEsentreposage des Combustibles Araldités de Pégase) dans le dossier de démantèlement.

Concernant l'optimisation technique des opérations des étapes 2 à 5, dans le scénario global relatif à ces étapes, constitué d'enchaînement de différentes opérations techniques de démantèlement/assainissement (cf. § 3.2.2- à 3.2.5-), différentes variantes de ces opérations techniques ont été étudiées. La méthodologie d'analyse et de choix de variantes a permis d'identifier les opérations élémentaires à fort impact potentiel sur le projet de démantèlement (en matière de faisabilité technique, de déchets, de coûts, d'impact environnemental, de sûreté/sécurité). Pour ces opérations élémentaires à fort impact, des variantes de réalisation de tout ou partie de celles-ci ont été analysées du point de vue technique. Ces optimisations n'ont pas permis de déboucher sur une optimisation des délais de réalisation.

Présentation du scénario de démantèlement

Pour chaque zone d'intervention, des opérations préalables seront menées pour favoriser :

- * le cheminement du personnel,
- * le cheminement du matériel, des conteneurs de déchets et des déchets à destination de leurs zones de conditionnement respectives,
- * le transfert des conteneurs de déchets dans le périmètre de l'installation, suivant les documents applicables dans l'installation.

Dans le but :

- * d'évacuer les équipements encore présents,
- * de déposer et évacuer tous les circuits de fluides procédés et de fluides auxiliaires, les câbles électriques,
- * de déposer et évacuer tous les réseaux de ventilation en fonction de l'avancement des travaux,

- × de procéder à l'assainissement de toutes les parois (sols, murs, plafonds) en vue d'atteindre un état radiologique équivalent à l'état final,
- × de déposer et/ou remplacer les utilités (ventilation, éclairage, accès...) par de nouveaux équipements.

Les opérations de démantèlement sont réalisées en mettant en œuvre :

- × des procédés de découpe (les procédés de découpe mécanique à froid seront privilégiés),
- × des aménagements de chantiers avec notamment des sas permettant de délimiter une zone devant être confinée lors d'opérations d'assainissement ou de démantèlement,
- × des moyens de manutention supplémentaires lorsque cela est nécessaire.

Elles sont réalisées par bâtiments, locaux ou par procédé et pour les bâtiments, par étages.

Les dates clefs du projet sont :

- × 2019 : dépôt du dossier de démantèlement partiel,
- × 2023 : arrêt définitif de l'installation PEGASE,
- × 2027 : entrée en vigueur du décret de démantèlement partiel de l'INB 22,
- × 2028 : envoi du dossier de demande de modification non substantielle travaux de découplage CASCAD
- × 2030 : fin de l'évacuation des combustibles sans emploi, des étuis B4C et des éléments béryllium,
- × 2035 : fin de l'évacuation des éléments activés de structure métallique et, par conséquent, vacuité de l'installation PEGASE,
- × 2035 : fin des travaux de découplage PEGASE-CASCAD,
- × 2065 : fin du démantèlement de l'installation PEGASE.

Les durées présentées intègrent des provisions pour risques délais.

En parallèle des opérations de démantèlement, des opérations dites de « SENEX » se poursuivent. Elles correspondent aux opérations de surveillance, de maintenance, d'entretien et d'exploitation courante nécessaires au maintien de l'installation dans son domaine de fonctionnement autorisé.

3.2- Description des opérations

Le démantèlement de l'installation PEGASE se déroulera en 5 étapes, elles sont décrites dans les paragraphes suivants. Une description plus complète est proposée dans la pièce n° 3 (Plan de démantèlement).

3.2.1- Étape 1 : finalisation des OPDEM, diminution du terme source de l'installation

L'objectif de cette première étape est la diminution du terme source de l'installation PEGASE et la poursuite des OPDEM non achevées.

Finalisation des OPDEM :

- * Évacuation des combustibles sans emploi (CSE) entreposés dans la piscine de PEGASE (projet DECAP). Les principales opérations sont les suivantes :
 - transfert des conteneurs AA173/AA241 contenant le combustible sans emploi entreposés en piscine vers la cellule blindée,
 - poinçonnage des conteneurs AA173/AA241,
 - découpe du couvercle des conteneurs AA173/AA241 pour extraction de l'étui interne AA161,
 - poinçonnage de l'étui interne AA161 pour séchage si besoin,
 - mise en place d'un collier équipé d'un filtre métallique qui sera positionné au niveau du trou de poinçonnage,
 - constitution d'un conteneur CASCAD C3L avec 3 étuis internes AA161,
 - soudage du couvercle du conteneur C3L, puis sortie du conteneur C3L de cellule blindée après test étanchéité,
 - chargement des conteneurs C3L dans un emballage de transport TN-MTR et évacuation vers CASCAD.

Évacuation du terme source de l'installation :

- * Désentreposage et évacuation des éléments béryllium (Be) : les 35 éléments présents seront repris en piscine, placés sous eau dans un emballage de transport TN/MTR, puis évacués de l'installation PEGASE et transportés jusqu'à l'installation ISAI du centre de Marcoule, pour y être reconditionné, soit :
 - pour un entreposage dans l'installation DIADEM du centre de Marcoule,
 - dans un emballage spécifique.

Cette opération sera réalisée dès que les installations ISAI et DIADEM seront disponibles.

- * Désentreposage des étuis de carbure de bore (B₄C) : ces éléments actuellement entreposés dans 3 étuis dans la piscine feront l'objet d'un chargement en emballage de transport (type IR200 ou autre) via la cellule blindée de l'installation PEGASE, puis transportés vers l'INB PHENIX du centre de Marcoule pour entreposage avec les autres B₄C de PHENIX.
- * Évacuation des éléments activés de structure métallique : ces pièces en acier, d'une masse totale d'environ 1,3 tonnes, entreposés dans un casier entreposés dans la piscine du hall bassin, sont issues du démontage du cœur du réacteur PEGASE. Elles nécessitent pour la majorité une réduction de volume (découpe à froid par cisaille et/ou découpe par point chaud).

3.2.2- Étape 2 : démontage des procédés et de leurs utilités ; consolidation de l'état radiologique du génie civil et des sols

Cette seconde étape consiste à déposer l'ensemble des procédés présents au sein du périmètre de l'installation PEGASE, et à consolider suite à ces opérations l'état radiologique du génie civil et des sols. Les opérations de dépose suivantes sont réalisées :

- × Le démantèlement de l'aéroréfrigérant,
- × Le découplage PEGASE-CASCAD et le démantèlement des équipements présents au niveau de la galerie technique.
- × La vidange de la piscine, des bassins ainsi que des cuves et des rétentions présentes sur l'installation PEGASE,
- × Le démantèlement de la piscine et des bassins d'entreposage,
- × Le démantèlement des réseaux d'effluents industriels et actifs,
- × Le démontage du circuit des eaux (tuyauteries, cuves et rétention) et des stations d'épuration,
- × L'évacuation des résines échangeuses d'ion des stations d'épuration,
- × Le démantèlement de la cellule blindée,
- × Le démontage du procédé de désentreposage des fûts de sous-produits plutonifères,
- × La dépose et l'évacuation de tous les équipements restants.

3.2.3- Étape 3 : assainissement et démantèlement de l'ensemble des utilités générales et installations techniques auxiliaires

Après l'évacuation des procédés et l'assainissement des parois de la piscine et des bassins d'entreposage, de la cellule blindée, des bassins de vidange et de la cuve à effluents suspects pour atteindre des niveaux compatibles avec un déclassement en zone non délimitée et zone non contaminante, la nécessité d'une ventilation nucléaire n'est plus pertinente, de même que les surveillances et alarme afférentes.

Les opérations à réaliser dans le cadre de cette étape sont les suivantes :

- × La dépose et l'évacuation de la ventilation nucléaire et de la ventilation industrielle,
- × La mise en place d'une ventilation nucléaire simplifiée pour permettre l'assainissement GC final des locaux,
- × La dépose et l'évacuation des moyens de surveillance et la mise en place des moyens mobiles nécessaires,
- × La simplification du réseau électrique général. Le local HT/BT, qui fournit les alimentations électriques de l'installation PEGASE n'est pas prévu d'être démantelé.

3.2.4- Étape 4 : assainissement des structures

La méthodologie d'assainissement envisagée pour l'installation PEGASE s'appuiera sur les recommandations du guide inter-exploitants DPSN/SSN/2011/109EF et prendra en considération le guide de l'ASN n° 14.

La méthodologie d'assainissement repose sur l'élaboration d'un zonage déchets qui prend en compte la présence de radioactivité ajoutée à l'intérieur même des structures durant l'exploitation de l'INB. La limite de la zone à déchets nucléaires dans la structure correspond à l'épaisseur au-delà de laquelle on peut garantir qu'il n'y a pas de radioactivité ajoutée, incluant une marge de précaution. La zone à déchets nucléaires ainsi définie constitue l'épaisseur totale à traiter par enlèvement de matière.

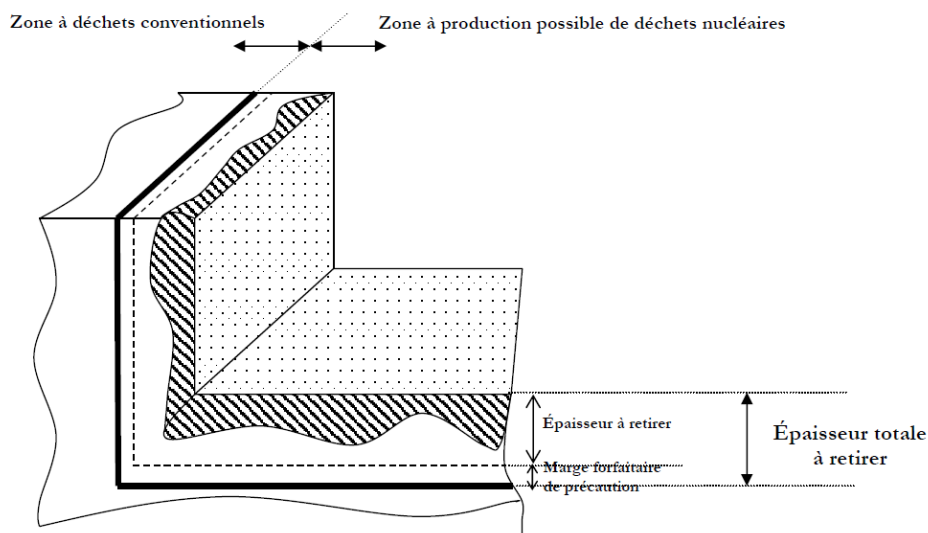


Figure 106 : Limite du zonage déchets dans l'épaisseur (extrait du guide ASN n° 14)

Cette méthode s'appuie sur la même démarche que pour l'établissement du zonage déchets en fonctionnement, à savoir : la conception de l'installation, ses règles d'exploitation et les événements ayant pu conduire à une contamination ou une activation des structures. Il définit donc une Zone à production possible de Déchets Nucléaires (ZppDN) qui, après assainissement, pourra être définitivement déclassée en Zone à Déchets Conventionnels (ZDC). Cette méthodologie consistera à répartir les zones à déchets nucléaires en quatre catégories de surface, permettant de définir le type de travaux devant être effectués sur le génie civil. Les surfaces des zones à déchets nucléaires ne pouvant être traitées et/ou contrôlées seront déposées (démontage/découpe...) et évacuées en déchets nucléaires.

La démarche utilisée sera décrite dans « Dossier d'Information Relatif à l'Assainissement des Structures » (DIRAS), transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire avant le démarrage des travaux d'assainissement final, conformément à l'article 3.6 de l'annexe de la décision n° 2015-DC-0508 de l'ASN du 21 avril 2015.

3.2.5- Étape 5 : remise en état des sols (si nécessaire)

Dans le cas où une réhabilitation des sols s'avère nécessaire dans le cadre du déclassé d'une INB, une démarche analytique est menée afin de définir la stratégie la plus adaptée.

Cette démarche vise à comparer les diverses stratégies envisageables, et ce au regard de différents critères (radiologiques, économiques, environnementaux...). Ainsi :

- * dans un premier temps, le retrait complet des substances chimiques/radioactives sera étudié. Cet « assainissement complet » constitue l'option de gestion de référence selon les recommandations du guide n° 24 de l'Autorité de sûreté nucléaire,
- * si l'assainissement complet n'est pas réalisable dans des conditions technico-économiques acceptables, une démarche d'optimisation, appelée « assainissement poussé », sera mise en œuvre pour atteindre un état final conduisant à un impact résiduel compatible avec les usages envisagés.

Un plan de gestion des sols sera établi et le début de ces opérations sera soumis à l'approbation de l'ASN.

A priori, le déclassement de l'installation PEGASE ne sera pas accompagné de cette étape de réhabilitation. En effet les événements recensés (voir Pièce 3 du dossier de démantèlement) ne devraient pas avoir conduit à la contamination des sols sous les bâtiments.

Partie 3 : Analyse des effets directs et indirects, et des incidences résiduelles du projet de démantèlement

1. Introduction

1.1- Contenu en réponse à la réglementation

Cette partie présente l'analyse des **incidences résiduelles** que le démantèlement de l'installation PEGASE, **après mise en œuvre de la séquence ERC** (mesures pour éviter, réduire et, si nécessaire, compenser, les impacts, présentées dans la partie 4), peut présenter pour les intérêts à protéger selon l'article L. 593-1 du code de l'environnement, qui sont : la sécurité, la santé et la salubrité publiques et la protection de la nature et de l'environnement.

Ce chapitre a pour objectif d'apporter les éléments demandés aux items 5 et 6 de l'article R. 122-5 II du code de l'environnement :

« 5° Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant, entre autres :

- a) De la construction et de l'existence du projet, y compris, le cas échéant, des travaux de démolition ;
- b) De l'utilisation des ressources naturelles, en particulier les terres, le sol, l'eau et la biodiversité, en tenant compte, dans la mesure du possible, de la disponibilité durable de ces ressources ;
- c) De l'émission de polluants, du bruit, de la vibration, de la lumière, la chaleur et la radiation, de la création de nuisances et de l'élimination et la valorisation des déchets ;
- d) Des risques pour la santé humaine, pour le patrimoine culturel ou pour l'environnement ;
- e) Du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés, en tenant compte le cas échéant des problèmes environnementaux relatifs à l'utilisation des ressources naturelles et des zones revêtant une importance particulière pour l'environnement susceptibles d'être touchées.

Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont été réalisés.

Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact :

- * ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une consultation du public ;
- * ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage ;

- f) Des incidences du projet sur le climat et de la vulnérabilité du projet au changement climatique ;
- g) Des technologies et des substances utilisées.

La description des éventuelles incidences notables sur les facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 porte sur les effets directs et, le cas échéant, sur les effets indirects secondaires, cumulatifs, transfrontaliers, à court, moyen et long termes, permanents et temporaires, positifs et négatifs du projet ;

6° Une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné. Cette description comprend le cas échéant les mesures envisagées pour éviter ou réduire les incidences négatives notables de ces événements sur l'environnement et le détail de la préparation et de la réponse envisagée à ces situations d'urgence ; »

Les items 5 et 6 sont complétés par les dispositions du IV de l'article R. 593-17 du code de l'environnement, qui précisent :

« IV. - La description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement, mentionnée au 5° du II de l'article R. 122-5, distingue les différentes phases de construction et de fonctionnement de l'installation. Elle prend en compte les variations saisonnières et climatiques.

Elle indique les incidences de l'installation sur la ressource en eau, le milieu aquatique, l'écoulement, le niveau et la qualité des eaux, y compris de ruissellement, ainsi que sur chacun des éléments mentionnés à l'article L. 211-1.

Elle présente également les retombées d'aérosols ou de poussières et leurs dépôts ; elle indique les incidences de l'installation sur la qualité de l'air et la qualité des sols.

Elle justifie l'optimisation de la gestion des rejets des effluents liquides et gazeux et des déchets, notamment au regard de l'impact global de l'ensemble de ces émissions pour l'environnement et la santé humaine.

Elle évalue l'exposition du public aux rayonnements ionisants du fait de l'installation, en prenant en compte notamment les irradiations provoquées directement par l'installation et les transferts de radionucléides par les différents vecteurs, y compris les chaînes alimentaires.

Les incidences de l'installation sur l'environnement sont appréciées, notamment, au regard des plans de protection de l'atmosphère définis à l'article L. 222-5 ainsi que des normes, des objectifs de qualité et des valeurs limites définis en application des articles L. 211-2, L. 211-4 et L. 221-2.

Elle justifie la compatibilité de l'installation, pour les déchets radioactifs destinés à être produits par l'installation ou entreposés ou stockés dans celle-ci, avec le décret qui établit les prescriptions du plan national de gestion des matières et déchets radioactifs prévu par l'article L. 542-1-2.

V. - La description des mesures envisagées pour répondre aux exigences du 6° et du 8° du II de l'article R. 122-5 précise, notamment, en justifiant de l'utilisation des meilleures techniques disponibles :

1° Les performances attendues, notamment, en ce qui concerne la protection des eaux souterraines, l'épuration, l'évacuation, la gestion et la surveillance des eaux résiduelles et des émanations gazeuses ;

2° Les conditions d'apport à l'installation des matières destinées à y être traitées, du transport des produits fabriqués et de l'utilisation rationnelle de l'énergie ;

3° Les mesures retenues par l'exploitant pour contrôler les prélèvements d'eau, les rejets de l'installation et surveiller les effets de l'installation sur l'environnement ;

4° Les solutions retenues pour minimiser les volumes de déchets produits et leur toxicité radiologique, chimique et biologique. »

1.2- Principes de l'analyse des incidences résiduelles de l'installation PEGASE

1.2.1- Interactions avec l'environnement

Le schéma de principe suivant présente les principales interactions entre l'installation PEGASE et l'environnement.

Il faut ajouter à ces interactions celles qui sont liées à l'environnement humain, telles que le bruit, l'activité économique, etc.

Effluents, transferts et rejets : Dans la suite du document, les notions d'effluents, de transferts et de rejets, illustrées sur la figure suivante, seront fréquemment employées. Elles recouvrent les définitions suivantes :

- × Un effluent est un liquide ou un gaz, généré par une opération (qui peut être de fonctionnement, de démantèlement, etc.). Dans l'industrie nucléaire, et en particulier dans une INB, certains effluents peuvent être radioactifs.
- × Le transfert recouvre le transport des effluents depuis l'installation productrice, jusqu'au dispositif de traitement approprié (station de traitement et d'épuration, STEP, par exemple, pour les effluents liquides).
- × Le rejet est la partie de l'effluent finalement rejetée dans l'environnement, après mise en œuvre des dispositifs (filtration, traitement, etc.) permettant que ce rejet soit le plus faible possible.

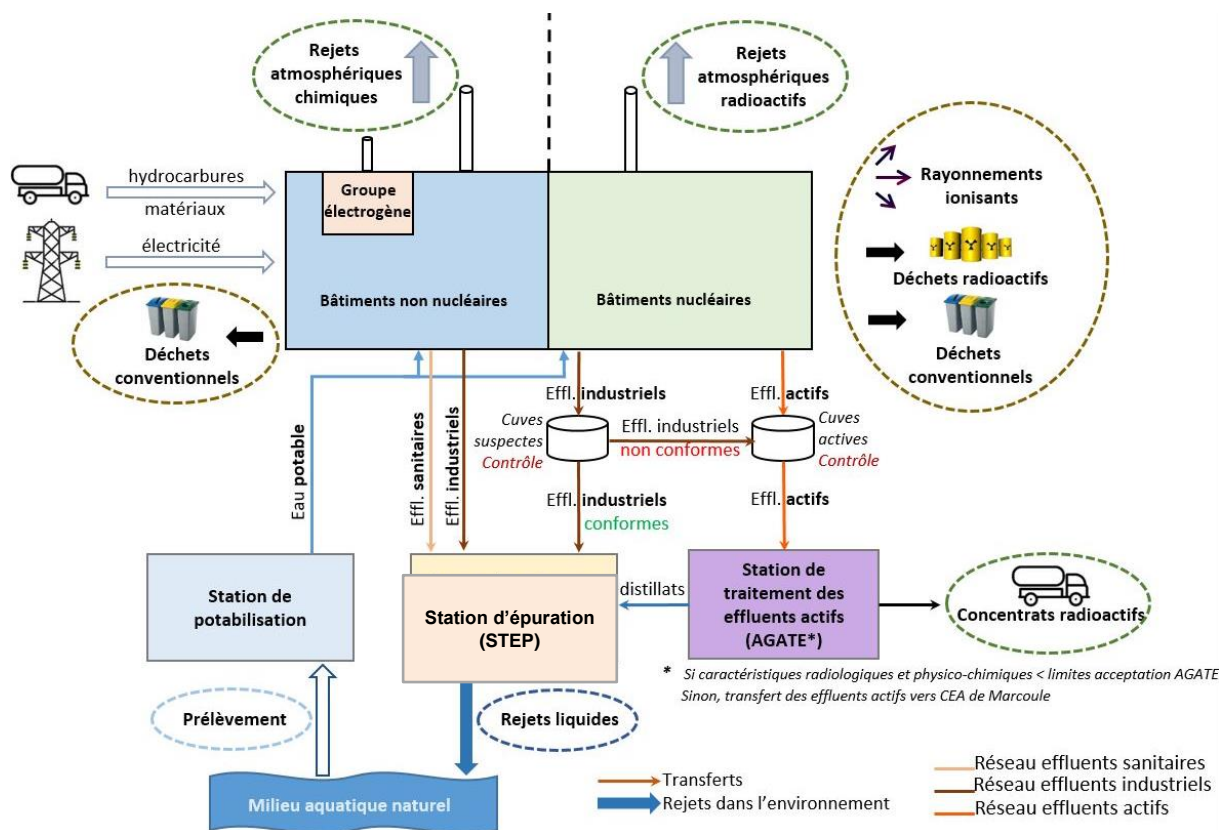


Figure 107 : Schéma de principe des principales interactions de l'installation PEGASE avec l'environnement

1.2.2- Valeurs maximales de rejets dans l'environnement utilisées pour les calculs d'impact

L'analyse présentée ici commence par l'évaluation de l'impact des différents rejets sur l'environnement et la santé humaine. En effet, la détermination des impacts des rejets des installations nucléaires dans l'environnement fait l'objet d'une méthodologie particulière, associée à des codes de calcul et des paramètres validés. Les calculs d'impact des rejets donnent une quantification des concentrations ajoutées (pour les rejets chimiques) et des activités ajoutées (pour les rejets radioactifs) sur l'air, les eaux, les sols, la végétation. La philosophie générale est d'obtenir des résultats dont on soit sûr qu'ils seront supérieurs à la réalité (résultats enveloppe). Pour cela, les calculs sont basés **sur des hypothèses de rejets dans l'environnement qui doivent être enveloppes, tout en restant réalistes.**

Les rejets peuvent varier d'une année sur l'autre, en fonction des opérations de démantèlement qui sont menées dans l'installation, ou du nombre de personnes qui sont présentes. Aussi, pour rester enveloppe, il s'agit de définir des valeurs maximales de rejets.

Ainsi, les valeurs de rejets utilisées pour l'évaluation de leur incidence sur la santé humaine et l'environnement devront à la fois :

- × être les plus faibles que raisonnablement possible, à l'issue de la séquence ERC, pour limiter les impacts ;
- × être enveloppes, pour être sûr que l'impact réel sera quoiqu'il en soit inférieur à l'impact calculé.

Dans le cadre de l'évaluation de l'impact du démantèlement de l'installation PEGASE, **les calculs d'impact sont effectués en considérant des rejets dans l'environnement évalués à partir des limites de transferts et de rejets réglementaires en vigueur pour l'installation.**

Ces limites réglementaires sont présentées ci-après.

1.2.3- Limites réglementaires de transferts et de rejets

Limites réglementaires pour le Centre CEA de Cadarache

Les transferts et rejets des effluents liquides et atmosphériques des installations du Centre de Cadarache sont réglementés, par arrêté préfectoral ou décisions de l'ASN (parfois homologuées par arrêté ministériel).

L'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 réglemente les **rejets**, après traitement à la station d'épuration (STEP), des **effluents liquides de l'ensemble des installations** présentes sur le site du CEA de Cadarache en Durance.

Des **limites réglementaires concernant les transferts d'effluents liquides et les rejets atmosphériques des INB** sont fixées en application de décisions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, après instruction des propositions du CEA. Pour Cadarache, deux décisions ASN sont actuellement en vigueur :

- × Décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Homologuée par arrêté ministériel du 21 septembre 2017, cette décision dite « décision limites » remplace la décision n° 2010-DC-0172 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].
- × Décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de transfert et de rejets des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Cette décision dite « décision modalités » remplace la décision n° 2010-DC-0173 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].

Les limites de rejets sont calées au plus près des possibilités techniques des exploitants, tout en tenant compte des aléas normaux d'exploitation. Le dépassement d'une limite de rejet constitue en effet un incident et est traité comme tel (déclaration obligatoire, instruction de l'anomalie et de ses conséquences). Elles doivent également avoir un caractère incitatif pour que les exploitants restent vigilants dans leur démarche permanente de réduction des rejets.

1.2.3.1 Limites réglementaires de rejets atmosphériques radioactifs

Les limites réglementaires des rejets atmosphériques radioactifs sont fixées, pour chaque INB, par la décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017.

Les limites annuelles et mensuelles de rejets atmosphériques radioactifs réglementaires en vigueur pour la totalité de l'INB 22 (PEGASE et CASCAD) (émissaire E27) sont présentées dans les tableaux suivants.

Limite annuelle de rejets atmosphériques radioactifs pour l'INB 22 (PEGASE – CASCAD) fixée par la décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 (GBq/an)					
Carbone 14	Tritium	Iodes	Gaz rares radioactifs	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
0,14	70	-	-	3.10^{-4}	2.10^{-4}

Tableau 111 : Limite annuelle d'activité des rejets radioactifs atmosphériques de l'INB n° 22 – PEGASE – CASCAD

Limite mensuelle de rejets atmosphériques radioactifs pour l'INB 22 (PEGASE – CASCAD) fixée par la décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 (GBq/mois)					
Carbone 14	Tritium	Iodes	Gaz rares radioactifs	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
-	11,5	-	-	5.10^{-5}	5.10^{-5}

Tableau 112 : Limite mensuelle d'activité des rejets radioactifs atmosphériques de l'INB n° 22 – PEGASE – CASCAD

1.2.3.2 Limites réglementaires de transferts liquides radioactifs

Limite d'activité volumique – Valable pour toutes les installations du Centre de Cadarache

La décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017 fixe les limites maximales d'activité volumique des effluents radioactifs produits par les installations qui peuvent être transférés dans le réseau des effluents industriels (REI) du Centre de Cadarache. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Limites maximales d'activité volumique pour le rejet d'effluents liquides radioactifs dans le Réseau des Effluents Industriels fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 (Bq/L)		
Tritium	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
74 000	74	10

Tableau 113 : Limites maximales d'activité volumique pour le rejet d'effluents liquides dans le Réseau des Effluents Industriels du Centre de Cadarache

Les effluents radioactifs sont considérés comme actifs lorsque leur activité volumique est supérieure ou égale à ces valeurs.

Limite annuelle de transferts des effluents industriels pour l'installation n° 22 – PEGASE – CASCAD

La limite annuelle d'activité des effluents industriels liquides transférables à la station d'épuration des effluents industriels en vigueur pour l'INB 22 – PEGASE – CASCAD est fixée par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017. Elle est présentée dans le tableau suivant.

Limite annuelle d'activité des effluents transférables à la station d'épuration des effluents industriels du Centre de Cadarache pour l'INB 22 (PEGASE – CASCAD) fixée par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 (GBq/an)			
Tritium	Carbone 14	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
37	-	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$

Tableau 114 : Limite annuelle d'activité des transferts liquides à la station de traitement des effluents industriels de l'INB n° 22 – PEGASE – CASCAD

1.2.3.3 Limites réglementaires de rejet des effluents liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache

L'activité annuelle des effluents liquides rejetés par l'ensemble du Centre de Cadarache ne doit pas dépasser les limites suivantes, fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 :

Limites annuelles maximales d'activité des rejets liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 (GBq/an)			
Tritium	Carbone 14	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
1 000	0,5	1,5	0,13

Tableau 115 : Limites annuelles d'activité des rejets liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache

L'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 fixe également des valeurs maximales journalières pour le rejet des effluents liquides en Durance :

Valeurs limites journalières de rejets liquides pour l'ensemble du Centre de Cadarache fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 (article 4.4.2.1)		
Débit maximum des effluents industriels	300 m ³ /h (sur échantillon moyen 24h), avec une moyenne journalière de 200 m ³ /h	
Débit maximum des effluents sanitaires	50 m ³ /h (sur échantillon moyen 24h)	
Débit journalier des effluents rejetés	4 000 m ³ /j en maximum journalier, avec une moyenne journalière mensuelle de 3 000 m ³ /j	
pH	Entre 5,5 et 8,5 (sur échantillon moyen 24h)	
Température	30°C (sur échantillon moyen 24h)	
Caractéristiques physico-chimiques contrôlées	Valeur maximale sur échantillon moyen 24h (mg/L)	Flux journalier maximal (kg/j)
Matières En Suspension (MES)	35	80
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	100	225
Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (DBO5)	30	70
Hydrocarbures totaux	5	10
Azote global	30	70
Phosphore	10	22,5
Sulfates	500	1125
Chlorures	200	450
Bore	0,5	1
Aluminium	2,5	5
Cuivre et ses composés	0,15	0,6
Fer	2,5	5
Zinc	0,8	4,5
AMPA	0,45	1,8
Fluorures	1	2,25
Tritium	1.10 ⁴	22,5.10 ⁹
Ensemble des radionucléides autres que le tritium	100	225.10 ⁶

Tableau 116 : Valeurs limites journalières des rejets d'effluents liquides pour l'ensemble du Centre de Cadarache

2. Incidences des rejets

2.1- Introduction

Pour effectuer les calculs d'impact, il est nécessaire de quantifier, de manière enveloppe, les rejets qui sont susceptibles d'être effectués lors des différentes phases du démantèlement.

Ce chapitre présente les termes sources et les résultats des calculs d'impacts des rejets atmosphériques et liquides, à la fois radiologiques et chimiques.

2.2- Incidences des rejets atmosphériques radiologiques

2.2.1- Hypothèses retenues pour les calculs d'impact

Les hypothèses retenues pour les calculs d'impact sont présentées dans la partie 5. Ne sont rappelées ci-après que les hypothèses principales.

2.2.1.1 Code de calcul

Les calculs d'impacts des rejets atmosphériques chroniques sont réalisés à l'aide des outils de la plateforme CERES (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires), développée par le CEA. L'impact des rejets atmosphériques chroniques est évalué avec le module GASCON. Ce logiciel permet, à partir d'un rejet émis par voie atmosphérique dans les conditions de fonctionnement normal de l'installation, de simuler et de quantifier les transferts de radionucléides dans les compartiments de l'environnement et leur impact sanitaire sur l'homme.

2.2.1.2 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques utilisées pour le calcul sont celles habituellement utilisées pour le calcul de l'impact des rejets chroniques des installations du Centre de Cadarache. La rose des vents, pour les trois conditions de diffusion (diffusion faible, DF, diffusion normale sec DN, et diffusion normale pluie DNp), a été présentée en partie 1, au chapitre 3.

2.2.1.3 Voies d'exposition

Suite à des émissions atmosphériques de substances radioactives, les différentes voies d'exposition de l'homme sont les suivantes :

- * l'immersion dans le panache qui conduit à une exposition interne par inhalation et à une exposition externe ;
- * la présence sur le dépôt au sol, qui conduit à une exposition externe ;
- * la consommation de végétaux, pour lesquels l'activité résulte principalement des dépôts d'aérosols et de gouttes de pluie (voie directe), mais aussi des transferts racinaires à partir du sol (voie indirecte ou racinaire), et qui conduit à une exposition interne par ingestion ;

- * l'ingestion de produits issus d'animaux qui ont consommé des aliments contaminés, qui conduit à une exposition interne.

Dans le cas d'émission de tritium, les voies d'exposition considérées sont légèrement différentes :

- * l'immersion dans le panache conduit à une exposition interne par inhalation et par passage transcutané ;
- * la présence sur le dépôt au sol, qui conduit à une exposition externe. En pratique, le tritium étant un émetteur β pur, il ne conduit pas à une exposition externe par les dépôts. En raison de la mobilité du tritium dans les sols, l'effet d'accumulation est très faible et est négligé ;
- * la consommation de végétaux, pour lesquels l'activité résulte des transferts internes à la plante et qui conduit à une exposition interne par ingestion ;
- * l'ingestion de produits d'origine animale, contaminés par ingestion, conduisant à une exposition interne.

Le schéma conceptuel suivant présente les voies d'exposition de l'homme aux rejets.

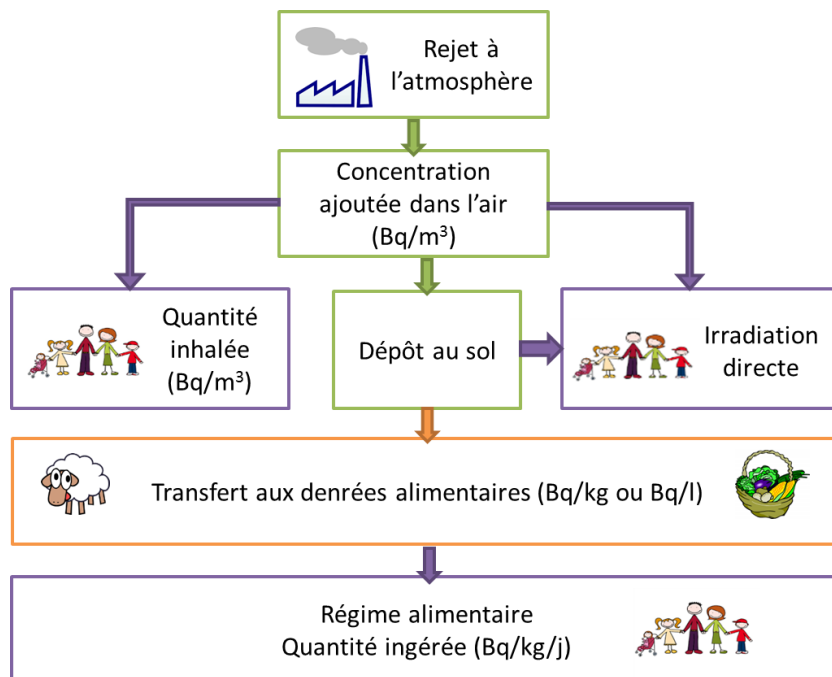


Figure 108 : Schéma conceptuel générique des expositions aux rejets (atmosphériques)

2.2.1.4 Hypothèses relatives aux voies d'exposition et groupes de population étudiés

Exposition externe due aux dépôts sur le sol

Les dépôts sur le sol résultent de mécanismes de diffusion, impaction et sédimentation sur la surface du sol par temps sec et du lavage de l'atmosphère par temps de pluie.

Par temps sec, la vitesse de dépôt est considérée indépendante de la distance au point de rejet.

La pluie conduit à des dépôts plus importants. On calcule un taux de lavage du panache en fonction de la répartition de l'intensité des pluies. Ce taux de lavage permet d'évaluer une vitesse de dépôt par temps de pluie, qui varie selon la distance au point de rejet.

Ces facteurs, combinés avec les paramètres de diffusion (hauteur du rejet, vitesse du vent, écart-type de diffusion verticale), permettent d'évaluer les coefficients d'appauvrissement des constituants du panache ainsi que les dépôts au sol.

Exposition interne par ingestion de produits d'origine végétale et animale

Les calculs effectués font intervenir, d'une part les mécanismes de transfert des radionucléides aux végétaux puis aux animaux et, d'autre part, la consommation des produits d'origine locale.

Le transfert d'activité aux végétaux s'effectue, soit directement, par captation des aérosols et des gouttes de pluie ou de l'eau d'irrigation par le couvert végétal, soit indirectement, par voie racinaire à partir du sol. Lorsque l'organe consommé est un fruit, un tubercule ou une racine, les transferts internes à la plante sont pris en compte.

L'activité présente dans les organes consommés de la plante se déduit du débit de dépôt au sol en considérant les rapports de captation (fraction interceptée par la partie aérienne du végétal), le temps de croissance des végétaux, le rendement de la culture et des facteurs de transfert interne au végétal (facteurs de « translocation de la partie aérienne à la partie consommée »). Les facteurs de transfert indirect de l'activité du sol aux végétaux prennent en compte les dépôts au sol, et les facteurs d'élimination de ces dépôts (lixiviation, exportation), eux-mêmes dépendant de la nature du sol (densité, profondeur racinaire).

Quel que soit l'isotope étudié, l'exposition interne, résultant de l'ingestion de végétaux, est obtenue à partir des dépôts dans ou sur les parties consommées, au moment de la récolte.

L'incorporation par les animaux de l'activité rejetée s'effectue essentiellement par l'ingestion de végétaux, en utilisant des facteurs de transfert (rapport des activités transférées au produit animal sur les activités quotidiennement ingérées) et la consommation des animaux.

Groupes de population

Les groupes de populations sont choisis en fonction des conditions météorologiques, de l'existence d'habitations, de culture et d'élevage.

Quel que soit le groupe étudié, à l'extérieur du site, on tient compte de la présence d'enfants de 10 ans et d'enfants âgés de 1 à 2 ans (même au Hameau de Cadarache). Au regard de la rose des vents, des distances qui séparent l'émissaire et les communes d'intérêts et les modes de vie considérés, les groupes de populations correspondent au Hameau de Cadarache (très proche mais pas de produits alimentaires locaux), Saint-Paul-lez-Durance (proche avec consommation de produits alimentaires locaux exposés aux rejets atmosphériques et liquides, et consommation de produits issus de la pêche dans la Durance), et Beaumont-de-Pertuis (plus éloigné, mais avec eau de boisson prélevée dans la Durance). Les distances des groupes de populations au point de rejet de l'installation PEGASE sont indiquées dans le tableau ci-après.

Distance à l'émissaire	Description	Caractéristiques	Voies d'exposition	Individus considérés	Taux de présence
2,25 km	Le Hameau	Résidence étudiante, située à proximité de l'entrée principale du Centre	Exposition externe, exposition interne par inhalation	Adultes Enfants 10 ans Enfants 1-2ans	100 %
4,35 km	Saint-Paul-lez-Durance	Village situé à l'ouest du Centre, au bord de la Durance	Exposition externe, exposition interne par inhalation et par ingestion	Adultes Enfants 10 ans Enfants 1-2 ans	100 %
7,94 km	Beaumont-de-Pertuis	Village situé au nord-ouest du Centre			
8,18 km	Corbières				
7,37 km	Ginasservis	Village situé à l'est du Centre			
11,3 km	Jouques	Village situé au sud-ouest du Centre			
8,85 km	Mirabeau	Village situé à l'ouest du Centre			
9,32 km	Rians	Village situé au sud du Centre			
5,78 km	Vinon-sur-Verdon	Villages situés au nord-est du Centre			
12,5 km	Gréoux-les-Bains				
16,2 km	Manosque	Ville située au nord du Centre			
20,9 km	Pertuis	Ville située à l'ouest du Centre de Cadarache			

Tableau 117 : Points de calcul de l'impact sanitaire

Pour l'ensemble des groupes retenus, à l'exception du Hameau, toutes les voies d'exposition sont prises en compte, à savoir l'inhalation du panache, l'exposition externe à ce même panache, l'exposition externe aux dépôts de radioéléments au sol et l'exposition interne par ingestion. Au Hameau, résidence étudiante située à proximité du site, on ne retient pas l'exposition interne par ingestion car il n'y a pas de production alimentaire locale (jardin, élevage).

2.2.2- Composante radioactive des rejets atmosphériques retenus dans les calculs d'impact

Les rejets atmosphériques occasionnés par l'installation PEGASE en fonctionnement normal proviennent de la cheminée de l'installation (émissaire E27) où est envoyé l'air extrait des locaux par le système de ventilation.

2.2.2.1 Traitement et rejets des effluents

La ventilation de l'installation PEGASE permet d'extraire l'air des différentes zones de l'installation. Après passage dans un ou plusieurs filtres THE, l'air est rejeté à la cheminée où il est contrôlé en continu à l'aide de dispositifs équipés de seuils d'alarmes. Le franchissement de ces seuils déclenche une alarme informant les opérateurs d'un rejet anormal afin qu'ils puissent prendre toutes les mesures nécessaires pour identifier le problème et y remédier.

2.2.2.2 Mesures de limitation des rejets

La limitation des rejets radioactifs atmosphériques est partie intégrante de la conception de l'installation et de l'élaboration du projet de démantèlement. Le confinement et le système de ventilation associé permettent d'éviter la dissémination de la contamination et la réduction des rejets au minimum raisonnablement possible, notamment grâce à la mise en place de filtration très haute efficacité dans les zones délimitées.

L'air extrait des locaux est analysé en permanence avant rejet. Les mesures sont réalisées à la fois en instantané et en différé :

- × les mesures instantanées permettent de détecter un rejet anormalement élevé ;
- × les mesures différées, beaucoup plus précises, permettent d'établir une comptabilisation des rejets tout au long de l'année et de vérifier le respect des limites annuelles de rejets.

Les contrôles propres à l'installation sont complétés par la surveillance globale de l'environnement du site de Cadarache.

2.2.2.3 Caractéristiques et quantification des rejets à l'environnement

Spectres radiologiques

Au total, 4 spectres radiologiques sont retenus pour l'estimation des rejets gazeux liés aux opérations de démantèlement. Ces spectres seront identiques pour les transferts d'effluents liquides. Le tableau ci-dessous décrit les spectres en question :

Radioélément	Nature	% Activité (0 à 1)			
		Ateliers fûts	Cellule Blindée	Aéroréfrigérant	Installation
H3	$\beta\gamma$	–	–	6.51E-04	2.40E-06
C14	$\beta\gamma$	–	–	1.52E-03	1.54E-03
Co60	$\beta\gamma$	–	–	1.69E-05	2.05E-06
Sr90	$\beta\gamma$	–	7.43E-02	–	6.45E-04
Ag108m	$\beta\gamma$	–	–	–	1.48E-05
Sb125	$\beta\gamma$	–	–	2.00E-07	3.55E-09
Cs134	$\beta\gamma$	–	1.64E-05	–	–
Cs137	$\beta\gamma$	–	5.10E-01	–	1.42E-04
Eu152	$\beta\gamma$	–	0	–	4.10E-07
Eu154	$\beta\gamma$	–	1.78E-03	–	1.45E-07
Eu155	$\beta\gamma$	–	7.28E-05	–	–0
U234	α	–	–	9.41E-01	9.38E-01
U235	α	–	–	3.21E-02	3.19E-02
U236	α	–	–	5.06E-04	5.05E-04
U238	α	–	–	5.15E-04	5.13E-04
Pu238	α	1.83E-02	4.47E-02	2.92E-07	2.56E-07
Pu239	α	7.32E-02	1.99E-02	2.39E-02	2.39E-02
Pu240	α	6.15E-02	3.98E-02	4.08E-05	4.05E-05
Pu241	$\beta\gamma$	6.47E-01	2.22E-01	3.20E-06	1.47E-06

Radioélément	Nature	% Activité (0 à 1)			
		Ateliers fûts	Cellule Blindée	Aéroréfrigérant	Installation
Pu242	α	2.39E-05	–	–	–
Am241	α	2.00E-01	7.99E-02	1.68E-06	2.54E-03
Th230	α	–	–	–	5.48E-04
Cm243	α	–	4.65E-03	–	–
Cm244	α	–	2.63E-03	–	–

Tableau 118 : Spectres radiologiques pour les calculs d'impact du démantèlement de l'installation PEGASE

Coefficients de remise en suspension et de filtration

Suivant le type d'opération et la nature des radioéléments, les coefficients de mise en suspension suivants sont utilisés :

Type de tâche	Taux de mise en suspension par type de radionucléides			
	Alpha	Bêta-gamma	Semi-volatil	Gaz
découpe thermique d'éléments contaminés	1,00E-02		4,00E-02	
découpe thermique d'éléments activés				
découpe mécanique d'éléments contaminés	1,00E-04		1,00E-02	
découpe mécanique d'éléments activés				
découpe mécanique sous eau d'éléments activés	1,00E-09		1,00E-02	
écroûtage	1,00E-03			
manutention	1,00E-05			

Tableau 119 : Taux de remise en suspension retenus par type de radionucléides

Suivant la localisation des opérations, 1 ou 2 filtres THE permettront de réduire les rejets, soit des coefficients de réduction respectifs de 10^{-3} avec 1 seul filtre et de 10^{-5} pour 2 filtres en série.

Activités rejetées

Des rejets sont attendus pour les opérations du démantèlement ci-dessous :

- * O1 : démantèlement de l'aéroréfrigérant,
- * O3 : démantèlement des équipements des galeries techniques,
- * O5 : démantèlement de la cellule blindée,
- * O6 : vidange de la piscine et des bassins,
- * O7 : évacuation des équipements restants,
- * O8 : démantèlement du procédé de désentreposage des fûts,
- * O10 : démantèlement des bassins et de la piscine,
- * O12 : démantèlement des circuits d'eaux de l'installation,
- * O14 : démantèlement de la station d'épuration,
- * O15 : démantèlement du circuit des effluents suspects et actifs,

- * O20 : simplification du réseau électrique,
- * O21 : assainissement de la structure de la piscine et des bassins,
- * O22 : assainissement GC des locaux,
- * O25 : démantèlement de la ventilation historique.

Les tableaux suivants présentent la période et le terme source associés à chaque opérations ou sous-opérations (définies par les types d'activités différentes : découpe, écroutage, rinçage) : ces périodes peuvent être sujettes à changement (pour des raisons opérationnelles, des aléas de planning). Par ailleurs, le terme source radiologique qui est estimé ci-après se base sur des spectres déchets qui seront à confirmer lors des phases d'investigations radiologiques sur les équipements des procédés et des utilités de l'installation, après la vacuité de l'installation PEGASE (fin de l'étape 1 du démantèlement).

Informations et Radioéléments	O1	O3	O5a	O5b	O6	O7a	O7b	O8	O10
Début	05/31	02/32	02/36	05/36	03/36	01/36	11/38	01/36	04/38
Fin	10/31	07/32	05/36	11/36	12/37	11/38	06/43	09/37	02/41
Durée (mois)	6	6	4	7	22	35	56	21	35
Ag108m	–	–	–	–	2.5E-03	1.2E-09	1.6E-07	–	1.1E-01
Am241	1.1E-07	7.7E-08	7.7E-02	9.9E-02	4.3E-01	5.1E-08	6.7E-06	2.0E-03	4.8E+00
C14	3.8E+01	2.8E-01	–	–	2.6E-01	1.2E-02	1.6E+00	–	1.2E+06
Cm243	–	–	4.5E-03	5.8E-03	–	–	–	–	–
Cm244	–	–	2.5E-03	3.3E-03	–	–	–	–	–
Co60	1.1E-06	7.8E-07	–	–	3.5E-04	4.1E-11	5.4E-09	–	3.9E-03
Cs134	–	–	6.4E-05	2.0E-05	–	–	–	–	–
Cs137	–	–	2.0E+00	6.3E-01	2.4E-02	1.1E-08	1.5E-06	–	1.1E+00
Eu152	–	–	–	–	7.0E-05	8.2E-12	1.1E-09	–	7.7E-04
Eu154	–	–	1.7E-03	2.2E-03	2.5E-05	2.9E-12	3.8E-10	–	2.7E-04
Eu155	–	–	7.1E-05	9.1E-05	–	–	–	–	–
H3	1.6E+01	1.2E-01	–	–	4.1E+01	1.9E-05	2.5E-03	–	1.8E+03
Pu238	1.8E-08	1.3E-08	4.3E-02	5.6E-02	4.4E-05	5.1E-12	6.7E-10	1.8E-04	4.8E-04
Pu239	1.5E-03	1.1E-03	1.9E-02	2.5E-02	4.1E+00	4.8E-07	6.3E-05	7.2E-04	4.5E+01
Pu240	2.6E-06	1.9E-06	3.9E-02	4.9E-02	6.9E-03	8.1E-10	1.1E-07	6.0E-04	7.6E-02
Pu241	2.0E-07	1.5E-07	2.2E-01	2.8E-01	2.5E-04	2.9E-11	3.9E-09	6.3E-03	2.8E-03
Pu242	–	–	–	–	–	–	–	2.3E-07	–
Sb125	1.3E-08	9.2E-09	–	–	6.0E-07	7.1E-14	9.3E-12	–	6.7E-06
Sr90	–	–	7.2E-02	9.2E-02	1.1E-01	1.3E-08	1.7E-06	–	1.2E+00
Th230	–	–	–	–	9.3E-02	1.1E-08	1.4E-06	–	1.0E+00
U234	5.9E-02	4.3E-02	–	–	1.6E+02	1.9E-05	2.5E-03	–	1.8E+03
U235	2.0E-03	1.5E-03	–	–	5.4E+00	6.4E-07	8.4E-05	–	6.0E+01
U236	3.2E-05	2.3E-05	–	–	8.6E-02	1.0E-08	1.3E-06	–	9.5E-01
U238	3.2E-05	2.4E-05	–	–	8.7E-02	1.0E-08	1.3E-06	–	9.7E-01
TOTAL	5.5E+01	4.5E-01	2.5E+00	1.2E+00	2.1E+02	1.2E-02	1.6E+00	9.8E-03	1.2E+06
H3	1.6E+01	1.2E-01	–	–	4.1E+01	1.9E-05	2.5E-03	–	1.8E+03
C14	3.8E+01	2.8E-01	–	–	2.6E-01	1.2E-02	1.6E+00	–	1.2E+06
βγ	1.3E-06	9.3E-07	2.3E+00	1.0E+00	1.4E-01	2.5E-08	3.4E-06	6.3E-03	2.4E+00
α	6.3E-02	4.6E-02	1.9E-01	2.4E-01	1.7E+02	2.0E-05	2.6E-03	3.5E-03	1.9E+03

Tableau 120 : Périodes et terme source (Bq) par opération ou sous-opération – Partie 1

Informations et Radioéléments	O12	O14	O15a	O15b	O15c	O20	O21	O22	O25
Début	03/38	03/39	04/41	02/42	08/42	03/46	06/41	11/46	11/52
Fin	02/41	02/40	02/42	08/42	11/42	11/46	01/45	11/51	02/55
Durée (mois)	36	12	11	7	4	9	44	61	28
Ag108m	1.9E-07	1.1E-08	2.2E-03	4.8E-05	2.5E-04	9.8E-10	5.0E-03	1.8E-02	6.2E-08
Am241	8.3E-06	4.6E-07	9.4E-02	8.3E-03	4.3E-02	4.2E-08	2.1E-01	7.8E-01	2.7E-06
C14	2.0E+00	1.1E-01	2.3E+04	5.0E-03	2.6E-02	1.0E-02	5.2E+04	1.9E+05	6.5E-01
Cm243	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cm244	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Co60	6.7E-09	3.7E-10	7.6E-05	6.7E-06	3.5E-05	3.4E-11	1.7E-04	6.3E-04	2.2E-09
Cs134	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cs137	1.8E-06	1.0E-07	2.1E-02	4.6E-04	2.4E-03	9.4E-09	4.8E-02	1.7E-01	6.0E-07
Eu152	1.3E-09	7.4E-11	1.5E-05	1.3E-06	6.9E-06	6.8E-12	3.5E-05	1.3E-04	4.3E-10
Eu154	4.7E-10	2.6E-11	5.4E-06	4.7E-07	2.5E-06	2.4E-12	1.2E-05	4.4E-05	1.5E-10
Eu155	–	–	–	–	–	–	–	–	–
H3	3.1E-03	1.7E-04	3.6E+01	7.9E-01	4.1E+00	1.6E-05	8.1E+01	2.9E+02	1.0E-03
Pu238	8.3E-10	4.7E-11	9.5E-06	8.4E-07	4.3E-06	4.2E-12	2.2E-05	7.8E-05	2.7E-10
Pu239	7.8E-05	4.3E-06	8.9E-01	7.8E-02	4.0E-01	3.9E-07	2.0E+00	7.3E+00	2.5E-05
Pu240	1.3E-07	7.4E-09	1.5E-03	1.3E-04	6.9E-04	6.7E-10	3.4E-03	1.2E-02	4.3E-08
Pu241	4.8E-09	2.7E-10	5.5E-05	4.8E-06	2.5E-05	2.4E-11	1.2E-04	4.5E-04	1.5E-09
Pu242	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Sb125	1.2E-11	6.5E-13	1.3E-07	1.2E-08	6.0E-08	5.9E-14	3.0E-07	1.1E-06	3.7E-12
Sr90	2.1E-06	1.2E-07	2.4E-02	2.1E-03	1.1E-02	1.1E-08	5.5E-02	2.0E-01	6.8E-07
Th230	1.8E-06	1.0E-07	2.0E-02	1.8E-03	9.3E-03	9.0E-09	4.6E-02	1.7E-01	5.8E-07
U234	3.1E-03	1.7E-04	3.5E+01	3.1E+00	1.6E+01	1.5E-05	7.9E+01	2.9E+02	9.9E-04
U235	1.0E-04	5.8E-06	1.2E+00	1.0E-01	5.4E-01	5.3E-07	2.7E+00	9.8E+00	3.4E-05
U236	1.6E-06	9.2E-08	1.9E-02	1.7E-03	8.6E-03	8.3E-09	4.3E-02	1.5E-01	5.3E-07
U238	1.7E-06	9.3E-08	1.9E-02	1.7E-03	8.7E-03	8.5E-09	4.3E-02	1.6E-01	5.4E-07
TOTAL	2.0E+00	1.1E-01	2.3E+04	4.1E+00	2.1E+01	1.0E-02	5.2E+04	1.9E+05	6.5E-01
H3	3.1E-03	1.7E-04	3.6E+01	7.9E-01	4.1E+00	1.6E-05	8.1E+01	2.9E+02	1.0E-03
C14	2.0E+00	1.1E-01	2.3E+04	5.0E-03	2.6E-02	1.0E-02	5.2E+04	1.9E+05	6.5E-01
βγ	4.2E-06	2.3E-07	4.7E-02	2.6E-03	1.4E-02	2.1E-08	1.1E-01	3.9E-01	1.3E-06
α	3.2E-03	1.8E-04	3.7E+01	3.3E+00	1.7E+01	1.6E-05	8.4E+01	3.1E+02	1.1E-03

Tableau 121 : Périodes et terme source (Bq) par opération ou sous-opération – Partie 2

La figure ci-dessous présente la chronologie annuelle estimée des rejets par famille de radioéléments, ainsi que les valeurs maximales.

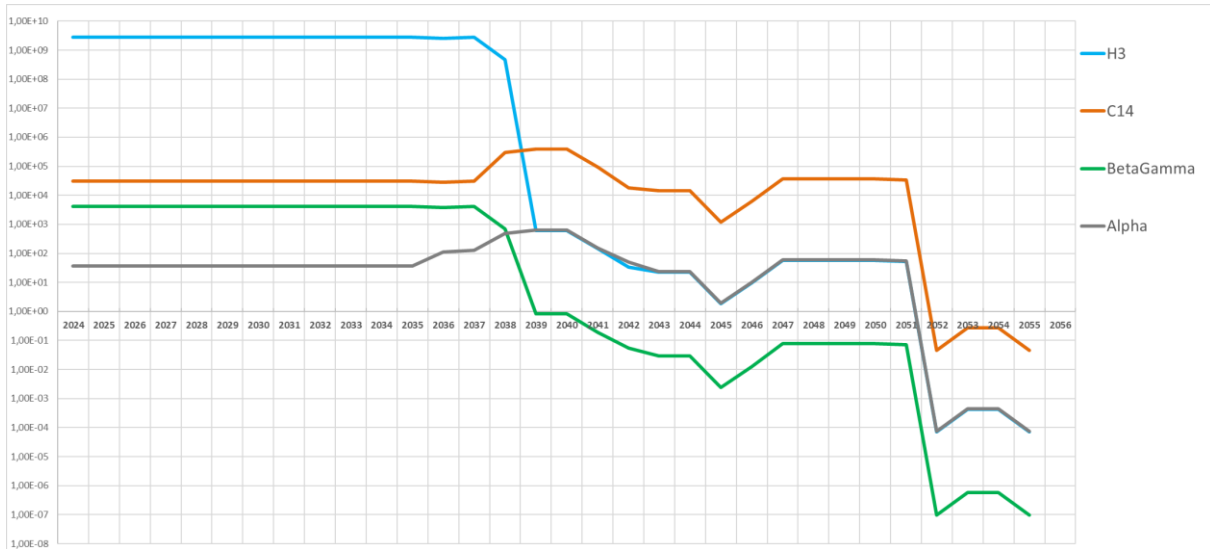


Figure 109 : Rejets atmosphériques radiologiques annuels estimés pour les opérations de démantèlement incluant les OPDEM

De manière conservatrice pour l'évaluation de l'impact, le choix a été fait de considérer les activités maximales annuelles par radioélément, pour une durée de rejet de 50 ans (enveloppe au projet de démantèlement). Le terme source annuel ainsi défini est détaillé dans le tableau suivant :

Radioélément	Activité annuelle maximale [Bq/an]	Radioélément	Activité annuelle maximale [Bq/an]
Ag108m+	3.83E-02	Pu238	9.90E-02
Am241	1.64E+00	Pu239+	1.55E+01
C14 CO2	3.99E+05	Pu240	9.15E-02
Cm243	1.03E-02	Pu241+	4.95E-01
Cm244	5.82E-03	Pu242	1.34E-07
Co60	1.33E-03	Sb125+	2.30E-06
Cs134	8.40E-05	Sr90+	4.17E-01
Cs137+	2.62E+00	Th230	3.55E-01
Eu152	2.65E-04	U234	6.07E+02
Eu154	3.95E-03	U235+	2.06E+01
Eu155	1.61E-04	U236	3.27E-01
HTO	6.21E+02	U238+	3.32E-01

Le signe « + » signifie que les filiations à vie courte sont intégrées dans les calculs par l'intermédiaire des coefficients de dose

Tableau 122 : Rejets atmosphériques radiologiques annuels maximums estimés pour les opérations de démantèlement

Les rejets sont effectués au niveau de l'émissaire E27 dont la hauteur physique est de 50 m.

Autorisation de rejet

Les nouvelles limites annuelles de rejet pour l'ensemble de l'INB 22 (PEGASE et CASCAD) sont calculées en considérant :

- * les rejets estimés des opérations de SENEX de l'installation PEGASE, issus des valeurs maximales de rejets de l'INB 22 mesurées et déclarées depuis 2014 (date de fin des opérations de désentreposage des fûts plutonifères entreposés dans l'installation PEGASE), et en considérant une contribution de l'installation PEGASE proportionnelle aux débits de ventilation, soit une fraction de 65 % pour l'installation PEGASE et 35 % pour l'installation CASCAD ;
- * les rejets estimés des opérations de démantèlement de l'installation PEGASE (Tableau 122) ;
- * les rejets propres à CASCAD, en considérant :
 - o une contribution de 35 % de CASCAD aux rejets de l'INB 22 (correspondants au ratio des débits de la ventilation nucléaire entre l'installation CASCAD et l'installation PEGASE), pour les rejets α et $\beta\gamma$,
 - o aucun rejet de tritium,
 - o 100 % de la limite actuelle en carbone 14 (rejet ponctuel concerté).

Le tableau ci-dessous détaille le calcul des nouvelles limites annuelles de rejet pour l'ensemble de l'INB 22 – PEGASE/CASCAD :

Limites annuelles de rejet (Bq/an)				
Catégories	C14	H3	$\beta\gamma$	α
SENEX PEGASE	–	2.37E+10	3.50E+04	3.17E+02
DEM PEGASE	3.99E+05	6.21E+02	3.58E+00	6.46E+02
CASCAD ²⁹	1.40E+08	–	1.00E+05	7.00E+04
TOTAL	1.40E+08	2.37E+10	1.35E+05	7.10E+04
% limites actuelles	100 %	34 %	45 %	35 %

Tableau 123 : Nouvelles valeurs limites annuelles de rejet pour l'INB 22 – PEGASE/CASCAD

Tout comme pour les rejets estimés, les rejets aux limites sont considérés sur 50 ans, au niveau de l'émissaire E27 dont la hauteur physique est de 50 m.

²⁹ Actuellement les rejets gazeux de CASCAD sont rejetés avec ceux de PEGASE via l'émissaire E27 situé sur PEGASE. A terme (2035), les rejets gazeux de CASCAD seront rejetés par un émissaire dédié. Ce découplage des rejets ne modifie pas la quantité de rejets.

2.2.3- Résultats des calculs d'impact radiologique

2.2.3.1 Impact résiduel des rejets estimés sur l'environnement

L'impact résiduel sur l'environnement est évalué à travers l'activité ajoutée dans l'air, dans les sols, et dans les productions agricoles. Les activités ajoutées dans ces différents compartiments sont détaillées ci-après pour les groupes de population les plus exposés, à savoir le Hameau, Saint-Paul-lez-Durance, Beaumont-de-Pertuis et Ginasservis.

Activités ajoutées dans l'air

Le tableau suivant présente l'activité ajoutée dans l'air aux différents lieux les plus exposés. Le rejet étant considéré constant sur toute la période de calcul, ces valeurs sont identiques pour tous les instants.

Radioéléments	Activité volumique ajoutée dans l'air (Bq/m ³)			
	Beaumont-de-Pertuis	Ginasservis	Hameau	Saint-Paul-lez-Durance
Ac227+	6.4E-28	5.6E-28	3.0E-28	8.5E-28
Ag108m+	1.3E-16	1.5E-16	6.8E-16	1.2E-16
Am241	5.4E-15	6.5E-15	2.9E-14	5.2E-15
Am243+	7.6E-28	8.3E-28	9.0E-28	1.2E-27
C14 CO2	1.5E-09	1.7E-09	7.2E-09	1.4E-09
Cm243	3.4E-17	4.1E-17	1.8E-16	3.3E-17
Cm244	1.9E-17	2.3E-17	1.0E-16	1.9E-17
Co60	4.4E-18	5.3E-18	2.4E-17	4.2E-18
Cs134	2.8E-19	3.3E-19	1.5E-18	2.7E-19
Cs137+	8.7E-15	1.0E-14	4.7E-14	8.3E-15
Eu152	8.8E-19	1.1E-18	4.7E-18	8.4E-19
Eu154	1.3E-17	1.6E-17	7.0E-17	1.3E-17
Eu155	5.3E-19	6.4E-19	2.9E-18	5.1E-19
HTO	2.3E-12	2.6E-12	1.2E-11	2.2E-12
Np237+	1.7E-25	1.9E-25	2.1E-25	2.7E-25
Pa231	1.4E-22	1.6E-22	1.7E-22	2.2E-22
Pu238	3.3E-16	3.9E-16	1.8E-15	3.1E-16
Pu239+	5.1E-14	6.2E-14	2.8E-13	4.9E-14
Pu240	3.0E-16	3.6E-16	1.6E-15	2.9E-16
Pu241+	1.6E-15	2.0E-15	8.8E-15	1.6E-15
Pu242	4.4E-22	5.3E-22	2.4E-21	4.3E-22
Ra226+	5.1E-23	5.5E-23	6.0E-23	7.9E-23
Sb125+	7.6E-21	9.1E-21	4.1E-20	7.3E-21
Sr90+	1.4E-15	1.7E-15	7.4E-15	1.3E-15
Th230	1.2E-15	1.4E-15	6.4E-15	1.1E-15
Th232	5.3E-30	5.8E-30	6.2E-30	8.3E-30
U233	3.2E-35	7.7E-36	0.0E+00	7.9E-35
U234	2.0E-12	2.4E-12	1.1E-11	1.9E-12
U235+	6.8E-14	8.2E-14	3.7E-13	6.5E-14
U236	1.1E-15	1.3E-15	5.9E-15	1.0E-15
U238+	1.1E-15	1.3E-15	5.9E-15	1.1E-15
Total	1.5E-09	1.7E-09	7.2E-09	1.4E-09

Tableau 124 : Activité volumique ajoutée dans l'air (Bq/m³)

L'activité ajoutée dans l'air est fonction de la rose des vents ainsi que de la distance entre la localisation considérée et le point de rejet.

Activités ajoutées dans le sol

Les tableaux suivants présentent les activités ajoutées dans le sol aux différents lieux les plus exposés à 1 an et à 50 ans.

Radioéléments	Activité ajoutée dans le sol (Bq/kg)							
	Beaumont-de-Pertuis		Ginasservis		Hameau		Saint-Paul-lez-Durance	
	1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans
Ac227+	3.6E-25	7.1E-24	3.1E-25	6.2E-24	1.7E-25	4.2E-24	4.7E-25	9.3E-24
Ag108m+	6.8E-14	4.6E-13	8.0E-14	5.5E-13	4.0E-13	1.7E-11	6.5E-14	4.4E-13
Am241	3.2E-12	1.5E-10	3.7E-12	1.8E-10	1.7E-11	8.2E-10	3.0E-12	1.4E-10
Am243+	4.4E-25	2.2E-23	4.8E-25	2.3E-23	5.2E-25	2.6E-23	6.8E-25	3.3E-23
C14 CO2	5.8E-08	9.2E-08	3.6E-08	5.7E-08	5.1E-07	1.3E-05	4.7E-08	7.4E-08
Cm243	2.0E-14	5.3E-13	2.3E-14	6.2E-13	1.1E-13	3.1E-12	1.9E-14	5.1E-13
Cm244	1.1E-14	2.3E-13	1.3E-14	2.7E-13	6.0E-14	1.3E-12	1.1E-14	2.2E-13
Co60	2.3E-15	1.0E-14	2.7E-15	1.2E-14	1.3E-14	1.0E-13	2.2E-15	1.0E-14
Cs134	1.3E-16	4.1E-16	1.6E-16	4.8E-16	7.4E-16	2.6E-15	1.3E-16	3.9E-16
Cs137+	4.9E-12	6.1E-11	5.7E-12	7.2E-11	2.7E-11	8.0E-10	4.6E-12	5.9E-11
Eu152	4.9E-16	5.2E-15	5.7E-16	6.1E-15	2.7E-15	4.6E-14	4.7E-16	5.0E-15
Eu154	7.1E-15	6.1E-14	8.4E-15	7.1E-14	3.9E-14	4.9E-13	6.8E-15	5.8E-14
Eu155	2.8E-16	1.7E-15	3.3E-16	2.0E-15	1.6E-15	1.2E-14	2.7E-16	1.6E-15
HTO	1.2E-10	1.2E-10	1.2E-10	1.2E-10	7.0E-10	7.0E-10	1.1E-10	1.1E-10
Np237+	9.9E-23	2.2E-21	1.1E-22	2.4E-21	1.2E-22	3.9E-21	1.5E-22	3.4E-21
Pa231	7.3E-20	3.1E-19	7.9E-20	3.3E-19	9.8E-20	4.8E-18	1.1E-19	4.7E-19
Pu238	1.9E-13	7.7E-12	2.2E-13	9.1E-12	1.0E-12	4.2E-11	1.8E-13	7.4E-12
Pu239+	3.0E-11	1.5E-09	3.5E-11	1.7E-09	1.6E-10	7.9E-09	2.9E-11	1.4E-09
Pu240	1.8E-13	8.6E-12	2.1E-13	1.0E-11	9.5E-13	4.7E-11	1.7E-13	8.2E-12
Pu241+	9.3E-13	1.8E-11	1.1E-12	2.2E-11	5.0E-12	1.0E-10	8.9E-13	1.8E-11
Pu242	2.6E-19	1.3E-17	3.0E-19	1.5E-17	1.4E-18	6.9E-17	2.5E-19	1.2E-17
Ra226+	2.8E-20	3.4E-19	3.0E-20	3.7E-19	3.5E-20	1.7E-18	4.3E-20	5.3E-19
Sb125+	3.8E-18	1.4E-17	4.5E-18	1.6E-17	2.1E-17	9.3E-17	3.6E-18	1.3E-17
Sr90+	5.0E-13	7.8E-13	5.9E-13	9.1E-13	4.2E-12	7.8E-11	4.8E-13	7.4E-13
Th230	6.9E-13	3.3E-11	8.1E-13	3.9E-11	3.7E-12	1.8E-10	6.6E-13	3.2E-11
Th232	3.1E-27	1.5E-25	3.3E-27	1.6E-25	3.6E-27	1.8E-25	4.7E-27	2.3E-25
U233	1.8E-32	4.7E-31	4.3E-33	1.1E-31	0.0E+00	0.0E+00	4.4E-32	1.2E-30
U234	1.2E-09	3.1E-08	1.4E-09	3.6E-08	6.3E-09	2.9E-07	1.1E-09	2.9E-08
U235+	3.9E-11	1.0E-09	4.6E-11	1.2E-09	2.1E-10	9.9E-09	3.7E-11	1.0E-09
U236	6.2E-13	1.7E-11	7.3E-13	2.0E-11	3.4E-12	1.6E-10	6.0E-13	1.6E-11
U238+	6.3E-13	1.7E-11	7.4E-13	2.0E-11	3.4E-12	1.6E-10	6.0E-13	1.6E-11
Total	5.9E-08	1.3E-07	3.8E-08	9.6E-08	5.2E-07	1.3E-05	4.8E-08	1.1E-07

Tableau 125 : Activité ajoutée dans le sol (Bq/kg)

L'activité ajoutée dans le sol est fonction de la rose des vents ainsi que de la distance entre la localisation considérée et le point de rejet.

Activités ajoutées dans les aliments d'origine agricole

Le tableau suivant présente les activités ajoutées dans les aliments pour Ginasservis, lieu présentant les plus fortes concentrations :

Famille de radioéléments	Activité ajoutée dans les aliments après 1 an de fonctionnement (en Bq/kg ou Bq/L)							
	Salade	Carottes	Tomates	Pommes	Viande (Mouton)	Oeuf (Poule)	Viande (Poule)	Lait (Chèvre)
Aérosols émetteurs α	2.0E-09	5.2E-12	1.9E-10	1.6E-12	8.6E-11	3.0E-10	2.0E-10	6.0E-11
Aérosols émetteurs $\beta\gamma$	9.8E-12	4.0E-13	2.3E-12	2.2E-14	3.4E-11	4.5E-13	3.1E-12	2.0E-11
Carbone	4.2E-07	8.3E-07	3.1E-07	8.3E-07	7.8E-07	7.8E-07	7.8E-07	7.8E-07
Formes tritium	2.3E-10	2.2E-10	2.3E-10	2.2E-10	1.7E-10	2.0E-11	2.0E-11	1.3E-10
Strontium	1.3E-12	5.1E-14	1.6E-13	1.9E-14	4.3E-14	6.3E-14	3.6E-15	4.6E-13

Tableau 126 : Activité ajoutée dans les aliments (Bq/kg ou Bq/L) à Ginasservis après 1 an de rejets

Famille de radioéléments	Activité ajoutée dans les aliments après 50 ans de fonctionnement (en Bq/kg ou Bq/L)							
	Salade	Carottes	Tomates	Pommes	Viande (Mouton)	Oeuf (Poule)	Viande (Poule)	Lait (Chèvre)
Aérosols émetteurs α	2.2E-09	2.6E-10	2.8E-10	1.7E-12	8.8E-11	3.0E-10	2.0E-10	6.2E-11
Aérosols émetteurs $\beta\gamma$	1.1E-11	1.2E-12	2.6E-12	7.1E-13	3.6E-11	4.6E-13	3.1E-12	2.1E-11
Carbone	5.9E-07	1.0E-06	4.9E-07	8.3E-07	7.8E-07	7.8E-07	7.8E-07	7.8E-07
Formes tritium	2.3E-10	2.2E-10	2.3E-10	2.2E-10	1.7E-10	2.0E-11	2.0E-11	1.3E-10
Strontium	2.9E-12	1.7E-12	1.5E-12	6.6E-13	5.8E-14	8.4E-14	4.8E-15	6.2E-13

Tableau 127 : Activité ajoutée dans les aliments (Bq/kg ou Bq/L) à Ginasservis après 50 ans de rejets

Les résultats montrent que les activités ajoutées par les rejets atmosphériques dans l'air, le sol, et les productions agricoles resteront très faibles et largement inférieures aux seuils de décision du laboratoire du SPR/LANSE, présentés en annexe 1.

L'impact résiduel des rejets atmosphériques radioactifs du fonctionnement normal de l'installation PEGASE sur l'environnement et la qualité de l'air est donc qualifié de très faible, et ce malgré les hypothèses très pénalisantes sur le terme source retenu pour le calcul.

2.2.3.2 Impact résiduel des rejets estimés sur la santé humaine

Les doses efficaces annuelles, calculées après 1 an et 50 ans de rejets atmosphériques de l'installation PEGASE en fonctionnement normal, sont synthétisées dans le tableau suivant pour les groupes de populations.

Doses efficaces annuelles (mSv/an)						
Groupes de population	Enfant de 1 à 2 ans		Enfant de 10 ans		Adulte	
	1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans
Pertuis (20 912m)	2.4E-11	2.5E-11	2.9E-11	3.0E-11	3.4E-11	3.5E-11
Manosque (16 224m)	1.0E-11	1.1E-11	1.2E-11	1.3E-11	1.4E-11	1.5E-11
Gréoux-les-Bains(12 544m)	1.2E-11	1.3E-11	1.5E-11	1.5E-11	1.7E-11	1.7E-11
Jouques (11 335m)	7.5E-11	7.8E-11	9.0E-11	9.4E-11	1.0E-10	1.1E-10
Rians (9 318m)	5.7E-12	6.0E-12	6.9E-12	7.1E-12	7.9E-12	8.2E-12
Mirabeau (8 645m)	3.5E-11	3.7E-11	4.3E-11	4.4E-11	4.9E-11	5.1E-11
Corbières (8 175m)	2.2E-11	2.3E-11	2.7E-11	2.8E-11	3.1E-11	3.2E-11
Beaumont (7 937m)	9.1E-11	9.6E-11	1.1E-10	1.2E-10	1.3E-10	1.3E-10
Ginasservis (7 370m)	1.1E-10	1.1E-10	1.3E-10	1.4E-10	1.5E-10	1.6E-10
Vinon-sur-Verdon (5 783m)	2.7E-11	2.8E-11	3.3E-11	3.4E-11	3.7E-11	3.9E-11
Saint-Paul-lez-Durance (4 345m)	8.8E-11	9.3E-11	1.1E-10	1.1E-10	1.2E-10	1.3E-10
Hameau (2 091m)	2.6E-10	2.9E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.8E-10	4.0E-10

Tableau 128 : Dose efficace annuelle totale des rejets atmosphériques de l'installation PEGASE

La dose efficace annuelle la plus élevée, due aux rejets radioactifs atmosphériques du démantèlement de l'installation PEGASE, est de **$4,0 \cdot 10^{-10}$ mSv/an** (soit 0,4 pSv/an) pour un adulte au Hameau après 50 ans de rejet. Quelle que soit la durée de rejet, la dose pour les populations des communes environnantes est majoritairement due à la voie « inhalation » (près de 100 % au Hameau, environ 50 % pour les autres groupes où la voie ingestion est présente).

Malgré les hypothèses très enveloppes retenues pour le calcul, la dose annuelle maximale (**$4,0 \cdot 10^{-10}$ mSv/an pour un adulte au Hameau**), est très inférieure (environ 25 millions de fois) à 10 μ Sv/an (10^{-2} mSv/an), dose efficace considérée comme non-préoccupante (« trivial dose » en anglais) suivant la CIPR 104³⁰, c'est à dire la dose en dessous de laquelle aucune action n'est jugée nécessaire au titre de la radioprotection. Cette dose de $4,0 \cdot 10^{-10}$ mSv/an est par ailleurs plus de 2,5 milliards de fois inférieure à la limite de dose ajoutée pour le public de 1 mSv/an (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

L'impact résiduel des rejets atmosphériques radioactifs du démantèlement de l'installation PEGASE sur la santé humaine est donc qualifié de non préoccupant.

2.2.3.3 Impact des rejets aux limites sur la santé humaine

L'activité des émetteurs α et $\beta\gamma$ peut être portée par plusieurs radioéléments, dont la répartition n'est pas certaine. Afin d'évaluer l'impact maximal, un calcul par radioélément avec la totalité de la limite a été fait afin d'extraire les doses annuelles maximales. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. La dose totale est obtenue en sommant les doses issues du tritium, du carbone-14 et des maximums en émetteurs α et $\beta\gamma$.

La dose efficace annuelle la plus élevée, due aux rejets radioactifs atmosphériques aux limites de l'INB 22 – PEGASE/CASCAD, est de **$7,9 \cdot 10^{-7}$ mSv/an** (soit 0,79 nSv/an) pour un adulte au Hameau après 50 ans de rejet. Cette dose est très inférieure (environ 12 000 fois) à 10 μ Sv/an (10^{-2} mSv/an), dose efficace considérée comme non-préoccupante (« trivial dose » en anglais) suivant la CIPR 104³¹, c'est à dire la dose en dessous de laquelle aucune action n'est jugée nécessaire au titre de la radioprotection. Cette dose est par ailleurs plus de 1,2 millions de fois inférieure à la limite de dose ajoutée pour le public de 1 mSv/an (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

L'impact résiduel des rejets atmosphériques radioactifs aux limites de rejet de l'INB 22 – PEGASE/CASCAD sur la santé humaine est donc qualifié de non préoccupant.

³⁰ ICRP, 2007. Scope of Radiological Protection Control Measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).

³¹ ICRP, 2007. Scope of Radiological Protection Control Measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).

Famille Limite Radioéléments	Classe d'âge	Beaumont de Pertuis		Ginasservis		Hameau		Saint-Paul-lez-Durance		
		1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans	
Tritium 2,37.10 ¹⁰ Bq/an HTO	Enf. 1-2 ans	2.4E-08	2.4E-08	2.7E-08	2.7E-08	6.5E-08	6.5E-08	2.3E-08	2.3E-08	
	Enf. 10 ans	2.8E-08	2.8E-08	3.1E-08	3.1E-08	9.0E-08	9.0E-08	2.7E-08	2.7E-08	
	Adultes	3.3E-08	3.3E-08	3.7E-08	3.7E-08	1.1E-07	1.1E-07	3.2E-08	3.2E-08	
Carbone-14 1,40.10 ⁸ Bq/an C14 CO ₂	Enf. 1-2 ans	1.4E-08	1.4E-08	1.7E-08	1.7E-08	1.1E-10	1.4E-09	1.4E-08	1.4E-08	
	Enf. 10 ans	1.6E-08	1.6E-08	1.9E-08	1.9E-08	1.4E-10	1.4E-09	1.6E-08	1.6E-08	
	Adultes	1.9E-08	2.0E-08	2.3E-08	2.3E-08	1.5E-10	1.4E-09	1.9E-08	1.9E-08	
Emetteurs $\beta\gamma$ 1,35.10 ⁵ Bq/an	Sr90+	Enf. 1-2 ans	3.7E-10	7.8E-10	4.4E-10	9.2E-10	5.8E-10	2.6E-09	3.6E-10	7.5E-10
		Enf. 10 ans	6.0E-10	1.0E-09	7.1E-10	1.2E-09	7.6E-10	2.7E-09	5.7E-10	9.7E-10
		Adultes	5.0E-10	9.0E-10	6.0E-10	1.1E-09	7.9E-10	2.8E-09	4.8E-10	8.6E-10
	Co60	Enf. 1-2 ans	2.8E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.9E-08	1.4E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
		Enf. 10 ans	2.8E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.9E-08	1.4E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
		Adultes	2.7E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.8E-08	1.5E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
	Cs137+	Enf. 1-2 ans	6.8E-10	3.8E-08	8.0E-10	4.4E-08	3.4E-09	2.0E-07	6.5E-10	3.6E-08
		Enf. 10 ans	9.0E-10	3.8E-08	1.1E-09	4.5E-08	3.5E-09	2.0E-07	8.6E-10	3.6E-08
		Adultes	1.3E-09	3.8E-08	1.5E-09	4.5E-08	3.5E-09	2.0E-07	1.2E-09	3.7E-08
	Maximum	Enf. 1-2 ans	2.8E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.9E-08	1.4E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
		Enf. 10 ans	2.8E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.9E-08	1.4E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
		Adultes	2.7E-09	4.1E-08	3.2E-09	4.8E-08	1.5E-08	2.2E-07	2.6E-09	3.9E-08
Emetteurs α 7,10.10 ⁴ Bq/an	Pu238	Enf. 1-2 ans	1.9E-08	1.9E-08	2.2E-08	2.2E-08	9.8E-08	9.8E-08	1.8E-08	1.8E-08
		Enf. 10 ans	2.5E-08	2.5E-08	3.1E-08	3.1E-08	1.3E-07	1.4E-07	2.4E-08	2.5E-08
		Adultes	3.2E-08	3.2E-08	3.9E-08	3.9E-08	1.7E-07	1.7E-07	3.1E-08	3.1E-08
	Pu239+	Enf. 1-2 ans	1.8E-08	1.8E-08	2.2E-08	2.2E-08	9.5E-08	9.5E-08	1.7E-08	1.8E-08
		Enf. 10 ans	2.6E-08	2.6E-08	3.1E-08	3.1E-08	1.3E-07	1.4E-07	2.5E-08	2.5E-08
		Adultes	3.2E-08	3.2E-08	3.9E-08	3.9E-08	1.7E-07	1.7E-07	3.1E-08	3.1E-08
	Pu240	Enf. 1-2 ans	1.8E-08	1.8E-08	2.2E-08	2.2E-08	9.5E-08	9.5E-08	1.7E-08	1.8E-08
		Enf. 10 ans	2.6E-08	2.6E-08	3.1E-08	3.1E-08	1.3E-07	1.4E-07	2.5E-08	2.5E-08
		Adultes	3.2E-08	3.2E-08	3.9E-08	3.9E-08	1.7E-07	1.7E-07	3.1E-08	3.1E-08
	Am241	Enf. 1-2 ans	3.2E-08	3.3E-08	3.8E-08	4.0E-08	1.7E-07	1.8E-07	3.0E-08	3.2E-08
		Enf. 10 ans	5.3E-08	5.5E-08	6.4E-08	6.5E-08	2.8E-07	2.9E-07	5.1E-08	5.3E-08
		Adultes	8.3E-08	8.5E-08	1.0E-07	1.0E-07	4.5E-07	4.6E-07	8.0E-08	8.2E-08
	Maximum	Enf. 1-2 ans	3.2E-08	3.3E-08	3.8E-08	4.0E-08	1.7E-07	1.8E-07	3.0E-08	3.2E-08
		Enf. 10 ans	5.3E-08	5.5E-08	6.4E-08	6.5E-08	2.8E-07	2.9E-07	5.1E-08	5.3E-08
		Adultes	8.3E-08	8.5E-08	1.0E-07	1.0E-07	4.5E-07	4.6E-07	8.0E-08	8.2E-08
Total	Enf. 1-2 ans	7.3E-08	1.1E-07	8.5E-08	1.3E-07	2.5E-07	4.7E-07	7.0E-08	1.1E-07	
	Enf. 10 ans	1.0E-07	1.4E-07	1.2E-07	1.6E-07	3.9E-07	6.1E-07	9.6E-08	1.3E-07	
	Adultes	1.4E-07	1.8E-07	1.6E-07	2.1E-07	5.7E-07	7.9E-07	1.3E-07	1.7E-07	

Tableau 129 : Dose efficace annuelle totale des rejets atmosphériques aux nouvelles limites de l'INB 22 – PEGASE/CASCAD

2.3- Incidences des rejets atmosphériques chimiques

2.3.1- Caractéristiques des rejets atmosphériques

Les seuls effluents gazeux chimiques produits lors du démantèlement de l'installation PEGASE sont les gaz issus du fonctionnement des moteurs thermiques :

- * Du chariot à moteur thermique utilisé pour le déchargement des camions d'approvisionnement et le chargement des colis de déchets conventionnels,
- * De la tractopelle utilisée pour le chargement des gravats issus de la démolition de la dalle de l'aéroréfrigérant,
- * Des groupes électrogènes fixes (avant leur dépose),
- * Des transports routiers d'approvisionnement des emballages et d'évacuation des colis de déchets.

Les gaz d'échappement contiennent du Monoxyde de carbone (CO), du Dioxyde de carbone (CO₂), des Oxydes d'azote (NO_x), des hydrocarbures (HC) et des particules (PM). Ces échappements sont considérés émis au niveau du sol.

Les différentes normes citées ci-après sont issues des standards européens concernant les émissions des moteurs et des véhicules³². Le facteur d'émission de CO₂ pour le diesel pur est de 0,330 kg de CO_{2e} par kWh³³.

2.3.1.1 Fonctionnement du chariot à moteur thermique

Un chariot à moteur thermique sera utilisé pour les opérations de déchargement des camions d'approvisionnement de matériels et d'emballages ainsi que pour le chargement des camions d'évacuation des colis de déchets conventionnels. Chaque opération de chargement ou déchargement durera **1h**. Un nombre total de **92 rotations** sur la durée du démantèlement est attendu :

- * 25 déchargements de camions d'approvisionnement,
- * 67 chargements pour évacuer les déchets conventionnels.

Le chariot à moteur thermique a une puissance de 85 kW. Le chariot à moteur respecte *a minima* la norme Euro V.

Les rejets atmosphériques chimiques liés aux gaz d'échappement du chariot à moteur thermique sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Substances	CO	HC	NO _x	PM	CO ₂
Limites d'émission (g/kWh)	1.5	0.46	2	0.02	330
Rejets horaires (g/h)	128	39.1	170	1.7	28 050
Rejets sur 92h (kg)	11.7	3.597	15.64	0.156	2 580.6

Tableau 130 : Rejets chimiques gazeux liés à l'utilisation du chariot à moteur thermique

³² Standards européens concernant les émissions des moteurs et des véhicules : <https://www.dieselnorm.com/standards/eu/>

³³ Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone de l'ADEME – version 11.0.0 du 18 novembre 2014

2.3.1.2 Fonctionnement de la tractopelle

Une tractopelle sera utilisée pour le chargement des gravats issus de la démolition de la dalle de l'aéroréfrigérant dans la benne 15 m³. Les opérations de conditionnement et d'évacuation des gravats dureront 2 jours, à raison de 8h de fonctionnement par jour, soit **16h**.

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour définir les rejets chimiques :

- × La tractopelle a une puissance moyenne de 150 ch, soit 110 kWh ;
- × Elle respecte la norme EU Nonroad diesel engines Stage III-B, catégorie M/N (56 kW > P > 130 kW) en vigueur depuis janvier 2012.

Les rejets atmosphériques chimiques liés aux gaz d'échappement de la tractopelle sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Substances	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Limites d'émission (g/kWh)	5	0.19	3.3	0.025	330
Rejets horaires (g/h)	750	28.5	495	3.75	49 500
Rejets sur 16h (kg)	12	0.456	7.92	0.06	792

Tableau 131 : Rejets chimiques gazeux liés à l'utilisation de la tractopelle

2.3.1.3 Fonctionnement du groupe électrogène fixe

Il est considéré de manière enveloppe que chacun des deux groupes électrogènes fixes fonctionne 30 h/an tant qu'il sera présent sur l'installation, soit pendant une durée de 28 ans pour le GEF 1 et de 10 ans pour le GEF 2. Les groupes électrogènes fonctionneront ainsi **1 140 h**.

La puissance du groupe électrogène fixe 1 est de 250 kVA et celle du GEF 2 est de 70 kVA. En l'absence d'indication de norme historique, la norme EU Nonroad diesel engines Stage I de 1999, catégorie A (130 kW ≤ P < 560 kW) est utilisée pour les calculs. Les rejets atmosphériques chimiques liés au groupe électrogène de secours sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Substances	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Limites d'émission (g/kWh)	5	1.3	9.2	0.54	330
Rejets horaires GEF 1 (g/h)	1 250	325	2 300	135	82 500
Rejets horaires GEF 2 (g/h)	350	91	644	38	23 100
Rejets sur 1 140 h (kg)	1 155	300	2 125	125	76 230

Tableau 132 : Rejets chimiques gazeux liés à l'utilisation du groupe électrogène fixe

2.3.1.4 Transport routiers

Le nombre total de rotations de camions d'approvisionnement et d'évacuation des déchets sur la durée du démantèlement est estimé de manière enveloppe à :

- × 25 camions d'approvisionnement,
- × 74 camions pour évacuer les déchets conventionnels,
- × 252 camions pour évacuer les déchets TFA,

- * 8 camions pour évacuer les déchets FA/ MA VL,
- * 27 camions pour évacuer les déchets FA/ MA VC.

Pour les calculs d'impact, il est considéré qu'ils restent 1 h stationnés sur l'installation, moteur allumé, à chacune de leur rotation. Les hypothèses suivantes sont utilisées pour définir leurs rejets chimiques :

- * la puissance de ces camions est estimée à 450 ch, soit une puissance de 330 kWh,
- * il est estimé que ces camions fonctionnent à 20 % de leur puissance lorsqu'ils sont à l'arrêt, moteurs allumés,
- * ces camions respectent *a minima* la norme Euro V (propre aux camions mis en service après octobre 2008).

Les hypothèses et calculs réalisés pour déterminer les rejets atmosphériques chimiques liés aux rotations de camions d'approvisionnement et d'évacuation des déchets sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Substances	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Limites d'émission (g/kWh)	1.5	0.46	2	0.02	330
Rejets horaires (g/h)	99	30.36	132	1.32	2 1780
Rejets pour 386 camions (kg)	38	12	51	0.5	8 407

Tableau 133 : Rejets chimiques gazeux liés aux camions d'approvisionnement et d'évacuation des déchets

2.3.1.5 Synthèse des rejets chimiques gazeux

Pour évaluer l'impact d'une exposition chronique aux rejets, les valeurs totales sont retenues, elles sont présentées ci-dessous :

Substances	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Chariot	11.7	3.597	15.64	0.156	2 580.6
Tractopelle	12	0.456	7.92	0.06	792
Groupe électrogène	1 155	300	2 125	125	76 230
Transports	38	12	51	0.5	8 407
Total	1 217	316	2 200	125	88 010

Tableau 134 : Synthèse des rejets chimiques gazeux totaux (kg)

Pour l'impact d'une exposition aigue, il est considéré que toutes les sources d'émissions fonctionnent simultanément sur une durée d'1 heure. Les rejets chimiques alors générés sont résumés dans le tableau suivant :

Substances	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Chariot	128	39.1	170	1.7	28 050
Tractopelle	750	28.5	495	3.75	49 500
Groupe électrogène	1 600	416	2 944	173	105 600
Transports	99	30.36	132	1.32	21 780
Total	2 577	514	3 741	180	204 930

Tableau 135 : Synthèse des rejets chimiques gazeux horaires (g/h)

2.3.2- Évaluation des incidences sur la santé humaine

2.3.2.1 Hypothèses retenues

L'évaluation des incidences sur la santé humaine passe par le calcul des concentrations ajoutées dans l'air des différentes substances, et par la comparaison de ces concentrations avec des valeurs de référence existantes.

Des valeurs de référence pour la qualité de l'air sont définies à l'article R. 221-1 du code de l'environnement, à la fois pour les expositions aiguës (horaires pour la plupart), et pour les expositions chroniques (moyennes annuelles).

Des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) pour la voie inhalation sont disponibles pour le monoxyde de carbone (CO) et les oxydes d'azote (NOx), uniquement pour les expositions aiguës. Le tableau suivant synthétise les valeurs de référence disponibles pour les substances prises en compte dans les rejets :

Substance	Article R221-1 du code de l'environnement					VTR effet à seuil de dose – Inhalation	
	Exposition aiguë			Exposition chronique		Exposition aiguë	
	Valeur limite	Seuil information et recommandation	Seuils d'alerte	Valeur limite	Objectif de qualité	VTR	Référence
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	mg/m ³	
Dioxyde d'azote (NO ₂)	200 (h)	200 (h)	400 (h)	40 (a)			
Oxydes d'azote (NO _x)						0,47	OEHHA (2014)
PM ₁₀	50 (j)	50 (h)	80	40 (a)	30 (a)		
PM _{2.5}				25 (a)	10 (a)		
CO	1 0000 (h)					23	OEHHA (2014)
Hydrocarbures (Benzène)				5 (a)	2 (a)		

(a) : moyenne annuelle ; (h) : moyenne horaire ; (j) : moyenne journalière

Tableau 136 : Valeurs de référence disponibles pour l'étude d'impact sanitaire des rejets atmosphériques chimiques

Les rejets ayant lieu sur de courtes durées, l'évaluation de l'impact sanitaire sera effectuée en retenant l'hypothèse d'exposition aiguë.

On utilise une condition météorologique supposée constante pendant toute la durée du rejet. Les rejets étant émis au niveau du sol, on retient une condition de diffusion faible, associée à un vent de 2 m/s (condition **DF2**), pénalisante pour cette hauteur de rejet et représentative des conditions observables sur le site. Les points d'étude sont positionnés sous l'axe du vent.

2.3.2.2 Concentrations maximales ajoutées dans l'air

Les concentrations ajoutées dans l'air sont calculées dans l'axe du panache avec le module MITHRA de la plateforme CERES (cf. Partie 5). Le tableau suivant présente les concentrations maximales ajoutées dans l'air, au niveau des groupes de populations du Hameau et de Saint-Paul-lez-Durance, ainsi qu'au point de clôture le plus proche.

Les calculs montrent que le temps de passage du panache généré par les rejets sur une heure est de moins de 2 heures.

Points de calcul	Distances (m)	CO	HC	NOx	PM	CO ₂
Clôture	785	1.3E+02	2.6E+01	1.9E+02	6.0E+00	1.0E+04
Hameau	2250	2.4E+01	4.9E+00	3.5E+01	9.5E-01	1.9E+03
Saint-Paul-lez-Durance	4350	8.6E+00	1.7E+00	1.2E+01	3.0E-01	6.8E+02

Tableau 137 : Concentration maximale ajoutée dans l'air par les rejets horaires ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2.3.2.3 Évaluation des risques sanitaires

L'évaluation des risques sanitaires s'apprécie en comparant les concentrations maximales ajoutées aux valeurs de référence pour l'exposition aiguë de l'article R. 221-1 du code de l'environnement, qui sont disponibles pour le monoxyde de carbone, le dioxyde d'azote, et les particules PM10. Le tableau suivant synthétise les ratios obtenus :

Points de calcul	Distances (m)	Ratios (concentration / valeur limite)		
		CO	NOx	PM
Clôture	785	1.3E-02	9.3E-01	1.2E-01
Hameau	2250	2.4E-03	1.8E-01	1.9E-02
Saint-Paul-lez-Durance	4350	8.6E-04	6.2E-02	6.0E-03

Tableau 138 : Ratios entre concentrations maximales ajoutées dans l'air et valeurs de référence retenues

Les ratios obtenus sont tous inférieurs à 1, l'impact sanitaire des rejets atmosphériques chimiques du démantèlement de l'installation PEGASE est jugé faible.

2.3.3- Évaluation des incidences sur l'environnement

Les seules valeurs de référence de qualité de l'air pour l'environnement disponibles sont les valeurs limites pour les écosystèmes, et les niveaux critiques pour la végétation définis à l'article R. 221-1 du code de l'environnement, pour le dioxyde d'azote (NO₂) et les oxydes d'azote (NO_x).

Article R221-1 du code de l'environnement – Valeurs de référence pour l'environnement		
Substance	Valeur limite - Moyenne annuelle pour les écosystèmes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Niveau critique pour la protection de la végétation - Moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dioxyde d'azote NO ₂	30	
Oxydes d'azote NO _x		30 (équivalent à du NO ₂)

Tableau 139 : Valeurs de référence disponibles pour l'étude d'impact environnemental des rejets atmosphériques chimiques

Ces valeurs de référence sont exprimées en concentration moyenne annuelle. De manière conservatrice, l'évaluation de l'impact environnemental est réalisée en considérant que tous les rejets estimés du projet sont faits sur une même année.

S'agissant d'un rejet supposé constant sur l'année, les coefficients de transfert atmosphérique (CTA) moyens de Cadarache sont retenus. Pour une distance donnée du point de rejet, les concentrations moyennes ajoutées dans l'air sont ensuite calculées en multipliant le CTA par le flux annuel de rejet.

Le tableau suivant présente les concentrations moyennes en oxydes d'azote ajoutées dans l'air pour des différentes distances :

Points de calcul	Distances (m)	CTA moyen de Cadarache (s/m ³)	Concentration moyenne annuelle en NOx (µg/m ³)
Clôture	785	3.1E-06	2.2E-01
Hameau	2 250	6.3E-07	4.4E-02
Saint-Paul-lez-Durance	4 350	2.3E-07	1.6E-02

Tableau 140 : Concentrations moyennes annuelles en oxydes d'azote ajoutées dans l'air

Les concentrations moyennes annuelles en oxydes d'azote ajoutées dans l'air restent très inférieures aux valeurs de référence pour l'environnement, bien que toutes les opérations soient ici considérées simultanément, les concentrations sont donc largement surestimées.

Ces rejets doivent par ailleurs être mis en perspective avec ceux qui sont générés par la circulation automobile des routes et de l'autoroute proches.

L'impact environnemental des rejets atmosphériques chimiques du démantèlement de l'INB est donc qualifié de faible.

2.3.4- Étude de compatibilité du fonctionnement de l'installation avec le PRQA, le PPA, et le SRCAE

L'installation PEGASE et le site de Cadarache se trouvent à l'écart des zones particulièrement visées par les différents plans (agglomérations urbaines, zones de fort trafic routier, zones polluées) qui ne les concernent que peu, à l'exception des orientations générales de limitation et de contrôle des rejets de substances chimiques.

Les mesures de limitation et de surveillance des rejets de l'installation PEGASE s'inscrivent pleinement dans les orientations des différents plans, et son fonctionnement normal est compatible avec les différents plans et schémas.

L'étude d'impact global du Centre de Cadarache cite, au paragraphe 2.4.7. :

« L'article R. 222-13 du code de l'environnement prévoit des Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants et pour les zones où les valeurs limites (art. R. 221-1) sont dépassées ou risquent de l'être. En région Provence Alpes Côte d'azur, et compte tenu des spécificités locales (agglomération AIX/MARSEILLE, zone de FOS/BERRE, continuité territoriale côtière), il a été décidé de faire des PPA départementaux pour les Alpes Maritimes, le Var et les Bouches-du-Rhône et un PPA d'agglomération pour l'agglomération d'Avignon. Cadarache est donc concerné par le PPA des Bouches-du-Rhône qui a été approuvé par le Préfet le 17/05/2013. Il est prévu que ce plan soit évalué tous les 5 ans et éventuellement révisé.

Dans ce plan, le site de Cadarache est concerné par l'orientation 3.1 du Plan Régional de Qualité de l'Air (PRQA) « Réduire les émissions des installations de combustion d'une puissance de plus de 20 MW ».

Les flux de rejets gazeux des chaudières de la chaufferie sont inférieurs aux valeurs limites prescrites [...].

De plus les valeurs limites pour la protection de la santé humaine dans l'air ambiant sont respectées.

Le centre de Cadarache respecte le PPA élaboré pour le département des Bouches du Rhône. »

2.4- Incidences des rejets d'effluents liquides radiologiques

2.4.1- Hypothèses retenues pour les calculs d'impact

2.4.1.1 Logiciel

L'impact des rejets liquides (résultant de transferts d'effluents liquides via la station de traitement du centre) en fonctionnement normal est évalué à l'aide du logiciel ABRICOT de la plate-forme CERES. Ce logiciel permet, à partir d'un rejet émis par voie liquide dans les conditions de fonctionnement normal de l'installation, de simuler et de quantifier les transferts de radionucléides dans les compartiments de l'environnement et leur impact sanitaire sur l'homme.

2.4.1.2 Voies d'exposition

De façon générique, les différentes voies d'exposition de l'homme suite à l'émission de substances radioactives par voie liquide sont les suivantes :

- * la consommation d'eau de boisson, de poissons, qui conduit à une exposition interne par ingestion,
- * la consommation de légumes irrigués contaminés, soit directement lors de l'irrigation, soit après transfert par le sol, qui conduit à une exposition interne par ingestion,
- * la consommation de produits provenant d'animaux ayant consommé des végétaux contaminés, qui conduit à une exposition interne par ingestion,

- * l'inhalation de particules remises en suspension, qui conduit à une exposition interne par inhalation,
- * la présence sur les dépôts au sol (ces dépôts résultant de l'apport de radionucléides par l'irrigation), qui conduit à une irradiation externe.

Le schéma conceptuel suivant présente les voies d'exposition de l'homme aux rejets.

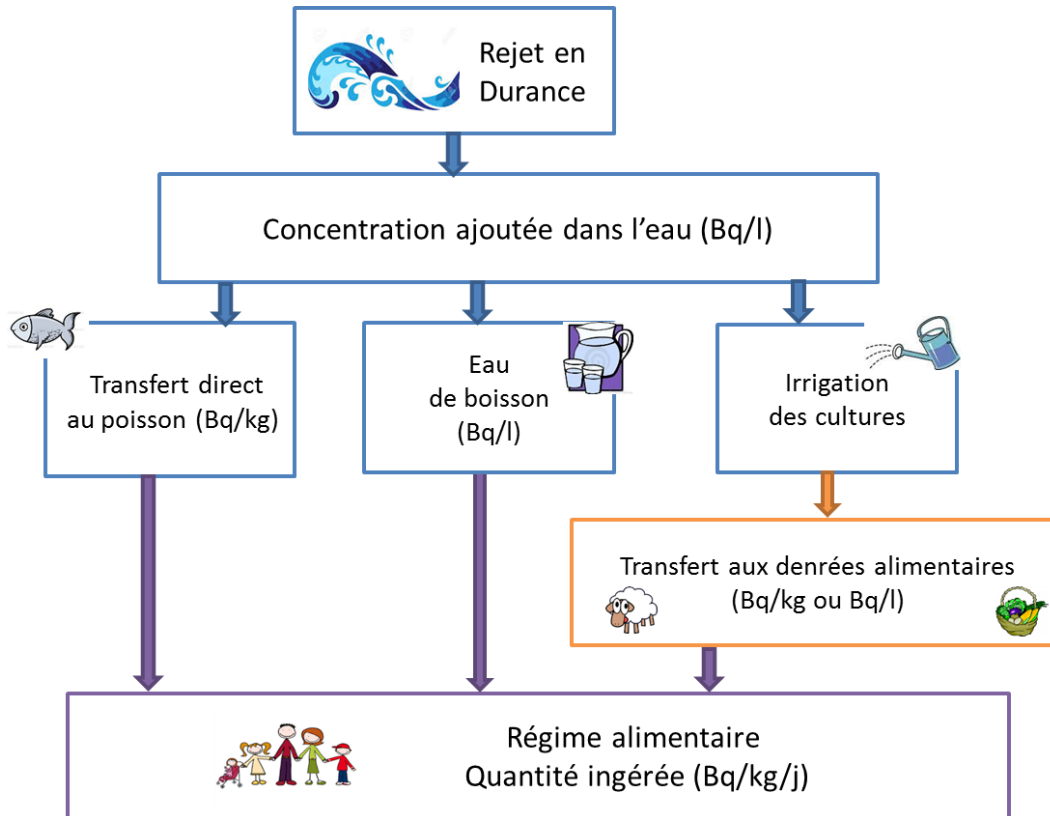


Figure 110 : Schéma conceptuel générique des expositions aux rejets (liquides)

2.4.1.3 Hypothèses relatives aux voies d'exposition et groupes de population étudiés

Activité transférée aux produits d'origine végétale et animale

Le transfert d'activité aux végétaux s'effectue, soit directement par captation des gouttes de pluie ou de l'eau d'irrigation par le couvert végétal, soit indirectement, par voie racinaire à partir du sol. Les principes de transfert aux végétaux et aux animaux qui consomment ensuite ces végétaux sont ensuite les mêmes que pour l'exposition aux rejets atmosphériques.

L'exposition interne par ingestion d'eau de boisson est étudiée uniquement à Pertuis, Mirabeau et Beaumont-de Pertuis, ces communes étant en effet alimentées en eau potable par le syndicat mixte de Pertuis qui effectue une partie de ses prélèvements d'eau en Durance. Les habitants de Saint-Paul-Lez-Durance n'étant pas alimentés en eau par la Durance, cette voie d'exposition n'est pas prise en compte.

L'exposition interne par consommation de poissons n'est étudiée que pour les habitants de Saint-Paul-Lez-Durance. L'activité dans le poisson se déduit de l'activité de l'eau, à l'aide de coefficients de transfert fonctions du radionucléide étudié.

2.4.1.4 Caractéristiques de la Durance

Les effluents des installations du Centre de Cadarache, après traitement, sont rejetés dans la Durance, dont le débit est de $2,84 \cdot 10^8$ m³/an (9 m³/s). Il est à noter que ce débit est pénalisant en terme d'évaluation de l'impact sanitaire, il s'agit en effet du débit réservé au barrage EDF de Cadarache.

2.4.2- Composante radioactive des rejets liquides retenus dans les calculs d'impact

2.4.2.1 Caractérisation, modes de transfert, de traitement et de rejet des effluents liquides

Les opérations de démantèlement de l'installation PEGASE généreront des effluents liquides sanitaires, industriels et actifs.

Le schéma ci-après résume le transfert et le traitement de l'ensemble des effluents liquides à l'échelle du Centre de Cadarache avant leur rejet dans la Durance.

Les rejets en Durance doivent suivre des prescriptions réglementaires, et notamment les limites annuelles de rejets du Centre de Cadarache, données dans le chapitre 4.4.2 de l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022, et présentées en introduction de cette partie.

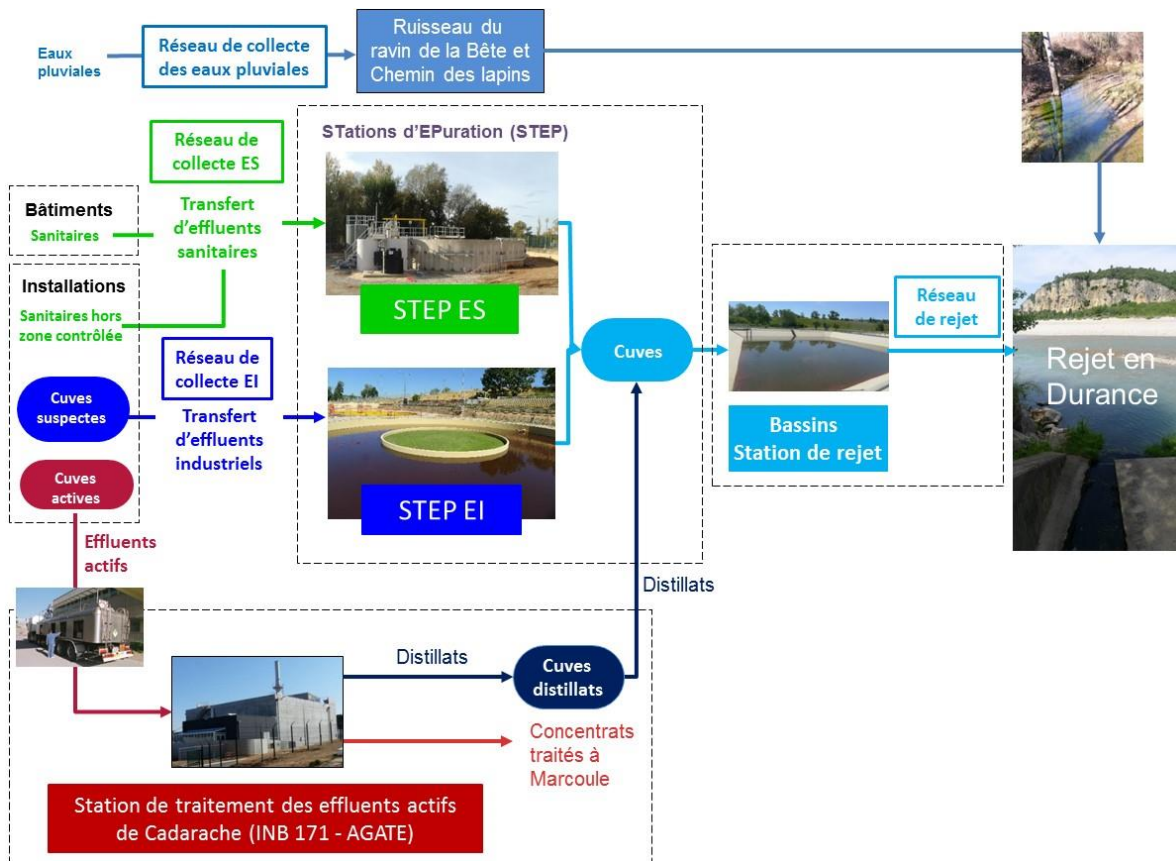


Figure 111 : Schéma de principe du transfert et du traitement des effluents liquides sur le Centre de Cadarache

Effluents sanitaires

Les **effluents sanitaires** proviennent des lavabos, douches ordinaires et WC situés hors zone délimitée. Ils sont non radioactifs, et sont uniquement caractérisés par des paramètres chimiques. Ils sont acheminés directement, via le Réseau des Effluents Sanitaires (RES) du centre (réseau gravitaire, séparatif et dédié), vers la station d'épuration des effluents sanitaires (STEP/ES) de Cadarache. Ils y subissent un traitement biologique classique (à l'identique de celui de stations d'épuration des collectivités locales). La STEP de Cadarache traite les effluents sanitaires de toutes les installations du Centre. Après traitement, les effluents sont rejetés dans la Durance.

Effluents industriels

Les **effluents industriels** sont des effluents potentiellement contaminés issus des opérations :

- × de vidange des capacités et tuyauteries ;
- × d'assainissement des parois de la piscine et des bassins au lanceur haute pression ;
- × de sciage des structures de génie civil nécessitant l'utilisation d'eau pour refroidir la lame de sciage.

Ces effluents sont collectés dans l'installation au moyen d'un réseau particulier et dirigés vers une cuve dite « suspecte » de 240 m³, qui fait l'objet d'analyses chimiques et radiologiques avant chaque envoi vers le réseau d'effluents industriels (REI) du Centre de Cadarache (réseau gravitaire spécifique et adapté). Les activités volumiques limites en entrée du REI (fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017) sont présentées dans le tableau suivant :

Paramètres	Limites maximales d'activité volumique pour le rejet d'effluents liquides dans le Réseau des Effluents Industriels (Bq/L)
Tritium	74 000
Autres émetteurs β - γ	74
Emetteurs α	10

Tableau 141 : Limites maximales d'activité volumique pour le rejet d'effluents liquides dans le Réseau des Effluents Industriels du Centre de Cadarache, fixées par décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017

Dans le cas où l'un des paramètres mesurés est supérieur aux limites fixées, l'effluent est considéré comme **actif**.

Si tous les paramètres sont conformes, le contenu de la cuve suspecte est vidangé dans le Réseau des Effluents Industriels (REI), et envoyé vers la station d'épuration des effluents industriels (STEP/EI) de Cadarache. Comme ce type d'effluents est très majoritairement composé d'eau et quasiment sans matières organiques, le traitement est différent de celui des effluents sanitaires (décantation chimique). Après traitement à la STEP, les effluents sanitaires et industriels du Centre de Cadarache sont envoyés dans des cuves où ils sont contrôlés. Si le résultat du contrôle est conforme aux prescriptions, ils sont dirigés dans des bassins de rejet. Après un dernier contrôle, ils sont rejetés dans la Durance.

Effluents actifs

Les **effluents actifs** sont ceux dont l'activité est supérieure aux normes de transfert dans le réseau d'effluents industriels (REI) du Centre de Cadarache.

Les effluents actifs produits par l'installation PEGASE proviennent de l'opération de vidange de la cuve d'effluents actifs. Ces effluents seront transférés par voie routière (camion-citerne), vers les filières de traitement des effluents radioactifs adaptées à leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques :

- * Si les effluents actifs respectent les spécifications d'acceptation de la station de traitement des effluents radioactifs du CEA de Cadarache (INB n° 171 AGATE), ils y sont transférés et y seront traités par évaporation. La fraction évaporée (distillats) est ensuite condensée, contrôlée, puis envoyée (si l'activité est conforme aux limites) vers les cuves de la STEP pour rejet. La fraction restante, c'est-à-dire le condensat qui a concentré la radioactivité, est envoyée vers le Centre de Marcoule pour y être transformée en un déchet stockable (incorporation à une matrice solide).
- * Sinon, des installations extérieures au Centre de Cadarache (Station de Traitement des Effluents Liquides (STEL) de Marcoule par exemple) et autorisées à cet effet, en vue de leur traitement sont utilisées.

Les limites d'activités volumiques actuelles acceptables par AGATE sont données dans le tableau suivant :

Limites maximales d'activités volumiques des effluents liquides pris en charge par l'INB 171 AGATE (Bq/m ³)				
Tritium	Autres émetteurs βγ	Emetteurs α	Carbone 14	Iode 131
2E+09	1,8E+10	3,7E+07	5,2E+06	3,0E+04

Tableau 142 : Limites maximales d'activités volumiques actuelles des effluents liquides pris en charge par l'INB 171 AGATE

Les limites d'activités volumiques actuelles permettant le transfert des distillats d'AGATE vers le REI sont :

Limites maximales d'activités volumiques des effluents liquides en sortie de l'INB 171 AGATE vers le REI (Bq/L)			
Tritium	Autres émetteurs βγ	Emetteurs α	Carbone 14
1 000 000	52	10	190

Tableau 143 : Limites maximales d'activités volumiques actuelles des distillats en sortie de l'INB 171 AGATE vers le REI

Le schéma suivant résume les transferts et traitements des effluents liquides :

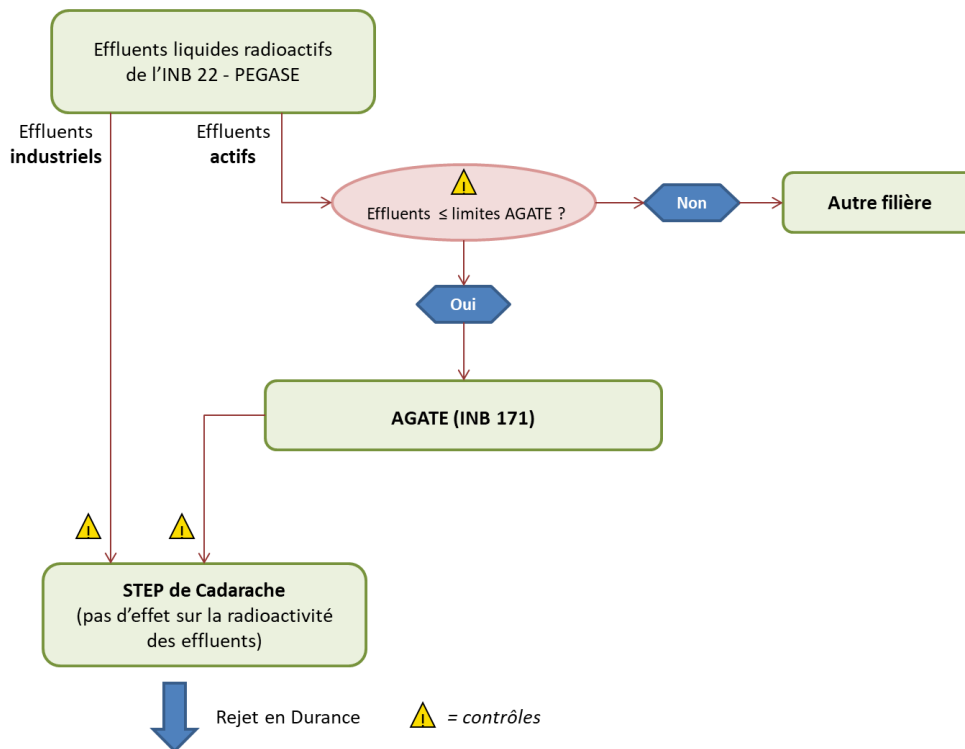


Figure 112 : Schéma de principe des transferts et des traitements des effluents industriels et actifs

2.4.2.2 Quantification des rejets liquides radioactifs retenus pour les calculs d'impact

Effluents industriels

Durant les opérations, un volume annuel maximal de **2 446 m³** d'effluents industriels est attendu (vidange de la piscine et des bassins, vidange des circuits de tuyauterie, assainissement des parois au lanceur haute pression).

Pour le calcul d'impact en fonctionnement normal de l'installation PEGASE, on considère :

- * que les 2 446 m³ d'effluents industriels sont rejetés sur une même année (opération prévue sur plusieurs années) ;
- * que l'activité des 2 446 m³/an d'effluents industriels est égale à la limite annuelle d'activité des effluents industriels liquides transférables à la station d'épuration des effluents industriels en vigueur pour l'installation PEGASE, fixée par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 ;
- * que cette activité est répartie selon le spectre radiologique « installation 2040 » (Tableau 118), en fonction des pourcentages d'activité par type d'émetteur ;
- * que la station d'épuration des effluents industriels n'a pas d'effet sur la radioactivité.

Le terme source des effluents industriels est donné dans le tableau ci-dessous :

Radioéléments	Nature	Activité (%)	Activité par famille (%)	Activité (Bq/an)
Ag108m+	βγ	1.48E-05	6.31E-03	1.14E+06
Am241	α	2.54E-03	2.55E-03	6.23E+04
C14	βγ	1.54E-03	6.56E-01	1.19E+08
Co60	βγ	2.05E-06	8.74E-04	1.58E+05
Cs137+	βγ	1.42E-04	6.05E-02	1.10E+07
Eu152	βγ	4.10E-07	1.75E-04	3.16E+04
Eu154	βγ	1.45E-07	6.18E-05	1.12E+04
H3	tritium	2.40E-06	1.00E+00	1.81E+11
Pu238	α	2.56E-07	2.57E-07	6.27E+00
Pu239+	α	2.39E-02	2.39E-02	5.86E+05
Pu240	α	4.05E-05	4.06E-05	9.93E+02
Pu241+	βγ	1.47E-06	6.27E-04	1.13E+05
Sb125+	βγ	3.55E-09	1.51E-06	2.74E+02
Sr90+	βγ	6.45E-04	2.75E-01	4.98E+07
Th230	α	5.48E-04	5.49E-04	1.34E+04
U234	α	9.38E-01	9.40E-01	2.30E+07
U235+	α	3.19E-02	3.20E-02	7.82E+05
U236	α	5.05E-04	5.06E-04	1.24E+04
U238+	α	5.13E-04	5.14E-04	1.26E+04
Total α		9.98E-01	1.00E+00	2.45E+07
Total βγ		2.35E-03	1.00E+00	1.81E+08
Total tritium		2.40E-06	1.00E+00	1.81E+11

Le signe « + » signifie que les filiations à vie courte sont intégrées dans les calculs par l'intermédiaire des coefficients de dose

Tableau 144 : Activité rejetée en Durance liée aux rejets d'effluents industriels

Effluents actifs

Durant les opérations, un volume annuel maximal de **41 m³** d'effluents actifs est attendu (vidange de la cuve d'effluents actifs, refroidissement de la lame lors de la découpe du béton).

Pour le calcul d'impact en fonctionnement normal de l'installation PEGASE, on considère :

- × que les 41 m³ d'effluents actifs sont rejetés sur une même année (opérations étalées sur plusieurs années) ;
- × que l'activité des 41 m³ d'effluents actifs est égale à la limite annuelle d'activité acceptable par AGATE ;
- × que cette activité est répartie selon le spectre radiologique « installation 2040 » (Tableau 118), en fonction des pourcentages d'activité par type d'émetteur ;
- × qu'en sortie de la station de traitement AGATE, les distillats sont aux limites d'activité volumique permettant le transfert vers la station d'épuration des effluents industriels, fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017 (Tableau 143) ;
- × que le processus de traitement à la station AGATE conduit à une augmentation du volume de 30 % (due à l'ajout d'eau dans le processus d'évaporation), soit un volume total de **53,3 m³**.

Le terme source des effluents actifs est donné dans le tableau ci-dessous :

Radioéléments	Nature	Activité (%)	Activité par famille (%)	Activité (Bq/an)
Ag108m+	βγ	1.48E-05	1.84E-02	5.09E+04
Am241	α	2.54E-03	2.55E-03	1.36E+03
C14	C14	1.54E-03	1.00E+00	1.01E+07
Co60	βγ	2.05E-06	2.54E-03	7.05E+03
Cs137+	βγ	1.42E-04	1.76E-01	4.88E+05
Eu152	βγ	4.10E-07	5.09E-04	1.41E+03
Eu154	βγ	1.45E-07	1.80E-04	4.99E+02
H3	tritium	2.40E-06	1.00E+00	5.33E+10
Pu238	α	2.56E-07	2.57E-07	1.37E-01
Pu239+	α	2.39E-02	2.39E-02	1.28E+04
Pu240	α	4.05E-05	4.06E-05	2.16E+01
Pu241+	βγ	1.47E-06	1.82E-03	5.06E+03
Sb125+	βγ	3.55E-09	4.41E-06	1.22E+01
Sr90+	βγ	6.45E-04	8.00E-01	2.22E+06
Th230	α	5.48E-04	5.49E-04	2.93E+02
U234	α	9.38E-01	9.40E-01	5.01E+05
U235+	α	3.19E-02	3.20E-02	1.70E+04
U236	α	5.05E-04	5.06E-04	2.70E+02
U238+	α	5.13E-04	5.14E-04	2.74E+02
Total α		9.98E-01	1.00E+00	5.33E+05
Total βγ		8.06E-04	1.00E+00	2.77E+06
Total tritium		2.40E-06	1.00E+00	5.33E+10
Total C14		1.54E-03	1.00E+00	1.01E+07

Le signe « + » signifie que les filiations à vie courte sont intégrées dans les calculs par l'intermédiaire des coefficients de dose

Tableau 145 : Activité rejetée en Durance liée aux rejets d'effluents actifs

Activité totale des rejets en Durance retenue pour le calcul d'impact

Le terme source correspondant à l'ensemble des effluents (industriels et actifs) est donné dans le tableau suivant :

Radioéléments	Activité (Bq/an)	Radioéléments	Activité (Bq/an)
Ag108m+	1.19E+06	Pu240	1.01E+03
Am241	6.36E+04	Pu241+	1.18E+05
C14	1.29E+08	Sb125+	2.86E+02
Co60	1.65E+05	Sr90+	5.20E+07
Cs137+	1.14E+07	Th230	1.37E+04
Eu152	3.30E+04	U234	2.35E+07
Eu154	1.17E+04	U235+	7.99E+05
H3	2.34E+11	U236	1.26E+04
Pu238	6.41E+00	U238+	1.28E+04
Pu239+	5.99E+05		

Le signe « + » signifie que les filiations à vie courte sont intégrées dans les calculs par l'intermédiaire des coefficients de dose

Tableau 146 : Activité rejetée en Durance liée aux rejets d'effluents liquides

Cette activité annuelle est majorante, puisque l'activité des effluents rejetés ne peut pas dépasser les valeurs limites acceptables par le REI, et les volumes maximums attendus sont rejetés en une seule année.

De plus, on suppose également que le traitement par la Station d'épuration des effluents industriels (STEP/EI) n'a pas d'effet sur la radioactivité. On considère donc, pour le calcul d'impact, que l'activité du rejet est celle de l'effluent.

2.4.2.3 Mesures de limitation des rejets liquides dans l'environnement

La limitation des rejets liquides radioactifs dans la Durance est assurée par le contrôle des effluents industriels et l'aiguillage des effluents ne respectant pas les limites de transfert à la STEP/EI vers AGATE. La station de traitement des effluents radioactifs permet en effet de ne rejeter que moins du millième de la radioactivité présente initialement dans les effluents.

Enfin, les contrôles effectués tout au long de la chaîne de traitement permettent de s'assurer de l'efficacité des mesures de limitation des rejets radioactifs.

2.4.3- Résultats des calculs d'impact

Ce paragraphe synthétise les résultats des calculs d'impact radiologique des rejets liquides de l'installation PEGASE sur l'environnement présentés en annexe 2.

2.4.3.1 Incidences résiduelles sur l'environnement

L'impact résiduel sur l'environnement est évalué à travers l'activité ajoutée dans l'eau de la Durance dont le débit est de $2,84 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{an}$ ($9 \text{ m}^3/\text{s}$), dans les sols, et dans les productions agricoles.

Activité ajoutée dans l'eau et dans les sols

Les activités ajoutées dans l'eau brute et dans les sols sont présentées dans le tableau suivant :

Activité ajoutée dans l'eau de la Durance et dans les sols			
Famille de radioéléments	Eau brute (Bq/L)	Sol à 1 an (Bq/kg)	Sol à 50 ans (Bq/kg)
Aérosols émetteurs α	8.9E-05	9.4E-07	4.0E-05
Aérosols émetteurs $\beta\gamma$	4.6E-05	4.8E-07	1.4E-05
Carbone	4.6E-04	4.7E-06	7.2E-05
Formes tritium	8.4E-01	0.0E+00	0.0E+00
Strontium	1.9E-04	1.9E-06	2.5E-05

Tableau 147 : Activités ajoutées dans l'eau de la Durance et dans les sols

Activité ajoutée dans les aliments d'origine agricole

Les activités ajoutées dans les aliments d'origine agricole sont présentées dans les tableaux suivants :

Activité ajoutée dans les aliments après 1 an de fonctionnement (en Bq/kg ou Bq/L)									
Isotopes	Salade	Carottes	Tomates	Pommes	Lait (Chèvre)	Viande (Mouton)	Chair (Poisson)	Œuf (Poule)	Viande (Poule)
Aérosols émetteurs α	1.9E-06	5.6E-09	1.5E-07	9.9E-09	3.8E-08	5.4E-08	4.5E-04	7.7E-07	5.3E-07
Aérosols émetteurs $\beta\gamma$	9.9E-07	4.3E-08	2.1E-07	9.9E-09	1.6E-06	2.4E-06	1.1E-03	1.3E-07	9.6E-07
Carbone	7.2E-06	4.1E-06	3.5E-06	3.3E-07	3.7E-06	1.2E-04	1.8E+00	1.6E-05	1.6E-05
Formes tritium	7.2E-03	3.4E-03	3.8E-03	6.3E-03	6.5E-03	8.3E-03	8.3E-03	4.5E-03	4.5E-03
Strontium	4.1E-06	2.0E-07	4.7E-07	9.0E-08	9.6E-07	9.0E-08	5.4E-06	5.3E-07	3.0E-08

Tableau 148 : Activité ajoutée dans les aliments après 1 an de fonctionnement

Activité ajoutée dans les aliments après 50 ans de fonctionnement (en Bq/kg ou Bq/L)									
Isotopes	Salade	Carottes	Tomates	Pommes	Lait (Chèvre)	Viande (Mouton)	Chair (Poisson)	Œuf (Poule)	Viande (Poule)
Aérosols émetteurs α	2.0E-06	1.6E-07	2.1E-07	9.9E-09	4.0E-08	5.7E-08	4.5E-04	7.8E-07	5.3E-07
Aérosols émetteurs $\beta\gamma$	1.1E-06	1.0E-07	2.3E-07	9.4E-08	1.8E-06	2.7E-06	1.1E-03	1.4E-07	9.9E-07
Carbone	1.6E-05	1.2E-05	1.2E-05	3.3E-07	5.5E-06	1.9E-04	1.8E+00	2.3E-05	2.3E-05
Formes tritium	7.2E-03	3.4E-03	3.8E-03	6.3E-03	6.5E-03	8.3E-03	8.3E-03	4.5E-03	4.5E-03
Strontium	6.3E-06	2.4E-06	2.4E-06	9.7E-07	1.4E-06	1.3E-07	5.4E-06	5.8E-07	3.3E-08

Tableau 149 : Activité ajoutée dans les aliments après 50 ans de fonctionnement

Les résultats montrent que les activités ajoutées dans la Durance, dans les sols, et dans les aliments d'origine agricole resteront très faibles, inférieures aux seuils de décision du laboratoire SPR/LANSE pour les échantillons prélevés dans l'environnement (indiqués en annexe 1).

Les incidences résiduelles des rejets liquides radioactifs de l'installation PEGASE sur l'environnement et sur la qualité des eaux de la Durance sont donc qualifiées de négligeables.

2.4.3.2 Incidences résiduelles sur la santé humaine

Les communes potentiellement impactées par les rejets liquides de l'installation PEGASE sont : Saint-Paul-lez-Durance, Pertuis, Mirabeau et Beaumont-de-Pertuis.

Les doses efficaces annuelles par voie d'exposition pour la population de Saint-Paul-lez-Durance sont synthétisées dans le tableau suivant :

Impact des rejets liquides à Saint-Paul-lez-Durance			
Doses efficaces annuelles (mSv/an)	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Irradiation externe due au dépôt - 1 an	5.5E-11	5.5E-11	5.5E-10
Inhalation (remise en suspension) - 1 an	3.1E-12	3.8E-12	3.9E-11
Irradiation externe due au dépôt - 50 ans	1.7E-09	1.7E-09	1.7E-08
Inhalation (remise en suspension) - 50 ans	1.3E-10	1.6E-10	1.7E-09
Contamination directe des produits			
Poisson	0.0E+00	9.6E-06	7.2E-06
Ingestion de végétaux			
Salade	6.7E-09	6.0E-09	5.7E-09
Carottes	2.6E-09	1.9E-09	1.8E-09
Tomates	1.6E-09	9.1E-10	9.5E-10
Pommes	4.3E-09	4.0E-09	4.9E-09
Végétaux direct	1.5E-08	1.3E-08	1.3E-08
Ingestion de produits animaux			
Viande (Mouton)	0.0E+00	4.6E-10	7.3E-10
Oeuf (Poule)	5.6E-10	6.0E-10	8.3E-10
Viande (Poule)	9.2E-10	8.7E-10	1.3E-09
Lait (Chèvre)	0.0E+00	4.6E-09	6.6E-09
Produits animaux direct	1.5E-09	6.5E-09	9.5E-09
Contamination indirecte des produits			
Végétaux indirect - 1 an	5.5E-10	5.8E-10	3.9E-10
Produits animaux indirect - 1 an	2.0E-12	3.1E-11	3.3E-11
Végétaux indirect - 50 ans	7.6E-09	7.9E-09	5.4E-09
Produits animaux indirect - 50 ans	3.0E-11	4.3E-10	4.8E-10
Totaux			
Dose annuelle après 1 an	1.7E-08	9.6E-06	7.2E-06
Dose annuelle après 50 ans	2.6E-08	9.6E-06	7.2E-06

Tableau 150 : Dose efficace (mSv/an) en fonction des voies d'exposition à Saint-Paul-lez-Durance

La dose efficace suite aux rejets liquides est au plus de l'ordre de $9,6 \cdot 10^{-6}$ mSv/an (soit 9,6 nSv/an), après 1 an ou 50 ans de rejet. Cette dose est essentiellement due à la consommation directe de végétaux pour les enfants de 1-2 ans, et de poisson pour les enfants de 10 ans et les adultes.

Pour les communes de Pertuis, Mirabeau et Beaumont-de-Pertuis, les doses efficaces annuelles liées à la consommation de l'eau de boisson sont précisées dans le tableau ci-après.

Impact dû à la consommation d'eau de boisson à Pertuis, Mirabeau et Beaumont-de-Pertuis			
Doses efficaces annuelles (mSv/an)	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Dose annuelle après 1 an	1.8E-07	2.4E-07	1.6E-07
Dose annuelle après 50 ans	1.8E-07	2.4E-07	1.6E-07

Tableau 151 : Dose efficace (mSv/an) due à la consommation d'eau de boisson à Pertuis, Mirabeau et Beaumont-de-Pertuis

La dose efficace annuelle pour ces communes, suite aux rejets liquides, est au plus de l'ordre $2,4 \cdot 10^{-7}$ mSv/an (soit 0,24 nSv/an), après 1 an et 50 ans de rejet.

Conclusion

La dose efficace annuelle la plus élevée, due aux rejets radioactifs liquides de l'installation PEGASE est de **9,6 nSv/an pour un enfant de 10 ans à Saint-Paul-lez-Durance**. Cette dose est essentiellement due à la consommation de poisson.

Cette dose est très inférieure (environ 1 000 fois) à 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, dose efficace considérée comme non-préoccupante (dose triviale ou « trivial dose » en anglais) suivant la CIPR 104³⁴, c'est à dire la dose en dessous de laquelle aucune action n'est jugée nécessaire au titre de la radioprotection. Cette dose est par ailleurs près de 100 000 fois inférieure à la limite de dose annuelle ajoutée pour le public de 1 mSv/an (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

L'impact sanitaire des rejets radioactifs liquides de l'installation PEGASE est donc qualifié de non préoccupant.

2.5- Incidences des rejets d'effluents liquides chimiques

2.5.1- Quantification des rejets liquides chimiques retenus pour les calculs d'impact

Les effluents générés par l'installation PEGASE conduisent à des rejets liquides dans l'environnement (Durance), qui peuvent contenir des substances chimiques.

Effluents sanitaires

Les effluents sanitaires proviennent des vestiaires (douches ordinaires et WC) situés hors zone délimitée.

Le volume d'effluents sanitaires peut être estimé à partir du nombre de personnes présentes dans l'installation en utilisant les hypothèses conservatives suivantes : personnes présentes dans l'installation pendant 220 jours par an avec une consommation journalière d'eau de 30 litres par personne. Si l'on considère qu'il y a environ 16 personnes dans l'installation de manière permanente, le volume estimé pour l'installation PEGASE est de l'ordre de **10,6 m³/an**.

Le lavage en blanchisserie des tenues coton portées par le personnel est également génératrice d'effluents, la blanchisserie étant située à Marcoule, ces rejets ne sont pas pris en compte pour le calcul d'impact.

Un volume annuel total de **106 m³/an** sera retenu pour l'évaluation de l'impact, avec les concentrations maximales admissibles par la station d'épuration des effluents sanitaires (STEP/ES).

³⁴ CRP, 2007. Scope of Radiological Protection Control Measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).

Effluents industriels

Lors des opérations de démantèlement de l'installation PEGASE, des rejets liquides sont générés par les douches de chantier mises en place en sortie des sas chantier d'évacuation des équipements amiantés lors du démantèlement de l'aéroréfrigérant et de la ventilation industrielle (chantiers en zone à déchets conventionnels). Les effluents issus de ces douches sont récupérés et filtrés, de sorte que les fibres d'amiante ne soient plus présentes dans les effluents générés.

Les paramètres chimiques sont contrôlés via une prise d'échantillon : une analyse radiologique est réalisée afin de garantir l'absence de radioactivité avant envoi de l'échantillon dans un laboratoire hors du centre pour faire réaliser une analyse des Matières en Suspension (MES). Après vérification de leur compatibilité, les effluents sont transférés au Réseau d'Effluents Industriels (REI) du centre.

La quantité des effluents amiantés produits est estimée en prenant pour hypothèses les valeurs suivantes :

- * 3 opérateurs,
- * 2 entrées/sorties par jour par opérateur,
- * débit de la douche : 10 L/min,
- * durée d'une douche : 5 min,
- * répété 2 fois (avec et sans tenue).

Le volume d'effluent généré est ainsi de 300 L/jour. Le démantèlement de l'aéroréfrigérant durera 45 jours, et 64 jours pour celui de la ventilation, soit un volume total de **32,7 m³/an**. Ce volume est à ajouter aux 2 446 m³/an d'effluents industriels à composante radioactive, soit un volume annuel maximal retenu de **2 480 m³/an**.

De manière conservatrice, les caractéristiques chimiques des effluents industriels sont considérées au maximum des concentrations admissibles en entrée de la station d'épuration des effluents industriels (STEP/EI) du centre de Cadarache, fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017.

Effluents actifs

Le volume annuel maximal des effluents actifs généré par l'installation est, après majoration de 30 %, de **53,3 m³/an**.

Dans l'étude d'impact, les caractéristiques chimiques de ces effluents actifs seront considérées identiques à celles des effluents industriels.

De manière très conservatrice, comme pour les effluents industriels, on supposera pour les calculs d'impact que l'installation AGATE n'a pas d'effet sur la composante chimique des effluents actifs, ce qui revient à considérer que, du point de vue chimique, le rejet est directement fait dans la Durance.

Synthèse des paramètres chimiques pris en compte pour le calcul d'impact

Les effluents industriels et actifs sont considérés identiques du point de vue chimique, soit un volume annuel maximal d'environ **2 533 m³/an**. Les concentrations de ces effluents sont fixées aux limites hautes d'acceptation de la STEP.

		Concentrations max. en moyenne / 24h (mg/L)		Flux annuel maximal (kg/an)			Comparaison aux rejets du centre	
		STEP/EI	STEP/ES	STEP/EI	STEP/ES	Total	Flux (kg/an)	%
				2 533 (m ³ /an)	106 (m ³ /an)	2 639 (m ³ /an)			8,21.10^{5} (m^{3}/an)
Arrêté Préfectoral N° 113-2006 A (puis 2020-497-PC à compter de fin)	DBO ₅	50	25	126.67	2.65	129.32	2.56E+04	0.51%
	DCO	120	90	304.00	9.54	313.54	8.22E+04	0.38%
	MES	70	30	177.33	3.18	180.51	2.92E+04	0.62%
	Azote global	50	15	126.67	1.59	128.26	2.56E+04	0.50%
	Azote Kjeldahl	–	10	–	1.06	1.06	–	–
	Aluminium	2.5	–	6.33	–	6.33	1.83E+03	0.35%
	Bore	0.5	–	1.27	–	1.27	3.65E+02	0.35%
	Chlorures	200	–	506.66	–	506.66	1.64E+05	0.31%
	Fer	2.5	–	6.33	–	6.33	1.83E+03	0.35%
	Fluorures	3	–	7.60	–	7.60	8.22E+02	0.92%
	Hydrocarbures totaux	5	–	12.67	–	12.67	3.65E+03	0.35%
	Phosphore total	20	1	50.67	0.11	50.78	8.22E+03	0.62%
	Sulfates	700	–	1 773.31	–	1 773.31	5.75E+05	0.31%
Zinc	2	–	5.07	–	5.07	4.57E+03	0.11%	
Paramètres complémentaires	Arsenic	0.05	–	0.13	–	0.13	–	–
	Cadmium	0.2	–	0.51	–	0.51	–	–
	Chrome	0.2	–	0.51	–	0.51	–	–
	Chrome VI	0.1	–	0.25	–	0.25	–	–
	Composés organiques halogénés (AOX)	0.7	–	1.77	–	1.77	–	–
	Cuivre	0.2	–	0.51	–	0.51	–	–
	Cyanures	0.1	–	0.25	–	0.25	–	–
	Etain	0.2	–	0.51	–	0.51	–	–
	Manganèse	0.2	–	0.51	–	0.51	–	–
	Mercuré	0.04	–	0.10	–	0.10	–	–
	Nickel	0.4	–	1.01	–	1.01	–	–
	Plomb	0.3	–	0.76	–	0.76	–	–

Tableau 152 : Concentrations max en entrée des STEP/EI et STEP/ES, flux max annuel des rejets en Durance

Il faut noter que la DBO₅ (Demande Biologique en Oxygène à 5 jours), la DCO (Demande Chimique en Oxygène), et les matières en suspension (MES), paramètres communément analysés et réglementés, n'ont pas d'impact sanitaire évaluable. Ils ne sont donc pas pris en compte dans les calculs d'impact.

Ne connaissant pas la forme chimique de l'azote dans les effluents, les flux d'azote sont considérés sous trois formes : ammonium d'une part et sous forme d'azote oxydé (nitrite / nitrate) d'autre part. Suivant le retour d'expérience de la station de traitement de Cadarache, l'azote global est composé de

- * 25 % de nitrates (N/NO₃=4,42)
- * 3 % de Nitrites (N/NO₂=3,29)

- * 71 % Azote Kjeldahl (azote organique + azote ammoniacal) (N/NH₄ = 1,28), ensuite supposé converti à 100 % en NH₄

Ainsi pour 1 kg d'azote global :

- * 1,14 kg de NO₃⁻
- * 0,1 kg de NO₂⁻
- * 0,9 kg de NH₄⁺

Le phosphore total est converti en phosphates (1 kg P équivalent à 3 kg de PO₄³⁻).

Les rejets liquides chimiques liés aux opérations de démantèlement de l'installation PEGASE sont négligeables au regard du Centre de Cadarache dans son ensemble (< 1 %).

2.5.2- Mesures de limitation des rejets dans l'environnement

Les effluents industriels et sanitaires sont traités dans la station de traitement et d'épuration (STEP) de Cadarache, de conception tout à fait similaire à celle que l'on peut trouver dans les communes. Le traitement limite les rejets, qui sont contrôlés à plusieurs niveaux (cf. le schéma de principe présenté dans le chapitre précédent). Les distillats des effluents actifs en sortie d'AGATE sont envoyés vers la STEP pour être ensuite rejetés dans la Durance.

2.5.3- Évaluation des risques environnementaux et sanitaires

2.5.3.1 Calcul des concentrations ajoutées dans la Durance

L'impact chimique des rejets liquides issus des opérations de démantèlement est réalisé à partir de la méthodologie développée dans le logiciel ABRICOT de la plateforme CERES (cf. partie 5). Ce logiciel permet, à partir d'un rejet chronique par voie liquide, de simuler et de quantifier les transferts de substances dans les compartiments de l'environnement et leur impact sur la santé humaine.

Les rejets s'effectuent dans la Durance, en supposant son débit au minimum garanti par EDF (9 m³/s).

Les concentrations ajoutées dans l'eau de la Durance, à la 50^{ième} année de rejets, sont présentées dans le tableau suivant. Bien que le projet de démantèlement soit programmé sur 25 ans, une durée de 50 ans est retenue afin de considérer les phénomènes d'accumulation dans les milieux.

Paramètre	Concentration ajoutée dans l'eau de la Durance après 50 années de rejets (mg/L)
Nitrates (NO ₃ ⁻) ⁽¹⁾	5.15E-04
Nitrites (NO ₂ ⁻) ⁽¹⁾	4.52E-05
Ammonium (NH ₄ ⁺)	4.07E-04
Aluminium (Al)	2.23E-05
Bore (B)	4.46E-06
Chlorures (Cl ⁻)	1.78E-03
Fer (Fe)	2.23E-05
Fluorures (F ⁻)	2.68E-05
Hydrocarbures (HC) ⁽²⁾	4.46E-05
Phosphates (PO ₄)	5.37E-04

Paramètre	Concentration ajoutée dans l'eau de la Durance après 50 années de rejets (mg/L)
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	6.25E-03
Zinc (Zn)	1.78E-05
Arsenic (As)	4.46E-07
Cadmium (Cd)	1.78E-06
Chrome (Cr) ⁽³⁾	1.78E-06
Chrome VI (Cr VI)	8.92E-07
Cuivre (Cu)	1.78E-06
Cyanures (CN)	8.92E-07
Etain (Sn)	1.78E-06
Manganèse (Mn)	1.78E-06
Mercuré (Hg)	3.57E-07
Nickel (Ni)	3.57E-06
Plomb (Pb)	2.68E-06
Br (Bromoforme) ⁽⁴⁾	6.25E-06

(1) Pris en compte seulement pour la consommation d'eau de boisson ; (2) : Utilisation du naphthalène pour les hydrocarbures ; (3) : Chrome III ; (4) : Utilisation du bromoforme pour les composés organiques halogénés (AOX)

Tableau 153 : Concentrations ajoutées dans la Durance

Les concentrations ajoutées en Durance par les opérations de démantèlement de l'installation PEGASE sont très faibles, très inférieures aux valeurs guides et valeurs limites de l'arrêté du 11 janvier 2007, même en ayant retenu des hypothèses fortement pénalisantes (flux de rejet maximal pendant 50 années).

2.5.3.2 Incidences résiduelles sur l'environnement

Le risque chimique pour les écosystèmes aquatiques est évalué au travers de la comparaison des concentrations ajoutées dans l'eau de la Durance avec les valeurs de référence environnementales disponibles pour la qualité des eaux douces de surface (cf. annexe 4).

Définition des PNEC

Le danger correspond aux effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer. En effet, les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets aigus liés à une exposition courte à des doses en général assez élevées et des effets sub-chroniques ou chroniques susceptibles d'apparaître suite à une exposition prolongée à des doses plus faibles. Dans le cadre de l'évaluation du risque chimique associé aux rejets liquides, c'est essentiellement la toxicité sub-chronique à chronique qui a été prise en compte.

L'évaluation du danger se fait principalement par l'analyse de données validées issues de tests toxicologiques et écotoxicologiques. De tels essais ont pour objet la mise en évidence des effets toxiques d'une substance vis-à-vis d'organismes représentatifs des écosystèmes et appartenant à différents niveaux de la chaîne alimentaire (ou chaîne trophique).

Dans le cas des écosystèmes aquatiques, sont généralement utilisées les données issues d'essais avec des bactéries, des algues, des invertébrés (souvent des micro-crustacés), des invertébrés benthiques, et des poissons.

Le plus souvent il s'agit d'essais permettant la mise en évidence d'effets létaux résultant de courtes durées d'exposition (résultats exprimés sous forme de CL_{50} , CE_{50} ou CI_{50} ³⁵). Des essais permettant la mise en évidence d'effets sub-létaux (croissance, reproduction et comportement) résultant de plus longues durées d'exposition (résultats exprimés sous forme de $NOEC$ ³⁶ ou d' $EC10$ ³⁷) peuvent également exister. Les résultats des essais courts terme sont pertinents lors de l'évaluation des effets de pollutions épisodiques ou accidentelles.

L'information qu'ils fournissent est moins pertinente lorsqu'il s'agit d'évaluer le risque à long terme d'une substance sur l'environnement. Le jeu de données écotoxicologiques issues de tests menés sur des organismes aquatiques pertinents est principalement issu de bases de données, de rapports monographiques d'envergure européenne ou internationale, ou d'articles scientifiques sur des études menées en laboratoire ou sur le terrain. Toutes les données collectées sont analysées afin d'évaluer la validité de l'étude et donc la pertinence de la donnée. La validité des essais est jugée sur la cohérence des protocoles aux normes nationales (AFNOR) et internationales (CEN, ISO) ou à des lignes directrices (OCDE, US-EPA).

La conformité aux bonnes pratiques de laboratoire est également prise en compte. À partir de ces données, des **PNEC (Predicted No Effect Concentration)**, concentrations prévisibles sans effet pour les organismes vivants) pour les différents compartiments de l'environnement susceptibles d'être contaminés sont déterminées. Plusieurs méthodes existent pour déterminer des PNEC, en fonction du nombre de données d'écotoxicité disponibles. Ces méthodes sont détaillées dans le guide technique européen publié par l'Agence européenne des produits chimiques, ECHA³⁸.

Substances d'intérêt et valeurs de référence pour les eaux douces de surface

Les concentrations prévisibles sans effet (PNEC) pour les organismes aquatiques « eaux douces » ont été recherchées pour les substances rejetées dans la Durance.

Les normes de qualité environnementale (**NQE**) existantes pour les masses d'eau de surface, issues de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié, ont également été recherchées. Les NQE ont été présentées en partie 1, au chapitre 7. Elles permettent de caractériser le bon état chimique d'une masse d'eau, qui garantit à la fois le respect de l'environnement et de la santé humaine. Pour l'impact des rejets chroniques, on utilisera en priorité des normes de qualité environnementale exprimées en moyenne annuelle (**NQE-MA**). Pour l'impact de rejets ponctuels, on se référera plutôt aux normes de qualité environnementale exprimées en concentration maximale admissible (**NQE-CMA**).

³⁵ Concentration qui provoque la mort (CL), l'inhibition (CI) ou un effet (CE) sur 50 % des organismes exposés à une substance pendant une durée limitée.

³⁶ No Observed Effect Concentration ou concentration sans effet observé.

³⁷ Concentration qui provoque un effet (CE) sur 10 % des organismes exposés à une substance pendant une durée limitée.

³⁸ Guidance on information requirements and chemical safety assessment, Chapter R.10: Characterisation of dose [concentration]-response for environment. ECHA, May 2008.

Enfin, la limite de qualité eaux brutes (annexe II), et, à défaut, la limite de qualité eaux douces (annexe III) de l'arrêté du 11 janvier 2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique, a été ajoutée à titre d'information pour les substances ne disposant ni de NQE ni de PNEC.

Évaluation des expositions

Les rejets des effluents s'effectuant en Durance, le milieu récepteur potentiellement impacté est donc le milieu aquatique (faune et flore aquatique) de la Durance. La Durance étant une rivière caractérisée de « torrentielle », la quantité de sédiments est très faible. L'exposition de la faune et de la flore aux substances contenues dans les sédiments n'est donc pas considérée dans l'étude d'impact environnemental.

Les concentrations d'exposition des écosystèmes (**PEC**) sont égales **aux concentrations ajoutées dans l'eau de la Durance**, calculées à partir du logiciel ABRICOT de la plateforme CERES.

Dans le cas des substances à effet toxique potentiel, la méthode d'estimation des risques est déterministe, aboutissant à l'établissement d'un **ratio PEC/PNEC**, c'est-à-dire le ratio entre la concentration prédite pour un compartiment environnemental donné et la concentration prédite sans effet pour les organismes de ce même compartiment :

- × si ce ratio est inférieur ou égal à 1, on considérera qu'il n'y a pas de risque pour le compartiment considéré ;
- × en revanche si ce rapport est supérieur à 1, un risque ne peut pas être écarté.

Cependant, si de nombreuses hypothèses ont été utilisées entraînant une incertitude non négligeable, il pourra être envisagé de poursuivre la méthode, qui se veut itérative, en obtenant des informations complémentaires réduisant ces incertitudes et affiner le résultat de l'évaluation des risques. Ainsi, la valeur théorique de 1 doit être considérée comme un outil d'évaluation. La valeur du rapport PEC/PNEC doit être interprétée en tenant compte des incertitudes sur la méthodologie d'évaluation des risques.

Le tableau suivant synthétise les ratios PEC/PNEC pour les substances rejetées. Pour faciliter la comparaison, les concentrations ajoutées en Durance (PEC) sont exprimées en microgrammes par litre. À titre d'information, les ratios avec les normes de qualité environnementales, et les valeurs guides ou valeurs limites III de l'arrêté du 25 janvier 2010 modifié sont également présentés.

Évaluation quantitative du risque environnemental par le biais des PNEC				À titre informatif			
Substance	PEC (µg/L)	PNEC (µg/L)	Ratio PEC/PNEC	NQE-MA (µg/L)	Ratio PEC/NQE-MA	Annexe III arrêté (µg/L)	Ratio PEC/Annexe III
Nitrates (NO ₃ -)	5.2E-01	–	–	–	–	2.5E+04	2.1E-05
Nitrites (NO ₂ -)	4.5E-02	2.0E+01	2.3E-03	–	–	–	–
Ammonium (NH ₄ ⁺)	4.1E-01	–	–	–	–	5.0E+01	8.1E-03
Aluminium (Al)	2.2E-02	6.0E-02	3.7E-01	–	–	–	–
Bore (B)	4.5E-03	7.6E+02	5.9E-06	–	–	1.0E+03	4.5E-06
Chlorures (Cl ⁻)	1.8E+00	–	–	–	–	2.0E+05	8.9E-06
Fer (Fe)	2.2E-02	1.6E+01	1.4E-03	–	–	1.0E+02	2.2E-04
Fluorures (F ⁻)	2.7E-02	3.7E+02	7.2E-05	–	–	7.0E+02	3.8E-05
Hydrocarbures (HC) (Benzo(a)pyrène)	4.5E-02	5.0E-02	8.9E-01	1.7E-04	2.6E+02	5.0E+01	8.9E-04
Phosphates (PO ₄)	5.4E-01	–	–	–	–	4.0E+02	1.3E-03
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	6.2E+00	–	–	–	–	1.5E+05	4.2E-05
Zinc (Zn)	1.8E-02	7.8E+00	2.3E-03	7.8E+00	2.3E-03	5.0E+02	3.6E-05
Arsenic (As)	4.5E-04	1.4E+00	3.2E-04	8.3E-01	5.4E-04	1.0E+01	4.5E-05
Cadmium (Cd)	1.8E-03	1.9E-01	9.4E-03	1.5E-01	1.2E-02	1.0E+00	1.8E-03
Chrome (Cr)	1.8E-03	4.7E+00	3.8E-04	3.4E+00	5.2E-04	5.0E+01	3.6E-05
Chrome VI (Cr VI)	8.9E-04	4.1E+00	2.2E-04	3.4E+00	2.6E-04	5.0E+01	1.8E-05
Cuivre (Cu)	1.8E-03	1.6E+00	1.1E-03	1.0E+00	1.8E-03	2.0E+01	8.9E-05
Cyanures (CN)	8.9E-04	5.7E-01	1.6E-03	–	–	5.0E+01	1.8E-05
Etain (Sn)	1.8E-03	1.5E+00	1.2E-03	–	–	–	–
Manganèse (Mn)	1.8E-03	7.0E+00	2.5E-04	–	–	5.0E+01	3.6E-05
Mercure (Hg)	3.6E-04	1.0E-02	3.6E-02	5.0E-02	7.1E-03	5.0E-01	7.1E-04
Nickel (Ni)	3.6E-03	1.7E+00	2.1E-03	4.0E+00	8.9E-04	–	–
Plomb (Pb)	2.7E-03	4.1E-01	6.5E-03	1.2E+00	2.2E-03	1.0E+01	2.7E-04

Tableau 154 : Comparaison des concentrations moyennes annuelles ajoutées dans la Durance par les rejets liquides de l'installation PEGASE avec les valeurs de référence environnementales pour les eaux douces

Le seul ratio supérieur à 1 est évalué pour les hydrocarbures totaux, en ayant utilisé comme NQE-MA (MA : Moyenne Annuelle) la valeur la plus pénalisante, donnée pour le Benzo(a)pyrène (1,7E-04 µg/L). La concentration reste cependant inférieure à la norme de qualité environnementale en concentration maximale admissible pour ce même élément (NQE-CMA Benzo(a)pyrène = 0,27 µg/L). Le ratio par rapport aux PNEC reste quant à lui largement inférieur à 1, même en ayant retenu la PNEC la plus pénalisante pour le Benzo(k)fluoranthène (0,03 µg/L).

Les concentrations en substances eutrophisantes (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates), très faibles, ne sont pas de nature à modifier la classe d'état.

L'analyse de ces résultats permet d'écarter la probabilité d'un risque pour les organismes aquatiques lié aux rejets dans la Durance.

L'impact résiduel des rejets liquides chimiques de l'installation PEGASE sur l'environnement et sur la qualité des eaux de la Durance est donc qualifié de très faible.

2.5.3.3 Incidences résiduelles sur la santé humaine

L'évaluation des incidences résiduelles des rejets sur la santé humaine passe, comme pour l'environnement, par le calcul des **concentrations ajoutées dans l'eau de la Durance**, en supposant son débit au minimum garanti par EDF, soit **9 m³/s** (2,84.10⁸ m³/an).

Caractérisation et toxicité des substances retenues

La toxicité d'une substance se caractérise par les effets qu'une exposition répétée est susceptible de générer sur la santé humaine. Lorsque le niveau d'exposition croît, le premier effet sanitaire qui apparaît est appelé **effet critique**. Les Valeurs Toxicologiques de Référence (**VTR**) permettent de définir la relation quantitative entre un niveau d'exposition et la possibilité ou la probabilité d'apparition de l'effet critique. On parle de « relation dose/effet ».

Les VTR sont établies sur la base d'une analyse des connaissances toxicologiques et épidémiologiques actuellement disponibles. Selon les mécanismes toxiques mis en jeu, deux types d'effets sanitaires sont considérés :

- × **les effets survenant à partir d'un seuil de dose**, principalement les effets non cancérogènes. Dans ce cas, une VTR représente le seuil en dessous duquel aucun effet sanitaire n'est attendu. Au-delà de ce seuil, un effet sanitaire est possible. La VTR s'exprime différemment selon la voie d'exposition considérée. Pour une exposition par inhalation, il s'agit d'une Concentration Admissible dans l'Air (CAA), qui s'exprime en masse de substance par mètre cube d'air inhalé (mg.m⁻³). Pour une exposition par ingestion, il s'agit d'une Dose Journalière Admissible (**DJA**), qui s'exprime en masse de substance ingérée par jour et par kilogramme de poids corporel (mg.kg_{pc}⁻¹.j⁻¹) ;
- × **les effets survenant sans seuil de dose**, comme les effets cancérogènes génotoxiques (les VTR traduisent alors les relations quantitatives entre une dose et une probabilité d'effet). Dans ce cas, une VTR représente la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu contracte un effet s'il est exposé pendant sa vie entière à une unité de dose de la substance. La VTR est nommée Excès de Risque Unitaire (**ERU**), par inhalation (ERUi) ou par voie orale (ERUo). Elle s'exprime différemment selon la voie d'exposition, dans une unité inverse de celle de l'exposition : en (mg.m⁻³)⁻¹ pour la voie inhalation et en (mg.kg_{pc}⁻¹.j⁻¹)⁻¹ pour la voie ingestion.

En France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a pour mission d'élaborer des VTR. Les VTR construites à ce jour sont présentées sur le site Internet de l'ANSES.

Dans le cadre du recensement de VTR pour une Évaluation des Risques Sanitaires (**ERS**), lorsque l'ANSES ne fournit pas de VTR pour certaines substances étudiées, six bases de données sont recommandées par la Direction Générale de la Santé³⁹. Ces bases sont exploitées par les organismes suivants :

³⁹ N° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués

- * l'Agence américaine de l'environnement (US Environmental Protection Agency) : base de données IRIS⁴⁰, (*Integrated Risk Information System*) ;
- * l'Agence américaine des substances toxiques et du registre des maladies (ATSDR⁴¹, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*) ;
- * l'Organisation mondiale de la santé (OMS)⁴² ;
- * le Ministère Fédéral Canadien pour la Santé - Santé Canada⁴³ ;
- * Institut National de Santé Publique des Pays-Bas - RIVM⁴⁴ ;
- * le Bureau Américain pour l'Évaluation des Dangers en Santé Environnementale (OEHHA⁴⁵, *Office of Environmental Health Hazard Assessment*).

Dans ces bases, lorsque plusieurs VTR existent pour une même substance, la même voie d'exposition et le même type d'effet, deux cas de figures sont possibles :

- * l'INERIS recommande un choix de VTR. Dans ce cas, ce choix est retenu pour l'étude. Les recommandations de l'INERIS figurent dans les Fiches de Données Toxicologiques et Environnementales (FDTE) disponibles sur le Portail Substances Chimiques de l'INERIS⁴⁶ ;
- * aucune recommandation de l'INERIS n'est disponible pour la substance étudiée. Dans ce cas, le choix de VTR est réalisé selon la démarche décrite par la circulaire n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 de la Direction Générale de la Santé, qui définit une hiérarchisation entre les différentes bases de données citées précédemment.

Cette circulaire de la Direction Générale de la Santé précise **qu'en l'absence de VTR référencée par au moins l'une des six bases de données, une quantification des risques sanitaires n'est pas envisageable, même si des données d'exposition sont disponibles.**

Substances d'intérêt retenues et VTR associées

Un choix de VTR a été effectué pour l'ensemble des substances présentées dans le bilan des effluents liquides de l'installation PEGASE. Les valeurs sont présentées dans le tableau ci-après, avec leur référence.

⁴⁰ <http://www.epa.gov/iris/>

⁴¹ <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls/index.html>

⁴² Les Valeurs guides de l'OMS sont établies comme les VTR sur des critères de santé publique. Néanmoins pour certaines substances, l'OMS précise que les VG ne sont pas établies uniquement sur des critères sanitaires, mais sont limitées par des considérations techniques (limites de détection pour l'arsenic dans l'eau, par exemple).

⁴³ www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/hbct-jact/index-fra.php

⁴⁴ <http://www.rivm.nl/>

⁴⁵ www.oehha.ca.gov/air/allrels.html

⁴⁶ <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/21>

Substances	VTR (mg/kg/j) Ingestion Effet à seuil	Référence	VTR (mg/kg/j) ⁻¹ Ingestion Effet sans seuil	Référence
Aluminium (Al)	1	ATSDR (2008)		
Arsenic (As)	4,5E-04	FoGIB (2009)	1,5	OEHHA (1998) US-EPA (2009)
Bore (B)	0,2	US-EPA (2004)		
Bromofrome ⁽¹⁾	2E-02	US-EPA (1991) OMS (2011)	7,9E-03	US-EPA (1991)
Cadmium (Cd)	3,6E-04	EFSA (2011)		
Chrome (Cr) ⁽²⁾	1,5	US-EPA (1998)		
Chrome VI (Cr VI)	9E-04	ATSDR (2012)	0,42	OEHHA (2002)
Cuivre (Cu)	1E-02	ATSDR (2004)		
Cyanures (CN)	1,5E-02	ANSES (2010)		
Etain (Sn)	0,3	ATSDR (2005)		
Fer (Fe)	0,8	OMS/FAO (1983)		
Fluorures (F-)	6E-02	US-EPA (1989)		
Hydrocarbures (HC) ⁽³⁾	2E-02	US-EPA (2010)	0,12	OEHHA (2010)
Manganèse (Mn)	0,14	US-EPA (2011)		
Mercure (Hg)	2E-03	ATSDR (2001)		
Nitrates (NO ₃ -) ⁽⁴⁾	1,6	US-EPA (1991)		
Nitrites (NO ₂ -) ⁽⁴⁾	0,1	US-EPA (1987)		
Nickel (Ni)	5E-03	OMS (2004)		
Plomb (Pb)	6,3E-04	ANSES (2013)	8,5E-03	OEHHA (2009)
Zinc (Zn)	0,3	US-EPA (2005)		

(1) : Utilisation du bromoforme pour les composés organiques halogénés (AOX) ; (2) : Chrome III ; (3) : Utilisation du naphthalène pour les hydrocarbures ; (4) Pris en compte seulement pour la consommation d'eau de boisson

Tableau 155 : Synthèse des données toxicologiques retenues pour l'étude d'impact sanitaire

Inventaire des milieux d'exposition et des processus de transfert

Pour le premier groupe de référence, les personnes résidant dans la commune de **Saint-Paul-Lez-Durance** sont potentiellement exposées par :

- × ingestion de sol, et d'aliments issus de jardins potagers, potentiellement contaminés par l'irrigation avec de l'eau de la Durance ;
- × fruits et légumes des potagers ;
- × lait produit par les caprins pâturant dans la zone ;
- × viandes et œufs produits de volaille et viandes d'ovins ;
- × ingestion de poissons pêchés dans la Durance au droit de la commune.

La commune de **Saint-Paul-lez-Durance** est alimentée par les sources de Font-Reynaude (source de l'Abéou) et, en secours, par le Centre de Cadarache, aussi la consommation d'eau de boisson provenant de la Durance et prélevée en aval du point de rejet des effluents liquides du Centre de Cadarache n'est pas prise en compte.

Pour le second groupe de référence, les personnes résidant dans les communes fournies en eau potable par Durance Luberon, soit **Beaumont-de-Pertuis**, Pertuis et Mirabeau, sont potentiellement exposées par ingestion d'eau de boisson en provenance de la Durance.

Les consommations alimentaires sont les mêmes que celles qui ont été retenues pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets radioactifs liquides. Elles sont présentées dans la partie 5. Cette partie présente également les hypothèses relatives aux processus de transferts.

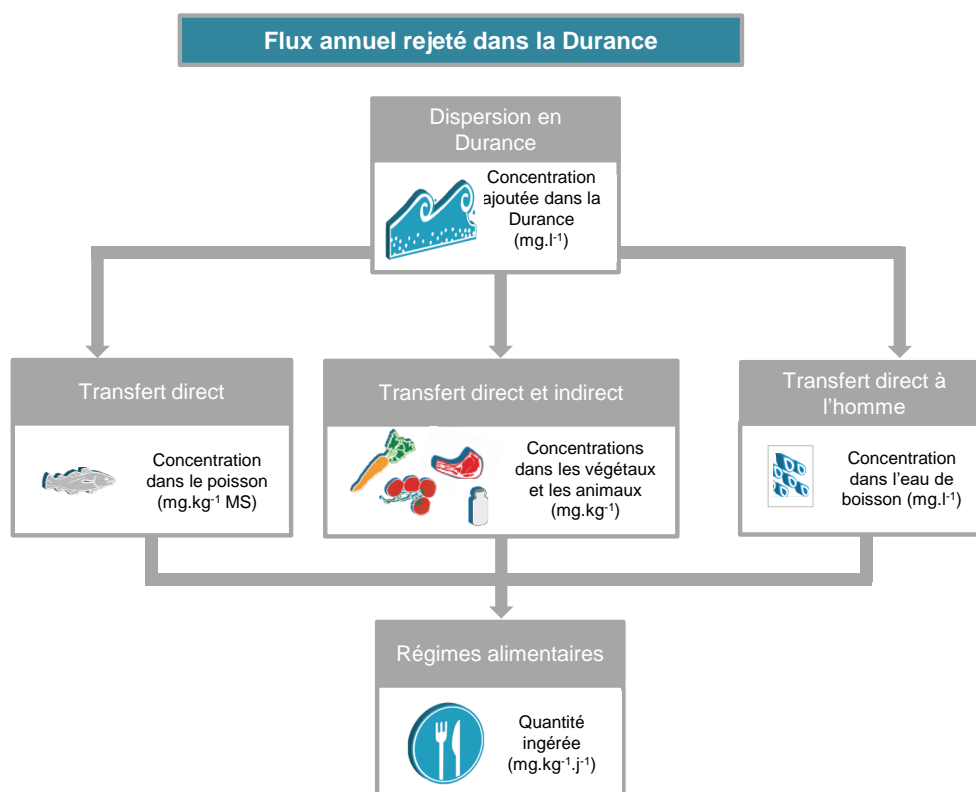


Figure 113 : Schéma conceptuel générique des expositions

Transfert par ingestion

Le transfert des éléments se fait de la même façon que les substances soient radioactives ou toxiques. Pour une substance donnée, connaissant la concentration dans les aliments et la consommation des individus exposés, il est possible d'estimer les doses journalières d'exposition (**DJE**) :

$$DJE = C_{ing} Q_j \frac{F}{M} \frac{T}{T_m}$$

Avec :

- * DJE la dose journalière d'exposition, exprimée en mg/kg/j ;

- * C_{ing} la concentration en polluant dans l'aliment consommé, exprimée en mg/kg ;
- * Q_j la quantité d'aliment consommée quotidiennement, en kg/j ;
- * F la fréquence d'exposition, prise égale à 1 de manière conservatrice ;
- * M la masse de la personne, exprimée en kg ; pour un adulte, elle est estimée à 70 kg, elle est de 30 kg pour un enfant de 10 ans et de 10 kg pour un enfant de 1 an ;
- * T la période d'exposition, en années ;
- * T_m la période de temps pendant laquelle l'exposition est moyennée, en années.

Pour les substances avec effets survenant sans seuil de dose, la période T est égale à 30 ans et T_m à 70 ans.

Pour les substances avec effets survenant à partir d'un seuil de dose, le rapport T / T_m est égal à 1.

Évaluation quantitative des risques sanitaires

La caractérisation du risque sanitaire pour les substances **ayant des effets à seuil de dose** s'exprime par un quotient de danger (**QD**) ou indice de risque (**IR**), calculé pour l'ingestion (**QD_{ing}**) selon l'équation suivante :

$$QD_{ing} = \frac{DJE}{VTR}$$

Avec QD le Quotient de Danger, DJE la Dose Journalière d'Exposition ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) et VTR la Valeur Toxicologique de Référence ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$), qui dans ce cas correspond à une Dose Journalière Admissible (DJA).

Le QD est calculé pour chaque substance d'intérêt. Selon un premier niveau d'approche conservateur, les QD obtenus sont sommés pour caractériser le risque total au niveau du récepteur considéré. Si nécessaire, une approche plus fine, consistant à sommer les QD dus aux différentes substances présentes dans le rejet pour des organes cibles identiques, peut être suivie. Les QD sont généralement déterminés séparément pour l'enfant et pour l'adulte. **La valeur repère pour le quotient de danger est de 1.**

La caractérisation du risque sanitaire pour les substances ayant des effets sans seuil de dose, s'exprime par un **excès de risque individuel (ERI)**, calculé, pour la voie ingestion (**ERI_{ing}**), selon l'équation suivante :

$$ERI_{ing} = DJE \times ERU_o$$

où ERU_o ($\text{mg.kg}_{pc}^{-1}.\text{j}^{-1}$)⁻¹ désigne l'excès de risque unitaire pour la voie orale (ingestion).

Selon le Ministère en charge de l'environnement⁴⁷ et l'INERIS⁴⁸, l'excès de risque individuel **ne doit pas dépasser 10⁻⁵** pour être considéré comme « non préoccupant ». L'INERIS indique que la pratique est de sommer tous les ERI pour calculer un excès de risque pour tous les effets sans seuil confondus.

Évaluation qualitative des risques sanitaires

Pour les substances pour lesquelles nous ne disposons pas de valeur toxicologique de référence applicables (comme les chlorures, les phosphates et l'ammonium), l'évaluation du risque sanitaire restera qualitative, en comparant les concentrations ajoutées en Durance aux valeurs guides fixées par l'arrêté du 11 janvier 2007 (Annexe II / Annexe III) sur les limites de qualité des eaux brutes.

Synthèse des résultats pour les rejets liquides de l'installation PEGASE

Les concentrations ajoutées dans les denrées alimentaires sont présentées dans les tableaux ci-après.

Concentration ajoutée dans les denrées alimentaires (en mg/kg)							
Substance	Salade	Carottes	Tomates	Pommes	Foin	Herbe	Maïs fourrage
Aluminium et composés	4.7E-05	3.8E-06	6.1E-06	5.2E-07	2.2E-04	3.8E-04	9.8E-04
Bore	8.2E-06	6.6E-09	6.5E-07	4.3E-08	3.8E-05	6.6E-05	1.7E-04
Chlorures	3.8E-03	0.0E+00	2.6E-04	1.4E-05	1.8E-02	3.1E-02	7.9E-02
Fer et composés	4.6E-05	3.8E-06	6.0E-06	5.1E-07	2.2E-04	3.7E-04	9.6E-04
Fluorures	5.7E-05	0.0E+00	3.8E-06	2.2E-07	2.7E-04	4.5E-04	1.2E-03
Hydrocarbures	9.4E-05	0.0E+00	6.3E-06	3.6E-07	4.4E-04	7.5E-04	1.9E-03
Phosphates	1.1E-03	4.6E-04	4.2E-04	4.5E-05	5.3E-03	9.1E-03	2.4E-02
Sulfates	1.3E-02	0.0E+00	9.0E-04	5.0E-05	6.2E-02	1.1E-01	2.7E-01
Zinc et composés	3.8E-05	3.1E-06	4.8E-06	2.6E-07	1.8E-04	3.0E-04	7.8E-04
Chrome III	3.6E-06	2.9E-07	4.7E-07	4.0E-08	1.7E-05	2.9E-05	7.6E-05

Concentration ajoutée dans les denrées alimentaires (en mg/kg ou mg/L)					
Substance	Lait (Chèvre)	Viande (Mouton)	Œuf (Poule)	Viande (Poule)	Chair (Poisson)
Aluminium et composés	2.8E-06	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	1.1E-03
Bore	1.3E-08	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	9.2E-04
Chlorures	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Fer et composés	3.5E-05	5.0E-05	3.2E-05	1.8E-05	3.7E-03
Fluorures	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Hydrocarbures	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Phosphates	4.8E-03	8.3E-03	2.7E-04	8.2E-05	7.4E+01
Sulfates	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Zinc et composés	3.5E-05	2.5E-05	2.0E-05	6.7E-06	6.0E-02
Chrome III	8.0E-07	2.7E-06	1.3E-08	1.3E-08	6.8E-05

NB : Seules les substances disposant de coefficients de transfert dans la chaîne alimentaire sont retenues (cf. l'annexe au § 8)

Tableau 156 : Concentration ajoutée dans les denrées alimentaires (en mg/kg ou mg/L)

⁴⁷ Circulaire du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Direction générale de la prévention des risques, et du Ministère des affaires sociales et de la santé, Direction générale de la santé, datée du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

⁴⁸ INERIS - évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires. Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées - Impact des activités humaines sur les milieux et la santé. Guide INERIS DRC-12-125929-13162B.

Les concentrations ajoutées dans l'eau et dans les denrées alimentaires sont très faibles, inférieures aux seuils de décision des mesures dans l'environnement.

Les doses journalières d'exposition (DJE) calculées à Saint-Paul-lez-Durance sont présentées dans le tableau ci-après.

Dose Journalière d'Exposition (DJE) à Saint-Paul-lez-Durance (mg/kg/j)			
Substance	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Aluminium et composés	1.1E-07	6.8E-07	3.0E-07
Bore	1.6E-08	5.1E-07	2.2E-07
Chlorures	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Fer et composés	1.4E-07	2.2E-06	9.8E-07
Fluorures	1.1E-07	5.5E-08	3.5E-08
Hydrocarbures	1.8E-07	9.0E-08	5.8E-08
Phosphates	1.0E-05	4.1E-02	1.8E-02
Sulfates	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Zinc et composés	6.6E-07	3.4E-05	1.5E-05
Chrome III	8.6E-09	4.4E-08	2.0E-08

Tableau 157 : DJE à Saint-Paul-lez-Durance (mg/kg/j) – Rejets liquides

Les Quotients de danger (QD) relatifs à ces DJE sont présentés dans le tableau ci-après.

Quotients de Danger (QD) relatifs à ces DJE à Saint-Paul-lez-Durance				
Substance	VTR (mg/kg/j)	Enfant de 1 à 2 ans	Enfant de 10 ans	Adulte
Aluminium et composés	1	1.1E-07	6.8E-07	3.0E-07
Bore	0.2	7.9E-08	2.5E-06	1.1E-06
Fer et composés	0.8	1.7E-07	2.7E-06	1.2E-06
Fluorures	0.06	1.8E-06	9.1E-07	5.8E-07
Hydrocarbures totaux	25	7.2E-09	3.6E-09	2.3E-09
<i>Naphtalène</i>	<i>0.02</i>	<i>9.0E-06</i>	<i>4.5E-06</i>	<i>2.9E-06</i>
Phosphates	70	1.5E-07	5.8E-04	2.5E-04
Zinc et composés	0.3	2.2E-06	1.1E-04	4.9E-05
Chrome III	1.5	5.7E-09	2.9E-08	1.4E-08

Tableau 158 : Quotients de Danger (QD) à Saint-Paul-lez-Durance – Rejets liquides

Pour les substances à effet de seuil, les quotients de danger dus aux concentrations ajoutées par les rejets de l'installation PEGASE sont inférieurs à 1 (ainsi que leur somme). Pour les substances sans effet de seuil, les excès de risque individuels par ingestion sont inférieurs à 10^{-5} . On considère donc que l'apparition d'un effet est peu probable et que le risque est non préoccupant.

2.5.4- Étude de compatibilité avec le SDAGE Rhône-Méditerranée

Le SDAGE Rhône-Méditerranée en vigueur concerne la période 2022 à 2027.

2.5.4.1 Compatibilité avec les orientations fondamentales pour une gestion équilibrée de la ressource en eau

Le tableau suivant étudie la compatibilité du démantèlement de l'installation PEGASE avec les orientations fondamentales du SDAGE pour une gestion équilibrée de la ressource en eau qui susceptibles de la concerner.

Orientations du SDAGE	Réponse de l'installation PEGASE
OF0 : adaptation aux effets du changement climatique	* Consommation en eau limitée
OF1 : prévention : privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité	* Traitement des effluents liquides avant rejet * Dispositif de surveillance
OF2 : non-dégradation : concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques	* Calcul d'impact effectué avec des hypothèses de rejet d'effluents liquides conservatrices qui conclut à l'aspect non significatif de l'impact * Programme de surveillance qui inclut celle des milieux aquatiques
OF3 : vision sociale et économique : intégrer les dimensions sociale et économique dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux	* Sans objet dans le cadre du démantèlement de l'installation PEGASE
OF4 : gestion locale et aménagement du territoire : organiser la synergie des acteurs pour la mise en œuvre de véritables projets territoriaux de développement durable	* Sans objet dans le cadre du projet
OF5 : pollutions : lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions toxiques et la protection de la santé	* Contrôle des rejets, surveillance de l'environnement * L'installation PEGASE n'a pas de connexion directe avec la Durance * Programme de surveillance du milieu permettant de détecter d'éventuelles pollutions
OF6 : milieux fonctionnels : préserver et développer les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques	* Le calcul d'impact montre que les rejets liquides maximaux générés n'ont pas d'impact significatif sur le milieu * Programme de surveillance
OF7 : partage de la ressource : atteindre et pérenniser l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir	* le démantèlement de l'installation PEGASE n'utilisera que très peu d'eau
OF8 : gestion des inondations : gérer les risques d'inondation en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau	* L'installation PEGASE est en dehors des zones inondables.

Le démantèlement de l'installation PEGASE est compatible avec les orientations du SDAGE Rhône Méditerranée en vigueur.

2.5.4.2 Compatibilité avec les objectifs d'état des masses d'eau du SDAGE

Eaux souterraines

Le centre de Cadarache est situé au niveau de la masse d'eau souterraine FRDG179 « Unités calcaires Nord-Ouest varois (Mont Major, Cadarache, Vautubière) », dont l'échéance pour l'atteinte des objectifs de bon état quantitatif et de bon état chimique avait été fixée à 2015. Le démantèlement de l'installation PEGASE ne portera pas atteinte à l'état de la masse d'eau souterraine FRDG179.

Eaux de surface

Le site de Cadarache est aux confins de trois sous-bassins et trois masses d'eau de surface différentes. Le tableau ci-après présente les objectifs d'état et les échéances associées pour chacune de ces masses d'eau.

Objectifs d'état des masses d'eau du SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027				
Code sous-bassin		DU13-13	DU13-04	DU13-15
Nom sous-bassin		Moyenne Durance Aval	Basse Durance	Verdon
Code masse d'eau		FRDR267	FRDR2032	FRDR250a
Nom masse d'eau		La Durance de l'Asse au Verdon	La Durance du canal EDF au vallon de la Campane	Le Verdon du retour du tronçon court-circuité à la confluence avec la Durance
Catégorie de masse d'eau		Cours d'eau	Cours d'eau	Cours d'eau
Objectif d'état écologique	Objectif d'état	Moyen – OMS (FT)	Moyen - OMS (FT, CD)	Moyen - OMS (FT, CD)
	Statut	MEFM	MEFM	MEFM
	Echéance	2027	2027	2027
Objectif d'état chimique	Objectif d'état	Bon état	Bon état	Bon état
	Echéance sans ubiquiste	2015	2015	2015
	Echéance avec ubiquiste	2033	2015	2015

MEFM : masse d'eau fortement modifiée – OMS : Objectif Moins Strict (Arguments : CD : Coûts Disproportionnés - FT : Faisabilité Technique) Figure 114 : Objectifs d'état des masses d'eau du SDAGE (Source : SDAGE Rhône-Méditerranée 2022-2027)

Aucun impact notable des rejets chimiques liquides sur l'environnement aquatique n'a été mis en évidence. Les rejets qui sont réalisés dans le cadre du démantèlement de l'installation PEGASE ne sont pas de nature à influencer l'état de la masse d'eau FRDR2032 (La Durance en aval de Cadarache).

De même, les rejets chimiques liquides n'entraîneront pas de modification de l'état chimique et écologique de la Durance, ni de dépassement des objectifs de qualité qui lui sont fixés.

2.5.4.3 Conclusion

Le démantèlement de l'installation PEGASE est compatible avec les objectifs du SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée en vigueur.

2.6- Synthèse des incidences des rejets atmosphériques et liquides

Les incidences des rejets du démantèlement de l'installation PEGASE sur l'environnement et la santé humaine sont évaluées ci-après en tenant compte à la fois des rejets atmosphériques et liquides.

2.6.1- Incidences des rejets radiologiques

Le tableau suivant présente la synthèse des doses efficaces annuelles calculées après 1 an et 50 ans de rejets atmosphériques (paragraphe 2.2.3.2) et liquides (paragraphe 2.4.3.2).

Groupes de population	Doses efficaces annuelles (mSv/an)					
	Enfant de 1 à 2 ans		Enfant de 10 ans		Adulte	
	1 an	50 ans	1 an	50 ans	1 an	50 ans
Pertuis (20 912 m)	1.8E-07	1.8E-07	2.4E-07	2.4E-07	1.6E-07	1.6E-07
Manosque (16 224 m)	1.0E-11	1.1E-11	1.2E-11	1.3E-11	1.4E-11	1.5E-11
Gréoux-les-Bains (12 544 m)	1.2E-11	1.3E-11	1.5E-11	1.5E-11	1.7E-11	1.7E-11
Jouques (11 335 m)	7.5E-11	7.8E-11	9.0E-11	9.4E-11	1.0E-10	1.1E-10
Rians (9 318 m)	5.7E-12	6.0E-12	6.9E-12	7.1E-12	7.9E-12	8.2E-12
Mirabeau (8 645 m)	1.8E-07	1.8E-07	2.4E-07	2.4E-07	1.6E-07	1.6E-07
Corbières (8 175 m)	2.2E-11	2.3E-11	2.7E-11	2.8E-11	3.1E-11	3.2E-11
Beaumont (7 937 m)	1.8E-07	1.8E-07	2.4E-07	2.4E-07	1.6E-07	1.6E-07
Ginasservis (7 370 m)	1.1E-10	1.1E-10	1.3E-10	1.4E-10	1.5E-10	1.6E-10
Vinon-sur-Verdon (5 783 m)	2.7E-11	2.8E-11	3.3E-11	3.4E-11	3.7E-11	3.9E-11
Saint-Paul-lez-Durance (4 345 m)	1.7E-08	2.6E-08	9.6E-06	9.6E-06	7.2E-06	7.2E-06
Hameau (2 091 m)	2.6E-10	2.9E-10	3.4E-10	3.6E-10	3.8E-10	4.0E-10

Tableau 159 : Impact sanitaire des rejets atmosphériques et liquides des opérations de démantèlement

Avec les hypothèses majorantes retenues pour les calculs d'impacts, la dose efficace annuelle maximale due aux rejets générés par le démantèlement de l'installation PEGASE serait au maximum de l'ordre de **9,6.10⁻⁶ mSv/an (soit 9,6 nSv/an) pour un enfant de 10 ans à Saint-Paul-lez-Durance**. Cette dose est très inférieure (environ 1 000 fois) à 10 µSv/an, dose efficace considérée comme non-préoccupante (« trivial dose » en anglais) suivant la CIPR 104, c'est à dire la dose en dessous de laquelle aucune action n'est jugée nécessaire au titre de la radioprotection. Cette dose est par ailleurs près de 100 000 fois inférieure à la limite de dose ajoutée pour le public de 1 mSv/an (Art. R. 1333-11 du code de la santé publique).

À titre de comparaison, l'ingestion d'une dizaine de litres de certaines eaux gazeuses très minéralisées conduit à une dose de l'ordre de 10⁻³ mSv (soit 1 µSv).

L'impact sanitaire des rejets radioactifs du démantèlement de l'installation PEGASE est donc non préoccupant.

Aucun produit alimentaire ou élément de l'environnement ne présente d'activités ajoutées supérieures aux seuils de décision des mesures dans l'environnement. Les incidences résiduelles sur l'environnement sont qualifiées de négligeables.

La figure ci-dessous présente la comparaison de la dose efficace annuelle maximale ajoutée par les opérations de démantèlement à des doses de référence, ainsi qu'à la dose moyenne annuelle d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle pour la France métropolitaine.

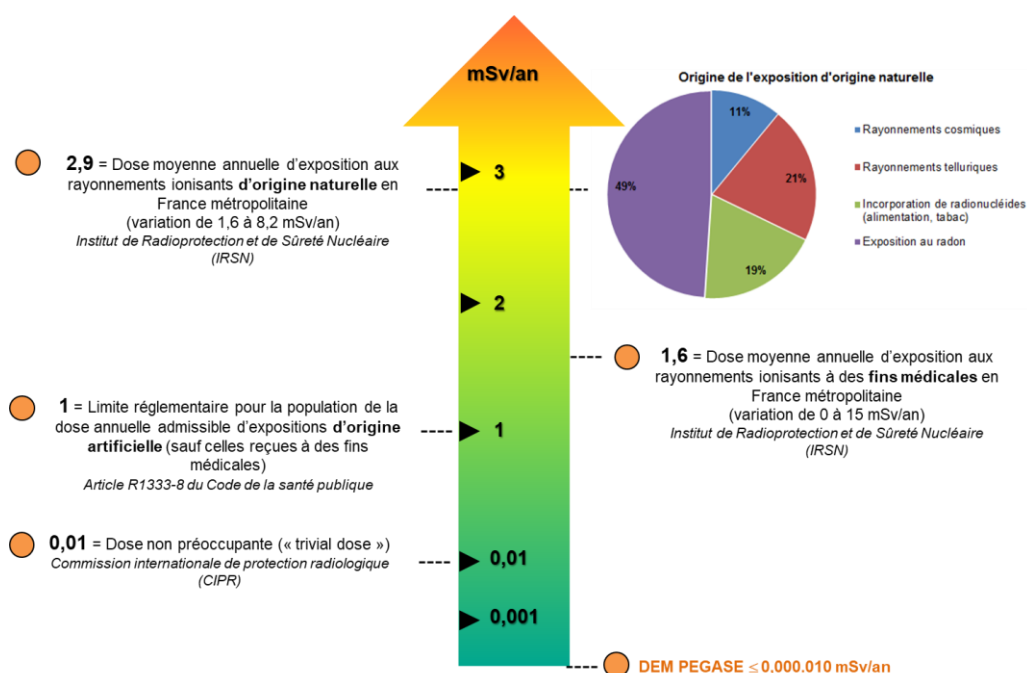


Figure 115 : Dose efficace annuelle maximale ajoutée par le démantèlement de l'installation PEGASE

2.6.2- Incidences des rejets chimiques

Les concentrations ajoutées des différentes substances chimiques dans l'environnement par le démantèlement de l'installation PEGASE seront faibles, indécélables pour la plupart.

Les concentrations ajoutées dans les eaux de la Durance sont inférieures aux seuils de référence (PNEC). Elles ne représentent qu'une faible part des concentrations déjà présentes en amont.

L'impact des rejets atmosphériques chimiques est faible, les concentrations maximales ajoutées dans l'air sont inférieures aux valeurs de référence, que ce soit pour une exposition aigue (impact sanitaire) ou chronique (impact environnemental).

Pour les substances à effet de seuil, les quotients de danger dus aux concentrations ajoutées par les rejets de l'installation PEGASE sont inférieurs à 1 (ainsi que leur somme). Pour les substances sans effet de seuil, les excès de risque individuels sont inférieurs à 10^{-5} . On considère donc que l'apparition d'un effet est peu probable et que le risque sanitaire est non préoccupant.

2.7- Utilisation de produits chimiques

Les opérations de démantèlement de l'installation PEGASE pour lesquelles des produits chimiques seront utilisés sont :

- × Les opérations de décontamination de surface des boîtes à gants et caissons de transferts, nécessitant l'utilisation de décontaminant d'usage courant (de type cleanox),
- × Les opérations de dépose d'équipements mécaniques, nécessitant potentiellement l'utilisation de produits dégrissant,

- * Les éventuelles opérations de fixation de la contamination labile des équipements à démonter, nécessitant potentiellement l'utilisation de peinture,
- * L'utilisation d'un BROKK pour les opérations de démolition nécessitant l'usage d'huile pour la pompe hydraulique.

Le tableau ci-après présente l'estimation des volumes de produits chimiques qui seront utilisés au cours des opérations de démantèlement :

Produit	Volume estimé
Décontaminant (type Cleanox)	2 145 L
Huile (BROKK)	50 L
Peinture	250 L
Bombe de peinture	500 bombes
Gel décontaminant (dégraissant)	100 L
Gel décontaminant (acide)	50 L
Gel décontaminant (base)	50 L

Tableau 160 : Estimation des volumes de produits chimiques utilisés

Le décontaminant est utilisé pour humidifier des lingettes permettant de décontaminer des déchets. Ces lingettes sont ensuite mises à sécher afin de pouvoir être évacuées sous forme de déchets solides. La peinture utilisée pour fixer la contamination reste fixée aux déchets évacués.

L'utilisation des produits chimiques est faite via des flacons individuels de capacité limitée. Aucune capacité de grande réserve n'est prévue pour entreposer ces produits. Les produits chimiques sont entreposés dans un lieu prévu à cet effet. D'autres produits usuels d'entretien pourront être utilisés en faible quantité (huile, produit nettoyant, etc.).

Ces produits font l'objet d'une commercialisation et d'un contrôle par les autorités sanitaires. Certains de ces produits peuvent être dangereux, inflammables, etc., aussi leur utilisation fait l'objet de précautions d'usage (port de gants, etc.). Ces produits sont couramment utilisés sur le centre de Cadarache, sont connus des services de sécurité du centre et n'ont jamais fait apparaître de nuisances particulières. Leurs règles d'utilisation (introduction des produits en quantités limitées, manipulation, entreposage) font l'objet de consignes.

Les quantités utilisées resteront faibles, et a fortiori pour la fraction évaporée. Une évaluation de l'impact de ces produits sera faite au cas par cas, avant leur utilisation.

3. Incidences des rayonnements ionisants

3.1- Rayonnements à l'intérieur de l'installation

Principe de zonage de radioprotection

La classification des locaux de l'installation PEGASE en zones délimitées au sens de la radioprotection, est définie par le Service de protection contre les rayonnements ionisants (SPR) du CEA de Cadarache, conforme à l'arrêté dit « arrêté zonage » du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées dites zones délimitées compte-tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Les valeurs réglementaires d'exposition pour la mise en place du zonage de radioprotection sont définies par les décrets n° 2018-437 modifié du 5 juin 2018 par le décret n° 2021-1091 du 18 août 2021 et n° 2018-438 du 4 juin 2018. Les critères de classification des locaux en fonction du risque radiologique utilisés par le SPR figurent dans les tableaux suivants.

Les critères donnés ci-dessous, destinés à assurer le respect des limites annuelles de dose efficace (corps entier), sont les plus communément utilisés pour le zonage des locaux.

Zonage radioprotection		Organisme entier	Équivalence en contamination atmosphérique (RCA ⁽⁴⁹⁾)
Zone	Couleur		
Non délimitées		Dose efficace < 80 µSv/mois	
Surveillée	Bleu	Dose efficace < 1,25 mSv intégrée sur un mois	< 0,3 RCA
Contrôlée	Verte	Dose efficace < 4 mSv intégrée sur un mois	< 1 RCA
	Jaune	Dose efficace < 2 mSv intégrée sur une heure	< 80 RCA
	Orange	Dose efficace < 100 mSv intégrée sur une heure	< 4 000 RCA
	Rouge	Dose efficace ≥ 100 mSv intégrée sur une heure	≥ 4 000 RCA
D'opération	Rouge	Dose efficace < 0,025 mSv intégrée sur une heure	
D'extrémités (Mains, avant-bras, pieds et chevilles)	Grise	Dans les situations où les zones surveillées et contrôlées ne permettent pas de maîtriser l'exposition des extrémités et de garantir le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle Dose équivalente ≥ 4 mSv/mois	
Radon (origine géogénique)		Dose efficace due exclusivement au radon > 6 mSv/an	

Tableau 161 : Classification des zones de radioprotection

⁴⁹ La grandeur opérationnelle de l'exposition interne est le Repère en Concentration Atmosphérique (RCA). Pour un radionucléide donné, 1 RCA correspond à l'activité volumique moyenne (Bq/m³) qui conduit, à la suite de l'exposition par inhalation d'une personne pendant une heure, à une dose efficace engagée de 25 µSv. Elle est définie comme suit :

$$RCA \text{ (Bq/m}^3\text{)} = \frac{25 \cdot 10^{-6} \text{ (Sv)}}{D_r \text{ (m}^3\text{/h)} \cdot 1 \text{ (h)} \cdot DPUI \text{ (Sv/Bq)}}$$

où :

- D_r : débit respiratoire d'une personne au travail : 1,2 m³/h
- DPUI : dose par unité d'incorporation d'un radionucléide, exprimée en Sv/Bq
- RCA : repère en concentration atmosphérique, exprimé en Bq/m³

En cas d'incohérence entre ces différents jeux de critères, le SPR retient le classement du local le plus contraignant.

Bilan des expositions externe et interne du personnel dans l'installation

En conditions normales d'exploitation, les risques d'exposition aux rayonnements ionisants du personnel travaillant dans des INB peuvent être de deux types :

- * le risque d'exposition externe ;
- * le risque d'exposition interne.

De manière générale, la prévention vis-à-vis du risque de dissémination des matières radioactives repose sur l'interposition d'au moins une barrière de confinement statique entre les matières radioactives et le personnel et d'au moins deux barrières entre ces matières et le public. Ces barrières de confinement statique sont généralement associées à un ou plusieurs système(s) de confinement dynamique (ventilation des sas, ventilation des bâtiments, etc.).

Les mesures de prévention vis-à-vis du risque de dissémination (en particulier la présence de barrière de confinement statique et dynamique) sont également efficaces vis-à-vis du risque d'exposition interne.

Pour l'installation en conditions normales :

- * le risque d'exposition externe est lié lors des OPDEM aux opérations de reprise, de reconditionnement et/ou d'évacuation du terme source radiologique encore entreposé en piscine et bassins de l'installation. Lors des opérations de démantèlement, ce risque est lié aux opérations de démontage et de découpe à proximité d'équipements contaminés émettant des rayonnements ionisants, ainsi qu'aux opérations de tri et de mise en colis des déchets générés ;
- * le risque d'exposition interne est lié aux risques d'inhalation ou d'ingestion de radioéléments lors de leur remise en suspension pendant les opérations d'assainissement, de dépose d'équipements, et de constitution des colis de déchets.

Les opérations d'OPDEM sont de même nature que celles réalisées en phase de fonctionnement. Ainsi, lors des dernières périodes d'exploitation, les mesures de dosimétrie gamma opérationnelle ont montré qu'aucun salarié n'a été exposé à une dose intégrée de plus de 1 mSv/an. Les objectifs de dosimétrie individuelle de l'organisme entier et pour les extrémités ont également été respectés. Il n'y a pas eu d'événement ayant conduit à une exposition du personnel par contamination interne ou cutanée. La situation radiologique est satisfaisante. Elle est le fruit d'un suivi rigoureux des expositions aux postes de travail.

Les opérations réalisées en phase d'assainissement et de démantèlement diffèrent de celles effectuées en phase de fonctionnement, et d'OPDEM. Cependant, les enjeux radiologiques pour le personnel sont moindres du fait d'un terme source radiologique mis en œuvre beaucoup moindre qu'en phase de fonctionnement ou d'OPDEM, et ces opérations sont réalisées de façon similaire sur d'autres installations en démantèlement du Centre de Cadarache, permettant de capitaliser le retour d'expérience sur les bonnes pratiques à adopter en terme d'optimisation des risques radiologiques.

Bilan des mesures d'ambiance radiologique dans l'installation

En complément des mesures de débits de dose aux postes de travail, des dosimètres de zone sont disposés sur l'installation. Les résultats sont conformes aux valeurs limites du zonage radioprotection en vigueur.

3.2- Rayonnements à l'extérieur de l'installation

Pour ce qui concerne la mesure des rayonnements à l'extérieur, le CEA a mis en place des dosimètres en clôture du Centre et sur le Centre, dans le cadre du Plan de contrôle et de surveillance radiologique du site et de l'environnement (PCSE). Les résultats ont été présentés dans la partie 1, au chapitre 3. Ils montrent que l'irradiation externe due au rayonnement direct de l'installation PEGASE n'est pas perceptible à la clôture du Centre de Cadarache.

4. Incidences sur l'environnement naturel (écologie)

Ce paragraphe reprend les principales conclusions de l'étude écologique réalisée par la société Sinergia Sud sur le périmètre de l'installation, pour ce qui concerne les incidences potentielles du démantèlement de l'installation PEGASE.

298

Partie 3

4.1- Incidences du projet de démantèlement

Effets directs en phase de travaux

Les principaux effets directs identifiés en phase travaux sont les suivants :

- × La destruction d'individus (écrasement) par les engins,
- × La destruction de tout ou partie de l'habitat : lors de la phase travaux, les aménagements peuvent entraîner une destruction permanente de tout ou partie d'un ou plusieurs habitats naturels.

Effets indirects en phase de travaux

Les principaux effets indirects identifiés en phase travaux sont les suivants :

- × Le dérangement lié aux vibrations et aux bruits lors du passage et du travail des engins qui peuvent perturber le cycle biologique des espèces présentes (nidification, déplacement, hibernation...),
- × L'introduction accidentelle d'espèces exotiques envahissantes, liée au déplacement des engins d'un chantier à l'autre pouvant entraîner un transport de graines ou d'individus,
- × Les pollutions accidentelles (aérienne, sol, eaux) liées à la phase de travaux, et donc temporaires (poussières, fuites d'hydrocarbures...).

Parmi ces effets, la destruction de tout ou partie d'habitat naturel ne sera pas traitée, à l'exception des reptiles et des chiroptères. En effet, le projet n'impacte pas le milieu naturel : le démantèlement est circonscrit à l'installation, et le stockage durant la phase chantier se fera sur une zone de stationnement déjà artificialisée.

Les paragraphes suivants détaillent les incidences brutes (avant mise en place de mesures), les mesures d'évitement et de réduction, ainsi que les incidences résiduelles du démantèlement de l'installation PEGASE (après mise en place des mesures).

4.1.1- Incidences et mesures sur les habitats naturels et la flore

4.1.1.1 Incidences brutes

Destruction de tout ou partie de l'habitat : Durant les travaux, aucun habitat naturel à enjeu ne sera impacté. En effet, les travaux de démantèlement sont ciblés sur des zones anthropisées. De plus la zone de stockage prévue est située sur un secteur déjà bétonné et ne constituant donc pas un habitat naturel.

Introduction accidentelle d'espèces exotiques envahissantes : Lors du démantèlement prévu sur l'installation PEGASE, le passage répété d'engins de chantier peut avoir des conséquences comme l'apport de terre végétale extérieure ou de semences d'espèces floristiques exotiques. Aucune espèce floristique n'a été identifiée lors des inventaires de terrain. L'environnement du chantier étant totalement anthropisé, le risque d'importer des espèces exotiques envahissantes est donc négligeable.

Dégradation de l'habitat et de la flore : Lors des travaux, le stockage du matériel, le passage répété des engins de chantier et la réalisation des travaux lourds peuvent entraîner des dégradations temporaires sur les habitats naturels présents sur la zone d'implantation. Cependant, les circulations de véhicules et le stockage seront réalisés sur des zones déjà anthropisées. Les effets sur les habitats naturels sont donc qualifiés comme nuls.

Pollution : L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. De plus, les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les espèces floristiques présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. Les incidences brutes de pollutions peuvent donc être considérées comme faibles sur les habitats naturels et la flore.

4.1.1.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier
- × **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

Ces mesures vont permettre de diminuer les incidences de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.1.3 Synthèse des incidences

Taxon	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle
Habitats naturels	Très faible à faible	Très faible à faible	Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	MR2.1a	Nulle
			Introduction accidentelle d'espèces exotiques envahissantes	Nulle		Nulle
			Dégradation de l'habitat et de la flore	Nulle		Nulle
			Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Flore	Très faible	Très faible	Destruction des individus	Nulle	MR2.1d	Nulle
			Destruction et/ou Dégradation des habitats	Nulle		Nulle
			Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Nulle		Nulle
			Introduction accidentelle d'espèces exotiques envahissantes	Faible		Très faible

Tableau 162 : Synthèse des incidences sur les habitats naturels en phase chantier

4.1.2- Incidences sur les amphibiens

4.1.2.1 Incidences brutes

Destruction d'individus : Les amphibiens sont des espèces qui ont une activité principalement crépusculaire et nocturne. Durant les périodes de migrations printanières et automnales, les amphibiens se déplacent entre les zones de reproduction et les zones d'hivernage. Durant ces périodes, les risques d'écrasement sont plus importants si des engins circulent la nuit sur la zone d'emprise du chantier. La zone d'étude semble être traversée par des amphibiens, en petit nombre, avec 3 individus contactés lors des prospections. Le risque d'écrasement d'individus est donc présent mais minime pour les espèces d'amphibiens transitant par la zone d'étude et notamment en traversant les routes et voies d'accès. Aucun habitat favorable à la reproduction n'est présent sur la zone d'étude ou à proximité.

Dérangement : La phase de chantier donne lieu à une activité importante qui peut déranger les amphibiens via notamment les déplacements des véhicules ou du personnel sur la zone d'étude. La fréquentation de la zone reste néanmoins relativement faible pour ce groupe taxonomique et aucun habitat favorable à sa reproduction n'y est présent.

Pollutions : L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. De plus, les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les espèces présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. Les individus en déplacement peuvent donc être impactés bien qu'aucun habitat favorable à la reproduction des amphibiens ne soit présent sur la zone.

4.1.2.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **ME4.1b** : Absence de travaux nocturnes
- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier
- × **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

Les mesures ci-dessus vont permettre d'abaisser les incidences brutes très faibles à faibles de destruction d'individus, de dérangement et de pollutions à des incidences résiduelles plus faibles.

Les amphibiens sont des animaux majoritairement nocturnes, faisant alors de l'écrasement lors du chantier le risque de destruction principal. En préconisant une absence de travaux nocturnes, l'incidence brute se voit abaissée.

Pour finir, les mesures MR2.1a « Limiter la vitesse des engins » et MR2.1d « Limiter la pollution » vont permettre de diminuer les incidences de dérangement et de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va limiter les vibrations qui pourraient déranger les amphibiens et va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.2.3 Synthèse des incidences

Nom commun	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle
Crapaud calamite	<i>Epidalea calamita</i>	Faible	Faible	Destruction d'individus	Faible	ME4.1b	Très faible
				Dérangement	Très faible		Nulle
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Très faible		Nulle
Crapaud épineux	<i>Bufo bufo spinosus</i>	Faible	Faible	Destruction d'individus	Faible	MR2.1a	Très faible
				Dérangement	Très faible		Nulle
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Très faible		Nulle
Grenouille verte	<i>Pelophylax sp.</i>	Très faible	Très faible	Destruction d'individus	Faible	MR2.1d	Très faible
				Dérangement	Très faible		Nulle
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Très faible		Nulle

Tableau 163 : Synthèse des incidences sur les amphibiens en phase chantier

4.1.3- Incidences sur les reptiles

4.1.3.1 Incidences brutes

Destruction d'individus : Parmi les espèces observées, seule la Tarente de Maurétanie utilise directement les bâtiments à proximité de la zone de projet. L'espèce utilise les façades des bâtiments comme refuge et comme zone de chasse. Aussi, toute intervention sur les bâtiments peut conduire à la destruction directe d'individus de cette espèce.

Le Lézard des murailles est une espèce ubiquiste et peut donc fréquenter les abords des bâtiments et des voies de circulation. Il a été observé à plusieurs reprises le long des routes bordant les bâtiments et peut donc les utiliser pour se déplacer. Le Psammodrome d'Edwards et le Lézard ocellé sont des espèces de garrigue et de pierrier. Il est en outre possible qu'ils utilisent les routes pour se déplacer. Le risque d'écrasement d'individus est donc présent mais faible pour ces 3 espèces de reptiles.

Destruction de tout ou partie de l'habitat : L'individu de Tarente de Maurétanie a été observé sur le bâtiment CASCAD qui ne sera pas impacté par le chantier. Dans le cadre du chantier, seul le démantèlement de l'aéroréfrigérant est prévu. Ces structures ne semblent pas favorables à la Tarente de Maurétanie car aucun individu n'y a été observé. L'incidence de destruction de tout ou partie de l'habitat en phase chantier est donc jugé très faible.

Les milieux favorables aux 3 autres espèces de reptiles (Lézard ocellé, Lézard des murailles, Psammodrome d'Edwards) ne seront pas impactés lors de la phase chantier.

Dérangement : L'individu de Tarente de Maurétanie a été observé sur le bâtiment CASCAD. Le dérangement lié au trafic pourra impacter cette espèce qui est présente à proximité immédiate du bâtiment à démanteler. L'effet de dérangement sur cette espèce est donc jugé faible.

Les 3 autres espèces ont été contactées à proximité des voies de circulation. Le trafic lié au chantier pourra donc déranger ces espèces. Notons que le trafic existe déjà dans la zone d'étude et qu'une dizaine d'individus, toutes espèces confondues, ont été malgré tout observés à proximité immédiate des routes.

Pollutions : Les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les espèces présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. L'effet de la pollution est donc jugé faible.

4.1.3.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier
- × **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

Ces mesures vont permettre de diminuer les incidences de destruction directe d'individus de Lézard ocellé, de Lézard des murailles et de Psammodrome d'Edwards ainsi que de dérangement et de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va limiter les vibrations qui pourraient déranger les reptiles et va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.3.3 Synthèse des incidences

Nom commun	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle	
Lézard ocellé	<i>Timon lepidus</i>	Fort	Fort	Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	MR2.1a	Nulle	
				Destruction d'individus	Faible		Très faible	
				Dérangement	Faible		Très faible	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible	
Lézard des murailles	<i>Podarcis muralis</i>	Faible	Faible	Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle		MR2.1a	Nulle
				Destruction d'individus	Faible			Très faible
				Dérangement	Faible			Très faible
Psammodrome d'Edwards	<i>Psammodomus edwardsianus</i>	Moyen	Moyen	Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		MR2.1d	Très faible
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	Nulle		
				Destruction d'individus	Faible	Très faible		
Tarente de Maurétanie	<i>Tarentola mauritanica</i>	Faible	Faible	Dérangement	Faible	MR2.1d	Très faible	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible	
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Faible		Très faible	
				Destruction d'individus	Faible		Très faible	

Tableau 164 : Synthèse des incidences sur les reptiles en phase chantier

4.1.4- Incidences sur l'entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée

4.1.4.1 Incidences brutes

Destruction d'individus : La Zygène cendrée a été observée au sein de la zone d'étude et sa plante hôte est également présente. Il est donc possible qu'elle se déplace au-dessus des voies de circulation de la zone d'étude. Le Criquet hérisson a également été observé dans la zone d'étude, dans un milieu de garrigue basse. Potentiellement, un individu peut se déplacer sur une voie d'accès même si l'espèce réalise des déplacements sur de très courtes distances. Le Scorpion languedocien est très présent à l'extérieur de la zone d'étude et un individu a été observé au sein même de la zone. Potentiellement, il peut chasser sur les routes existantes dans la zone d'étude. Les déplacements de cette espèce sont réalisés de nuit. Le risque d'écrasement d'individus est donc présent mais faible pour ces 3 espèces. Le Scorpion à pattes jaunes a été observé à l'extérieur de la zone d'étude, il semble moins fréquent. Il est néanmoins possible qu'il chasse sur les voies d'accès de la zone d'étude. Le risque d'écrasement d'individus de cette espèce est très faible.

Dérangement : Les 4 espèces patrimoniales ont été contactées dans les milieux de garrigues, parfois à proximité de la route au nord de la zone d'étude. Le trafic lié au chantier pourra donc déranger ces espèces. Notons que le trafic existe déjà dans la zone d'étude.

Pollutions : Les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les espèces présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. L'effet de la pollution est donc jugé faible.

4.1.4.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **ME4.1b** : Absence de travaux nocturnes
- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier
- × **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

Les 2 espèces de scorpions sont majoritairement nocturnes, faisant alors de l'écrasement lors du chantier le risque de destruction principal. En préconisant une absence de travaux nocturnes, l'incidence brute se voit être largement abaissée.

Pour finir, les mesures MR2.1a et MR2.1d vont permettre de diminuer les incidences de dérangement et de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va limiter les vibrations qui pourraient déranger les amphibiens et va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.4.3 Synthèse des incidences

Nom commun	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle
Scorpion languedocien	<i>Buthus occitanus</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible	ME4.1b	Très faible
				Dérangement	Faible		Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Scorpion à pattes jaunes	<i>Euscorpis flavicaudis</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Très faible	MR2.1a	Très faible
				Dérangement	Faible		Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Criquet hérisson	<i>Prionotropis azami</i>	Fort	Fort	Destruction d'individus	Faible	MR2.1d	Très faible
				Dérangement	Faible		Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Zygène cendrée	<i>Zygaena rhadamanthus</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible		Très faible
				Dérangement	Faible		Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible

Tableau 165 : Synthèse des incidences sur l'entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée en phase chantier

4.1.5- Incidences sur les mammifères (hors chiroptères)

Lors des prospections, 2 espèces de mammifères terrestres ont été identifiées à partir d'observations directes ou d'indices de présence. Le site du CEA de Cadarache étant intégralement entouré d'une clôture infranchissable pour la grande faune, seules quelques espèces sont présentes en captivité et sont susceptibles de fréquenter la zone. On retrouve ainsi de nombreux sangliers et quelques mouflons méditerranéens.

En raison de la nature anthropique de la zone de chantier et de la grande capacité de fuite des mammifères terrestres, les incidences sont considérées comme non significatives pour ce taxon de la faune sauvage.

4.1.6- Incidences sur l'avifaune

Aucune espèce d'avifaune nocturne n'ayant été identifiée durant les inventaires de terrain, les incidences sur l'avifaune nicheuse nocturne sont considérées comme nulles. Les incidences suivantes concernent uniquement l'avifaune nicheuse diurne.

4.1.6.1 Incidences brutes

Destruction d'individus :

- ✖ Alouette lulu : Il est fort probable que l'espèce niche en dehors de la zone d'étude, dans les milieux ouverts environnants. L'Alouette lulu se nourrit au sol et peut donc s'alimenter à proximité du chantier. La destruction directe d'individus pourrait toucher uniquement des adultes en chasse ou gagnage. Le risque d'écrasement est néanmoins faible compte tenu de la capacité de fuite des oiseaux volants.
- ✖ Chardonneret élégant : Ce passereau niche dans les boisements, lisières, parcs et jardins. Il est très probable que plusieurs couples soient installés dans les arbustes et haies autour des bâtiments, et certain qu'au moins un couple niche en limite de zone d'étude. La destruction directe d'individus pourrait donc toucher uniquement des adultes en chasse ou gagnage. Le risque d'écrasement est néanmoins faible compte tenu de la capacité de fuite des oiseaux volants.

- ✖ Serin cini : Ce fringille niche également dans les arbres et apprécie les conifères. Il est certain qu'un couple niche en dehors la zone d'étude, au sud est, dans un groupement de quelques pins. La destruction directe d'individus pourrait toucher uniquement des adultes en chasse ou gagnage. Le risque d'écrasement est néanmoins faible compte tenu de la capacité de fuite des oiseaux volants.
- ✖ Verdier d'Europe : Il niche dans les boisements, lisières, parcs et jardins. Il est probable que l'espèce niche sur ou autour de la zone. La destruction directe d'individus pourrait toucher uniquement des adultes en chasse ou gagnage. Le risque d'écrasement est néanmoins faible compte tenu de la capacité de fuite des oiseaux volants.

Dérangement :

- ✖ Alouette lulu : Il est fort probable que l'espèce niche à proximité de la zone d'étude, dans les milieux ouverts environnants. Ainsi, les allers et venues des engins de chantier pourraient entraîner un dérangement sur ces oiseaux en période de reproduction (mars à juillet). En effet, en cette période les mâles chantent pour attirer les femelles et définir leur territoire. Ainsi, les déplacements sur le chantier et le bruit résultant des travaux peuvent créer un dérangement. Néanmoins, ces allers et venues seront limités et les routes sont d'ores et déjà utilisées. L'effet de dérangement de l'Alouette lulu est donc considéré comme faible en période de nidification.
- ✖ Chardonneret élégant : un couple niche de manière certaine en limite sud de la zone d'étude. Il est probable qu'au moins un couple niche à proximité ou sur la zone. Ainsi, les allers et venues des engins de chantier pourraient entraîner un dérangement sur ces oiseaux en période de reproduction (fin mars à fin août). En effet, en cette période les mâles chantent pour attirer les femelles et définir leur territoire. Ainsi, les déplacements sur le chantier et le bruit résultant des travaux peuvent créer un dérangement. Néanmoins, ces allers et venues seront limités et les routes sont d'ores et déjà utilisées. L'effet de dérangement du Chardonneret élégant est donc considéré comme faible en période de nidification.
- ✖ Serin cini : il niche de manière certaine en dehors de la zone d'étude et l'espèce fréquente toute la zone. Ainsi, les allers et venues des engins de chantier pourraient entraîner un dérangement sur ces oiseaux en période de reproduction (avril à fin juillet). En effet, en cette période les mâles chantent pour attirer les femelles et définir leur territoire. Ainsi, les déplacements sur le chantier et le bruit résultant des travaux peuvent créer un dérangement. Néanmoins, ces allers et venues seront limités et les routes sont d'ores et déjà utilisées. L'effet de dérangement du Serin cini est donc considéré comme faible en période de nidification.
- ✖ Verdier d'Europe : l'espèce se reproduit probablement dans et autour la zone d'étude. Ainsi, les allers et venues des engins de chantier pourraient entraîner un dérangement sur ces oiseaux en période de reproduction (avril à août). En effet, en cette période les mâles chantent pour attirer les femelles et définir leur territoire. Ainsi, les déplacements sur le chantier et le bruit résultant des travaux peuvent créer un dérangement. Néanmoins, ces allers et venues seront limités et les routes sont d'ores et déjà utilisées. L'effet de dérangement du Verdier d'Europe est donc considéré comme faible en période de nidification.

Pollution : Les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les espèces présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. L'effet de la pollution est donc jugé faible.

4.1.6.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier
- × **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

Ces mesures vont permettre de diminuer les incidences de destruction directe d'individus notamment en chasse ainsi que de dérangement et de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va limiter les vibrations qui pourraient déranger les oiseaux, notamment au moment de la recherche d'un partenaire parmi les 4 espèces présentées ci-dessus et va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.6.3 Synthèse des incidences

Nom commun	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle		
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible	MR2.1a	Très faible		
				Dérangement	Faible		Très faible		
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible		
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible		MR2.1d	Très faible	
				Dérangement	Faible			Très faible	
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible			Très faible	
Serin cini	<i>Serinus serinus</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible			MR2.1d	Très faible
				Dérangement	Faible				Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible				Très faible
Verdier d'Europe	<i>Carduelis chloris</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible	MR2.1d			Très faible
				Dérangement	Faible				Très faible
				Pollution (poussières, hydrocarbures...)	Faible				Très faible

Tableau 166 : Synthèse des incidences sur les oiseaux en phase chantier

4.1.7- Incidences sur les chiroptères

Les chiroptères ont besoin de différents habitats pour accomplir leur cycle biologique (reproduction, alimentation, déplacement, hibernation...). Ces animaux évoluent au sein de différents milieux lors de leurs déplacements.

Au niveau de la zone d'étude et à proximité, 7 espèces ont été identifiées. On retrouve quatre espèces d'enjeu modéré (le Molosse de Cestoni, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Kuhl et le Vespère de Savi).

4.1.7.1 Incidences brutes

Destruction d'individus : Lors des travaux de démantèlement, des travaux via des engins de chantier sont prévus. Ces travaux peuvent entraîner la destruction d'espèces de chauves-souris par collision ou destruction au gîte si des gîtes sont présents. Lors des inventaires, aucun gîte potentiel arboricole pour les chauves-souris n'a été identifié. En revanche, la bâtiment CASCAD abrite des chauves-souris au niveau des corniches. En effet, durant les inventaires, des chauves-souris ont été observées en journée sous les corniches et identifiées comme étant principalement des Pipistrelles de Kuhl et quelques individus de Noctule de Leisler.

Le bâtiment CASCAD ne sera pas impacté par le démantèlement donc le risque de destruction d'individus au gîte est nul. En revanche, si les travaux sont réalisés durant la nuit, il existe des risques de collision avec les engins. Ce risque est toutefois faible. De plus, aucun bâtiment ne sera démoli à l'exception de l'aéroréfrigérant qui n'est pas favorables aux chauves-souris.

Destruction de tout ou partie de l'habitat : La zone d'emprise du démantèlement comprend exclusivement des habitats artificiels. L'activité enregistrée sur la zone concernée par le démantèlement est moins importante que dans les habitats naturels à proximité. L'activité sur ces zones est principalement concentrée au niveau des sources lumineuses qui vont attirer les insectes et constituer des zones de chasse pour les chiroptères.

Les milieux identifiés comme les plus intéressants et où les activités sont les plus importantes sont les zones de garrigue et les zones boisées. Par conséquent, l'effet de destruction de toute ou partie de l'habitat est définie comme nulle car aucun habitat naturel n'est détruit.

De plus, aucun habitat correspondant à un gîte potentiel ne sera impacté puisque seul l'aéroréfrigérant sera démantelé.

Dérangement : Les travaux peuvent entraîner un dérangement dans l'activité des chauves-souris, notamment via la circulation d'engins motorisés s'ils ont lieu en période nocturne. En période diurne le dérangement concerne uniquement la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler. Il s'agit en effet des deux espèces qui ont été identifiées dans le bâtiment CASCAD. Les autres espèces ne semblent pas avoir de gîte sur la zone d'étude.

Pollution : Les engins de chantier contiennent beaucoup d'hydrocarbures qui peuvent se déverser et polluer les habitats et les proies des chiroptères présentes à proximité en cas de dysfonctionnement ou d'accidents. L'émission de poussières sera globalement assez restreinte du fait de la présence de route goudronnées et d'une circulation d'engins relativement mesurée et limitée dans le temps. Cette pollution se concentrera presque uniquement au niveau des chemins d'accès et de la zone de chantier. L'effet de la pollution est donc jugé faible.

4.1.7.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures suivantes sont proposées :

- × **ME4.1b** : Absence de travaux nocturnes
- × **MR2.1a** : Limitation de la vitesse des engins de chantier

✱ **MR2.1d** : Limitation du risque de pollution en phase chantier

En préconisant une absence de travaux nocturnes, les incidences brutes de destruction d'individus et de dérangement se voient être largement abaissées.

Les mesures MR2.1a et MR2.1d vont permettre de diminuer les incidences de dérangement et de pollutions. En effet, limiter la vitesse des engins de chantier va limiter les vibrations qui pourraient déranger les chauves-souris qui ont leur gîte dans le bâtiment CASCAD et va aussi limiter la poussière mise en suspension par les passages des véhicules.

4.1.7.3 Synthèse des incidences

Nom commun	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Enjeu sur site ou à proximité	Nature de l'effet	Incidence brute	Mesures	Incidence résiduelle
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible	MR4.1b MR2.1a MR2.1d	Nulle
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle		Nulle
				Dérangement	Faible		Nulle
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible		Nulle
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle		Nulle
				Dérangement	Faible		Très faible
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Moyen	Faible	Destruction d'individus	Faible		Nulle
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle		Nulle
				Dérangement	Faible		Nulle
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible		Très faible
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Faible	Moyen	Destruction d'individus	Faible	Nulle	
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	Nulle	
				Dérangement	Faible	Très faible	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible	Très faible	
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Faible	Faible	Destruction d'individus	Faible	Nulle	
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	Nulle	
				Dérangement	Faible	Nulle	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible	Très faible	
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Moyen	Faible	Destruction d'individus	Faible	Nulle	
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	Nulle	
				Dérangement	Faible	Nulle	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible	Très faible	
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Moyen	Moyen	Destruction d'individus	Faible	Nulle	
				Destruction de tout ou partie de l'habitat	Nulle	Nulle	
				Dérangement	Faible	Nulle	
				Pollutions (poussières, hydrocarbures...)	Faible	Très faible	

Tableau 167 : Synthèse des incidences sur les oiseaux en phase chantier

4.2- Évaluation du cumul des incidences

L'article R122-5 du code de l'environnement précise que l'étude d'impact doit comporter une analyse du cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés.

Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont été réalisés.

Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier comprenant l'étude d'impact :

- * ont fait l'objet d'un document d'incidences au titre de l'article R. 181-14 du code de l'environnement et d'une consultation du public ;
- * ont fait l'objet d'une étude environnementale au titre du code de l'environnement et pour lesquels un avis de l'Autorité environnementale a été rendu public.

Les projets suivants, situés dans un rayon de 5 km, sont pris en compte :

Commune concernée	Nature du projet	Date de l'avis de l'AE
Rians	Projet de centrale photovoltaïque au lieu-dit « Cuer Vielh »	2016
Saint-Paul-lez-Durance	Centrale photovoltaïque au lieu-dit « Sainte-Cartier » - URBASOLAR	2016
Saint-Paul-lez-Durance	Centrale photovoltaïque au lieu-dit « Mal Hivert » - URBASOLAR	2016
Saint-Paul-lez-Durance	Poursuite du démantèlement de l'INB 52 ATUE (Atelier de traitement de l'uranium enrichi) en vue de sa mise à l'arrêt définitif – CEA Cadarache	2016
Saint-Paul-lez-Durance	Démantèlement de l'INB 25 RAPSODIE – CEA de Cadarache	2017
Saint-Paul-lez-Durance	Démantèlement de l'INB n° 92 PHEBUS – CEA de Cadarache	2021
Saint-Paul-lez-Durance	Démantèlement des INB n° 42 EOLE et n° 95 MINERVE – CEA de Cadarache	2021
Saint-Paul-lez-Durance	Démantèlement de l'INB n° 53 MCMF (Magasin Central des matières fissiles) – CEA de Cadarache	2021
Saint-Paul-lez-Durance	Amélioration de la bretelle de sortie A51 de l'échangeur n°17 de Cadarache	2021

Tableau 168 : Liste des projets retenus pour l'analyse du cumul des incidences

Les projets de centrales photovoltaïque de Cuer Vielh, Sainte-Cartier et Mal Hivert ont montré la présence d'espèces notamment faunistiques qui possèdent un enjeu comme le Lézard ocellé (commun aux trois projets), Psammodrome d'Edwards, Circaète Jean-le-Blanc, la Proserpine...

Un cumul des incidences pourrait avoir lieu pour les espèces communes s'il y avait une destruction des habitats. Or dans le projet de démantèlement de l'installation PEGASE, le risque de destruction d'individus et d'habitats est très faible. De plus, le Lézard ocellé possède un faible territoire, il est fortement envisageable qu'il y ait une absence de communication entre les populations concernées par les projets photovoltaïques et celles de l'installation PEGASE. Ceci limite donc l'accumulation potentielle des incidences.

4.3- Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000

Dans les 5 kilomètres autour du projet de démantèlement de l'installation PEGASE, on recense quatre sites Natura 2000. On retrouve ainsi deux zones Spéciales de Conservation (ZSC) et deux zones de Protection Spéciales (ZPS).

Type	Code	Nom	Superficie	Distance au site	Opérateur
ZSC	FR9301589	La Durance	15920 ha	1,7 km	Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD)
ZPS	FR9312003	La Durance	20008 ha	1,7 km	Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance (SMAVD)
ZSC	FR9301605	Montagne Sainte Victoire	32759 ha	2,5 km	Grand Site Sainte Victoire (Syndicat)
ZPS	FR9310075	Massif du Petit Luberon	17049 ha	3,4 km	DREAL Provence-Alpes-Côte-d'Azur

Tableau 169 : Liste des sites Natura 2000 localisés dans un rayon de 5 km

L'évaluation des incidences pour les espèces faunistiques est définie en fonction des distances séparant la zone d'étude des différents sites Natura 2000 et les distances de déplacements des espèces.

Concernant les habitats naturels et la flore, les sites Natura 2000 pris en compte pour les incidences sont ceux situés sur la zone d'implantation du projet ou à proximité directe. Dans le cas présent, aucun site Natura 2000 n'est situé à proximité directe de la zone d'étude.

4.3.1- Evaluation des incidences

4.3.1.1 Habitats naturels

Vue la grande distance entre les sites Natura 2000 et la zone d'étude, on peut considérer comme nulle la possibilité d'avoir des incidences sur les habitats naturels des sites Natura 2000. On ne retrouve de toute façon aucun habitat similaire entre le site d'étude et les sites Natura 2000.

Les incidences sur les habitats naturels présents sur les sites Natura 2000 sont donc considérées comme nulles.

4.3.1.2 Flore

Vue la grande distance entre les sites Natura 2000 et la zone d'étude, on peut considérer comme nulle la possibilité d'avoir des incidences sur la flore des sites Natura 2000. On ne retrouve de toute façon aucune espèce patrimoniale de flore similaire entre le site d'étude et les sites Natura 2000.

Les incidences sur la flore présente sur les sites Natura 2000 sont donc considérées comme nulles.

4.3.1.3 Faune

Amphibiens

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, aucune espèce visée à l'Annexe II de la Directive 92/43/CEE ayant justifié la désignation des sites Natura 2000 n'est recensée sur la zone d'étude. De plus, les habitats sur l'installation INB-22 PEGASE ne sont pas favorables à une reproduction viable des amphibiens.

Les incidences sur les amphibiens présents sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

Reptiles

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, une espèce de reptile visée à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE est recensée sur le site « FR9301589 – La Durance ». Il s'agit de la Cistude d'Europe.

Aucun individu de Cistude d'Europe n'a été observé lors de la session d'inventaire. De plus, les milieux présents sur la zone d'implantation potentielle ne sont pas du tout favorables à cette espèce. En effet, la Cistude d'Europe fréquente les zones humides telles que les étangs, les marais, les ruisseaux...

Les incidences sur les reptiles présents sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

Entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, 12 espèces d'invertébrés visées à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE sont recensées.

Toutes les espèces ne présentent pas les mêmes besoins en termes d'habitats. Ainsi, la disponibilité en habitat de reproduction pour les odonates (Agrion de Mercure, Cordulie à corps fin) est nulle car on ne retrouve pas de végétation des zones humides. On ne retrouve pas non plus de cours d'eau favorable à l'Ecrevisse à pattes blanches.

On retrouve 2 espèces de mollusques sur le site « FR9301589 – La Durance », le Vertigo étroit et le Vertigo de Des Moulins. Les habitats présents sur la zone d'étude ne sont pas favorables à ces espèces car elles fréquentent préférentiellement les milieux dunaires ou les prairies humides.

Les sites Natura 2000 « FR9301605 – Montagne Sainte-Victoire » et « FR9301589 – La Durance » sont situés à environ 2 km de la zone d'étude. Les espèces d'entomofaune se déplaçant rarement sur des distances aussi grandes, les incidences sur les populations de ce site sont donc considérées comme nulles.

Les incidences sur l'entomofaune sont donc considérées comme nulles pour les quatre sites Natura 2000 recensés dans un rayon de 5 km.

Faune piscicole

Seuls les sites «FR9301605 – Montagne Saint-Victoire » et « FR9301589 – La Durance » sont concernés par cette possibilité d'incidence. Il s'agit en effet des seuls sites dans un rayon de 5 km pour lesquels des espèces de poissons sont citées comme ayant justifié la désignation du site en Natura 2000.

On ne trouve cependant pas de cours d'eau sur la zone d'étude de l'INB-22 PEGASE et donc aucun habitat favorable aux poissons.

Les incidences sur la faune piscicole présente sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

Mammifères (hors chiroptères)

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, trois espèces de mammifères visées à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE sont recensées : le Castor d'Europe, le Loup gris et la Loutre d'Europe.

Les habitats présents sur la zone d'étude ne sont pas favorables au Castor d'Europe ni à la Loutre d'Europe car ces espèces ont besoin d'habitats aquatiques. Le Loup gris va préférer des milieux plus boisés. De plus, le CEA étant totalement clôturé, l'accès à ces espèces est impossible.

Les incidences sur les mammifères (hors chiroptères) présents sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

Avifaune

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, de nombreuses espèces d'oiseaux visées à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE sont recensées.

Les espèces citées pour le site « FR9312003 – La Durance » sont majoritairement des espèces liées aux zones humides. Les incidences pour les populations de ces espèces peuvent être considérées comme nulle car on ne retrouve pas de milieux favorables à celles-ci sur la zone d'étude. On retrouve cependant d'autres espèces qui pourraient utiliser la zone d'étude, notamment pour chasser.

Les espèces citées pour le site « FR9310075 – Massif du Petit Luberon » fréquentent principalement les milieux calcaires accidentés composés de falaises, pelouses sèches et forêts. Comme pour le précédent site Natura 2000, les potentielles incidences concernent principalement la perte d'habitat de chasse.

Les travaux de démantèlement sont concentrés au niveau des zones anthropisées et ne détruiront pas d'habitats naturels favorables à l'avifaune.

Les incidences sur l'avifaune présentent sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

Chiroptères

Parmi les quatre sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km autour de l'INB-22 PEGASE, 9 espèces de chiroptères visées à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE sont recensées.

Aucun arbre gîte potentiel ni cavité n'a été observé dans la zone d'étude. Les chauves-souris, qu'elles soient arboricoles (Barbastelle d'Europe, Murin de Bechstein...), ou cavernicoles (Petit et Grand rhinolophe, Minioptère de Schreibers...) ne trouvent pas d'endroits favorables à utiliser comme gîte. Le gîte identifié au niveau du bâtiment CASCAD concerne la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler. Ces deux espèces ne font pas partie des espèces ayant justifiées la désignation des sites Natura 2000. Le gîte anthropique identifié ne sera, dans tous les cas, pas impacté par le démantèlement.

Concernant la perte d'habitats, il s'agit d'un démantèlement donc aucun habitat naturel ne sera impacté. Toutes les espèces présentes dans les sites Natura 2000 peuvent fréquenter la zone d'étude en déplacement ou en chasse. On retrouve cependant des milieux bien plus favorables à proximité, comme les bords de la Durance qui regroupent de nombreux insectes et constituent donc des zones de chasse très favorables.

Les incidences sur les chiroptères présents sur les sites Natura 2000 à proximité sont donc considérées comme nulles.

4.3.2- Synthèse des incidences

Les incidences sur les sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km sont qualifiées de nulles pour l'ensemble des taxons. En effet, le démantèlement de l'installation PEGASE ne va pas impacter d'habitats naturels et les incidences sur les espèces identifiées dans le cadre des inventaires ne sont pas significatives car les travaux auront lieu sur les habitats déjà anthropisés.

5. Incidences sur l'environnement physique

5.1- Incidences sur le climat

5.1.1- Climat et changement climatique

Les incidences du démantèlement de l'installation PEGASE sur le climat sont évaluées au travers des **émissions de gaz à effet de serre (GES)**, qui jouent un rôle prépondérant dans l'équilibre thermique de l'atmosphère terrestre. En effet, le rayonnement électromagnétique du soleil, principalement dans les longueurs d'ondes visibles, fournit à la Terre de la chaleur. De leur côté, la Terre et l'atmosphère la restituent en réémettant vers l'espace un rayonnement infrarouge. Ce dernier est partiellement capté, diffusé ou absorbé par des gaz présents dans l'atmosphère, comme la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane... Ce phénomène qui limite la perte de chaleur à l'échelle globale est bénéfique puisqu'en l'absence totale de gaz à effet de serre, la température moyenne de l'air sur Terre serait proche de -18°C, au lieu des 15°C actuels.

Néanmoins, les émissions croissantes de gaz à effet de serre d'origines anthropiques, augmentent artificiellement et massivement leur concentration dans l'atmosphère, et rompent ainsi l'équilibre thermique sur Terre, même si d'autres facteurs, d'origine naturelle, peuvent aussi intervenir. Ces émissions sont responsables du **changement climatique global**, qui a des incidences à l'échelle régionale et locale.

5.1.2- Estimation des émissions de gaz à effet de serre

Les activités de l'installation ne correspondent pas aux activités visées à l'annexe I de la Directive n° 2003/87/CE du 13 octobre 2003 modifiée établissant un système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre dans la Communauté et modifiant la directive 96/61/CE du Conseil.

Ainsi, l'installation PEGASE n'est pas soumise au PNAQ (plan national d'affectation des quotas d'émission de gaz à effet de serre) et à l'attribution de quotas d'émission de CO₂.

Les émissions de gaz à effet de serre ont des origines diverses : transport du personnel, gestion des déchets conventionnels et radioactifs (camions de transport, etc.), tests périodiques du groupe électrogène alimenté en fioul domestique, etc.

5.1.2.1 Opérations de démantèlement

Les émissions de CO₂ au sein de l'installation au cours du démantèlement sont détaillées en section 2.3.1-. La quantité totale est estimée à **88 tonnes d'équivalent CO₂** sur toute la durée des opérations.

5.1.2.2 Trajets des camions de transport

Les hypothèses suivantes sont utilisées pour tenir compte des dégagements de CO₂ durant les trajets en camions :

- × consommation des camions arrondie à 40 litres/100 km (sur la base d'une consommation moyenne communément admise autour de 30 à 35L/100km pour un camion) ;
- × facteur d'émission de CO₂ : 3,17 kg de CO_{2e}/litre de carburant (page 41 de la base carbone de l'ADEME),
- × les déchets TFA (252 camions) sont transportés aux centres CIRES et CSA de l'ANDRA (dans l'Aube), situés à 700 km de Cadarache (soit une distance d'aller-retour de 1400 km),
- × les déchets FA/MA VL (8 camions) n'ont pas de centre de stockage à ce jour. Ils seront temporairement entreposés sur l'installation CEDRA à Cadarache située à une distance approximative de 5 km de l'installation PEGASE (soit une distance aller – retour de 10 km),
- × les déchets FA/MA VC (27 camions) sont transportés au CSFMA de l'ANDRA (dans l'Aube), situés à 700 km de Cadarache (soit une distance d'aller-retour de 1400 km),
- × la zone dans laquelle les déchets conventionnels (74 camions) sont transportés n'est pas définie à ce stade : il est considéré de manière enveloppe qu'ils seront transportés à une distance de 50 km du centre de Cadarache (soit une distance d'aller-retour de 100 km),
- × de même, la provenance des approvisionnements (25 camions) n'est pas définie à ce stade, il est considéré de manière enveloppe qu'ils seront transportés à une distance de 50 km du centre de Cadarache (soit une distance d'aller-retour de 100 km).

Le tableau suivant présente la synthèse des rejets maximaux en tonnes d'équivalents CO₂ et liés aux trajets des camions pendant le démantèlement de l'installation PEGASE.

	Nombre de camions – Distance parcourue par camion (km)	Nombre de km parcourus par les camions	Consommation cumulée des camions (40 L/100 km)	Kg de CO _{2e} rejetés (3,17 kg de CO _{2e} /L)	
Camions approvisionnement	25 - 100 km	2 500	1 000	3 170	507 935
Evacuation des déchets solides TFA	252 – 1400	352 800	141 120	447 350	
Approvisionnement et évacuation des déchets conventionnels	74 – 100	7 400	2 960	9 383	
Evacuation des déchets FA/MA - VL	8 – 10	80	32	101	
Evacuation des déchets FA/MA - VC	27 – 1400	37 800	15 120	47 931	

Tableau 170 : Rejets d'équivalent CO₂ liés aux trajets sur route des camions

À ces estimations de rejets, il convient d'ajouter ceux induits par la gestion du linge, la blanchisserie étant située sur le site de Marcoule. Le linge en provenance des différentes INB du centre est d'abord centralisé au bâtiment 106 (environ 35 transports de 3,5 tonnes de linge seront nécessaires, par an, pour le projet de démantèlement de PEGASE) ; le transport du linge jusqu'à Marcoule conduira ensuite à moins d'une dizaine de transports par an (Tableau 171).

Filières de traitement	Nombre de km par transport	Nombre de transport	Nombre de km total	Taux de conso. (l/km)	Nb de litres consommés	Facteur d'émission (kg CO ₂ / l)	Tonnes de CO ₂ rejetés
Transport du linge de PEGASE bât 106	10	980	9 800	0,40	3 920	3,17	12,43
Transport du linge CAD vers MARCOULE	300	196	58 800		23 520		74,56
							86,98

Tableau 171 : Rejets d'équivalent CO₂ liés aux transports nécessaires à la gestion du linge

Les trajets des camions génèrent au maximum **600 tonnes d'équivalent CO₂**.

5.1.2.3 Transport du personnel

Les émissions de CO₂ liées au transport du personnel peuvent être évaluées en utilisant les résultats du bilan global des émissions de gaz à effet de serre du CEA de Cadarache.

Le bilan 2020 des émissions de gaz à effet de serre du CEA Cadarache a conduit le centre à déclarer une émission totale de l'ordre de 17586 tonnes équivalent CO₂, dont 41% sont induites par les déplacements de personnel, soit 7280 tonnes d'équivalent CO₂. Ce bilan a été établi sur la base d'un nombre d'agents égal à 2590.

Remarque : les émissions de CO₂ liées aux déplacements couvrent les allers-retours domicile/travail (en voiture, 2 roues motorisés, transport en commun public (bus), et cars CEA) ainsi que les déplacements professionnels des agents.

Les émissions engendrées par le transport du personnel dans le cadre du démantèlement de l'installation PEGASE peuvent être calculées au prorata du nombre de personnes mobilisées par le projet par rapport au nombre total pour lequel le bilan du centre de Cadarache a été établi. Ainsi, en supposant 16 personnes sur l'installation, et sur la base du bilan des émissions du centre de Cadarache pour l'année 2020, le transport du personnel lié au projet de démantèlement de PEGASE représente 45 tonnes équivalent CO₂ pour cette même année.

En considérant une durée de chantier de 28 ans, les émissions dues au transport du personnel PEGASE s'élèveront au total à **1 260 tonnes équivalent CO₂ pour l'ensemble de chantier de démantèlement**.

5.1.2.4 Synthèse des émissions de CO₂

Le démantèlement de l'installation PEGASE induit une émission d'équivalent CO₂ liée :

- * aux opérations de démantèlement réalisées sur l'installation elle-même,
- * aux trajets sur route des camions de transport de déchets, d'approvisionnement et du linge,
- * aux trajets sur route du personnel mobilisé.

Sur la base d'un chantier de 28 années, le total des émissions maximales de CO₂ attribuables au démantèlement de PEGASE est de l'ordre de 1 948 tonnes d'équivalent CO₂, soit une moyenne de l'ordre de 70 tonnes d'équivalent CO₂ par an.

5.1.3- Mesures de limitation des émissions de gaz à effet de serre

Le CEA fait des efforts pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Entre autres mesures, il met à disposition des personnes présentes sur le Centre de Cadarache, un service de transports en commun pour les déplacements sur le Centre, mais également pour les trajets domicile/travail. De plus, il développe un parc de véhicules de service électriques, et met en place des bornes de rechargement.

Le chargement des camions de déchets a été optimisé pour réduire le nombre de rotations. On veillera à leur bon entretien ainsi qu'à celui des groupes électrogènes afin qu'ils fonctionnent de manière optimale.

5.1.4- Évaluation des incidences résiduelles sur le climat

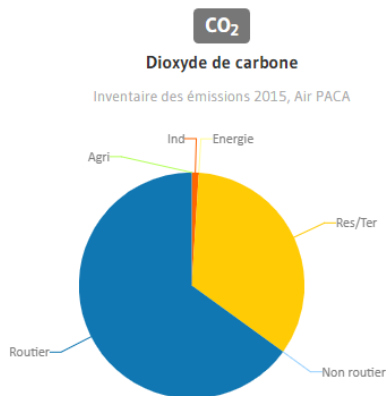
Avec des émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 70 tonnes équivalent CO₂ par an, le démantèlement de l'installation PEGASE ne représente qu'un faible pourcentage (moins de 2 %) du total des émissions du Centre de Cadarache (30 522 tonnes équivalent CO₂ en 2014) qui sont principalement liées, aux sources de combustion (33 %), à la production d'électricité (30 %) et aux déplacements du personnel (30 %).

Les émissions de gaz à effet de serre attribuables au démantèlement de l'installation PEGASE peuvent être mises en regard :

- × avec le seuil de déclaration au titre de l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets (pour les rejets de CO₂ dans l'air, le seuil de déclaration est fixé à 10 000 tonnes par an) ;
- × avec les émissions de la commune de Saint-Paul-lez-Durance (32 000 tonnes équivalent CO₂ selon l'inventaire Air-PACA 2015), principalement induites par les transports et le secteur résidentiel tertiaire ;
- × avec celles du département des Bouches-du-Rhône (31 876 000 tonnes équivalent CO₂ en 2015), principalement induites par les secteurs industrie et traitement des déchets, la production et la distribution d'énergie, puis le transport routier ;
- × et plus largement avec celles de la région PACA, qui a émis 47 147 000 tonnes d'équivalent CO₂ en 2015 (le département des Bouches-du-Rhône est le plus gros contributeur et représente 68 % des émissions totales de la région).

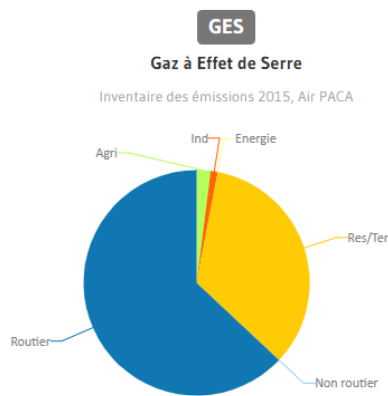
À titre indicatif, les figures suivantes montrent la contribution des différents secteurs d'activité à la production de gaz à effet de serre, dont le dioxyde de carbone CO₂, pour la commune de Saint-Paul-lez-Durance, le département des Bouches-du-Rhône et la région PACA en 2015.

Les émissions de gaz à effet de serre générées par le démantèlement de l'installation PEGASE resteront assez limitées. L'enjeu sur le climat étant qualifié de moyen, l'impact est jugé faible.



31 kt

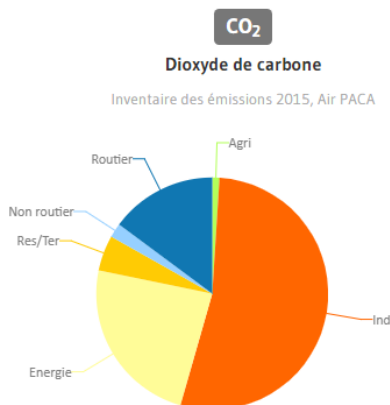
CanvasJS.com



32 kt eq.CO2

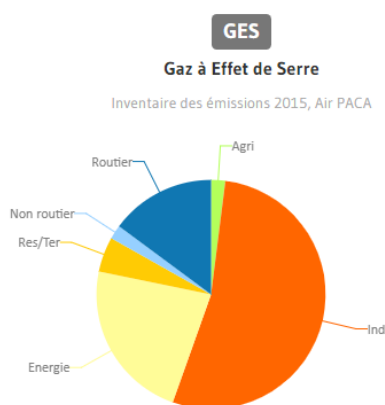
CanvasJS.com

Saint-Paul-lez-Durance



30 689 kt

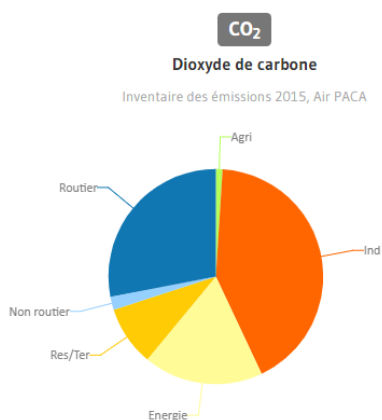
CanvasJS.com



31 876 kt eq.CO2

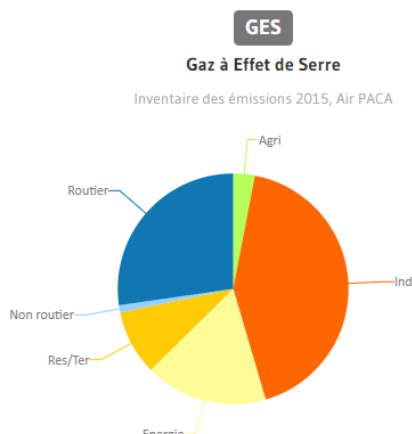
CanvasJS.com

Département des Bouches-du-Rhône



44 816 kt

CanvasJS.com



47 147 kt eq.CO2

CanvasJS.com

Région PACA

Figure 116 : Contribution des principaux secteurs d'activité aux émissions de CO₂ et de gaz à effet de serre (Source : Inventaire AtmoSud 2015 <http://emiprox.atmosud.org/>)

5.1.5- Vulnérabilité au changement climatique

5.1.5.1 Éléments de changement climatique régional

Les principales conséquences du changement climatique régional susceptibles d'affecter l'exploitation de l'installation PEGASE sont issues du site de Météo-France (<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>), ainsi que de cahiers thématiques⁵⁰ du GREC-PACA (Groupe régional d'experts sur le climat en Provence-Alpes-Côte d'Azur), édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR). Rédigés par des chercheurs et des spécialistes du climat, ces cahiers sont destinés aux décideurs et gestionnaires de territoires, avec l'objectif de décrypter les résultats scientifiques et les enjeux du changement climatique pour informer et sensibiliser le public visé à l'échelle locale et régionale (<http://www.grec-paca.fr/cahier-thematique/>).

Les changements climatiques désignent une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son Article 1, définit « changements climatiques » comme étant des « *changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables* ».

Changement climatique global et climat méditerranéen

Si le changement climatique est devenu une question scientifique au cours des années 1970, ses bases théoriques (qui reposent entre autres sur le rôle des gaz à effet de serre dans l'équilibre thermique de la Terre) sont connues depuis longtemps. L'augmentation massive et artificielle de la concentration en gaz à effet de serre due aux activités humaines entraîne une rupture de l'équilibre thermique qui se traduit par un **réchauffement global**. Le climat étant un système complexe dans lequel les interactions sont multiples, sa perturbation provoque des réactions en chaîne qui peuvent avoir des incidences à l'échelle régionale et locale.

La hausse des températures de l'air qui en résulte n'est pas répartie de manière égale sur Terre, du fait de la répartition dissymétrique des continents et des océans, du contraste de températures entre les pôles et l'équateur et des échanges de chaleur associés, de la fonte des calottes glaciaires et de la banquise... Si les impacts du changement climatique seront particulièrement forts dans les régions polaires et subpolaires, les régions chaudes (régions semi-arides, par exemple) seront également touchées, même si l'augmentation des températures y sera moins importante.

Dans ce contexte, les régions nord-méditerranéennes telles que la région PACA sont particulièrement exposées. Situées au sud de la zone tempérée, elles risquent de glisser vers un régime sud-méditerranéen, plus chaud et plus sec, surtout l'été, avec une augmentation des températures conjuguée à une augmentation de la durée des périodes de sécheresse.

⁵⁰ En particulier : « Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur », mai 2016, et « Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique », juin 2015.

Les **principaux impacts** seraient :

- * En hiver, une diminution du nombre de jours de gel. Sur le littoral, les gelées pourraient même disparaître. Dans le même temps, l'épaisseur du manteau neigeux moyen en-dessous de 1 500, voire 1 800 mètres d'altitude, diminuerait de manière significative, tout comme la durée moyenne de l'enneigement au sol.
- * L'été, les épisodes de canicule seraient plus longs. Ce phénomène renforcé par la baisse des pluies estivales rendrait le climat de la région PACA moins confortable pour l'homme et ferait subir à la faune et à la flore des contraintes fortes qui remettraient en cause la répartition spatiale des espèces vivantes.
- * A plus long terme, une élévation de la température de la mer Méditerranée aurait pour principale conséquence une augmentation de l'évaporation potentielle, l'une des conditions atmosphériques favorables à la genèse d'événements pluvieux extrêmes qui représentent un risque majeur dans la région (la fréquence de ces événements durant les cinquante dernières années n'a toutefois pas augmenté de manière sensible, contrairement à la vulnérabilité des territoires).

Le signal du changement climatique est-il déjà observé en région PACA ?

Le climat méditerranéen est réputé pour sa douceur, mais aussi ponctué d'événements météorologiques extrêmes très intenses (pluies torrentielles, sécheresses), qui présentent une grande variabilité d'une année sur l'autre. Climat complexe donc, mais que les climatologues caractérisent de mieux en mieux grâce aux mesures locales (avec un nombre de stations météorologiques qui augmente et des séries de données de plus en plus longues), et aux techniques de spatialisation et de modélisation 2D ou 3D, avec les incertitudes inhérentes.

Le signal du changement climatique doit être appréhendé en tenant compte de cette complexité, à la fois spatiale et temporelle. Pour témoigner de l'évolution récente du climat présent en Provence-Alpes-Côte d'Azur, des indicateurs relatifs à la température de l'air, aux précipitations et au vent sont utilisés par les climatologues.

En ce qui concerne les **températures** : la température moyenne annuelle est globalement en augmentation, même si une forte variabilité d'une année à l'autre est constatée, avec une tendance observée des températures moyennes hivernales de l'ordre de +0,2°C par décennie, et une tendance plus forte pour les températures moyennes estivales d'environ +0,5°C par décennie. Concernant les extrêmes, la température minimale en PACA augmente plus vite que la température maximale, à l'instar du niveau national.

Cette hausse globale a des répercussions :

- * le nombre annuel de jours de gel est globalement en diminution, même s'il varie fortement d'une année à l'autre, et d'un point de mesure à l'autre ;
- * le nombre annuel de journées chaudes (températures maximales supérieures à +25°C) marque une tendance à l'augmentation, tout en étant également très variable d'une année sur l'autre et en fonction de la localisation (journées chaudes plus fréquentes lorsque l'on s'éloigne du relief et de la mer).

Les **précipitations** annuelles présentent une grande variabilité interannuelle. Sur la période 1959-2009, les tendances sont très peu marquées sur l'ouest et le nord de la région. Le Var et les Alpes-Maritimes montrent une faible diminution des cumuls annuels, mais le signal n'est pas toujours statistiquement significatif. Comme pour les températures de l'air, de forts écarts sont constatés selon les saisons. La baisse est plus importante et significative en hiver et en été, et le signal est beaucoup plus faible au printemps et surtout à l'automne, comme le montre la figure ci-dessous représentant l'évolution relative des cumuls de précipitations en hiver et en automne.

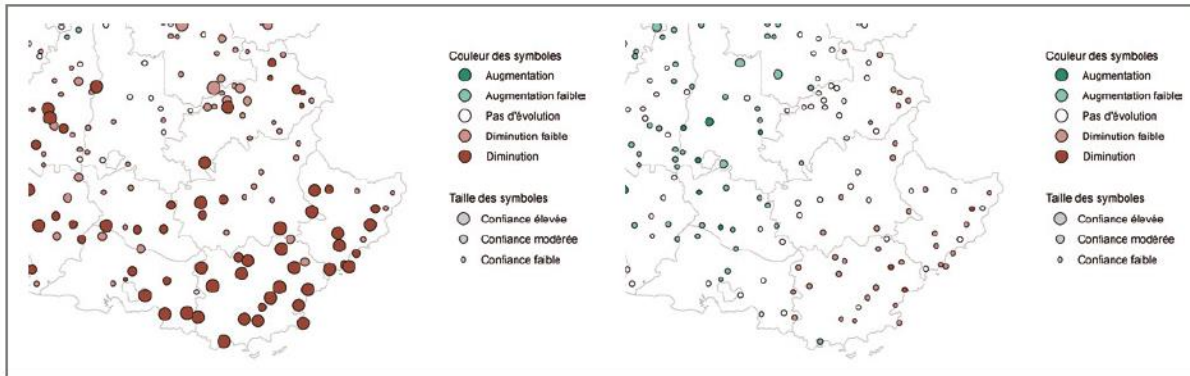


Figure 117 : Évolution relative des cumuls de précipitations en hiver (à gauche) et en automne (à droite) par point de mesure en PACA et départements limitrophes (Source : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>)

En région PACA, l'analyse de la **fréquence des événements pluvieux intenses méditerranéens** (seuils journaliers de 150 ou 190 mm) depuis 1958 ne met pas en évidence de tendance d'évolution du nombre d'épisodes (cf. figure suivante). La principale caractéristique des événements extrêmes reste la forte variabilité interannuelle. Ainsi l'année 2014 détient le record maximal du nombre de jours de pluie intense devant 1976, tandis que 2012 fait partie des années les moins affectées. Ce diagnostic ne renseigne pas sur l'évolution éventuelle de l'intensité moyenne de ces événements, objet de nombreux travaux de recherche.

Les tendances sur le **vent** sont plus difficiles à apprécier, d'une part, parce que ce paramètre n'a pas été homogénéisé et ensuite du fait d'un changement global de la méthode de mesure du vent par Météo France dans les années 1990. Une analyse de la fréquence des vents forts est néanmoins possible. L'analyse du nombre moyen annuel de jours de Mistral (vent de secteur nord-ouest supérieur à 10 mètres/seconde) mesuré par quatre stations de la région ne montre pas d'évolution significative sur la période 1974-2014 (90 jours de vent fort en moyenne par an, plus ou moins 15 %, depuis le déploiement des nouveaux capteurs).

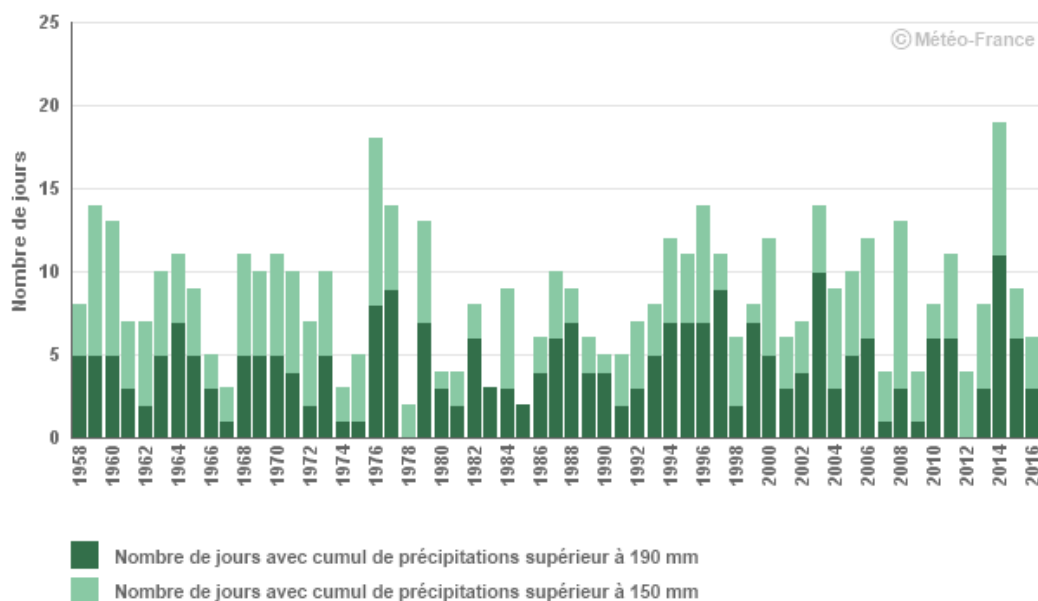
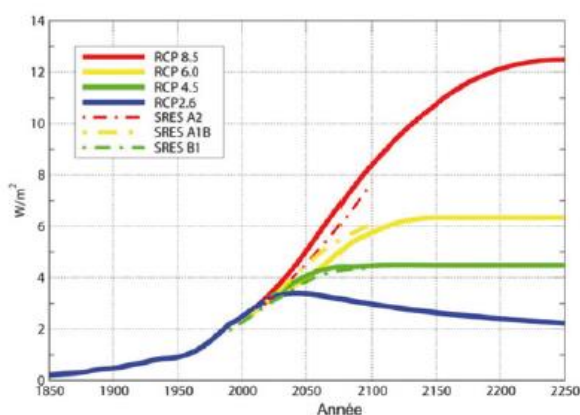


Figure 118 : Nombre d'événements pluvieux intenses méditerranéens depuis 1958 (Source : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climathd>)

Projections climatiques pour la région PACA

Les projections climatiques sont réalisées à l'aide de modèles climatiques régionaux, dans lesquels sont injectés différents scénarios de développement socio-économique (RCP, pour Representative Concentration Pathway) qui prennent en compte notamment les émissions de gaz à effet de serre. En théorie, plus les quantités de GES seront importantes, plus le changement climatique sera prononcé, avec un impact fort sur les températures, tandis que pour les précipitations, les projections sont plus incertaines même si des tendances se dessinent.

Quatre scénarios d'évolution du forçage radiatif⁵¹ relatifs à la concentration des GES dans l'atmosphère existant actuellement : le premier implique une réduction d'émissions de GES par la communauté internationale (scénario optimiste, RCP2.6), le dernier correspond à l'évolution des émissions actuelles jusqu'à la fin du siècle si rien n'est fait pour les réduire (scénario pessimiste, RCP8.5), les deux autres sont des scénarios intermédiaires (RCP4.5 et RCP6.0). Les trajectoires divergent assez fortement à partir de 2050.



Évolution du forçage radiatif (en Watt/m²)

⁵¹ Le forçage radiatif, qu'il ne faut pas confondre avec le bilan énergétique, mesure le déséquilibre radiatif moyen au sommet de l'atmosphère ou à la tropopause induit par un facteur (augmentation d'un gaz à effet de serre, par exemple) avant que le système climatique n'ait le temps de s'y ajuster.

À l'incertitude liée aux scénarios d'émissions de GES s'ajoute celle liée aux modèles climatiques. Pour la prendre en compte, la technique « multi-modèles » est utilisée : elle consiste à comparer les résultats de différents modèles pour mettre en évidence la dispersion des résultats, ce qui conduit à donner des fourchettes de valeurs considérées comme les plus probables. En région PACA, 9 modèles climatiques sont disponibles, avec une résolution spatiale horizontale d'environ 10 km. Les simulations permettent de dessiner des tendances climatiques, résumées ci-après.

Concernant les **températures de l'air**, les simulations climatiques mettent en évidence un **réchauffement marqué**. L'écart entre la température moyenne annuelle et la température moyenne annuelle de référence serait de l'ordre de +1,9°C à +5,5°C à la fin du siècle, selon les zones géographiques et les scénarios socioéconomiques (RCP). Les températures seront plus douces en hiver, ce qui entraînera une diminution du nombre de jours de gel et du manteau neigeux, surtout aux altitudes moyennes. Les étés, quant à eux, déjà très chauds dans notre région, seront encore plus torrides avec une élévation pouvant aller jusqu'à +7°C pour le scénario le plus pessimiste. Cette tendance sera plus marquée sur les températures maximales. La canicule de 2003 deviendrait un événement quasi normal, voire frais, dans la seconde moitié du 21^e siècle.

Le signal concernant l'**évolution des précipitations** est moins net. Quel que soit le scénario considéré, les projections climatiques montrent peu d'évolution des précipitations annuelles d'ici la fin du 21^e siècle, mais cette absence de changement en moyenne annuelle masque cependant des contrastes saisonniers. En effet, on constate une tendance à la baisse des pluies estivales plus marquée que sur les autres saisons pour le scénario pessimiste (RCP8.5), doublée d'un allongement du nombre de jours consécutifs sans précipitation. Conjugué à la hausse importante des températures de l'air, ce phénomène accentuera la sécheresse des sols en été et aura des conséquences notables à long terme sur la gestion de la ressource en eau et la sensibilité des forêts aux incendies, dans une région déjà très vulnérable sur ces aspects.

Impacts potentiels sur les ressources hydriques

L'intensité des impacts sur les ressources hydriques reste difficile à appréhender compte-tenu de l'incertitude importante des projections climatiques relatives aux précipitations.

Des résultats d'exercices prospectifs suggèrent, en ce qui concerne la Durance :

- * une diminution des stocks de neige et une fonte avancée dans l'année qui induisent une réduction des débits au printemps ;
- * une diminution de la ressource en eau en période estivale.

La réponse des aquifères au changement climatique reste encore largement méconnue, avec des dynamiques pouvant être contrastées selon les milieux (présentant plus ou moins d'inertie et de capacité de résilience après plusieurs années sèches) et les mécanismes de recharge (par exemple, si une augmentation des températures conduit à une augmentation de l'évapotranspiration et donc à une diminution des flux d'eau vers l'aquifère, la variabilité temporelle accrue des précipitations peut avoir un impact positif ou négatif sur la recharge en fonction de la capacité de l'aquifère à stocker cette eau).

5.1.5.2 Analyse de la vulnérabilité au changement climatique

Au vu des projections climatiques pour la région PACA présentées précédemment, la vulnérabilité du démantèlement de l'installation PEGASE au changement climatique peut s'évaluer au regard des impacts liés à l'évolution des températures et à celle des précipitations (même si pour ce point, et en particulier pour les événements pluvieux extrêmes, les tendances sont plus difficiles à définir).

Risques incendies : L'augmentation de la température estivale accentuera la sécheresse des sols et par là les risques d'incendies de forêts. Le Centre de Cadarache est situé en zone forestière, mais dispose de moyens de lutte contre les incendies et d'une politique de prévention du risque pour ses installations (entretien du couvert forestier, débroussaillage). L'installation PEGASE, comme les autres installations du Centre, ne présente pas de vulnérabilité particulière.

Ressources en eau : les sécheresses estivales plus marquées pourraient faire diminuer les ressources hydriques et contraindre les autorités administratives à des arbitrages pour l'utilisation de l'eau : alimentation en eau potable, irrigation, production d'énergie. Néanmoins, la consommation en eau pour le démantèlement de l'installation PEGASE reste limitée.

Besoins en climatisation : l'augmentation des températures estivales pourrait rendre plus difficile le travail dans les installations (augmentation des besoins en climatisation, fonctionnement des machines, etc.). Néanmoins, les travaux manuels liés au démantèlement de l'installation PEGASE restent a priori limités.

Événements pluvieux extrêmes : même si cet aspect des effets du changement climatique est plus difficilement démontré, il est envisagé notamment du fait l'augmentation de l'évaporation de la mer Méditerranée. L'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements pluvieux extrêmes, pourrait accentuer les risques d'inondation par ruissellement des eaux de surface et/ou par remontée de nappe phréatique. L'étude de maîtrise des risques, qui constitue la pièce n° 9 du dossier de démantèlement, a notamment envisagé ces scénarios, avec des temps de retour importants (100 ans dans le cas du risque inondation par remontée de nappe). L'installation présente une bonne robustesse par rapport à ces événements.

En conclusion, la vulnérabilité du projet au changement climatique est jugée faible.

5.2- Incidences sur la ressource en eau

Les impacts du projet de démantèlement de l'installation PEGASE sur la ressource en eau (à la fois eaux superficielles et souterraines) sont à considérer des points de vue quantitatif (consommations en eau), et qualitatif (impact des rejets).

5.2.1- Incidences sur l'aspect quantitatif de la ressource en eau

L'estimation de la consommation en eau est d'environ 300 m³/an, ce qui reste marginal par rapport aux limites de prélèvements autorisés du Centre de Cadarache. De plus, la ressource en eau souterraine n'est pas un enjeu véritable ici : il n'y a en effet ni forages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP), ni périmètres de protection de captages, ni captage d'eau industrielle à proximité du projet.

L'impact du démantèlement de l'installation PEGASE sur l'aspect quantitatif de la ressource en eau est qualifié de faible.

5.2.2- Incidences sur l'aspect qualitatif de la ressource en eau

5.2.2.1 Incidences sur les eaux souterraines

Les risques de pollution des eaux souterraines sont associés à d'éventuelles infiltrations de substances polluantes dans le sous-sol relâchées par les différents engins lors des opérations.

L'entretien des engins se fera sur une plateforme hors chantier de démantèlement. Il sera demandé à l'entreprise retenue de présenter un plan de gestion de ses déchets et un plan d'entretien de ses engins. De plus, l'ensemble des mesures pendant le chantier peut faire l'objet d'un PAE (Plan d'Assurance Environnement) à laquelle l'entreprise sera soumise.

Par ailleurs, les entreprises de transport de déchets sont expérimentées et suivent des protocoles permettant de limiter les risques de pollution accidentelle.

Par conséquent, le risque de transfert de pollution, tant physico-chimique que radiologique, vers les eaux souterraines est considéré comme faible.

5.2.2.2 Incidences sur les eaux de surface

Les risques de pollution sont associés à d'éventuels ruissellements de substances, qui seraient récupérés par le réseau des eaux pluviales de l'installation. Ce risque est néanmoins très limité, les travaux envisagés ne nécessitant pas l'utilisation de substances polluantes, ni de grandes quantités d'eau susceptibles de les entraîner jusqu'au Ravin de la Bête, réceptacle des eaux pluviales.

Enfin, les calculs d'impact des rejets d'effluents liquides (après traitement) en Durance présentés précédemment ont montré que les concentrations en éléments chimiques et que les activités ajoutées resteront indécélables.

Par conséquent, l'impact, tant physico-chimique que radiologique, sur les eaux de surface, est considéré comme faible.

6. Incidences sur l'environnement humain

6.1- Incidences sur l'occupation des sols et l'urbanisme

Le projet de démantèlement de l'installation PEGASE ne sortira pas du périmètre actuel de l'installation, l'impact sur l'occupation des sols et l'urbanisme peut être considéré comme négligeable.

6.2- Incidences sur l'agriculture

L'impact sur l'agriculture est formé de deux composantes : l'impact sur la qualité des productions agricoles et l'impact sur la quantité.

L'impact sur la qualité des productions est faible, il est traité dans le paragraphe de l'impact des rejets. Les rejets issus du démantèlement de l'installation PEGASE ont une influence indétectable sur l'environnement en général, et sur les productions agricoles en particulier.

Pour ce qui concerne l'impact sur la quantité, il peut être considéré comme négligeable (pas d'aliénation de terres ou sur tout autre phénomène susceptible d'altérer la production agricole, poussières par exemple).

6.3- Incidences sur l'activité industrielle

Des sociétés locales peuvent être engagées pour certaines opérations de démantèlement de l'installation PEGASE. L'impact sur l'activité industrielle est donc jugé comme positif.

6.4- Incidences sur les paysages, le tourisme, les loisirs, les biens, le patrimoine culturel et l'archéologie

L'installation PEGASE se trouve à l'intérieur du site de Cadarache, relativement éloignée des clôtures (800 m environ) et les activités se déroulent à l'intérieur des bâtiments, aucune perturbation visuelle n'est donc ressentie à l'extérieur du site.

L'impact sur le tourisme, les loisirs, les biens, l'archéologie et le patrimoine culturel est considéré comme négligeable.

6.5- Incidences sur la commodité du voisinage

L'INB 22 étant relativement éloignées des premières habitations, le démantèlement de l'installation PEGASE n'engendrera pas de bruits particuliers, ni de vibrations, d'odeurs, de poussières, ou d'émissions lumineuses susceptibles d'impacter le voisinage.

6.6- Incidences des déchets

6.6.1- Introduction

Est un déchet tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon (Article L. 541-1 du code de l'environnement).

Dans la suite, nous ne traiterons que des déchets solides, les effluents liquides (qui peuvent soit donner lieu à un transfert/rejet, soit devenir un déchet liquide) ayant été traités au chapitre 2.

6.6.2- Caractérisation et gestion des déchets radioactifs produits

6.6.2.1 Généralités

Principe du zonage déchets

Le zonage déchets consiste à découper les installations d'un site nucléaire (bâtiments ou locaux de l'installation nucléaire, mais aussi aires extérieures et voiries) en deux types de zones :

- × les zones à déchets radioactifs, à l'intérieur desquelles les déchets produits sont radioactifs (contaminés ou activés) ou susceptibles de l'être ;
- × les zones à déchets conventionnels, à l'intérieur desquelles les déchets produits ne sont pas susceptibles d'être contaminés ou activés.

Une zone peut être tout local, partie de local ou partie d'installation pour lequel des frontières ou barrières physiques existent et peuvent être considérées comme empêchant tout transfert de contamination entre l'extérieur et l'intérieur de la zone ainsi définie. Les interruptions éventuelles de ces barrières physiques doivent être pourvues de moyens adaptés permettant de prévenir la dissémination de contamination depuis les zones à déchets radioactifs vers les zones à déchets conventionnels.

Il faut noter que le zonage radioprotection est différent du zonage déchets mais que la cohérence entre ces deux zonages est assurée.

Classification des déchets radioactifs

Les déchets radioactifs proviennent des ZC (zones contaminantes⁵², au titre du zonage déchets).

Les différents types de déchets radioactifs présents au sein de l'installation PEGASE sont :

- × les déchets TFA : déchets de Très Faible Activité ;
- × les déchets FMA (ou FMA-VC) : déchets de Faible et Moyenne Activité à Vie Courte ;

⁵² Zone contaminante (ZC) : zone à l'intérieur de laquelle il existe des substances radioactives susceptibles de contaminer des déchets sortants ou dans laquelle il y a ou il y a eu émission de particules pouvant générer une activation des déchets sortants.

- * les déchets MA-VL : déchets de Moyenne Activité à Vie Longue, caractérisés par une période radioactive supérieure à 31 ans.

Les opérations de démantèlement de l'installation PEGASE ne généreront aucun déchet de haute activité (HA).

Conditionnement et filières d'évacuation

Les déchets **TFA** sont évacués vers le Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (CIRES) de l'ANDRA.

Les déchets TFA sont triés au préalable et leurs caractéristiques sont conformes aux spécifications de l'ANDRA en vigueur. Ils sont classés selon les catégories suivantes :

- * déchets inertes ;
- * déchets métalliques ;
- * déchets non métalliques.

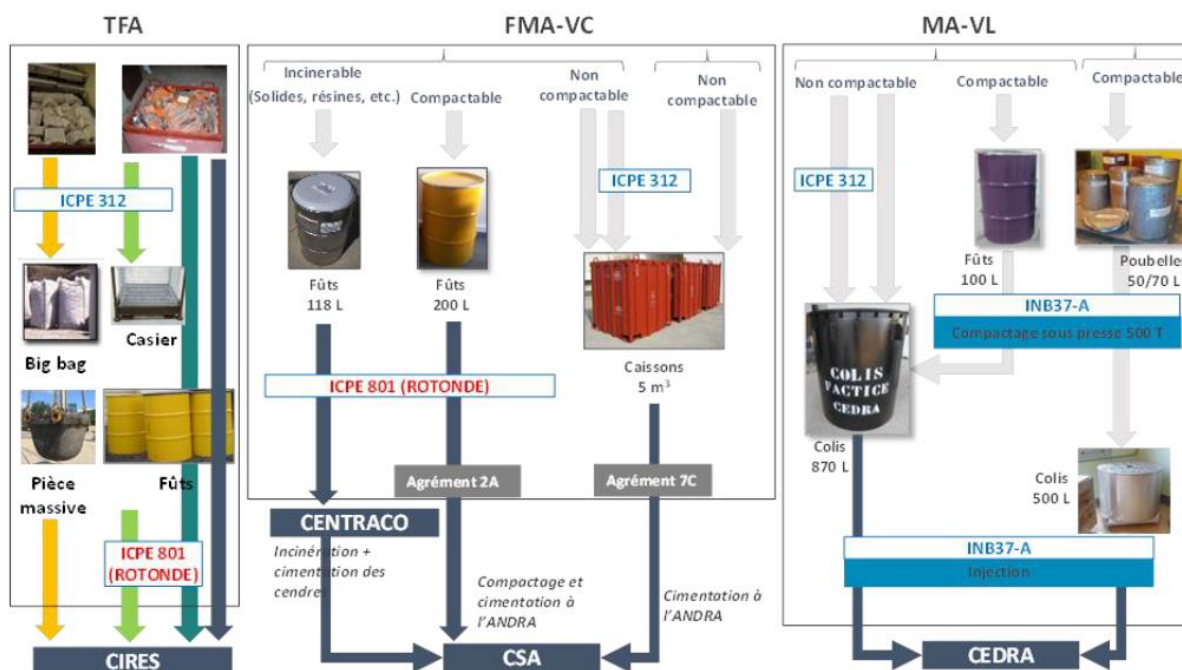
Les déchets sont conditionnés :

- * en sacs « big bags » de 1 m³ pour les terres, gravats, bétons et objets métalliques de petites dimensions ;
- * en palettes pour les briques de plomb ;
- * en conteneurs ISO 20 pieds demi hauteur de type « open tops » pour les bétons et métaux de grand volume ;
- * exceptionnellement en fûts (de 100 ou 200 L) pour les autres déchets qui seront produits en faibles quantités.

Les déchets **FMA-VC** sont évacués vers le Centre de Stockage de l'Aube de l'ANDRA.

Les filières de traitement et d'élimination des déchets solides radioactifs du Centre de Cadarache figurent sur le schéma suivant.

À noter que, en attente de l'ouverture par l'Andra de centres de stockage adaptés, les déchets relevant des filières FA-VL et MA-VL sont entreposés dans l'installation nucléaire de base n° 164, dénommée CEDRA, située dans le Centre de Cadarache. Les colis FA-VL et MA-VL sont préalablement transférés sur l'INB37-A pour compactage et/ou injection, avant envoi sur CEDRA.



CIREs : Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (ANDRA) ; **CSA** : Centre de Stockage de l'Aube ;

CEDRA : Conditionnement et Entreposage de Déchets Radioactifs⁵³.

Figure 119 : Filières de traitement des déchets solides radioactifs à Cadarache

6.6.2.2 Caractérisation des déchets radioactifs

Une estimation prévisionnelle de la quantité des déchets solides radioactifs générés par le démantèlement de l'installation PEGASE (hors opérations d'assainissement GC des locaux, de la cellule blindée et des parois des bassins et de la piscine) en fonction de la catégorisation de ces déchets a été effectuée et est présentée dans le tableau suivant :

⁵³ En attente de l'ouverture par l'ANDRA de centres de stockage adaptés (CIGEO pour les MA-VL), les déchets relevant des filières FA-VL et MA-VL seront entreposés dans l'installation CEDRA, située sur le centre de Cadarache.

Catégorie	Type d'emballage	Nombre de colis	Volume de colis (m ³)	
Conventionnel	Benne 15 m ³	75	1 125	1 187
	Benne 6 m ³	2	12	
	Vrac sur palette (amiante)	17	17	
	GRVS (amiante)	33	33	
TFA	Casier 2,7 m ³ réutilisable	25	68	1 362
	Casier 2,7m ³ parois pleines	30	82	
	Caisson 5 m ³ injectable	10	50	
	Casier 1,35 m ³ parois grillagées	2	2	
	Casier 0,67 m ³ demi hauteur	1	1	
	Casier 1,35 m ³ parois pleines	522	705	
	Casier 1,35 m ³ parois pleines (amiante)	18	26	
	GRVS	427	427	
	Fût 200L / 225L	4	1	
FMA-VC	Caisson 7C	2	10	24
	Caisson 7C (amiante)	1	5	
	Fût 200 L	42	9	
MA-VL	870 litres	24	21	21

Tableau 172 : Bilan des déchets solides radioactifs générés par le démantèlement de l'installation PEGASE, incluant les OPDEM (projet DECAP), hors opérations d'assainissement GC

Nota : Les résines échangeuses d'ions, issues de l'ancienne station d'épuration, associées au programme d'études pour l'identification d'une nouvelle filière d'évacuation de colis de déchets constituent un volume de déchets (hors colisage) de 2,7m³ (hors volume de leur conteneur actuel).

Catégorie	Type d'emballage	Nombre de colis	Volume de colis (m ³)	
Conventionnel	GRV (amiante)	1	1	
TFA	Casier 1,35 m ³ parois pleines	76	103	417
	GRVS	267	267	
	Fût 200L / 225L	32	6	
	Casier 1,35 m ³ parois pleines (amiante)	30	41	
FMA-VC	Caisson 7C (amiante)	10 ⁵⁴	50	50

Tableau 173 : Bilan des déchets solides radioactifs générés par l'assainissement du GC

⁵⁴ La quantité de colis est liée à la limitation de 40kg d'amiante par colis 7C.

6.6.2.3 Gestion des déchets solides

La gestion des déchets de l'installation PEGASE est organisée autour de plusieurs personnes, responsables et garantes de l'évacuation des déchets dans le respect des dispositions techniques de l'INB et de la réglementation en matière de gestion des déchets (chef d'installation, correspondant déchets, chargé de travaux).

Contrôles radiologiques

Les déchets solides conventionnels et radioactifs issus de l'installation PEGASE et destinés à être évacués de l'installation subissent aux moins deux contrôles radiologiques successifs effectués au niveau de l'installation :

- × le contrôle de premier niveau, est effectué le plus en amont possible dans l'installation. Ces contrôles concernent le tri, l'identification et le marquage selon les différentes catégories de déchets (conventionnels, TFA, FMA, MA) ;
- × le contrôle de deuxième niveau est réalisé sous la responsabilité de l'exploitant pour vérifier, avant sortie de l'INB, que les opérations de regroupement de déchets par nature et par catégorie ont été effectuées convenablement.

Entreposage des déchets

Avant leur évacuation, un entreposage temporaire des déchets peut être nécessaire sur l'installation. Les zones d'entreposage existantes des colis de déchets induits dans le cadre du fonctionnement de l'INB sont maintenues pour les besoins des opérations d'assainissement et démantèlement.

Ces zones sont constituées :

- × au niveau 0 :
 - d'une zone d'entreposage de déchets TFA et FMA-VC (local DRG inférieur),
 - d'une zone d'entreposage de déchets DSFI, TFA et FMA-VC (local 6E),
 - de deux zones d'entreposage des REI :
 - local 22^E pour les REI FMA-VC,
 - local 10 pour les REI DSFI,
- × au niveau +1, d'une zone d'entreposage de déchets TFA et FMA-VC (local DRG supérieur),
- × au niveau +2 :
 - d'une zone TFA et FMA-VC dans le hall bassin,
 - de deux zones d'entreposage dans l'ATC :
 - une pour les déchets TFA et FMA-VC,
 - une pour les prélèvements TFA en attente d'analyse,
- × à l'extérieur, d'une zone d'entreposage de déchets TFA et DSFI au nord-ouest de l'installation.

Deux zones d'entreposage supplémentaires viendront compléter ces dernières :

- × une zone d'entreposage de déchets TFA à l'extérieur à l'est de l'installation,
- × une zone d'entreposage des déchets FMA-VC et MA-VL à l'intérieur de l'installation au niveau -1 (galerie des pompes).

Traçabilité, évacuation et bilans périodiques

Les déchets radioactifs sont suivis à l'aide d'un outil informatique dédié. La traçabilité des déchets est assurée du lieu de production jusqu'à leur élimination, au travers d'un dossier qui précise leur nature, leur origine, leur masse, leur mode de conditionnement ainsi que leurs dates de mouvements.

L'évacuation des déchets est réalisée conformément aux règles en vigueur au CEA de Cadarache, dans le respect de la réglementation relative au transport de matières dangereuses.

De plus, les expéditions de déchets s'effectuent dans des conditionnements répondants à la réglementation applicable aux transports de matières dangereuses par route.

Des bilans périodiques pour les déchets conventionnels et radioactifs sont établis par le correspondant déchets et ces informations sont synthétisées dans les bilans annuels de sûreté de l'INB.

6.6.3- Caractérisation et gestion des déchets conventionnels produits

6.6.3.1 Généralités

Les déchets conventionnels sont des déchets issus des zones à déchets conventionnels (ZDC) constituées des ZSRA (zones sans radioactivité ajoutée) et des ZNC (zones non contaminantes).

6.6.3.2 Gestion des déchets conventionnels

La gestion des déchets conventionnels est assurée par le Service Technique et Logistique (STL) et suit les principes définis dans le code de l'environnement. Le principe de base de gestion des déchets conventionnels est le traitement et la revalorisation ou l'élimination dans les filières conventionnelles existantes.

Ainsi, les déchets conventionnels produits sont éliminés par les filières agréées adaptées à leur nature physico-chimique :

- * les déchets dangereux sont éliminés dans les centres de stockage de classe 1 ;
- * les déchets non dangereux sont valorisés ou éliminés dans des centres de stockage de classe 2 ;
- * les déchets inertes sont valorisés ou éliminés dans les centres de stockage de classe 3. Les gravats provenant de la déconstruction des bâtiments conventionnels peuvent être valorisés en remblais.

Les zones d'entreposage des déchets conventionnels utilisées en phase de fonctionnement sont maintenues sur toute la durée du démantèlement.

6.6.3.3 Caractérisation des déchets conventionnels

Une estimation prévisionnelle de la quantité des déchets solides conventionnels générés par le démantèlement de l'installation PEGASE (hors opérations d'assainissement GC des locaux, de la cellule blindée et des parois des bassins et de la piscine) en fonction de la catégorisation de ces déchets a été effectuée et est présentée dans le tableau suivant :

Type d'emballage	Nombre de colis	Volume de colis (m ³)	
Benne 15m ³	75	1 125	1 154
Benne 6m ³	2	12	
GRVS (amiante)	17	17	

Tableau 174 : Bilan des déchets solides conventionnels générés par le démantèlement de l'installation PEGASE (hors opérations d'assainissement GC)

Les déchets conventionnels sont gérés dans le cadre des règles et des procédures en vigueur au CEA, conformément à la réglementation, et font notamment l'objet d'un tri à la source, d'une collecte puis d'une mise en conditionnement en vue d'une évacuation vers un exutoire autorisé.

À titre indicatif, en 2012, les déchets non dangereux ont été orientés à 84,8 % vers des filières de récupération/recyclage, 0,1 % ont été incinérés et 15,1 % dirigés vers un Centre de traitement et d'enfouissement.

Environ 24 % des déchets dangereux ont fait l'objet d'un recyclage/récupération, environ 25 % d'un traitement physico-chimique, environ 47 % ont été incinérés, environ 4 % ont été incinérés avec récupération d'énergie et seulement 0,3 % ont été dirigés vers un Centre d'enfouissement technique.

6.6.4- Compatibilité avec les plans de gestion des déchets

6.6.4.1 Déchets radioactifs : compatibilité avec le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR)

Objectifs du PNGMDR

Les matières et les déchets radioactifs doivent être gérés de façon durable, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

Le cadre de gestion des matières et des déchets radioactifs est prévu par les articles L. 542 1 et suivants du code de l'environnement.

Ces dispositions précisent que la gestion de ces matières et déchets radioactifs doit respecter quatre principes fondamentaux :

- × protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ;
- × réduction de la quantité et de la nocivité des déchets radioactifs ;
- × prévention ou limitation des charges qui seront supportées par les générations futures ;
- × principe producteur-payeur similaire au principe pollueur-payeur qui prévaut en droit de l'environnement.

Le Plan National de Gestion des Matières et Déchets Radioactifs (PNGMDR) est un des outils pour mettre en œuvre ces principes. L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement en définit les objectifs : dresser un bilan régulier de la politique de gestion des substances radioactives, évaluer les besoins nouveaux et déterminer les objectifs à atteindre à l'avenir, notamment en termes d'études et de recherches.

Le PNGMDR organise la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets radioactifs selon les trois orientations suivantes définies par loi :

- * la réduction de la quantité et de la nocivité des déchets, notamment par le traitement des combustibles usés et le traitement et le conditionnement des déchets radioactifs ;
- * l'entreposage comme étape préalable, notamment dans la perspective d'opérations de traitement des combustibles et des déchets, ou de stockage des déchets ;
- * après entreposage, le stockage en couche géologique profonde comme solution pérenne pour les déchets ultimes ne pouvant être stockés en surface ou en faible profondeur pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection.

L'édition 2016-2018 du plan constitue la quatrième édition du PNGMDR, adoptée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (DGEC) du Ministère en charge de l'environnement. Elle poursuit et étend les actions engagées dans les plans précédents. En particulier, elle renforce les prescriptions sur les scénarios prospectifs de volumes de déchets et de matières radioactives en les rendant cohérents avec les objectifs fixés par la loi relative à la transition énergétique, sur le traitement des enjeux liés aux matières radioactives et à leur valorisation, ainsi que sur la nécessité de disposer d'une approche cohérente et optimisée, notamment sur le plan environnemental, par filière de déchets.

Classification et filières de gestion des déchets radioactifs

La figure ci-après récapitule les différentes filières de gestion des déchets radioactifs en fonction de leur classification. Rappelons que les opérations de démantèlement de l'installation PEGASE ne produiront pas de déchets HA.

		Déchets dits à vie très courte contenant des radioéléments de période < 100 jours	Déchets dits à vie courte dont la radioactivité provient principalement des radioéléments de période ≤ 31 ans	Déchets dits à vie longue contenant majoritairement des radioéléments de période > 31 ans
Centaines Bq/g Millions Bq/g Milliards Bq/g	Très faible activité (TFA)	Gestion par décroissance radioactive sur le site de production <i>puis élimination dans les filières de stockage dédiées aux déchets conventionnels</i>	Recyclage ou stockage dédié en surface <i>(installation de stockage du centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage de l'Aube)</i>	
	Faible activité (FA)		Stockage de surface <i>(centre de stockage des déchets de l'Aube)</i>	Stockage à faible profondeur <i>(à l'étude dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)</i>
	Moyenne activité (MA)			
	Haute activité (HA)	Non applicable <i>Les déchets de haute activité à vie très courte n'existent pas</i>	Stockage en couche géologique profonde <i>(en projet dans le cadre de la loi du 28 juin 2006)</i>	

Figure 120 : Principes de classification et filières de gestion des déchets radioactifs (Source : PNGMDR 2016-2018)

À ce jour, deux centres de stockage sont opérationnels :

- × le Centre de stockage de l'Aube (CSA) en surface pour les déchets FMA-VC ;
- × le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (CIRES) en surface pour les déchets TFA.

Il existe également l'usine CENTRACO qui traite certains déchets de très faible, faible et moyenne activités (TFA, FMA) qui peuvent être :

- × des objets métalliques, issus de la maintenance en zone contrôlée et du démantèlement nucléaire ;
- × des déchets combustibles, principalement des gants et combinaisons de travail ;
- × des effluents liquides tels que les solutions de lavage, les huiles, les solvants ; ainsi que des résines et des boues.

Les déchets produits sur le Centre de Cadarache sont expédiés dans les Centres de stockage ou à CENTRACO après conditionnement et contrôle, accompagnés des informations de traçabilité pour chaque colis.

Le CEA a mis en place un mode de gestion spécifique pour chaque catégorie de déchets (TFA, FA, MA et HA) conformément aux filières de gestion des déchets rappelées dans le schéma précédent.

Ainsi, le type de traitement, le conditionnement et le mode de stockage (après un éventuel entreposage temporaire) sont adaptés à la dangerosité des déchets et à leur évolution dans le temps en accord avec le PNGMDR.

Par ailleurs, le CEA participe à l'effort d'amélioration de la gestion des déchets TFA demandés dans le cadre du PNGMDR, visant en particulier à augmenter la densité des colis livrés au Centre de stockage des déchets TFA. Un exemple d'optimisation de la gestion des déchets TFA et FA est l'installation LA ROTONDE (ICPE 801) à Cadarache.

Ainsi, la gestion des déchets mise en place sur le Centre de Cadarache est en conformité avec ce plan. La gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement de l'installation PEGASE l'est aussi.

6.6.4.2 Déchets conventionnels

Évolution de la réglementation

Le Grenelle de l'environnement a encouragé la territorialisation de la gestion des déchets conventionnels. Cela se traduit notamment par la réalisation des différents plans portant aussi bien sur les DND (Déchets Non Dangereux, ex-déchets ménagers et assimilés), les DD (Déchets Dangereux et, notamment, industriels) et les déchets inertes et du BTP.

Les plans de gestion des déchets ont pour objet (tels que redéfinis par le décret du 11 juillet 2011) de coordonner les actions à entreprendre afin :

- × d'établir le bilan des quantités produites et des moyens de traitement associés ;

- * de prévenir et réduire les quantités produites et leur nocivité afin de minimiser leur impact sur la santé et l'environnement ;
- * de procéder à leur élimination et à leur valorisation en respectant une bonne adéquation entre les besoins d'une part et les unités de traitement d'autre part ;
- * d'assurer une bonne information du public, notamment grâce au SPPPI et aux CLI.

La compétence de l'élaboration de ces plans, élaborés antérieurement sous l'égide du préfet et des services de l'État, a été transférée :

- * pour les déchets dangereux (ex-déchets industriels), au Conseil Régional : nouvelle dénomination PPRDD (Plan de Prévention et de Gestion Régional des Déchets Dangereux) ;
- * pour les déchets non dangereux (ex-déchets ménagers et assimilés), aux Conseils Généraux : nouvelle dénomination PPGDDND (Plan de Prévention et de Gestion Départemental des Déchets Non Dangereux) ;
- * pour les déchets inertes et du BTP, aux Conseils Généraux.

La loi portant nouvelle organisation territoriale de la république (dite Loi NOTRE) du 7 août 2015 attribue maintenant la compétence de planification de la prévention et de la gestion des déchets aux Conseils régionaux pour tous les types de déchets.

Plans applicables au site de Cadarache

Dans l'attente de l'approbation du plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD) pour la région PACA, les derniers plans approuvés restent en vigueur :

- * Pour les déchets dangereux : Plan de prévention et de gestion des déchets dangereux de la région PACA (2014).
- * Pour les déchets non dangereux : Plan de prévention et de gestion des déchets non dangereux du département 13 (2014).
- * Pour les déchets du BTP : Plan de prévention et de gestion des déchets du BTP du département 13 (2016).

Les modes de gestion des déchets conventionnels sur le Centre de Cadarache sont compatibles avec les différents plans. En effet, les déchets sont triés à la source et orientés vers des filières d'élimination appropriées. De plus, un bilan annuel précisant l'ensemble des déchets produits, leurs compositions, les enlèvements, les quantités, leurs modalités de transport et d'élimination finale, est réalisé à l'échelle du Centre, donc *a fortiori* pour l'installation PEGASE.

L'ensemble des entreprises de collecte et d'élimination possède les agréments ou les autorisations d'exploitation nécessaires.

En attente de collecte et d'élimination, les déchets sont entreposés dans des conditions telles qu'ils ne génèrent pas de nuisances (stockage sous abri, sur rétention pour les produits liquides).

Les traitements privilégiés sont le recyclage et la valorisation, matière ou énergétique ainsi que la démarche de réduction des déchets à la source.

Des sites de collecte adaptés aux risques spécifiques de chaque type de déchets sont définis et permettent ainsi une réduction des risques ainsi qu'une optimisation de la collecte des déchets dangereux. Par ailleurs, les déchets industriels sont enlevés et traités par des entreprises spécialisées les plus proches possibles du Centre de Cadarache.

6.6.5- Mesures de limitation de la production de déchets

Les principes de gestion des déchets radioactifs et conventionnels de l'installation PEGASE s'inscrivent dans la politique du Centre de Cadarache et du CEA en général. Depuis plusieurs années, le CEA a mis en place des processus d'optimisation de la production et de la gestion de ses déchets radioactifs et conventionnels. Ces principes s'appliquent à l'installation PEGASE de toute rigueur.

6.6.6- Conclusions

La production de déchets du démantèlement de l'installation PEGASE restera très limitée (environ 1 200 m³ en conventionnel 1 300 m³ en radioactif), la perturbation peut donc être qualifiée de faible. L'enjeu associé à cette production peut être considéré comme moyen car la quasi-totalité des déchets radioactifs dispose d'ores et déjà d'une solution de stockage définitif et la totalité des déchets conventionnels dispose d'une filière de traitement/valorisation/recyclage.

On peut donc conclure que l'impact des déchets produits par le projet sera faible.

6.7- Incidences sur les transports, les voies de communication

Les accès à l'installation PEGASE se font depuis l'accès principal du site de Cadarache qui se trouve juste en face de la sortie de l'autoroute A51. Le trafic routier généré par le démantèlement de l'installation PEGASE est lié à la présence d'environ 16 personnes, ainsi qu'à la circulation de camions (livraison des matériels, évacuation des déchets, ...), soit quelques camions par an.

L'effet est faible au regard du nombre de personnes travaillant sur le Site de Cadarache (5 500 personnes). L'enjeu ayant été coté comme faible, l'impact est jugé négligeable.

6.8- Incidences sur l'utilisation de l'énergie et des ressources naturelles (matériaux)

L'utilisation rationnelle de l'énergie est un enjeu fort, à l'échelle de la nation, porté par le Grenelle de l'environnement et à présent par la transition énergétique.

Les sources d'énergie utilisées pour le démantèlement de l'installation sont :

- × l'électricité pour l'éclairage, le conditionnement des locaux et le fonctionnement des différents appareils ;
- × le fioul domestique pour l'alimentation du groupe électrogène de secours en cas de perte du réseau électrique ou lors des essais périodiques de vérification de bon fonctionnement.

Les consommations en énergie ont été présentées dans la partie 1, paragraphe 7.11-. Elles devraient rester à peu près constantes pendant les opérations de démantèlement, les travaux ne consommant que relativement peu d'énergie.

Notons qu'à la fin des opérations, les besoins énergétiques de l'installation seront très fortement diminués. En ce sens, l'impact du démantèlement peut être considéré comme bénéfique.

L'utilisation de matériaux de construction prélevés sur le centre est faible (voire inexistante). L'effet est qualifié de faible, l'enjeu ayant été coté moyen, l'impact est donc jugé faible.

6.9- Incidences socio-économiques

Cadarache représente un pôle d'emploi très important pour la région. En 2013, il a été évalué que plus de 8 000 emplois sont créés et/ou maintenus par la présence du Centre, dont environ 6 500 en PACA.

Le démantèlement de l'installation PEGASE contribue à cette activité. L'impact socio-économique peut être considéré comme positif.

7. Cumul des incidences du projet avec le site de Cadarache et les autres projets existants ou approuvés

Conformément à l'article R. 122-5 du code de l'environnement, doit être réalisée une analyse du cumul des incidences du projet avec d'autres projets existants ou approuvés.

Les projets existants sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont été réalisés.

Les projets approuvés sont ceux qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact, ont fait l'objet d'une décision leur permettant d'être réalisés.

Sont compris, en outre, les projets qui, lors du dépôt du dossier de demande comprenant l'étude d'impact :

- ont fait l'objet d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'article R. 181-14 et d'une consultation du public ;
- ont fait l'objet d'une évaluation environnementale au titre du présent code et pour lesquels un avis de l'autorité environnementale a été rendu public.

Sont exclus les projets ayant fait l'objet d'un arrêté mentionnant un délai et devenu caduc, ceux dont la décision d'autorisation est devenue caduque, dont l'enquête publique n'est plus valable ainsi que ceux qui ont été officiellement abandonnés par le maître d'ouvrage.

Le Tableau 175 liste les projets retenus depuis 2016, existants ou approuvés, pour lesquels des informations environnementales sont disponibles et publiques⁵⁵, et localisés dans un rayon de 5 km autour du projet :

Projet	Avis Autorité Environnementale
Projet de centrale photovoltaïque au lieu-dit « Cuer Vielh », à Rians	2016
Projet de centrale photovoltaïque au lieu-dit « Sainte-Cartier » - URBASOLAR, Saint-Paul-lez-Durance	2016
Projet de centrale photovoltaïque au lieu-dit « Mal Hivert » - URBASOLAR, Saint-Paul-lez-Durance	2016
Projet de poursuite du démantèlement de l'INB n°52 ATUE (Atelier de traitement de l'uranium enrichi) en vue de sa mise à l'arrêt définitif (2016)	2016
Démantèlement de l'INB n°25 RAPSODIE	2017

⁵⁵ Ne sont ainsi pas retenus les projets locaux soumis à une demande d'examen au cas par cas mais n'ayant pas donné lieu à une évaluation environnementale après avis de l'Autorité Environnementale :

- zonages d'assainissement des eaux pluviales et eaux usées – Saint-Paul-lez-Durance de 2017
- zonages d'assainissement des eaux pluviales et eaux usées – Rians de 2017
- création du zonage d'assainissement des eaux usées (ZAEU) de Ginasservis (83) de 2019
- révision allégée n°2 du PLU de Ginasservis (83) de 2019

Projet	Avis Autorité Environnementale
Démantèlement de l'INB n°92 PHEBUS	2021
Démantèlement des INB n°42 EOLE et n°95 MINERVE	2021
Démantèlement de l'INB n°53 MCMF (Magasin Central des matières fissiles)	2021
Amélioration de la bretelle de sortie A51 de l'échangeur n°17 de Cadarache (Escota) (2021)	2021

Tableau 175 : Liste des projets retenus pour l'analyse du cumul des incidences

L'analyse des enjeux écologiques a montré que le projet de démantèlement de PEGASE n'est pas de nature à générer des incidences cumulatives avec d'autres projets (notamment projets de centrales photovoltaïques de Cuir Vielh, Sainte-Cartier et Mal Hivert, projet d'amélioration de la bretelle de sortie A51 de l'échangeur n°17 de Cadarache), y compris avec ceux réalisés au sein du CEA de Cadarache (démantèlement des INB n°52 ATUE, 25 RAPSODIE, 92 PHEBUS, 53 MCMF, 42 EOLE-95 MINERVE), avec les installations du CEA Cadarache en fonctionnement ou à l'occasion de la création d'ITER. En effet, compte tenu de sa nature, il induit des impacts négligeables sur les habitats, la faune et la flore qui ne sont pas susceptibles de remettre en cause leur état de conservation.

Le projet d'amélioration de la bretelle de sortie A51 de l'échangeur n°17 de Cadarache a pour objectif de faciliter l'accès au site de Cadarache et s'implante sur des voiries existantes. Les effets induits par ce projet seront donc globalement positifs sur l'environnement humain et le trafic de véhicule, qui sera fluidifié. Les eaux de ruissellement de ce projet d'amélioration seront dirigées vers le Ravin de la Bête, qui est l'exutoire naturel du secteur. Compte-tenu de la nature du projet de démantèlement de PEGASE, cela induit des impacts cumulés faibles sur la ressource en eau qui ne sont pas susceptibles de lui porter atteinte.

Hormis les projets impliquant des installations du CEA, les autres projets (projets photovoltaïques) ne sont pas émetteurs d'effluents dans le milieu récepteur qui pourraient se cumuler avec ceux du démantèlement de PEGASE.

Il n'est donc pas possible d'estimer le cumul potentiel des incidences des projets autres que ceux du site du CEA de Cadarache pour les domaines autres que ceux évoqués précédemment, les informations détaillées n'ayant pu être trouvées.

L'étude d'impact du site de Cadarache, consultable sur le site Internet du CEA de Cadarache, comporte une étude d'impact écologique à l'échelle du site du CEA de Cadarache, et présente également les déchets conventionnels et radioactifs, produits par toutes les installations du site, ainsi que leur gestion.

Concernant les projets de démantèlement sur Cadarache (projet de démantèlement des INB 42-95 EOLE-MINERVE, projet de démantèlement de l'INB 53 MCMF, projet de démantèlement de l'INB 52 ATUE, projet de démantèlement de l'INB 25 RAPSODIE, projet de démantèlement de l'INB 92 PHEBUS), si l'on cumule la dose maximale annuelle de ces projets de démantèlement, celle du site de Cadarache aux dernières autorisations de rejets en vigueur et celle d'ITER en phase de fonctionnement à celle estimée pour le démantèlement de PEGASE, alors la dose maximale annuelle pour un adulte à Saint-Paul-lez-Durance resterait très inférieure à la limite maximale réglementaire d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine artificielle (hors applications médicales) pour le public, qui est de 1 mSv/an (Art. R1333-11 du code de la santé publique).

Elle est ainsi de l'ordre de 10 $\mu\text{Sv}/\text{an}$, dose efficace considérée comme non-préoccupante (« trivial dose » en anglais) suivant la CIPR 104, c'est à dire la dose en dessous de laquelle aucune action n'est jugée nécessaire au titre de la radioprotection.

L'impact des rejets cumulés sur la santé humaine est donc non préoccupant. Il faut rappeler que cette dose cumulée est enveloppe puisqu'à la dose liée au démantèlement des installations EOLE-MINERVE, MCMF, PHEBUS, ATUE et RAPSODIE s'ajoute la dose liée au fonctionnement de ces mêmes installations, déjà prise en compte dans l'étude d'impact du site.

8. Aperçu des incidences négatives notables du projet résultant de sa vulnérabilité à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs

L'inventaire des risques d'origines interne et externe liés aux opérations de démantèlement est présenté dans la pièce n° 9 du dossier de démantèlement, qui mentionne également les principales dispositions retenues pour limiter la probabilité d'occurrence des accidents (prévention) et leur éventuelles conséquences ainsi que les différents moyens et dispositifs de surveillance.

8.1- Méthode d'analyse des risques

L'analyse des risques liés aux différentes opérations qui sont ou qui seront effectuées dans l'INB 22 - installation PEGASE en vue de son démantèlement est essentiellement basée sur les méthodes déterministes selon une démarche conforme aux principes fondamentaux de la sûreté nucléaire.

L'approche déterministe suppose que l'incident ou l'accident se produit indépendamment de sa probabilité d'occurrence. Toutefois, une démarche de type probabiliste peut être utilisée, comme par exemple, dans le cas du risque de chute d'avion.

Ces méthodes d'analyse sont appliquées pour prendre en compte chaque agression identifiée d'origine interne à l'installation ou d'origine externe. Ainsi, l'analyse a été conduite pour chaque selon plusieurs étapes (identification des risques, analyse des défaillances, situations de cumuls, définition des scénarios de référence et de leurs conséquences potentielles).

8.2- Inventaire des risques

Les différents risques concernant tout ou partie des opérations de démantèlement sont listés ci-dessous :

- * risques nucléaires d'origine interne :
 - criticité,
 - dissémination de matières radioactives,
 - exposition interne et externe aux rayonnements ionisants,
 - radiolyse ;
- * risques non nucléaires d'origine interne :
 - émission de projectiles, de substances dangereuses (dont l'amiante)
 - défaillance d'équipements sous pression,

- collision et chute de charges,
- explosion, incendie, inondation,
- perte :
 - de l'alimentation électrique,
 - de la ventilation,
 - de la surveillance,
 - des alimentations en fluides,
- facteurs Organisationnels et Humains, coactivité ;
- × risques non nucléaires d'origine externe :
 - environnement industriel et voies de communication,
 - séisme,
 - foudre et interférences électromagnétiques, conditions météorologiques ou climatiques extrêmes,
 - inondation, incendie,
 - actes de malveillance d'origine externe.

À noter que les risques liés aux actes de malveillance d'origine interne font l'objet d'études spécifiques relevant d'un cadre classifié et soumises à l'approbation du Haut Fonctionnaire de Défense et de Sécurité (HFDS). Pour des raisons de sécurité, ces études ne sont pas indiquées dans la pièce n° 9 du dossier de démantèlement.

8.3- Analyse des risques et dispositions prévues pour les maîtriser

Pour chaque risque potentiellement présent lors des opérations de fonctionnement et de démantèlement de l'installation PEGASE, une démarche dite « de défense en profondeur » est appliquée afin de prévoir les dispositions à mettre en œuvre afin de les maîtriser.

Il s'agit :

- × des **mesures de prévention** permettant de diminuer la probabilité d'occurrence des accidents,
- × des **moyens et dispositifs de surveillance** et de détection permettant d'identifier au plus tôt les événements indésirables,
- × des **mesures de limitation des conséquences** visant à protéger le personnel, le public et l'environnement et à réduire les effets des accidents si ceux-ci surviennent malgré les lignes de défenses précédentes.

Les mesures et moyens associés à chacun des risques sont détaillées dans la pièce n° 9. De manière générales, ces éléments portent sur :

- × la formation du personnel (connaissance des opérations et de leur risques, réglementations, procédures, planification, ...);

- * la mise en place de barrières de confinement ou de protection (enceinte des bâtiments, sas, cellules, écrans, conditionnement, ...) et la surveillance de leur efficacité ;
- * le respect des règles de radioprotection (conduite à tenir en cas d'accident, port des équipements, balisage des zones, ...), démarche ALARA ;
- * la gestion des produits dangereux (limitation des quantités, entreposage, respect des exigences réglementaires, ...).

8.4- Conséquences potentielles des accidents pour l'environnement

344

Partie 3

Les dispositions retenues en matière de prévention, de surveillance et de limitation des conséquences sont destinées à maîtriser tout risque de défaillance, après une agression de l'installation d'origine interne ou externe.

Néanmoins, dans le cadre de la défense en profondeur, l'existence de défaillances est postulée malgré toutes les mesures de maîtrise des risques, et les conséquences potentielles des accidents sur les personnels, le public et l'environnement sont examinées.

L'accident de référence pris en compte pour le démantèlement de l'installation PEGASE correspond à un séisme provoquant la fissuration du bâtiment et le dénoyage des capacités en eau de l'installation ainsi qu'un incendie survenant dans une zone de constitution de colis de déchets. De manière pénalisante, il est considéré que le séisme a lieu au début de la phase de démantèlement des bâtiments, afin de considérer le terme source le plus important.

Les conséquences radiologiques potentielles de cet accident de référence sont nettement inférieures à 10 mSv (premier niveau d'intervention présenté dans l'arrêté du 20 novembre 2009) pour le groupe de référence résidant à Saint-Paul-Lez-Durance (groupe représentatif des populations les plus exposées).

De plus, l'activité ajoutée dans les productions agricoles d'origine locale est toujours inférieure aux niveaux maximaux de contamination présentés dans le *Journal Officiel* des Communautés Européennes.

Il n'y a donc pas lieu de prévoir la mise en œuvre de mesures de protection des populations ou de restriction de consommation des produits agricoles d'origine locale.

8.5- Moyens de secours et d'alerte de la population

Dès la connaissance d'une anomalie dont les conséquences peuvent concerner le Centre, le Directeur peut déclencher le Plan d'Urgence Interne (PUI) qui prévoit la mise en œuvre des moyens d'intervention propres à l'installation ou au Centre.

Dans le cas où les conséquences envisagées viendraient à dépasser les limites géographiques du Centre de Cadarache, malgré les actions réalisées au niveau de l'installation et du Centre, le Préfet des Bouches-du-Rhône est en mesure de déclencher le Plan Particulier d'Intervention (PPI), destiné à la

protection des populations environnantes. Le Préfet, garant de la protection de ces populations, serait alors en charge de la conduite des actions et de la coordination des moyens de secours et d'intervention prévus par le PPI (pompiers, sécurité civile, police, gendarmerie, aide médicale).

En cas de nécessité, le PPI prévoit également la mobilisation des cellules de crises de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) et de son appui technique, l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), ainsi que des moyens spécialisés du CEA.

Dans ce cadre, le PPI prévoit également l'information immédiate des populations, notamment par des communiqués transmis via les stations de radiophonie locales. Les éventuelles consignes de sécurité applicables à la situation peuvent être ordonnées par le Préfet et diffusées sur ce type de médias. Ces consignes de protection sont notamment rappelées dans la fiche « Les bons réflexes en cas d'alerte » figurant ci-dessous et distribuées de manière préventive dans les mairies concernées.

QUE FAIRE EN CAS D'ALERTE ?



Si un accident susceptible d'entraîner le déclenchement du PPI se produit au CEA-Cadarache, l'alerte sera donnée par un signal unique : une sirène au son modulé (c'est-à-dire montant et descendant).
Ce signal dure 3 fois 1 minute espacées de 5 secondes.

LES BONS RÉFLEXES

- Si vous êtes dehors, entrez dans le bâtiment le plus proche. Fermez portes et fenêtres.
- Si vous êtes en voiture, arrêtez-vous et réfugiez-vous dans le bâtiment le plus proche. Ne tentez pas de vous enfuir, vous seriez plus exposé au danger et vous générez la circulation des véhicules de secours.
- Si vous êtes à l'intérieur, chez vous, à votre travail ou dans un lieu public (école, magasin, poste, etc.), assurez-vous que toutes les issues sont fermées. Sachez surtout que l'important est de se protéger dès les premières secondes de l'alerte ; plus vous perdez de temps et plus vous vous exposez inutilement au danger.
Alors ne tentez pas de rejoindre vos proches ou d'aller chercher vos enfants à l'école, ils y sont à l'abri.
- Ecoutez votre radio habituelle. Des précisions y seront apportées sur la nature du danger et sur l'évolution de la situation.
Pendant l'alerte, les lignes téléphoniques doivent rester à la disposition des secours. Ne téléphonez pas au CEA-Cadarache ni aux services publics. Téléphonez uniquement au numéro spécial qui sera mis à votre disposition et communiqué par radio (numéro indigo).
- La durée de la mise à l'abri ne devrait pas dépasser quelques heures. Soyez patient. Ne quittez pas votre abri sans autorisation des pouvoirs publics (fin d'alerte donnée par message radio et signal continu de 30 secondes de la sirène).

Après l'alerte : suivez tous les conseils qui vous seront communiqués par les pouvoirs publics. (www.pref.gouv.fr).

- Si vous pensez avoir été touché par des produits toxiques ou radioactifs répandus lors de l'accident, douchez-vous, changez de vêtements et présentez-vous à un médecin dès la fin de l'alerte.











30 secondes

Figure 121 : Fiche « les bons réflexes en cas d'alerte »

9. Synthèse des impacts résiduels du projet

Le tableau suivant présente, pour chaque compartiment de l'environnement retenu et décrit en partie 1 « État actuel du site », la synthèse :

- * de la cotation des enjeux (cf. le détail en partie 1) ;
- * des mesures d'évitement et de réduction prévues dans la définition du projet de démantèlement (cf. partie 4) ;
- * des effets résiduels du projet ;
- * des impacts résiduels du projet, dont la cotation est issue de la matrice de croisement des enjeux et des effets présentée en introduction de la partie 1, et rappelée ci-dessous) ;

346

Partie 3

Impact = Enjeu x Effet		Enjeu					
		Très faible	Faible	Moyen	Assez fort	Fort	Très fort
Effet	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable	Négligeable
	Faible	Négligeable	Négligeable	Faible	Faible	Moyen	Assez fort
	Modéré	Négligeable	Faible	Faible	Moyen	Assez fort	Fort
	Fort	Négligeable	Faible	Moyen	Assez fort	Fort	Très fort

Tableau 176 : Grille d'évaluation des niveaux d'impacts retenue pour le démantèlement de l'installation PEGASE

	Thème	Enjeu	Mesures ERC	Effets résiduels	Impacts résiduels
Environnement physique	Climat	Moyen	Essais GEF réduits au minimum nécessaire (fonction de sûreté), optimisation des transports, véhicules électriques	Faible	Faible
	Air	Moyen	Barrières de confinement, filtration des rejets atmosphériques, surveillance des rejets et de l'environnement	Faible	Faible
	Sols, végétaux et produits de consommation	Moyen	Barrières de confinement, filtration des rejets atmosphériques, traitement des effluents liquides, surveillance de l'environnement	Faible	Faible
	Sous-sol et eaux souterraines	Moyen	Mesures d'évitement de pollution, surveillance des eaux souterraines et des exutoires (Ravin de la Bête)	Faible	Faible

	Thème	Enjeu	Mesures ERC	Effets résiduels	Impacts résiduels
	Ressource en eau	Faible	Consommation en eau réduite	Faible	Négligeable
	Eaux superficielles (rejets liquides)	Moyen	Réduction des volumes d'effluents, traitement des effluents liquides, surveillance des milieux aquatiques de la Durance	Faible	Faible
Environnement naturel (écologie)	Habitats naturels	Très faible à faible	Evitement des habitats favorables aux espèces à enjeu	Négligeable à faible	Négligeable
	Flore terrestre	Très faible		Négligeable	Négligeable
	Faune terrestre	Très faible à fort		Négligeable à faible	Négligeable
	Sites Natura 2000	Moyen	Pas d'incidence de l'installation sur les habitats naturels et les espèces d'intérêt communautaire présents dans les sites Natura 2000 situés dans un rayon de 5 km	Négligeable	Négligeable
Environnement humain	Occupation du sol, urbanisme	Faible	Emprise au sol réduite et bâti existant	Négligeable	Négligeable
	Agriculture (emprise)	Fort	Pas d'emprise de l'installation sur des terres agricoles	Négligeable	Négligeable
	Agriculture (pollution)	Moyen	Limitation des rejets, filtration des rejets atmosphériques, traitement des effluents liquides, surveillance de l'environnement	Faible	Faible
	Activités industrielles	Faible	Activité générée par le fonctionnement de l'installation	Faible	Positif
	Tourisme et loisirs	Moyen	Augmentation limitée du trafic routier à proximité	Négligeable	Négligeable
	Patrimoine culturel et historique	Faible	Installation à l'intérieur du Centre de Cadarache, pas de perturbation visuelle à l'extérieur du site	Négligeable	Négligeable
	Archéologie	Faible	Bâti existant et absence de travaux en extérieur	Négligeable	Négligeable
	Paysages	Moyen	Installation à l'intérieur du Centre de Cadarache, pas de perturbation visuelle à l'extérieur du site	Négligeable	Négligeable
	Environnement sonore	Faible	Activité se déroulant majoritairement à l'intérieur des bâtiments	Faible	Négligeable
	Environnement lumineux	Faible	Pas d'éclairage extérieur supplémentaire à	Faible	Négligeable

Thème	Enjeu	Mesures ERC	Effets résiduels	Impacts résiduels
		celui existant (limité au strict nécessaire pour la sécurité de l'installation)		
Odeurs	Faible	Peu d'utilisation de produits chimiques	Faible	Négligeable
Vibrations	Faible	Activité se déroulant majoritairement à l'intérieur des bâtiments	Faible	Négligeable
Poussières	Faible	Circulation des camions de transport sur voies goudronnées	Faible	Négligeable
Déchets	Moyen	Mesures de limitation de la production de déchets	Faible	Faible
Transport / Voies de communication	Faible	Mesures de limitation des volumes de déchets, optimisation des chargements de camions	Faible	Négligeable
Zones de servitude	Faible	-	Négligeable	Négligeable
Utilisation de l'énergie et des ressources naturelles	Moyen	Utilisation limitée	Faible	Faible
Socio-économie	Fort	Activité générée par le fonctionnement de l'installation	Faible	Positif
Santé humaine	Fort	Mesures de réduction des rejets et des rayonnements ionisants	Négligeable	Négligeable

Tableau 177 : Synthèse des enjeux et des effets et impacts résiduels du démantèlement de l'installation PEGASE

Les impacts résiduels du démantèlement de l'installation PEGASE, après mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction des impacts, sont cotés de négligeables à faibles. Il n'est donc pas nécessaire de mettre en place des mesures de compensation.

Le cumul des incidences avec le site de Cadarache et les autres projets connus ne fait pas apparaître d'impact préoccupant.

Partie 4 : Déroulement de la séquence ERC « éviter, réduire, compenser »

1.1- Objectif

Ce chapitre a pour objectif d'apporter les éléments demandés aux items 7, 8 et 9 de l'article R. 122-5 II du code de l'environnement :

« 7° Une description des solutions de substitution raisonnables qui ont été examinées par le maître d'ouvrage, en fonction du projet proposé et de ses caractéristiques spécifiques, et une indication des principales raisons du choix effectué, notamment une comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine ;

Nota : Cet item est sans objet pour une installation existante depuis plus d'une trentaine d'années et en fonctionnement.

8° Les mesures prévues par le maître de l'ouvrage pour :

- × éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine et réduire les effets n'ayant pu être évités ;*
- × compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits. S'il n'est pas possible de compenser ces effets, le maître d'ouvrage justifie cette impossibilité.*

La description de ces mesures doit être accompagnée de l'estimation des dépenses correspondantes, de l'exposé des effets attendus de ces mesures à l'égard des impacts du projet sur les éléments mentionnés au 5° ;

9° Le cas échéant, les modalités de suivi des mesures d'évitement, de réduction et de compensation proposées ».

Pour les INB, l'article R. 122-5 est complété par les dispositions mentionnées à l'article R. 593-17 :

« V. - La description des mesures envisagées pour répondre aux exigences du 6° et du 8° du II de l'article R. 122-5 précise, notamment, en justifiant de l'utilisation des meilleures techniques disponibles :

1° Les performances attendues, notamment, en ce qui concerne la protection des eaux souterraines, l'épuration, l'évacuation, la gestion et la surveillance des eaux résiduelles et des émanations gazeuses ;

2° Les conditions d'apport à l'installation des matières destinées à y être traitées, du transport des produits fabriqués et de l'utilisation rationnelle de l'énergie ;

3° Les mesures retenues par l'exploitant pour contrôler les prélèvements d'eau, les rejets de l'installation et surveiller les effets de l'installation sur l'environnement ;

4° Les solutions retenues pour minimiser les volumes de déchets produits et leur toxicité radiologique, chimique et biologique. »

Ainsi le présent chapitre présente, après une introduction sur le principe de la séquence ERC :

- × une synthèse des différentes sources possibles d'incidences du projet de démantèlement sur l'environnement ou la santé humaine ;
- × les mesures et dispositions mises en place pour éviter et réduire les incidences notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, notamment au regard des Meilleures Techniques Disponibles (MTD) ;
- × les mesures de compensation ;
- × le suivi de ces mesures ;
- × le contrôle et la surveillance de l'environnement ;
- × le coût de ces mesures.

Il convient d'analyser la séquence ERC appliquée au démantèlement de l'installation en gardant à l'esprit que l'objectif est de réduire le plus possible tout impact et nuisance sur l'environnement ou la santé humaine.

1.2- Principe de recherche du projet de moindre impact : la séquence ERC : « éviter, réduire, compenser »

La séquence « éviter, réduire, compenser » (ERC) a pour objectif d'éviter les atteintes à l'environnement, de réduire celles qui n'ont pu être évitées et, si possible, de compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits.

La séquence ERC dépasse la seule prise en compte de la biodiversité, pour englober l'ensemble des thématiques de l'environnement (air, bruit, eau, sol, santé des populations...). Elle s'applique, de manière proportionnée aux enjeux, à tous types de projets dans le cadre des procédures administratives d'autorisation (étude d'impacts, évaluation des incidences Natura 2000, dérogation à la protection des espèces, ...).

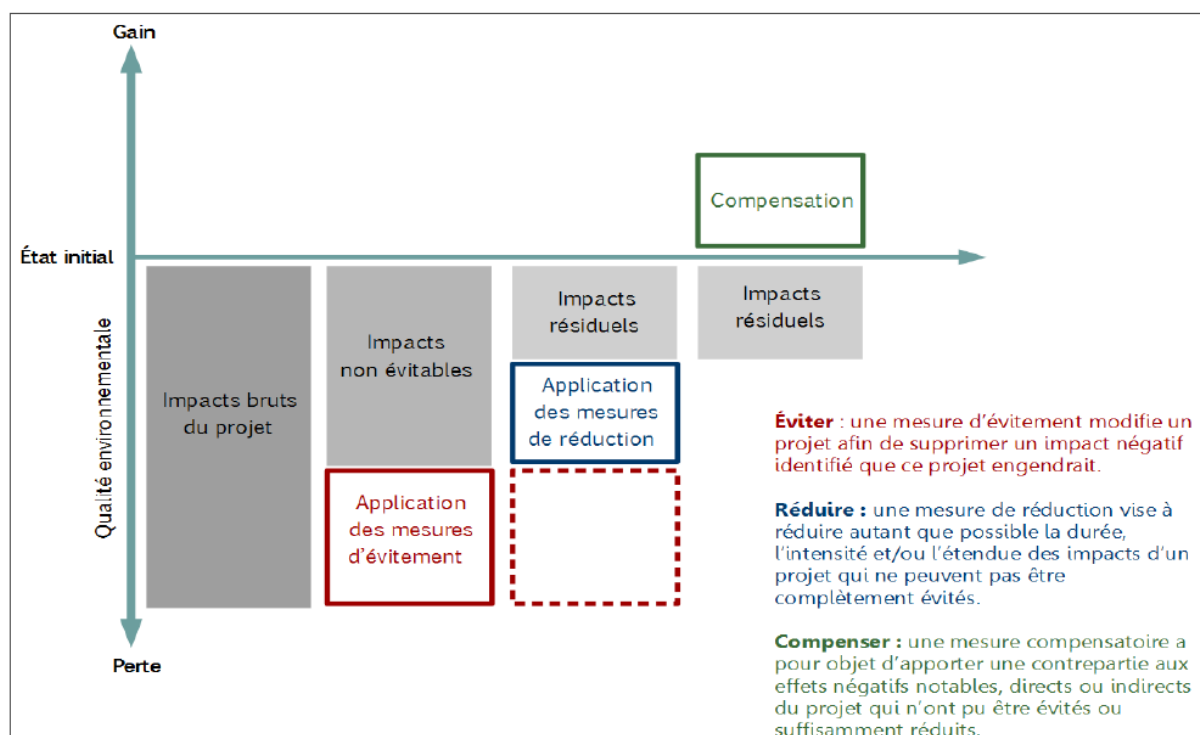


Figure 122 : Bilan écologique de la séquence ERC (Source : La séquence « éviter, réduire et compenser », un dispositif consolidé. Mars 2017. <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>)

La séquence ERC a été introduite en droit français par la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature. Elle a été consolidée et précisée en août 2016 par deux textes :

- × l'ordonnance n° 2016-1058 du 3 août 2016 relative à la modification des règles applicables à l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes,
- × la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.

Ainsi, en application de l'article L. 122-1 du code de l'environnement, l'évaluation environnementale est un processus constitué :

- × de l'élaboration, par le maître d'ouvrage, d'un rapport d'évaluation des incidences sur l'environnement, dénommé « étude d'impact » ;
- × de la réalisation de la consultation du public prévue par la réglementation ;
- × de l'examen, par l'autorité compétente pour autoriser le projet, de l'ensemble des informations présentées dans l'étude d'impact, et de celles reçues dans le cadre de la consultation du public et de la part du maître d'ouvrage.

L'évaluation environnementale permet de décrire et d'apprécier de manière appropriée et proportionnée, en fonction de chaque cas particulier, les incidences notables directes et indirectes d'un projet sur l'ensemble des facteurs environnementaux, et particulièrement :

- × la population et la santé humaine ;
- × la biodiversité, en accordant une attention particulière aux espèces et aux habitats protégés ;

- * les terres, le sol, l'eau, l'air et le climat ;
- * les biens matériels, le patrimoine culturel et le paysage ;
- * l'interaction entre ces différents facteurs.

La séquence ERC est une démarche itérative, dans laquelle la prise en compte de l'environnement est intégrée le plus tôt possible dans la définition même du projet de façon à conduire à ce qu'il soit le moins impactant possible, de par ses choix techniques et/ou stratégiques (cf. schéma ci-après).

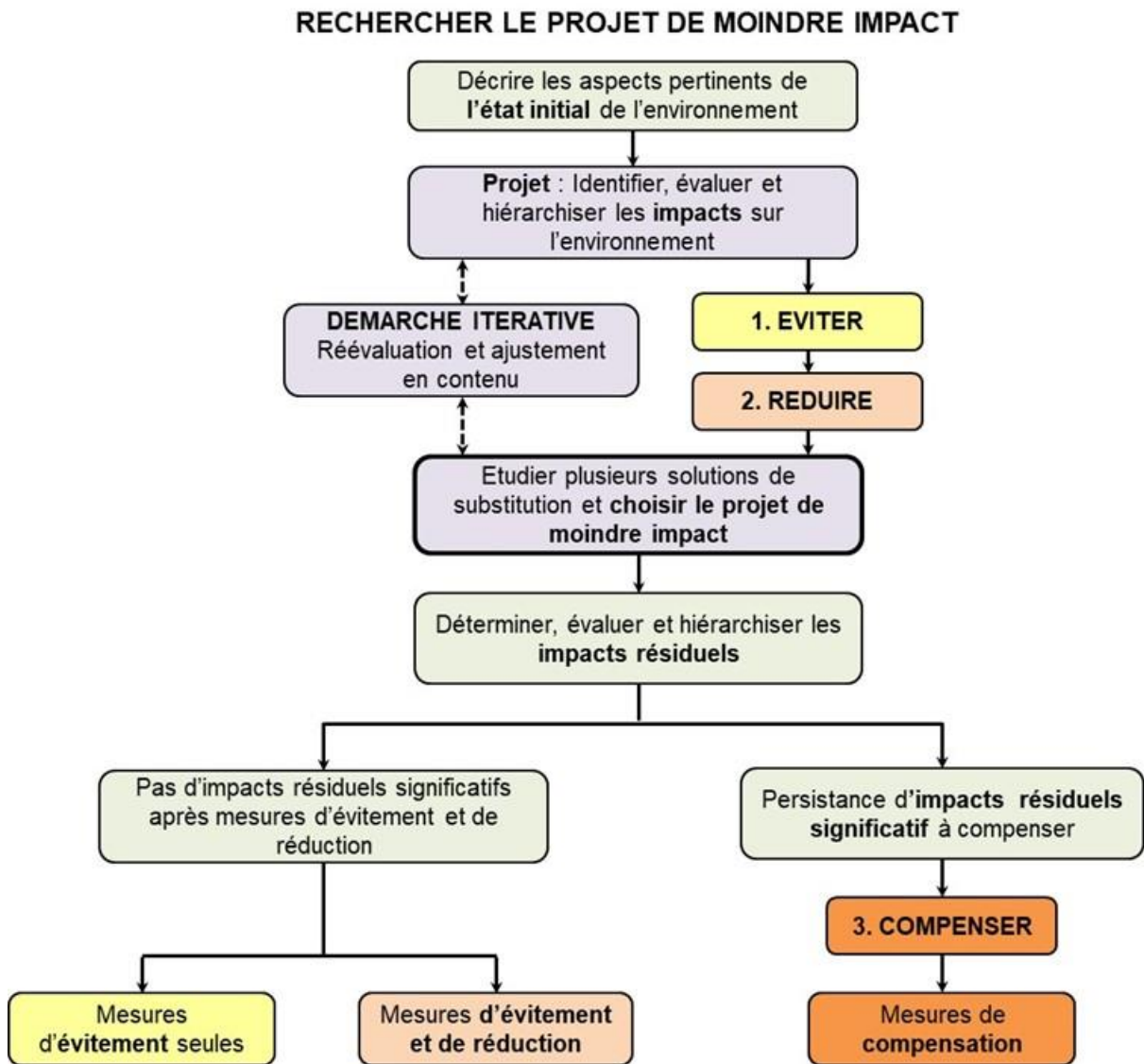


Figure 123 : Principe de recherche du projet de moindre impact selon la séquence ERC (adapté d'après le document du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) du Ministère de l'environnement « Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels », Octobre 2013)

2. Synthèse des sources possibles d'incidences du projet sur l'environnement ou la santé humaine

Ce paragraphe présente, à partir de la description de l'installation PEGASE, une synthèse des sources possibles d'incidences de son exploitation sur l'environnement ou la santé humaine. Dans le tableau de synthèse suivant, en face de chaque source possible d'incidence, sont présentés les différents compartiments de l'environnement (qui ont été décrits en partie 1 avec leurs enjeux) susceptibles d'être impactés. Les incidences possibles sont uniquement énoncées et non pas analysées, l'objectif étant de lister les éléments pour lesquels les mesures ERC sont mises en œuvre. L'analyse des incidences résiduelles du scénario retenu a été présentée en partie 3.

Nature et origine de l'incidence	Incidences potentielles sur l'environnement ou la santé humaine
Rejets des effluents atmosphériques chimiques et radiologiques	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Exposition des milieux naturels, de la flore et de la faune lors du passage du panache et due aux éventuels dépôts ✗ Exposition des populations lors du passage du panache et due aux éventuels dépôts sur les produits de consommation
Rejets des effluents liquides chimiques et radiologiques	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Exposition des milieux naturels, de la flore et de la faune aquatique de la Durance due aux rejets liquides ✗ Exposition des populations due à la consommation de poissons, ou d'eau de boisson issus de la Durance, ou de produits agricoles irrigués avec l'eau de la Durance ✗ Incidences sur les sites Natura 2000 de la Durance
Production de déchets conventionnels et radioactifs	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Natures et volumes de déchets générés ✗ Besoins d'entreposage sur l'installation avant évacuation vers les filières de traitement et de stockage appropriées, générant une emprise sur les aires extérieures, des risques de pollution des sols et des eaux souterraines, etc. ✗ Camions de transports de déchets générant une consommation de carburant, des émissions de gaz d'échappement (dont des gaz à effet de serre), un dérangement de la faune et de la flore (bruits, poussières, risques d'écrasement, etc.)
Emprise sur les aires extérieures de l'installation (travaux)	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Travaux de terrassement générant la destruction/modification des habitats d'espèces protégées, et la destruction d'individus d'espèces protégées ✗ Engins de chantier générant un dérangement de la faune et de la flore (bruits, poussières, risques d'écrasement, etc.)

3. Mesures d'évitement et de réduction

3.1- Principes et mesures de management de l'environnement

3.1.1- Système de management de la qualité, de la sécurité et de l'environnement

Le dispositif de management présenté dans ce paragraphe est appliqué sur le périmètre des unités de la Direction des Énergies (DES) implantées sur Cadarache et s'applique, de ce fait, à l'INB 22. Ce dispositif de management intégré sera adapté pour les opérations d'exploitation.

356

Partie 4

Ce Système de Management de la Qualité et de l'Environnement répond notamment aux exigences de la norme ISO 14001. La DES bénéficie ainsi de la double certification selon les référentiels ISO 9001 : 2015 - ISO 14001 : 2015.

La politique du CEA est déclinée au niveau des centres sous forme d'objectifs QSE mesurables. Ainsi, on peut trouver au sein de la politique QSE du centre de Cadarache, des objectifs tels que :

- ✗ l'amélioration de nos performances dans les domaines de la qualité, la santé, la sécurité, la sûreté, et l'environnement ;
- ✗ la maîtrise des consommations d'eau et la recherche des économies d'énergie ;
- ✗ la maîtrise des rejets liquides et gazeux ;
- ✗ le développement de la culture de sécurité, de sûreté, et de prévention de l'environnement des salariés.

De plus, la politique de management au CEA et à la Direction des ÉnergieS (DES) s'appuie sur une approche dite par « processus » telle que présentée ci-après :



Figure 124 : Le management par processus de la Direction des ÉnergieS (DES) du CEA

Les processus et leurs modalités de mise en œuvre sont décrits par des dossiers de processus. Les produits de la DES sont des résultats de projets (conduits par la ligne projet) qui relèvent de quatre processus de réalisation. Quatre processus contribuent au support de ces projets et un processus de management (conduit par la ligne hiérarchique) permet d'assurer la coordination générale du système et sa surveillance.

3.1.2- Protection de l'environnement

L'approche par processus permet de mieux maîtriser le démantèlement de l'installation PEGASE.

La maîtrise de l'environnement est couverte, dans ce système, par le processus « Soutien en Sécurité, Sûreté, Santé et Environnement » qui est en interaction avec l'ensemble des activités.

Les aspects environnementaux et la conformité réglementaire font l'objet de plans d'actions environnement communs à l'ensemble des installations du centre CEA de Cadarache. Les actions propres aux opérations d'exploitation sont intégrées au sein de ces plans d'actions.

Ainsi le plan d'action de Cadarache pour l'année 2021, appelé Contrat d'Objectifs Sécurité, identifie régulièrement des actions contribuant à la protection des intérêts, notamment sont identifiées des actions réglementaires comme poursuivre le projet de construction d'un nouveau laboratoire de chimie environnementale, ou des actions d'amélioration comme le projet de construction d'une nouvelle unité de production d'eau potable ou encore la mise en place d'un plan d'actions pour limiter les émissions de fluides frigorigènes.

3.1.3- Management de l'environnement

Le personnel intervenant sur le démantèlement de l'installation PEGASE respecte les exigences définies par le CEA à travers le système de management intégré décrit dans le paragraphe précédent.

Les opérations d'exploitation peuvent être confiées à des entreprises extérieures qui doivent dans certains cas être acceptées par la CAEAR (Commission d'Acceptation des Entreprises d'Assainissement Radioactif et de démantèlement d'installation nucléaires) du CEA dans le cadre de la maîtrise des sous-traitants, conformément au chapitre II de l'arrêté INB. Les intervenants doivent être formés et disposer de toutes les habilitations nécessaires vis-à-vis des risques générés par les opérations à réaliser.

La préparation des chantiers et la réalisation des travaux se font en suivant des procédures, modes opératoires et consignes, adaptés aux risques des techniques utilisées, et intègrent la limitation au maximum des impacts environnementaux, s'il y en a. Ces documents sont rédigés par les entreprises extérieures et approuvés par l'exploitant. Ces documents sont conformes au référentiel de sûreté de l'installation, approuvé par l'Autorité de Sûreté Nucléaire.

Sur le terrain, des modalités de surveillance de chantier sont mises en place par le CEA. Elles comprennent l'exécution de visites de contrôles, l'information préalable aux entreprises, ainsi que des consignes à respecter indiquées par le CEA dans les cahiers des charges des prestations demandées. Le CEA diligente également des visites de surveillance, au cours desquelles des écarts spécifiques à l'environnement peuvent être détectés.

3.2- Mesures génériques appliquées à l'installation PEGASE

Dans le cadre d'opérations réalisées au sein d'une installation nucléaire de base (INB), dont l'INB 22, des mesures génériques sont mises en place, en accord avec les bonnes pratiques du milieu du nucléaire et les Meilleures Techniques Disponibles, pour éviter et réduire au maximum les impacts environnementaux liés au fonctionnement normal de l'installation.

Ainsi, en ce qui concerne plus particulièrement la minimisation des rejets :

- * La radioactivité contenue dans les effluents **atmosphériques** peut être piégée (pour les particules en suspension) par l'interposition de systèmes de filtration. Après utilisation, ces filtres sont traités comme des déchets radioactifs solides.
- * Pour les effluents **liquides** concentrés, il est possible d'extraire une grande partie de leur radioactivité. Deux voies principales existent : filtration puis évaporation ou coprécipitation chimique. On utilise l'une ou l'autre de ces deux techniques selon les caractéristiques chimiques et radiologiques des effluents à traiter. La radioactivité, extraite sous forme de liquide concentré (évaporation) ou de précipité (coprécipitation), est incorporée à du mortier de ciment, de bitume ou de résine pour en faire des blocs solides qui pourront être stockés après conditionnement.
- * La radioactivité sous forme **solide** est immobilisée dans des conteneurs de déchets qui sont ensuite stockés dans des centres agréés.

Ces principes sont présentés dans la figure ci-après, et sont détaillés dans les paragraphes suivants.

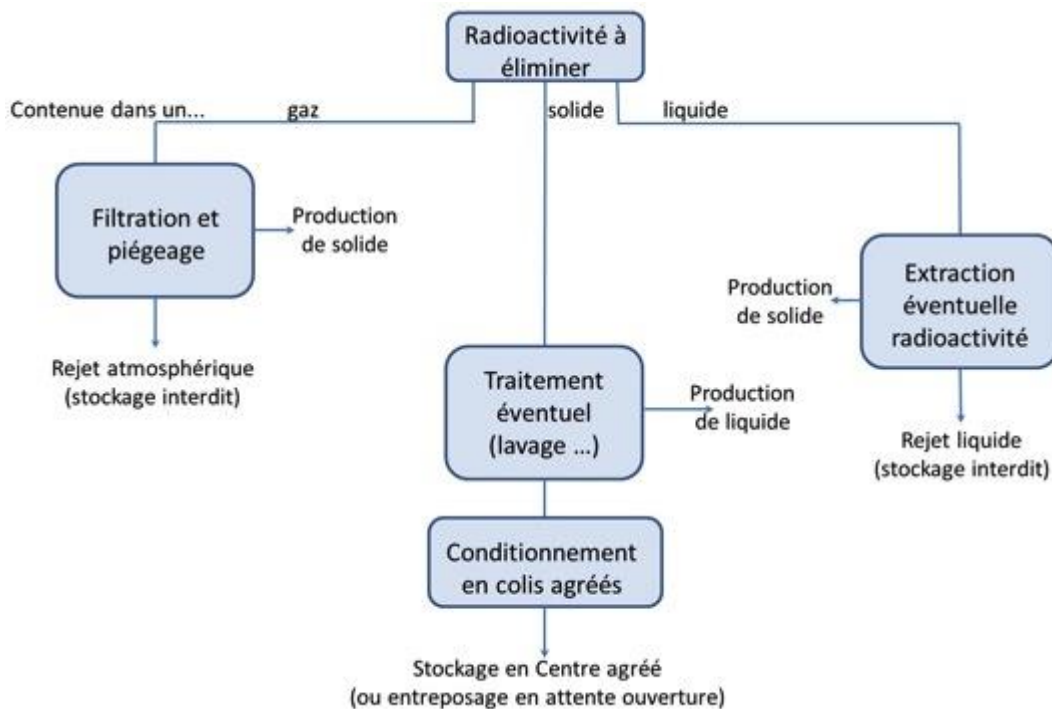


Figure 125 : Techniques utilisées pour minimiser les rejets dans l'environnement

3.2.1- Mesures d'évitement de rejets directs d'effluents atmosphériques radioactifs liés au fonctionnement normal d'une INB en exploitation

3.2.1.1 Diminution du terme source mobilisable

L'objectif des opérations de démantèlement dans une INB étant de déconstruire des procédés et tout ou partie de l'installation, il est prévu, dans un premier temps, la réduction du terme source radiologique, et particulièrement le terme source mobilisable, c'est-à-dire la part de radioactivité susceptible d'être impliquée dans un incident ou un accident : évacuation des combustibles pour un réacteur, évacuation des déchets historiques pour une installation d'entreposage de déchets, évacuation des matières nucléaires dans un laboratoire, ...

La stratégie globale du CEA en matière d'assainissement démantèlement vise en effet à traiter en priorité les installations présentant le terme source mobilisable le plus élevé, de façon à réduire au plus vite le risque de rejet à l'environnement en conditions incidentelles.

Dans le cas de l'installation PEGASE, la quasi-totalité du terme source de l'installation provient des éléments entreposés dans la piscine et les bassins d'entreposage : combustibles sans emploi, étuis de carbure de bore (B_4C), éléments béryllium, éléments activés de structure métallique (issus du démontage du réacteur PEGASE), ses différentes structures de procédés (circuits des eaux, cuves, BaG, ...). L'inventaire prévisionnel et projeté à l'état initial du démantèlement des colis de déchets encore entreposé sur l'installation est d'environ 9 460 TBq (soit environ 10^{16} Bq), qui sera évacué sur une durée totale de 45 ans, mais avec une quasi-totalité du terme source (>99,9 %) évacuée sur les 10^{èmes} années.

Le graphique ci-dessous indique l'estimation de la diminution du terme source radiologique issu du désentreposage et du démantèlement de l'installation PEGASE, selon les différentes étapes du démantèlement décrites en partie 2, § 3 :

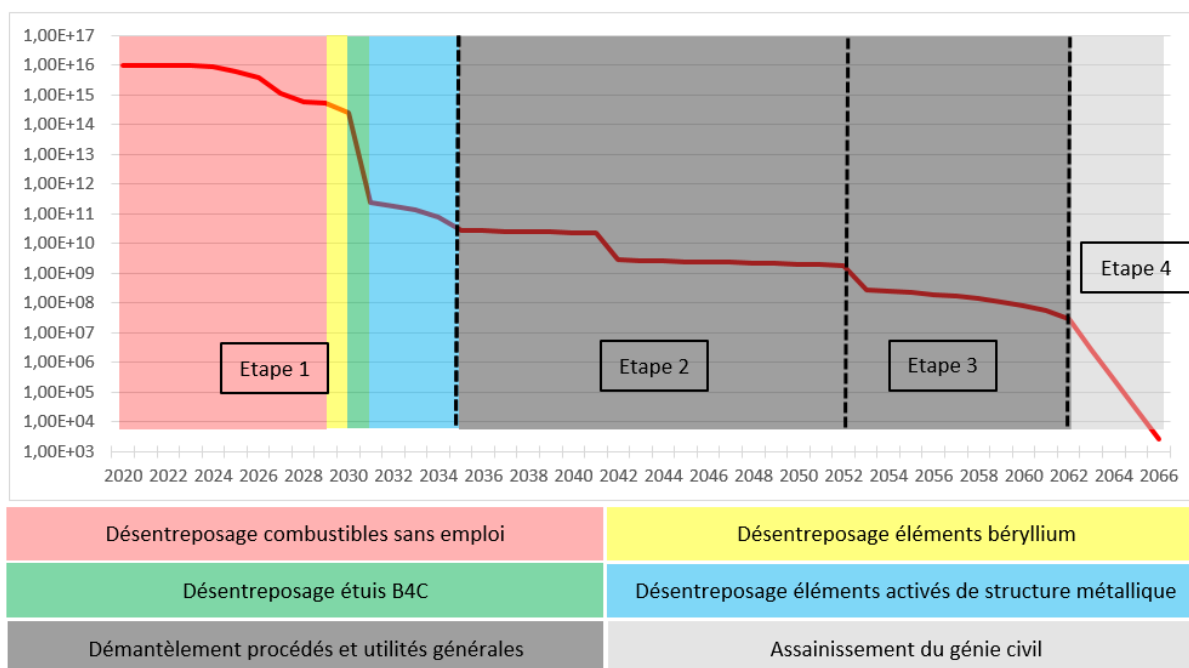


Figure 126 : Évolution du terme source radiologique de l'installation PEGASE⁵⁶

Les principaux contributeurs du terme source sont les combustibles sans emploi (8 850 TBq), suivis par les étuis B₄C (486 TBq) et les éléments béryllium (122 TBq), et enfin les équipements activités de structure métallique ($2,53 \cdot 10^{11}$ Bq). Le terme source lié aux procédés de l'installation PEGASE est estimé à environ 0,027 TBq (soit $2,7 \cdot 10^{10}$ Bq).

Le graphique ci-dessous permet de se représenter la répartition de l'ensemble du terme source radiologique de l'installation PEGASE :

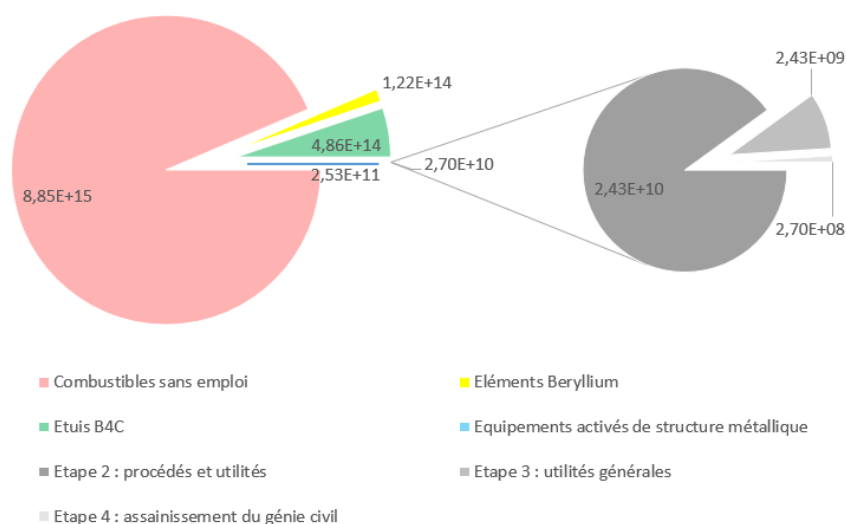


Figure 127 : Répartition du terme source radiologique de l'installation PEGASE

⁵⁶ Pour les calculs, l'hypothèse prise est une évacuation des éléments béryllium avant les éléments B₄C, mais il n'est pas exclu que l'évacuation des éléments B₄C soit faite avant celle des éléments béryllium.

3.2.1.2 Utilisation de barrières de confinement

La protection des travailleurs, du public et de l'environnement contre les conséquences d'un relâchement de produits radioactifs repose d'abord sur l'interposition d'une série de barrières de confinement. Afin de garantir et de pérenniser les caractéristiques de ces barrières qui doivent être aptes à remplir leur fonction dans toutes leurs conditions de fonctionnement prévues, il convient d'adopter :

- × des dispositions de prévention concernant l'adéquation de la barrière aux conditions qui résultent du fonctionnement, notamment le choix des matériaux, la qualité de fabrication et le maintien dans le temps de caractéristiques suffisantes pour faire face aux différents modes de sollicitations (climatiques, thermiques, delta de pression, ...) de cette barrière ;
- × des dispositions de surveillance consistant en la mesure de paramètres et de grandeurs permettant de déclencher les actions nécessaires à la protection des barrières, des dispositions complémentaires avec la mise en œuvre, si nécessaire, d'actions pour éviter ou réduire les conséquences de leur défaillance. Pour faire face à l'éventualité de la dégradation d'une barrière, les installations du CEA disposent d'au moins deux barrières de confinement dont les défaillances internes sont aussi indépendantes que possible. La deuxième ou troisième barrière permet de limiter, en cas de défaillance de la première, la dissémination des matières radioactives dans l'environnement.

Confinement statique

L'objectif du confinement statique est :

- × d'assurer des fonctions de sûreté (confinement) et la protection du personnel, de l'environnement et du public contre toute contamination radioactive ;
- × de maintenir la propreté (radiologique et conventionnelle) des zones confinées.

Le confinement statique est composé généralement :

- × d'une première barrière dont la fonction est de limiter le risque de dissémination de substances radioactives dans les zones de présence du personnel. Cette première barrière assure donc principalement une fonction de « protection du personnel » ;
- × d'une deuxième barrière dont la fonction est de limiter le risque de dissémination de substances radioactives dans l'environnement. Cette deuxième barrière assure donc principalement une fonction de « protection de l'environnement et du public ».

Le confinement statique peut être assuré par :

- × une enceinte de confinement (boîte à gants, cellule blindée ou sas de confinement temporaire installé pour les besoins de l'installation par exemple) ;
- × les parois d'un local ou d'un bâtiment ;
- × un équipement de procédé (cuve d'effluents liquides radioactifs par exemple) ;
- × un emballage de colis de déchets ou un emballage de transfert/transport.

Dans le cadre des opérations de désentreposage de l'installation PEGASE, puis des opérations d'assainissement et de démantèlement, ces confinements se traduisent notamment par :

- * la cellule blindée de PEGASE, pour le désentreposage et le reconditionnement des combustibles sans emploi, des équipements activés de structure métallique ;
- * les emballages de transport (TN/MTR, IR200 ou autre), pour l'évacuation des combustibles sans emploi reconditionnés, des étuis B₄C et des éléments béryllium ;
- * le hall bassin pour toutes les opérations de désentreposage du terme source entreposé sous eau ;
- * les locaux et les sas de confinement des chantiers d'assainissement et de démantèlement des procédés et utilités de l'installation (piscine et bassin, circuits des eaux, cuves, BaG, ventilation nucléaire, ...).

Confinement dynamique

Le confinement dynamique, assuré par la ventilation, permet de pallier les éventuels défauts de continuité du confinement statique et de limiter ainsi le risque de dissémination de substances radioactives :

- * à l'intérieur de l'installation, en maintenant un sens préférentiel d'écoulement de l'air et une hiérarchisation des pressions afin d'assurer un transfert d'air des zones présentant les risques les plus faibles vers les zones présentant les risques les plus élevés ;
- * à l'extérieur de l'installation, en maintenant une dépression par rapport à la pression atmosphérique dans les zones présentant des risques de dissémination, afin d'éviter les rejets incontrôlés à l'environnement.

Vis-à-vis du risque de dissémination, la ventilation assure également les fonctions suivantes :

- * assainissement de l'atmosphère des enceintes et locaux, par renouvellement d'air des volumes considérés, en vue de minimiser le niveau de contamination atmosphérique ;
- * épuration des rejets radioactifs atmosphériques en collectant et dirigeant les gaz et aérosols vers des dispositifs de filtrations adaptés avant rejet à l'environnement.

Dans le cadre des opérations de démantèlement de l'installation PEGASE, les opérations pouvant être liées à un rejet de matières radioactives dans les effluents gazeux en fonctionnement normal sont celles liées principalement aux opérations de reconditionnement et d'évacuation du terme source entreposé sous eau (manutention des étuis/éléments contaminés, découpe des éléments activés pour mise au gabarit, assainissement d'équipements procédés dans la cellule blindée, etc.).

Les dispositions d'évitement des rejets directs d'effluents atmosphériques radioactifs apportées par le confinement dynamique et appliquées dans l'installation PEGASE, sont les suivantes :

- * filtrations de l'air du local récupéré par la ventilation nucléaire via un ou des filtres Haute Efficacité et/ou Très Haute Efficacité, permettant un haut niveau de rétention des matières radioactives particulières : haute efficacité à 99,9 % de rétention par filtre (rétention minimale garantie, ce qui signifie qu'au plus une particule sur 1 000 peut passer), très haute efficacité à 99,98 % de rétention par filtre ;

- × surveillance radiologique en continu de l'émissaire de ventilation nucléaire de l'INB 22 permettant d'identifier tout rejet et de conduire à des arrêts de procédés ou d'opérations selon les seuils atteints. À noter que selon la nature des matières radioactives pouvant être rejetées à l'environnement du fait des opérations de démantèlement, la surveillance radiologique en cheminée est adaptée aux nouveaux besoins (modification des limites de rejets).

Dans certains cas spécifiques, une ventilation/filtration complémentaire au plus près de l'opération de découpe ou de démantèlement des matériaux radioactifs (terme source à désentreposer, procédés à démanteler) peut être ajoutée (pré-filtre) afin de limiter le niveau de contamination atmosphérique du local induit par cette opération, et ainsi collecter au mieux et filtrer au plus tôt les matières radioactives disséminées.

La fonction de ventilation nucléaire générale des différentes installations (d'origine, ou nouvelles liées aux chantiers d'assainissement et démantèlement), ainsi que celle de surveillance à l'émissaire, sont maintenues tout au long des opérations de démantèlement, que ce soit :

- × par le réseau de ventilation nucléaire d'origine, jusqu'au moment de sa dépose pour l'assainissement complet des locaux ;
- × par un réseau de ventilation additionnel, à partir de la dépose du réseau d'origine (notamment à partir des opérations d'assainissement du génie civil des locaux), jusqu'au déclassement du zonage déchets de l'installation PEGASE.

Par ailleurs, la fonction de confinement statique des locaux, à laquelle peut être associée une fonction de confinement dynamique, est aussi maintenue tout au long des opérations de démantèlement. Elle peut se traduire par :

- × le maintien du niveau d'étanchéité d'un local, même après modifications du confinement statique initial du local (rebouchage des traversées après retrait de canalisations ou utilités traversantes (câbles et chemins de câbles)) ;
- × l'extension ou l'augmentation locale du niveau d'étanchéité, par l'ajout de sas de confinement (nouveau ou préexistant) permettant la réalisation d'opération de démantèlement d'équipements ou d'assainissement du local.

Les sas de confinement, et leur confinement dynamique, font l'objet d'un document pour leur conception, leur mise en service et leur exploitation. Celui-ci définit les critères garantissant le confinement dynamique au niveau d'enceinte de confinement temporaire, ainsi que la procédure de mise en service et les consignes d'exploitation. Ces règles permettent de garantir la qualité du confinement dynamique des sas, ainsi que le suivi de leurs évolutions dans le temps au cours des chantiers.

3.2.2- Mesures d'évitement de rejets directs d'effluents liquides radioactifs liés au fonctionnement normal d'une INB en exploitation

Les effluents liquides produits par une installation nucléaire de base de Cadarache sont de 3 natures :

- × sanitaires : ils sont transférés à la station d'épuration des effluents sanitaires (STEP/ES) du Centre, via le réseau d'effluents sanitaires (RES) ;

- * industriels : ils sont transférés à la station d'épuration des effluents industriels (STEP/EI) du Centre, via le réseau d'effluents industriels (REI) ;
- * actifs : ils sont transférés vers l'installation de traitement des effluents radioactifs liquides de Cadarache (AGATE) ou de Marcoule (STEL) selon leur niveau d'activité radiologique et/ou leurs caractéristiques physico-chimiques.

Dans une INB, des réseaux d'effluents distincts existent afin de séparer physiquement les effluents sanitaires, industriels (également dénommés « effluents suspects »), liquides radioactifs (dénommés « effluents actifs »).

La présence de cuves tampons sur ces circuits permettent, avant leur transfert hors de l'installation, la prise d'échantillon afin de vérifier la comptabilité du transfert envisagé avec les spécifications d'acceptation des installations destinataires. Ainsi, des analyses chimiques et radiologiques sont faites sur les effluents avant transfert dans ces réseaux afin de :

- * valider la compatibilité avec les spécifications d'accueil de l'installation destinatrice avant transfert,
- * ou réorienter le transfert vers l'installation adéquate (cas du transfert du contenu d'une cuve d'effluents suspects vers l'installation AGATE plutôt que vers la STEP/EI).

Les installations AGATE et STEL sont des installations destinées à collecter et traiter les effluents liquides radioactifs. Situées respectivement sur les centres de Cadarache et Marcoule, elles réceptionnent les effluents issus des différentes installations, effluents qui doivent respecter les critères d'acceptabilité définies à travers une spécification d'accueil. Sur AGATE, les effluents sont ensuite traités ; les distillats sont dirigés vers la station d'épuration avant d'être rejetés en Durance, et les concentrats sont transférés sur la STEL de Marcoule.

Les effluents réceptionnés sur la STEL de Marcoule, issus directement des installations ou ayant transité par AGATE, subissent un nouveau traitement de co-précipitation, concentration, puis cimentation en fût de 380 litres avant conditionnement par quatre en colis CBFK (Conteneur Béton Fibres Cubique de 5 m³ à parois bétonnées, et dont le contenu est injecté de béton pour être bloqué) vers le centre de stockage des déchets solides de l'Andra (CSA).

Les rejets dans l'environnement des installations AGATE et STEL sont réglementés.

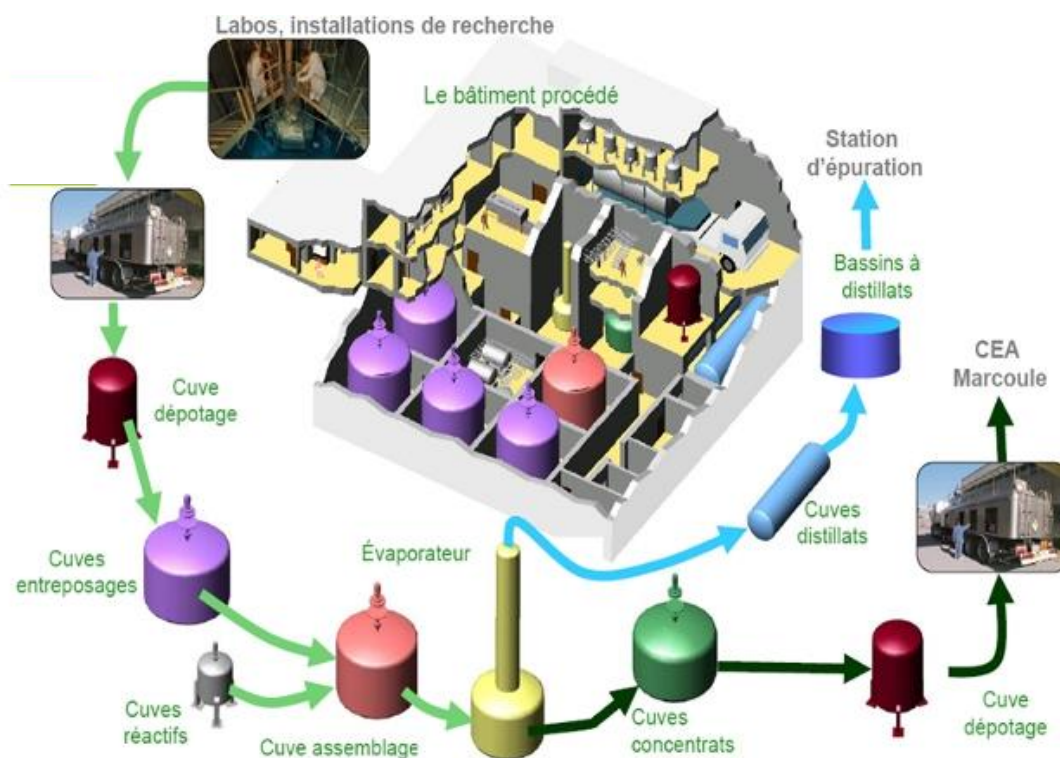


Figure 128 : Principe de traitement des effluents actifs sur AGATE (CEA Cadarache)

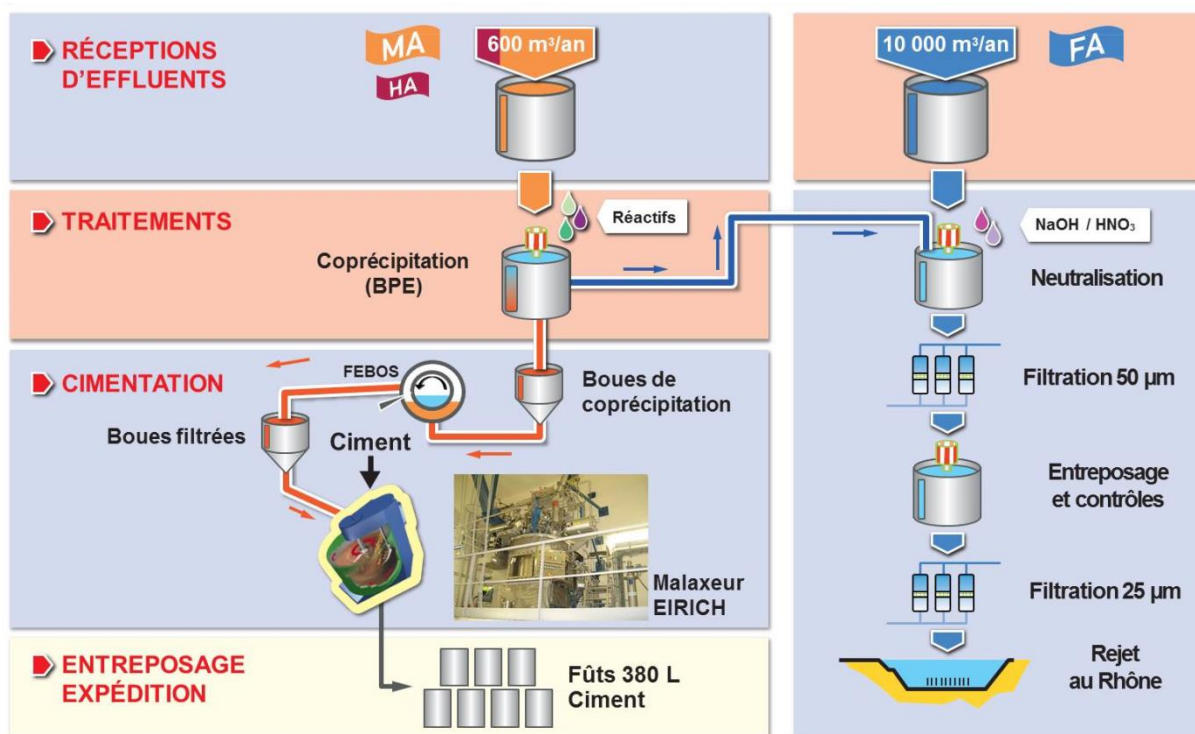


Figure 129 : Principe de traitement des effluents sur la STEL (CEA Marcoule)

À noter que les transferts d'effluents actifs vers les installations de traitement (AGATE à Cadarache ou STEL de Marcoule) s'effectuent en camion-citerne de grande contenance (par exemple, la LR 154 de 16 m³ sur le Centre de Cadarache), ce qui permet de limiter le nombre de rotations de camions pour évacuer ces effluents et d'éviter, ainsi, des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

3.2.3- Mesures d'évitement relatives à la production de déchets radioactifs

L'objectif des opérations de démantèlement dans une INB étant de déconstruire des équipements de procédés et tout ou partie de l'installation, la production de déchets radioactifs est par conséquent une activité induite majeure, abordée selon les thématiques suivantes :

- * Afin de réduire le plus possible la production de déchets, des dispositions sont prises pour optimiser le volume et la catégorisation de déchets radioactifs : bonne définition du zonage déchets et suivi du plan qualité du Centre de Cadarache sur la gestion des déchets : toute unité productrice de déchets a en charge l'établissement du zonage déchets des différents locaux et de la gestion des déchets produits. Elle doit notamment s'assurer de l'existence d'une solution de traitement et de filière d'évacuation, avant de produire tout déchet radioactif, veiller au respect des spécifications de prise en charge pendant la production (notamment aux déclarations portant sur la nature des déchets et l'absence de produits interdits, et à l'activité des radionucléides et aux masses de matières nucléaires contenues dans les déchets). Pour les effluents liquides, l'unité s'assure que toutes les dispositions ont été prises pour réduire autant que possible l'activité et le volume de ces effluents. La gestion des effluents est en accord avec les spécifications du Centre de Cadarache.
- * Afin d'obtenir la meilleure connaissance possible (du point de vue radiologique) des déchets produits, les zones géographiques où sont produits ces déchets sont dissociées des zones géographiques dans lesquelles sont caractérisés ces déchets, et ce afin de diminuer le niveau d'ambiance radiologique et de permettre d'accéder le plus finement possible à l'information du contenu radioactif du déchet produit. L'efficacité de la caractérisation radiologique est ainsi augmentée, et l'optimisation des déchets produits s'en trouve confortée.
- * Afin de limiter le volume de déchets complémentaires générés par ces opérations (dénommés déchets technologiques induits), la mutualisation des aménagements de chantiers est recherchée, pouvant par exemple conduire à réutiliser au sein même de l'installation et sur plusieurs chantiers les équipements nécessaires aux opérations de démantèlement (outils de découpe, sas de confinement temporaire, etc.).
- * Afin d'optimiser le colisage des déchets nucléaires produits, une estimation des déchets radiologiques issus des opérations d'assainissement des procédés, des utilités et du génie civil, est réalisée en amont des opérations. Les paramètres pris en compte sont l'adéquation entre le conditionnement d'origine du colis de déchets et les spécifications d'acceptation de colis de déchets en vigueur dans les installations réceptrices, les incertitudes pouvant exister sur la connaissance complète (radiologique et chimique) des équipements à démanteler, la disponibilité des filières d'évacuation des colis de déchets, ...

3.2.4- Mesures d'évitement de l'extension de l'installation en démantèlement sur l'environnement local

Les opérations de démantèlement d'une INB doivent permettre la déconstruction partielle ou totale de l'installation puis son déclassement. La création de nouvelles infrastructures externes aux bâtiments préexistants, pour les besoins d'assainissement et de déconstruction des bâtiments, est limitée le plus possible, et la réutilisation au mieux des locaux existants dans l'installation est privilégiée : la mutualisation de locaux (existants ou à créer) pour des opérations similaires, mais séparées géographiquement ou temporellement, reste à privilégier.

De plus, la localisation de la zone extérieure d'entreposage de déchets classés TFA a été privilégiée une surface déjà goudronnée, permettant un impact très limité sur l'environnement faune et flore proches.

3.2.5- Mesures d'évitement relatives à la gestion incidentelle

Dans le cadre du processus « Soutien en Sécurité, Sûreté et Environnement », le CEA s'appuie sur ses équipes de la Formation Locale de Sécurité (FLS) et du Service de Protection contre les Rayonnements (SPR).

La Formation Locale de Sécurité (FLS) est un service opérationnel chargé d'assurer la sécurité physique des personnes et des biens sur le centre de Cadarache. Elle exerce ses activités de contrôle, surveillance et intervention dans les domaines de la protection physique, du gardiennage, de l'incendie et du secours aux victimes. Elle participe à la sensibilisation au risque incendie de l'ensemble du personnel et plus particulièrement des Équipes Locales de Premiers Secours.

Le Service de Protection contre les Rayonnements (SPR) est un service opérationnel chargé d'assurer notamment la surveillance de l'environnement, la surveillance du centre de Cadarache pour la radioprotection, dans le respect de la réglementation en vigueur et conformément au référentiel de sûreté de l'installation. Il intervient également lors des incidents à caractère radiologique. Il est alors chargé de coordonner l'action de ses équipes qui :

- × sur le terrain, participent à l'intervention dans la zone sinistrée, à l'évacuation des personnels et au contrôle et à la décontamination du personnel, aux mesures et aux prélèvements dans le site et aux abords de celui-ci ;
- × collectent, interprètent et mettent en forme les résultats de mesures en provenance de l'installation (Tableau de Contrôle des Rayonnements (TCR)), des équipes de terrain, du Tableau de Contrôle de l'environnement (TCE) et du laboratoire d'analyse du SPR.

La finalité de ces actions est de fournir des informations traitées au Directeur de Centre, responsable de la gestion de crise, qui, en retour, transmet ses directives aux équipes, directives à appliquer en complément des actions prévues dans les fiches réflexes.

Les installations réalisent chaque année des exercices de crise, dans un but d'amélioration continue, de façon à réduire les impacts des incidents sur la santé humaine et l'environnement.

Ces exercices périodiques peuvent porter sur les thèmes suivants : incendie, secours à victime, évacuation, radioprotection, environnement, autres.

3.3- Mesures additionnelles pour l'exploitation de l'installation PEGASE

En plus des mesures génériques applicables à toutes les installations nucléaires, des mesures évaluées suivant la séquence ERC pour l'exploitation de l'installation PEGASE ont été retenues pour limiter l'impact des activités.

3.3.1- Mesures de réduction de l'impact des rejets d'effluents atmosphériques radioactifs

3.3.1.1 Opérations de désentreposage du terme source

Les opérations de désentreposage du terme source sont majoritairement des opérations de manutention, et en plus faible quantité des opérations de reconditionnement (avec découpe) des éléments radioactifs entreposés sous eau : les opérations sont faites principalement dans la cellule blindée de l'installation PEGASE, apportant un confinement statique et dynamique pour les opérations disséminantes qui y sont réalisées, et donc une filtration des matières rejetées.

Lors des opérations de reconditionnement, les étuis qui ne sont plus utilisés sont peuvent être décontaminés dans un bac à ultrasons, permettant de récupérer une quantité importante de la contamination surfacique des étuis qui peut être présente, dans un volume d'eau faible (environ 40 L). La concentration finale de radioactivité ainsi recueillie dans ce bac permet de limiter la quantité d'activité radiologique pouvant passer via la ventilation nucléaire et rejetée en tant qu'effluents atmosphériques.

Lors des opérations d'assainissement et de démantèlement des procédés et utilités de l'installation, des opérations de dépose et de découpe pour mise au gabarit des conteneurs de déchets sont réalisées. Dans ce dernier cas, les opérations de mise au gabarit sont privilégiées « à froid » plutôt « qu'à chaud » : cela permet de réduire d'un facteur 4 le taux de dégazage des éléments volatils générés par ces opérations, et d'un facteur 100 le taux de mise en suspension d'éléments aérosols.

Les opérations de découpe « à chaud » ne sont donc utilisées que lorsque se présente une impossibilité technique de découpe à froid, ou que la démarche ALARA pour l'estimation des doses prévisionnelles des opérateurs met en avant un gain dosimétrique significatif par une découpe à chaud permettant de limiter la durée de cette opération.

3.3.1.2 Limitation de l'activité tritium dans les effluents atmosphériques

L'utilisation du caisson étanche CEBe (contenant les éléments béryllium) permet, outre la diminution de l'activité en tritium dans l'eau (cf. § 3.3.2-), la diminution de cette activité tritium se retrouvant par évaporation de l'eau dans la ventilation nucléaire de l'installation PEGASE, et de ce fait au niveau de l'émissaire de l'installation.

3.3.1.3 Opérations d'assainissement et démantèlement

Les opérations d'assainissement du génie civil seront principalement des opérations de décontamination et de déconstruction partielle du génie civil, qui seront donc des opérations dites « à froid » : écroutage, ponçage, casse.

3.3.2- Mesures de réduction de l'impact des transferts d'effluents liquides radioactifs

Les volumes d'effluents liquides générés par la vidange de la piscine et des bassins de l'installation PEGASE seront a priori transférés au réseau d'eau industriel pour traitement, l'activité radiologique des eaux étant compatible (à la date de dépôt du dossier de démantèlement) avec les spécifications de la station de d'épuration du Centre de Cadarache. Cette compatibilité est notamment atteinte grâce au caisson étanche CEBe, qui permet de réduire notablement l'activité radiologique en tritium de l'eau des bassins.

L'évacuation de ce terme source permet d'envisager l'assainissement des parois de la piscine et des bassins principalement sous forme sèche (pas de réutilisation de procédés liquides chimiques), l'utilisation de procédés sous forme liquide n'étant pas une piste privilégiée compte tenu du bon état général du cuvelage des parois.

Par ailleurs, en préalable à la vidange de la piscine et des bassins, l'utilisation d'un robot aspirateur pourra être effectuée, permettant de limiter d'autant plus la quantité de matières radioactives en suspension présentes dans l'eau. Ces matières ainsi concentrées par le robot seraient alors conditionnées après séchage en tant que déchets solides.

3.3.3- Mesures de réduction de l'emprise sur l'environnement local de l'installation

Dans le cas du démantèlement de l'installation PEGASE, aucune construction de nouveaux bâtiments n'est prévue. Seule une structure extérieure sera aménagée, limitée à l'aéroréfrigérant du bâtiment 226 qui a été maintenu après la fin du démontage du réacteur PEGASE. Pour cela, un confinement appelé « pluie et vent » sera installé autour de cet équipement pour pouvoir démanteler tout ou partie de l'aéroréfrigérant.

Associée à cette opération du démantèlement, une zone d'entreposage de déchets classés TFA sera réalisée à l'Est de l'installation : ces déchets seront issus principalement du démantèlement de l'aéroréfrigérant, ainsi que du démantèlement des galeries techniques. L'optimisation de cette nouvelle surface d'entreposage a été réalisée en prenant en compte :

- × les flux de production de colis de déchets issus du démantèlement de l'aéroréfrigérant et des galeries techniques, et le flux d'évacuation de ces colis vers leur exutoire,
- × une localisation préférentielle de la zone sur une surface déjà goudronnée (cf. § 3.2.4-).

Dans le cadre de l'optimisation de l'utilisation des locaux de l'installation PEGASE, les locaux suivants sont utilisés dans le cadre des opérations de démantèlement :

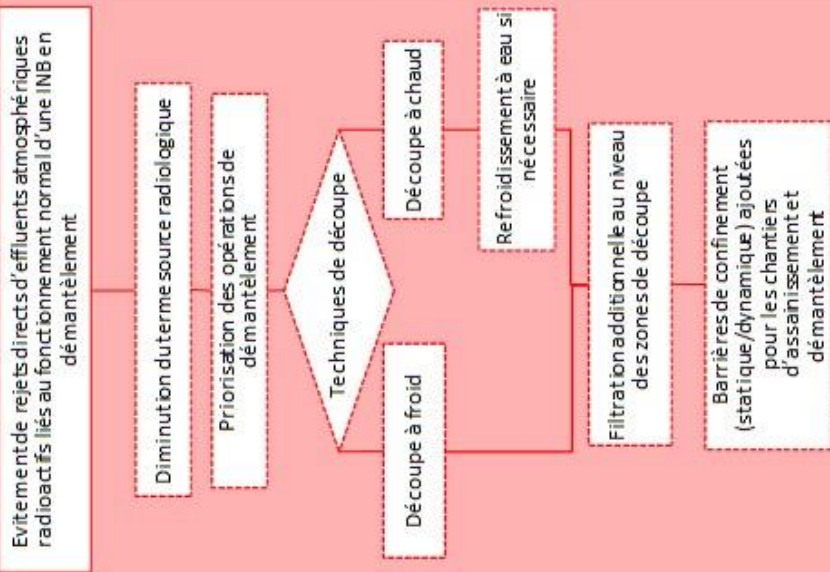
- × Locaux vestiaires : les vestiaires actuels sont conservés, il n'est pas retenu de construire de vestiaires supplémentaires à l'extérieur des locaux déjà existants.

- * Local des cuves : le local comprenant les cuves actives et suspectes est maintenu, ainsi que les cuves. Celles-ci sont utilisées comme point de collecte des effluents liquides (respectivement les effluents radioactifs et les effluents industriels à contrôler avant transfert au REI), issus notamment de la vidange de la piscine et des bassins. Ces cuves sont gardées en place jusqu'à la fin de l'utilisation des réseaux d'effluents liquides par les opérations d'assainissement et démantèlement.

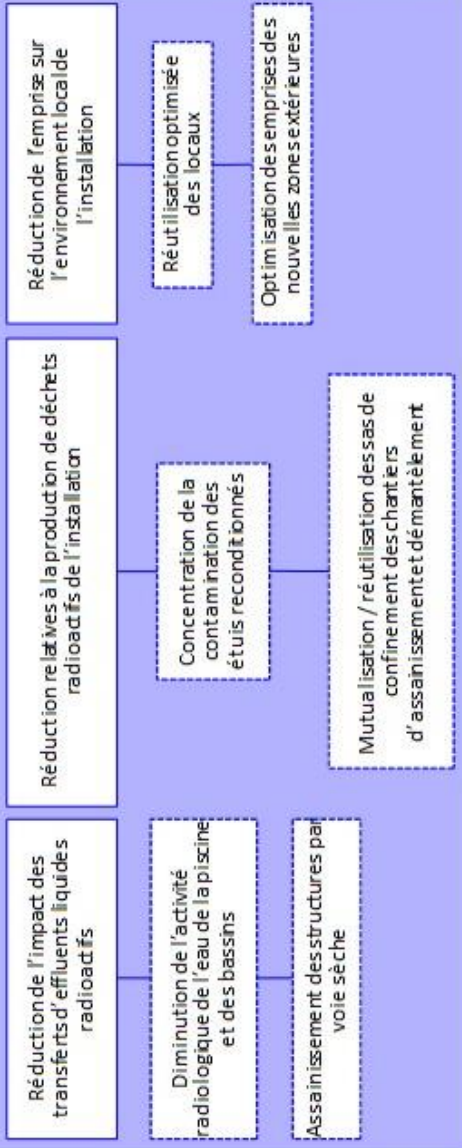
3.4- Synthèse des mesures d'évitement et de réduction

Le logigramme suivant synthétise les mesures génériques et additionnelles prises dans le cadre des opérations de désentreposage du terme source et de démantèlement de l'installation PEGASE :

Mesures d'évitement



Mesures de réduction



4. Mesures de compensation

L'article R. 122 5 du code de l'environnement indique que le maître d'ouvrage doit décrire, dans l'étude d'impact de son projet, les mesures prévues pour compenser, lorsque cela est possible, les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits.

Dans notre méthodologie, l'évaluation des impacts résiduels des opérations liées au démantèlement de l'installation PEGASE est réalisée à l'aide de l'échelle de cotation présentée en introduction de l'étude d'impact et rappelée ci-dessous.

Négligeable	Très faible	Faible	Modéré	Fort	Très fort
-------------	-------------	--------	--------	------	-----------

Figure 130 : Échelle de cotation des niveaux d'impacts

Ainsi, des mesures de compensation sont mises en place lorsque des impacts résiduels significatifs (c'est-à-dire des impacts modérés à très forts) sont encore présents malgré la mise en place de mesures d'évitement et de réduction.

Dans le cadre du démantèlement de l'installation PEGASE, l'analyse des impacts résiduels sur l'environnement et la santé humaine des activités réalisées en exploitation, avec la mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction décrites ci-avant, montre l'absence d'impacts résiduels significatifs. L'impact résiduel ne justifie donc pas de mettre en place des mesures de compensation.

5. Estimation du coût des dépenses correspondantes

Les mesures d'évitement et de réduction présentées dans les paragraphes précédents :

- × ont été prises en compte lors de la conception du projet de démantèlement et leur coût inclus dans le coût d'investissement ;
- × sont ou seront intégrées dans le démantèlement de l'installation et leur coût inclus dans les coûts d'exploitation.

Les impacts résiduels de l'exploitation de l'installation n'étant pas significatifs, aucune mesure de compensation n'est nécessaire, et donc aucun coût supplémentaire.

6. Contrôle et surveillance du bon fonctionnement de l'installation

Les fonctions suivantes sont surveillées :

- * la ventilation ;
- * la gestion de l'énergie ;
- * la distribution électrique ;
- * l'éclairage ;
- * la gestion des fluides ;
- * l'obstruction des filtres.

La détection d'une défaillance conduit au déclenchement d'une alarme et à l'arrêt des opérations réalisées dans l'installation. La détection incendie et la gestion du report du système de surveillance radiologique sont reportés vers la surveillance centralisée du site de Cadarache, ce qui permet une surveillance 24h/24.

6.1- Surveillance radiologique

Le système assure :

- * la surveillance radiologique du personnel ;
- * la surveillance de la contamination atmosphérique dans les locaux ;
- * la surveillance des rejets à la cheminée ;
- * le report des alarmes à l'entrée de l'INB et au poste centralisé de Cadarache.

6.1.1- Surveillance du personnel

La mesure et la surveillance de la dose intégrée par le personnel sont réalisées, en plus des dosimètres passifs, par le système de dosimétrie opérationnelle. Les contrôles du personnel avant sortie de la zone contrôlée sont réalisés par des contrôleurs mains - pieds.

Le contrôle de la contamination corporelle et vestimentaire à proximité des zones de travail est assuré par des appareils portables et autonomes.

6.1.2- Surveillance de la contamination atmosphérique dans les locaux

Des balises de surveillance de la contamination atmosphérique (aérosols) effectuent des prélèvements afin d'obtenir une surveillance d'ensemble des locaux présentant un risque potentiel de dissémination.

Des balises mobiles de surveillance de la contamination atmosphérique (aérosols) peuvent être raccordées dans des locaux à risques ponctuels ou pour réaliser des interventions particulières.

6.2- Surveillance des rejets atmosphériques

6.2.1- Rejets atmosphériques chimiques

Les rejets des groupes électrogènes de secours sont comptabilisés sur la base de leurs caractéristiques et de la consommation de gazole.

L'installation ne dispose ni utilise de produits chimiques susceptibles d'avoir une toxicité.

6.2.2- Surveillance des rejets atmosphériques radioactifs

La décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de transfert et de rejet dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (Bouches-du-Rhône), précise, au point [CEACAD-24], la surveillance des rejets atmosphériques radioactifs.

Pour l'installation PEGASE (émissaire E27), celle-ci comprend :

- * une mesure enregistrée en continu du débit des effluents ;
- * une mesure enregistrée en continu de l'activité alpha global, en gaz rare et en beta global. Ces enregistrements fournissent des indications représentatives des activités volumiques quel que soit le débit d'activité. Ces dispositifs de mesure sont munis d'alarmes visuelles et sonores reportées au tableau de contrôle radiologique, en cas de dépassement de seuils ;
- * des mesures d'activités en différé d'activité alpha global, bêta global, tritium et carbone 14 sur des prélèvements ponctuels ou continus ;
- * une spectrométrie alpha et une spectrométrie bêta-gamma sur des prélèvements ponctuels ou en continu.

Le système permet également de comptabiliser les rejets sur une période donnée et ainsi de vérifier le respect des limites de rejet.

Le **contrôle continu** permet de disposer en temps réel de la mesure, mais il est moins précis que la surveillance en différé qui intègre sur la semaine ou le mois l'activité rejetée. Le contrôle en temps réel permet notamment de déclencher les alarmes en cas de dépassement de seuils. La comptabilisation des rejets et le contrôle de non dépassement des limites annuelles sont réalisés à l'aide de la surveillance en différé.

Surveillance des rejets d'aérosols en différé : Les émissaires véhiculant potentiellement des rejets d'aérosols radioactifs sont équipés d'un Dispositif de Prélèvement des Rejets Cheminées (DPRC). Ce dispositif effectue, en aval des derniers équipements d'épuration de l'installation concernée et avant rejet à l'atmosphère, un prélèvement continu des aérosols par filtration. Les filtres sont remplacés toutes les semaines ou tous les mois pour faire l'objet d'une mesure afin de déterminer la radioactivité alpha et bêta.

Contrôle des rejets gazeux : Les émissaires susceptibles de rejeter des gaz radioactifs sont équipés d'un ensemble de mesure des gaz de type « chambre d'ionisation » étalonnée avec un gaz de référence figurant dans les rejets potentiels de l'installation. Ces ensembles de mesure associés à des unités de traitement permettent de déterminer les activités rejetées par l'installation pendant une période donnée.

Contrôle des rejets de tritium : Les émissaires susceptibles de rejeter du tritium sous forme de vapeur d'eau tritiée ou de gaz tritié sont équipés, en aval des derniers équipements d'épuration de l'installation concernée et avant rejet à l'atmosphère, d'un dispositif de barboteurs. Ce dispositif permet de déterminer, sur une base hebdomadaire, les activités en tritium éventuellement rejetées par l'installation.

6.3- Surveillance des effluents liquides

6.3.1- Eaux pluviales et eaux d'exhaure des systèmes de drainage

Les eaux pluviales et les eaux d'exhaure du système de drainage de l'installation PEGASE sont canalisées vers des talwegs naturels du centre. Ils débouchent dans le Ravin de la Bête, qui se jette dans la Durance en sortie du centre.

6.3.2- Effluents sanitaires

L'ensemble des effluents sanitaires des bâtiments (lavabos, douches, WC, etc.) situés hors zones contrôlées, est collecté vers la station d'épuration des effluents sanitaires du Centre, qui en assure le traitement, avant rejet dans la Durance.

6.3.3- Effluents industriels

Les effluents industriels proviennent dans le cas de l'installation PEGASE d'éléments de procédés non contaminants. Ils sont collectés dans l'installation par un réseau particulier, et dirigés vers une cuve dite « suspecte » où ils font l'objet de contrôles. Si les paramètres des effluents à transférer sont tous inférieurs aux limites d'activités volumiques fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017, ces effluents peuvent être rejetés dans le Réseau des Effluents Industriels (REI) du Centre, qui les achemine vers la station d'épuration des effluents industriels (STEP/EI) du Centre de Cadarache, puis vers la station de rejet en Durance.

6.3.4- Effluents actifs

Les effluents dont l'activité volumique est supérieure à l'une au moins des limites spécifiées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017, sont qualifiés d'actifs.

Dans l'installation PEGASE, les effluents actifs sont collectés dans 2 cuves dites « actives » située au sous-sol du bâtiment, de capacité de 20 m³ chacune. Ils sont transférés par voie routière vers les filières de traitement des effluents radioactifs adaptées à leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques :

- × soit l'installation de traitement des effluents liquides radioactifs du Centre (INB 171 AGATE), si les effluents respectent les limites d'acceptation de la station. Après traitement (évaporation), la partie évaporée (et recondensée) rejoint la STEP du Centre, et la fraction restante (le condensat qui a concentré la radioactivité) est envoyée vers le Centre de Marcoule ;
- × soit des installations extérieures au Centre de Cadarache (Station de Traitement des Effluents Liquides (STEL) du CEA de Marcoule par exemple) et autorisées à cet effet, en vue de leur traitement.

Partie 5 : Intervenants et méthodologie des études
d'évaluation des incidences

1. Introduction

Cette partie a pour objet de répondre aux 10° et 11° de l'article R. 122-5 du code de l'environnement détaillant le contenu de l'étude d'impact.

Elle présente les différents intervenants qui ont préparé l'étude d'impact, et les études ayant contribué à sa réalisation. Elle décrit également les méthodologies utilisées pour ces études, en particulier celles permettant de caractériser l'état initial de l'environnement, et d'identifier et d'évaluer les incidences du projet sur l'environnement et la santé humaine.

2. Les intervenants

Les bureaux d'études et les services du CEA suivants ont participé à l'élaboration de l'étude d'impact.

Coordonnées de l'organisme de rattachement	Nom	Qualité / Qualification	Contribution
Sinergia Sud Maintenant Synergis Environnement 1 chemin du Fescau 34980 Montferrier-sur-Lez ☎ : 04 30 96 60 40 www. https://synergis-environnement.com/	Julien BRIAND	Directeur et co-gérant	Relecture et contrôle qualité de l'étude écologique
	Kévin LEBAILLIF	Expert naturaliste (flore et habitats)	État actuel du milieu naturel Volet Naturel de l'Étude d'Impact Étude d'incidence Natura 2000
	Yann RONCHARD Fanny SANTUCCI Etienne CORNIEUX	Experts naturalistes (faune)	
CEA/Cadarache 13108 Saint-Paul-lez-Durance ☎ : 04 42 25 70 00	Christophe BROUILLARD	Chargé d'affaire démantèlement	Validation des valeurs de transferts et de rejets d'effluents
	Julien TRINCAL	Expert calculs d'impacts	Calculs d'impacts radiologiques et chimiques Co-rédaction de l'étude d'impact
	Nathalie COURTOIS	Expert Hydrogéologie / Environnement	Suivi de l'étude écologique Co-rédaction de l'étude d'impact
	Emilie COHENNY	Expert calculs d'impacts	Vérification de l'étude d'impact
	Olivier CAIL	Chef de l'INB 22	Vérification de l'étude d'impact
	Céline ROBILLARD	Chargée de mission environnement	

3. Étude écologique

L'étude de la flore vasculaire et des habitats naturels s'appuie sur une analyse cartographique, une recherche bibliographique, des enquêtes auprès d'organismes et personnes ressources, et des visites de terrain. À partir des informations récoltées et de l'examen des caractéristiques physiques et écologiques du site, elle a pour objectif d'évaluer la capacité d'accueil des milieux présents sur la zone concernée pour les espèces végétales remarquables et/ou protégées, et les habitats naturels d'intérêt patrimonial.

L'étude des peuplements faunistiques a pour objectif d'analyser la sensibilité écologique du site, sur la base d'une recherche bibliographique et d'enquêtes auprès d'organismes et personnes ressources, ainsi que des visites de terrain.

Des protocoles d'inventaire ont ainsi été mis au point pour chacun des groupes d'espèces ci-dessous :

- * les habitats naturels et la flore ;
- * amphibiens et reptiles ;
- * avifaune ;
- * chiroptères ;
- * mammifères (autres que chiroptères) ;
- * entomofaune et autres taxons de la faune invertébrée.

Le protocole consiste à déterminer (grâce à la connaissance des habitats) les zones à prospecter, et définir une méthode de recherche pour chacune de ces zones.

Chaque sortie sur le terrain a pour objectif d'inventorier soit la flore et les habitats, soit un groupe faunistique particulier : on parle dans ce cas de prospection spécifique, réalisée respectivement par un expert dans le domaine ciblé.

Cependant, au cours de ces sorties spécifiques, et en fonction des périodes de l'année, des espèces intéressantes appartenant à d'autres taxons peuvent être rencontrées. Chaque naturaliste est capable d'identifier de nombreuses espèces hors de son champ de compétence le plus pointu, et au cours de ses sorties, il est amené à noter ces contacts non spécifiquement recherchés. Ces données sont également prises en compte : on parle dans ce cas de prospection continue.

Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée. Les passages de terrain consacrés à chaque taxon sont de nature à apporter un diagnostic complet et détaillé concernant les espèces protégées et les principales autres espèces à enjeu parmi les groupes prioritairement visés. Cependant, les inventaires ne peuvent être jugés comme exhaustifs, mais Synergis Environnement précise que l'objectif d'exhaustivité est de toute façon quasi-inatteignable quelle que soit l'étude.

4. Évaluation de l'impact des rejets sur l'environnement et la santé

4.1- Méthodologie de calcul des impacts des rejets

L'évaluation des impacts résultant des rejets d'effluents chimiques et radioactifs dans l'environnement comprend les étapes suivantes :

- * l'identification du danger, qui comprend l'inventaire des substances par type de rejet, la connaissance de leur flux à l'émission ainsi que de leur toxicité ;
- * l'évaluation de la toxicité des substances mise en jeu sur l'homme et l'environnement ;
- * l'évaluation des concentrations résultant des rejets dans les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol, denrées alimentaires) ;
- * l'évaluation des expositions réalisée à l'aide de scénarii pénalisants (exposition par ingestion et/ou inhalation) ;
- * l'estimation du niveau de risque ajouté sur l'environnement ou les populations locales.

L'évaluation de l'impact des rejets d'effluents s'appuie sur l'utilisation de codes informatiques qui permettent de modéliser les transferts dans l'environnement des substances contenues dans les effluents. Ces codes permettent également d'estimer l'impact sur la santé des populations locales et l'environnement proches. La plateforme de calcul CERES (Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires), développée par le CEA, a été retenue pour réaliser ces calculs. C'est l'outil de référence pour le CEA, qui est utilisé pour l'ensemble des évaluations des conséquences des rejets d'effluents de ses installations. Tous les paramètres utilisés par l'outil sont accessibles et les modèles physiques mis en œuvre ont déjà été analysés par l'Autorité de sûreté nucléaire.

La plateforme de calcul CERES permet de réaliser l'ensemble les calculs d'impact des rejets atmosphériques et liquides, que ce soit pour des rejets continus en conditions normales (module GASCON pour les rejets atmosphériques, module ABRICOT pour les rejets liquides), et pour des conditions séquentielles de rejets (rejets ponctuels par exemple) et/ou météorologiques (vents variables par exemple) avec le module MITHRA.

La plateforme CERES est utilisée pour l'évaluation de l'impact des rejets à la fois chimiques et radioactifs. Les méthodes utilisées pour la modélisation de la dispersion des rejets de substances sont les mêmes. Pour une quantité donnée de matière radioactive ou chimique (dite « terme source ») rejetée en un point donné, par voie atmosphérique ou liquide, le code fournit les **concentrations ajoutées des radionucléides et des substances chimiques dans les différents compartiments de l'environnement** (atmosphère, sol, eau).

Ces concentrations ajoutées permettent ensuite d'estimer l'exposition induite, en tenant compte des différents modes de transfert de l'environnement à l'homme au travers des pratiques agricoles ainsi que des habitudes de consommation, et d'effectuer une comparaison avec les niveaux de toxicité chimiques et radioactifs (en termes de doses) des substances pour l'environnement et les populations.

4.1.1- Impact des rejets d'effluents radioactifs

4.1.1.1 Évaluation de l'impact sanitaire

La méthodologie retenue pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets de substances présentant un risque radiologique a été définie par le pôle de compétence du CEA sur la base de méthodologies internationales dont les principes ont été retenus par de nombreux organismes dont l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. L'objectif des études d'impact de l'émission de substances radioactives en fonctionnement normal est de situer l'impact estimé vis-à-vis de la limite pour le public (1 mSv par an) et des objectifs de sûreté pour les travailleurs. Cet impact ajouté pour le public est comparé à la dose moyenne annuelle en France (2,9 mSv par an). Les doses efficaces sont évaluées après 1 an et 50 ans (ou 70 ans pour les enfants) de fonctionnement des installations, ou encore pour la durée de vie prévue des installations si elle est bien définie *a priori*.

Pour les populations des groupes de référence, les voies d'exposition à considérer sont l'irradiation externe par le panache et les dépôts (rejets radioactifs uniquement), la dose par inhalation et la dose par ingestion, en prenant en compte une ration alimentaire représentative du site et du groupe étudié.

L'impact sanitaire est alors estimé en évaluant, à l'aide de coefficients de dose définis par la réglementation française ou à défaut issus des travaux d'experts, des doses efficaces (organisme entier) en distinguant les adultes des adolescents et des enfants.

Ce chapitre ne traite que de l'impact des rejets. Pour déterminer la dose efficace totale, il faut également tenir compte du rayonnement produit par les installations elles-mêmes. Ce point est traité par ailleurs. De manière générale, celui-ci est extrêmement faible, et la dose correspondante pour le public est négligeable devant celle due aux rejets.

4.1.1.2 Évaluation de l'impact environnemental

Pour les substances présentant un risque radiologique, il n'existe pas encore de méthodologie validée pour la détermination de l'impact environnemental (cf. le paragraphe § 4.2.3. ci-après). L'évaluation est basée sur la comparaison des concentrations ajoutées dans l'environnement à celles préexistantes dans le milieu ou rencontrées à proximité ou dans des lieux non exposés aux rejets des installations.

Néanmoins, comme le site de Cadarache existe depuis plusieurs dizaines d'années et que ses rejets annuels sont assez constants, on peut avoir une estimation de son impact environnemental réel grâce aux mesures réalisées périodiquement dans l'environnement.

4.1.2- Impact des rejets d'effluents chimiques

4.1.2.1 Évaluation de l'impact sanitaire

La méthodologie retenue pour l'évaluation de l'impact sanitaire des rejets de substances présentant un risque chimique reprend les recommandations de l'Institut National de Veille Sanitaire (InVS) et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS).

Après la définition et la caractérisation des substances chimiques émises à l'environnement par voie atmosphérique ou liquide, on détermine les concentrations ajoutées dans le milieu récepteur, c'est-à-dire l'atmosphère, le sol ou l'eau, puis on estime les niveaux d'exposition par inhalation et/ou ingestion, en prenant en compte une ration alimentaire représentative du site et du groupe étudié.

Pour les substances présentant un risque chimique, l'impact sanitaire est estimé, en évaluant, à l'aide des valeurs toxicologiques de référence relatives aux substances étudiées, soit des indices de risque (IR) dans le cas des substances avec effet de seuil (substances non cancérigènes), soit des excès de risque individuel (ERI) dans le cas des substances sans effet de seuil (substances cancérigènes). On additionne les indices de risque à un même organe, dus aux différentes substances présentes dans le rejet. De même, par prudence, l'INERIS conseille d'additionner les ERI liés aux différentes substances.

D'après l'INERIS⁵⁷, si les indices de risque (IR) sont inférieurs à la valeur repère de 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable. Si les indices de risque sont supérieurs à 1, l'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue.

D'après la littérature internationale (OMS, US-EPA), l'excès de risque individuel repère à ne pas dépasser se situe entre 10^{-5} (1 sur 100 000) et 10^{-6} (1 sur 1 million). Dans la fourchette de ces valeurs, la probabilité théorique qu'une personne développe un cancer d'un type donné lié à une exposition pendant sa vie entière (70 ans) à la substance considérée, est comprise entre 1 sur 100 000 et 1 sur 1 million.

4.1.2.2 Évaluation de l'impact environnemental

Pour les substances présentant un risque chimique, l'évaluation de l'impact environnemental est basée, pour la voie atmosphérique, sur la comparaison des concentrations ajoutées dans l'environnement à des valeurs limites pour la protection des végétaux et des écosystèmes (articles R. 221-1 et suivants du code de l'environnement, et lignes directrices OMS pour les rejets aigus). Pour la voie liquide, cet impact est évalué par comparaison des concentrations dans l'environnement à des normes de qualité environnementales (**NQE**) et/ou des concentrations sans effet prévisible sur l'environnement **PNEC** (Predicted No Effect Concentration), ou, si ces paramètres ne sont pas disponibles pour les substances étudiées, à la limite de qualité des eaux brutes de toutes origines utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine (arrêté du 11 janvier 2007).

4.1.3- Utilisation du code CERES pour l'impact en fonctionnement normal

Une fois les données d'entrée du code CERES acquises, le code évalue l'activité (en Bq/m³ ou Bq/kg pour les substances radioactives et g/m³ ou g/kg pour les substances chimiques) transmise aux différents compartiments de l'environnement (air, eau, sol, végétation, animaux, etc.).

Pour les rejets radioactifs, les effets sur la santé des rejets sont évalués en calculant une « dose efficace » délivrée à l'individu et exprimée en Sievert (Sv). Cette valeur permet d'estimer la dose reçue pour l'ensemble de l'organisme. Pour les rejets chimiques, les effets sur la santé sont évalués à partir de l'estimation d'Indices de Risque (IR) ou d'Excès de Risque Individuel (ERI).

⁵⁷ Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des ICPE - substances chimiques, INERIS, 2003.

CERES simule tout d'abord la dispersion des rejets dans l'environnement. Pour des rejets atmosphériques, la dispersion est basée sur des modèles à bouffées gaussiennes dont les formulations des écarts-types sont issues des travaux de Doury. Le code prend en compte l'effet d'appauvrissement du panache dû aux dépôts secs et humides.

La modélisation CERES prend également en compte, le cas échéant, la décroissance radioactive des radioéléments et leur filiation (un élément radioactif se transforme en un autre élément radioactif appelé son fils).

Ensuite, le code calcule les transferts des substances dans les divers compartiments de l'environnement (sol, plantes, animaux), en utilisant les facteurs de transfert spécifiques à chaque substance.

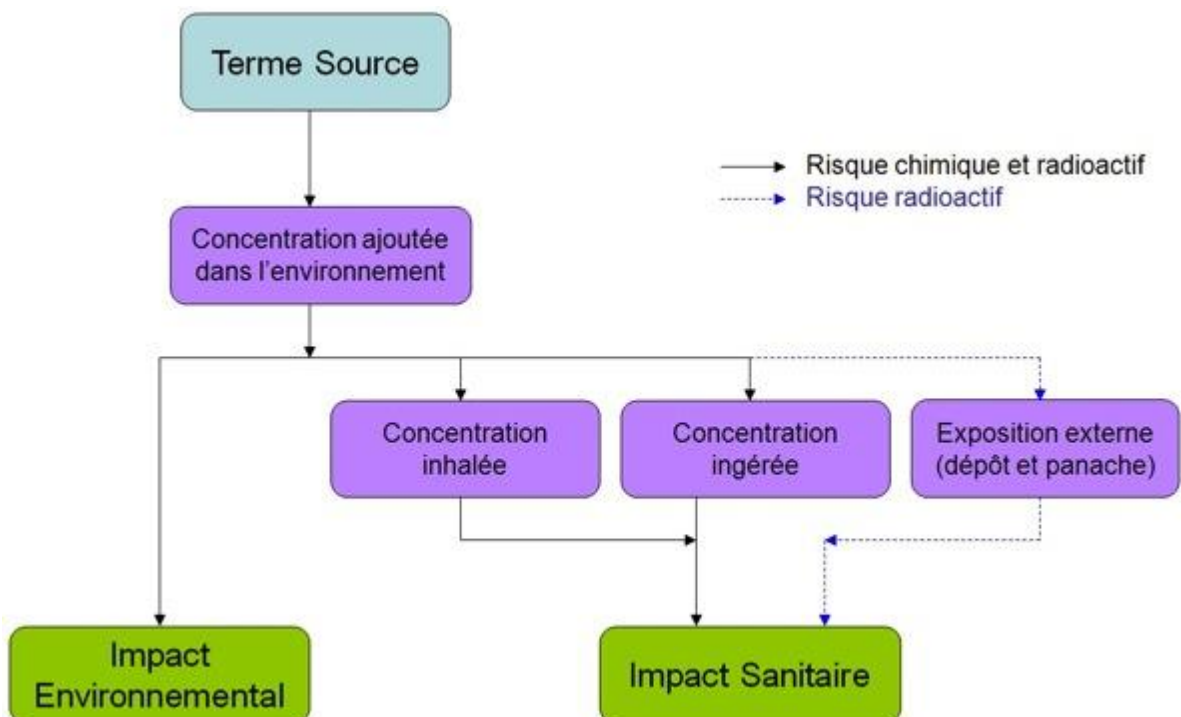


Figure 131 : Modes de transfert pris en compte pour le calcul d'impact

Le code prend ensuite en compte les habitudes alimentaires habituelles des populations locales pour calculer l'ingestion de substances.

Pour les **radionucléides**, le code calcule la dose efficace annuelle reçue par les populations par les diverses voies d'exposition :

- × rayonnements provenant du panache, du dépôt au sol et des sédiments ;
- × inhalation et transfert par la peau ;
- × ingestion d'eau potable, de poissons et de nourriture contaminés par des rejets atmosphériques ou liquides.

Pour les **substances chimiques**, une évaluation est faite à partir des indices de risques reçus par les populations selon les diverses voies d'exposition :

Le principe de détermination des impacts pour les rejets d'effluents liquides (radioactifs et chimiques) est illustré dans le schéma ci-après, valable également à la fois pour les rejets chimiques et radioactifs.

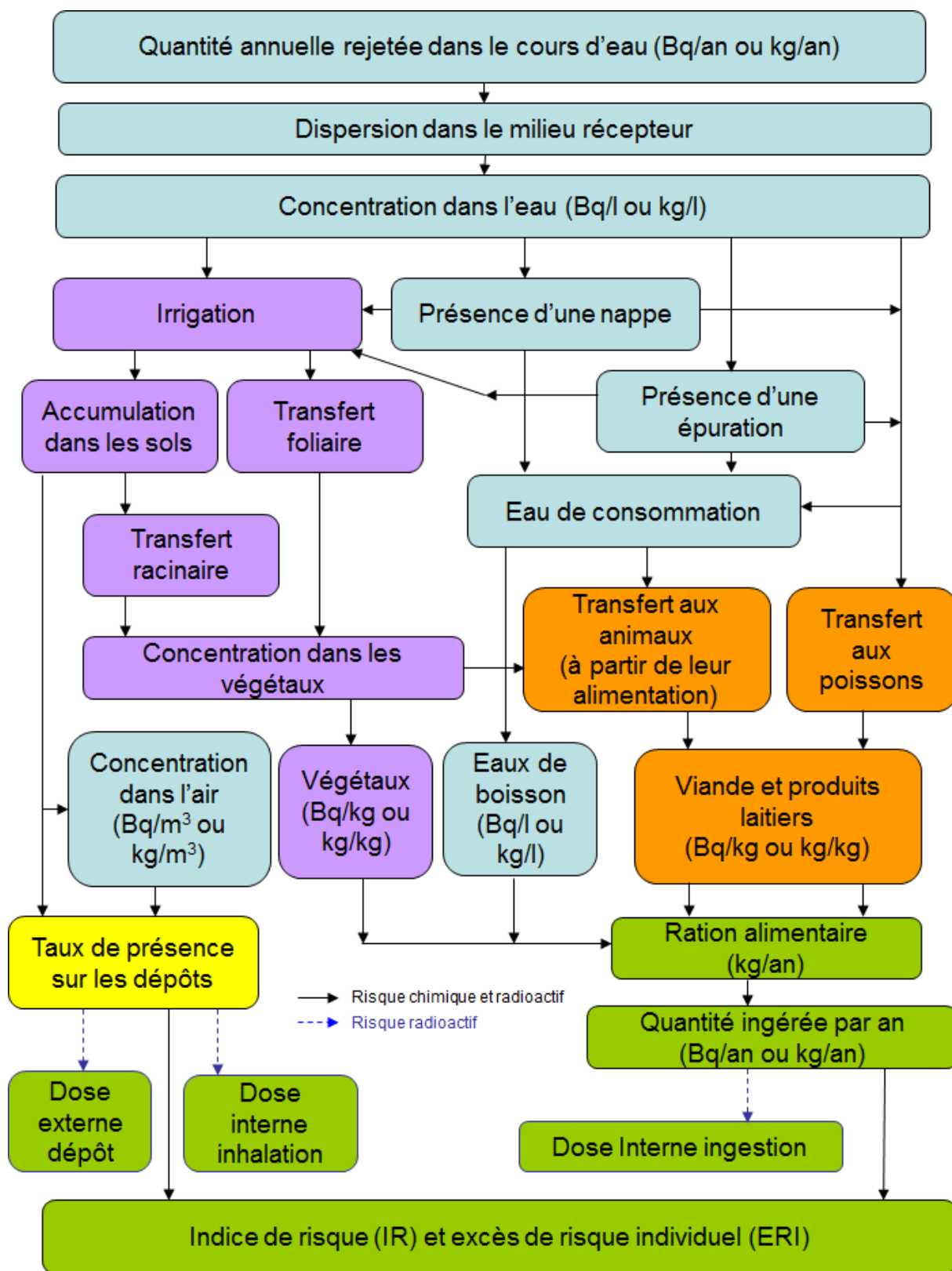


Figure 133 : Schéma de principe de la détermination des impacts des rejets d'effluents liquides

4.1.4- Conséquences potentielles des rejets d'effluents radioactifs sur l'environnement et la santé humaine

4.1.4.1 Méthodes employées

Les conséquences sur l'environnement résultent des sources d'exposition constituées par les rejets radioactifs liquides et atmosphériques et les rejets chimiques liquides et atmosphériques associés aux activités de l'installation.

Libérées dans l'environnement, les différentes matières se dispersent au sein du milieu dans lequel elles ont été rejetées et peuvent, sous l'influence de divers mécanismes, atteindre d'autres milieux.

Ainsi, les effluents rejetés dans l'atmosphère peuvent atteindre l'homme par le biais de l'air dans lequel il se trouve et qu'il respire, du dépôt au sol de particules et/ou du transfert à d'autres milieux comme la chaîne alimentaire.

La dispersion atmosphérique est étroitement liée à la vitesse et à la direction du vent ainsi qu'à la turbulence de l'atmosphère. Elle dépend aussi des conditions d'émission (hauteur de rejet) et des phénomènes climatiques tels que la pluie dans le cas d'émission d'aérosols ou de vapeurs.

Ainsi, au terme d'un cheminement variable, les éléments rejetés peuvent atteindre l'homme, provoquant alors une exposition à des rayonnements ionisants et/ou une toxicité chimique.

Un cas particulier : le tritium

Le tritium peut être rejeté sous forme d'eau tritiée (HTO) et d'hydrogène tritié (HT). Bien qu'une partie du rejet puisse être effectuée sous forme d'hydrogène tritié, tous les calculs d'impact sont considérés avec une forme de vapeur d'eau tritiée (HTO), une forme chimique du tritium plus de 10 000 fois plus radiotoxique que l'hydrogène tritié, mais bien moins radiotoxique que les autres types de matières radioactives.

Les transferts du tritium dans l'environnement sont les suivants :

- * atmosphère ; la vapeur d'eau tritiée (HTO) est assez facilement captée par les gouttes d'eau et se dépose même sans pluie ;
- * sols ; une partie de l'eau tritiée déposée au sol est ré-émise dans l'atmosphère par évaporation à la vitesse d'environ 1 % par heure. Une autre partie s'enfonce dans le sol et se mélange à l'eau du sol. Le tritium peut aussi être apporté à la surface du sol par infiltration directe d'eau tritiée liquide ;
- * végétation ; le tritium sous forme de vapeur d'eau est relativement bien absorbé par les plantes :
 - suite à un transfert par voie foliaire, la majeure partie (99 %) du tritium des feuilles est emportée par l'eau de transpiration et disparaît à raison de 50 % toutes les 30 minutes. Le reste du tritium, fixé dans les cellules, disparaît beaucoup plus lentement ;
 - suite à un transfert par voie racinaire, le temps de résidence dans les plantes est plus long (quelques jours) et est fonction de celui du tritium dans le sol.

4.1.4.2 Exposition externe (spécifique rejets radioactifs)

Il y a exposition par voie externe lorsque le corps humain est soumis aux rayonnements émis par une source radioactive qui lui est externe. C'est l'irradiation externe. Dans ce cas, l'action directe des rayonnements prend fin dès que l'individu s'éloigne suffisamment de la source des rayonnements. Il peut exister également une exposition externe superficielle due aux dépôts de substances radioactives sur les vêtements ou la peau. Il s'agit de la contamination externe.

4.1.4.3 Exposition interne

Il y a exposition par voie interne lorsqu'il y a incorporation dans l'organisme humain, soit par inhalation, soit par ingestion de substances, soit encore par voie transcutanée (absorption directe par la peau ou blessure, considérée seulement pour les rejets radioactifs).

L'origine d'une exposition interne est toujours révélatrice d'une contamination du milieu caractérisée par la présence de particules dispersées dans l'environnement dans lequel sont présents les intervenants.

Toute contamination (de l'atmosphère, des surfaces, des vêtements ou des fluides) engendrant une exposition interne est également une source d'exposition externe pour les substances radioactives. En effet, chaque élément de volume ou de surface contaminé constitue une source radioactive qui irradie à distance.

Un cas particulier : le tritium

L'absorption par l'organisme et le transfert vers le sang diffèrent selon les composés. L'hydrogène tritié (HT) est peu soluble dans l'eau ou les fluides corporels. Son assimilation est environ 10 000 fois plus faible que sous forme d'eau tritiée (HTO). L'absorption d'eau tritiée peut se faire également par ingestion d'eau de boisson ou par ingestion de l'eau des aliments. Le tritium peut aussi être absorbé sous forme de nourriture contenant du tritium dit organique (lié à des molécules organiques).

Le rayonnement β émis par le tritium ayant une faible énergie et un faible parcours, le tritium ne présente un risque radiologique que s'il pénètre dans l'organisme (exposition interne) :

- × L'absorption par ingestion du tritium (HT), de l'eau tritiée (HTO) ou de fractions réduites de tritium organiquement liée qui pourrait être générée dans les installations est quasi complète. En fonction de sa forme chimique, le tritium peut être absorbé directement ou après dégradation de la molécule porteuse. Suite aux recommandations de la Commission internationale pour la protection radiologique (CIPR), on considère que 3 % du tritium sous forme d'HTO sera converti en composé organique (OBT) dans le corps humain, avec une **période effective biologique** de 10 jours. La moitié de l'OBT provenant de la nourriture est convertie en HTO en une **période biologique** de 40 jours. En 30 minutes, la distribution est homogène dans l'organisme.
- × Le tritium et l'eau tritiée peuvent être inhalés sous forme gazeuse. Moins de 0,01 % de l'activité inhalée d'hydrogène tritié (HT) passe dans le sang où une partie pourra être transformée en eau tritiée. 99 % de l'eau tritiée inhalée est transférée dans le sang sans modification de la forme chimique.

Le tritium est un des radionucléides les plus étudiés par la recherche, même si tout n'est pas encore connu à son sujet. Le tritium est un des radionucléides les moins radiotoxiques pour l'homme.

4.1.4.4 De la quantité absorbée à la dose (spécifique aux rejets radioactifs)

La dose absorbée représente la quantité d'énergie absorbée, par unité de matière. Elle se mesure en Gray (Gy), 1 Gray représentant 1 Joule déposé dans 1 kg de matière.

Les différents types de rayonnement (α , β et γ) n'exercent pas le même effet sur les tissus. Afin de tenir compte de ces différences, la dose équivalente a été définie comme le produit de la dose absorbée par le tissu ou l'organe par un facteur de pondération propre à chaque type de rayonnement. La dose équivalente s'exprime en Sievert (Sv) ; un Sievert représente une dose très élevée et on utilise généralement le milli-Sievert ($1 \text{ mSv} = 0,001 \text{ Sv} = 10^{-3} \text{ Sv}$).

Le rayonnement a une incidence différente sur chaque tissu et chaque organe. Afin de tenir compte de ces différences, la dose efficace a été définie comme la somme des doses équivalentes délivrées aux différents tissus ou organes du corps, par exposition interne et externe et pondérées par un facteur de sensibilité du tissu ou de l'organe. Elle s'exprime également en Sievert.

La dose efficace annuelle calculée par CERES est la somme des doses efficaces annuelles délivrées par expositions interne et externe aux différents tissus et organes du corps. Elle est liée aux différentes voies d'atteinte de l'homme.

Les doses efficaces annuelles sont estimées après la première année et après 50 ans d'exploitation. Le calcul est en effet effectué pour des rejets continus de la première année jusqu'à la cinquantième année d'exploitation.

La dose efficace par exposition externe aux dépôts tient compte de l'activité accumulée dans l'environnement depuis la mise en service de l'installation, ainsi que de la décroissance des radionucléides.

4.1.5- Hypothèses et méthodes utilisées pour les calculs d'impact des rejets atmosphériques

4.1.5.1 Filtration avant rejet

Les éléments de filtration de Très Haute Efficacité (THE) sont caractérisés par un coefficient d'épuration traduisant leur efficacité. Les mécanismes de piégeage ont été présentés dans le glossaire.

De manière conservatrice pour l'estimation des rejets atmosphériques à retenir pour les calculs d'impact, on considère, pour les aérosols :

- * que le rendement pour un seul filtre THE est de 99,9 %, soit un coefficient d'épuration (calculé comme le rapport entre l'activité des aérosols en entrée et celle en sortie) de 1 000 ;

- ✖ que lorsque deux filtres THE sont en série, le coefficient d'épuration du second filtre THE en série retenu est de 10 ou de 100 (cette valeur reste pénalisante : en effet, après leur passage à travers le premier niveau de filtre THE, les particules peuvent plus ou moins se ré-agglomérer dans l'ambiance de l'installation, permettant ainsi au mécanisme de captation par interception de fonctionner au deuxième niveau de filtre THE). Le coefficient d'épuration global retenu pour deux filtres THE en série est donc de 10 000 ou de 100 000.

Les filtres THE n'ont pas d'efficacité sur les gaz.

4.1.5.2 Conditions de rejet

Les rejets de l'installation à composante radioactive sont effectués par une cheminée (émissaire E27), dont la hauteur physique est de 50 m. Les rejets diffus sont quant à eux supposés émis au niveau du sol.

4.1.5.3 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques sont établies à partir de mesures enregistrées par les stations météorologiques du Centre de Cadarache. Les données météorologiques sont réparties dans une rose des vents de 18 secteurs présentée dans la partie 1, § 3.1.5-.

4.1.5.4 Populations exposées

Les populations retenues pour l'étude des effets des rejets gazeux sur l'environnement sont, compte tenu des conditions météorologiques locales, celles qui se trouvent être les plus proches du site : le Hameau, Saint-Paul-lez-Durance et Ginasservis.

Groupes	Distance / PEGASE	Particularité
Le Hameau	≈ 2,3 km	Résidence étudiante, occupée toute l'année, située à proximité du Centre de Cadarache.
Saint-Paul-lez-Durance	≈ 4,4 km	Village situé à l'ouest, au bord de la Durance.
Ginasservis	≈ 7,4 km	Village situé à l'est
Beaumont-de-Pertuis	≈ 7,9 km	Village situé à l'ouest

Tableau 178 : Principaux groupes de populations retenus pour les calculs d'impacts des rejets atmosphériques

Les calculs d'impact des rejets atmosphériques sont également effectués pour d'autres groupes de population, moins exposés, dans un souci d'information la plus complète possible.

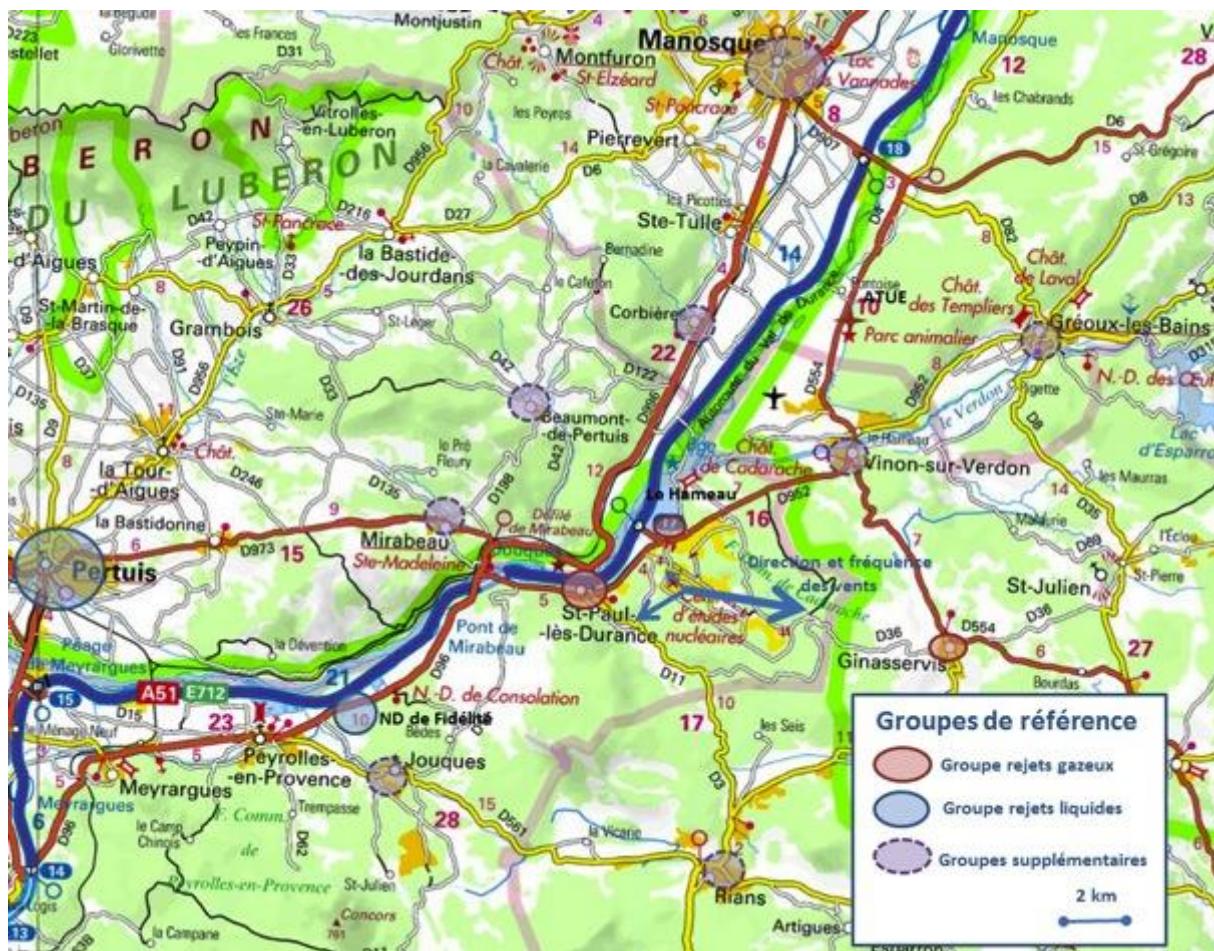


Figure 134 : Groupes de population

L'impact radiologique est calculé pour l'adulte (17 ans et plus), l'enfant de 10 ans (représentatif de la tranche 7 à 12 ans) et l'enfant de 1 à 2 ans, en supposant une présence permanente à l'extérieur sans protection. Le Hameau est géré par la mairie de Saint-Paul-lez-Durance, on considère de façon très conservatrice que des enfants peuvent y être présents, même s'il s'agit d'une résidence étudiante. Pour tous les villages excepté le Hameau, on suppose l'existence d'un jardin familial et d'animaux d'élevage.

4.1.5.5 Habitudes alimentaires

De façon très pénalisante, on considère des taux de présence égaux à 100 % quel que soit le lieu étudié, et une autarcie alimentaire dans les villages pour les denrées produites localement.

Le régime alimentaire considéré pour le calcul des doses par ingestion est défini à partir des statistiques sur l'autarcie alimentaire dans la région méditerranéenne trouvées dans la base de données Ciblex, issues d'enquêtes sur le terrain et adaptées aux environs du Centre de Cadarache où on ne trouve aucun élevage bovin. Il est présenté dans le tableau suivant.

On ne trouve dans ce tableau que les denrées alimentaires susceptibles d'être produites localement. Le complément de la ration, non produit localement, n'est pas impacté par les rejets du Centre de Cadarache et n'est donc pas pris en compte dans les calculs d'impact.

Aliment en kg/an	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 à 2 ans
salades	15	10	6,5
carottes	25	20	13
tomates	10	7	6,5
pommes	40	25	13
viande (mouton)	3	1,5	-
viande (poulet)	11	5,5	3
lait (chèvre)	42	21	-
œufs	6	3	1,5

Tableau 179 : Ration alimentaire des humains en kg/an

La ration alimentaire des animaux est quant à elle présentée dans le tableau ci-après :

Aliment en kg/an	Mouton	Poule	Chèvre
Herbe	420	-	420
Maïs fourrage	-	6	-
Foin	360	-	360

Tableau 180 : Ration alimentaire des animaux d'élevage en kg/an

Les voies d'exposition des groupes de populations sont résumées dans le tableau ci-après.

Voies d'exposition	Hameau	Ginasservis et autres zones d'habitations *	Saint-Paul-Lez-Durance	Beaumont-de-Pertuis et autres zones d'habitations **
Exposition au panache	x	x	x	x
Inhalation	x	x	x	x
Irradiation panache	x	x	x	x
Expositions aux dépôts	x	x	x	x
Exposition par ingestion de produits contaminés lors du passage du panache		x	x	x
Salades		x	x	x
Carottes		x	x	x
Tomates		x	x	x
Pommes		x	x	x
Lait (Chèvre)		x	x	x
Viande (Mouton)		x	x	x
Œuf (Poule)		x	x	x
Viande (Poule)		x	x	x
Exposition par ingestion de produits contaminés par l'eau de la Durance			x	x
Salades			x	
Carottes			x	
Tomates			x	
Pommes			x	
Lait (Chèvre)			x	
Viande (Mouton)			x	
Œuf (Poule)			x	
Viande (Poule)			x	
Poisson			x	
Eau de boisson				x

* : Corbières, Ginasservis, Gréoux-les-Bains, Jouques, Manosque, Vinon-sur-Verdon ; ** : Mirabeau, Pertuis

Tableau 181 : Voies d'exposition des groupes de populations

4.1.5.6 Hypothèses associées au transfert de rejets atmosphériques vers le corps humain

Rejets radioactifs

Les coefficients de dose efficace relatifs à l'incorporation de radionucléides par la voie interne (inhalation / ingestion) sont ceux préconisés par l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ces facteurs spécifiques à chaque radioélément fournissent la dose engagée pour chaque becquerel incorporé et dépendent de l'âge de la personne.

Pour le calcul de l'exposition externe, les facteurs de conversion en dose efficace ne dépendent pas du métabolisme des personnes et ne varient donc pas en fonction de l'âge. En revanche, ces facteurs sont fonction de la nature de la source : exposition au panache, à un dépôt de sol pour le domaine terrestre. Les coefficients de dose efficace qui permettent de quantifier l'exposition externe à partir des activités de l'air et de la surface du sol sont donnés par le rapport Federal Guidance n° 12.

Rejets chimiques

Les valeurs repères retenues pour l'évaluation de l'impact environnemental et sanitaire des rejets proviennent des articles R. 221 1 et suivants du code de l'environnement, de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) également pour la qualité de l'air, de l'Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) proposant des valeurs de type « Minimal Risk Level » (MRL) pour différentes substances, de la base de données IRIS de l'US-EPA (United States - Environmental Protection Agency) synthétisant les informations épidémiologiques concernant plus de 500 polluants cancérigènes ou classés tels, des fiches de l'INERIS décrivant les caractéristiques de différentes substances, présentant des synthèses bibliographiques des études de toxicité réalisées sur ces substances, du rapport sur l'étude épidémiologique des installations du Nord Cotentin et de la base de données « the risk assessment information system » (RISK) fournissant des valeurs de toxicité pour des substances, à effets de seuil ou non, pour les voies inhalation et ingestion.

4.1.5.7 Évaluation de l'impact des rejets atmosphériques

Les effluents rejetés par voie atmosphérique se dispersent dans l'atmosphère selon les caractéristiques météorologiques du site.

Une certaine partie des particules contenues dans ces rejets se dépose, soit par gravité, soit par impact sur le sol ou la végétation rencontrée, soit à la suite de précipitations sur le sol. Elle migre ensuite dans la terre, dans les végétaux, dans les fourrages et les animaux. L'individu, en relation avec ces rejets par inhalation d'air, contact avec le sol et ingestion de produits alimentaires issus de la culture ou de l'élevage, est donc susceptible de subir un détriment par des rayonnements et/ou des toxiques chimiques, soit de façon directe (ingestion d'aliments ayant subi des dépôts d'aérosols et la pluie), soit de façon indirecte (ingestion d'aliments influencés par les transferts racinaires à partir du sol).

4.1.5.8 Transfert par le milieu atmosphérique

Le transfert par le milieu atmosphérique est évalué au moyen d'un calcul de dispersion atmosphérique qui permet, à partir de la quantité de rejets émis dans l'environnement (exprimée en Bq/an pour les rejets radioactifs ou kg/an pour les rejets chimiques) et des conditions météorologiques, d'évaluer les concentrations dans l'air des substances rejetées en moyenne annuelle (Bq/m^3 ou kg/m^3).

Ainsi, la détermination de l'impact passe par le calcul du coefficient de transfert atmosphérique, défini d'une façon générale entre une source et un point M (x,y,z) comme le rapport entre la concentration intégrée sur le temps au point M et la quantité totale Q de substances émise par la source.

Le transfert atmosphérique est calculé en trois points représentatifs des différentes voies d'atteinte à l'homme, englobant le lieu d'habitation, le lieu de production du fourrage destiné aux animaux, et le lieu de production des végétaux consommés.

En chacun de ces points, un coefficient de transfert moyen spécifique à chaque substance est calculé en tenant compte des conditions météorologiques, de la décroissance radioactive (le cas échéant) et de l'appauvrissement par dépôts sec et humide (par lessivage par temps de pluie) des aérosols au sol.

Les calculs de concentration intégrée dans l'air sont effectués en considérant ce transfert atmosphérique à la distance du point d'émission.

Rejets radioactifs

Cette concentration permet de calculer :

- × la dose efficace due à l'irradiation par le panache ;
- × la dose efficace due à l'inhalation de radionucléides lors du passage du panache qui est fonction du débit respiratoire moyen ($0,96 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'adulte, $0,64 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'enfant de 10 ans et $0,22 \text{ m}^3/\text{h}$ pour l'enfant de 1 à 2 ans).

Le code calcule des flux de dépôts moyens annuels, en déduit des débits de dose dus au dépôt ainsi que les transferts aux végétaux.

Rejets chimiques

Dans le cas d'un rejet d'une substance chimique, cette concentration permet de calculer l'indice de risque ou l'excès de risque individuel par inhalation qui est fonction du débit respiratoire moyen.

Le code calcule des flux de dépôts moyens annuels et en déduit les transferts aux végétaux.

4.1.5.9 Transfert par le milieu terrestre

Pour tenir compte de l'évolution des concentrations des substances rejetées en fonction de l'année, il faut additionner la concentration due aux dépôts des rejets de l'année et la concentration résiduelle due aux dépôts des années précédentes.

Les calculs sont effectués pour une exposition annuelle de 1 an après le début de l'exploitation de l'installation considérée, et pour des expositions pendant 50 ans après le début de l'exploitation, en tenant compte pour les substances radioactives des produits de filiation des radioéléments rejetés et de leur décroissance radioactive.

Les concentrations en substances des végétaux dues au transfert par le sol est estimée à partir de l'évaluation des dépôts au sol.

4.1.5.10 Transfert par la chaîne alimentaire

Les concentrations ajoutées dans les végétaux permettent de calculer :

- * la dose efficace due à l'ingestion de végétaux et à l'ingestion de productions animales, pour les substances radioactives ;
- * l'indice de risque ou l'excès de risque individuel dus à l'ingestion de végétaux et de productions animales, pour les substances chimiques.

Un calcul de la concentration en substances dans les produits d'origine végétale est effectué en prenant en compte le dépôt direct sur la masse foliaire et indirect via l'absorption racinaire. Pour les produits d'origine animale, on considère que leur alimentation est assurée uniquement par des produits d'origine locale.

4.1.6- Hypothèses et méthodes utilisées pour le calcul d'impact des rejets liquides

4.1.6.1 Conditions de rejet

Pour les calculs de dispersion, on suppose que les rejets dans la Durance sont continus, avec le débit minimal de 9 m³/s (garanti par le barrage EDF sur la Durance en amont du Centre de Cadarache).

4.1.6.2 Populations exposées

Les populations exposées aux rejets liquides sont les populations voisines utilisant l'eau de la Durance, à des fins d'irrigation, pour l'abreuvement des animaux d'élevage, ou pour l'eau potable. Saint-Paul-lez-Durance est la commune la plus proche en aval du point de rejet. On prend en compte l'irrigation de ses cultures, cependant l'eau potable de la commune ne provient pas de la Durance, mais de sources.

L'impact dosimétrique est calculé pour des adultes, des enfants de 10 ans et des enfants de 1 à 2 ans.

4.1.6.3 Habitudes alimentaires

Les hypothèses adoptées sont identiques à celles présentées précédemment pour l'évaluation de l'impact des rejets atmosphériques.

Les rations alimentaires sont celles présentées dans le tableau précédent. Toutefois, dans le cas des rejets par voie liquide, on prend en plus la consommation d'eau de boisson et de poissons d'eau douce.

Aliment en kg/an	Unité	Adulte	Enfant de 10 ans	Enfant de 1 à 2 ans
Eau de boisson	L/an	600	600	250
Poisson	kg/an	6	6	-

Tableau 182 : Consommation d'eau de boisson et de poissons d'eau douce prise en compte dans le cas des rejets liquides

4.1.6.4 Évaluation de l'impact des rejets liquides

Les substances rejetées dans la Durance y sont diluées en fonction du débit de rejet et du débit du cours d'eau. Une partie d'entre elles est emportée par le courant et transmise à l'homme via la chaîne alimentaire ou par inhalation suite à une remise en suspension d'aérosols provenant de l'eau d'irrigation après évaporation.

Les concentrations ajoutées pour chaque substance rejetée sont calculées à partir des quantités annuelles rejetées et du débit retenu pour la Durance.

4.1.6.5 Transfert par le milieu aquatique

Les substances rejetées dans la Durance se répartissent en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques entre une phase aqueuse et une phase solide (matières en suspension) dans l'eau brute.

On utilise dans les calculs la notion de facteur de partage, rapport entre la part fixée sur les matières en suspension et celle de l'eau filtrée. La concentration moyenne annuelle est calculée en faisant le rapport des quantités de substances émises annuellement sur le débit annuel.

Le code de calcul permet de distinguer deux cas :

- × l'utilisation directe de l'eau de la rivière pour l'irrigation ou l'abreuvement du bétail (eau brute) ou l'ingestion sous forme d'eau de boisson,
- × le pompage indirect via la nappe alluviale. Dans ce cas le modèle tient compte d'une atténuation des concentrations due à une possible dilution par d'autres sources et due également à la filtration par les terrains traversés qui dépend du facteur de distribution entre l'eau et les matières solides.

Pour les substances radioactives, l'utilisation d'un facteur de conversion en dose efficace permet d'évaluer l'influence par ingestion d'eau de boisson.

Les concentrations des substances dans le poisson sont supposées égales celles se trouvant dans l'eau. Il est considéré de façon maximaliste que la totalité du poisson consommé provient de la Durance.

4.1.6.6 Transfert par la chaîne alimentaire

Transfert aux végétaux irrigués

La concentration des substances dans les végétaux irrigués est calculée en tenant compte d'une part de la contamination directe par transfert eau-feuille et d'autre part du transfert racinaire. Ce dernier dépend des caractéristiques du sol et du métabolisme des plantes vis-à-vis des différentes substances considérées.

Le calcul du transfert racinaire est effectué pour des périodes d'accumulation dans le sol jusqu'à 70 ans. On tient compte pour ce calcul des apports annuels dans le sol et des pertes par lixiviation⁵⁸ et décroissance radioactive, le cas échéant. On utilise la concentration en substances de l'eau brute (eau de surface).

Transfert aux produits d'origine animale

Toutes les substances présentes dans l'environnement suite aux rejets liquides se retrouvent dans les produits d'origine animale par :

- * ingestion d'aliments solides ; on suppose ici que tous les aliments consommés par les animaux d'élevage sont produits localement ;
- * abreuvement.

Pour chaque voie de transfert, la concentration en radionucléides dans les parties consommées de l'animal est le produit d'un facteur de transfert spécifique à cette voie, par la quantité journalière incorporée correspondante. Les concentrations résultant de chaque voie de transfert sont sommées.

Transfert aux poissons

L'activité des poissons est déduite directement de l'activité dissoute dans l'eau de la rivière par utilisation de facteurs de transfert à l'équilibre.

Transfert à l'eau de boisson

On considère que les habitants les plus exposés consomment de l'eau pompée directement dans la Durance.

4.1.6.7 Transfert par le milieu atmosphérique

Une partie des aérosols du sol sur lequel se fixent les substances présentes dans l'eau d'irrigation est remise en suspension par évaporation. CERES évalue alors, selon la nature de la substance, la dose intégrée ou l'indice de risque et l'excès de risque individuel par inhalation correspondante.

4.2- Limites méthodologiques et incertitudes

4.2.1- Évaluation des rejets dans l'environnement

Pour une installation en conditions normales d'exploitation, les rejets réels – chimiques et radioactifs - peuvent varier d'une année sur l'autre, en fonction de son état et des activités qui y sont menées.

⁵⁸ Lixiviation : Traitement d'une substance par un liquide pour en extraire les constituants solubles. Par extension, perte des constituants solubles d'une substance exposée à l'eau.

Pour rester enveloppe, des valeurs maximales de rejets sont déterminées en appliquant la séquence ERC (éviter, réduire, compenser). Ces valeurs de rejets sont utilisées pour l'évaluation de leur incidence sur la santé humaine et l'environnement. Une des difficultés est que ces valeurs devront à la fois :

- * être les plus faibles que raisonnablement possible, à l'issue de la séquence ERC, pour limiter les impacts ;
- * être enveloppes, pour être sûr que l'impact réel sera quoiqu'il en soit inférieur à l'impact calculé.

4.2.2- Calculs d'impacts sur la santé humaine

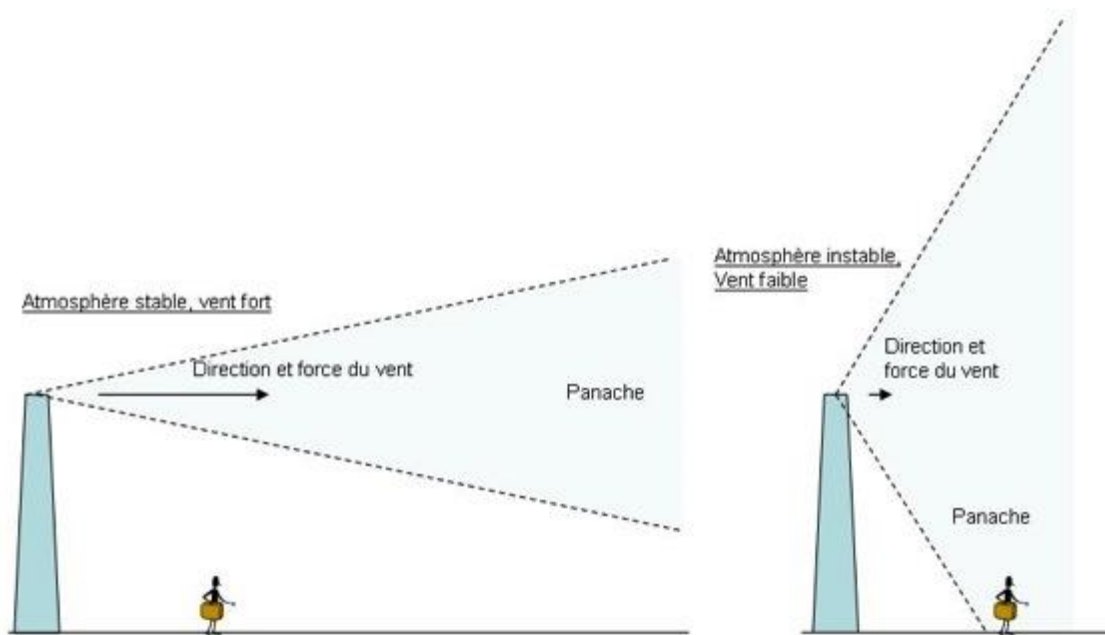
Les méthodes utilisées qui ont été présentées dans les paragraphes précédents sont le résultat de plusieurs dizaines d'années de recherches et de mises au point. Ces méthodes sont à présent totalement acceptées par la communauté internationale et ne présentent plus de difficultés de mise en œuvre.

Les difficultés de détermination de certains paramètres méritent cependant quelques développements.

Tout d'abord, les calculs ne sont pas représentatifs du mode de vie de chaque individu, un exemple suffit à le mettre en évidence : tous les habitants de Saint-Paul-lez-Durance n'ont pas de jardin, et tous ceux qui ont un jardin ne l'arrosent pas avec l'eau de la Durance. Leur exposition aux rejets liquides du site de Cadarache sera donc différente.

Pour contourner cette difficulté, la méthode utilisée définit des groupes théoriques d'individus, dits « groupes de référence » qui, selon leur position géographique (sous les vents dominants ou non, près de la Durance ou éloignés, etc.) et leur mode de vie (âge, type d'alimentation et de boisson), pourront être plus ou moins exposés aux conséquences des rejets atmosphériques et liquides du projet.

Il est évident qu'un groupe qui ne consomme que des produits locaux, influencés par les rejets du projet, sera plus exposé qu'un groupe qui n'en consomme pas. Par contre, il est beaucoup moins évident qu'un groupe qui se trouve à proximité immédiate du site soit plus exposé aux rejets atmosphériques qu'un groupe plus éloigné : il faut en effet tenir compte de la direction des vents et de l'état de l'atmosphère au moment du rejet (stable ou instable). Ceci est illustré dans le schéma ci-après.



Il n'est donc pas facile de déterminer, *a priori*, quel sera le groupe théorique le plus exposé. C'est pour cette raison que l'on fait plusieurs calculs sur plusieurs groupes afin de déterminer les conséquences des rejets pour chacun d'eux.

Le but ultime de tous ces calculs est de vérifier que les conséquences des rejets sont acceptables pour tous les individus susceptibles d'y être exposés. Comme tous les paramètres ne peuvent pas être déterminés avec précision, on résout la difficulté en utilisant une démarche pénalisante qui consiste à systématiquement retenir les hypothèses ou paramètres qui conduiront à une détermination de l'impact par excès.

Comme cette surestimation est systématique dès qu'un paramètre peut être entaché d'une incertitude, les calculs d'impact donnent ainsi des résultats très supérieurs à la réalité.

Concernant les estimations des impacts des rejets chimiques, le CEA est régulièrement confronté, pour les besoins de ses installations, à des interrogations quant au choix des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) dans les évaluations des risques sanitaires telles qu'usuellement pratiquées pour les études d'impact des installations classées et la gestion des sites et sols pollués.

L'INERIS a développé un portail spécifique concernant les substances chimiques (<http://www.ineris.fr/substances/fr/>). Le portail substances chimiques de l'INERIS fournit des grandeurs caractéristiques sur les substances chimiques dans les domaines suivants : écotoxicologie, toxicologie, données technico-économiques ; il n'est malheureusement pas exhaustif à ce jour.

Il reste donc de nombreuses substances pour lesquelles les VTR sont absentes, que ce soit sur le portail INERIS ou dans la littérature (US-EPA, ATSDR, OMS etc.).

4.2.3- Calculs d'impacts des rejets radioactifs sur l'environnement

État des lieux

Les méthodes de calcul d'impact ont été en priorité développées pour estimer l'impact sanitaire des rejets d'effluents radioactifs. Pour ce qui concerne l'impact sur l'environnement, les méthodes et paramètres sont en cours de définition. De nombreux groupes de travail Autorité de sûreté / organismes de recherche / exploitants d'installation étudient le sujet.

Aujourd'hui, nous avons une bonne connaissance des méthodes de détermination des impacts des rejets radioactifs sur la santé humaine, les incertitudes sur les effets de la radioactivité à faible dose sont prises en compte dans les modèles. Ces connaissances ne peuvent que très partiellement être transposées directement aux autres êtres vivants. Nous savons par exemple que les bactéries résistent beaucoup mieux que l'homme à l'exposition aux rayonnements.

D'autre part, l'acquisition de la connaissance fine des effets de la radioactivité sur tous les organismes vivants non humains est une tâche compliquée qui n'a pas encore abouti à la mise en place de méthodologie et *a fortiori* d'outils exhaustifs pour l'évaluation de l'impact associé.

Dans l'état actuel des choses, les codes de calcul donnent les activités ajoutées dans les différents compartiments de l'environnement mais ne permettent pas d'estimer les niveaux d'exposition car il n'existe pas aujourd'hui de valeurs réglementaires pour la faune et la flore du même type que celles utilisées pour caractériser l'exposition du public (dose unitaire issue de l'arrêté du 1^{er} septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants). Il n'existe également pas de valeur de référence qui permettent de caractériser le risque.

Pour les substances chimiques, l'évaluation de l'impact environnemental se base sur la méthodologie de l'évaluation des risques décrite dans le Document Guide Technique européen (TGD) mais ne présentant des concentrations sans effet prévisible sur l'environnement (PNEC) que pour un nombre restreint de substances.

Dans le cadre du programme de surveillance du site de Cadarache, nous disposons du suivi de l'environnement depuis la création du Centre, soit une cinquantaine d'années. Les rejets d'effluents chimiques et radioactifs ont varié au cours des différentes années, et en moyenne ont été plus importants par le passé, notamment quand certaines installations étaient en fonctionnement (ATUE, RAPSODIE, etc.)

La surveillance de l'environnement n'a jamais montré de marquage significatif de l'environnement attribuable aux rejets de Cadarache. Par exemple, l'analyse de la Durance en amont et en aval du rejet ne montre pas de différence notable, que ce soit pour les concentrations de substances chimiques et radioactives dans l'eau ou dans les sédiments et les organismes aquatiques. Ce sont ces résultats et leur extrapolation qui permettent de porter un jugement sur l'impact environnemental des activités du site de Cadarache et sur son évolution dans le temps.

Étude d'impact écologique

L'impact des substances chimiques ou radiologiques sur les milieux naturels, la flore et la faune reste encore très mal connu et difficile à évaluer *a priori*. Plusieurs raisons peuvent être mises en avant :

- * le manque d'études des effets des substances polluantes sur les écosystèmes et les espèces. Les pollutions aiguës sont assez bien documentées mais les pollutions diffuses, plus difficiles à étudier, font l'objet de moins de publications. De plus, les réactions sont différentes selon les écosystèmes et les espèces concernées, et les recherches actuelles ne se concentrent que sur certains d'entre eux ;
- * la difficulté d'appréhender le devenir des polluants dans les écosystèmes, qui dépend de nombreux facteurs biotiques (types d'écosystèmes en présence...) et abiotiques (débit et vitesse du courant d'un cours d'eau, orientation des vents dominants, nature du substrat...). Ainsi la diffusion des substances (dilution/concentration) diffère selon les conditions locales. De plus, les substances peuvent se transformer sous l'effet d'actions extérieures en des éléments plus ou moins dangereux que ceux initialement rejetés ;
- * le mode de contamination : une même substance peut avoir des effets divers sur un organisme en fonction de sa voie de contamination (contact avec la peau, inhalation, ingestion...) ;
- * l'effet « cocktail », soit l'interaction des substances entre elles qui peut augmenter ou réduire leurs effets, comparativement aux éléments pris séparément. Ces impacts conjugués sont pour le moment encore très mal connus.

Crédits photographiques

Photothèque du CEA, Sinergia Sud (maintenant Synergis Environnement), IGN

Glossaire des acronymes et des définitions

1. Acronymes

A

AASQA	Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air
Ae	Autorité environnementale
AGATE	Atelier de Gestion Avancée et de Traitement des Effluents (CEA Cadarache)
AIEA	Agence Internationale pour l'Energie Atomique (<i>IAEA</i> en anglais)
AIP	Activités Importantes pour la Protection
ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i> (aussi faible que raisonnablement possible)
ALLEnvi	Alliance nationale de recherche pour l'environnement
ALLISTENE	Alliance des sciences et technologies du numérique
ANCRE	Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie
ANDRA	Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOC	Appellation d'Origine Contrôlée
APD	Avant-Projet Détaillé
APPB	Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope (nature)
APS	Avant-Projet Sommaire
ARS	Agence Régionale de Santé
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
ASND	Autorité de Sûreté Nucléaire Défense
ASPITET	Apports d'une Stratification Pédologique pour l'Interprétation des Teneurs en Eléments Traces (programme de l'INRA)
ATHENA	Alliance thématique nationale des sciences humaines et sociales
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i> (États-Unis)
AVIESAN	Alliance Nationale pour les sciences de la vie et de la santé

B

B(a)P	Benzo(a)Pyrène
BAG	Boîte à Gants
BEP	Boucle à Eau Pressurisée
BREF	<i>Best available techniques REFerence documents</i>
BT	Basse tension

C

CAD	Cadarache
-----	-----------

CDH	Comité Départemental d'Hygiène
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CEDRA	Conditionnement et Entreposage des Déchets RadioActifs (CEA Cadarache)
CEN	Conservatoire d'Espaces Naturels
CEP	Contrôles et Essais Périodiques
CEREMA	Centre d'études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CERES	Code d'Évaluations Rapides Environnementales et Sanitaires (CEA)
CGDD	Commissariat Général au Développement Durable
CIGEO	Centre Industriel de stockage GEOlogique (ANDRA)
CIPR	Commission Internationale de la Protection Radiologique
CIRES	Centre Industriel de Regroupement, d'Entreposage et de Stockage (ANDRA)
CLI	Commission Locale d'Information
CNPN	Conseil National de la Protection de la Nature
CODEP	Comité Départemental
CODERST	Conseil départemental de l'environnement, des risques sanitaires et technologiques
CORINE	COordination et Recherche de l'INformation en Environnement. (CORINE Land Cover est une base de données européenne d'occupation biophysique des sols)
COT	Carbone Organique Total (paramètre de qualité de l'eau)
COV	Composé Organique Volatil
COVNM	Composé Organique Volatil Non Méthanique
CQSE	Cellule Qualité, Sécurité, Environnement (CEA)
CSA	Centre de Stockage de l'Aube (ANDRA)
CSMN	Cellule de Sûreté et Matières Nucléaires (CEA)

D

DAC	Décret d'Autorisation de Création (procédure INB)
DBO5	Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (paramètre de qualité de l'eau)
DCO	Demande Chimique en Oxygène (paramètre de qualité de l'eau)
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DEEE	Déchets d'Equipements Electriques et Electroniques
DEM	DEManèlement
DES	Direction des ÉnergieS (CEA)
DD	Déchet Dangereux
DI	Déchet Inerte
DND	Déchet Industriel Dangereux
DF	Diffusion Faible (atmosphère)
DJA	Dose Journalière Admissible
DJE	Dose Journalière d'Exposition
DN	Diffusion Normale (atmosphère)
DND	Déchet Non Dangereux
DNF	Dernier Niveau de Filtration
DPRC	Dispositif de Prélèvement des Rejets Cheminées (pour mesure radioactivité)
DSSN	Direction de la Sécurité et de la Sûreté Nucléaire (CEA)
DRAAF	Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DSFI	Déchets Sans Filière Immédiate (déchets radioactifs)
DTN	Département de Technologie Nucléaire (CEA)
E	
EA	Effluent Actif (CEA)
EAI	Evaluation Appropriée des Incidences
ECS	Evaluations Complémentaires de Sûreté
EDF	Electricité De France
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i> (Autorité européenne de sécurité des aliments)
EI	Effluents Industriels (CEA)
EIP	Élément Important pour la Protection
EIS	Élément Important pour la Sûreté
ENS	Espace Naturel Sensible
EP	Eau Pressurisée
EPCI	Etablissement Public de Coopération Intercommunal
EPIC	Établissement public à caractère industriel et commercial
ERC	Eviter, Réduire, Compenser
ERI	Excès de Risque Individuel
ERP	Etablissement Recevant du Public
ERU	Excès de Risque Unitaire
ES	Effluents Sanitaires (CEA)
EUNIS	EUropean Nature Information System
F	
FA	Faible Activité
FLS	Formation Locale de Sécurité (CEA)
FMA	Faible et Moyenne Activités
FOH	Facteurs Organisationnels et Humains
G	
GEF	Groupe Electrogène Fixe
GES	Gaz à Effet de Serre
H	
HAP	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HT	Haute Tension ou Tritium gazeux
HTO	Molécule d'eau tritiée
I	
IBD	Indice Biologique Diatomées (qualité des milieux aquatiques)
IBGN	Indice Biologique Global Normalisé (qualité des milieux aquatiques)
IBG-DCE	Indice Biologique Global compatible Directive Cadre sur l'Eau (qualité des milieux aquatiques)
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IGP	Indication Géographique Protégée
INB	Installation Nucléaire de Base
INBS	Installation Nucléaire de Base Secrète

INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des risques
INRAe	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (fusion de l'INRA et d'IRSTEA)
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSTN	Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires
INVS	Institut National de Veille Sanitaire
IPCS	<i>International Program on Chemical Safety</i> (Programme de l'OMS)
IPR	Indice Poissons Rivière (qualité des milieux aquatiques)
IR	Indice de Risque (ancien nom de Quotient de Danger)
IRSN	Institut de Radioprotection de de Sûreté Nucléaire
ISO	<i>International Standards Organisation</i> (Organisation internationale de normalisation)
ITER	<i>International Thermonuclear Experimental Reactor</i>

L

LANSE	Laboratoire d'Analyses Nucléaires et de Surveillance de l'Environnement (CEA)
LD	Limite de Détection
LMTE	Laboratoire de Modélisation des Transferts dans l'Environnement (CEA)
LQ	Limite de Quantification

M

MA-VC(VL)	Moyenne Activité à Vie Courte (Vie Longue)
MEFM	Masse d'Eau Fortement Modifiée
MES	Matières En Suspension (paramètre de qualité de l'eau)
MNHN	Muséum national d'Histoire naturelle
MRAe	Missions Régionales d'Autorité environnementale
MSNR	Mission de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection (du Ministère de la transition énergétique)
MTD	Meilleure Technique Disponible

N

NGF	Nivellement Général de la France
NQE	Norme de Qualité Environnementale
NQE-CMA	Norme de Qualité Environnementale exprimée en Concentration Maximale Admissible
NQE-MA	Norme de Qualité Environnementale exprimée en Moyenne Annuelle

O

OEHHA	<i>Office of Environmental Health Hazard Assessment</i> (Antenne californienne de l'US-EPA)
OFB	Office Français de la Biodiversité
OGS	Objectifs Généraux de Sûreté
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage
ONEMA	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (rattaché à l'Agence Française pour la Biodiversité depuis le 1 ^{er} janvier 2017)
ONF	Office National des Forêts
ONU	Organisation des Nations Unies

P

PACA	Provence Alpes Côte d'Azur
PAPI	Programme d'Action Préventive sur les Inondations
PCET	Plan Climat Energie Territorial
PDU	Plan de Déplacement Urbain
PEC	<i>Predicted Environmental Concentration</i> (Concentration prédite dans l'environnement)
PF	Produits de Fission
PGSE	Présentation Générale de la Sûreté de l'Etablissement (CEA)
pH	Potentiel Hydrogène (unité de mesure de l'acidité de l'eau)
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNEC	<i>Predicted No Effect Concentration</i> (Concentration sans effet prédit sur l'environnement)
PNGMDR	Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Radioactifs
PNN	Parc Naturel National
PNR	Parc Naturel Régional
POS	Plan d'Occupation des Sols
PPA	Plan de Protection de l'Atmosphère
PPGDDND	Plan de Prévention et de Gestion Départemental des Déchets Non Dangereux
PPGRDD	Plan de Prévention et de Gestion Régional des Déchets Dangereux
PPI	Plan Particulier d'Intervention
PPRi	Plan de Prévention du Risque inondation
PPRN	Plan de Prévention des Risques Naturels
PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
PRSQA	Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air
PUI	Plan d'Urgence Interne

Q

QD	Quotient de Danger (équivalent à l'indice de risque IR)
----	---

R

RCA	Repère en Concentration Atmosphérique
REACH	<i>Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of CHemicals</i>
REI	Réseau des Effluents Industriels (CEA)
RES	Réseau des Effluents Sanitaires (CEA)
REX	Retour d'Expérience
RFS	Règle Fondamentale de Sûreté
RIVM	<i>Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu</i> . Institut national de la santé publique et de l'environnement (Pays-bas)

S

SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SCoT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SD	Seuil de Décision
SENEX	Surveillance, ENTretien, EXPloitation
SIC	Site d'Importance Communautaire (Natura 2000)

SILENE	Système d'Information et de Localisation des Espèces (portail public des données naturalistes)
SMAVD	Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance
SMHV	Séisme Maximum Historique Vraisemblable
SMS	Séisme Majoré de Sécurité
SMTA	Service Mesures et modélisation des Transferts et des Accidents graves (CEA)
SPPPI	Secrétariat Permanent pour la Prévention des Pollutions Industrielles
SPR	Service de Protection contre les Rayonnements (CEA)
SRADDET	Schéma régional d'aménagement et de développement durable du territoire
SRCAE	Schéma Régional Climat Air Energie
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique
STEMA	Station de Traitements des Effluents liquides du Centre de Marcoule (CEA)
STEP	Station de Traitement et d'Épuration
STL	Service Technique et Logistique (CEA Cadarache)
STRATER	Stratégie territoriale de l'enseignement supérieur et de la recherche

T

THE	Très Haute Efficacité
TFA	Très Faible Activité
TSN	Transparence et Sécurité en matière Nucléaire (loi de 2006 codifiée aux articles L. 593-1 et suivants du code de l'environnement)
TVB	Trame Verte et Bleue

U

UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UICPA	Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée
UNSCEAR	<i>United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</i>
US-EPA	<i>United States – Environmental Protection Agency</i> (Agence pour la Protection de l'Environnement, Etats-Unis)

V

VGE	Valeur Guide Environnementale
VISA	Véhicule d'Intervention et de Surveillance Atmosphérique (CEA)
VLE	Valeur Limite d'Exposition
VNEI	Volet Naturel de l'Etude d'Impact (nature)
VRD	Voiries et Réseaux Divers
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

W

WENRA	<i>Western European Nuclear Regulators Association</i> - Association de responsables d'Autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest
-------	---

Z

ZAPA	Zone d'Action Prioritaire pour l'Air
ZC	Zone Contaminée (radioprotection)
ZD	Zone Délimitée (radioprotection)
ZER	Zones à Emergence Réglementée (bruit)

ZICO	Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (Natura 2000)
ZNC	Zone Non Contaminante (radioprotection)
ZND	Zone Non Délimitée (radioprotection)
ZNIEFF	Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (nature)
ZppDN	Zones à production possible de déchets nucléaires (radioprotection)
ZPS	Zone de Protection Spéciale (Natura 2000)
ZSC	Zone Spéciale de Conservation (Natura 2000)
ZSRA	Zone Sans Radioactivité Ajoutée (radioprotection)

2. Définitions

A

Actinides : Famille d'éléments chimiques de numéro atomique égal ou supérieur à l'actinium (numéro atomique 89). Quatre actinides existent à l'état naturel : l'actinium (89), le thorium (90), le protactinium (91) et l'uranium (92). Il existe également des actinides artificiels, ce sont les transuraniens (plutonium, américium, neptunium et curium). On qualifie de « mineurs » ceux que l'on ne sait pas recycler pour produire de l'électricité et de « majeurs » ceux que l'on sait recycler (uranium et plutonium).

Activation : Opération rendant radioactif un élément stable en l'exposant à des rayonnements ionisants.

Activité (radiologique) ou radioactivité : Phénomène physique propre à certains produits naturels ou artificiels, qui émettent des électrons (radioactivité - bêta) et/ou des photons (radioactivité - gamma), des neutrons, des noyaux d'hélium (radioactivité - alpha). L'unité d'activité est le becquerel (Bq).

Adiabatique : voire transformation adiabatique.

Aérosols : Ils désignent des particules en suspension dans l'air qui présentent une vitesse de chute négligeable. Elles peuvent être solides (poussières) ou liquides (embruns), de nature organique (suie) ou minérale (roche érodée) et plus ou moins grosses (de quelques dixièmes de nanomètre à une centaine de micromètre).

Alluvions : Sédiment des cours d'eau et des lacs composés, selon les régions traversées et la force du courant, de galets, de graviers et de sables en dépôts souvent lenticulaires.

Aérosols : Ils désignent des particules en suspension dans l'air qui présentent une vitesse de chute négligeable. Elles peuvent être solides (poussières) ou liquides (embruns), de nature organique (suie) ou minérale (roche érodée) et plus ou moins grosses (de quelques dixièmes de nanomètre à une centaine de micromètre).

Aquifère : Du latin *aqua*, eau, et *ferre*, porter. Terrain perméable, contenant une nappe d'eau souterraine.

Argile : Terme désignant soit des minéraux argileux (de la famille des phyllosilicates), soit des roches à grain très fin (éléments de diamètre inférieur à 1/16^{ème} de millimètre) contenant au moins 50 % de minéraux argileux.

B

Best available techniques REFerence documents (BREF) : documents de référence associés aux meilleures techniques disponibles (MTD, voir encart).

Biodisponibilité : Fraction de produit chimique présent dans le milieu environnemental qui est disponible pour être accumulée par les organismes.

Bio-indicateur : Organisme végétal ou animal qui fait l'objet de mesure permettant d'indiquer la présence ou les effets des polluants (thym, lichens, truite, abeille, etc.). Les bio-indicateurs sont des outils d'évaluation de la qualité de l'environnement, qui peuvent compléter des mesures analytiques.

Brèches et poudingues : Ce sont des roches détritiques, c'est-à-dire issues de la dégradation mécanique d'autres roches, généralement sédimentaires, parfois volcaniques, constituées de fragments unis par un ciment naturel. Tandis que les poudingues agglomèrent des éléments arrondis (galets) qui traduisent un transport long avant sédimentation, les brèches contiennent des éléments anguleux (temps de transport court).

Bruit de Fond (BdF) : voir l'encart sur les limites de détection de méthodes d'analyses.

Bruit ambiant, bruit résiduel et émergence : Le niveau de bruit ambiant est la mesure obtenue quand le bruit particulier de l'installation visée par les mesures est en fonctionnement, alors que le niveau de bruit résiduel est la mesure obtenue sans le bruit engendré par cette même installation. L'émergence correspond donc au calcul de la différence entre ces deux valeurs.

dB(A) : Décibel A. L'oreille humaine n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences. A niveau équivalent, un son grave sera perçu moins fort qu'un son aigu. Pour tenir compte de ce facteur, un filtre de pondération fréquentielle appelé filtre de pondération A est utilisé.

C

Calcaires : Roche sédimentaire carbonatée contenant au moins 50 % de calcite CaCO_3 .

Carte piézométrique : Carte représentant la pression de l'eau (niveau piézométrique) dans un aquifère, et dont on peut déduire les directions d'écoulement.

Césium 137 :

Les quelques généralités sur le césium 137 qui sont résumées dans cet encart sont extraites du « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français en 2012 » publié par l'IRSN.

Le césium est le plus rare des métaux alcalins présents dans l'écorce terrestre. Dans la biosphère, le césium se trouve essentiellement sous forme de cation Cs^+ et est l'analogue chimique du potassium. Sa forte affinité pour les argiles (illites) explique que le sol et les sédiments en sont les principaux compartiments accumulateurs.

La présence des isotopes radioactifs du césium dans l'environnement (césium 134 et césium 137) est liée aux activités humaines. Elle résulte notamment des essais nucléaires atmosphériques (1945-1980) et des rejets accidentels, en particulier lors de l'accident de Tchernobyl en mai 1986. Cet accident avait conduit à des dépôts hétérogènes sur le territoire, et actuellement, les concentrations en césium 137 peuvent varier de près de deux ordres de grandeur en fonction des dépôts radioactifs initiaux (dépôts homogènes et inférieurs à 5 000 Bq/m² dans les deux tiers ouest du territoire, dépôts très hétérogènes et pouvant encore atteindre plusieurs milliers de Bq/m² dans la partie est du pays).

Le césium 137 est également présent dans les rejets de certaines installations nucléaires en fonctionnement normal (centrales nucléaires, installations de traitement du combustible, et centres de recherche).

Le césium 137, qui a une période de 30,2 ans, est l'isotope pour lequel les études, expérimentations et mesures *in situ* sont les plus abondantes. C'est aussi l'isotope qui reste le plus souvent mesuré dans l'environnement, en dépit de sa diminution depuis 1986 (due à la fois à la décroissance radioactive des dépôts, à la dilution dans les différents compartiments de l'environnement, et à la baisse des rejets des installations nucléaires). Le césium 137 est facilement mesuré par spectrométrie gamma à partir de la raie d'émission de son fils, le baryum 137m, émetteur gamma.

Le césium 134, dont la période radioactive est de 2,2 ans, contribuerait également à l'exposition des populations en cas d'accident mais à un degré moindre que le césium 137. Après quelques années, il disparaît complètement par décroissance radioactive. La détermination de l'activité du césium 134 est réalisée par spectrométrie gamma, comme pour le césium 137.

Dans les écosystèmes terrestres, le césium est en général très peu mobile dans les sols. Le transfert racinaire aux végétaux est assez faible et très dépendant du pH et de la teneur en matière organique. Le césium est très mobile dans les végétaux, rapidement absorbé par voie foliaire et facilement déplacé par translocation dans la plante.

Dans la pratique, il n'est presque jamais possible de déceler les conséquences des rejets des installations nucléaires en fonctionnement normal dans l'environnement terrestre car elles sont très largement masquées par la rémanence des retombées anciennes (essais atmosphériques, accident de Tchernobyl).

Chambres d'ionisation différentielles à circulation de gaz : Le principe d'un détecteur gazeux est de faire circuler dans une chambre d'ionisation l'air à analyser. Les ions formés par chaque désintégration radioactive à l'intérieur de la chambre d'ionisation sont collectés sur l'anode, ce qui génère un courant électrique directement fonction du nombre de particules incidentes. Pour compenser l'influence du rayonnement gamma ambiant, une seconde chambre, identique mais fermée, est montée en opposition électrique, d'où l'appellation de chambres différentielles. On obtient par soustraction la contribution des gaz, indépendamment des rayonnements extérieurs. Un bilan est effectué à partir des valeurs mesurées en continu. Le résultat brut de la mesure est un courant électrique. Il est ensuite converti en activité volumique totale (Bq/m³) en faisant une hypothèse de présence d'un type de gaz particulier. Dans le cas particulier des mesures de gaz rares dans l'environnement, c'est le Radon 222, gaz radioactif naturel, qui est majoritaire. On exprime donc le résultat final en Bq/m³ **équivalent-radon**.

Colluvions : Dépôt de bas de pente, relativement fin, et dont les éléments ont subi un faible transport, à la différence des alluvions.

Conductivité hydraulique (perméabilité) : Paramètre caractérisant la capacité d'un terrain aquifère à laisser circuler l'eau souterraine.

Confinement : Dispositif de protection qui consiste à contenir les produits radioactifs à l'intérieur d'un périmètre déterminé fermé.

Barrières de confinement : Dans un réacteur nucléaire, ensemble des dispositifs étanches interposés entre les sources de rayonnement (produits de fission présents dans le réacteur) et le milieu extérieur afin d'isoler les radionucléides du combustible de l'environnement.

Enceinte de confinement : Enceinte étanche en béton, contenant la cuve du réacteur, le circuit primaire, les générateurs de vapeur, ainsi que les principaux éléments importants pour la sûreté d'un réacteur à eau sous pression.

D

Débits classés : Statistique sur des débits caractéristiques. On peut exprimer la valeur du débit classé non dépassé en moyenne n jours par an (DCNn) ou la valeur du débit classé dépassé n jours par an (DCXn).

Déchets :

Déchet Inerte (DI) : Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Déchet Dangereux (DD) : Ce sont des déchets qui peuvent générer des nuisances pour l'homme ou pour l'environnement. Ils sont définis à l'article R. 514-8 du code de l'environnement. Ils peuvent présenter une ou plusieurs des propriétés de danger énumérées ci-après, ce qui implique certaines précautions particulières. Ces déchets font l'objet d'un contrôle administratif renforcé (production, stockage, transport, élimination.) Ils ont un étiquetage approprié.

Les propriétés de dangers prises en compte sont : explosif, inflammable, irritant, nocif, corrosif, infectieux, toxique pour la reproduction, cancérigène, mutagène, dégage un gaz toxique au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide, susceptible après élimination de donner naissance par quelque moyen que ce soit à une autre substance qui présente les mêmes propriétés que précédemment.

Déchet Non Dangereux (DND) : Déchet non inerte et non dangereux généré par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers-cartons, verre, textiles, bois, plastiques, etc.

Déchets radioactifs : définis à l'article L. 542 1 1 du code de l'environnement, ce sont les substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée ou qui ont été requalifiées comme tels par l'autorité administrative en application de l'article L. 542-13-2 du code de l'environnement.

Les déchets radioactifs sont classés selon deux caractéristiques : le niveau d'activité et la durée de demi-vie. Le niveau d'activité donne une indication sur le niveau de l'intensité du rayonnement radioactif à un moment donné et donc sur leur dangerosité potentielle. Quatre niveaux sont définis : très faible activité, faible activité, moyenne activité et haute activité. La durée de demi-vie permet de déduire la durée de dangerosité potentielle du déchet. En effet, la radioactivité diminue régulièrement dans le temps. Cette décroissance se fait rapidement pour les déchets à vie courte ou de façon beaucoup plus lente pour les déchets de longue durée de vie. Trois niveaux sont utilisés : vie très courte pour les déchets dont la radioactivité est divisée par deux en cent jours ou moins, vie courte pour ceux dont la radioactivité est divisée par deux en moins de trente ans et vie longue pour ceux dont la radioactivité est divisée par deux en trente ans et plus.

Dolomie : Roche sédimentaire carbonatée contenant de la **dolomite**, qui est un carbonate de calcium et de magnésium $(Ca, Mg)(CO_3)_2$.

Dureté : La dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. L'unité de mesure de la dureté est le « degré français » (°F) : 1°F équivaut à 4 mg de calcium (ou 10 mg de calcaire $CaCO_3$) et à 2,4 mg de magnésium par litre.

E

Effet : voir l'encart sur l'impact.

Effluents, transferts et rejets :

- * Un **effluent** est un liquide, ou un gaz, ou des aérosols, générés par une opération (qui peut être de fonctionnement, de démantèlement, etc.). Dans l'industrie nucléaire, et en particulier dans une INB, certains effluents peuvent être radioactifs.
- * Le **transfert** recouvre le transport des effluents liquides depuis l'installation productrice, jusqu'au dispositif de traitement approprié (station de traitement et d'épuration, STEP, par exemple, pour les effluents liquides).
- * Le **rejet** est la partie de l'effluent finalement rejetée dans l'environnement, après mise en œuvre des dispositifs (filtration, traitement, etc.) permettant que ce rejet soit le plus faible possible.

Emergence : voir encart sur le bruit.

Enjeu : voir l'encart sur l'impact.

Epikarst : Partie supérieure d'un karst, caractérisée par la présence de nombreuses fissures ouvertes par dissolution.

Equivalent CO₂ (CO_{2e}) : Les différents gaz à effet de serre (GES) anthropiques ont un impact plus ou moins important sur le climat. Afin d'être comparées les unes avec les autres, les émissions des différents gaz à effet de serre peuvent être exprimés en équivalent CO_{2e} (équivalent CO₂). La conversion s'effectue au travers du Potentiel de Réchauffement Global (PRG) relatif à 100 ans, indicateur classique retenu dans la plupart des rapports et traités internationaux sur le climat, notamment ceux issus du GIEC.

Equivalent-radon : cf. l'encart sur la chambre d'ionisation.

Etiage : Plus bas niveau atteint par un cours d'eau ou un lac.

Eutrophisation : L'eutrophisation est une forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit trop de matières nutritives assimilables par les algues et que celles-ci prolifèrent. Les principaux nutriments à l'origine de ce phénomène sont le phosphore (contenu dans les phosphates) et l'azote (contenu dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites).

Evaporites : Terme général désignant les dépôts riches en chlorures et sulfates alcalins (avec les ions K⁺, N⁺, Mg²⁺, Cl⁻ et SO₄²⁻).

Excès de Risque Individuel (ERI) : voir l'encart sur la caractérisation du risque.

Excès de Risque Unitaire (ERU) : voir l'encart sur la caractérisation du risque.

F

Filtre THE : Ce type de filtre est développé spécifiquement pour l'industrie nucléaire. Ce sont des cartouches qui ont un haut niveau de rétention des matières radioactives particulaires. Pour les filtres à très haute efficacité (THE), le rendement minimal garanti est de 99,98 %, ce qui correspond à un coefficient d'épuration minimal (calculé comme le rapport entre l'activité des aérosols en entrée et celle en sortie) de 5 000 (ce qui signifie qu'au plus une particule sur 5 000 peut passer à travers le filtre).

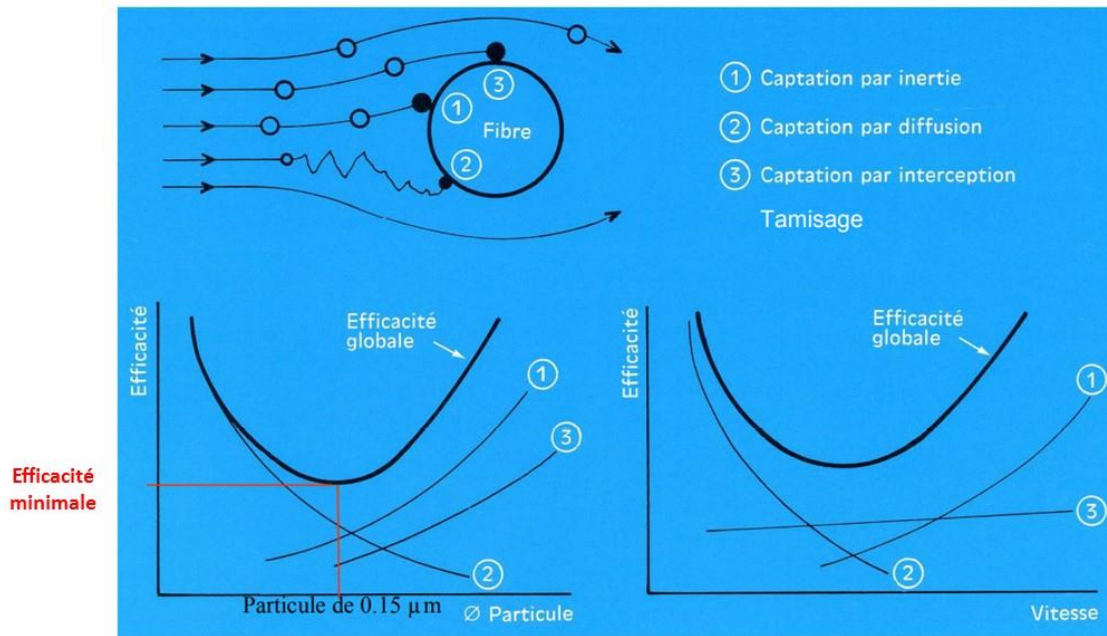
Ces filtres sont homologués par des organismes certifiés (par exemple l'IRSN) qui vérifient en particulier les performances minimales. Les filtres usagés sont des déchets radioactifs qui sont stockés dans les Centres de l'ANDRA.

Les filtres THE retiennent les particules, notamment radioactives, en suspension dans l'air (appelées aérosols), mais pas celle des gaz (gaz rares, formes vapeur et gazeuse du tritium et du carbone 14...).

Les filtres se présentent sous forme de cartouches interchangeables, qui combinent plusieurs mécanismes de piégeage⁵⁹ des aérosols (figure suivante) :

⁵⁹ Pour les iodes (halogènes), les mécanismes de piégeage sont différents.

- * captation par interception (équivalent d'un tamisage, dépendant essentiellement du diamètre de la particule) ;
- * captation par inertie (dépendant essentiellement de la vitesse de la particule) ;
- * captation par diffusion.



Mécanismes de piégeage des aérosols sur un filtre

La figure suivante montre un exemple de filtres THE. Les filtres THE sont toujours montés en parallèle pour permettre leur remplacement sans arrêter la filtration.



Exemple de filtres THE montés en parallèle pour assurer le maintien de la filtration lors du changement de filtre

Dans les installations nucléaires, les filtres THE sont placés :

- * *a minima* au dernier niveau de filtration (DNF) avant rejet cheminée ;
- * si besoin, en fonction des activités de l'installation, en aval immédiat d'un procédé (ou d'un local particulier).

Fond géochimique : concentration d'une substance ou valeur d'un indicateur dans une masse d'eau souterraine correspondant à une absence de modification anthropique, ou seulement à des modifications très mineures, par rapport à des conditions non perturbées.

G

Gaz rares : Gaz dépourvus d'affinité chimique et ne donnant aucun composé. Ce sont le néon, l'hélium, le krypton, le xénon et le radon.

Grès : Roche sédimentaire détritique composée à 85 % au moins de grains de quartz (forme cristalline très commune de la silice SiO₂) plus ou moins arrondis.

H

Halogènes : groupe d'éléments chimiques tels le chlore, l'iode, etc. La réaction nucléaire donne naissance, parmi les produits de fission, à des halogènes gazeux qui ont tendance à ralentir la réaction.

I

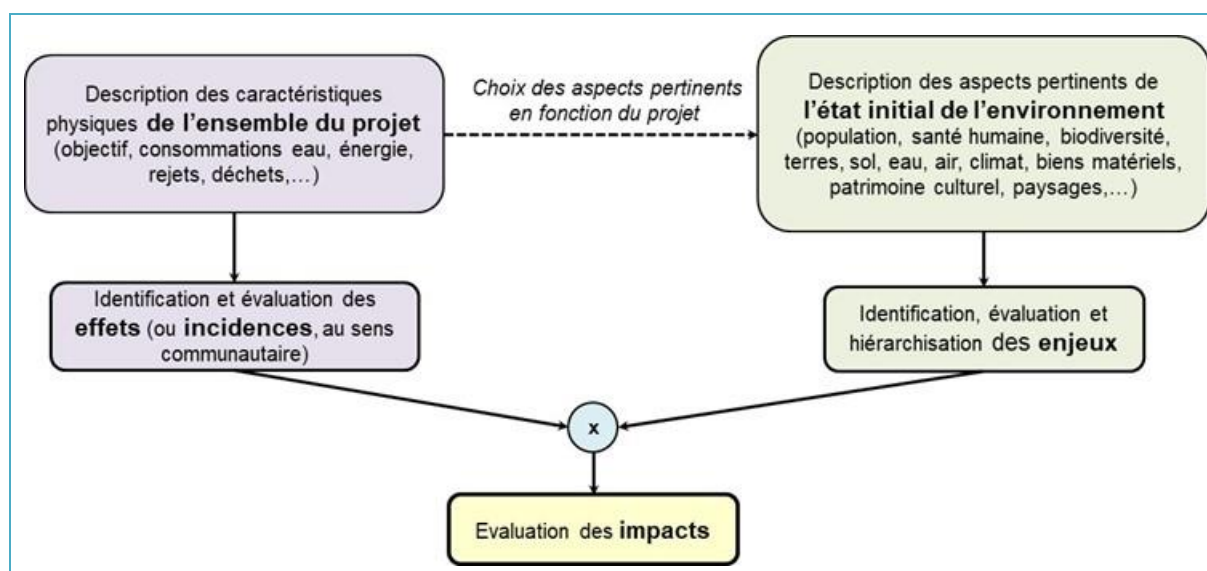
Impact, incidence, effet, enjeu

L'**effet** (ou incidence) représente la **conséquence objective** du projet sur l'élément de l'environnement considéré (par exemple, prélèvement d'une certaine quantité d'eau) : c'est une donnée factuelle, qui ne fait pas intervenir de jugement de valeur.

L'**enjeu** désigne la valeur matérielle ou morale que l'on risque dans n'importe quelle entreprise, et par extension, ce que l'on peut gagner ou perdre (au jeu, dans une compétition, dans une situation, face à un aléa, ...). L'enjeu est plus ou moins fort en fonction de l'importance qu'on lui accorde. La **notion d'enjeu est plus subjective**, et fait intervenir une échelle de valeurs, qui pourra être différente en fonction des personnes, de leur sensibilité, de leur implication dans le projet, etc.

Pour caractériser l'impact global d'un projet industriel, il est nécessaire de déterminer, pour chaque compartiment de l'environnement pris au sens large (population, biodiversité, sols, eau, patrimoine culturel, socio-économie, ...), à la fois l'**enjeu** et l'**effet** engendré par le projet. C'est le **croisement** de ces deux critères qui permettra d'estimer l'**impact** du projet sur le compartiment considéré.

L'impact d'un projet s'évalue au regard de l'**état initial de l'environnement**, avant le projet. Aussi, l'étude d'impact commence par une description des aspects pertinents de l'état initial de l'environnement, susceptibles d'être affectés par le projet.



Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) : Installation qui peut présenter des dangers ou des inconvénients pour la commodité des riverains, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature et de l'environnement, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments et des éléments du patrimoine archéologique. Dans le but de minimiser les risques relatifs à ces installations, la loi définit les procédures relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les ICPE sont régies par le code de l'environnement (titre 1er du livre V).

Installation Nucléaire de Base (INB) : Une Installation Nucléaire de Base appartient à l'une des catégories mentionnées à l'article L. 593 2 du code de l'environnement et répond aux caractéristiques fixées par les articles R. 593-1 à 4 du code de l'environnement. Plus simplement, c'est une installation nucléaire qui, de par sa nature, ou en raison de la quantité ou de l'activité de toutes les substances radioactives qu'elle contient, est soumise à une réglementation spécifique (articles L. 593-1 et suivants et R. 593-1 et suivants du code de l'environnement).

Installation Nucléaire de Base Secrète (INBS) : Régies par les articles L. 1333 15 et suivants du code de la défense, les INBS sont classées « secrètes » par décision du Premier ministre, sur proposition du ministre chargé de la Défense. Ce classement est prononcé lorsqu'une au moins des installations comprises dans le périmètre, dénommée « installation individuelle », présente les caractéristiques techniques fixées par l'arrêté du 31 juillet 2007 fixant les caractéristiques techniques des installations individuelles d'une INBS, intéresse la défense nationale et justifie d'une protection particulière contre la prolifération nucléaire, la malveillance ou la divulgation d'informations classifiées.

Iode : Halogène qui se sublime aisément à température ambiante. Les vapeurs émises sont toxiques et très irritantes pour les yeux et les muqueuses.

Iode 131 : Radionucléide artificiel de période radioactive 8,02 jours, issu de la fission de noyaux lourds (uranium, plutonium, etc.). Il est produit industriellement en réacteur nucléaire. L'iode libre se concentre majoritairement dans la thyroïde (la concentration y est maximale 24 heures environ après l'incorporation). L'iode marqué suit le métabolisme du vecteur sur lequel il est fixé. En raison de son caractère lipophile, son absorption cutanée est très importante.

K

Karst : De la région du Karst, en Croatie. Plateau calcaire ayant une topographie souterraine particulière due à la dissolution de certaines parties du sous-sol (karstification) et au cheminement des eaux dans les galeries naturelles ainsi formées.

Karstification : Dissolution progressive de roches calcaires sous l'effet de la circulation d'eau chargée de gaz carbonique CO₂.

L

Labile : peu stable.

Lapiaz : Du latin *lapis*, pierre. Surface de roche calcaire creusée par dissolution, de trous, de cannelures ou de rigoles.

Limite de Détection (LD) : voir l'encart ci-après.

Limite de Quantification (LQ) : voir l'encart ci-après.

Limite de détection de méthodes d'analyse et termes apparentés⁶⁰

Trois termes sont nécessaires pour caractériser les capacités de détection d'une méthode d'analyse : le seuil de décision (**SD**), la limite de détection (**LD**) et la limite de quantification (**LQ**). Ils sont explicités ci-après.

Signal brut : Il correspond à l'addition d'un signal dû à la grandeur mesurée, appelé **signal net**, et d'un **signal parasite**. Selon la méthode d'analyse, les différentes contributions au signal parasite peuvent être le bruit électronique, le fond spectral, des interférences, des pollutions... Il convient de soustraire le signal parasite au signal

Bruit de fond (bdf) : Le bruit de fond (bdf) en métrologie indique le niveau de comptage induit par l'environnement, la composition des réactifs et l'électronique de l'appareil. C'est un signal parasite, et il convient de le soustraire (utilisation d'un « blanc ») à la valeur de mesure brute pour déterminer l'activité nette contenue dans un échantillon. En terme environnemental, le bruit de fond représente un niveau d'activité mesurée à un point hors influence de toute source de radioactivité artificielle et dont on ne peut s'affranchir.

⁶⁰ Encart inspiré de l'article « Limite de détection de méthodes d'analyse et termes apparentés », Techniques de l'Ingénieur, Réf. P262 V2, publié le 10 mars 2014.

Incertitude de mesure : L'incertitude de mesure, propre à une méthode, est un paramètre associé au résultat d'une **mesure significative**. Elle décrit l'étendue des valeurs possibles dans laquelle se trouve la valeur vraie avec une probabilité prédéfinie. L'incertitude de mesure découle des propriétés de l'instrument, de l'opérateur, de l'environnement de la mesure (température, vibrations), de la procédure de mesure, etc.

Seuil de décision (SD) : Le seuil de décision est défini comme une **valeur significative minimale** d'une activité (ou d'une concentration, ou d'un signal net). Dans le cas de la recherche de très faibles activités, la mesure d'un échantillon peut donner un résultat très proche de celui obtenu lors de la détermination du bruit de fond (bdf) de l'installation de mesure (signal détecté en l'absence du radionucléide recherché).

Compte tenu du caractère aléatoire du processus de désintégration radioactive, un résultat très légèrement supérieur au bruit de fond mesuré ne donne pas l'assurance totale d'une présence de radioactivité, pas plus qu'un résultat très légèrement inférieur à ce même bruit de fond ne garantit l'absence de cette radioactivité.

Le seuil de décision correspond à une valeur de comptage, pour laquelle on estime que, compte-tenu des fluctuations statistiques du bruit de fond, on peut affirmer, **avec un risque faible de se tromper**, qu'un comptage supérieur à cette valeur SD révèle effectivement la présence de radioactivité dans l'échantillon mesuré. Ce risque est appelé « **risque de faux positif** », ou « **risque alpha** », ou encore « **risque de première espèce** ». Il correspond **au risque de déclarer une mesure significative alors que sa valeur vraie est nulle**.

Si par contre la mesure de l'échantillon donne un comptage inférieur à cette valeur SD, on peut seulement affirmer, également avec un risque faible de se tromper, que même si une radioactivité est présente, bien que n'ayant pas été détectée, elle est en tous cas inférieure à la limite de détection (LD), définie ci-après.

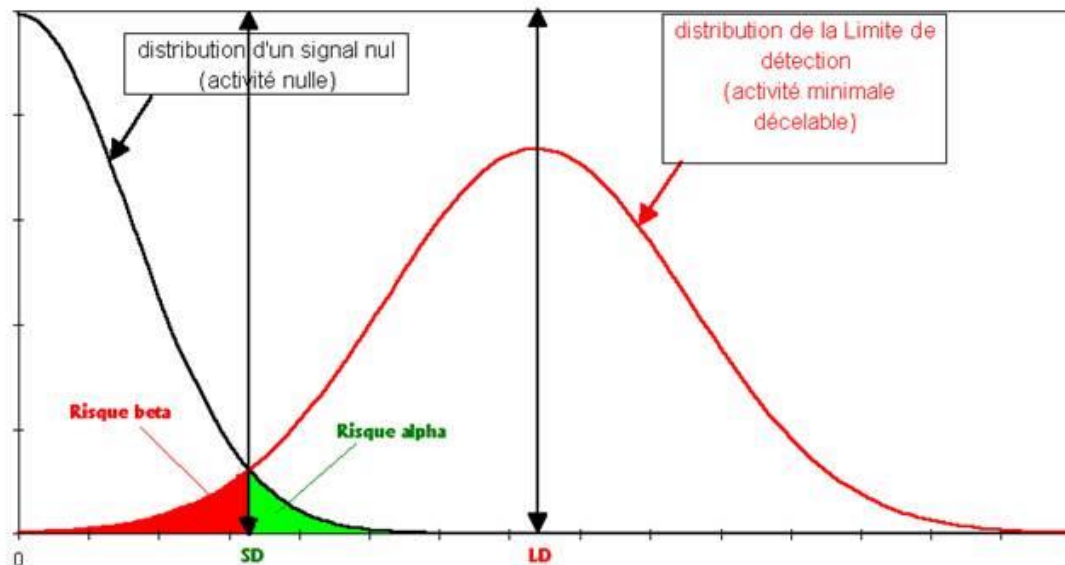
Limite de détection (LD) : la limite de détection est l'activité (ou la concentration, ou le signal net) pour laquelle le risque que la valeur de mesure soit inférieure au seuil de décision est égal à bêta. Le « **risque bêta** », ou « **risque de faux négatif** », ou encore « **risque de seconde espèce** », revient à déclarer à tort la mesure comme étant non significative.

Selon les techniques de mesure, la limite de détection (LD) est approximativement égale au double du seuil de décision (SD).

Le risque alpha et le risque bêta peuvent être égaux ou différents.

Dans la « décision environnement » de l'ASN (décision 2013-DC-0360 du 16 juillet 2013 modifiée), les seuils de décision minimaux des mesures dans l'environnement sont donnés pour un risque alpha de 2,5 % (cf. annexe 1).

La figure ci-après illustre les notions de seuil de décision et de limite de détection.



Limite de Quantification : La limite de quantification correspond à la valeur de l'activité (ou de la concentration, ou du signal net) au-dessous de laquelle la valeur de la mesure est jugée trop incertaine pour apporter une véritable quantification.

Risque de première espèce : Risque de déclarer la présence d'une substance dans un échantillon alors qu'elle en est absente. En métrologie, cette notion est aussi désignée sous le terme de « **risque alpha** ».

Risque de seconde espèce : Risque de déclarer l'absence d'une substance dans un échantillon alors qu'elle y est présente. En métrologie, cette notion est aussi désignée sous le terme de « **risque bêta** ».

Valeur non significative : Une valeur est dite non significative lorsqu'elle est inférieure au seuil de décision. Les résultats non significatifs sont exprimés : « inférieurs au seuil de décision » ($< SD$).

Liquéfaction des sols : La liquéfaction des sols est un phénomène géologique qui se produit sous sollicitation sismique. Le passage d'une onde sismique provoque, dans certaines formations géologiques granulaires et saturées en eau, leur perte de résistance, provoquant ainsi l'enfoncement des objets lourds situés en surface. C'est un phénomène qui dépend à la fois de facteurs géologique, hydrogéologique et sismique.

M

Magnitude : Voir l'encart sur le séisme.

Marnes : Roche sédimentaire constituée d'un mélange de calcaire et d'argile.

Masse d'eau souterraine : Volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou plusieurs aquifères. La délimitation des masses d'eaux souterraines est fondée sur des critères hydrogéologiques, puis éventuellement sur la considération de pressions anthropiques importantes. Une masse d'eau correspond d'une façon générale à une zone d'extension régionale représentant un aquifère ou regroupant plusieurs aquifères en communication hydraulique, de taille importante.

Meilleure Technique Disponible (MTD)

La MTD, ou Meilleure Technique Disponible, est définie en priorité par rapport à son efficacité pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement. Elle vise à prévenir ou réduire de manière intégrée les pollutions et les consommations, et l'impact sur l'environnement dans son ensemble. Elles correspondent à 1) des procédés industriels, 2) des techniques de traitement des émissions et rejets, 3) des mesures organisationnelles et bonnes pratiques auxquelles sont associés des niveaux d'émissions ou de performance.

La MTD a été élaborée en application de la Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, qui vise à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union européenne, en se basant sur plusieurs principes, à savoir : 1) une approche intégrée, 2) les meilleures techniques disponibles, 3) la flexibilité et 4) la participation du public.

Les MTD sont répertoriées dans des documents de référence appelés « **BREFs** » (*Best Available Techniques reference documents*).

La Directive n° 2010/75/UE du 24/11/10 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution), renforce le rôle des MTD définies dans les documents de référence. Sauf dérogations accordées par les pouvoirs publics, les valeurs limites d'émission des arrêtés d'autorisation ne devront pas, à terme, excéder les niveaux d'émissions associés aux MTD.

N

NGF : Nivellement Général de la France. Il constitue un réseau de repères altimétriques disséminés sur le territoire français métropolitain continental, ainsi qu'en Corse, dont l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) a la charge. Pour la métropole, le « niveau zéro » est déterminé par le marégraphe (instrument permettant de mesurer le niveau de la mer) de Marseille. L'altitude repérée dans ce système est exprimée en mètres NGF (**m NGF**).

- × Norme de Qualité Environnementale (NQE)
- × Une Norme de Qualité Environnementale ou NQE est définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ».
- × Elles peuvent être exprimées en moyenne annuelle (NQE-MA) pour les expositions chroniques, et en concentration maximale admissible (NQE-CMA) pour les expositions aiguës.

- * Les Normes de Qualité Environnementale sont définies dans le contexte réglementaire de la Directive Cadre sur l'Eau, ou DCE (2000/60/EC) qui établit une politique communautaire pour la gestion des eaux intérieures de surface, des eaux souterraines, des eaux de transition (eaux estuariennes) et des eaux côtières, afin de prévenir et de réduire leur pollution, de promouvoir leur utilisation durable, de protéger leur environnement, d'améliorer l'état des écosystèmes aquatiques et d'atténuer les effets des inondations et des sécheresses. Afin de prévenir et réduire la pollution des eaux, les concentrations dans le milieu sont ainsi comparées à une NQE. La détermination de ces normes suit une méthodologie spécifique qui a été élaborée au niveau européen (Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards).
- * Les Normes de Qualité Environnementale sont utilisées dans le contexte de la DCE pour 2 types d'évaluation :
- * **Évaluation de l'état chimique**, qui concerne les substances « prioritaires » et « dangereuses prioritaires » de la DCE. Pour l'évaluation de l'état chimique, les NQE sont déterminées au niveau européen, par la Commission et en consensus avec les États Membres de l'Union Européenne. La liste des substances prioritaires et les NQE qui y sont associées sont revues tous les 4 ans. Le 12 août 2013, une seconde Directive fille de la DCE (2013/39/EC) révisant la DCE (2000/60/EC) et la première Directive fille déterminant les NQE pour les eaux de surface (2008/105/EC) a été publiée. Elle fournit la nouvelle liste des substances prioritaires et leurs NQE associées. Ces NQE, reportées dans la base de données du Portail Substances Chimiques, sont présentées avec une mention « UE (2013) » afin que les utilisateurs puissent les reconnaître comme des valeurs ayant fait l'objet d'un consensus européen et comme des seuils à valeur réglementaire incluses dans cette Directive fille 2013/39/EC.
- * **Évaluation de l'état chimique dans l'état écologique**, qui concerne les polluants spécifiques de l'état écologique (**PSEE**) de la DCE, et dont la liste est établie au **niveau national** sur la base de la liste indicative fournie en Annexe VIII de la DCE. Les QSeco (valeurs intégratrices des mêmes objectifs de protection que les NQE, hors santé humaine) de ces substances d'intérêt national sont déterminées au niveau national. En France, l'INERIS fait des propositions de **Valeurs Guides Environnementales (VGE)**, au Ministère en charge de l'environnement, via sa convention avec l'ONEMA (maintenant inclus dans l'Agence Française pour la Biodiversité). Ces VGE peuvent être reprises par le Ministère en charge de l'environnement et s'appliquer aux substances de l'état écologique dans des arrêtés de portée nationale (à ce jour, c'est l'arrêté du 27/07/2015 qui s'applique). Elles sont alors considérées comme des seuils à valeur réglementaire, c'est-à-dire des NQE.

P

Paléoséisme : Voir l'encart sur le séisme.

Période radioactive et période biologique : Une molécule non radioactive absorbée par l'organisme disparaîtra progressivement par les voies naturelles selon une loi du même type que celle de la décroissance naturelle de la radioactivité. Au bout d'un temps t , il ne restera plus que la moitié de la substance considérée, au bout de $2*t$, il restera le quart, au bout de $3*t$, le $8^{ème}$, etc. Le paramètre t est appelé période biologique. Un produit radioactif ingéré décroît donc à la fois par sa période radioactive et par sa période biologique.

Piézomètre : Du grec *piezein*, presser, et *metron*, mesurer. Dispositif consistant en un tube enfoncé verticalement dans le sol par sondage et servant à mesurer la pression de l'eau avec laquelle il est en contact à son extrémité inférieure (niveau piézométrique).

Plan Local d'Urbanisme (PLU) : Le plan local d'urbanisme remplace le POS (Plan d'Occupation des Sols) en application des modifications du code de l'urbanisme apportées par la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbains) du 13 décembre 2000. Il est défini en quatre zones : U zone Urbaine, AU zone A Urbaniser, N zone Naturelle et A zone Agricole.

Plasma : Milieu constitué d'atomes plus ou moins ionisés, d'électrons libres et de photons.

PNEC : Predicted No Effect Concentration – Concentration prévisible sans effet sur les organismes vivants.

Q

Quotient de Danger : voir l'encart sur la caractérisation du risque sanitaire.

R

Radioélément : Toute substance radioactive. Seul un petit nombre de radioéléments existent naturellement : il s'agit de quelques éléments lourds (thorium, uranium, radium...) et de quelques éléments légers (tritium, carbone 14, potassium 40). Les autres, dont le nombre dépasse 1500, sont créés artificiellement en laboratoire, par exemple pour des applications médicales ou dans les réacteurs nucléaires sous forme de produits de fission ou d'activation.

Radionucléide : Espèce atomique radioactive, définie par son nombre de masse, son numéro atomique et son état énergétique nucléaire (*cf.* annexe 13-7 du code de la santé publique).

Radioprotection : La radioprotection est définie comme l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes directement ou indirectement, y compris lors des atteintes portées à l'environnement.

Rayonnement ionisant : Processus de transmission d'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques (photons gamma) ou de particules (alpha, bêta, neutrons) capable de produire directement ou indirectement des ions en traversant la matière. Les rayonnements ionisants sont produits par des sources radioactives. En traversant les tissus vivants, les ions provoquent des phénomènes biologiques pouvant entraîner des lésions dans les cellules de l'organisme.

Rejet (liquide ou atmosphérique) : voir encart sur les effluents, transferts et rejets.

Risque sanitaire (caractérisation du) :

Excès de Risque Individuel (ERI) : Probabilité pour un individu exposé de développer l'effet lié à la pollution étudiée. Selon le Ministère en charge de l'environnement et l'INERIS, l'excès de risque individuel ne doit pas dépasser 10^{-5} pour être considéré comme « non préoccupant ». L'ERI est employé pour les substances ayant des effets sans seuil de dose.

Excès de Risque Unitaire (ERU) : Excès attendu de cas d'une pathologie donnée, consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 1 unité de la substance A.

Quotient de Danger : Rapport de la dose d'exposition d'un individu ou d'un groupe d'individus par la dose sans effet estimée. La valeur repère du QD est de 1. Si la valeur du QD dépasse la valeur de 1, des effets sont susceptibles de se produire. Le QD est employé pour les substances ayant des effets à seuil de dose.

Valeur Toxicologique de Référence (VTR) : Indices caractérisant le lien entre l'exposition de l'homme à une substance toxique et l'occurrence ou la sévérité d'un effet nocif observé. Les VTR sont principalement établies par des instances internationales ou nationales. Elles sont construites à partir des relations dose-effet observées, et sont spécifiques d'un effet, d'une voie et d'une durée d'exposition. Leur construction et leur définition diffèrent selon que l'on considère un seuil de toxicité ou l'absence de seuil.

Repère en concentration atmosphérique (RCA) : Afin de prendre en compte le risque d'exposition interne, une grandeur opérationnelle, nommée repère en concentration atmosphérique, est définie. Elle correspond, pour un radionucléide donné, à l'activité volumique moyenne (Bq/m^3) qui conduit, suite à l'exposition d'un travailleur pendant une heure, à une dose efficace engagée de $25 \mu Sv$.

S

Scintillation liquide : Les techniques de mesure d'activité par scintillation liquide sont apparues il y a une cinquantaine d'années et se sont imposées dans les domaines des sciences de la vie et de la terre, de la surveillance de l'environnement et en métrologie fine de la radioactivité. Ces techniques consistent à mélanger la solution radioactive à mesurer à un liquide scintillant et à transformer les rayonnements ionisants, consécutifs aux désintégrations radioactives, en lumière, détectable et quantifiable.

Séismes

Magnitude : La magnitude est l'énergie libérée par un séisme. C'est une mesure intrinsèque au séisme, indépendante du lieu d'observation, des témoignages de la population, etc. La notion de magnitude a été introduite en 1935 par l'Américain Charles Francis Richter pour les séismes locaux californiens afin d'estimer l'énergie libérée au foyer d'un tremblement de terre et pouvoir ainsi comparer les séismes entre eux. On parle depuis de « l'échelle de Richter ».

Paléoséisme : Séisme ancien, sans mémoire historique, mais dont la géologie a gardé des traces.

Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable (SMHV) : Séisme de référence, obtenu en déplaçant dans leur position la plus pénalisante les séismes maximaux historiquement connus associés à chaque faille ou zone.

Séisme Majoré de Sûreté (SMS) : Séisme qui servira de référence pour la conception des bâtiments. Il est obtenu en augmentant arbitrairement la magnitude du SMHV de 0,5.

Seuil de Décision (SD) : voir l'encart sur la limite de détection (LD).

Sievert (symbole Sv) : Les effets biologiques des rayonnements sur un organisme exposé, selon sa nature et les organes exposés, se mesurent en sievert et s'expriment également en « équivalent de dose ». L'unité la plus couramment utilisée est le milliSievert, ou millième de sievert.

Spectre : Un spectre radiologique est la répartition en % des différents radionucléides ou des différents types de radionucléides.

Supraconducteur : En dessous d'une certaine température dite critique, un matériau peut passer à l'état supraconducteur, il se caractérise alors par deux propriétés spécifiques. Premièrement il n'oppose plus aucune résistance au passage d'un courant électrique. Sa résistivité tombe à zéro et le courant peut circuler dans le matériau sans dissipation d'énergie. Deuxièmement un champ magnétique extérieur suffisamment faible ne peut pas pénétrer à l'intérieur du supraconducteur, il reste seulement à sa surface. Ce phénomène d'expulsion est nommé « effet Meissner », du nom du physicien qui l'observa la première fois en 1933.

Synoptique : en météorologie, il qualifie plus particulièrement les phénomènes atmosphériques dont l'ordre de grandeur est de quelques milliers de kilomètres pour les dimensions horizontales, de quelques kilomètres pour la dimension verticale). Par exemple, on parle de « vent synoptique » pour le vent régnant en altitude.

T

Temps de retour (ou période de retour) : Moyenne de la durée de l'intervalle séparant deux occurrences consécutives de l'événement considéré. Se traduit statistiquement comme suit : un événement de temps de retour T a une probabilité de $1/T$ d'être atteint ou dépassé dans l'année. Par exemple, pour un cours d'eau donné à un endroit donné, la crue de temps de retour 10 ans (crue décennale) a 1 chance sur 10 d'être atteinte ou dépassée dans l'année.

Terme source : Le terme source est défini comme étant la quantité de matière radioactive ajoutée présente sur l'installation.

Terme source mobilisable : Activité susceptible d'être mise en suspension.

Terme source mobilisé : Activité effectivement mise en suspension dans l'atmosphère du chantier, et *in fine* reprise par la ventilation nucléaire de l'installation.

Terme source environnement : Activité rejetée dans l'environnement.

Tokamak : Chambre torique de confinement magnétique destinée à l'étude des plasmas. Le tokamak est une machine expérimentale conçue pour exploiter l'énergie de la fusion. Dans l'enceinte d'un tokamak, l'énergie générée par la fusion des noyaux atomiques est absorbée sous forme de chaleur par les parois de la chambre à vide. Tout comme les centrales électrogènes classiques, une centrale de fusion utilisera cette chaleur pour produire de la vapeur, puis, grâce à des turbines et à des alternateurs, de l'électricité.

Transfert (liquide) : voir encart sur les effluents, transferts et rejets.

Transformation adiabatique (sèche) de l'air atmosphérique : Changement d'altitude, donc changement de pression, d'une parcelle d'air sans échange de chaleur avec l'air environnant. L'élévation d'une parcelle d'air la refroidit d'environ 1°C/100m.

Transformation pseudo-adiabatique de l'air atmosphérique saturé : Même processus que pour l'air sec mais accompagné de condensation de la vapeur d'eau lors de l'ascension (formation de nuage) et d'évaporation à la descente. La condensation dégage de la chaleur latente qui réchauffe la parcelle d'air ; dans ce cas l'élévation d'une parcelle d'air la refroidit d'environ 0,5°C/100m.

Transuraniens : Famille des éléments chimiques plus lourds que l'uranium (numéro atomique 92). Les principaux sont : Neptunium (93), Plutonium (94), Américium (95), Curium (96). Ils font également partie de la famille des actinides. Neptunium, Américium et Curium sont dits des « actinides mineurs » car en plus faible quantité que le Plutonium dans les combustibles irradiés. Dans un réacteur, ils dérivent de l'uranium lors de réactions secondaires, autres que la fission.

Travertins : Les travertins sont des roches sédimentaires calcaires à aspect concrétionné. Ils se déposent aux émergences de certaines sources, et dans les cours d'eau peu profonds à petites cascades : ils sont dus à la précipitation de carbonates, qui est activée par les turbulences et la perte de CO₂.

Tritium : Le tritium est un émetteur bêta (β), de période de 12,3 ans. Sa présence dans l'environnement a deux origines : soit naturelle, suite à l'interaction des neutrons cosmiques sur l'azote ou l'oxygène, soit anthropique, avec plusieurs sources possibles comme l'émission et la décroissance des retombées liées aux anciens essais nucléaires atmosphériques, les installations de traitement et recyclage de combustibles irradiés, les réacteurs nucléaires, etc. Il peut exister sous des formes physiques très différentes : sous forme d'hydrogène gaz (**HT**), d'eau ou de vapeur d'eau (**HTO**) ou de méthane (CH₃T). Dans les échantillons du règne végétal ou animal, on le trouve souvent associé à la fraction eau libre, mais il peut être inclus dans les composés organiques sous forme de tritium organiquement lié (**TOL**). Dans ce cas, 2 formes existent : i) la fraction dite échangeable ou labile (**TOL-E**) où il est lié à des atomes d'oxygène, de soufre et d'azote ; ii) la fraction dite non échangeable (**TOL-NE**) où il est lié aux atomes de carbone.

Trophique : propre à l'alimentation, ou qui concerne celle-ci. **Réseau trophique** : Un réseau trophique se définit comme l'ensemble des relations alimentaires entre espèces au sein d'une communauté et par lesquelles l'énergie et la matière circulent.

V

Valeur Guide Environnementale (VGE) : voir l'encart sur les Normes de Qualité Environnementale (NQE).

Valeur seuil : Norme de qualité d'une eau souterraine fixée selon la méthodologie de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié. Les valeurs seuils sont fixées de façon à permettre de constater que les conditions nécessaires pour atteindre le bon état chimique d'une masse d'eau ou d'un groupe de masses d'eau souterraine sont remplies.

Valeur Toxicologique de Référence (VTR) : Voir l'encart sur la caractérisation du risque sanitaire.

Vent catabatique : Vent dévalant les pentes par effet thermique : le refroidissement nocturne du sol (par rayonnement) entraîne un refroidissement de l'air à son contact. Cet air froid étant plus dense et donc plus lourd que l'air qui l'environne, glisse par effet de densité le long de la pente vers le fond de vallée. Les vents catabatiques se produisent donc par nuit claire (qui permet le refroidissement nocturne) et en conditions de vents calmes, un vent fort pouvant contrecarrer le vent de pente.

Références

Cette partie présente une liste, non exhaustive, des principales références réglementaires s'appliquant aux études d'impact, ainsi que des principales références bibliographiques qui ont permis d'étayer le document.

3. Références réglementaires

Ce chapitre donne un aperçu, non exhaustif, de la réglementation applicable aux installations nucléaires de base (principaux textes réglementaires, dispositions générales et particulières) notamment vis-à-vis de l'élaboration de l'étude d'impact de l'installation PEGASE lors de sa rédaction en 2019.

3.1- Textes communautaires

Il s'agit en particulier des textes édités par le Parlement Européen, le conseil de l'Union Européenne, et la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM, instituée par le traité du 25 mars 1957).

- * Directive 2009/71/EURATOM du Conseil du 25 juin 2009 établissant un cadre communautaire pour la sûreté nucléaire des installations nucléaires.
- * Directive 2011/70/EURATOM du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs.
- * Directive 2011/92/UE du Parlement Européen et du Conseil du 13 décembre 2011 modifiée⁶¹ concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement.
- * Directive 2013/59/Euratom du Conseil du 5 décembre 2013 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire contre les dangers résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants et abrogeant les directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom et 2003/122/Euratom.

3.2- Cadre législatif français

- * Code de l'environnement.
- * Code de la santé publique.
- * Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. [dite « loi Grenelle 1 »].
- * Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement. [dite « loi Grenelle 2 »].
- * Loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages.
- * Décret n° 2014-220 du 25 février 2014 relatif au système d'échange de quotas d'émission de gaz à effet de serre (période 2013-2020) et à son extension aux équipements et installations de certaines installations nucléaires de base.
- * Décret n° 2017-542 du 23 février 2017 pris pour l'application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

⁶¹ Directive n° 2014/52/UE du 16 avril 2014 modifiant la directive 2011/92/UE concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement.

- * Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.
- * Arrêté du 2 février 1998 modifié relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.
- * Arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. [dit « arrêté INB »].

L'arrêté INB de 2012 a abrogé et remplacé trois arrêtés relatifs aux installations nucléaires de base :

- * arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base ;
 - * arrêté du 26 novembre 1999 fixant les prescriptions techniques générales relatives aux limites et aux modalités des prélèvements et des rejets soumis à autorisation, effectués par les installations nucléaires de base ;
 - * arrêté du 31 décembre 1999 (modifié par l'arrêté du 31 janvier 2006) fixant la réglementation technique générale destinée à prévenir et limiter les nuisances et les risques externes résultant de l'exploitation des installations nucléaires de base.
 - * Il comporte également des dispositions issues des travaux d'harmonisation réalisés par l'association des autorités de sûreté nucléaire européennes WENRA⁶², ainsi que de la pratique du contrôle des activités nucléaires. Il transpose également aux INB certaines dispositions communautaires.
 - * L'arrêté « INB » fixe les règles générales applicables à la conception, la construction, le fonctionnement, la mise à l'arrêt définitif, le démantèlement, l'entretien et la surveillance des INB, pour assurer la protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du code de l'environnement (sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement).
- * Décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de Sûreté Nucléaire du 16 juillet 2013 modifiée⁶³ relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base⁶⁴. [Dite décision « environnement », homologuée par arrêté ministériel du 9 août 2013].
 - * Décision n° 2014-DC-0420 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 13 février 2014 relative aux modifications matérielles des installations nucléaires de base.

⁶² L'association de responsables d'Autorités de sûreté nucléaire des pays d'Europe de l'Ouest (WENRA) a été créée en février 1999.

⁶³ Modifiée par la décision n° 2016-DC-0569 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 septembre 2016.

⁶⁴ Cette décision complète les modalités d'application des décrets et arrêtés relatifs aux installations nucléaires de base, notamment celles de l'arrêté INB pour ce qui concerne les prélèvements d'eau, les rejets d'effluents dans le milieu récepteur ou les nuisances de ces installations pour le public et l'environnement. Elle ne concerne pas les déchets à l'exception de la déclaration des dispositions du chapitre II du titre V du code de l'environnement. Elle ne s'applique pas aux situations d'urgence.

3.3- Réglementation spécifique applicable au Centre de Cadarache

- * Arrêté n° 2020-497-PC mettant à jour l'ensemble des prescriptions applicables au Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA) de Cadarache pour l'exploitation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) de son site de Saint-Paul-Lez-Durance qui a remplacé l'arrêté préfectoral n° 113-2006-A du 25 septembre 2006 imposant des prescriptions complémentaires au Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Dit arrêté « ICPE CEA ». Cet arrêté a été remplacé par l'arrêté n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022].
- * Arrêté préfectoral du 3 mai 2010 imposant des prescriptions complémentaires, dans le cadre des rejets de substances dangereuses dans le milieu aquatique, au Centre de l'Énergie Atomique à Saint-Paul-lez-Durance.
- * Arrêté interpréfectoral n° 27-2014 du 30 décembre 2014 portant relèvement du débit minimal à laisser en rivière à l'aval du barrage de Cadarache, sur la Durance – Communes de Saint-Paul-lez-Durance (13) et Beaumont-de-Pertuis (84).
- * Décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Homologuée par arrêté ministériel du 21 septembre 2017, cette décision dite « décision limites » remplace la décision n° 2010-DC-0172 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].
- * Décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de transfert et de rejets des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Cette décision dite « décision modalités » remplace la décision n° 2010-DC-0173 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].
- * Arrêté n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 mettant à jour l'ensemble des prescriptions applicables au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) de Cadarache pour l'exploitation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) de son site de Saint-Paul-lez-Durance. [Cet arrêté remplace l'arrêté 113-2006-A du 25 septembre 2006, dit « arrêté ICPE-CEA »].

4. Références bibliographiques

4.1- Documents

- * Étude d'impact de l'ensemble du site de Cadarache. Téléchargeable sur : <http://cadarache.cea.fr/cad/Pages/Environnement/impact-centre.aspx>
- * Étude d'impact du Dossier d'Autorisation de Création (DAC) d'ITER. Consultable sur : <https://www.iter.org/fr/dac>
- * Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) du Ministère de l'environnement (2013) - Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur les milieux naturels. Octobre 2013.
- * STRATER, Diagnostic Provence-Alpes-Côte d'Azur (2016).
- * Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée 2022-2027.
- * Guide relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau). Guide technique édité par le Ministère de l'environnement. Mars 2016.
- * OMS – Directives pour la qualité de l'eau potable. 4ème édition, 2011.
- * ICRP, 2007. Scope of Radiological Protection Control Measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).
- * INERIS (2016) – Choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR), Méthode appliquée par l'INERIS, Impact des activités humaines sur la santé. Décembre 2016.
- * ADEME (2014) - Documentation des facteurs d'émissions de la Base Carbone de l'ADEME – version 11.0.0 du 18 novembre 2014.
- * Provence-Alpes-Côte d'Azur, une région face au changement climatique. Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juin 2015.
- * Climat et changement climatique en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GREC-PACA édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), mai 2016.
- * Les ressources en eau et le changement climatique en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Les cahiers du GRECPACA, édités par l'Association pour l'innovation et la recherche au service du climat (AIR), juillet 2017.

4.2- Sites Internet

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

<http://www.georisques.gouv.fr/>

<http://www.airpaca.org/>

<http://www.grec-paca.fr/>

<http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur>

<http://www.sandre.eaufrance.fr/>

<http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/>

<http://www.smavd.org/>

<https://substances.ineris.fr/fr/>

<http://www.irsn.fr/>

<https://www.asn.fr/>

Annexes

- Annexe 1 Récapitulatif des limites de transferts et de rejets, et des seuils de décision des mesures de radioactivité dans l'environnement

- Annexe 2 Modalités de surveillance de l'environnement du site de Cadarache

- Annexe 3 Contexte institutionnel relatif au climat et à la qualité de l'air

- Annexe 4 Contexte institutionnel relatif à la qualité de l'eau et des milieux aquatiques

Annexe 1 : Récapitulatif des limites de transferts et de rejets, et des seuils de décision des mesures dans l'environnement

1. Limites réglementaires de transferts et de rejets

1.1- Introduction

Les transferts et rejets des effluents liquides et atmosphériques des installations du Centre de Cadarache sont réglementés, par arrêté préfectoral ou décisions de l'ASN (parfois homologuées par arrêté ministériel).

440

Annexe 1

L'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 réglemente les **rejets**, après traitement à la station d'épuration (STEP), des **effluents liquides de l'ensemble des installations** présentes sur le site du CEA de Cadarache en Durance.

Des **limites réglementaires concernant les transferts d'effluents liquides et les rejets atmosphériques des INB** sont fixées en application de décisions de l'Autorité de Sûreté Nucléaire, après instruction des propositions du CEA. Pour Cadarache, deux décisions ASN sont actuellement en vigueur :

- * Décision n° 2017-DC-0596 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les limites de rejets dans l'environnement des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Homologuée par arrêté ministériel du 21 septembre 2017, cette décision dite « décision limites » remplace la décision n° 2010-DC-0172 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].
- * Décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 fixant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau, de transfert et de rejets des effluents des installations nucléaires de base civiles du centre de Cadarache exploitées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) sur la commune de Saint-Paul-Lez-Durance (département des Bouches-du-Rhône). [Cette décision dite « décision modalités » remplace la décision n° 2010-DC-0173 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010].

Les limites de rejets sont calées au plus près des possibilités techniques des exploitants, tout en tenant compte des aléas normaux d'exploitation.

Le dépassement d'une limite de rejet constitue en effet un incident et est traité comme tel (déclaration obligatoire, instruction de l'anomalie et de ses conséquences). Elles doivent également avoir un caractère incitatif pour que les exploitants restent vigilants dans leur démarche permanente de réduction des rejets.

1.2- Limites de transferts d'effluents liquides radioactifs l'ensemble du Centre de Cadarache

Limite d'activité volumique des effluents transférables dans le réseau des effluents industriels

La décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017 fixe les limites maximales d'activité volumique des effluents radioactifs produits par les installations qui peuvent être transférés dans le réseau des effluents industriels (REI) du Centre de Cadarache. Elles sont présentées dans le tableau suivant :

Limites maximales d'activité volumique pour le transfert d'effluents liquides radioactifs dans le Réseau des Effluents Industriels fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 (Bq/L)		
Tritium	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
74 000	74	10

Tableau 183 : Limites maximales d'activité volumique pour le transfert d'effluents liquides dans le Réseau des Effluents Industriels du Centre de Cadarache

Les effluents radioactifs sont considérés comme **actifs** lorsque leur activité volumique est supérieure ou égale à ces valeurs.

Concentrations maximales des effluents industriels en entrée de STEP/EI

La décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017 impose que le transfert des effluents industriels produits par les INB ne conduit pas à des concentrations en entrée de la station des effluents industriels du Centre de Cadarache qui dépassent les valeurs indiquées dans le tableau ci-après.

Concentrations maximales des effluents industriels en entrée de STEP/EI fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017	
Paramètre	Concentration maximale (mg/L) en moyenne journalière
Matières En Suspension (MES)	70
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	120
Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (DBO5)	50
Azote global	50
Phosphore total	20
Cyanures	0,1
Chrome hexavalent et composés (en Cr)	0,1
Plomb et composés (en Pb)	0,3
Cuivre et composés (en Cu)	0,2
Chrome et composés (en Cr)	0,2
Nickel et composés (en Ni)	0,4
Zinc et composés (en Zn)	2
Manganèse et composés (en Mn)	0,2
Etain et composés (en Sn)	0,2
Fer et composés (en Fe)	2,5
Aluminium et composés (en Al)	2,5

Concentrations maximales des effluents industriels en entrée de STEP/EI fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 juillet 2017	
Paramètre	Concentration maximale (mg/L) en moyenne journalière
Composés organiques halogénés (en AOX ou EOX)	0,7
Hydrocarbures totaux (Ht)	5
Fluor et composés (en F)	3
Mercure (Hg)	0,04
Cadmium (Cd)	0,2
Arsenic (As)	0,05
Sulfates (SO ₄)	700
Chlorures (Cl)	200
Bore (Bo)	0,5

Tableau 184 : Concentrations maximales des effluents industriels en entrée de STEP/EI

1.3- Limites réglementaires de rejet des effluents liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache

Limites annuelles maximales d'activité des effluents liquides rejetés par l'ensemble du Centre

L'activité annuelle des effluents liquides rejetés par l'ensemble du Centre de Cadarache ne doit pas dépasser les limites suivantes, fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 :

Limites annuelles maximales d'activité des rejets liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27/10/2022 (GBq/an)			
Tritium	Carbone 14	Autres émetteurs bêta-gamma	Emetteurs alpha
1 000	0,5	1,5	0,13

Tableau 185 : Limites annuelles d'activité des rejets liquides de l'ensemble du Centre de Cadarache

Valeurs maximales journalières pour le rejet des effluents liquides en Durance

L'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 fixe également des valeurs maximales journalières pour le rejet des effluents liquides en Durance :

Valeurs limites journalières de rejets liquides pour l'ensemble du Centre de Cadarache fixées par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 (article 4.4.2.1)		
Débit maximum des effluents industriels	300 m ³ /h (sur échantillon moyen 24h), avec une moyenne journalière de 200 m ³ /h	
Débit maximum des effluents sanitaires	50 m ³ /h (sur échantillon moyen 24h)	
Débit journalier des effluents rejetés	4 000 m ³ /j en maximum journalier, avec une moyenne journalière mensuelle de 3 000 m ³ /j	
pH	Entre 5,5 et 8,5 (sur échantillon moyen 24h)	
Température	30°C (sur échantillon moyen 24h)	
Caractéristiques physico-chimiques contrôlées	Valeur maximale sur échantillon moyen 24h (mg/L)	Flux journalier maximal (kg/j)
Matières En Suspension (MES)	35	80
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	100	225
Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (DBO5)	30	70
Hydrocarbures totaux	5	10
Azote global	30	70
Phosphore	10	22,5
Sulfates	500	1125
Chlorures	200	450
Bore	0,5	1
Aluminium	2,5	5
Cuivre et ses composés	0,15	0,6
Fer	2,5	5
Zinc	0,8	4,5
AMPA	0,45	1,8
Fluorures	1	2,25
Radionucléides contrôlés	Valeur maximale sur échantillon moyen 24h (Bq/L)	Flux journalier maximal (Bq/j)
Tritium	1E+04	22,5E+09
Ensemble des radionucléides autres que le tritium	100	225E+06

Tableau 186 : Valeurs limites journalières des rejets d'effluents liquides pour l'ensemble du Centre de Cadarache

2. Seuils de décision (SD) des mesures sur échantillons prélevés dans l'environnement

2.1- Seuils de décision minimaux demandés par la décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 modifiée

L'article 3.3.4. – I. de la décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 modifiée (dite « décision environnement ») exige que les techniques de prélèvement et de mesure mises en œuvre dans le cadre de la surveillance de l'environnement permettent de garantir des seuils de décision ne dépassant pas les valeurs suivantes (calculées pour un risque de première espèce alpha égal à 2,5 %) :

- * pour la détermination de l'activité bêta globale des aérosols : $2,5 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³ (pour un prélèvement de 24 heures) ;
- * pour la détermination de l'activité alpha globale des aérosols : $5 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³ (pour un prélèvement de 24 heures) ;
- * pour la mesure par spectrométrie gamma des aérosols : 10^{-5} Bq/m³ en césium 137 sur un regroupement mensuel de filtres, et $5 \cdot 10^{-5}$ Bq/m³ en césium 137 dans les autres cas ;
- * pour la mesure du tritium atmosphérique : 0,5 Bq/m³ ;
- * pour la mesure du carbone 14 atmosphérique : 0,1 Bq/m³ ;
- * pour la détermination de l'activité bêta globale dans l'eau (hors eau de mer) : 0,25 Bq/L ;
- * pour la détermination de l'activité alpha globale dans l'eau : 0,05 Bq/L ;
- * pour la mesure du tritium libre dans l'eau : 10 Bq/L ;
- * pour la mesure du tritium dans les matrices biologiques : 10 Bq/L (eau obtenue par combustion ou lyophilisation) ;
- * pour la mesure par spectrométrie gamma dans les matrices biologiques : 0,5 Bq/kg frais en césium 137 (pour les matrices consommées) ou 0,5 Bq/kg sec en césium 137 (pour les matrices non consommées).

2.2- Seuils de décision des mesures sur les échantillons prélevés dans l'environnement effectuées par le CEA de Cadarache

Les seuils de décision des mesures de surveillance de l'environnement effectuées par le Laboratoire d'Analyses Nucléaires et de Surveillance de l'Environnement (LANSE) du CEA de Cadarache sont indiqués dans les tableaux ci-après. Ils sont compatibles avec la décision n° 2013-DC-0360 de l'ASN du 16 juillet 2013 modifiée.

2.2.1- Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu atmosphérique

Type d'échantillon	Radionucléide ou type de mesure	Type d'analyse	Seuil de Décision (SD)
Filtre aérosols : prélèvement	Alpha global	Compteur proportionnel	$4E-05$ Bq/m ³ d'air
	Bêta global	Compteur proportionnel	$3E-05$ Bq/m ³ d'air

Type d'échantillon	Radionucléide ou type de mesure	Type d'analyse	Seuil de Décision (SD)
journalier (24h)	¹³⁷ Cs	Spectrométrie gamma	4,3E-05 Bq/m ³ d'air
Filtre aérosols : regroupement mensuel des filtres journaliers	¹³⁷ Cs	Spectrométrie gamma	6,5E-06 Bq/m ³ d'air
	Isotopes Pu, Am,...	Spectrométrie alpha	1E-07 Bq/m ³ d'air
Cartouche charbon actif	¹³¹ I	Spectrométrie gamma	1E-03 Bq/m ³ d'air
	³ H	Scintillation liquide	5 Bq/L d'eau (0,3 Bq/m ³ d'air)
	¹⁴ C	Scintillation liquide	1,2E-02 Bq/m ³ d'air (niveau naturel ~ 6E-02 Bq/m ³ d'air)

Tableau 187 : Seuils de décision des mesures sur échantillons prélevés dans le milieu atmosphérique

2.2.2- Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu terrestre

Type d'échantillon	Radionucléide ou type de mesure	Type d'analyse	Seuil de Décision (SD)	
Matrices biologiques (terre, faune, flore,...)	Bêta global	Compteur proportionnel	3,5E-02 Bq/g de cendres	
	⁴⁰ K	Spectrométrie gamma	1E-01 Bq/g de cendres	
	¹³⁷ Cs	Spectrométrie gamma	Matrices non consommées	6E-03 Bq/g de cendres (0,4 Bq/kg sec)
			Matrices consommées	2E-02 Bq/g de cendres (0,2 Bq/kg frais)
	³ H libre	Scintillation liquide	1 Bq/kg frais	
	³ H TOL		0,5 Bq/kg frais	
	¹⁴ C	Scintillation liquide	20 Bq/kg C (niveau naturel ~ 250 Bq/kg C)	
	⁹⁰ Sr	Scintillation liquide	5E-03 Bq/g de cendres	
	Isotopes Pu, Am,...	Spectrométrie alpha	1E-04 Bq/g de cendres	
Lait	Bêta global	Compteur proportionnel	0,3 Bq/L	
	⁴⁰ K	Spectrométrie gamma	5 Bq/L	
	¹³¹ I	Spectrométrie gamma	0,4 Bq/L	
	³ H libre	Scintillation liquide	1,5 Bq/L	
	³ H TOL		0,5 Bq/L	
	¹⁴ C	Scintillation liquide	20 Bq/kg C (niveau naturel ~ 250 Bq/kg C)	

Tableau 188 : Seuils de décision des mesures sur échantillons prélevés dans le milieu terrestre

2.2.3- Mesures sur échantillons prélevés dans le milieu aquatique

Type d'échantillon	Radionucléide ou type de mesure	Type d'analyse	Seuil de Décision (SD)
Eau	Alpha global	Compteur proportionnel	4E-02 Bq/L
	Bêta global	Compteur proportionnel	5E-02 Bq/L
	³ H	Scintillation liquide	5 Bq/L
	¹³⁷ Cs	Spectrométrie gamma	0,4 Bq/L ou 1,5 Bq/L (aliquote journalier)
	¹³¹ I	Spectrométrie gamma	0,4 Bq/L ou 1,5 Bq/L (aliquote journalier)
	⁶⁰ Co	Spectrométrie gamma	3,5E-01 Bq/L
	¹⁴ C	Scintillation liquide	6E-03 Bq/L
	⁹⁰ Sr	Scintillation liquide	2E-02 Bq/L
	Isotopes Pu, Am,...	Spectrométrie alpha	5E-04 Bq/L
Matrices biologiques (sédiments, faune, flore,...)	Bêta global	Compteur proportionnel	3,5E-02 Bq/g de cendres
	⁴⁰ K	Spectrométrie gamma	1E-01 Bq/g de cendres
	¹³⁷ Cs	Spectrométrie gamma	Matrices non consommées 6E-03 Bq/g de cendres (0,4 Bq/kg sec)
			Matrices consommées 2E-02 Bq/g de cendres (0,2 Bq/kg frais)
	⁶⁰ Co	Spectrométrie gamma	1E-02 Bq/g de cendres
	³ H libre	Scintillation liquide	1,5 Bq/kg frais
	³ H TOL		0,5 Bq/kg frais
	¹⁴ C	Scintillation liquide	20 Bq/kg C (niveau naturel ~ 250 Bq/kg C)
	⁹⁰ Sr	Scintillation liquide	5E-03 Bq/g de cendres
	Isotopes Pu, Am,...	Spectrométrie alpha	1E-04 Bq/g de cendres

Tableau 189 : Seuils de décision des mesures sur échantillons prélevés dans le milieu aquatique

Annexe 2 : Modalités de surveillance de l'environnement du site de Cadarache

1. Introduction

La surveillance de l'environnement est un moyen de vérifier que les mesures d'évitement, de réduction et, le cas échéant, de compensation, des incidences du site de Cadarache, sont efficaces sur le long terme.

Les résultats des mesures de surveillance ont été présentés dans la partie 1 de l'étude d'impact, qui décrit l'état initial du site et de son environnement. Cette annexe est dédiée à la présentation des modalités de cette surveillance.

448

Annexe 2

Le contrôle représente l'ensemble des mesures en continu portant sur des grandeurs physiques caractéristiques de l'environnement (dosimétrie, activité radiologique atmosphérique et aquatique, paramètres météorologiques, etc.), et recueillies grâce à un réseau de capteurs spécifiques (radiamètres, contaminamètres, capteurs météo, etc.). Il se distingue de la surveillance qui représente l'ensemble des activités de prélèvement, de traitement de l'échantillon, et d'analyses en différé effectuées en laboratoire afin d'évaluer l'impact du Centre sur son environnement.



Le LANSE

Dans le cadre de la surveillance des rejets et de l'environnement, les analyses radiologiques sont réalisées par le Laboratoire d'Analyses Nucléaires et de Surveillance de l'Environnement (LANSE) du SPR. La surveillance de l'environnement est mutualisée à l'échelle du Centre, elle concerne donc toutes les installations, dont l'installation PEGASE.

2. Contrôle des rejets liquides potentiellement radioactifs

Outre les contrôles effectués dans l'installation avant le transfert, le Centre possède deux stations de contrôle destinées à mesurer en permanence l'activité des effluents liquides avant rejet dans la Durance, l'une est située à la station d'épuration du Centre (STEP), l'autre à la station des rejets.



Figure 135 : Vue aérienne de la Station d'épuration du Centre (STEP) et de la station de rejet en Durance

Les eaux pluviales font l'objet d'un contrôle radiologique et chimique à la station des rejets avant leur rejet dans la Durance.

À la station d'épuration, un contrôle en continu alpha (α) – beta (β) et gamma (γ) est réalisé sur les effluents industriels en entrée de l'unité de traitement (dans les neutralisateurs) ; de même qu'un contrôle en continu γ des effluents sanitaires en sortie de l'unité de traitement.

À la station de rejets, un contrôle γ en entrée de bassin et en sortie de bassin est réalisé dans la canalisation de rejet en Durance ainsi que dans le ravin de la bête.

Des hydro-collecteurs automatiques prélèvent en permanence une fraction des eaux :

- × dans la canalisation des eaux industrielles à la station d'épuration ;
- × dans la canalisation de rejet dans la Durance à la station des rejets.



Tableau de contrôle de l'environnement
(TCE)

Les mesures en continu sont associées à des seuils d'alarme et reportées au TCE (tableau de contrôle de l'environnement) du SPR/LANSE et à la surveillance centralisée du Centre. Des prélèvements sont automatiquement effectués pour analyse par le SPR en cas d'alarme sur les effluents industriels à la STEP et en sortie de bassin aux rejets. De plus, un dépassement du seuil d'alarme à la station d'épuration provoque un détournement automatique des eaux vers des cuves de stockage de 1 000 m³ et vers le bassin de secours aux rejets si alarme en entrée de bassin ou sur le ravin. L'alarme en sortie de bassin aux rejets entraîne l'arrêt du rejet. Un contrôle en continu de l'activité volumique et un prélèvement en continu sont effectués sur les effluents dans la conduite de rejet dans la Durance.

Des hydrocollecteurs automatiques asservis au temps ou au débit prélèvent en continu une fraction des eaux :

- * dans la canalisation des eaux industrielles (en entrée) et des effluents sanitaires (en sortie) à la station d'épuration ;
- * dans la canalisation de rejet (sortie de bassin) en Durance à la station des rejets ;
- * dans le ravin à la station des rejets pour les eaux pluviales.

Avant vidange d'un bassin aux rejets, une analyse tritium est réalisée.

Des échantillons moyens journaliers et mensuels sont constitués par fractionnement de ces prélèvements en vue d'analyses. L'ensemble des résultats des analyses effectuées sur ces échantillons est mentionné sur le registre réglementaire des rejets d'effluents liquides. De plus, un échantillon mensuel prélevé dans la canalisation des eaux industrielles est adressé au laboratoire IRSN du Vésinet (78).

PARAMETRE SURVEILLE	TYPE DE PRELEVEMENT	ANALYSES EFFECTUEES
Transfert à partir des installations	Eau de cuve d'effluents industriels	α, β global
		^3H
		Spectrométrie γ
Transfert à partir de la station de traitement des effluents	Echantillon d'un lot de rejets	α, β global
		^3H
		Spectrométrie γ
		Spectrométrie α
Rejets du Centre	Echantillon journalier Station d'Épuration	α, β global
	Echantillon journalier Station des Rejets	Spectrométrie γ
	Echantillon mensuel Station d'Épuration	α, β global
	Echantillon mensuel Station des Rejets	Spectrométrie γ

Tableau 190 : Programme de surveillance des transferts par voie liquide

Le Tableau de Contrôle de l'Environnement (TCE) du LANSE centralise les informations, génère des alarmes et archive les données en provenance des capteurs équipant les différentes stations.

3. Surveillance radiologique de l'environnement

3.1- Introduction

Les modalités de surveillance et de contrôle réglementaire de l'environnement vis-à-vis des prélèvements d'eau, et des rejets d'effluents radioactifs et chimiques du centre de Cadarache, sont respectivement définies par l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022 et la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017.

Les résultats des 5 000 prélèvements annuels, pour la surveillance de l'environnement, sont transmis suivant les fréquences définies par les textes précédemment cités aux autorités compétentes. Les différents éléments (air, poussières atmosphériques, eau de pluie, eaux souterraines et de surface, sols et sédiments) sont mesurés ainsi que les principaux éléments de la chaîne alimentaire.



Prise d'échantillon atmosphérique

La figure suivante présente la localisation des points de prélèvement pour la surveillance de l'environnement.



Figure 136 : Localisation des points de prélèvement pour la surveillance de l'environnement

3.2- Surveillance du milieu atmosphérique

La surveillance atmosphérique s'effectue à partir des stations fixes équipées de capteurs mesurant en continu la radioactivité de l'air et de capteurs permettant de déterminer à tout moment les conditions de dispersion des rejets d'effluents atmosphériques dans l'atmosphère et le débit de dose au point de mesure. Ces stations sont implantées à l'intérieur du périmètre clôturé du Centre de Cadarache et à l'extérieur.

Conformément aux textes relatifs aux prélèvements et rejets d'effluents du Centre, les mesures suivantes sont effectuées :

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
11 points autour de la clôture du site	Débit d'exposition gamma à la clôture (dosimétrie passive)	Mesure en continu avec relevé et lecture mensuels
2 points sous le vent à proximité de l'installation CEDRA (INB164) et de l'installation d'entreposage des déchets (INB56)	Activité volumique en radon atmosphérique	Mesure intégrée avec exploitation mensuelle
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Enregistrement du rayonnement gamma ambiant (dosimétrie active)	Mesure en continu et relevé mensuel
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Aérosols Activité alpha globale Activité bêta globale Spectrométrie gamma si activité volumique > 0,002 Bq/m ³ <u>À partir de 2018</u> : Spectrométrie alpha si activité volumique > 0,002 Bq/m ³	Prélèvement continu d'aérosols sur filtres avec mesure journalière
	Aérosols <u>À partir de 2018</u> : spectrométrie alpha et spectrométrie gamma sur le regroupement des filtres relevés quotidiennement	Mesure mensuelle
	Iode 131 par spectrométrie gamma	Prélèvement continu sur cartouche halogènes avec mesure hebdomadaire
Stations de la Verrerie, Grande Bastide, et Saint-Paul-lez-Durance	Activité volumique en Tritium atmosphérique Prélèvement par aspiration d'air en continu à l'aide de barboteurs spécifiques	<u>Jusqu'à fin 2017</u> : prélèvements et mesures hebdomadaires <u>À partir de 2018</u> : mesure mensuelle sur aliquote des prélèvements hebdomadaires (qui sont conservés pour investigations complémentaires éventuelles)

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Stations de Ginasservis, Verrerie et Saint-Paul-lez-Durance	Activité volumique en Carbone 14 atmosphérique Prélèvement par aspiration d'air en continu à l'aide de barboteurs spécifiques	Prélèvements bimensuels et mesures mensuelles sur aliquote
Stations de Ginasservis, Verrerie et Saint-Paul-lez-Durance	Eaux de pluie Prélèvement en continu <u>Jusqu'à fin 2017 :</u> Activité volumique bêta globale (si > SD, spectrométrie gamma et mesure concentration en potassium) Activité volumique en tritium	<u>Jusqu'à fin 2017 :</u> Mesure hebdomadaire
	Eaux de pluie Prélèvement en continu <u>À partir de 2018 :</u> Activité volumique alpha globale Activité volumique bêta globale (si > SD, spectrométrie gamma et mesure concentration en potassium) Activité volumique en tritium	<u>À partir de 2018 :</u> Mesure bimensuelle

Tableau 191 : Lieu, type et fréquence des prélèvements atmosphériques

3.3- Surveillance du milieu terrestre

3.3.1- Terre et végétaux bio-indicateurs

Lieu de prélèvement	Type de mesures	Fréquence
Stations de Ginasservis, Verrerie, Grande Bastide et Saint-Paul-lez-Durance	Végétaux bio indicateurs (thym ou herbe) <u>Jusqu'à fin 2017 :</u> Activité bêta globale Spectrométrie gamma (dont Potassium 40) Activité Tritium (libre et TOL) et Carbone 14 Spectrométrie alpha	Mensuelle Mensuelle Annuelle Annuelle
	<u>À partir de 2018 :</u> Spectrométrie gamma (dont Iode 131 et Potassium 40) Activité Tritium (libre et TOL) Activité Carbone 14 Spectrométrie alpha	Trimestrielle Semestrielle Annuelle Annuelle
Saint-Paul-lez-Durance	Couche superficielle de terre Spectrométrie gamma Spectrométrie alpha (transuraniens)	Annuelle

Tableau 192 : Lieu, type et fréquence des prélèvements de terre et végétaux bio-indicateurs

Préparations

Les échantillons prélevés sont préparés au laboratoire avant analyse. Les végétaux sont pesés, broyés, desséchés, calcinés et leurs cendres conditionnées sous une géométrie pour laquelle l'appareillage est étalonné, voire lyophilisés notamment pour mesure tritium libre et lié. Les terres et les sédiments subissent une dessiccation, une pesée, un broyage et un tamisage avant d'être mesurés.

Appareils d'analyse

Les appareils d'analyse permettent de mesurer de très faibles niveaux de radioactivité.

Les compteurs proportionnels déterminent simultanément les activités alpha global et bêta global contenues dans les échantillons.

Les spectromètres gamma ou alpha permettent d'identifier et de mesurer la plupart des produits radioactifs, naturels ou non, contenus dans des échantillons de diverses natures.

Afin d'assurer la justesse des résultats, l'étalonnage du matériel est effectué dans des conditions identiques à celles des contrôles périodiques (nature, masse, volume de l'échantillon, etc.).

3.3.2- Surveillance de la chaîne alimentaire

L'analyse des produits de la chaîne alimentaire permet de vérifier l'absence de transfert de contamination par les voies atmosphériques et hydrologiques.

La surveillance de la radioactivité de la chaîne alimentaire des populations avoisinantes est pratiquée en mesurant notamment :

- × du lait de chèvre, à la station de Gréoux-les-Bains jusqu'à fin 2017, et à La Verdière depuis 2018, avec mesure par spectrométrie gamma et mesure bêta total, la fréquence de ces mesures étant mensuelle jusqu'en 2017, et trimestrielle depuis 2018 ; à cette mesure, est rajoutée une mesure annuelle du tritium libre et lié et du carbone 14. Le suivi de la radioactivité du lait s'inscrit dans les programmes de surveillance réglementaire de tous les sites nucléaires. Il est un indicateur important pour contrôler le transfert des radionucléides à travers la chaîne alimentaire ;
- × trois catégories de légumes dans 4 localités : Ginasservis, Saint-Paul-lez-Durance, Peyrolles et Vinon-sur-Verdon :
 - 1 légume racine (carottes, pommes de terre, oignons) ;
 - 1 légume feuille (salades, épinards, blettes) ;
 - 1 légume fruit (tomates, courgettes, aubergines, pommes).

Il est à noter que le type de légumes prélevés est variable selon la saison et donc la disponibilité de ceux-ci.

Lieu de prélèvement	Type de mesures	Fréquence
Gréoux-les-Bains (jusqu'en 2017)	Sur le lait de chèvre : Activité bêta globale Spectrométrie gamma (dont Iode 131 et Potassium 40) Activité Tritium (libre et lié) Activité Carbone 14	Mensuelle ⁶⁵ Mensuelle Annuelle Annuelle
La Verdrière (à partir de 2018)	Sur le lait de chèvre : Spectrométrie gamma (dont Iode 131 et Potassium 40) Activité Tritium (libre et lié) Activité Carbone 14 Activité Strontium 90	Trimestrielle ⁶⁶ Annuelle Annuelle Annuelle
Ginasservis Saint-Paul-lez-Durance Vinon-sur-Verdon Peyrolles	Sur les légumes (racines, fruits, feuilles) : Activité bêta globale Spectrométrie gamma (dont potassium 40) Spectrométrie alpha (transuraniens) Activité tritium (libre et lié) Activité carbone 14 Activité strontium 90	Annuelle

Tableau 193 : Lieu, type et fréquence des prélèvements sur la chaîne alimentaire

Par ailleurs, l'absence de radioactivité de l'huile d'olive et du vin de productions agricoles de Gréoux-les-Bains, Mirabeau et Pierrevert est contrôlée (mesures par spectrométrie gamma).

Un prélèvement annuel de poissons de la Durance est également effectué.



Prélèvement de poissons dans la Durance

3.4- Surveillance du milieu aquatique

La surveillance du milieu aquatique porte sur les eaux pluviales, les eaux souterraines, les eaux de surface, les sédiments et la flore.

⁶⁵ Sauf période d'allaitement des chevreaux.

⁶⁶ Sauf période d'allaitement des chevreaux.

3.4.1- Surveillance des eaux pluviales

Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les voies de circulation, les aires de stationnement et autres surfaces imperméables de l'installation, sont collectées par des fossés et des caniveaux, puis dirigées vers l'impluvium du centre (ravin de la Bête).

L'impluvium fait l'objet d'un contrôle d'absence de radioactivité d'origine artificielle une fois par mois, par des méthodes qui garantissent des seuils de décision inférieurs à ceux prévus par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017 (0,05 Bq/L pour l'activité volumique alpha global, 0,25 Bq/L pour l'activité volumique bêta global, et 10 Bq/L pour la mesure du tritium libre).

3.4.2- Surveillance des eaux souterraines

Surveillance des eaux souterraines

Un contrôle des eaux souterraines sous-jacentes aux installations est réalisé mensuellement par des prélèvements effectués à partir de 47 points dits réglementaires.

Sur ces prélèvements, sont mesurées les activités alpha et bêta globales, l'activité du tritium et la teneur en potassium.



Surveillance d'un piézomètre

3.4.3- Surveillance de la Durance

Des prélèvements spécifiques sont effectués dans le lit de la Durance :

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Prélèvement d'eau en amont du point de rejet (Manosque) + Verdon (Vinon)	<p><u>Sur l'eau filtrée :</u> Activité volumique alpha globale, activité volumique bêta globale, activité volumique en tritium, Concentration en potassium</p> <p><u>Sur matières en suspension :</u> Activité bêta globale</p>	Prélèvement hebdomadaire et analyse sur aliquote mensuel
	<p><u>À partir de 2018 : Analyses complémentaires en cas de mesures significatives en aval :</u> Activité volumique en Strontium 90 Spectrométrie gamma Spectrométrie alpha</p>	En cas de mesures significatives en aval
Prélèvement ponctuel d'eau en amont et en aval du point de rejet lors de chaque rejet de distillats (AGATE)	<p><u>Sur l'eau :</u> Activité volumique alpha globale, activité volumique bêta globale, activité volumique en Tritium, activité volumique en Strontium 90, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha</p> <p><u>Sur les matières en suspension :</u> Activité bêta globale, spectrométrie gamma</p>	Prélèvement ponctuel
Prélèvements d'eau au Pont de Mirabeau	<p><u>Sur l'eau :</u> Activité volumique bêta globale, activité volumique alpha globale, activité volumique en Tritium, concentration en potassium</p>	<p><u>Jusqu'à fin2017 :</u> Prélèvement à intervalle de temps régulier et mesure sur aliquote hebdomadaire</p> <p><u>À partir de 2018 :</u> Prélèvement à intervalle de temps régulier, relevé hebdomadaire et mesure sur aliquote mensuel</p>
	<p><u>Sur l'eau :</u> Activité volumique en Strontium 90, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha</p>	Mesure sur l'aliquote mensuel
	<p><u>Sur les matières en suspension :</u> Activité bêta globale</p>	<p><u>Jusqu'à fin2017 :</u> Mesure sur aliquote hebdomadaire</p>
		<p><u>À partir de 2018 :</u> Mesure sur aliquote mensuel</p>

Lieu de prélèvement ou de mesure	Type de mesures	Fréquence
Prélèvements de sédiments à Saint-Eucher ou autre (proche du point de rejet)	<u>Jusqu'à fin 2017</u> : Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en strontium 90	Prélèvement annuel
	<u>À partir de 2018</u> : Spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en strontium 90	
Prélèvements de végétaux aquatiques à Saint-Eucher ou autre (proche du point de rejet)	<u>Jusqu'à fin 2017</u> : Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en Strontium 90, Tritium (libre +TOL), Carbone 14	Prélèvement annuel
	<u>À partir de 2018</u> : Spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en Strontium 90 et en Tritium (TOL)	
Prélèvements de poissons au plus proche du point de rejet	<u>Jusqu'à fin 2017</u> : Activité bêta globale, spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en Strontium 90, Tritium (libre + TOL), Carbone 14	Prélèvement annuel
	<u>À partir de 2018</u> : Spectrométrie gamma, spectrométrie alpha, activité en Strontium 90 et en Tritium (TOL)	

Tableau 194 : Lieu, type et fréquence des prélèvements en Durance

Préparations

Les échantillons prélevés sont préparés en laboratoires pour analyse.

Ainsi, les eaux sont filtrées, évaporées sur des coupelles, distillées ou conditionnées dans des flacons à géométrie standardisée.

Appareils d'analyse

Les appareils d'analyse permettent de mesurer de très faibles niveaux de radioactivité.

Les compteurs proportionnels déterminent simultanément les activités alpha global et bêta global contenues dans les échantillons.

Les compteurs à scintillateur liquide sont adaptés à la mesure de tritium, ^{14}C et ^{90}Sr des échantillons aqueux. Les spectromètres gamma ou alpha permettent d'identifier et de mesurer la plupart des produits radioactifs, naturels ou non, contenus dans des échantillons de diverses natures.

Afin d'assurer la justesse des résultats, l'étalonnage du matériel est effectué dans des conditions identiques à celles des contrôles périodiques (nature, masse, volume de l'échantillon, etc.).

3.5- Autres moyens de surveillance

Moyens mobiles de surveillance

Destinés à la surveillance de routine ou à l'intervention en cas d'incident ou d'accident radioactif, ces moyens complètent les installations fixes. Ils sont composés de véhicules équipés :

- * de matériel de détection d'irradiation et de contamination ;
- * de matériels de prélèvements ;
- * de liaisons hertziennes avec le LANSE permettant de transmettre, sur des fréquences réservées, les informations recueillies.

Le VISA

Le SPR dispose également d'un Véhicule d'Intervention et de Surveillance Atmosphérique (VISA) lui permettant d'évaluer les conséquences d'un incident ou d'un accident à caractère nucléaire sur le public :

- * mesure des paramètres météorologiques ;
- * analyse de la situation radiologique ;
- * appareils de mesure (fixes ou portables) ;
- * dispositifs autonomes de prélèvements d'échantillons ;
- * laboratoire d'analyses (spectrométrie gamma) ;
- * moyens autonomes de communication (liaison avec le centre de crise).



Le VISA

4. Surveillance chimique de l'environnement

4.1- Milieu atmosphérique

La qualité de l'air est vérifiée en continu par l'association indépendante Air PACA (l'association est membre de la fédération ATMO France, qui constitue le réseau national des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA).

Air PACA dispose de stations fixes, ainsi que de systèmes mobiles de mesure de la pollution atmosphérique (véhicules laboratoires, cabines). Facilement déplaçables, ces derniers permettent de multiplier les campagnes mobiles en sillonnant le territoire couvert par Air PACA.

Enfin, des campagnes ponctuelles peuvent être mises en place par Air PACA selon les besoins.

4.2- Milieu aquatique

4.2.1- Surveillance des prélèvements d'eau brute

La quantité d'eau prélevée (canal EDF ou barrage de Cadarache) est mesurée et les paramètres de turbidité, pH, conductivité, oxygène dissous et température sont contrôlés en continu.

D'autres analyses sont effectuées ponctuellement selon la qualité de l'eau brute. Elles permettent l'ajustement des taux de traitement de la station de production d'eau potable du centre.

4.2.2- Surveillance des eaux pluviales

Les eaux provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les aires d'entreposage, les voies de circulation, les aires de stationnement et autres surfaces imperméables de l'installation, sont collectées par des fossés et des caniveaux, puis dirigées vers l'impluvium du centre.



Prélèvement des eaux pluviales du ravin de la Bête

Il est procédé à un prélèvement ponctuel mensuel (prélèvements privilégiés par temps de pluie) au niveau du ravin de la Bête. Les paramètres analysés sont le pH, la DCO, la DBO₅, les matières en suspension et les hydrocarbures totaux.

Afin de pallier une éventuelle pollution des eaux pluviales issues des parkings et voiries par des traces d'hydrocarbures provenant des véhicules, les caniveaux sont équipés de séparateurs d'hydrocarbures.

4.2.3- Surveillance des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont surveillées chimiquement conformément aux prescriptions réglementaires, par l'intermédiaire de neuf piézomètres répartis sur l'ensemble du centre de Cadarache.

4.2.4- Surveillance des eaux et des milieux de la Durance

L'incidence des rejets d'effluents du site sur le milieu récepteur qu'est la Durance est contrôlée par le CEA.

Ce contrôle comporte deux volets :

- * un suivi mensuel de la qualité physico-chimique de l'eau de la Durance (amont-aval) ;
- * une évaluation ponctuelle annuelle (amont-aval) de la qualité écologique des milieux (bryophytes et sédiments).

Une analyse biocénotique comparative (amont-aval) permet également d'évaluer l'effet des changements de l'environnement qui affectent les communautés floristiques et faunistiques.

5. Contrôle et surveillance chimique des transferts et rejets d'effluents liquides

5.1.1- Au niveau des installations

Effluents industriels

Pour rejoindre le réseau des effluents industriels du centre, les effluents transférés doivent respecter les valeurs limites retenues au sein de la fiche de caractérisation établie avec les exploitants et qui précise les natures et quantités des éléments transférés au réseau des effluents industriels du centre, ainsi que les contrôles chimiques et les fréquences associées. Les valeurs limites et les modalités de surveillance des transferts d'effluents liquides sont fixées par la décision n° 2017-DC-0597 de l'ASN du 11 juillet 2017.

Le transfert effectif dans le réseau est autorisé après vérification que celui-ci ne conduit pas à des concentrations en entrée de station supérieures à celles fixées dans l'arrêté de rejets d'effluents du centre de Cadarache en vigueur.

Effluents actifs

Pour pouvoir être transférés vers AGATE, les effluents actifs doivent respecter les valeurs limites des spécifications d'admission d'AGATE. Le transfert effectif est autorisé après vérification des caractéristiques chimiques et radiologiques.

5.1.2- À la station d'épuration

Un contrôle continu est effectué en entrée de la station **d'épuration des effluents industriels**. Ce **contrôle chimique**, effectué par des analyseurs, porte sur 8 éléments (métaux lourds et autres toxiques). Le pH est également mesuré en continu.

De plus, les effluents, après traitement, regroupés en cuve de 1 000 m³, font l'objet d'analyses chimiques suivant 10 paramètres (métaux lourds et autres toxiques). Le pH, la température et l'oxygène sont également mesurés.

Dans le cadre du contrôle du fonctionnement de la station d'épuration des effluents sanitaires et de la station d'épuration des effluents industriels, des bilans complets de fonctionnement sont effectués plusieurs fois par mois. Il s'agit d'analyses en amont et en aval des stations permettant ainsi de suivre les taux d'abattement.

Chaque fois qu'un bassin de 3 000 m³ de la station de rejet du centre est plein, l'effluent du bassin est prélevé et envoyé à la station d'épuration pour alimenter l'aquarium dans lequel est effectué le test « poissons » final avant rejet (survie d'une truite pendant au moins 6 heures), ainsi que le contrôle des 10 paramètres précités, le pH, la température et l'oxygène.

En plus des différents contrôles assurés par le centre de Cadarache, des contrôles externes sont effectués trimestriellement sur les effluents rejetés dans la Durance, conformément à l'arrêté préfectoral n° 2020-497-PC du 27 octobre 2022.



Le test « poissons »

Annexe 3 : Contexte institutionnel relatif au climat et à la qualité de l'air

1. Contexte institutionnel relatif à la qualité de l'air

1.1- Schéma Régional Climat Air Énergie (SRCAE)

Le Schéma Régional Climat-Air-Énergie (SRCAE) est élaboré en application de l'article L. 222-1 du code de l'environnement. Pour la région PACA, il a été arrêté par le Préfet de Région le 17 juillet 2013. Le SRCAE est une traduction régionale des objectifs nationaux et internationaux : il définit les objectifs et orientations régionales aux horizons 2020 – 2030 – 2050 en matière de maîtrise de l'énergie, de développement des énergies renouvelables, de baisse des émissions des gaz à effet de serre et de polluants, et d'adaptation aux changements climatiques. Il viendra en remplacement du Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA) pour le volet Air.

Le SRCAE est un document transversal par nature, qui s'articule avec d'autres démarches et documents de planification comme illustré ci-dessous.

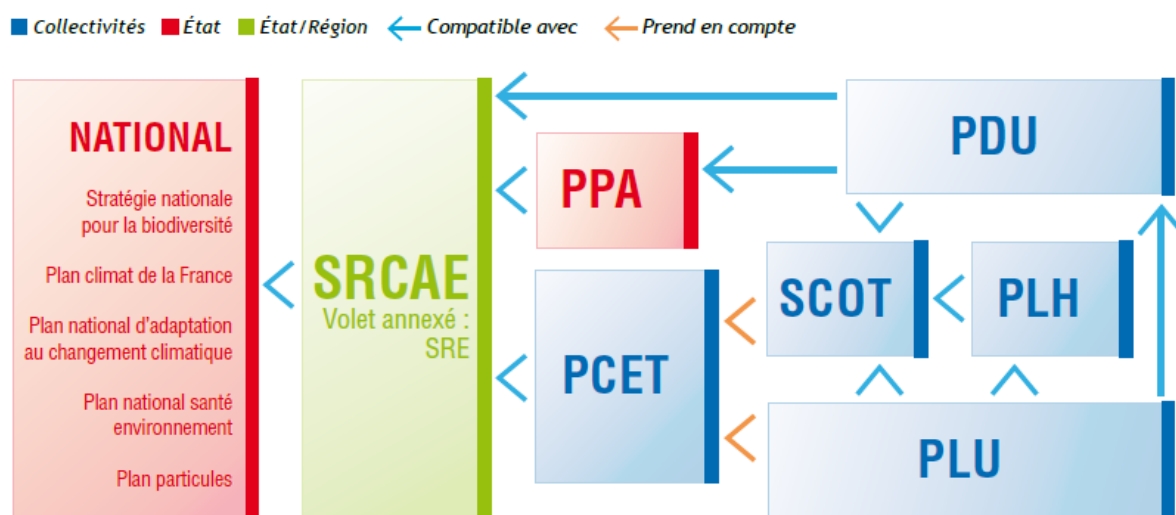


Figure 137 : Articulation du SRCAE avec les autres démarches stratégiques et de planification (source : SRCAE PACA)

Les orientations du volet air du SRCAE sont les suivantes :

- * AIR1 : Réduire les émissions de composés organiques volatils précurseurs de l'ozone afin de limiter le nombre et l'intensité des épisodes de pollution à l'ozone.
- * AIR2 : Améliorer les connaissances sur l'origine des phénomènes de pollution atmosphérique et l'efficacité des actions envisageables.
- * AIR3 : Faire respecter la réglementation vis-à-vis du brûlage à l'air libre.
- * AIR4 : Informer sur les moyens et les actions dont chacun dispose à son échelle pour réduire les émissions de polluants atmosphériques ou éviter une surexposition à des niveaux de concentrations trop importants.

- * AIR5 : Mettre en œuvre, aux échelles adaptées, des programmes d'actions dans les zones soumises à de forts risques de dépassements ou à des dépassements avérés des niveaux réglementaires de concentrations de polluants (particules fines, oxydes d'azote).
- * AIR6 : Conduire, dans les agglomérations touchées par une qualité de l'air dégradée, une réflexion globale et systématique sur les possibilités d'amélioration, pouvant prendre la forme d'une ZAPA⁶⁷.
- * AIR7 : Dans le cadre de l'implantation de nouveaux projets, mettre l'accent sur l'utilisation des Meilleures Techniques Disponibles et le suivi de Bonnes Pratiques environnementales, en particulier dans les zones sensibles d'un point de vue qualité de l'air.

Le SRCAE PACA est consultable sur le site internet de la DREAL PACA, à l'adresse suivante :

<https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/4-le-schema-regional-climat-air-energie-srcae-a8904.html>

1.2- Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA)

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996 a reconnu à chacun le droit à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Outre des dispositions sur la surveillance de la qualité de l'air, rendues obligatoires sur l'ensemble du territoire, cette loi a aussi prévu un certain nombre de mesures pour garantir un air de qualité. En particulier, un Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) doit définir les principales orientations devant permettre l'amélioration de la qualité de l'air.

Afin de s'assurer de la bonne prise en compte de ces orientations, la loi prévoit une évaluation au minimum quinquennale de ce PRQA, de façon à le réviser si cela s'avère nécessaire.

De plus, en application de l'article R. 222-2 du code de l'environnement, ces PRQA sont repris dans des schémas régionaux climat-air-énergie (SRCAE), fixant notamment des objectifs en terme de qualité de l'air pour les horizons 2020 et 2050.

Le plan régional pour la qualité de l'air de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur, a été approuvé par l'arrêté préfectoral du 10 mai 2000.

Seuls les polluants liés aux activités humaines (industrie, transports, chauffage, ...) ont été considérés dans ce plan, et parmi ceux-ci, les polluants pour lesquels une métrologie adaptée existe et sur lesquels une action à l'échelle de la région sera susceptible d'être efficace.

Les problèmes posés par des pollutions très localisées ou par quelques sources d'émission (dioxines, nuisances olfactives, ...) sont abordés dans le cadre des futurs plans de protection de l'atmosphère (PPA). De même les émissions de gaz dont les impacts sont planétaires (effet de serre, destruction de la couche d'ozone stratosphérique...) sont traitées dans le cadre des politiques mises en place sur le plan international.

⁶⁷ ZAPA : Zone d'Action Prioritaire pour l'Air.

1.3- Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA)

Issu de la loi n° 96-1236 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) du 30 décembre 1996, de la directive cadre de 1996 et des directives filles relatives à la qualité de l'air (directives 99/30 du 22 avril 1999, 2000/69 du 16 novembre 2000 et 2002/3 du 12 février 2002), le décret n° 2001-449 du 25 mai 2001 relatif aux plans de protection de l'atmosphère et aux mesures pouvant être mises en œuvre pour réduire les émissions des sources de pollution atmosphérique, prévoit la mise en place de Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants et pour les zones où les valeurs limites issues de la transposition des directives susmentionnées sont dépassées ou risquent de l'être.

468

Annexe 3

Un PPA impose des mesures locales concrètes, mesurables et contrôlables pour réduire significativement les émissions polluantes des sources fixes (industrielles, urbaines) et des sources mobiles (transports).

L'élaboration des PPA est confiée aux Préfets. Ils sont assistés d'une commission multipartite (CODEP, comité départemental) associant notamment les représentants des services de l'État, des collectivités locales, des industriels, des associations de protection de l'environnement, de consommateurs et d'usagers des transports. Les projets de plans sont soumis à consultation du Comité Départemental d'Hygiène (CDH), des communes et des EPCI (Établissement public de coopération intercommunale) pour une durée de 6 mois, puis à enquête publique pendant un mois.

En région Provence Alpes Côte d'azur, et compte tenu des spécificités locales (agglomération AIX/MARSEILLE, zone de FOS/BERRE, continuité territoriale côtière), il a été décidé de faire des PPA départementaux pour les Alpes Maritimes et les Bouches-du-Rhône, et un PPA d'agglomération pour l'agglomération d'Avignon et celle de Toulon. Ils remplacent le PRQA.

Le CEA de Cadarache est concerné par le PPA des Bouches-du-Rhône, dont la version révisée est rentrée en application le 17 mai 2013 par arrêté préfectoral.

Saint-Paul-lez-Durance est en zone sensible pour la pollution par l'ozone (comme toutes les autres communes du département) et présente des risques de dépassement de valeurs limites pour les PM (poussières) et les oxydes d'azote NOx. Cependant, Saint-Paul-lez-Durance ne figure pas dans les zones administratives de surveillance et n'est pas considérée comme une zone à enjeu. Une station fixe de mesure de l'ozone se trouve cependant sur le territoire de la commune (station dite « Cadarache – Vallée de la Durance »).

Les mesures du PPA des Bouches-du-Rhône sont synthétisées dans le tableau suivant :

Secteur	Mesures
Industrie	<ul style="list-style-type: none">✕ Réduction des émissions diffuses et canalisées de poussières✕ Réduction des émissions de PM et de NOx✕ Réduction des émissions de COV, HAP...✕ Amélioration des connaissances

Secteur	Mesures
Transport	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Optimisation de la gestion du trafic routier ✗ Meilleure prise en compte de la qualité de l'air dans l'aménagement du territoire ✗ Incitation au report modal, au développement des Transports Publics et des modes actifs ✗ Amélioration des performances des flottes de Véhicules Légers et Véhicules Utilitaires Légers ✗ Réduction des émissions des Ports et Aéroports ✗ Réduction des émissions des infrastructures routières de type « Tunnels urbains » ✗ Diminution de l'impact environnemental des chantiers ✗ Objectifs qualité de l'air dans le cœur dense de l'agglomération Aix-Marseille ✗ Amélioration du transport de marchandises
Résidentiel/ Agriculture/ Brûlage	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Réduction des émissions des Installations de Combustion ✗ Veiller à l'articulation PPA et PCET

Tableau 195 : Synthèse des mesures du PPA des Bouches-du-Rhône

Le PPA des Bouches-du-Rhône est consultable sur le site internet de la DREAL PACA à l'adresse suivante :

<https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/les-plans-de-protection-de-l-atmosphere-2013-2018-a11774.html>

1.4- Plan Climat Énergie Territorial (PCET) du Pays d'Aix

La commune de Saint-Paul-lez-Durance fait partie de la Communauté d'Agglomération du Pays d'Aix, (CPA). La loi Grenelle 2 imposait aux collectivités de plus de 50 000 habitants, l'adoption d'un Plan climat énergie territorial PCET au 31 décembre 2012. La Communauté du Pays d'Aix, les villes d'Aix-en-Provence, de Gardanne et de Vitrolles ont élaboré ensemble un PCET afin de mesurer les émissions de gaz à effets de serre et de mettre en œuvre des actions favorisant leur diminution, à l'échelle du territoire. Ce plan doit s'intégrer au Schéma de cohérence territoriale (SCOT). À partir de données recueillies en 2007, la Communauté du Pays d'Aix a dressé son bilan carbone et énergétique, et l'état des lieux révèle que :

- ✗ un habitant du Pays d'Aix émet des quantités de CO₂ légèrement supérieures à la moyenne nationale ;
- ✗ le territoire produit seulement 10 % de l'énergie qu'il consomme.

L'industrie de l'énergie est le secteur le plus émissif (46 %) du fait de la présence de la centrale thermique à Meyreuil et Gardanne. En excluant les émissions de cette usine, les secteurs les plus émissifs sont : les transports (48 %), les procédés industriels (27 %) et le résidentiel et tertiaire (22 %).

Tout en s'intéressant au devenir de la centrale thermique, les actions prioritaires portent donc sur ces trois domaines et sur les activités communautaires et communales.

Le PCET du Pays d'Aix est téléchargeable sur le site Internet de la CPA à l'adresse suivante : <http://www.agglo-paysdaix.fr/environnement/climat-energie/pcet-plan-climat-energie.html>

1.5- Plan National de Surveillance de la Qualité de l'Air (PNSQA)

Un premier Plan National de Surveillance de la Qualité de l'Air (PNSQA) a été édité en 2016 pour répondre à un besoin convergent du Ministère de l'Environnement et de ses services déconcentrés (DREAL), des Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'air (AASQA) fédérées par ATMO France, et du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA) travaillant au cœur du système national de surveillance de la qualité de l'air.

Le PNSQA vise de façon générale à revisiter et articuler aux plans national et régional les quatre grandes missions d'un dispositif de surveillance de la qualité de l'air :

- * l'observation productrice dans la durée de données publiques de qualité ;
- * l'évaluation des politiques au regard des impacts sur la qualité de l'air ;
- * l'information et la communication ;
- * l'amélioration des connaissances.

Ce PNSQA identifie les enjeux majeurs, définit des objectifs à atteindre et retient cinq grands axes constituant un cadre d'orientations pour la période 2022-2027 :

- * adapter le dispositif de surveillance aux enjeux ;
- * accompagner les acteurs dans l'action en faveur de la qualité de l'air ;
- * organiser la communication pour faciliter l'action ;
- * se donner les moyens d'anticipation ;
- * assurer la réussite du PNSQA.

Ces orientations seront concrétisées sous différentes formes au niveau national ou régional, notamment à travers les Plans Régionaux de Surveillance de la Qualité de l'Air (PRSQA) adoptés par les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air pour une période de 5 ans.

Pour la région Provence Alpes Côte d'Azur, l'Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air est l'association AtmoSud (www.atmosud.org), qui regroupe les collectivités territoriales, les services de l'État et les établissements publics, les industriels, les associations de protection de l'environnement et de consommateurs, des personnalités qualifiées et/ou des professionnels de la santé.

AtmoSud a édité son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2021 qui a pour ambition de présenter, en lien direct avec les orientations nationales, les principales orientations de l'association pour les 5 années à venir.

Ce programme décline l'ensemble des thématiques qui seront couvertes par l'activité de l'association et les orientations structurelles qui permettront de les atteindre. Il est construit autour de 4 axes dans l'objectif commun est l'amélioration de la qualité de l'air et la minimisation de l'impact des pollutions atmosphériques pour la population et pour l'environnement :

- × exposition à la pollution de l'air ;
- × lien Air- Énergie-Climat-Santé ;
- × écoute et Incitation à l'action environnementale ;
- × innovation et amélioration de l'expertise.

Le PRSQA pour la région PACA est téléchargeable sur le site de l'association AtmoSud à l'adresse suivante : <https://www.atmosud.org/etude/prsqa>

Annexe 4 : Contexte institutionnel relatif à la qualité de l'eau et des milieux aquatiques

1. Eaux souterraines

473

Annexe 4

1.1- Contexte institutionnel – SDAGE et DCE

Articulation entre SDAGE et Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Depuis les années 1970, la politique publique de l'eau s'inscrit dans un cadre européen. La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 a posé le principe que l'eau fait partie du patrimoine commun de la nation et que sa protection est d'intérêt général.

L'une des grandes innovations instituées par cette loi est l'utilisation de moyens en vue de la planification et de la gestion de la ressource en eau, dont le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Le SDAGE définit la politique à mener pour stopper la détérioration et retrouver un bon état de toutes les eaux : cours d'eau, plans d'eau, nappes souterraines et eaux littorales. Il est élaboré par les comités de bassin de chaque grand bassin hydrographique français. Il s'agit d'un document de planification pour l'eau et les milieux aquatiques qui fixe pour une période de 6 ans, les « orientations fondamentales » pour une gestion équilibrée de la ressource en eau. Il intègre les nouvelles orientations de la Directive Cadre Européenne (DCE) sur l'eau 2000/60/CE du 23 octobre 2000. Cette directive a fixé comme objectif le bon état de toutes les masses d'eau en 2015 (1^{er} cycle DCE 2010-2015).

Toutefois, la réglementation prévoit que, si pour des raisons techniques, financières ou tenant aux conditions naturelles, les objectifs de bon état en 2015 ne peuvent être atteints dans ce délai, le SDAGE peut fixer des échéances plus lointaines, en les motivant, sans que les reports puissent excéder la période correspondant à deux mises à jour du SDAGE (art. L. 212-1 V. du code de l'environnement), soit 2021 ou 2027 au plus tard.

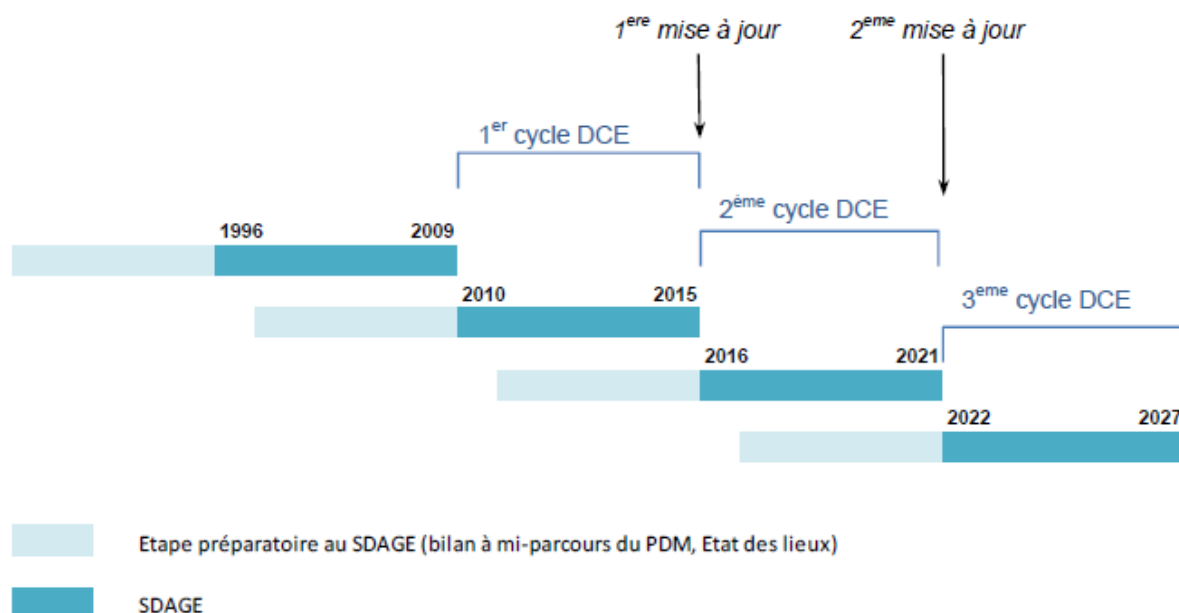


Figure 138 : Principe des reports d'échéance prévus et encadrés par la Directive Cadre sur l'Eau (Source : SDAGE 2022-2027 du bassin Rhône-Méditerranée)

Par exemption, l'article 4.5 de la DCE permet néanmoins de fixer des Objectifs Moins Stricts (OMS) pour les masses d'eau qui n'atteindront pas le bon état fin 2027 et pour lesquelles subsistent des pressions anthropiques limitant l'atteinte du bon état au-delà de 2027, malgré la mise en œuvre de toutes les mesures techniquement faisables et à un coût disproportionné durant la période 2022-2027.

L'objectif d'atteindre le bon état à court, moyen ou long terme n'est pas abandonné. L'objectif moins strict correspond à un état intermédiaire établi pour l'horizon 2027 ; il traduit donc un point d'étape sur une trajectoire qui vise le retour au bon état à terme.

Un objectif moins strict (OMS) est déterminé pour chaque élément de qualité déclassant des masses d'eau évaluées en état moins que bon en 2021, et pour lesquelles des impacts de pressions significatifs résiduels subsisteront en 2027. La réduction de ces impacts nécessite de poursuivre l'action de réduction de ces impacts au-delà de 2027 pour atteindre le bon état.

Les objectifs moins stricts sont réexaminés lors de chaque mise à jour du SDAGE, c'est-à-dire tous les 6 ans.

La fixation d'un objectif moins strict doit être justifiée par des critères appropriés, évidents et transparents (art. 4.5 de la DCE). La justification de cette situation tient notamment à la persistance de l'impact des pressions limitant l'atteinte du bon état à l'échéance 2027. Pour des raisons de faisabilité technique ou de coûts disproportionnés, toutes les mesures nécessaires à la réduction significative de l'impact des pressions, et donc à l'atteinte du bon état, ne pourront être mises en œuvre d'ici à 2027.

Un programme de mesures (PDM) accompagne le SDAGE. Il rassemble les actions concrètes par territoire nécessaires pour atteindre le bon état des eaux. Ces documents permettent de respecter les obligations définies par la directive cadre européenne sur l'eau (DCE) pour atteindre un bon état des eaux.

Le SDAGE du bassin « Rhône-Méditerranée »

La gestion des eaux de Cadarache s'inscrit dans le cadre du SDAGE du bassin « Rhône-Méditerranée ».

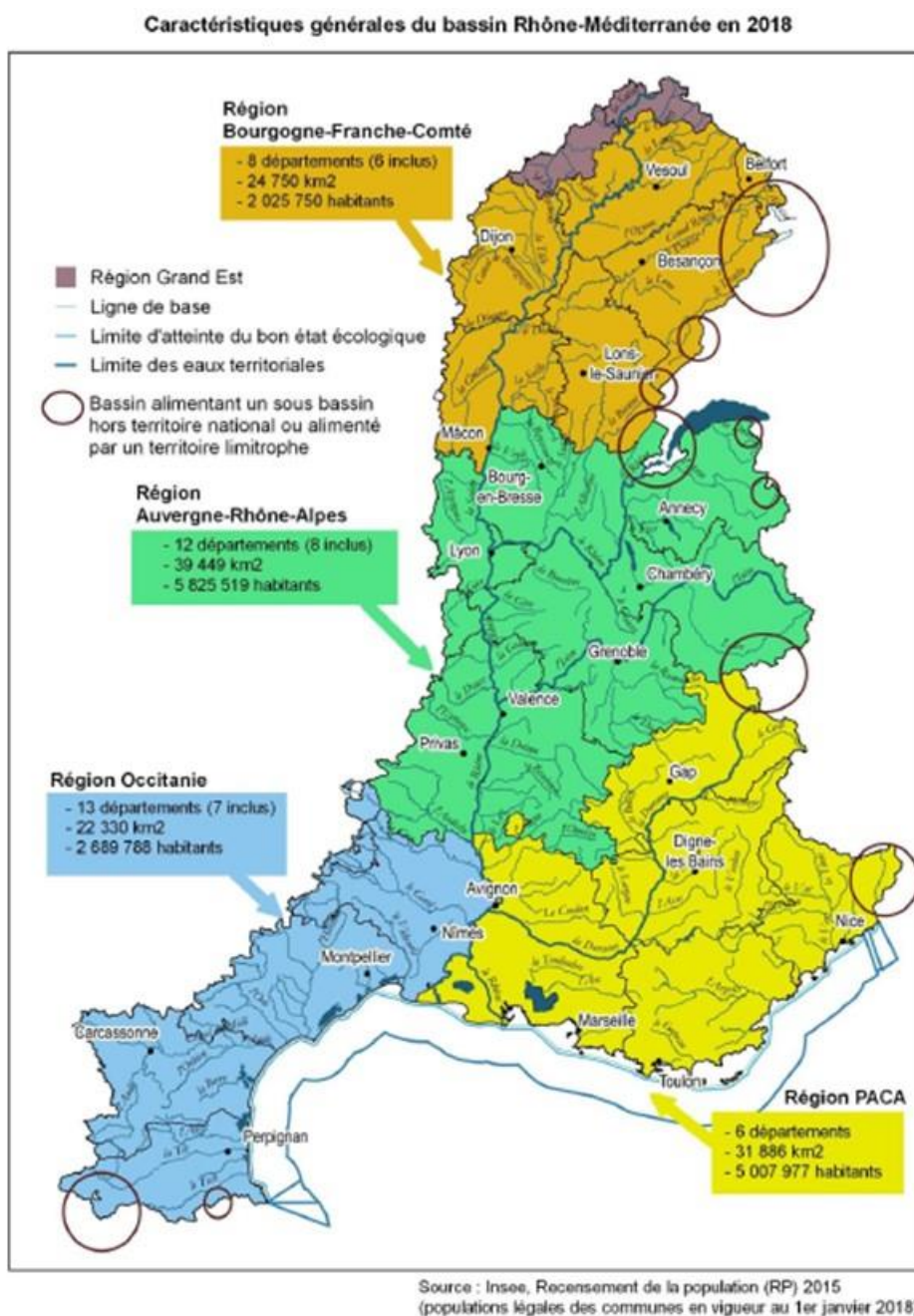


Figure 139 : Caractéristiques générales du Bassin « Rhône-Méditerranée » (SDAGE 2022-2027)

Bassin Rhône-Méditerranée (source : <http://www.eaurmc.fr/>) : Le bassin Rhône-Méditerranée est constitué de l'ensemble des bassins versants français des cours d'eau continentaux s'écoulant vers la Méditerranée et du littoral méditerranéen continental. Il couvre, en tout ou partie, 5 régions (Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie, Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand-Est) et 29 départements. Il s'étend sur environ 121 600 km², soit près de 20 % de la superficie du territoire national. Cette superficie correspond au bassin versant hydrographique rapporté aux limites communales.

Les ressources en eau du bassin Rhône-Méditerranée sont relativement abondantes comparées à l'ensemble des ressources hydriques de la France (réseau hydrographique dense et morphologie fluviale variée, richesse exceptionnelle en plans d'eau, forte présence de zones humides riches et diversifiées, glaciers alpins, grande diversité des types de masses d'eau souterraine). Cependant, une majorité des territoires du sud-est de la France présente de manière chronique un déséquilibre entre l'eau disponible dans le milieu naturel et les prélèvements effectués que ce soit pour l'eau potable, l'agriculture ou l'industrie.

Le bassin Rhône-Méditerranée est marqué par de forts reliefs et la moitié du bassin est couverte par des espaces naturels. Les territoires artificialisés se concentrent principalement au niveau des pôles urbains, industriels et des voies de communication..

Le SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée et son programme de mesures associé sont entrés en vigueur le 18 mars 2022 pour les années 2022 à 2027.

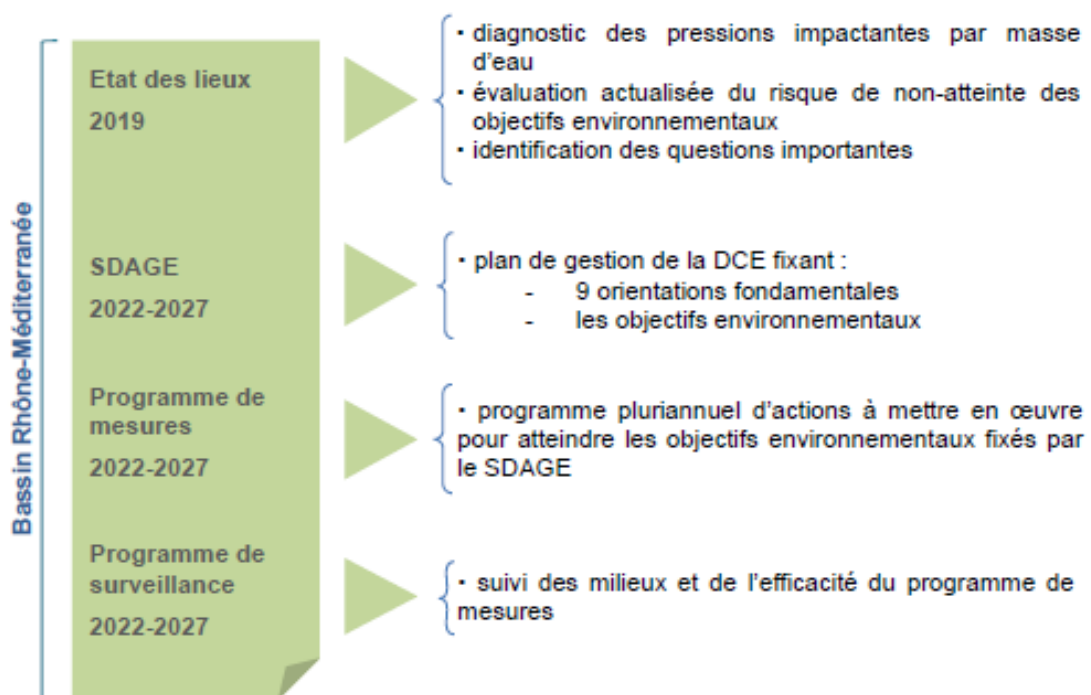


Figure 140 : Organisation et objectifs du SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée

Il définit **9 orientations fondamentales (OF)**, dont les libellés et l'organisation ont été globalement conservés de la version précédente (2016-2021) à quelques ajustements près, mais intègre les évolutions du contexte du bassin Rhône-Méditerranée et des orientations et instructions nationales relatives à la politique de l'eau :

- × OF0 : adaptation aux effets du changement climatique ;
- × OF1 : prévention : privilégier la prévention et les interventions à la source pour plus d'efficacité ;
- × OF2 : non dégradation : concrétiser la mise en œuvre du principe de non dégradation des milieux aquatiques ;
- × OF3 : vision sociale et économique : intégrer les dimensions sociale et économique dans la mise en œuvre des objectifs environnementaux ;
- × OF4 : gestion locale et aménagement du territoire : organiser la synergie des acteurs pour la mise en œuvre de véritables projets territoriaux de développement durable ;
- × OF5 : pollutions : lutter contre les pollutions, en mettant la priorité sur les pollutions toxiques et la protection de la santé :
 - OF5A : Poursuivre les efforts de lutte contre les pollutions d'origine domestique et industrielle ;
 - OF5B : Lutter contre l'eutrophisation des milieux aquatiques ;
 - OF5C : Lutter contre les pollutions par les substances dangereuses ;
 - OF5D : Lutter contre la pollution par les pesticides par des changements conséquents dans les pratiques actuelles ;
 - OF5E : Evaluer, prévenir et maîtriser les risques pour la santé humaine ;
- × OF6 : milieux fonctionnels : préserver et développer les fonctionnalités naturelles des bassins et des milieux aquatiques :
 - OF6A : Agir sur la morphologie et le décroissement pour préserver et restaurer les milieux aquatiques ;
 - OF6B : Préserver, restaurer et gérer les zones humides ;
 - OF6C : Intégrer la gestion des espèces de la faune et de la flore dans les politiques de gestion de l'eau ;
- × OF7 : partage de la ressource : atteindre et pérenniser l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ;
- × OF8 : gestion des inondations : gérer les risques d'inondation en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau.

On notera que les dispositions relatives à la gestion durable et à l'organisation des services publics d'eau et d'assainissement, qui relevaient de l'orientation fondamentale n°3 du SDAGE 2016-2021, sont intégrées à l'orientation fondamentale n°4 du SDAGE 2022-2027. Celle-ci vise une gestion intégrée de tous les enjeux de l'eau sur les territoires et traite de l'organisation de l'ensemble des compétences liées à l'eau (gestion des milieux aquatiques, prévention des inondations, eau potable, assainissement).

Au-delà de ces ajustements techniques nécessaires, l'actualisation des orientations fondamentales du SDAGE 2022-2027 s'est focalisée sur trois sujets majeurs identifiés par le comité de bassin Rhône-Méditerranée :

- * la gestion équilibrée de la ressource en eau dans le contexte de changement climatique ;
- * la lutte contre les pollutions par les substances dangereuses ;
- * la restauration physique des cours d'eau et la réduction de l'aléa d'inondation.

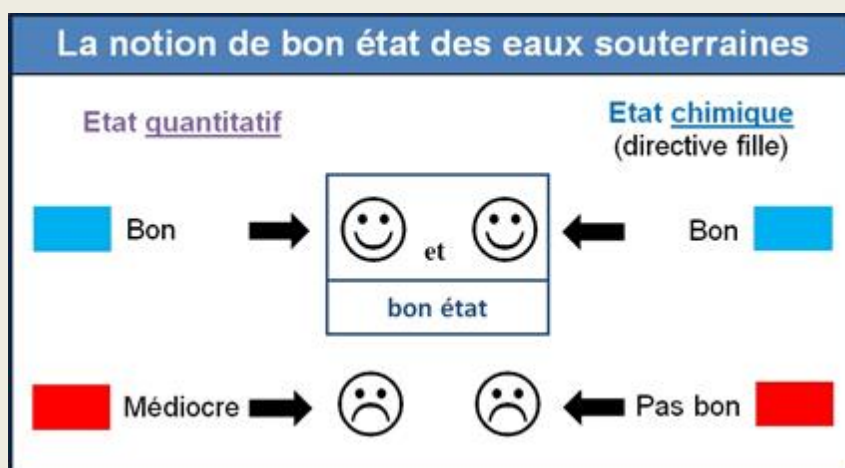
1.2- Objectifs de qualité

Cadre européen et transposition dans le droit français

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) adoptée en 2000 a pour objectif l'atteinte **du bon état** des toutes les masses d'eau, dont les masses d'eau souterraine.

Définition du bon état d'une eau souterraine : Le bon état d'une eau souterraine est défini par la combinaison de critères à la fois qualitatifs et quantitatifs. L'état d'une masse d'eau souterraine est considéré comme « bon » lorsque son état chimique et son état quantitatif sont au moins « bons ».

- * L'état chimique d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les concentrations en polluants dues aux activités humaines ne dépassent pas les normes définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement, lorsqu'elles n'entravent pas l'atteinte des objectifs fixés pour les masses d'eaux de surface alimentées par cette masse d'eau souterraine et lorsqu'il n'est constaté aucune intrusion d'eau salée « ou autre » due aux activités humaines.
- * L'état quantitatif d'une eau souterraine est considéré comme bon lorsque les prélèvements ne dépassent pas la capacité de renouvellement de la ressource disponible, compte tenu de la nécessaire alimentation en eau des écosystèmes aquatiques de surface et des zones humides directement dépendantes.



Le DCE annonçait l'adoption, au niveau européen, de mesures visant à prévenir et contrôler la pollution des eaux souterraines. La directive 2006/118/CE du parlement européen et du conseil du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration, a répondu à cette annonce. Pour cette raison, elle est appelée « directive fille » eaux souterraines de la DCE.

Au niveau français, la mise en œuvre de la « directive fille » eaux souterraines s'est notamment traduite :

- × par l'arrêté 17 décembre 2008 modifié établissant les critères d'évaluation et les modalités de détermination de l'état des eaux souterraines et des tendances significatives et durables de dégradation de l'état chimique des eaux souterraines ;
- × et par l'arrêté du 17 juillet 2009 modifié relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines.

Normes de qualité environnementales (NQE) et valeurs seuils pour les eaux souterraines

Norme de qualité environnementale (NQE) : Une Norme de Qualité Environnementale ou NQE est définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ».

Valeur seuil : Norme de qualité d'une eau souterraine fixée selon la méthodologie de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié. Les valeurs seuils sont fixées de façon à permettre de constater que les conditions nécessaires pour atteindre le bon état chimique d'une masse d'eau ou d'un groupe de masses d'eau souterraine sont remplies.

Les normes de qualité environnementales (**NQE**) pour les eaux souterraines sont définies dans l'annexe I de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié. Elles sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Polluant	Norme de Qualité
Nitrates	50 mg/l
Substances actives des pesticides, ainsi que les métabolites et produits de dégradation et de réaction pertinents (1)	0,1 µg/l 0,5 µg/l (total) (2)
<p>(1) On entend par pesticides les produits phytopharmaceutiques et les produits biocides. (2) On entend par total la somme de tous les pesticides détectés et quantifiés dans le cadre de la procédure de surveillance, y compris leurs métabolites, les produits de dégradation et les produits de réaction pertinents</p>	

Tableau 196 : Normes de Qualité pour les eaux souterraines données en annexe I de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié

Les **valeurs seuils** pour les eaux souterraines sont définies dans l'annexe II de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié. La partie A de l'annexe II fixe la **liste minimale** des paramètres et valeurs seuils associées retenues au **niveau national**. Ils sont repris dans le tableau ci-après. Il est à noter que nitrites et les orthophosphates ont été ajoutés à cette liste minimale de niveau national par l'arrêté du 23 juin 2016 qui a modifié l'arrêté du 17 décembre 2008.

Paramètres	Valeurs seuils retenues au niveau national
Arsenic	10 µg/l (1)
Cadmium	5 µg/l
Plomb	10 µg/l (2)
Mercurure	1 µg/l
Trichloréthylène	10 µg/l
Tétrachloréthylène	10 µg/l
Ammonium	0,5 mg/l (1)
Nitrites	0,3 (mg NO ₂ ⁻ /l)
Orthophosphates	0,5 (mg PO ₄ ³⁻ /l)
<p>(1) Valeur seuil applicable uniquement aux aquifères non influencés pour ce paramètre par le contexte géologique - à définir localement pour les nappes dont le contexte géologique influence ce paramètre. (2) Dans le cas d'un aquifère en lien avec les eaux de surface et qui les alimente de façon significative, prendre comme valeur seuil celle retenue pour les eaux douces de surface en tenant compte éventuellement des facteurs de dilution et d'atténuation.</p>	

Tableau 197 : Liste minimale des paramètres et valeurs seuils associées retenues au niveau national pour les eaux souterraines données en annexe II de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié

La partie B de l'annexe II de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié indique que des valeurs seuils sont à définir localement pour les nappes sous influence marine ou sous influence d'évaporites pour les trois paramètres suivants : sulfates, chlorures et conductivité.

Des paramètres et leurs valeurs seuils associées sujets à évolution :

L'article 5 de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié précise qu'après avis du comité de bassin, le préfet coordonnateur de bassin fixe des valeurs seuils pour les polluants et indicateurs de pollution listés à l'annexe II et pour tout autre paramètre, lorsqu'ils sont identifiés comme responsables d'un risque de non-atteinte du bon état chimique de masses ou groupes de masses d'eau souterraine. Pour les polluants et indicateurs de pollution de la partie A de l'annexe II, les valeurs seuils doivent être au minimum égales aux valeurs définies au niveau national.

Ainsi, le SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée a indiqué la liste des valeurs seuils retenues pour l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau souterraine du bassin.

La prise en compte des spécificités locales du « fond géochimique »

Le fond géochimique est défini comme la concentration d'une substance ou valeur d'un indicateur dans une masse d'eau souterraine correspondant à une absence de modification anthropique, ou seulement à des modifications très mineures, par rapport à des conditions non perturbées.

Certaines masses d'eau sont affectées par des polluants pouvant être influencés par le contexte géologique (certains métaux, ammonium, sulfates, chlorures en particulier), c'est-à-dire présents naturellement dans les eaux (on parle de « fond géochimique »).

Dans ce cas, des **valeurs seuils locales** peuvent être définies pour ces masses d'eau. La méthode de détermination de ces valeurs seuils repose sur la logique suivante⁶⁸ :

- × si le fond géochimique est inférieur à la valeur seuil nationale, c'est cette dernière valeur qui est retenue
- × si le fond géochimique est supérieur à la valeur seuil nationale, une valeur seuil au niveau local est fixée en fonction des données disponibles localement (données d'étude et des résultats du programme de surveillance et du contrôle sanitaire sur les captages d'alimentation en eau potable).

Ainsi, le SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée a indiqué une liste de valeurs seuils locales retenues pour l'évaluation de l'état chimique de certaines masses d'eau souterraine particulières. Ces valeurs seuils concernent essentiellement les paramètres sulfates, chlorures et conductivité (paramètres indiqués en partie B de l'annexe II de l'arrêté du 17 décembre 2008 modifié), mais aussi, pour certaines masses d'eau, l'antimoine, l'arsenic et le baryum.

⁶⁸ Étude BRGM, Agence de l'eau RMC, 2006. Identification des zones à risque de fond géochimique élevé en éléments traces dans les cours d'eau et les eaux souterraines des bassins Rhône - Méditerranée et Corse.

2. Eaux de surface

2.1- Contexte institutionnel

2.1.1- SDAGE

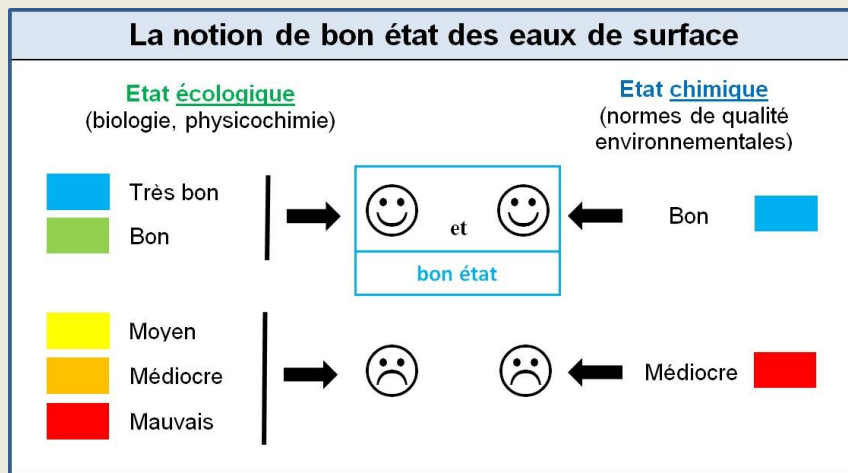
La gestion des eaux de Cadarache s'inscrit dans le cadre du SDAGE du bassin « Rhône-Méditerranée », qui a été présenté au paragraphe précédent concernant la gestion des eaux souterraines.

L'objectif du SDAGE est, conformément à l'objectif de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) 2000/60/CE du 23 octobre 2000 d'atteindre le bon état de toutes les masses d'eau, dont les eaux superficielles.

Définition du « bon état » des eaux superficielles : Pour les eaux superficielles, l'évaluation repose sur deux composantes :

- * l'état chimique (au regard du respect des normes européennes d'usages : baignade, production d'eau potable, élevage de coquillages, etc.) ;
- * l'état écologique, apprécié essentiellement selon des critères biologiques et des critères physicochimiques.

L'état est reconnu « bon » si l'état chimique est bon et si l'état écologique est bon (ou très bon).



En matière de lutte contre les pollutions par les substances dangereuses, le SDAGE du bassin du Rhône-Méditerranée pose les objectifs suivants :

- * le respect des Normes de Qualité Environnementales (**NQE**) correspondant à l'atteinte d'un bon état chimique et à la non-détérioration des masses d'eau ainsi qu'aux objectifs environnementaux liés à la directive 76/464 (catégories 1 à 3). Ces normes sont la référence pour la fixation des Valeurs Limites d'Emission (VLE) pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) notamment ;

- × la réduction des rejets, émissions et pertes des substances pour contribuer d'ici 2021 à l'objectif national de réduction.

L'objectif de réduction des émissions, à l'échéance 2027, est défini pour chaque substance ou groupe de substances dans le tableau ci-après. Ce tableau reprend les objectifs nationaux de réduction des émissions, rejets et pertes des substances visées par la DCE, en identifiant les polluants spécifiques de l'état écologique (**PSEE**) du bassin Rhône-Méditerranée.

Niveau de réduction (en % des émissions connues) en fonction des possibilités d'action par rapport à la ligne de base 2010 (inventaire)	0% pas d'action possible	- 10%	- 30%	- 100%* *action visant la suppression des émissions maîtrisables à un coût acceptable
Famille	Nom de la substance (ou du groupe de substances) et codes SANDRE			
Alkylphénols		• Octylphénols 1920 ; 1959		• Nonylphénols 1957 ; 5474 ; 1958
BTEX			• Benzène 1114	
Chlorobenzènes		• Trichlorobenzènes 1774 = 1283 + 1630 + 1629		• Hexachlorobenzène 1199 • Hexachlorobutadiène 1652 • Pentachlorobenzène 1888
Chlorophénols		• Pentachlorophénol 1235		
Dioxines et composés		• Dioxines et composés 7707		
Diphényléthers bromés				• Bromodiphényléthers (Tetra / Penta / Hexa) 2601 ; 1921 ; 2600 ; 2599
HAPs		• Fluoranthène 1191	• Anthracène 1458 • Naphthalène 1517	• Benzo(a)pyrène 1115 • Benzo(b)fluoranthène 1116 • Benzo(k)fluoranthène 1117 • Benzo(g, h,i)perylène 1118 • Indéno(1,2,3-cd)pyrène 1204
Métaux			• Arsenic 1369 • Chrome 1389 • Cuivre 1392 • Nickel 1386 • Plomb 1382 • Zinc 1383	• Cadmium et ses composés 1388 • Mercure et ses composés 1387
Organoétains				• Tributylétain et composés 2879
Perfluorés		• Acide perfluorooctane-sulfonique et ses dérivés (perfluorooctanesulfonate PFOS) 6560 ; 6561		
Pesticides	• Endosulfan 1743 • Hexachlorocyclohexane 5537 • Trifluraline 1289 • Alachlore 1101 • Atrazine 1107 • Chlorfenvinphos 1464 • Simazine 1263 • Aldrine 1103 • DDTs 7146 • Dieldrine 1173 • Endrine 1181 • Isodrine 1207	• Aclonifene 1688 • Aminotriazole 1105 • AMPA 1907 • Bifenox 1119 • Chlorprophame 1474 • Cybutrine 1935 • Cyperméthrine 1140 • Cyprodinil 1359 • Dichlorvos 1170 • Dicofol 1172 • Diflufenicanil 1814 • Diuron 1177 • Glyphosate 1506 • Heptachlore et époxydes d'heptachlore 1197 ; 1748 ; 1749 • Métazachlore 1670 • Nicosulfuron 1882 • Pendiméthaline 1234 • Quinoxifène 2028 • Terbutryne 1269	• 2,4 MCPA 1212 • Chlorpyrifos 1083 • Chlortoluron 1136 • Isoproturon 1208 • Oxadiazon 1667	
Phtalates		• DEHP Diethylhexylphtalate 6616		
Solvants chlorés			• 1,2 Dichloroéthane 1161 • Dichlorométhane 1168 • Trichlorométhane (chloroforme) 1135	• Tétrachloroéthylène 1272 • Tétrachlorure de carbone 1276 • Trichloroéthylène 1286
Autres micro-polluants		• HBCDD Hexabromo-cyclododécane 7128 • Phosphate de tributyle 1847		• Chloroalcanes C ₁₀ -C ₁₃ 1955

• Substances dangereuses prioritaires (SDP) • Substances prioritaires (SP) • Substances de la liste I de la directive 76/464 non inscrites dans la DCE • Polluants Spécifiques de l'État Écologique (PSEE) pour le bassin Rhône-Méditerranée

Tableau 198 : Objectif de réduction des émissions à l'échéance 2027 (Source : SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée)

2.1.2- SAGE

Le schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) est l'application du SDAGE à un niveau local.

L'initiative du SAGE revient aux responsables de terrains, élus, associations, acteurs économiques, aménageurs, usagers de l'eau qui ont un projet commun pour l'eau.

Le SAGE est un outil de planification locale dont les prescriptions doivent pouvoir s'appliquer à un horizon de 10 ans. Il se traduit par un arrêté préfectoral qui identifie les mesures de protection des milieux aquatiques, fixe des objectifs de qualité à atteindre, définit des règles de partage de la ressource en eau, détermine les actions à engager pour lutter contre les crues, etc. à l'échelle d'un territoire hydrographique pertinent (2 000 à 3 000 km²).

Dans un rayon de 5 kilomètres autour du site, il faut citer le SAGE Verdon, mis en œuvre à l'échelle du bassin versant du Verdon (source : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/sage/verdon>).

Le SAGE Durance est en cours d'instruction.

2.1.3- Contrat de rivière

Comme les SAGE, les contrats de milieux (rivière, lac, nappe, baie, ...) sont des outils d'intervention à l'échelle de bassin versant donnant lieu à un important programme d'études puis de travaux, coordonné et animé généralement par une structure porteuse et une équipe technique permanente. En pratique également, les contrats de milieux comme les SAGE déclinent les objectifs majeurs du SDAGE sur leur bassin versant. Ils sont aussi les outils à privilégier pour permettre l'atteinte du bon état des masses d'eau comme le demande la Directive Cadre Européenne sur l'Eau (DCE).

La différence avec le SAGE est que l'objet essentiel du contrat de milieu n'est pas de formaliser un projet commun pour l'eau dans le bassin assorti de règles de bonne conduite pour le mettre en œuvre, mais d'aboutir à un programme d'actions, généralement sur 5 ans, en terme d'études, de travaux, etc. financé par différents partenaires. Les montants en jeu peuvent aller jusqu'à plusieurs dizaines de millions d'euros. Comme dans le cas des SAGE, ces actions sont décidées après un travail important en termes de définition des objectifs poursuivis et leur mise en œuvre est évaluée au travers d'indicateurs précis. De plus, à mi-parcours du contrat et à son achèvement, un bilan doit être dressé.

Il existe un contrat de rivière du Val de Durance, initié par le SMAVD (Syndicat Mixte d'Aménagement de la Vallée de la Durance) qui s'étend sur les 230 km (sur 300 km au total) que la Durance parcourt depuis le barrage de Serre-Ponçon jusqu'au Rhône (source : <http://www.smavd.org/>).

Concernant le Verdon, le label Contrat de Rivière a été attribué le 20 janvier 2006 par le Bureau du Comité de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse sur la base du dossier préalable de candidature. L'arrêté inter-préfectoral de composition du Comité de Rivière a été signé le 15 juin 2007. Le Comité de Rivière, chargé du pilotage et du suivi du Contrat de Rivière, a été créé le 18 janvier 2008. Le contrat de rivière Verdon 1 avait une durée de validité de 5 ans et est arrivé à échéance en 2013.

Une note de synthèse de la Commission Locale de l'Eau (CLE) du 06 avril 2016, publiée en mai 2016, présente le projet de contrat de rivière « Verdon 2 ». Les principaux cours d'eau concernés sont :

- * Le Verdon (et ses lacs de retenue) ;
- * Les principaux affluents du Haut Verdon : le Bouchier, le Chadoulin, la Lance, la Chasse, l'Issole ;
- * Les principaux affluents et sous-affluents du Moyen Verdon : l'Artuby, le Jabron, la Bruyère, la Lane, le Rieu Tort ;
- * Les affluents du Bas Verdon : le Colostre.

Fort de 159 actions détaillées en 245 opérations, ce contrat attendu de petite taille s'avère en fait être plus important que son frère aîné, le contrat 1. Cela est vraisemblablement dû à une bonne appropriation de la démarche par les acteurs du territoire, qui ont su faire de ce deuxième contrat un outil reflétant leur ambition pour le bassin versant du Verdon.

Les enjeux thématiques identifiés sur le bassin versant se rattachent à 5 axes principaux, les axes du SAGE :

- * Rechercher un fonctionnement hydraulique et biologique permettant la satisfaction des différents usages, la préservation des milieux naturels et la gestion des risques.
- * Préserver et valoriser le patrimoine naturel, exceptionnel mais fragile et soumis à de nombreuses contraintes.
- * Aller vers une gestion solidaire de la ressource.
- * Assurer une qualité des eaux permettant la satisfaction des différents usages et préservant les potentialités biologiques.
- * Concilier les activités touristiques liées à l'eau avec les autres usages et la préservation des milieux.

(Source : <http://www.gesteau.eaufrance.fr/document/contrat-de-riviere-verdon-2-note-de-synthese>).

2.2- Objectifs de qualité chimique et biologique

Substances prioritaires et Normes de Qualité Environnementale (NQE)

La DCE a défini une stratégie de lutte contre la pollution de l'eau, consistant à recenser des **substances prioritaires** parmi celles qui présentent un risque significatif pour ou via l'environnement aquatique, et qui doivent en priorité faire l'objet de mesures au niveau de l'Union. Ces substances prioritaires sont listées à l'annexe X de la DCE.

La DCE a également prévu la fixation de normes de qualité environnementale (**NQE**) pour les substances prioritaires et pour certains autres polluants. Les NQE, listées à l'annexe IX de la DCE, sont déterminées au niveau européen, par la Commission et en consensus avec les États Membres de l'Union Européenne.

La liste des paramètres et leurs **normes de qualité environnementale (NQE) à respecter pour atteindre le bon état** sont indiqués dans la « Directive 2008/105/CE du Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2008 établissant des normes de qualité environnementale dans le domaine de l'eau, modifiant et abrogeant les directives du Conseil 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE et modifiant la directive 2000/60/CE », elle-même modifiée par la directive 2013/39/UE du Parlement Européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau.

Les Normes de Qualité Environnementale sont utilisées dans le contexte de la DCE pour 2 types d'évaluation :

- × **Évaluation de l'état chimique**, qui concerne les substances « prioritaires » et « dangereuses prioritaires » de la DCE. Pour l'évaluation de l'état chimique, les NQE sont déterminées **au niveau européen**, par la Commission et en consensus avec les États Membres de l'Union Européenne. La liste des substances prioritaires et les NQE qui y sont associées sont réexaminées régulièrement⁶⁹ afin de tenir compte de l'évolution des connaissances scientifiques et techniques, mais aussi de celle de l'usage des substances chimiques (synergie encouragée avec le règlement européen REACH⁷⁰ par exemple).
- × **Évaluation de l'état chimique dans l'état écologique**, qui concerne les polluants spécifiques de l'état écologique (**PSEE**) de la DCE, et dont la liste est établie **au niveau national** sur la base de la **liste indicative fournie en Annexe VIII de la DCE**. En France, l'INERIS fait des propositions de Valeurs Guides Environnementales, ou **VGE**, au Ministère en charge de l'environnement, via sa convention avec l'ONEMA⁷¹. Ces VGE peuvent être reprises et s'appliquer aux substances de l'état écologique dans des arrêtés de portée nationale (arrêté du 25 janvier 2010 modifié, voir ci-après). Elles sont alors considérées comme **des seuils à valeur réglementaire**, c'est-à-dire des NQE.

La détermination de ces normes suit une **méthodologie spécifique** qui a été élaborée au niveau européen⁷² (Technical Guidance For Deriving Environmental Quality Standards, Guidance Document No. 27, 2011).

⁶⁹ Dans sa version initiale, la DCE prévoyait dans son article 16, point 4, que le réexamen de la liste des substances prioritaires soit effectué « au moins tous les 4 ans ». La directive 2013/39/EC a modifié ce point, en indiquant que le réexamen doit être fait « au moins une fois tous les 6 ans ». Notons également que pour les substances prioritaires nouvellement identifiées par la directive 2013/39/UE, les normes de qualité environnementale s'appliquent à partir du 22 décembre 2018.

⁷⁰ REACH est un règlement européen (règlement n° 1907/2006) entré en vigueur en 2007 pour sécuriser la fabrication et l'utilisation des substances chimiques dans l'industrie européenne. Il s'agit de recenser, d'évaluer et de contrôler les substances chimiques fabriquées, importées, et mises sur le marché européen. D'ici 2018, plus de 30 000 substances chimiques devraient être connues et leurs risques potentiels établis.

⁷¹ ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Depuis le 1^{er} janvier 2017, l'Onema, l'Agence des aires marines protégées, Parcs nationaux de France et l'Atelier technique des espaces naturels ont regroupé leurs compétences pour fonder l'Agence française pour la biodiversité.

⁷² Cette méthodologie a été synthétisée par l'INERIS dans un document en langue française (Méthodologie utilisée pour la détermination de normes de qualité environnementale (NQE), Rapport d'étude DRC-11-118981-08866A, 05/08/2011).

Pour chaque polluant, deux types de NQE sont établis, à savoir des concentrations moyennes annuelles (**NQE-MA**) et des concentrations maximales admissibles (**NQE-CMA**). La quantité moyenne de la substance considérée, calculée sur une période d'un an, vise à garantir la qualité à long terme du milieu aquatique. La concentration maximale admissible de la substance, mesurée de manière ponctuelle, vise à limiter les pics de pollution.

Transposition dans le droit français

La **circulaire DCE n° 2007/23 du 7 mai 2007** a défini les « normes de qualité environnementale provisoires (NQE_p) » des 41 substances impliquées dans l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi que des substances pertinentes du programme national de réduction des substances dangereuses dans l'eau. Cette circulaire a également fixé les objectifs nationaux de réduction des émissions de ces substances et a modifié la circulaire DCE 2005/12 du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état » (publiée au Bulletin Officiel).

Les règles d'évaluation de l'état des eaux de surface sont définies au niveau national par **l'arrêté ministériel du 25 janvier 2010** modifié relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.

Dans la suite du document, on parlera de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié.

Cet arrêté définit les normes de qualité environnementale (NQE) de 33 substances organiques exprimé à la fois en valeur moyenne annuelle (NQE-MA) et en concentration maximale admissible (NQE-CMA). Les valeurs moyennes annuelles sont similaires aux valeurs provisoires de la circulaire DCE n° 2007/23. En revanche, celles correspondant aux concentrations maximales admissibles ne concernent que certains composés.

Notons que l'évaluation de l'état des eaux s'appuie sur les données de surveillance recueillies conformément aux dispositions de l'arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement. La référence à cet arrêté est, le cas échéant, opérée en renvoyant à l'arrêté « surveillance » du 25 janvier 2010 modifié.

2.2.1- État chimique

L'état chimique, destiné à vérifier le respect des normes de qualité environnementales (**NQE**), prévoit deux classes d'état : bon ou mauvais.

L'état chimique d'une masse d'eau de surface est défini à l'article 11 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié.

L'état chimique d'une masse d'eau de surface est bon lorsque les concentrations en polluants ne dépassent pas les normes de qualité environnementale (**NQE**), en tout point de la masse d'eau hors zone de mélange. La liste des polluants concernés et les normes de qualité environnementale correspondantes sont définies aux points 1.1 et 1.2 de l'annexe 8 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié.

2.2.2- État écologique

L'état écologique se décline en cinq classes d'état (très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais) ; il prend en compte des paramètres biologiques (phytoplancton, macroalgues, invertébrés, poissons, etc.) et des paramètres physico-chimiques sous-tendant la biologie.

Pour l'état écologique, il existe des normes de qualité environnementales pour des substances spécifiques. Dans ce cas, les normes et modalités d'interprétation des résultats d'analyses sont identiques à celles relatives à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau.

Le tableau suivant synthétise les éléments de qualité et les indicateurs à prendre en compte pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau de la Métropole⁷³. Au final, la classification de l'état écologique correspond **à la plus basse des classes de qualité de l'état des éléments de qualité**, en application des règles d'agrégation entre les différents éléments de qualité définies à l'annexe 2 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié.

⁷³ Des indicateurs adaptés aux spécificités locales sont définis pour les DROM : Antilles, Guyane, Réunion et Mayotte.

Éléments de qualité	Paramètres	Éléments de qualité et indicateurs pour la Métropole Cours d'eau / Grands cours d'eau
Éléments de qualité biologique	Paramètres biologiques	
Phytoplancton	Composition, abondance et biomasse	
Macrophytes	Composition et abondance	IBMR / IBMR
Phytobenthos	Composition et abondance	IBD / IBD
Faune benthique invertébrée	Composition et abondance	I2M2* / MGCE**
Ichtyofaune	Composition, abondance et structure de l'âge	IPR
Élément de qualité physico-chimique	Paramètres physico-chimiques	
Bilan d'Oxygène	Oxygène dissous	Valeurs seuils en annexe 3 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié
	Taux de saturation en O ₂	
	DBO5	
	Carbone organique dissous	
Température de l'eau	-	
Salinité	Conductivité	
	Chlorures	
	Sulfates	
État d'acidification	pH _{min} et pH _{max}	
Concentration en nutriments	PO ₄ ³⁻	Valeurs seuils en annexe 3 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié
	Phosphore total	
	NH ₄ ⁺	
	NO ₂ ⁻	
	NO ₃ ⁻	
Éléments de qualité hydromorphologique	Paramètres hydromorphologiques	
Régime hydrologique	Quantité et dynamique du débit d'eau,	
	Connexion aux masses d'eau souterraines	
Continuité de la rivière		
Conditions morphologiques	Variation de la profondeur et de la largeur de la rivière	
	Structure et substrat du lit	
	Structure de la rive	
<i>Vert : indicateurs disponibles / Rouge : indicateurs non disponibles</i> <i>* : Dispositif transitoire sur l'HER 9A permettant l'utilisation temporaire de l'IBGN sur ce territoire</i> <i>** : Méthode Grand Cours d'Eau (MGCE)</i>		

Tableau 199 : Synthèse des éléments de qualité et indicateurs à prendre en compte pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau en Métropole⁷⁴

2.2.2.1 Éléments de qualité biologique

Les éléments de qualité biologique à prendre en compte pour évaluer l'état écologique des cours d'eau sont définis à l'annexe 5 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié.

⁷⁴ Adapté d'après le Guide technique Relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) publié par le Ministère en charge de l'environnement en janvier 2019.

Indices biologiques normalisés

Actuellement, les indices biologiques normalisés suivants sont utilisables pour la Métropole :

- × **IBGN** (indice biologique global normalisé : norme NF T90-350), concernant les macro-invertébrés ;
- × **IBD₂₀₀₇** (indice biologique diatomées : norme AFNOR NF T90-354) concernant les diatomées ;
- × **IBMR** (indice biologique macrophytique en rivière : norme NF T90-395) concernant les macrophytes ;
- × **IPR** (indice poissons rivière : norme NF T90-344, avec le protocole d'échantillonnage de la norme XP T90-383, puis NF T90-383 dès son entrée en vigueur).

Pour chacun de ces indices, la valeur de référence correspond à la valeur attendue en situation naturelle. Le très bon état correspond à la variabilité naturelle des indices et à des situations où l'impact est difficilement discernable de cette variabilité naturelle.

À titre d'exemple, dans le cas du Rhône, classé dans la catégorie « Très Grands » cours d'eau (TG6-7/2), appartenant à l'HydroEcoRégion de niveau 1 (HER, voir la figure suivante) n° 6 « Méditerranée », et de type « Exogène de l'HER 2 ou 7 », les limites du bon état établies pour les différents indices biologiques normalisés sont présentées ci-dessous.

Indice	Limites inférieure et supérieure du bon état
IBGN	Absence de valeur
IBD ₂₀₀₇	]14,3 - 17,1]
IBMR	]7,2 – 8,6]
IPR	]5-16]

Tableau 200 : Valeurs limites du bon état des différents indices de l'état écologique pour les cours d'eau de type TG6-7/2 (calculées selon les modalités définies dans l'annexe 3 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié)

Indices biologiques en évolution pour être compatibles avec la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Les exigences imposées par la Directive Cadre sur l'Eau ont amené à réviser les indices macro-invertébrés et poissons pour les rendre plus représentatifs de la qualité biologique des cours d'eau, et pour permettre de mieux identifier les pressions à l'origine des dégradations.

Ainsi, le 3^{ème} cycle DCE 2022-2027 verra le remplacement :

- × de l'Indice Biologique Global Normalisé (**IBGN**) par l'Indice invertébrés multi-métrique (**I₂M₂**) ;
- × de l'Indice Poissons Rivière (**IPR**) par l'Indice Poissons Rivière + (**IPR+**).

Ces indices biologiques de remplacement ont fait l'objet de recherches et d'expérimentations et sont en cours de normalisation. Pendant le 2^{ème} cycle DCE 2016-2021, l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié indique que ces nouveaux indices sont prescrits en qualité d'outils diagnostics complémentaires, en appui aux indices normalisés.

Ainsi, certains bureaux d'études et laboratoires (tels que ceux qui assurent le suivi environnemental de la Durance pour le compte du CEA de Cadarache), proposent l'évaluation de l'Indice Biologique Global compatible avec la DCE (**IBG-DCE**) pour les cours d'eau prospectables à pied, selon les protocoles de prélèvement et de traitement des échantillons au laboratoire qui seront exigés pour l'évaluation de l'indice normalisé I₂M₂.

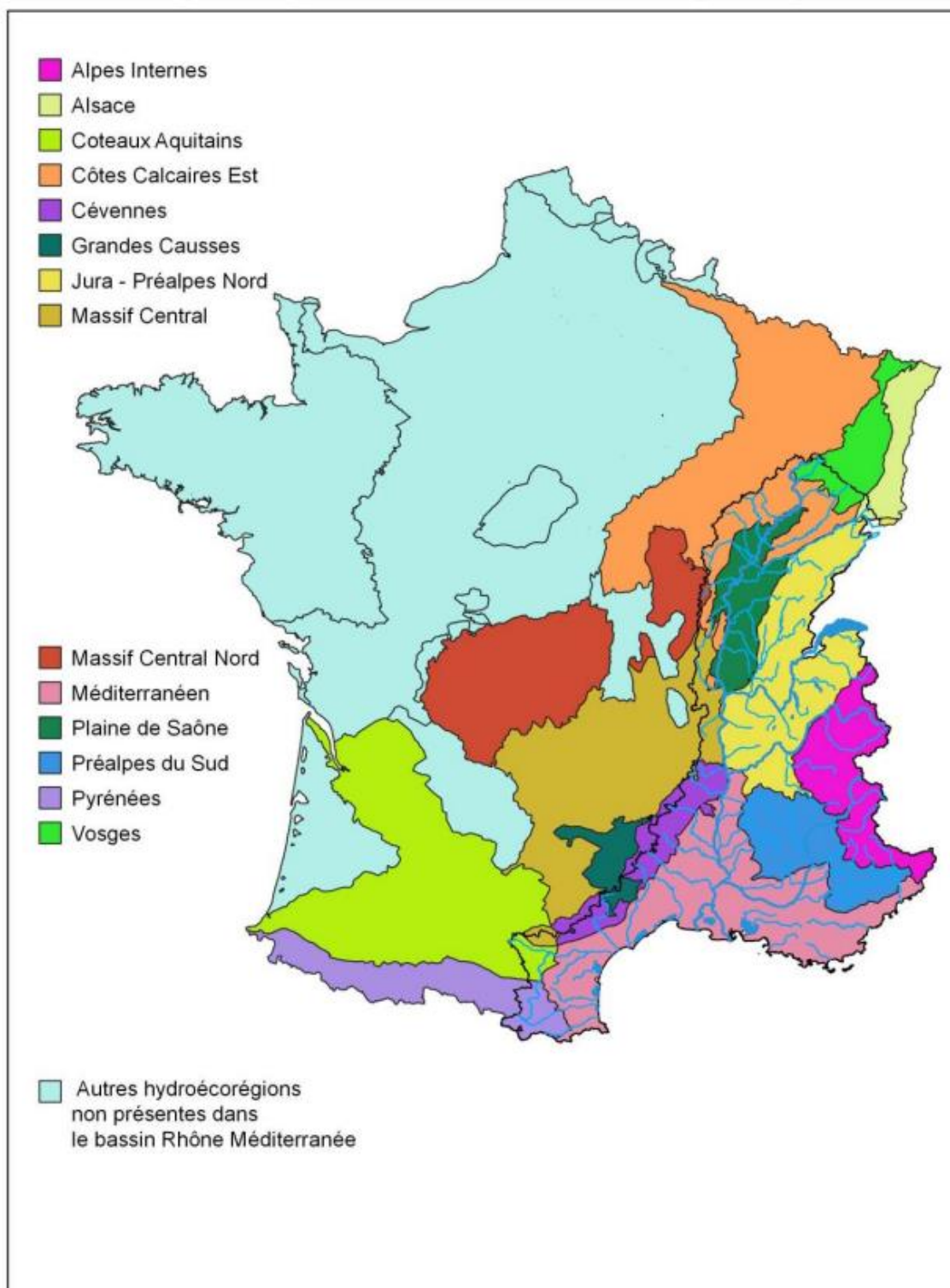


Figure 141 : Hydroécocorégions (niveau 1) du bassin Rhône-Méditerranée (Source : SDAGE 2022-2027 Rhône-Méditerranée)

Benthos : Ensemble des organismes aquatiques (marins ou dulcicoles) vivant à proximité du fond des mers et océans, des lacs et cours d'eau (dérivé du grec signifiant « profondeur »).

Biocénose : Ensemble des êtres vivants qui peuplent un écosystème donné. Elle se compose de trois groupes écologiques fondamentaux d'organismes : les producteurs (végétaux), les consommateurs (animaux), et les décomposeurs (bactéries, champignons, etc.).

Bryophytes : Plantes ne possédant pas de véritable système vasculaire (absence de racines et de vaisseaux). Dans la famille des bryophytes, on trouve notamment les mousses. Les bryophytes, et plus particulièrement les mousses, se nourrissent des nutriments trouvés dans leur milieu (air, eau). De ce fait, elles sont considérées comme des bio-accumulateurs, et des marqueurs de pollutions (métaux lourds, radionucléides).

Diatomée : Élément d'une classe d'algues unicellulaires entourées d'une coque siliceuse.

HydroEcoRégion (HER) : Zone homogène du point de vue de la géologie, du relief et du climat. C'est l'un des principaux critères utilisés dans la typologie et la délimitation des masses d'eau de surface. La France métropolitaine peut être décomposée en 21 hydroécorégions principales (dites de niveau 1). Le bassin Rhône-Méditerranée est concerné par 14 hydroécorégions de niveau 1.

Indice Biologique Diatomées (IBD₂₀₀₇) : L'Indice Biologique Diatomées (norme NF T90-354) permet également d'évaluer la qualité biologique générale d'un cours d'eau à partir de l'analyse des peuplements de diatomées (algues brunes microscopiques) vivant sur le fond du cours d'eau (le periphyton) et plus particulièrement celles situées sur les substrats durs et inertes de type pierres-blocs-galets (l'épilithon). Les diatomées présentes expriment à travers leurs abondances spécifiques (nombre d'individus par espèce) un état biologique de la station d'étude considérée. Le cortège diatomique est caractéristique de l'hydrologie du cours d'eau et de la physico-chimie de l'eau.

Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) : L'Indice Biologique Global Normalisé (norme NF T90-350 de mars 2004) permet d'évaluer la qualité biologique générale d'une station d'échantillonnage située sur un cours d'eau à partir de la composition des peuplements de macro-invertébrés vivant sur le fond. La faune benthique présente traduit la **qualité physico-chimique des eaux** et la **diversité d'habitats**. La capacité indicatrice et intégratrice des organismes apporte une information sur la qualité du milieu. L'IBGN est donc une démarche biocénotique qui consiste à caractériser les perturbations par leurs effets sur les communautés faunistiques présentes. La mise en œuvre de l'IBGN comprend trois étapes : les prélèvements, l'analyse au laboratoire et le calcul de l'indice (note de 0 à 20).

Indice Biologique Global compatible avec la Directive Cadre sur l'Eau (IBG-DCE) : Indice biologique global compatible avec les exigences de la DCE pour les cours d'eau prospectables à pied, selon les protocoles de prélèvement et de traitement des échantillons au laboratoire qui seront exigés pour l'évaluation de l'indice normalisé I₂M₂.

Indice invertébrés multi-métrique (I₂M₂) : Cet indice a été utilisé à titre complémentaire (de l'IBGN) pendant le 2^{ème} cycle DCE 2016-2021 pour les cours d'eau de métropole avec le protocole de prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes de la norme XP T90-333 de 2009 (puis NF T90-333 dès son entrée en vigueur) et le protocole de traitement au laboratoire d'échantillon contenant des macro-invertébrés de cours d'eau XP T90-388 de 2010 (puis NF T90-388 dès son entrée en vigueur). Il remplace définitivement l'IBGN pour le 3^{ème} cycle DCE 2022-2027.

Indice Biologique Macrophytique en Rivière (IBMR) : L'Indice Biologique Macrophytique en Rivière (norme NF T90-395) est fondé sur l'examen des macro-végétaux aquatiques, et traduit essentiellement le degré de trophie des rivières lié à leur teneur en ammonium (forme réduite des nitrates) et orthophosphates, ainsi qu'aux pollutions organiques majeures.

Indice Poissons Rivière (IPR) : La mise en œuvre de l'IPR (norme NF T90-344) consiste globalement à mesurer l'écart entre la composition du peuplement sur une station donnée, observée à partir d'un échantillonnage par pêche électrique, et la composition du peuplement attendue en situation de référence, c'est-à-dire dans des conditions très peu ou pas modifiées par l'homme.

Indice Poissons Rivière + (IPR+) : Indice biologique Poissons à utiliser à titre complémentaire pendant le 2^{ème} cycle DCE 2016-2021 avec le protocole d'échantillonnage de la norme XP T90-383 (puis NF T90-383 dès son entrée en vigueur). Il remplacera définitivement l'IPR pour le 3^{ème} cycle DCE 2022-2027.

Macro-invertébrés : Petits animaux vivant au fond de la rivière (sur et dans les sédiments) : larves d'insectes, mollusques, crustacés, etc.

Macrophytes : Ensemble des plantes aquatiques macroscopiques, visibles à l'œil nu. Il existe plusieurs types de macrophytes : les plantes émergentes comme le roseau, le scirpe et la massette, les plantes à organes submergés et flottants (nénuphars) et les plantes submergées qui peuvent former des herbiers denses (Callitriche, cornifle immergé, élodée, potamot, renoncule, Zannichellie). Sensibles à la qualité de l'eau et du sédiment, la présence, la prolifération ou au contraire la disparition d'espèces de macrophytes sont des indicateurs du niveau de pollution. L'inventaire des espèces de macrophytes, leur biomasse en poids sec et leur taux de recouvrement permet de définir l'état d'eutrophisation des eaux.

2.2.2.1.1 Eléments physico-chimiques généraux pour les cours d'eau

Les éléments physico-chimiques généraux interviennent uniquement **comme facteurs explicatifs des conditions biologiques**. Pour la classe « bon » et les classes inférieures, les valeurs seuils de ces éléments physico-chimiques sont fixées de manière à respecter les limites de classes établies pour les éléments biologiques, correspondant au bon fonctionnement des écosystèmes.

Les limites de classes d'état sont exprimées par paramètre et non par élément de qualité (par exemple, l'oxygène dissous est un paramètre constitutif de l'élément bilan d'oxygène). Les valeurs seuils des limites de classes sont issues de l'annexe 3 de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié, et sont présentées dans le tableau ci-après.

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Bilan de l'oxygène				
Oxygène dissous (mgO ₂ /L)	8	6	4	3
Taux de saturation en O ₂ dissous (%)	90	70	50	30
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg/L)	5	7	10	15
Température (°C)				
Eaux salmonicoles	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles ⁷⁵	24	25,5	27	28
Nutriments				
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg/L)	0,05	0,2	0,5	1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	0,1	0,5	2	5
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,1	0,3	0,5	1
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10	50	*	*
Acidification				
pH minimal	6,5	6	5,5	4,5
pH maximal	8,2	9	9,5	10
Salinité				
Conductivité	*	*	*	*
Chlorures	*	*	*	*
Sulfates	*	*	*	*

* : Les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite

Tableau 201 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau

2.2.2.1.2 Polluants spécifiques de l'état écologique (PSSE)

Les polluants spécifiques de l'état écologique (PSSE) sont les substances dangereuses pour les milieux aquatiques déversées en quantité significatives dans les masses d'eau de chaque bassin ou sous bassin hydrographique. Les substances dangereuses sont des substances qui sont toxiques, persistantes et bioaccumulables, et autres substances ou groupes de substances qui sont considérées, à un degré équivalent, comme sujettes à caution.

⁷⁵ Cyprinicole : relatif à l'élevage de carpes et de tanches.

Les polluants spécifiques de l'état écologique (PSEE) et les normes de qualité environnementales (NQE) correspondantes à prendre en compte dans l'évaluation de l'état écologique des eaux de surface continentales métropolitaines sont listés dans les tableaux ci-dessous, issus de l'arrêté « évaluation » du 25 janvier 2010 modifié, en distinguant :

- * Les NQE valables jusqu'au 21 décembre 2015 (en vigueur pour le SDAGE 2009-2015).
- * Les NQE valables à partir du 22 décembre 2015 (en vigueur pour les SDAGE suivants).

Polluants spécifiques non synthétiques

NOM de la substance	NQE MOYENNE ANNUELLE ($\mu\text{g/L}$)* (valable jusqu'au 21 décembre 2015)	
Arsenic dissous	4,2	
Chrome dissous	3,4	
Cuivre dissous	1,4	
Zinc dissous	Dureté** inférieure ou égale à 24 $\mu\text{g CaCO}_3/\text{l}$:	3,1
	Dureté supérieure à 24 $\mu\text{g CaCO}_3/\text{l}$:	7,8

* Ces normes ont un caractère provisoire car elles ne correspondent pas pleinement à la définition d'une NQE. Ces valeurs ne sont protectrices que pour les organismes de la colonne d'eau et ne prennent notamment pas en compte l'intoxication secondaire.

** La dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium

Tableau 202 : Polluants spécifiques non synthétiques (NQE valables jusqu'au 21 décembre 2015)

Comme pour les paramètres de l'état chimique, les normes applicables aux métaux peuvent être corrigées par le fond géochimique et la biodisponibilité.

NOM de la substance	NQE MOYENNE ANNUELLE – Eaux douces de surface ($\mu\text{g/L}$) (valable à partir du 22 décembre 2015)
Arsenic dissous	0,83
Chrome dissous	3,4
Cuivre dissous	1
Zinc dissous	7,8

Tableau 203 : Polluants spécifiques non synthétiques (NQE valables à partir du 22 décembre 2015)

Les polluants spécifiques non synthétiques concernent l'ensemble des bassins métropolitains et DOM.

Comme pour les paramètres de l'état chimique, les normes applicables aux métaux peuvent être corrigées par le fond géochimique.

Les normes de qualité environnementale relatives au cuivre et au zinc sont des normes biodisponibles, c'est-à-dire correspondant aux normes de qualité environnementale en conditions maximales de biodisponibilité.

Polluants spécifiques synthétiques

NOM de la substance	NQE MOYENNE ANNUELLE (µg/L)* (valable jusqu'au 21 décembre 2015)
Chlortoluron	5
Oxadiazon	0,75
Linuron	1
2,4 D	1,5
2,4 MCPA	0,1

* Ces normes ont un caractère provisoire car elles ne correspondent pas pleinement à la définition d'une NQE. Ces valeurs ne sont protectrices que pour les organismes de la colonne d'eau et ne prennent notamment pas en compte l'intoxication secondaire.

Tableau 204 : Polluants spécifiques synthétiques (NQE valables jusqu'au 21 décembre 2015)

Le tableau suivant présente les NQE « Eaux douces de surface » qui s'appliquent pour le bassin Rhône-Méditerranée, à partir du 22 décembre 2015.

NOM de la substance	NQE MOYENNE ANNUELLE – Eaux douces de surface (µg/L) (valable à partir du 22 décembre 2015)
Chlortoluron	0,1
Métazachlore	0,019
Aminotriazole	0,08
Nicosulfuron	0,035
Oxadiazon	0,09
AMPA	452
Glyphosate	28
2,4 MCPA	0,5
Diflufenicanil	0,01
Cyprodinil	0,026
Phosphate de tributyle	82
Chlorprophame	4
Pendiméthaline	0,02

Tableau 205 : Polluants spécifiques synthétiques pour le bassin Rhône-Méditerranée (NQE valables à partir du 22 décembre 2015)