



**PROJET DE POURSUITE
D'EXPLOITATION DE L'ISDND
COMMUNE DE GUELTAS (56)**

**ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE
ET HYDROGEOLOGIQUE
SELON LA NORME FD X30-438**

2023/06/E168/V1

Septembre 2023

SOMMAIRE

1	PRESENTATION DE L'ETUDE	1
1.1	PREAMBULE	1
1.1.1	<i>Présentation du projet</i>	1
1.1.2	<i>Situation</i>	1
1.2	CADRE REGLEMENTAIRE	4
1.3	OBJECTIF DE L'ETUDE ET PROBLEMATIQUES IDENTIFIEES	5
1.3.1	<i>Objectif de l'étude de qualification</i>	5
1.3.2	<i>Données géologiques d'ordre général : Le Massif Armoricain</i>	5
1.3.3	<i>Problématiques identifiées</i>	6
1.4	MOYENS D'ETUDE	7
1.4.1	<i>Contexte géologique et structural</i>	7
1.4.2	<i>Contexte hydrogéologique et usage des eaux</i>	7
1.4.3	<i>Contexte hydrologique</i>	8
1.4.4	<i>Etudes de projet</i>	8
2	ETUDE D'APTITUDE	9
2.1	CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL	10
2.1.1	<i>Cadre hydrologique régional</i>	10
2.1.2	<i>Le Bassin Versant de l'Evel – Belle Chère et géologie associée</i>	12
2.1.3	<i>SDAGE et SAGE</i>	13
2.1.4	<i>Espaces naturels sensibles</i>	14
2.2	RISQUES NATURELS	15
2.2.1	<i>Risque sismique</i>	15
2.2.2	<i>Aléas retrait-Gonflement des argiles</i>	16
2.2.3	<i>Glissements de terrain</i>	16
2.2.4	<i>Risque d'effondrement</i>	16
2.2.5	<i>Risque d'inondation</i>	16
2.2.6	<i>Synthèse sur les risques naturels</i>	17
2.3	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL	18
2.3.1	<i>Données géologiques d'ordre général</i>	18
2.3.2	<i>Contexte structural</i>	19
2.3.3	<i>Contexte géologique local</i>	22
2.3.4	<i>Lithostratigraphie locale</i>	25
2.3.5	<i>Synthèse sur l'aptitude géologique régionale</i>	26
2.4	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	27
2.4.1	<i>Données d'ordre général</i>	27
2.4.2	<i>Masse d'eau référencée</i>	28
2.4.3	<i>Captages AEP et autres usages des eaux souterraines</i>	29
2.4.4	<i>Synthèse sur l'aptitude hydrogéologique</i>	30
2.5	JUSTIFICATION DU CHOIX REGIONAL ET LOCAL DU SITE	31
2.5.1	<i>Contraintes régionales et locales prises en compte</i>	31
2.5.2	<i>Critères positifs d'aptitude régionale et locale</i>	32
2.5.3	<i>Conclusion sur l'aptitude régionale</i>	32

3	ETUDE DE QUALIFICATION	33
3.1	DONNEES HISTORIQUES EXISTANTES	33
3.2	CONTEXTE GEOLOGIQUE	35
3.2.1	<i>Géophysique préliminaire</i>	35
3.2.2	<i>Nouveaux sondages réalisés en 2022</i>	46
3.2.3	<i>Données lithologiques</i>	48
3.2.4	<i>Illustrations : cartes et coupes géologiques du site</i>	53
3.2.5	<i>Perméabilité de la barrière passive</i>	58
3.2.6	<i>Conclusion géologique</i>	63
3.3	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE	64
3.3.1	<i>Rappel des conclusions de l'étude d'aptitude et objectif de l'étude hydrogéologique locale</i>	64
3.3.2	<i>Données générales</i>	64
3.3.3	<i>Ouvrages référencés dans l'aire d'étude hydrogéologique</i>	65
3.3.4	<i>Investigations menées pour la présente étude</i>	67
3.3.5	<i>Premier niveau sous le site : Niveau de saturation des altérites du Briovérien</i>	67
3.3.6	<i>Caractéristiques hydrodynamiques des altérites</i>	72
3.3.7	<i>Qualité des eaux de saturation</i>	73
3.3.8	<i>Conclusion hydrogéologique (schéma hydrogéologique local)</i>	75
3.4	CONTEXTE HYDROLOGIQUE LOCAL	76
3.4.1	<i>Bassins versants à l'échelle locale</i>	76
3.4.2	<i>Hydrologie du site et point de rejet naturel</i>	78
4	PRECONISATIONS TECHNIQUES	80
4.1	QUALITE ET USAGE DES MATERIAUX	82
4.1.1	<i>Données historiques</i>	82
4.1.2	<i>Données nouvelles (2022)</i>	83
4.2	STRUCTURE DE LA BARRIERE PASSIVE DU SITE	85
4.2.1	<i>Rappel</i>	85
4.2.2	<i>Recommandations préalables</i>	87
4.2.3	<i>Etude d'équivalence de la barrière passive de la zone ISDND</i>	88
4.2.4	<i>Structure recommandée pour l'ISDND</i>	90
4.2.5	<i>Cas du bassin de lixiviat</i>	92
4.3	PRECONISATION DU DISPOSITIF DE DRAINAGE DES EAUX SOUTERRAINES	93
4.3.1	<i>Principe de gestion</i>	93
4.3.2	<i>Altitudes mini et maxi préconisées de la tranchée drainante</i>	94
4.3.3	<i>Débits et volumes mis en jeu</i>	96
4.4	MESURES DE PROTECTION DE LA QUALITE DES EAUX	97
4.4.1	<i>Réseau de contrôle de la qualité des eaux souterraines pour la zone d'extension</i>	97
4.4.2	<i>Mode et point de rejet envisageables</i>	97
4.5	ETUDE DE STABILITE	98
4.5.1	<i>Stabilité au décaissement</i>	98
4.5.2	<i>Stabilité de la digue périmétrique</i>	100
4.5.3	<i>Stabilité du projet retenu en configuration site réaménagé</i>	100
5	CONCLUSION	102
5.1	ETUDE D'APTITUDE	102
5.2	ETUDE DE QUALIFICATION	104
5.2.1	<i>Qualification géologique du site</i>	104
5.2.2	<i>Qualification hydrogéologique du site</i>	105
5.3	PRECONISATIONS TECHNIQUES	106

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE (EXTRAIT IGN 1/200 000).....	2
FIGURE 2. LOCALISATION TOPOGRAPHIQUE.....	3
FIGURE 3. DOMAINES GEOLOGIQUES DU MASSIF ARMORICAIN.....	6
FIGURE 4. CARTE DES BASSINS VERSANTS DE BRETAGNE.....	10
FIGURE 5. BASSIN VERSANT DU BLAVET (SOURCE : SAGE DU BLAVET).....	11
FIGURE 6. CARTE GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE L'EVEL.....	12
FIGURE 7. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL AUX ALENTOURS DU SITE.....	15
FIGURE 8. CARTE PRESENTANT LES RISQUES D'INONDATION.....	17
FIGURE 9. CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL (BRGM).....	18
FIGURE 10. COUPE GEOLOGIQUE GENERALE EST-OUEST DU MASSIF ARMORICAIN.....	19
FIGURE 11. PLATES-FORMES D'ÉROSION A L'ÉCHELLE LOCALE (GUMIAUX, 2003).....	21
FIGURE 12. CONTEXTE GEOLOGIQUE LOCAL.....	23
FIGURE 13. SCHEMA CONCEPTUEL DES AQUIFERES DE SOCLE (R.WYNS, 1998 ET 2004).....	24
FIGURE 14. LOG GEOLOGIQUE DE REFERENCE A L'ÉCHELLE LOCALE (03145X0007/F).....	24
FIGURE 15. ÉTENDUE DE LA MASSE D'EAU SOUTERRAINE N°195AC01 (SOURCE : BDLISA).....	28
FIGURE 16. LOCALISATION DES INVESTIGATIONS GEOPHYSIQUES REALISEES EN 2022.....	36
FIGURE 17. INTERPRETATION DES PANNEAUX ELECTRIQUES.....	39
FIGURE 18. EXEMPLES DE PANNEAUX ELECTRIQUES.....	40
FIGURE 19. CARTE ELECTROMAGNETIQUE A L'EM 31 (0-6 M).....	42
FIGURE 20. CARTE ELECTROMAGNETIQUE A L'EM 34 (0-15 M).....	44
FIGURE 21. CARTE ELECTROMAGNETIQUE A L'EM 34 (0-30 M).....	45
FIGURE 22. LOCALISATION DES NOUVEAUX SONDAGES.....	47
FIGURE 23. LOG GEOLOGIQUE SCHEMATIQUE DU SITE (2022, ZONE EXTENSION).....	52
FIGURE 24. CARTE DU TOIT DU SOCLE (HORIZON ROCHEUX).....	54
FIGURE 25. ÉPAISSEUR DES MATERIAUX DE COUVERTURE (EN METRES).....	55
FIGURE 26. COUPE GEOLOGIQUE DU SITE NORD-SUD.....	56
FIGURE 27. COUPE GEOLOGIQUE DU SITE OUEST-EST.....	57
FIGURE 28. CARTE DES POINTS D'EAU REFERENCES DANS L'AIRE D'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE.....	66
FIGURE 29. ESQUISSE PIEZOMETRIQUE DU SITE.....	69
FIGURE 30. ESQUISSE PIEZOMETRIQUE DE LA ZONE D'EXTENSION.....	70
FIGURE 31. ÉPAISSEUR DE TERRAINS DESSATURES.....	71
FIGURE 32. BASSINS VERSANTS HYDROLOGIQUES.....	77
FIGURE 33. HYDROLOGIE DU SITE.....	79
FIGURE 34. ÉTENDUE DU PROJET RETENU PAR SUEZ (ZONE STOCKAGE).....	81
FIGURE 35. PRINCIPES D'AMENAGEMENT DE LA BARRIERE PASSIVE (AFNOR BP X 30-438).....	87
FIGURE 36. COUPE SCHEMATIQUE DE PRINCIPE DE LA TRANCHEE DRAINANTE.....	93
FIGURE 37. ALTITUDES DU FIL D'EAU DE LA TRANCHEE DRAINANTE ET FOND DE FORME ASSOCIE.....	95
FIGURE 38. PROFIL DE STABILITE AU DECAISSEMENT (TECHNOSOL).....	99
FIGURE 39. PROFIL DE STABILITE DE LA DIGUE PERIMETRIQUE MAXIMUM (TECHNOSOL).....	100
FIGURE 40. STABILITE VERS L'EXTERIEUR DU SITE REAMENAGE POURLE PROJET RETENU PAR SUEZ.....	101

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. CLASSEMENT DE LA MASSE D'EAU SOUTERRAINE N°195AC01 (SOURCE : BDLISA).....	29
TABLEAU 2. DONNEES HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DE BRETAGNE (NOTICE 0314N).	29
TABLEAU 3. SONDAGES GEOLOGIQUES HISTORIQUES.....	34
TABLEAU 4. NOUVEAUX SONDAGES.....	46
TABLEAU 5. DONNEES LITHOLOGIQUES DES SONDAGES.....	51
TABLEAU 6. ESSAIS DE PERMEABILITE ANTERIEURS (1993).....	60
TABLEAU 7. ESSAIS DE PERMEABILITE ANTERIEURS (CAMPAGNE BURGEAP DE 2006).	61
TABLEAU 8. ESSAIS DE PERMEABILITE 2022 (GEOTEC).....	62
TABLEAU 9. VALEURS DE PERMEABILITES RETENUES.	62
TABLEAU 10. POINTS D'EAU REFERENCES.	65
TABLEAU 11. DONNEES TECHNIQUES DES NOUVEAUX PIEZOMETRES.	67
TABLEAU 12. RELEVES PIEZOMETRIQUES.	68
TABLEAU 13. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES AU DROIT DES 5 NOUVEAUX PIEZOMETRES (ACG).	72
TABLEAU 14. QUALITE MOYENNE DES EAUX DE LA NAPPE.	74
TABLEAU 15. RECAPITULATIF DES VALEURS DES ESSAIS EN LABORATOIRE (FAIRTEC, 2006).....	83
TABLEAU 16. RECAPITULATIF DES VALEURS DES ESSAIS EN LABORATOIRE (GEOTEC, 2022).....	84
TABLEAU 17. CALCULS D'EQUIVALENCE DE LA BARRIERE PASSIVE EN FOND DE L'ISDND.....	90
TABLEAU 18. CALCULS D'EQUIVALENCE DE LA BARRIERE PASSIVE DU BASSIN DE LIXIVIAT.....	92

LISTE DES PLANCHES PHOTOS

PLANCHE PHOTO 1. FACIES LITHOLOGIQUES RENCONTRES EN SONDAGES.	50
PLANCHE PHOTO 2. SATURATION DES TERRAINS.....	72

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1.** **Données bibliographiques sur le contexte environnemental**
- Annexe 2.** **Données bibliographiques sur les risques naturels**
- Annexe 3.** **Données AEP**
Périmètres de protection des captages AEP (ARS)
- Annexe 4.** **Prospection géophysique**
ACG Environnement, décembre 2022
- Annexe 5.** **Données géologiques, hydrogéologiques et géotechniques historiques**
SOPENA (1992) ; F.D. Conseil (1994) BURGEAP (2006), BRGM (BSS), Fairtec (2006)
- Annexe 6.** **Données géologiques et géotechniques nouvelles réalisées pour la présente étude**
Géotec, (2022)
- Annexe 7.** **Levés géologiques réalisés par ACG Environnement**
Fouilles à la pelle et sondage carotté
- Annexe 8.** **Qualité des eaux 2022 souterraines et caractéristiques hydrodynamiques**
ACG Environnement 2022 ; CID Environnement 2022
- Annexe 9.** **Calculs d'équivalence de la barrière passive**
ACG Environnement 2022
- Annexe 10.** **Etude de stabilité**
Technosol 2023

1

Présentation de l'étude

1.1 Préambule

1.1.1 Présentation du projet

La société SUEZ RV OUEST exploite un Ecopôle sur la commune de Gueltas (56) qui comprend, notamment, une Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND).

SUEZ RV OUEST envisage la poursuite de l'ISDND nommée « GUELTAS 2 » sur des parcelles limitrophes localisées au Sud-Ouest du site actuelle.

S'agissant d'une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumise à autorisation, ce projet fait l'objet d'un DDAE comprenant une étude d'impact parmi laquelle on retrouve un volet géologique et hydrogéologique. Ce volet technique est plus spécifiquement détaillé dans l'étude de qualification géologique, hydrogéologique, objet du présent dossier réalisé par ACG ENVIRONNEMENT.

L'étude de qualification géologique et hydrogéologique suit les recommandations du « Guide de bonnes pratiques pour les caractérisations géologiques, hydrogéologiques et géotechniques » de l'AFNOR (FD X30-438) de juillet 2017.

La zone d'études couvre une surface totale d'environ 55 ha au sein de laquelle la future zone de stockage sera implantée (de l'ordre de 20 ha).

1.1.2 Situation

Le projet de poursuite d'activité est localisé sur la commune de Gueltas dans le département du Morbihan (56) à une douzaine de kilomètres à l'Est de Pontivy et à environ 11 km au Sud-Ouest de Loudéac (voir figure 1 en page suivante).

La zone pressentie est située à près de 2 kilomètres au Sud-Est de Gueltas en limite du territoire communal (voir figure 2, en page 3).

Depuis Pontivy, on y accède en empruntant la RD768 et puis la RD 125. La zone d'étude se trouve au sud de la forêt de Branguily, et au nord, nord-ouest, du parc éolien Gueltas Noyal-Pontivy.

La zone de poursuite d'activité pressentie viendrait en continuité occidentale de l'installation actuelle sur une superficie de l'ordre de 20 ha.

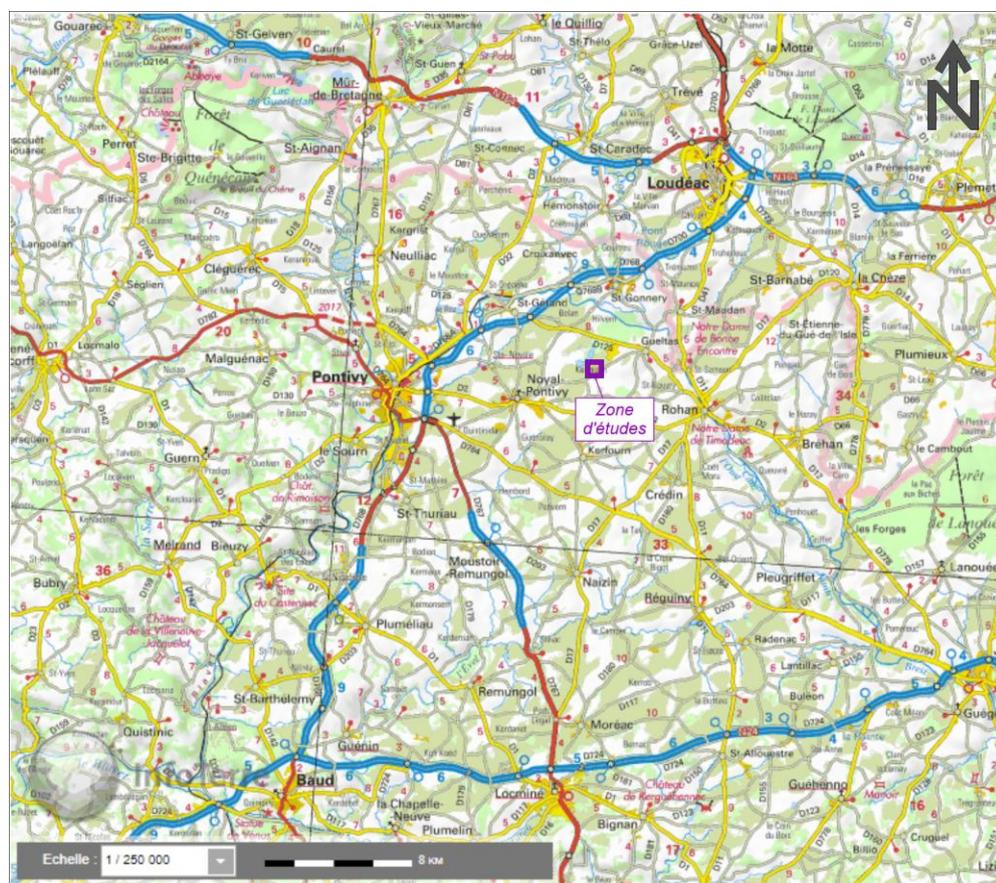


Figure 1. Localisation géographique (extrait IGN 1/200 000).

Le site s'inscrit au cœur du Massif armoricain, ancienne chaîne de montagne datant du Primaire dont les formations ont été déformées puis altérées au cours des temps géologiques. Le relief montagneux initial a été intensément érodé et pénéplané. Ainsi, la topographie de la région est caractérisée par un paysage de collines et de vallées douces.

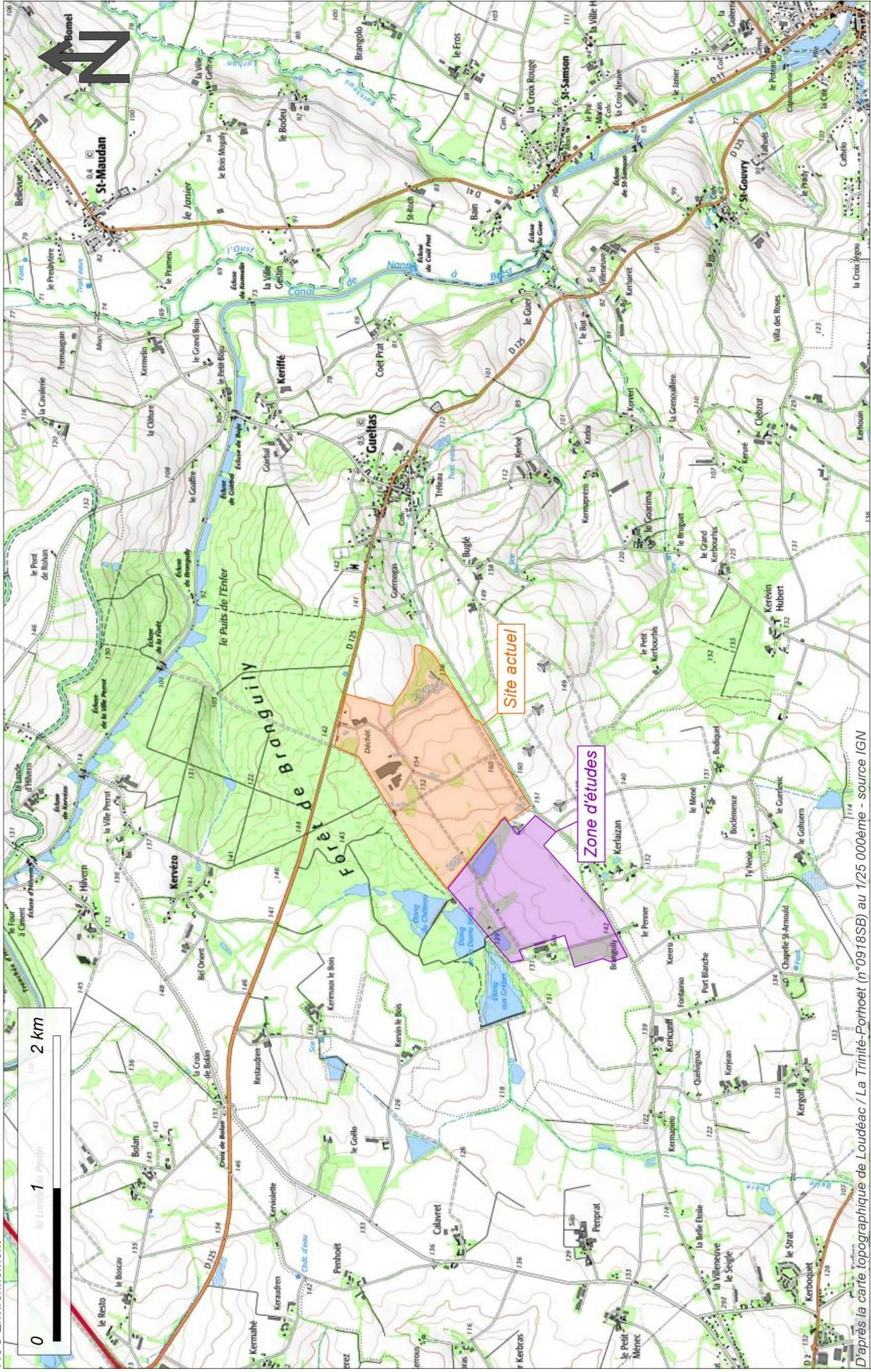
Plus précisément, le site est localisé en domaine collinaire dédié à l'agriculture. Le projet est situé à proximité de la crête topographique locale (160 m NGF). En aval, la vallée (TN < 125 m NGF) se caractérise par la présence de nombreux étangs anthropiques.

Les coordonnées topographiques au centre du site, rapportées au système géodésique français (Lambert 93, NGF) sont :

$$X = 266\,250$$

$$Y = 6\,792\,100$$

$$Z = 140 \text{ m NGF}$$



D'après la carte topographique de Loudéac / La Trinité-Porhoët (n°0918SB) au 1/25 000ème - source IGN



Projet de poursuite d'exploitation de l'ISDND de Gueltas (56)

ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Figure 2. Localisation topographique

1.2 Cadre réglementaire

Une ISDND est soumise à l'arrêté ministériel du 15 février 2016 (remplaçant l'arrêté ministériel du 9 septembre 1997 modifié). Ce texte réglementaire définit notamment les valeurs des coefficients de perméabilité et les épaisseurs minimales des formations géologiques recevant les installations de stockage, critères sur lesquels reposent les fondements de la notion de barrière de sécurité passive. Cet arrêté précise que : *« L'installation est implantée sur des terrains au contexte géologique, hydrologique et hydrogéologique favorable. Le sous-sol de la zone à exploiter constitue une barrière de sécurité passive qui ne doit pas être sollicitée pendant l'exploitation et permet d'assurer à long terme la prévention de la pollution des sols, des eaux souterraines et de surface par les déchets et les lixiviats. »*

La structure de la barrière passive est différente selon les activités projetées.

L'article 8 de cet arrêté stipule que : *« La protection du sol, des eaux souterraines et de surface est assurée par une barrière géologique dite « barrière de sécurité passive » constituée du terrain naturel en l'état répondant aux critères suivants :*

- *le fond d'un casier présente, de haut en bas, une couche de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur et une couche de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres d'épaisseur ;*
- *les flancs d'un casier présentent une perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur. La géométrie des flancs est déterminée de façon à assurer un coefficient de stabilité suffisant »*

Le second alinéa stipule que : *« Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle est complétée et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de 2 mètres par rapport au fond. L'ensemble des éléments relatifs à l'équivalence de la barrière de sécurité passive est décrit dans la demande d'autorisation d'exploiter. »*

Dans le cas où le milieu géologique ne satisfait pas naturellement aux règles stipulées par l'arrêté, la réglementation offre la possibilité de mesures compensatoires en introduisant la notion de *« niveau de protection équivalent »*. Selon le guide de recommandations pour l'évaluation de *« l'équivalence »* en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets, version 2 du MEEDDAT de février 2009 : *« Deux barrières d'étanchéité passives seront considérées comme « équivalentes » lorsqu'elles assurent un même niveau de protection en termes d'impact potentiel d'une installation de stockage sur une ressource en eau souterraine »*.

En ce qui concerne le contexte hydrologique, la réglementation précise que : *« les risques d'inondation sur le site doivent être pris en compte »* et imposent une gestion des eaux de ruissellement extérieures (événement pluvieux de fréquence décennale *a minima*), intérieures au site, et si nécessaire, des eaux souterraines *« permettant une décantation et un contrôle de leur qualité »*, avant rejet dans le milieu naturel.

Enfin, la conception et le dimensionnement de l'installation de stockage doivent intégrer les spécificités géotechniques du site : *« les risques d'inondation, d'affaissement, de glissements de terrain ou d'avalanches sur le site doivent être pris en compte »* et que *« la hauteur de déchets dans un casier doit être déterminée de façon à ne pas dépasser la limite de stabilité des digues. »*

1.3 Objectif de l'étude et problématiques identifiées

1.3.1 Objectif de l'étude de qualification

L'objectif de l'étude de qualification est de dimensionner le projet de stockage en fonction des contraintes induites par le contexte géologique et hydrogéologique local et en respect des exigences réglementaires.

Pour ce faire, il est nécessaire de réaliser une étude itérative allant du général au particulier en réponse aux recommandations « normatives » (Guide des Bonnes pratiques, norme FD X 30-438) qui régissent les règles de l'art en termes de moyens d'études (phasage et justification des moyens techniques à mettre en œuvre).

Les arguments apportés et la façon de les amener sont capitaux pour la conformité de l'étude. Le document final est autant un rapport technique qu'un outil de communication et de vulgarisation. Il est réalisé conformément à l'annexe III de l'A.M. du 18/12/1992 pour son principe d'études établies par étapes successives. Il justifiera :

- **Phase 1 dite « d'aptitude »** (échelle régionale et locale) qui justifie du positionnement du site dans son contexte géologique et hydrogéologique ;
- **Phase 2 dite « étude de qualification »** : c'est à ce stade que sont analysées toutes les données locales existantes et que sont réalisées, au besoin, les investigations lourdes de terrain (sondage carotté, piézomètres, essais de perméabilité ...);
- **Phase 3 dite étude « de faisabilité de projet »**. Elle concerne les préconisations de dimensionnement du projet (altitude et structure de la BP, stabilité, gestion des eaux, usage des matériaux, etc...).

A chacune des phases d'études, c'est l'analyse des données existantes qui permet de justifier du programme de reconnaissances nécessaire et suffisant pour la phase suivante et ce, en fonction de la sensibilité locale.

Chacune des parties de l'étude fait l'objet de conclusions intermédiaires et de résumés faisant ressortir les données pertinentes et importantes. L'étude a une conclusion générale qui reprend les grandes lignes de l'étude.

1.3.2 Données géologiques d'ordre général : Le Massif Armoricaïn

Ce préambule a pour objet de présenter les grands traits du contexte géologique et hydrogéologique régional afin d'appréhender les problématiques induites à l'échelle du projet.

La [figure 3](#) en page suivante représente l'esquisse géologique schématique du Massif Armoricaïn. Elle permet de replacer le secteur d'études dans son contexte général.

Le Massif Armoricaïn est usuellement divisé en 9 secteurs (cf. les différentes couleurs de la carte) selon la nature des roches qui les composent et les structures tectoniques qui les limitent (grands cisaillements (failles) en traits noirs dans la figure). Il existe, 3 grands cisaillements (Le cisaillement Nord Armoricaïn CNA, le cisaillement Sud Armoricaïn CSA qui se divise en 2 au sud-Bretagne).

Les formations s'étendent grossièrement selon la structuration régionale c'est à dire selon un axe NW/SE souligné par les cisaillements.

Ainsi, le site s'inscrit au cœur du **Domaine Varisque de Bretagne centrale** (Zone en orange au centre de la figure). Le domaine est constitué par d'anciennes roches sédimentaires déformées et peu ou pas métamorphisées (= **schistes**) **datant du Briovérien**. Il est limité au nord et au sud respectivement par le CNA et par le CSA.

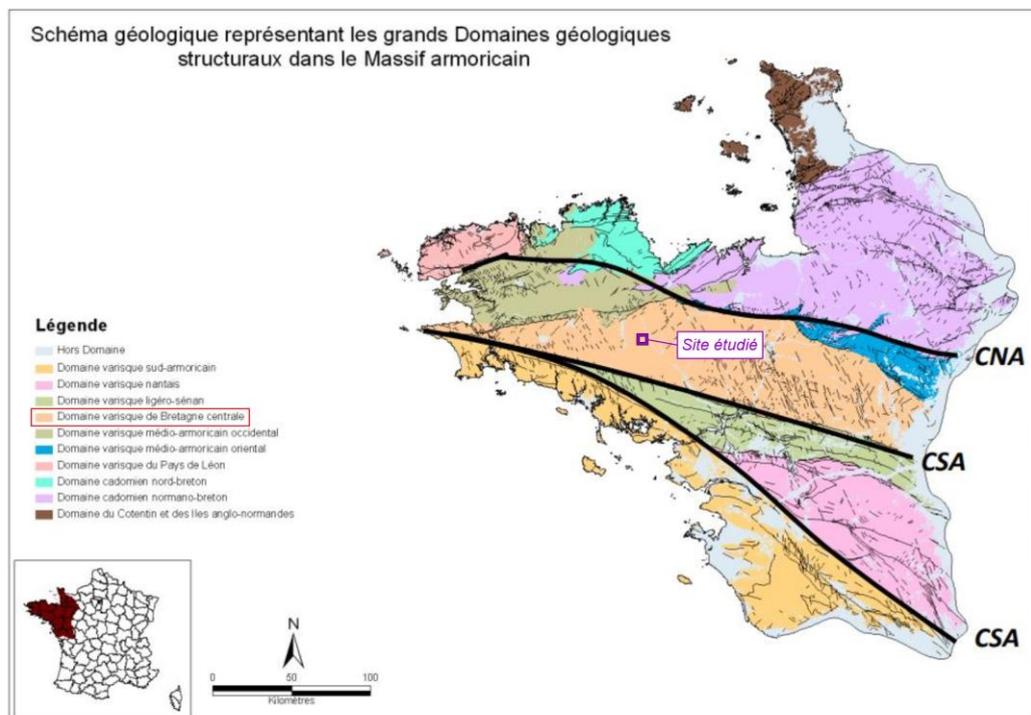


Figure 3. Domaines géologiques du Massif Armoricain.

D'un point de vue géologique, les schistes du Briovérien (formations d'origine détritico sédimentaire peu métamorphisées et très anciennes) ont subi une altération naturelle au cours des temps géologiques. On retrouve, ainsi, aujourd'hui à l'affleurement, une épaisse couche d'altération intrinsèquement de nature sablo-argileuse en rapport avec le substratum (roche saine non altérée) que l'on retrouve uniquement à forte profondeur. L'altération naturelle a eu pour effet induit de « masquer » la morphologie tectonique (failles).

D'un point de vue hydrogéologique, ces « altérites » (horizons d'altérations) sont par nature très peu perméables (car argilisées) donc intrinsèquement saturées en eau dès lors qu'il n'existe pas de « drain » permettant de désaturer les formations (pente topographique forte et/ou faille...ou drainage agricole...).

1.3.3 Problématiques identifiées

Compte tenu du contexte général présenté dans le paragraphe ci-avant, il existe 2 grandes problématiques qui contraignent le projet de poursuite d'activité de l'ISDND :

- **Problématique 1 dite géologique et structurale** : La barrière de sécurité passive (notion de base du domaine qui représente les couches d'imperméabilité et d'atténuation réglementaires en fond d'une ISDND) doit présenter une perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s sur 1 m (couche imperméable) et inférieure à 1.10^{-6} m/s sur 5 m (couche d'atténuation, cf. § 1.3 Cadre réglementaire, page 4).

Les formations locales anciennes qui ont été fortement déformées et altérées présentent vraisemblablement ces gammes de perméabilité (couche d'atténuation à $K < 10^{-6}$ m/s). Cependant, il conviendra :

- De s'assurer de l'homogénéité et de la continuité de la couche d'atténuation ;
 - De reconstituer vraisemblablement le mètre supérieur de la barrière passive (couche imperméable) afin de satisfaire à la réglementation.
- **Problématique 2 hydrogéologique** : Les formations altérées, bien que très peu perméables, sont naturellement saturées en eau à faible profondeur du fait de l'absence de pente topographique suffisante pour drainer les eaux. Ces « eaux souterraines » peu circulantes ne sont pas représentatives d'une nappe au sens hydrogéologique du terme (écoulements lents et presque imperceptibles). Néanmoins, le niveau d'eau contraint l'altitude du fond de forme et nécessite, la plupart du temps, un détournement et un drainage des eaux.

Ces deux problématiques sont bien connues car déjà étudiées sur le site actuel.

1.4 Moyens d'étude

Pour chacun des contextes caractérisant le site, les moyens d'études sont exposés ci-après.

1.4.1 Contexte géologique et structural

- Analyse de la succession des couches géologiques, du contexte tectonique et structural régional, par la synthèse bibliographique de toutes les données disponibles et notamment celles de la banque de données du sous-sol (BSS) validées par le BRGM et les données historiques du site ;
- Visite de site et reconnaissance des terrains alentours pour comprendre la géologie locale (affleurements, vallées sèches, indices de fracturation...) ;
- Géophysique préliminaire (panneaux électriques, campagnes d'électromagnétisme EM31 et EM34) afin d'appréhender l'homogénéité des formations géologiques et la structurale locale dans un contexte de sédiments remaniés ;
- Réalisation d'un sondage carotté de référence au point haut du site afin de définir précisément la nature et l'épaisseur des formations notamment celles qui constitueront la barrière passive naturelle en place ;
- Fouilles à la pelle mécanique pour affiner le maillage de reconnaissance sur site et prélever les matériaux pour classification au laboratoire ;
- Réalisation de sondages en mode destructif pour essais de perméabilité in situ afin de quantifier le degré de perméabilité des horizons à même de former la barrière passive naturelle en place.

1.4.2 Contexte hydrogéologique et usage des eaux

- Synthèse des données bibliographiques pertinentes (ADES, atlas hydrogéologique, cartes hydrogéologiques, rapports des hydrogéologues agréés, reprises des données d'exploitation en cours) ;

- Etude des usages de l'eau à partir des données issues de l'ARS ;
- Réalisation de 5 piézomètres complémentaires ;
- Mesures périodiques du niveau statique (sonde manuelle) ;
- Identification de venues d'eau potentielles en fouille à la pelle hydraulique ;
- Dépouillage d'essais de pompages pour le calcul de la transmissivité et de la perméabilité dans les différents piézomètres du site, et pour affiner le schéma hydrogéologique local ;
- Conception du modèle hydrogéologique du site avec notamment la définition du sens d'écoulement des eaux souterraines et les plus hautes eaux envisageables.

1.4.3 Contexte hydrologique

- Synthèse des éléments bibliographiques, définition des sous-bassins hydrographiques et étude des talwegs et des fossés aux environs du site ;
- Vulnérabilité des eaux de surface.

1.4.4 Etudes de projet

- Définition de l'altitude et de la structure de la barrière passive reconstituée ;
- Etude de stabilité ;
- Principe de détournement des venues d'eaux ;
- Définition du point et du mode de rejet des eaux ;
- Préconisation du contrôle piézométrique réglementaire.

2

ETUDE D'APTITUDE

Conformément au fascicule AFNOR FD X 30-438 « *Guide de bonnes pratiques pour les caractérisations géologiques, hydrogéologiques et géotechniques* », l'étude d'aptitude, principalement à l'échelle régionale, a pour but d'expliquer la démarche de caractérisation de site, de le replacer dans son environnement afin de justifier de la localisation du site en précisant les points positifs et contraignants. Cette étude doit en particulier mettre en évidence l'aspect non dangereux du projet sur la ressource AEP potentiellement présente.

La définition des contextes régionaux est issue de la synthèse bibliographique des données régionales et locales.

Cette analyse fait apparaître deux catégories de critères :

- Les critères positifs permettant de confirmer l'aptitude du site à accueillir une ISDND ;
- Les critères contraignants pour lesquels des mesures compensatoires doivent être proposées.

2.1 Contexte environnemental

L'état initial environnemental local est décrit succinctement afin de fixer les grandes contraintes à prendre en compte, au préalable à tout projet, pouvant modifier le paysage, le milieu végétal, les eaux de surface... Les éléments repris ci-après sont abordés afin de replacer le site dans son contexte et d'aider à mieux appréhender les contextes géologique et hydrogéologique.

Se référer à l'annexe 1 pour l'illustration du contexte environnemental.

2.1.1 Cadre hydrologique régional

Les grands bassins versants hydrographiques de la Bretagne sont présentés dans la figure 4 ci-dessous (carte issue BD Carthage).

Le site est localisé dans le grand bassin versant hydrographique du Blavet, fleuve côtier français qui coule dans les départements des Côtes-d'Armor et du Morbihan et se jette dans l'océan Atlantique près de Lorient.

Le secteur d'études est, à l'échelle régionale, en tête du bassin versant du Blavet et à proximité de celui de L'Oust plus à l'Est (affluent de la Vilaine).

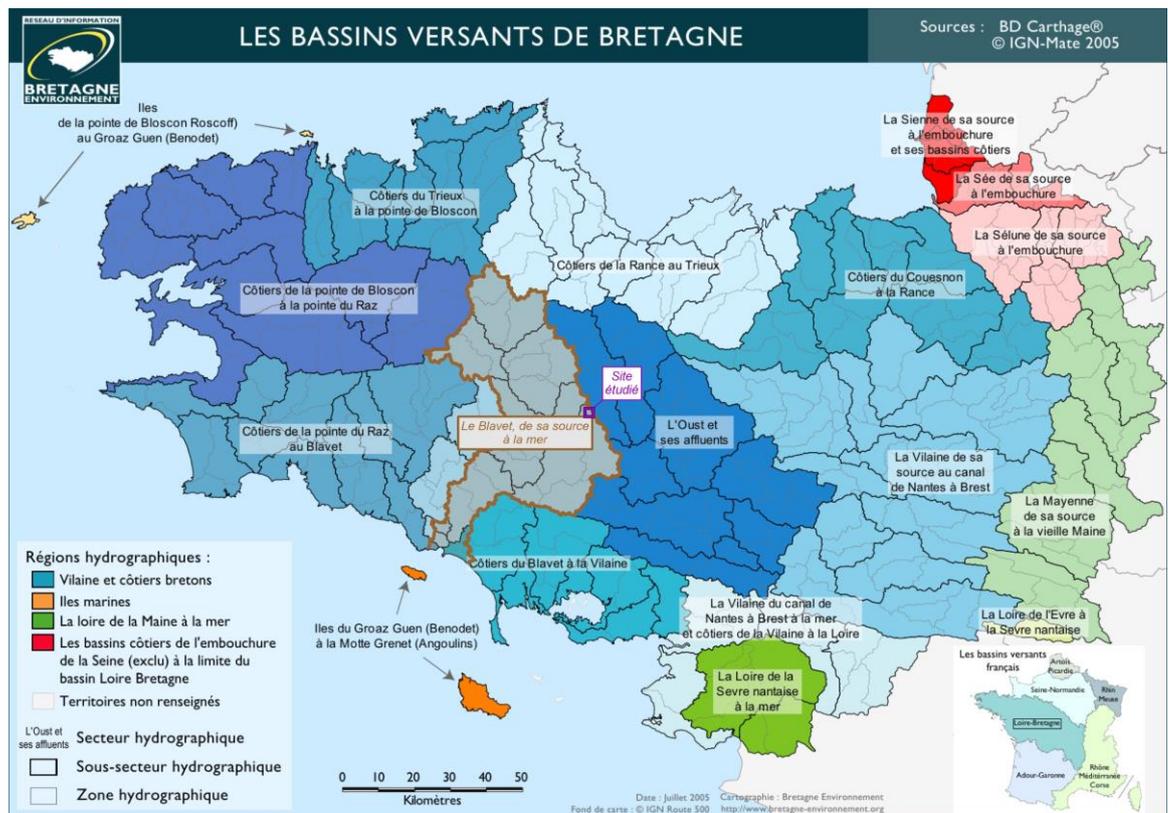


Figure 4. Carte des bassins versants de Bretagne.

La zone d'études est plus précisément implantée dans le sous-bassin versant de l'Evel, affluent en rive gauche du Blavet comme illustré dans la figure 5 ci-dessous via le ruisseau de la Belle Chère (affluent de l'Evel).

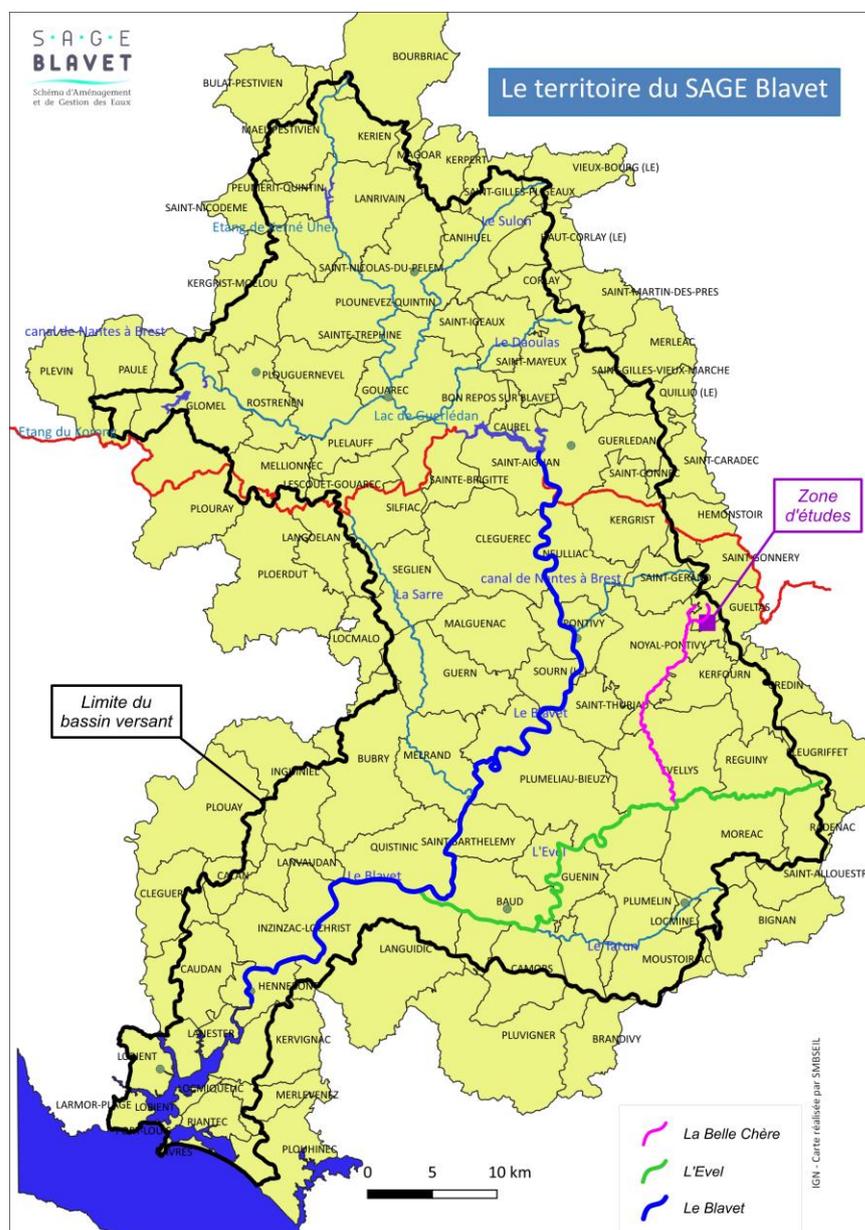


Figure 5. Bassin versant du Blavet (source : SAGE du Blavet).

2.1.2 Le Bassin Versant de l'Evel – Belle Chère et géologie associée

Le zone d'étude est localisée dans le bassin versant de l'Evel, affluent en rive gauche du Blavet (voir figure 5 en page précédente) et plus spécifiquement dans le sous-bassin versant de la Belle Cher, affluent principal de l'Evel.

L'Evel (longueur de 56 km) prend sa source près de Radenac au nord du pour se jeter dans le Blavet à Baud (au sud).

Son bassin versant est situé principalement dans le Domaine Varisque de Bretagne Centrale, composé ici des schistes du Briovérien comme illustré dans la figure 6 ci-dessous représentant schématiquement les principales formations géologiques à l'affleurement dans son bassin versant.

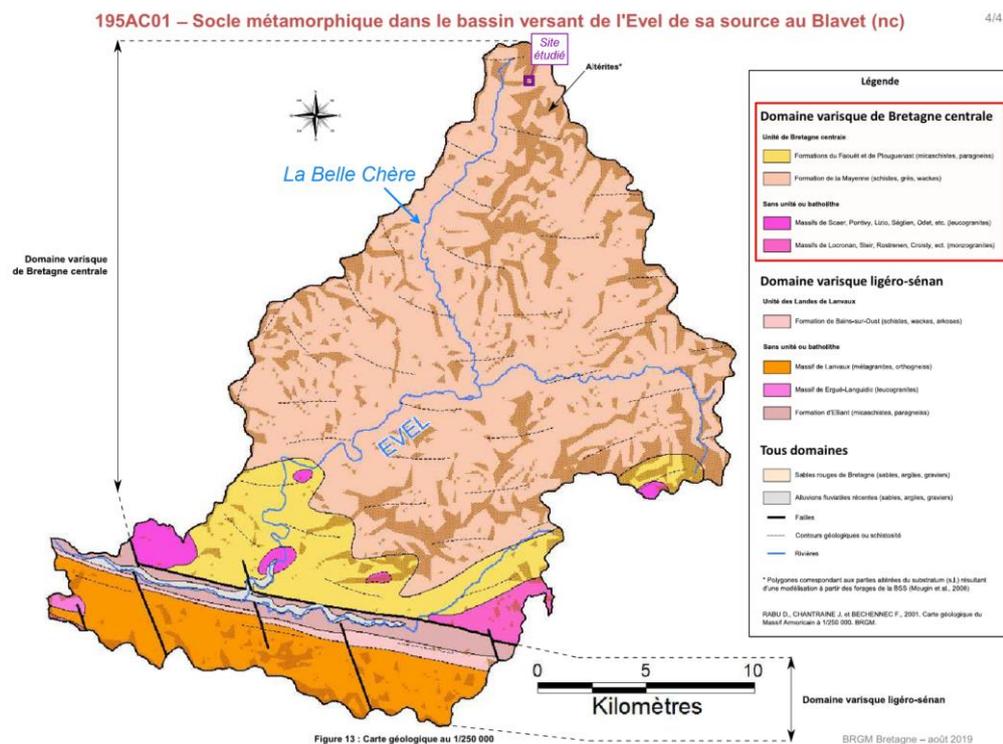


Figure 6. Carte géologique schématique du bassin versant de l'Evel.

Ces formations schisteuses sont les mêmes que celles que l'on retrouve plus à l'Est en Mayenne et où elles ont été décrites (extension des formations du NW vers le SW) raison pour laquelle elles sont nommées au droit du site « Schistes de la Mayenne ».

La figure mentionne également la présence des altérites en couverture (en marron sur la figure).

Le projet est localisé en tête du bassin versant de la Belle Cher non loin des crêtes topographiques limitant le bassin versant (ligne de partage des eaux).

2.1.3 SDAGE et SAGE

2.1.3.1 SDAGE Loire Bretagne

Le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) est un document de planification institué par la loi sur l'eau de 1992. Son contenu est défini par les articles L212-1 et 2 du code de l'environnement.

Le SDAGE est élaboré pour un grand bassin hydrographique (Loire-Bretagne, Seine-Normandie, Rhône-Méditerranée-Corse, Artois-Picardie, Adour-Garonne, Rhin-Meuse...). Il fixe les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau. Le site est inclus dans le SDAGE Loire-Bretagne.

Le SDAGE définit notamment les objectifs de qualité à atteindre pour les différents types d'eau (consommation humaine, pisciculture, agriculture...) pour les eaux superficielles et souterraines, le but étant la préservation de la ressource.

Le SDAGE planifie la gestion des ressources de l'eau dans le but de stopper toute dégradation de la qualité des eaux et de reconquérir un bon état de toutes les eaux. Il vise une gestion équilibrée et durable de la ressource en eau qui permette de satisfaire ou concilier les exigences :

- De la vie biologique des milieux aquatiques.
- Du libre écoulement des eaux et de la protection contre les inondations.
- Des activités humaines, économiques et de loisirs.

Pour répondre aux questions importantes pour l'eau identifiées en 2018, le projet de SDAGE Loire Bretagne 2022-2027 comporte 14 chapitres organisés sous forme d'orientations et, pour tendre vers ces objectifs, des dispositions précises à portée juridique :

1. Repenser les aménagements de cours d'eau ;
2. Réduire les pollutions par les nitrates ;
3. Réduire la pollution organique et bactériologique ;
4. Maîtriser la pollution par les pesticides ;
5. Maîtriser les pollutions dues aux micropolluants ;
6. Protéger la santé en protégeant la ressource en eau ;
7. Maîtriser les prélèvements d'eau ;
8. Préserver les zones humides ;
9. Préserver la biodiversité aquatique ;
10. Préserver le littoral ;
11. Préserver les têtes de bassin versant ;
12. Faciliter la gouvernance locale ;
13. Mettre en place des outils réglementaires et financiers ;
14. Informer, sensibiliser, favoriser les échanges.

Le SDAGE fixe pour chaque cours d'eau, plan d'eau, nappe souterraine ou secteur du littoral un niveau d'ambition pour l'état des eaux et un délai. Il fixe également des objectifs de quantité pour les nappes et les cours d'eau les plus sollicités.

L'objectif d'état global pour le Blavet est le maintien de son bon état pour l'horizon 2027.

2.1.3.2 SAGE

Le site est inclus dans le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Blavet, déclinaison locale du SDAGE et en limite du SAGE de la Vilaine (plus à l'Est).

Le SAGE du Blavet se construit autour de 4 enjeux définis pour une bonne gestion de l'eau et des milieux aquatiques :

1. *"Co-construction d'un développement durable pour une gestion équilibrée de la ressource en eau" au travers de 3 thèmes : eau et urbanisme, eau et agriculture et eau et développement économique ;*
2. *"Restauration de la qualité de l'eau" par la réduction des pollutions liées à l'azote, au phosphore, aux pesticides et à la bactériologie ;*
3. *"Protection et restauration des milieux aquatiques" visant la protection, la gestion et la restauration des zones humides ainsi que des cours d'eau en bon état ;*
4. *"Gestion quantitative optimale de la ressource" au travers de la protection contre les inondations, de la gestion de l'étiage et du partage de la ressource.*

Une ISDND est une ICPE soumise à autorisation dont les aménagements interdisent toute pollution sous le site (barrières de sécurité passive et actives et pompage des lixiviats). De même, le rejet des eaux à l'aval sont réglementés avec des exigences rigoureuses en termes de qualité (définis dans l'AM afférant). Les aménagements (zone de stockage et activités connexes comme les bassins) seront nécessairement implantés en dehors des zones humides. Ainsi, le projet répondra aux enjeux du SAGE.

2.1.4 Espaces naturels sensibles

Le site, en domaine collinaire, n'est pas situé sur une zone environnementale sensible. Notamment, dans un rayon de 10 km autour du site, il n'y a pas :

- De zones NATURA 2000 ;
- De Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) ;
- De Zone de Protection Spéciale (ZPS) ;
- De Réserves Naturelles Nationales (RNN), ni Réserves Naturelles Régionales (RNR) ;
- D'Appellation d'origine contrôlée ;
- D'Arrêté de Protection de Biotope (APB).

La zone Natura 2000 la plus proche est située à près de 16 km l'ouest et concerne la Rivière Scorff, la Forêt de Pont Calleck et la Rivière Sarre (FR5300026), donc sans relation possible avec le projet.

On note seulement la présence d'une ZNIEFF de type 1 (le bois et étang de Branguily en bordure Nord-Ouest du site, n° 530030164, voir figure 7 en page suivante) qui n'induit pas de contraintes spécifiques (zone d'inventaire).

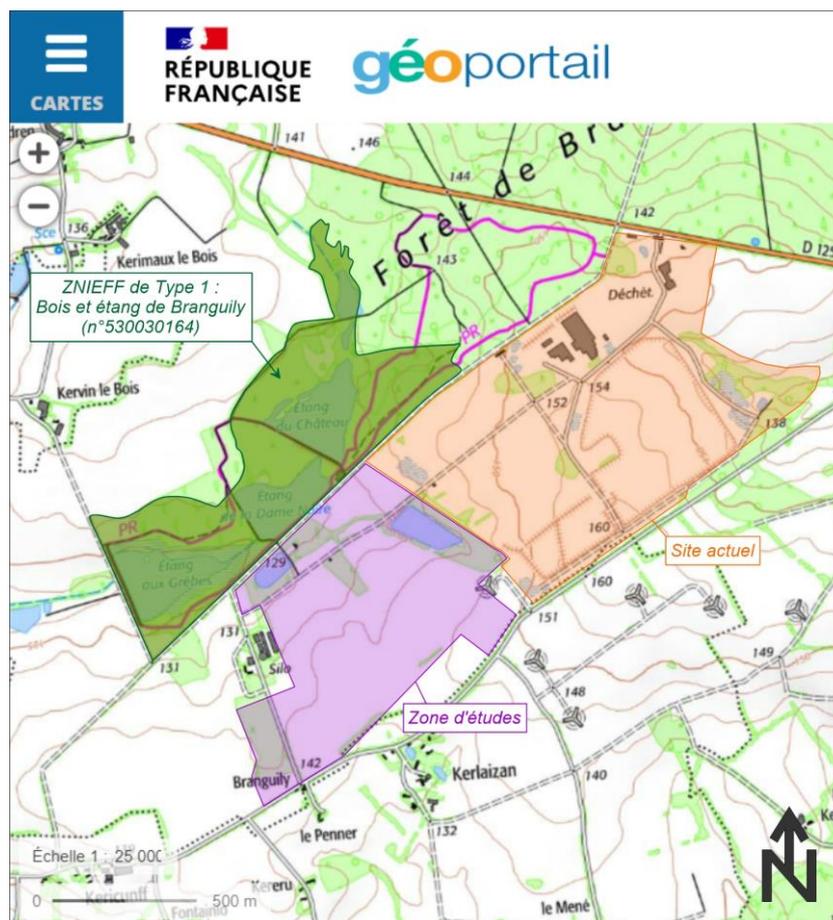


Figure 7. Contexte environnemental aux alentours du site.

2.2 Risques naturels

Se référer à l'annexe 2 pour l'illustration des risques naturels.

2.2.1 Risque sismique

La France est découpée en 5 zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes. Le classement est fonction des aléas sismiques allant de zones de sismicité 1 (très faible) ne nécessitant pas de prescriptions parasismiques à sismicité 5 (forte) nécessitant l'application de règles de construction parasismiques.

Les communes sont classées suivant ces 5 zones de sismicité en application du décret n°2010-1255 du 22 Octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français. La commune de Gueltas, en particulier, est classée en zone 2 (sismicité faible).

Il n'y a donc aucune prescription spécifique relative aux séismes à prévoir pour le projet.

2.2.2 Aléas retrait-Gonflement des argiles

L'aléa retrait-gonflement des argiles est défini sur le site Infoterre du BRGM. Une cartographie de l'aléa est présentée et permet de définir le risque (fort pour les argiles plastiques à nulle pour le socle cristallin ou les horizons calcaires du Jurassique et nul pour les formations sablo-graveleuses).

Au niveau de la zone étudiée, aucune donnée n'existe concernant **le risque, il est inexistant. En proximité du site, d'autres zones sont notées à risque faible.**

Il n'y a pas de risque de retrait-gonflement des argiles au niveau du site étudié.

2.2.3 Glissements de terrain

Aucun glissement, éboulement ou coulée ne sont référencés sur la commune de Gueltas sur Géorisques du fait de la pente topographique relativement faible de la région.

Dans le cadre du projet de reprise de la carrière en ISDND, des études de stabilités seront menées afin de se prémunir de tout risque de glissement de la zone de stockage à long terme.

Le glissement le plus proche référencé est localisé sur la commune de Pontivy à 10 km à l'Ouest du site (n° 10600159). La cause de ce mouvement de terrain est une surcharge et un événement pluvieux ce qui a causé l'effondrement du mur d'un château.

2.2.4 Risque d'effondrement

Un effondrement peut avoir lieu en cas de présence d'une cavité souterraine. Les roches favorisant la formation de cavités souterraines sont généralement des roches calcaires (sujette à la dissolution par les eaux de pluies acides) qui forment des réseaux karstiques dans le sous-sol.

Les formations dite site (schistes altérés du Briovérien) ne sont pas sujette à ce risque.

Ainsi, il n'existe aucune cavité sous la zone d'étude. La cavité la plus proche référencée se situe à 3,5 km au Sud-Est et porte le numéro « BREAW0020929 ». Elle correspond à un ouvrage civil.

Aucune cavité d'origine naturelle n'a été référencée dans la région.

2.2.5 Risque d'inondation

La commune de Gueltas est soumise à un PPRI qui d'étend uniquement pour la vallée de l'Oust qui passe à l'Est de la commune. Le site, à l'Ouest du territoire communal appartient au bassin versant de l'Evel qui n'est pas inclus dans un PPRI.

Le BRGM a réalisé une cartographie générale des zones inondables par remontées de nappes dont un extrait est présenté en [figure 8](#) en [page suivante](#). Ainsi, en domaine de vallée, comme c'est le cas en aval du site, il pourrait exister un risque d'inondation que le BRGM qualifie de « remontée de nappes », tel qu'illustré très schématiquement.

Cette carte est à pondérer car la taille de la maille unitaire ne permet pas de définir précisément la limite des zones soumises à l'aléas. Cela étant dit, l'ensemble des eaux pouvant impacter une ISDND sont gérées. Notamment, le dimensionnement du projet (implantation géographique, altitude du fond de forme) prendra en compte le niveau des eaux souterraines et sera dimensionné pour ne pas que la barrière passive soit sollicitée (définition de la cote du fond de forme en fonction des plus hautes eaux souterraines définies sur site).

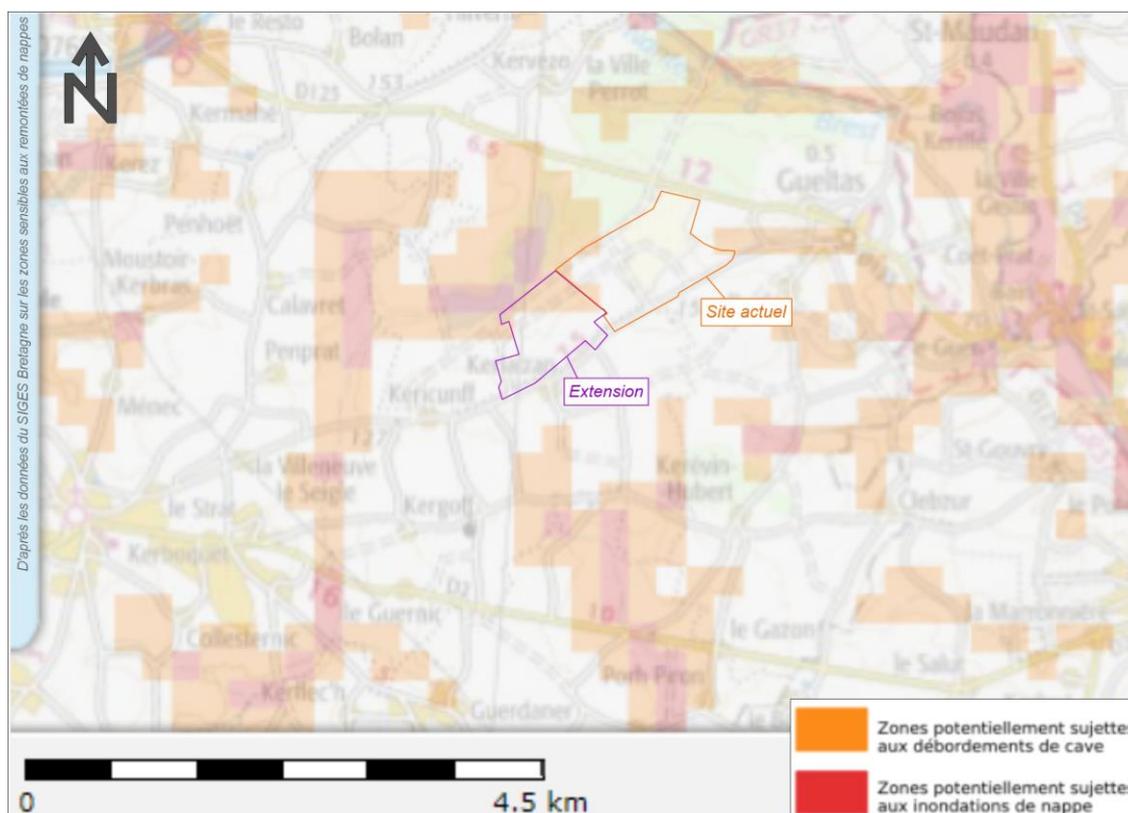


Figure 8. Carte présentant les risques d'inondation.

Il conviendra d'être vigilant quant au rejet des eaux en aval du site (zone potentiellement inondable).

2.2.6 Synthèse sur les risques naturels

Il n'existe pas de risque naturel impactant le projet. Il conviendra d'être attentif au niveau des plus hautes eaux des eaux souterraines (risque de remontée de nappe référencée en aval du site selon le BRGM). Notamment, le dimensionnement du projet (implantation géographique, altitude du fond de forme) prendra en compte le niveau des eaux souterraines et devra être dimensionné pour ne pas que la barrière passive soit sollicitée (définition de la cote du fond de forme en fonction des plus hautes eaux souterraines définies sur site).

2.3 Contexte géologique et structural

Les données géologiques régionales relatives au Massif Armoricaïn sont reprises principalement de la notice de la carte géologique de Loudéac (0314N) à 1/50 000ème (BRGM) et des données issues du SIGES Bretagne.

2.3.1 Données géologiques d'ordre général

Comme présenté dans le contexte régional (§ 1.3.2 en page 5), le site appartient au Domaine Varisque de Bretagne centrale.

La chaîne de montagne originelle s'est formée par deux orogénèses successives : L'orogénèse « cadomienne » et l'orogénèse « hercynienne ou varisque ». Les mouvements tectoniques associés ont provoqué une compression d'orientation NE/SW induisant un redressement des couches en NW/SE caractéristiques du Massif Armoricaïn (déformations d' « orientation varisque ») et une métamorphisation des roches originelles (liées à la compression).

Les formations appartenant au Domaine Varisque de Bretagne centrale sont essentiellement constituées de roches sédimentaires déformées en schistes peu à pas métamorphiques. Ils représentent **les dépôts les plus anciens de la région** (ils datent du Protérozoïque supérieur soit **570 millions d'années**) et proviennent de l'érosion de la chaîne cadomienne originelle située plus au Nord (d'après les données consultées sur le SIGES de Bretagne).

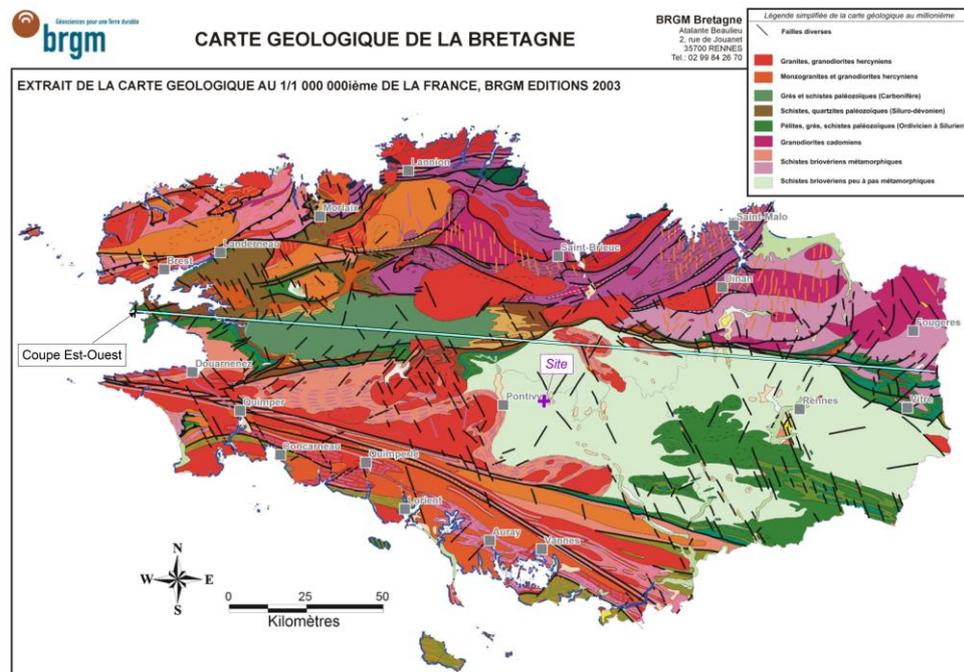


Figure 9. Contexte géologique général (BRGM).

Ainsi, les schistes du Briovérien ont subi plusieurs événements de déformation et de remaniement depuis l'orogénèse cadomienne puis varisque ayant provoqué une ondulation générale et un redressement selon la direction varisque soulignée par l'axe des cisaillement CNA et CSA. Elles ont surtout subi, depuis leur formation, une **longue altération naturelle** induisant la rétomorphose des minéraux les constituant formant ainsi ce que l'on appelle des **altérites** (formations **meubles argileuses**).

Le paysage de plateaux collinaires adoucis est entrecoupé par les principaux cours d'eau qui forment le fond des vallées, seuls dénivelés notables dans le paysage. Les vallées peuvent être les marqueurs des failles qui témoignent des déformations qui ont affectés les formations au cours de leur histoire (voir contexte structural dans le paragraphe ci-après).

La figure 10 ci-dessous synthétise la structuration générale de la Bretagne centrale (coupe Est-Ouest positionné dans la figure 9 en page précédente).

La position du site est extrapolée au droit du trait de coupe pour illustrer sa position dans le Domaine Varisque de Bretagne centrale (en vert clair dans la coupe).

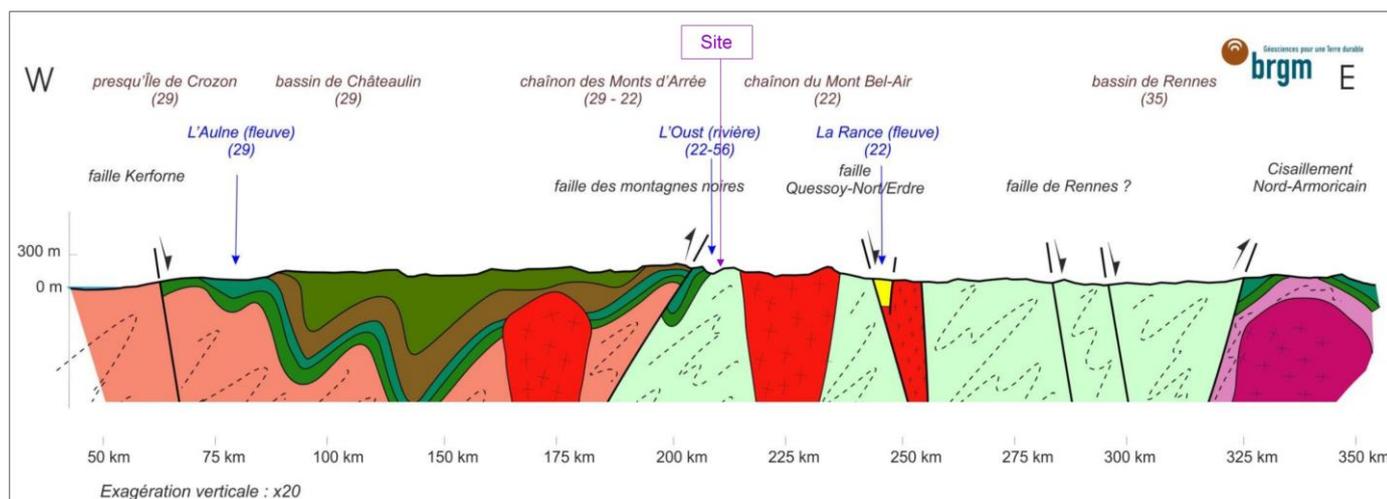


Figure 10. Coupe géologique générale Est-Ouest du Massif Armoricaïn.

2.3.2 Contexte structural

2.3.2.1 Déformations et fractures héritées de l'histoire géologique

La région a subi d'intenses déformations liées aux mouvements orogéniques anciens datant de plus de 300 Ma (chaines de Montagnes hercynienne ou varisque). La chaîne hercynienne dépassait très certainement les 4000 m de hauteur.

Cependant, ces phénomènes très anciens sont maintenant masqués et estompés du fait de l'altération subies par les roches au cours des temps géologiques. Les formations ont été érodées et le relief a été pénéplané.

Néanmoins, les études fines du secteur ont permis de définir 4 grandes familles de déformations (notées D1 à D4 par les géologues) encore observables soit directement à l'échelle microscopique (allongement des minéraux en lames minces) soit indirectement par l'analyse géomorphologique du relief (orientations des cours d'eau, des reliefs persistants liés aux variations de compétences des matériaux). Deux d'entre elle ont affectées le Domaine varisque de Bretagne centrale.

Ainsi, les anciennes roches sédimentaires datant du protérozoïque Précambrien (dont les schistes du Briovérien présents sur site sont issus) ont été tout d'abord compressés au Carbonifère (300 Ma et plus) (D1) et une schistosité s'est créée (noté S1, allongement selon des plans) avec un redressement tous deux d'orientation armoricaine (N100/N120). Cette déformation et cette schistosité ne sont plus visibles dans les roches maintenant du fait de la rétomorphose générale.

Les seules déformations cassantes encore observables le sont indirectement et sont liées à la déformation D2 (postérieure à la D1) qui a induit la création d'un réseau de failles décrochantes d'orientation N140/N160 avec leurs conjuguées en N40/N60 (fentes de tension grossièrement perpendiculaires au premier réseau). Ainsi, la rivière de l'Oust qui coule à Gueltas à l'Est du site emprunterait un réseau de failles d'orientation N140. La faille de Prenéssaye (perpendiculaire à celle de la vallée de l'Ouest) serait sa conjuguée en N20/N40 et se perçoit par l'orientation de veines de quartz résistantes à l'érosion qui ont cristallisées tardivement dans le réseau de fentes de fractures. Cette faille est mentionnée sur la carte géologique à 1/50 000 et passerait à 3 km au sud-est du site. Ces failles sont notées sur la carte géologique de la France à 1/1 000 000 dont un extrait est présenté en figure 9 en page 18 (traits noirs au sein de l'étendue des schistes Briovériens de la Bretagne centrale) et reportées nominativement sur l'extrait de la carte géologique locale à 1/50000 en figure 12 (page 23).

Ainsi, le site, en domaine de plateau, est nécessairement en dehors du réseau de failles décrochantes d'orientation N20/N40 qui sont soulignées par les vallées (l'Oust à l'Est). Il pourrait exister des veines de quartz d'orientation N20/N40 en réplique de la faille de Prenéssaye qui passe à 3 km au sud-est du site comme supposé sur la carte géologique du BRGM à 1/50 000 (voir paragraphe 2.3.3, en page 21).

2.3.2.2 Morphologie actuelle du secteur

Comme développé dans le paragraphe précédent, les horizons lithologiques anciens ont subi une altération et une érosion au cours des temps géologiques. Dans les années 1900 à 1950, de nombreux géographes ont essayé de proposer un schéma des plates-formes d'érosion dans le secteur. Les études ont été reprises et réinterprétées dans les années 2000 et figurent dans la notice de la carte géologique de Loudéac toute récente. La carte structurale des plates-formes d'érosion est présentée dans la figure 11 en page suivante.

En accord avec cette carte, il existerait ainsi 3 plates-formes d'érosion étagées du nord au sud (plate-forme du Mene, plate-forme de Guémenet et plate-forme basse) directement corrélées avec l'altitude topographique et l'épaisseur des altérites. Le site serait localisé dans la plate-forme basse c'est-à-dire où la cote topographique est comprise entre 100 et 150 m NGF et où les épaisseurs d'altérites meubles seraient comprises entre 5 et 10 m.

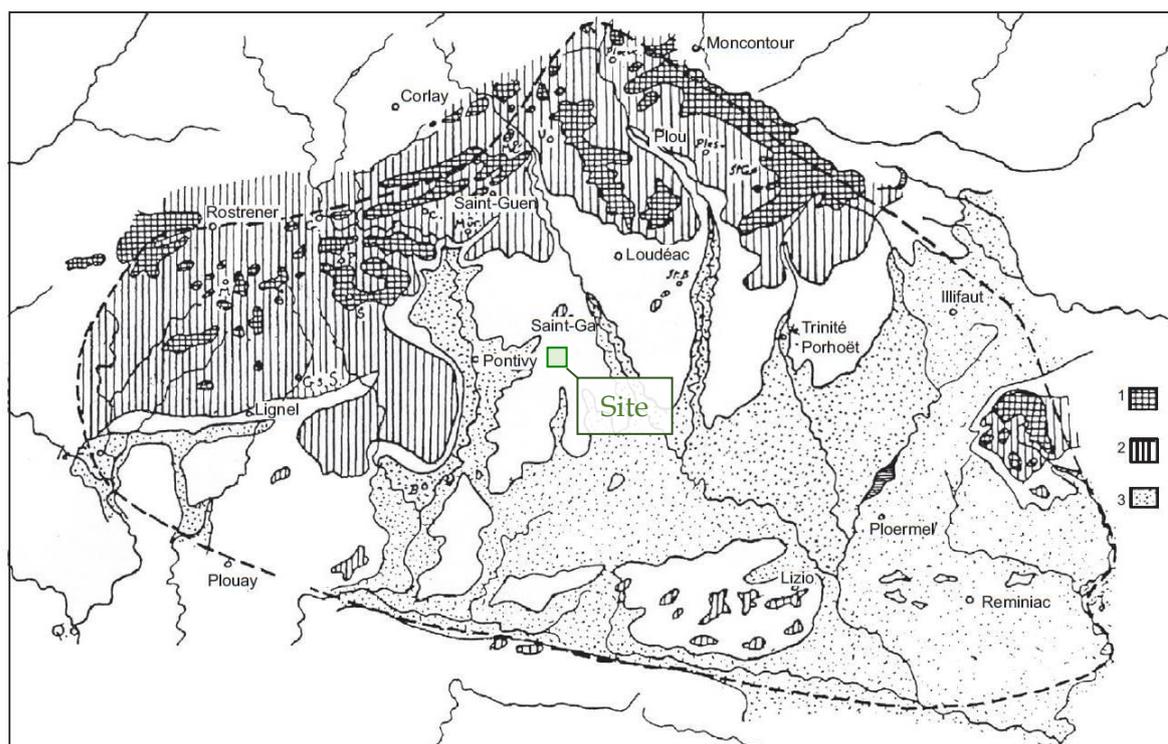


Fig. 18 - Carte structurale montrant les grands ensembles dans la région de Plouguenast. Modifié de Gumiaux (2003).
Isogrades métamorphiques d'après Saunier (1986). 1 : Plate-forme du Menet ; 2 : Plate-forme de Guémenet-sur-Scorff ;
3 : Partie comprise au-dessous de la courbe de 120 m

Figure 11. Plates-formes d'érosion à l'échelle locale (Gumiaux, 2003).

Les domaines les plus élevés sont recouverts essentiellement par des forêts mixtes de feuillus et de conifères et de vastes prairies. Les domaines plus bas en altitude (jusqu'à 100 m) et où les pentes sont faibles présentent de très vastes parcelles agricoles où se cultivent essentiellement blé et maïs ou restent en pâture. Ce n'est qu'à l'approche immédiate des cours d'eau, quand les pentes deviennent trop importantes, que les terres ne sont plus cultivées et laissées en pâtures.

Une des caractéristiques morphologiques des terrains briovériens est la préservation de collines allongées. Ce schéma est directement la conséquence d'une érosion différentielle qui est nettement moins efficace sur les roches gréseuses résistantes, les laissant en relief.

2.3.3 Contexte géologique local

Le contexte géologique local est illustré :

- Par un extrait de la carte géologique de Loudéac (figure 12 en page suivante) ;
- Par un schéma de distribution verticale des horizons d'altération pour comprendre la succession lithologique locale (figure 13, page 24) ;
- Par un log de référence validé par le BRGM proche du site pour appréhender l'épaisseur relative de chacun des horizons (figure 14, page 24).

La carte géologique (figure 12 en page suivante) met en évidence **l'omniprésence des horizons du Briovérien** caractéristiques du Domaine Varisque de Bretagne centrale (notés b2 en figurés verts sur la carte) à peine masqués par des altérites remaniées et des limons de sub-surface aux points hauts topographiques (en orange sur la carte AIII-R). Ils sont généralement redressés (pendages notés localement).

Le faciès moyen des horizons du Briovérien est une alternance silto-gréseuse tantôt à silts dominants (b2s = sable fin), tantôt à grès dominants (b2G, niveaux plus résistants). Au droit du site, les **siltites** sont dominantes (b2S).

Un point remarquable est la **présence de failles** mentionnées sur la carte qui se calent aisément aux deux familles connues à l'échelle régionale (Cf. paragraphe 2.3.2.1, page 19) :

- Un réseau de failles décrochantes d'orientation grossièrement N20 à N40 illustré sur la carte par les failles de la vallée de l'Oust à l'Est du site (pointillés noirs dans la vallée d'orientation grossièrement Nord/sud sur l'extrait mais qui est orienté en N20 à plus grande échelle) ; ces failles jouent un rôle important dans le paysage (vallées encaissées et drainage des eaux) ;
- Les **failles de tension conjuguées** au premier réseau et la prolongation de la faille de Prenéssaye soulignée par des filons de quartz (en jaune) qui passent à 3 km au sud-est du site. **Ce réseau n'a pas d'effet sur le paysage** (failles décelables seulement par le biais des filons de quartz).

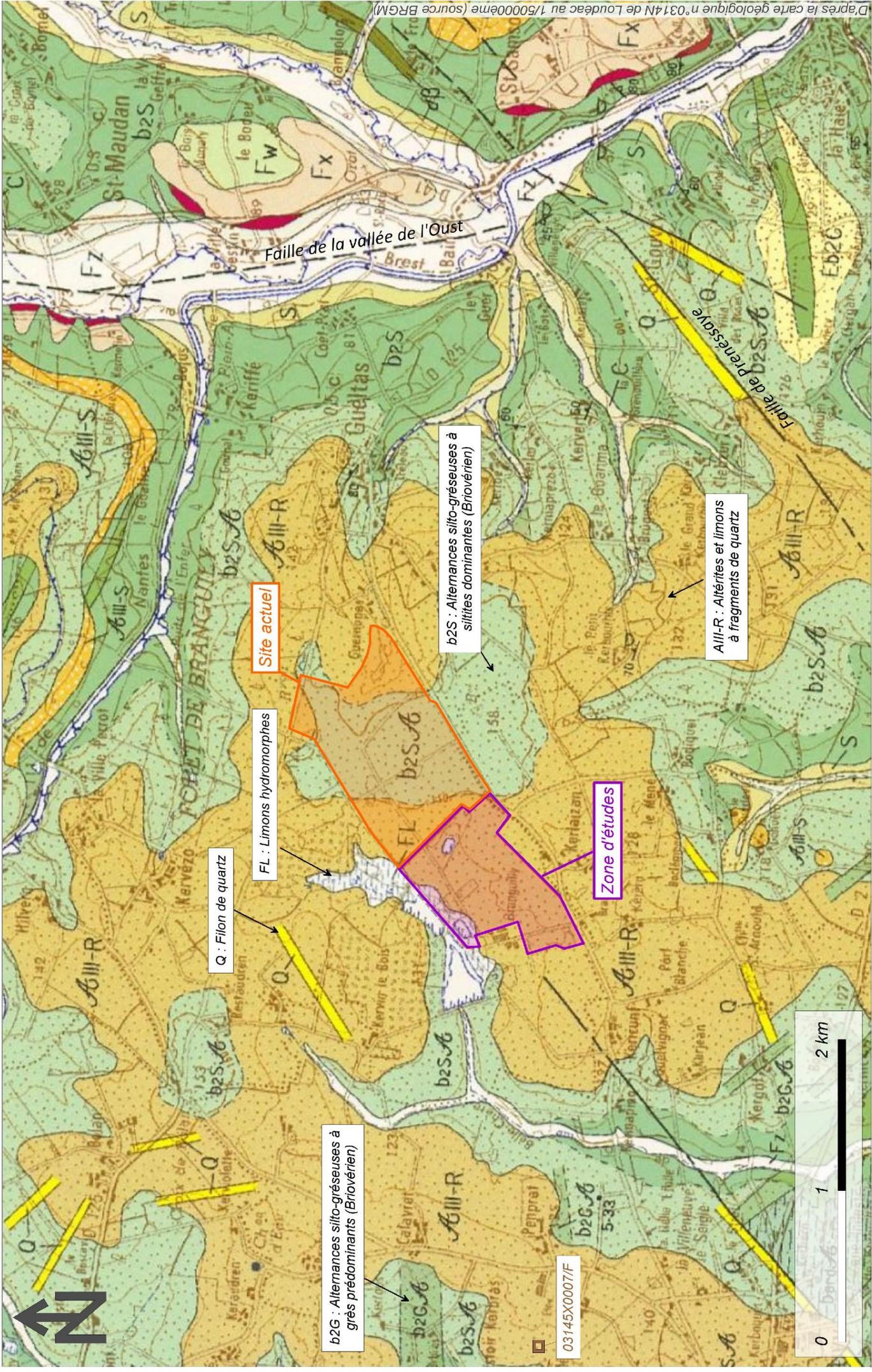
Ainsi, une **faille est supposée tout proche du site** au sud-ouest (**parallèle à la faille de Prenéssaye**) et visible uniquement dans la vallée au sud-ouest par l'intermédiaire d'un filon de quartz plus résistant. La faille supposée **ne se prolongerait pas au droit du site** ou serait masquée ou estompée en domaine de plateau (horizons altérés).

On note, pour mémoire, la présence d'horizons alluviaux en fond des vallées dont les dépôts fluviatiles de zones hydromorphes limoneuses présents au niveau des étangs en contre-bas du site (au nord).

Ainsi, au droit du site en domaine de plateau, on aurait (de haut en bas) :

- En couverture des altérites et limons colluvionnées (épaisseur faible) ;
- Puis les horizons du Briovérien formés par une alternance de silto-gréseuse à silts dominants altérés.

On retrouverait, au nord du site (point bas), un recouvrement limoneux dans l'axe du vallon (zone marécageuse).



Le schéma présenté en figure 13 ci-dessous illustre les différents faciès théoriques d'altération au-dessus du socle profond (sain). On retrouve, ainsi, 3 niveaux successifs d'altération au-dessus de la roche saine (profil d'altération de la base au sommet) :

- Les isaltérites subdivisées en 2 horizons selon le degré d'altération :
 - Horizon fissuré (le moins altéré) ;
 - Altérites stricto-sensu (plus altérées) ;
- L'allotérite au sommet (horizon le plus altéré).

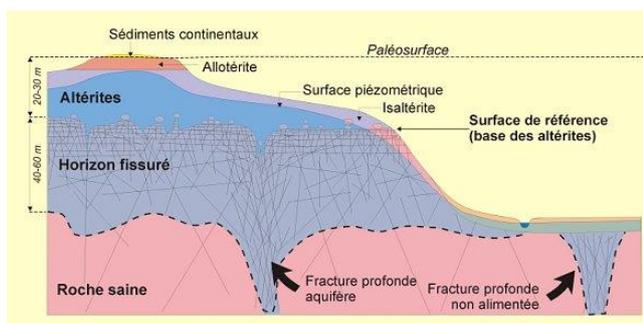


Figure 13. Schéma conceptuel des aquifères de socle (R.Wylys, 1998 et 2004).

Le log géologique ci-dessous issue du sondage BSS validé par le BRGM présent à moins de 3 km à l'ouest du site dans un même contexte (plateau) permet de préciser l'épaisseur locale des différents horizons d'altération (point localisé dans la figure 12) :

- L'allotérite au sommet fait 4 m d'épaisseur (terre jaune) ;
- Les isaltérites font 25 m d'épaisseur (avec une interface notée à 12 m délimitant le degré d'altération moindre vers la profondeur) ;
- Le socle sain (schiste gris) se développe à partir de 30 m de profondeur.

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
1.00	Sol (terre végétale)		Terre.	Quaternaire	125.00
5.00			Terre jaune (allotérite).	Briovérien à Cambrien	121.00
12.00			Schistes jaunes (isaltérite).		114.00
30.00			Schistes bruns (isaltérite).		96.00
30.00	Faciès commun du Briovérien (faciès 2)		Schistes gris.	Briovérien	81.00
45.00			Schistes gris mélangés de pierres grises.		75.00
51.00			Pierre grise tendre (schistes ?).		66.00
60.00					

Figure 14. Log géologique de référence à l'échelle locale (03145X0007/F).

Ainsi, on s'attend à avoir, **sur site, près de 30 m d'altérites avec de l'ordre de 10 à 12 m très altérés au sommet (meubles, de couleur oxydée jaunâtre) issues de la roche mère saine profonde de nature majoritairement silteuse sombre.**

2.3.4 Lithostratigraphie locale

Les paragraphes ci-après décrivent successivement les horizons présents sur site de la surface vers la profondeur. Ils sont une reprise de la notice de la carte géologique de Loudéac.

2.3.4.1 Formations résiduelles - Altérites remaniées (AIII-R)

Ces altérites remaniées correspondent à un ensemble épais de 3 à 5 m constitué de blocs de quartz emballés dans une matrice silto-argileuse ocre à brune. Les blocs de quartz, de dimensions extrêmement variables (métriques parfois) montrent des caractères d'un transport long (très émoussés) dans les premiers mètres puis apparaissent de moins en moins usés vers le sommet de la formation.

Le mur de cette formation (lorsque les conditions d'affleurement permettent une observation fine) ravine, distinctement, les altérites sous-jacentes alors que les limons sus-jacents semblent en discordance nette par endroit, quasiment en continuité stratigraphique à d'autres endroits.

L'origine de ces blocs de quartz est certainement à rechercher dans le démantèlement des puissants cortèges filoniens très importants dans le secteur (issus des failles de tension). La fraction argileuse de la matrice silto-argileuse enveloppant ces blocs est constituée d'un complexe vermiculite-chlorite qui devient prépondérant en sommet de la formation sur un assemblage kaolinite-micas blancs.

Comme pour les limons ocres qui les surmontent, l'origine des silts argileux est allochtone mais ils ont été repris une seconde fois dans un cycle gravitaire qui est à l'origine de l'incorporation des blocs quartzeux avec remaniement de la partie supérieure des profils d'altération. Le dépôt des premiers limons s'est vraisemblablement effectué en période froide peut-être au cours du Saalien (Riss) ou d'au début de l'Éémien ; le remaniement pouvant s'être opéré à l'Éémien (interglaciaire tempéré - Riss-Würm) ou au début du Périglaciaire inférieur (Weichsélien).

2.3.4.1.1 Allotérites - Argiles kaoliniques blanches

Les allotérites des roches briovériennes, du Protérozoïque métamorphisé sont des argiles blanches à grises, essentiellement kaoliniques. Ces argiles sont généralement homogènes et très peu remaniées.

2.3.4.1.2 Isaltérites des roches briovériennes : sables et argiles

Les isaltérites du Briovérien recouvrent des surfaces étagées selon une géométrie sans doute la plus explicite en Bretagne centrale. Quelle que soit leur altitude, elles sont caractérisées par des argiles grises à noires renfermant encore localement des fragments moins altérés de siltites ou de grès.

La cartographie du Briovérien sur la carte de Loudéac s'est faite en partie grâce à la reconnaissance des pierres volantes à la surface des champs : on observe une très nette diminution des morceaux de siltites et de grès dans ces zones altérées.

2.3.4.2 Socle

A l'échelle du site, les formations qui correspondent au socle correspondent aux siltites et grès fins subordonnés du Briovérien (b2S).

Ce lithofaciès est un ensemble constitué de roches essentiellement silteuses avec intercalations sporadiques de bancs de grès fins peu épais (20-30 cm de puissance en général). La proportion en grès est variable mais sauf exception, ne dépasse pas 20 % du lithofaciès.

Dans les ensembles uniquement silteux, les roches qui sont marquées par une forte schistosité, laissent rarement percevoir la stratification.

2.3.4.3 Autres horizons (superficiels)

On note, en aval du site, la présence d'une zone hydromorphe limoneuse (FL) qui correspond à une formation superficielle datant du Cénozoïque, disposée en cuvettes ennoyées riches en limon noirâtre (matière organique). Le substratum ne semble pas avoir de rôle prépondérant sur la nature de cette formation. Ce sont donc des dépôts allochtones, d'origine fluviale.

Cette formation concerne une très petite partie de la zone d'étude, au Nord et en contre-bas du site.

2.3.5 Synthèse sur l'aptitude géologique régionale

Les données géologiques et structurales acquises aux échelles régionales et locales sont les suivantes :

- La zone d'études appartient au Massif Armoricaïn et plus spécifiquement au « Domaine Varisque de Bretagne centrale », composé par les roches les plus anciennes du massif (datant du Briovérien) ;
- Ces roches anciennes silteuses (anciens sédiments marins légèrement métamorphosés) ont subi l'effet du temps et ont été altérés en sables argileux sur plus de 30 m (altérites). Ces produits d'altération sont les horizons les plus favorables à l'échelle régionale à former la barrière de sécurité passive (notion de base des ISDND, 5 m à perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s) ;
- Le site est localisé en domaine de plateau, zone la plus favorable :
 - Tectoniquement parlant car en dehors des couloirs de failles que caractérisent les vallées principales d'orientation sub-méridienne (à N20) ;
 - Et géologiquement parlant car où l'épaisseur d'altérites est la plus importante.

Compte tenu de ces éléments, le contexte géologique et structural régional et local est jugé favorable dès lors que le projet est localisé en domaine de plateau et ancré dans les horizons altérés.

L'aire d'étude géologique est définie spatialement par le plateau qui porte le site et en profondeur par la présence des altérites de socle (30 m).

Cela étant dit, il conviendra d'être vigilant quant à la présence possible de failles de tensions (filons de quartz) connus dans le secteur (hétérogénéité locale) qu'il conviendra d'étudier en phase de qualification. Il conviendra, vraisemblablement également, de reconstituer la couche supérieure imperméable de la barrière passive (1 m à $K < 10^{-9}$ m/s).

2.4 Contexte hydrogéologique

2.4.1 Données d'ordre général

Comme développé dans le chapitre précédent (contexte géologique régional), le Massif Armoricaïn est constitué, en majorité, par des formations très anciennes intensément altérées. L'Atlas des nappes aquifères de la France, ouvrage de référence du BRGM qui réalise une synthèse des ressources aquifères du Pays, dénombre seulement 6 types de formations aquifères productives dans le Massif Armoricaïn :

- Les alluvions des principaux cours d'eau ;
- Les roches volcaniques du Trégor ;
- Les amphibolites de Lanvollon et diorites de Saint-Quay-Portrieux ;
- Les horizons calcaires ;
- Les bassins d'âge secondaire et tertiaire ;
- Les aquifères dunaires.

Ces formations sont de dimensions très restreintes.

Les horizons appartenant au Domaine Varisque de Bretagne centrale (schistes peu métamorphiques datant du Primaire) n'appartiennent à aucune de ces 6 unités aquifères. Les « schistoïdes » (nom générique donné aux roches peu métamorphisées comme celles du site) et les « granitoïdes » représentent, en effet, la plus grande partie des horizons constituant le Massif Armoricaïn. Or, ces formations ne sont pas considérées comme des niveaux aquifères au sens hydrogéologique du terme (productif) du fait de leur nature (horizons anciens altérés) ; raison pour laquelle [...] « il n'existe pas, dans le massif Armoricaïn, de grands systèmes aquifères » [...] selon l'atlas.

Cependant, ces horizons dits de socle renferment nécessairement de l'eau souterraine issue de l'infiltration lente des eaux pluviales venue saturer ces faciès d'altération dont le « rôle hydrogéologique » dépend du degré d'altération :

- Les horizons d'altération sur plusieurs dizaines de mètres jouent « un rôle de réservoir » (fonction capacitive ; ils retiennent l'eau par leur nature argileuse peu perméable) ;
- Le Socle profond permet « la circulation d'eau dans les réseaux de fissures (factures, joints, diaclases,) » existants plus bas dans la roche saine.

Ces 2 fonctions sont résumées dans la figure 13, en page 24 (coupe schématique des faciès d'altération en domaine de socle schisteux ou granitique) :

- Le **seul niveau dit aquifère** est formé par le **socle profond sain au niveau des seules zones de fractures** (rôle de drain productif), c'est-à-dire à plus de 30 m de profondeur atténuée eu égard au contexte géologique régional ;
- Les **altérites (faciès isaltérites) n'est pas aquifère (pas de débit)** mais soutiennent l'eau d'infiltration pluviale et jouent un rôle capacitatif. Elles sont donc naturellement saturées avec un niveau piézométrique présent à faible profondeur du fait de l'absence de drainage induit par la nature argileuse semi-perméable.

2.4.2 Masse d'eau référencée

L'ensemble des formations géologiques du territoire français est classé en « masses d'eau » souterraines qu'elles soient aquifères ou non (consultables sur le site BD LISA du BRGM).

Ainsi, la zone d'étude est localisée au sein de la masse d'eau n°195AC01 (code de l'entité hydrogéologique) appelée « Socle métamorphique dans le bassin versant de l'Evel de sa source au Blavet (non inclus) ».

Son étendue et la position du site sont présentées en figure 15 ci-dessous.

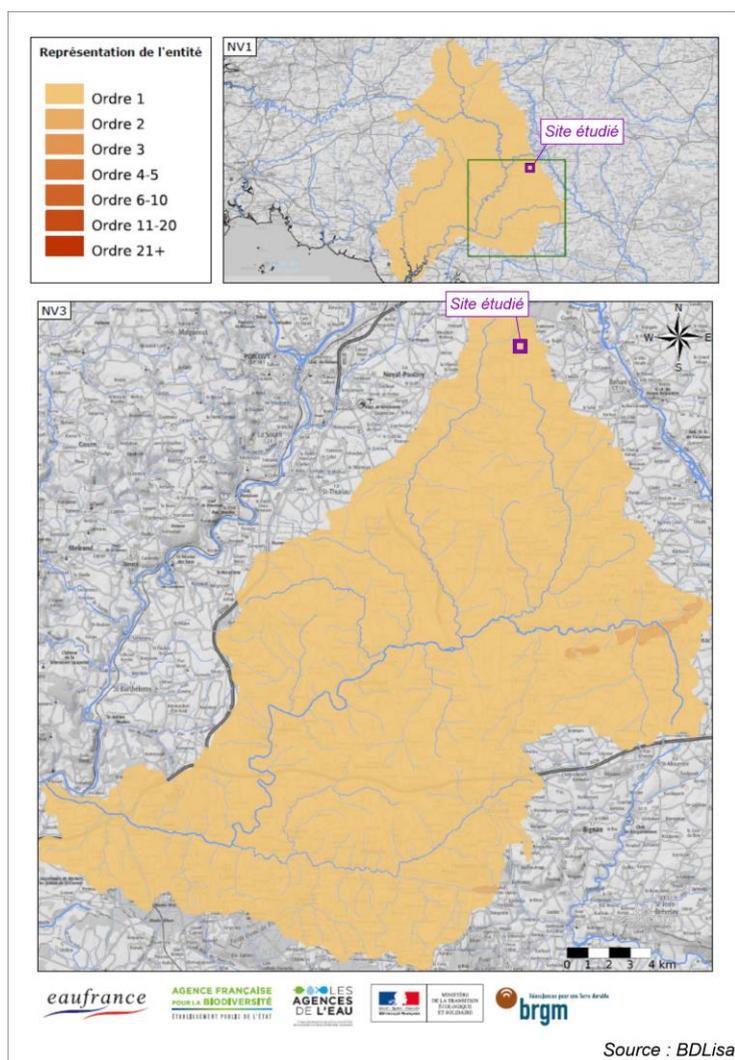


Figure 15. Étendue de la masse d'eau souterraine n°195AC01 (source : BDLisa).

La masse d'eau souterraine est limitée au bassin versant hydrographique du cours d'eau de surface (Evel et affluents) en incluant tous les horizons lithologiques inclus dans le bassin versant. Le site est localisé en tête et à l'extrême nord de la masse d'eau (sans amont hydrogéologique).

Elle est classée sous BDLISA comme « une unité semi-perméable » c'est-à-dire non aquifère dans le vocable des hydrogéologues (voir extrait de la fiche de la masse d'eau en tableau 1 ci-dessous).

Code de l'Entité Hydrogéologique locale **195AC01** 

Nom de l'Entité Hydrogéologique **Socle métamorphique dans le bassin versant de l'Evel de sa source au Blavet (non inclus)**

Caractéristiques de l'entité

Nature : **6** Unité semi-perméable
 Etat : **2** Entité hydrogéologique à nappe libre
 Thème : **3** Socle
 Type de milieu : **2** Fissuré
 Origine de la construction : **1** Carte géologique ou hydrogéologique

Evolution entre la BDLISA V1 et la V2 :

Est incluse dans l'Entité Hydrogéologique **195AC**
 Socle du Massif Armoricain dans le bassin versant de l'Evel de sa source au Blavet (exclus)

Tableau 1. Classement de la masse d'eau souterraine n°195AC01 (source : BDLisa)

Les données hydrogéologiques sont donc quasi-inexistantes. Notamment, il n'existe pas de carte hydrogéologique du fait de l'absence de niveau productif et continu.

Les seules données quantifiées sont synthétisées dans la notice de la carte géologique de Loudéac (0314N) où il est fait référence aux débits soutirés des sondages profonds référencés atteignant le socle fracturé (voir tableau 2 ci-dessous, ligne en encadré rouge). Le débit moyen de la nappe des siltites du Briovérien est de 7,2 m³/h sur un échantillon de 104 forages d'eau compilés sur la carte. La profondeur moyenne des ouvrages est de 66,3 mètres.

Formation géologique	Effectif	Débits extrêmes		Débit moyen (m³/h)	Profondeurs extrêmes		Profondeur moyenne (m)
		1	65		33	100	
Cornéennes	19	1	65	13,4	33	100	83,5
Grès du Briovérien	24	0	20	8,6	16	155	58,8
Siltites du Briovérien	104	1	27	7,2	30	220	66,3
Micaschistes	8	2		4,5	43	120	71,2
Granite de Plémet-Granodiorite de Saint-Lubin	8	1	5	2,5	37	100	74

Tableau 2. Données hydrodynamiques des aquifères de Bretagne (Notice 0314N).

2.4.3 Captages AEP et autres usages des eaux souterraines

Les captages pour l'AEP sont à usage sensible car l'eau est destinée à la consommation humaine (non sensible si elle n'est pas consommée).

La protection contre les pollutions ponctuelles et accidentelles est délimitée par les périmètres de protection rapprochée définis autour des ouvrages de captage. La protection contre les pollutions diffuses et pérennes est définie par les périmètres de protection éloignée.

Ainsi, dès lors qu'une activité potentiellement polluante est implantée en dehors des périmètres de protection, il n'y a pas de risque avéré sur la ressource captée.

Néanmoins, il convient d'étudier également les captages situés plus en aval (notion de Bassin versant d'Alimentation du Captage, zone BAC).

L'inventaire des captages d'alimentation en eau potable a été réalisé auprès de l'ARS dans un périmètre d'une dizaine de kilomètres autour du site en incluant le plateau qui porte le projet et ses limites hydrogéologiques. Selon les informations collectées, il n'y a aucun captage AEP dans le secteur.

Pour information, le captage AEP le plus proche est localisé à Pontivy à près de 10 km à l'Ouest du site sans relation hydrogéologique (dans une masse d'eau voisine différente de celle du site). Dans la masse d'eau du bassin versant de l'Evel qui contient le site, il n'y a pas de captage AEP référencé à l'ARS.

Cette constatation s'explique par l'absence de ressource en eau souterraine dans le Domaine Varisque de Bretagne centrale (voir ci-avant).

Pour ces raisons, le **contexte lié à l'usage sensible des eaux est considéré comme très favorable (absence de vulnérabilité des captages AEP)**.

D'après les données consultables sur le site de la BNPE qui référence les volumes d'eau annuels prélevés par commune, le volume d'eau prélevé pour l'AEP en 2021 à Gueltas (dernière année comptabilisée) est nul.

Le volume d'eau annuel total prélevé sur la commune (tous usages) s'élève à un 13 680 m³ pour le seul usage agricole d'irrigation (eau de surface) au droit de la retenue d'eau située entre l'ISDND actuelle et le projet (ref. OPR0000177707, voir figure 28 en page 67).

Nota Benne : l'usage local des eaux souterraines (avec l'inventaire des ouvrages référencés) est étudié dans le chapitre de qualification hydrogéologique (analyse du contexte local du site).

2.4.4 Synthèse sur l'aptitude hydrogéologique

Les données hydrogéologiques acquises à l'échelle régionale sont les suivantes :

- Le site de Gueltas est localisé dans le domaine varisque de Bretagne centrale qui se caractérise par la présence de roches anciennes schisteuses ayant subi une altération intense tant et si bien que la roche mère profonde se situe à plus de 30 m de profondeur sous des horizons altérés argilisés peu perméable ;
- Cette couverture peu perméable induit l'absence de ressource en eau souterraine substantielle qui se concentre aléatoirement et uniquement au gré des fractures profondes de la roche mère saine et à forte profondeur (Les fractures de la roche jouent un rôle de drain des eaux infiltrées).
- Ainsi, il n'y a pas de captages AEP dans le secteur du fait de l'absence de ressource.

Pour ces raisons, le contexte hydrogéologique est favorable.

Le site est localisé en domaine de plateau où la couverture d'altérites est de facto plus importante qu'en domaine de vallée (point favorable). Cependant, l'absence de de pente topographique substantielle conjuguée à la nature peu perméable des altérites

induisent, a priori, une cote de saturation peu profonde (les altérites jouent un rôle du capacitif en retenant l'eau d'infiltration pluviale). Ce point est à étudier finement en phase d'études de qualification car elle contraint nécessairement la cote du fond de forme du site.

L'aire d'études hydrogéologiques est définie spatialement par le bassin versant hydrographique (et donc hydrogéologique) qui inclut le site et en profondeur par celle du premier niveau d'eau (saturation naturelle des horizons d'altération du socle).

Le contexte hydrogéologique reste favorable sous réserve de positionner le fond de forme du site au-dessus du niveau de saturation des altérites ou sous réserve d'une gestion des eaux sa saturation à même d'assurer un drainage du niveau pour des raisons évidentes de faisabilité hydrogéologique.

2.5 Justification du choix régional et local du site

2.5.1 Contraintes régionales et locales prises en compte

- **Contraintes géologiques**

Pour être géologiquement favorable, un site doit être formé par des matériaux en place sur une épaisseur de 5 m à caractère semi-perméable (défini par le coefficient de perméabilité $k < 1.10^{-6}$ m/s).

Les altérites des schistes du Briovérien qui forment le substratum géologique du site sur des épaisseurs substantielles (a priori 30 m d'altération dont près de 10 m totalement rétromorphosés en surface) sont une formation a priori apte à former la barrière passive du projet (couche d'atténuation).

Des mesures compensatoires devront être proposées pour la reconstitution de la couche supérieure de la barrière passive (couche de 1 m à $k < 10^{-9}$ m/s) voire son renforcement en cas d'absence partielle de la couche d'atténuation (5 m à $k < 1.10^{-6}$ m/s).

- **Contraintes structurales**

Les horizons d'altération du socle profond ancien (Primaire) ont atténué voire « effacé » toute déformation tectonique et structurale tant et si bien qu'il n'y a pas (ou plus) a priori d'effet prévisible des failles à l'échelle du projet. De plus, le site est en dehors du réseau de failles décrochantes de direction N20 encore visibles dans le paysage (vallée de l'Oust à l'Est). Cependant, la zone se trouvant dans la prolongation de l'axe d'une faille conjuguée au premier réseau décrochant dite faille de tension (filons de quartz visibles), il conviendra de vérifier si elle se prolonge dans la zone d'étude et son effet potentiel, et de proposer, au besoin, une mesure compensatoire adaptée en cas de mise en évidence (renforcement de la barrière passive).

- **Contraintes hydrogéologiques et hydrographiques**

La position du site en domaine de plateau et en tête de bassin versant hydrographique conjuguée à la faible perméabilité attendue des altérites est un point favorable : il n'y pas de nappe d'eau souterraine au sens hydrogéologique

du terme ; raison pour laquelle les produits d'altération des schistes du Briovérien sont classés comme formations « semi-perméables » dans la littérature scientifique.

Cependant, les altérites sont naturellement saturées en eau à faible profondeur (par infiltration lente de la pluie) dès lors qu'il n'y a pas de drainage naturel suffisant (pente topographique). La profondeur de décaissement du projet est donc fonction du niveau d'eau dans ces altérites.

- **Protection des captages AEP**

Le site est en dehors de tout périmètres de protection des captages AEP.

2.5.2 Critères positifs d'aptitude régionale et locale

Les critères positifs pour le choix du site à l'échelle régionale sont les suivants :

1. En faveur de son aptitude géologique :

- La présence à l'affleurement et sur des épaisseurs substantielles des altérites, unité géologique qui représente la formation la plus favorable et la plus apte à former la barrière passive du site à l'échelle régionale ;

2. En faveur de son aptitude hydrogéologique :

- L'absence de nappe au sens hydrogéologique du terme dans les altérites ;
- L'absence de captages d'eau potable potentiellement vulnérables au site.

2.5.3 Conclusion sur l'aptitude régionale

L'étude d'aptitude aux échelles régionales et locales a été réalisée à partir de sources bibliographiques et documentaires. Le site répond aux critères d'aptitude tels que définis dans le fascicule de l'AFNOR (FD X 30-438) pour la reconnaissance de sites d'installation de stockage de déchets.

Les critères d'aptitude géologique, hydrogéologique et hydrologique restent globalement favorables (peu contraignants) pour un projet d'ISDND, sous réserve de la mise en place d'une barrière passive équivalente à la réglementation (1 m à $k < 10^{-9}$ m/s + 5 m à $k < 10^{-6}$ m/s ou équivalent).

3

Etude de qualification

La qualification géologique du site s'appuie sur plusieurs outils géologiques, chacun d'eux fournissant des observations et des mesures nouvelles dont la synthèse permet de comprendre et d'expliquer l'état initial du site.

Les résultats de chaque technique sont exposés pour chacun des contextes géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques.

La zone de poursuite d'activité de l'ISDND est localisée à l'ouest de l'ISDND actuelle sur une superficie retenue d'environ 20 hectares incluse dans une maîtrise foncière plus étendue (près de 40 ha).

Le site s'étend depuis les hauteurs du plateau à 146 m NGF au Sud-Est vers la vallée au Nord dont le point bas se situe aux environs de 130 m NGF.

La présence de cet exutoire naturel des eaux en aval au nord contraint la cote de décaissement afin de pouvoir proposer une gestion gravitaire des eaux du futur site, en continuité de l'exploitation actuelle.

Le contexte local est déjà bien connu pour avoir fait l'objet de nombreuses campagnes de sondages géologiques profonds au gré des différentes phases d'extension et de qualification de l'ancien site.

3.1 Données historiques existantes

Trois grandes phases de terrains se sont succédé sur le site voisin actuel dans les années 1990 à 2000. Elles sont résumées dans le [tableau 3](#) en page suivante et les données techniques pertinentes sont reprises en [annexe 3](#). Les 3 phases successives ont conduit en la réalisation d'investigations géologiques et hydrogéologiques :

- En 1992, l'entreprise SOPENA est intervenue lors d'une phase de chantier pour l'étude géologique et hydrogéologique du premier site. Ainsi, ont été réalisés :
 - 2 sondages carottés (SC1 et SC4) dans lesquels des essais de test de la perméabilité ont été menés (4 essais par ouvrage) ;
 - 8 sondages destructifs pour équipement en piézomètres (création du réseau de contrôle piézométrique du site).
- En mars 1994, F.D. Conseil a supervisé la réalisation de 16 fouilles à la pelle mécanique pour caractérisation de la géologie et tests de la perméabilité des horizons superficiels ;

- La dernière phase de chantier a eu lieu en 2006 lors de la dernière extension de l'ISDND (site actuel). C'est l'entreprise BURGEAP qui s'est chargée de la supervision des travaux. Ont eu lieu :
 - 10 fouilles à la pelle mécanique pour reconnaissance géologique ;
 - 3 sondages carottés à plus de 30 mètres de profondeur ;
 - 11 sondages destructifs pour caractérisation de la perméabilité (essais Lefranc en sondage)
 - 1 piézomètre (PZ7) pour compléter le réseau de contrôle de l'ISDND.

Date	Entreprise	Nature des investigations	Nombre
Février 1992	SOPENA	Sondage carotté	2
		Essais de perméabilité	8
		Piézomètres	9
Mars 1994	F.D. Conseil	Fouilles à la pelle mécanique	16
		Essais de perméabilité	16
Janvier 2006	BURGEAP	Fouilles à la pelle mécanique	10
Mars 2006		TEMSOL	Sondage carotté
	Sondages destructifs		11
	Essais de perméabilité		11
	Piézomètre		1

Tableau 3. Sondages géologiques historiques.

Les données techniques pertinentes (géologiques, hydrogéologiques, géotechniques) et transposables à la zone de poursuite d'activité sont reprises dans les paragraphes respectifs qui suivent.

Ces investigations historiques de terrain ont permis de mettre en évidence la présence d'altérites du socle peu perméables ($K_{moyen} < 10^{-6}$ m/s) avec un socle sain à plus de 30 m de profondeur et avec des épaisseurs d'altération franches variant de plus de 10 m aux points hauts topographiques à moins de 3 m en aval. Le niveau de saturation des altérites a été qualifié et quantifié et est suivi aujourd'hui par un réseau de contrôle piézométrique (6 piézomètres).

3.2 Contexte géologique

3.2.1 Géophysique préliminaire

Deux types d'investigations géophysiques ont été réalisés par ACG Environnement afin de reconnaître l'homogénéité du site (Cf. détail en annexe 4) :

- Une campagne de reconnaissance par panneaux électriques à 50 m de profondeur pour des linéaires variant de 375 à 715 ml dans le sens d'allongement du site (pour appréhender l'homogénéité verticale des horizons jusque dans le socle sain profond) ;
- Une campagne de reconnaissance par électromagnétisme à 3 profondeurs successives pour déterminer l'homogénéité spatiale du site :
 - Une couverture électromagnétique à l'EM 31 à 6 mètres de profondeur. L'EM31 permet d'appréhender la qualité moyenne des formations en sub-surface qui seront décaissées pour les besoins de la création du vide de fouille (limons et altérites) ;
 - Une couverture électromagnétique à l'EM 34 à 15 m ; L'EM34 à 15 mètres permet de reconnaître l'homogénéité des horizons qui seront décaissés et qui formeront la barrière passive du futur site depuis les flancs jusqu'en fond (limons et altérites) ;
 - Une couverture électromagnétique à l'EM 34 à 30 mètres de profondeur ; L'EM34 0-30 m permet d'avoir l'homogénéité plus en profondeur et recoupera a priori l'intégralité de la frange d'altération.

Les investigations se sont déroulées en 2 phases :

- Les panneaux électriques ont eu lieu entre le 15 et le 16 décembre 2021 ;
- Les profils électromagnétiques à l'EM31 et à l'EM34 ont eu lieu le 23 décembre 2021.

Les points et profils de reconnaissance sont positionnés dans la figure 16 en page suivante.

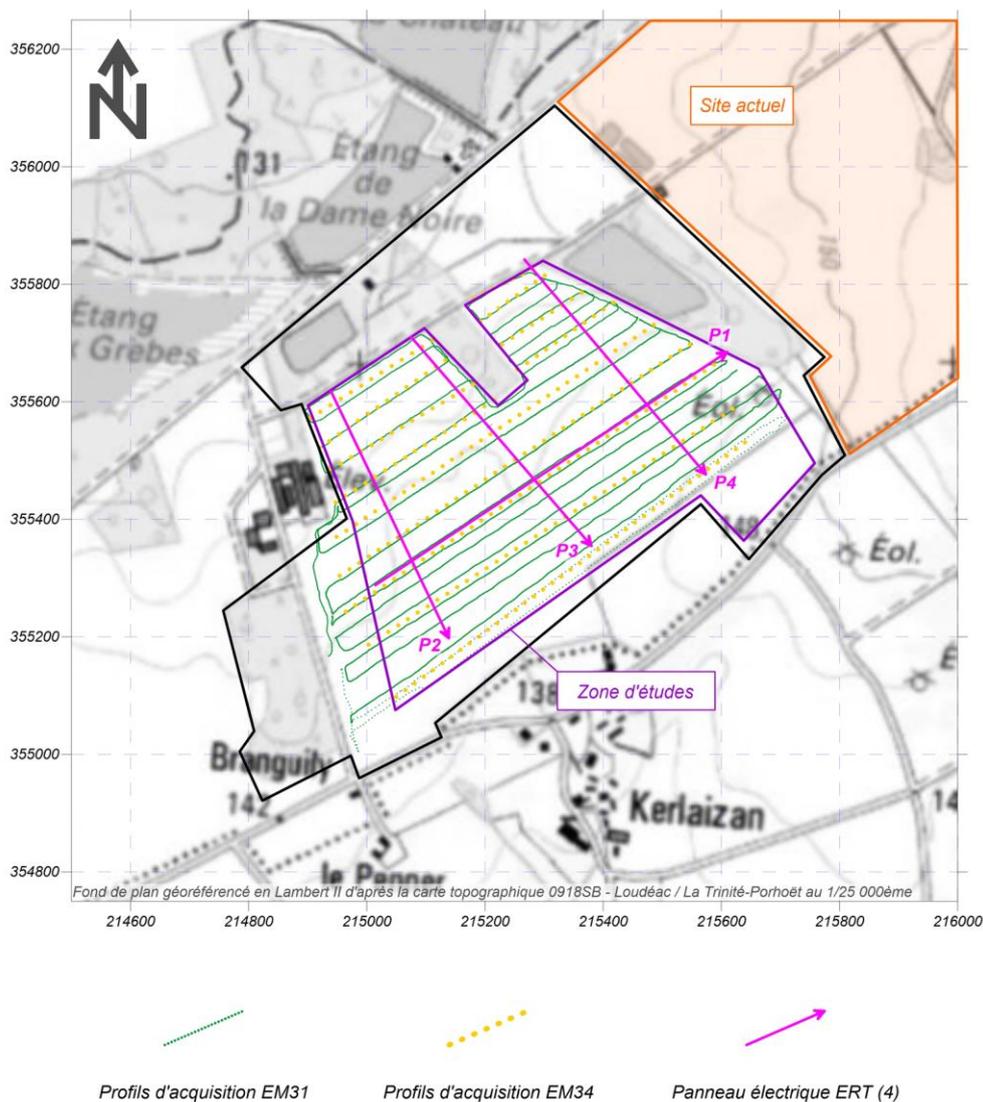


Figure 16. Localisation des investigations géophysiques réalisées en 2022.

3.2.1.1 Panneaux électriques

3.2.1.1.1 Méthodologie et investigation réalisée

Comme illustré en figure 16 ci-avant, la zone d'étude locale a été investiguée à l'aide de 4 panneaux (traits en rose dans la figure) :

- Un panneau dans l'allongement du site en SW/NE (noté « P1 » pour « panneau 1 » d'une longueur cumulée de 715 mètres linéaires) ;
- Trois panneaux recoupant perpendiculairement P1 (notés panneaux 2, 3 et 4 répartis de l'Ouest vers l'Est du site).

Le dispositif d'injection choisi est type Wenner avec des électrodes tous les 5 mètres ; configuration qui a une répartition des points d'investigation homogène jusqu'à 50 m de profondeur.

Les variations de résistance au passage du courant provoquent des variations dans la différence de potentiel mesurée fournissant des informations sur les matériaux et structures du sous-sol. La grandeur physique mesurée dans une couche est la résistivité vraie (exprimée en ohm.m).

En présence d'un terrain homogène, le courant peut être visualisé sous forme de lignes équipotentielles assimilables à des demi-sphères centrées sur les électrodes d'injection. En présence d'une interface séparant deux couches de résistivité différente, les lignes de courant sont déviées et la résistivité apparente mesurée est une moyenne des résistivités vraies des deux milieux. Quand une proportion significative de courant pénètre dans la deuxième couche, la résistivité apparente mesurée est comprise entre les résistivités vraies des deux milieux et elle tend de manière asymptotique vers la résistivité vraie du deuxième milieu lorsque les électrodes de courant sont de plus en plus éloignées ; Et ainsi de suite pour les couches de plus en plus éloignées.

Un affichage en temps réel des paramètres d'injection (puissance, ampérage, voltage) et de mesure (nombre de répétitions et déviation standard) ont permis un contrôle de la pertinence des paramètres d'injection et d'enregistrement.

Les données de résistivité ont été enregistrées au format propriétaire ABEM (fichiers S4K) puis converties en fichier DAT pour permettre leur inversion.

L'ensemble de ces traitements est réalisé grâce à deux logiciels complémentaires :

- Les échelles verticales et horizontales ont été traitées avec le logiciel x2ipi (compensation de la topographie) ;
- Le filtrage après analyse statistique des données et les calculs d'inversions sont réalisés par le logiciel RES2DINV (version 3.56.44).

Les données géo-électriques ont été calées avec les données géologiques interprétées à l'aide des données lithologiques tirées des sondages réalisés pour la présente étude.

3.2.1.1.2 Résultats observés et interprétation

Les deux panneaux présentés dans la figure 17 en page 39 permettent d'appréhender la réponse géoélectrique des formations au droit de la zone étudiée (les autres panneaux sont consultables en annexe 4).

Les résistivités mesurées sont dans des gammes dites faibles (toujours inférieures à 1100 ohm.m). Trois grandes gammes sont représentées (les terrains les moins résistants sont en dérivés de bleus, les plus résistants sont en orangés et rouges et les résistivités intermédiaires sont en dérivé de vert).

Le **panneau 1** (grand panneau dans le sens d'allongement du site SW/NE) met en évidence :

- La présence de terrains peu résistants et ce sur quasiment les 50 m de profondeurs investigués ;
- Et l'extrême homogénéité des horizons traversés (<500 ohm.m pour la quasi-totalité des mesures, couleurs bleus à vertes).

Remis dans le contexte, les horizons traversés sont donc altérés et homogènes. Le socle (plus résistant) pourrait avoir été touché au centre du panneau dans l'axe du vallon central du site où l'altitude topographique est la plus faible (zone en rouge, donc où la cote est la plus profonde vers 45 m de profondeur soit 90 m NGF).

NOTA BENNE : au centre du panneau (dans l'axe du vallon où il existe donc un drainage naturel des eaux lié à la pente topographique), les terrains sub-affleurants sont légèrement plus résistants que de part et d'autre (en vert dans l'axe et plutôt bleu de chaque côté) où la pente topographique est plus faible. Ce point va dans le sens du modèle hydrogéologique du site (les terrains peu perméables sont naturellement saturés en eau et le drainage ou l'écoulement ne peut se faire qu'à la faveur d'une pente topographique suffisante avec une cote de saturation plus profonde locale induite).

Le **panneau 4** d'orientation NW/SE (le plus à l'Est du site des 3 dans cette orientation) permet de conclure de la même façon que pour le panneau 1 : les terrains sont altérés et homogènes au moins sur 40/45 m d'épaisseur.

Sur ce panneau 4, il est possible d'observer 2 zones plus résistantes :

- La première, en sub-surface à environ 275 mètres du début du panneau (zone conductrice circulaire suivie plus en profondeur d'une petite zone résistante en rouge). Il s'agit d'un artefact lié à la présence d'un réseau de drainage agricole à faible profondeur (le drain crée artificiellement une zone très conductrice induit un artefact, à l'opposé, très résistant juste en dessous par compensation dans l'interprétation du logiciel) ;
- La seconde zone résistante est observable plus en profondeur au milieu du panneau à environ 45 mètres de profondeur. A ces profondeurs, il pourrait s'agir du socle schisteux sain.

Sur ce panneau, nous y avons transposé la position théorique du prolongement de la faille présente plus à l'ouest dans la vallée en encadré rouge (faille de tension que les géologues du BRGM ont supposées à partir de filons de quart plus résistants et qui est mentionnée sur la carte géologique, cf. figure 11 en page 23). Au droit de cette zone, on observe la présence d'une zone plus résistante à 45 m de profondeur (remontée de socle sain ou filon de quartz ?).

Cette zone plus « hétérogène » à forte profondeur a été observée également au niveau des 2 autres panneaux parallèles au panneau 4 (P2 et P3, voir détail en annexe 4). Il pourrait s'agir de la faille supposée par le BRGM présente plus à l'Ouest (Cf. localisation de l'hétérogénéité profonde en zone rouge dans la figure 17 en page suivante et zone de faille prolongée du BRGM en pointillé rouge). Néanmoins, vu la profondeur de cette hétérogénéité, elle n'aura aucun effet sur le projet.

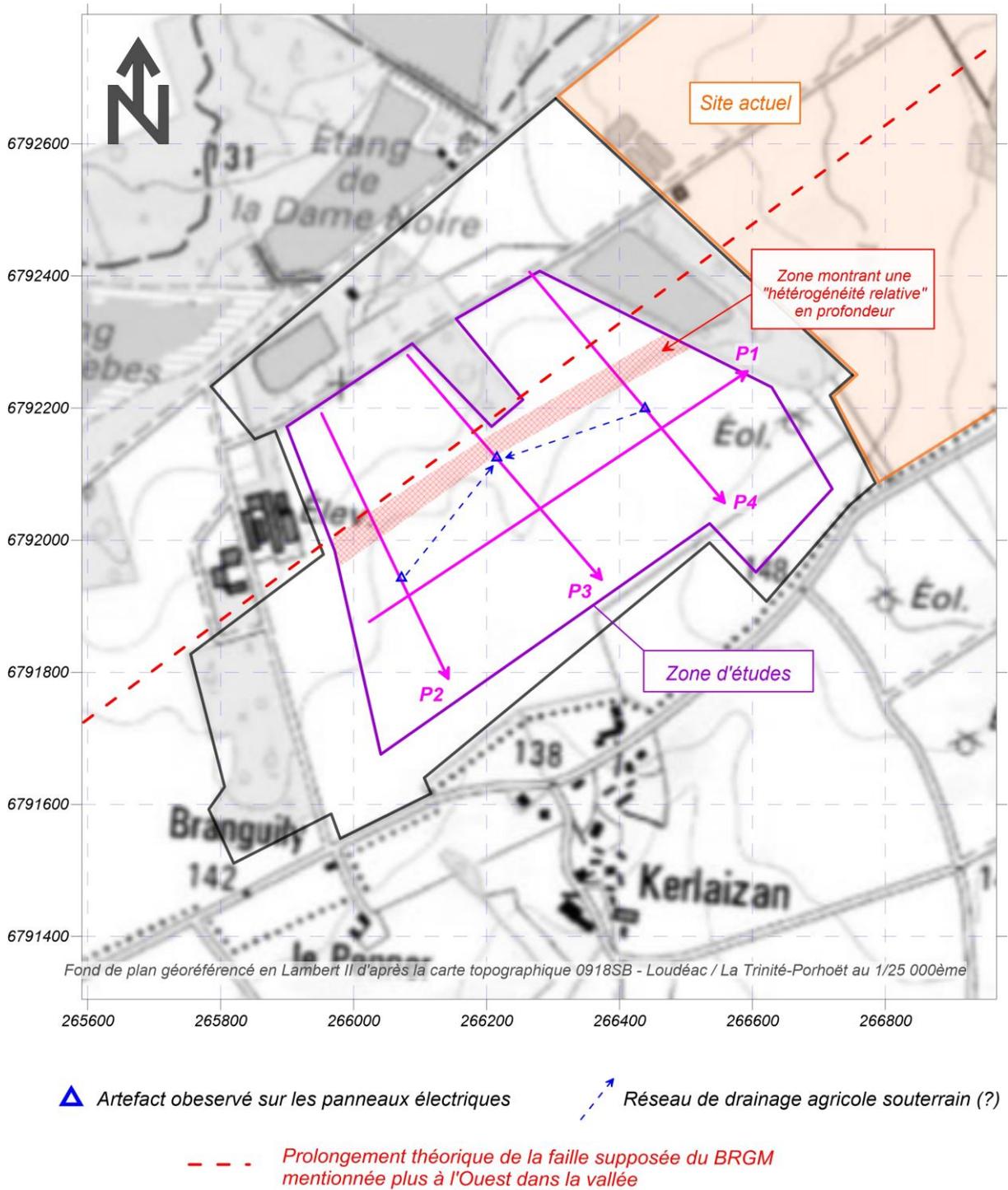
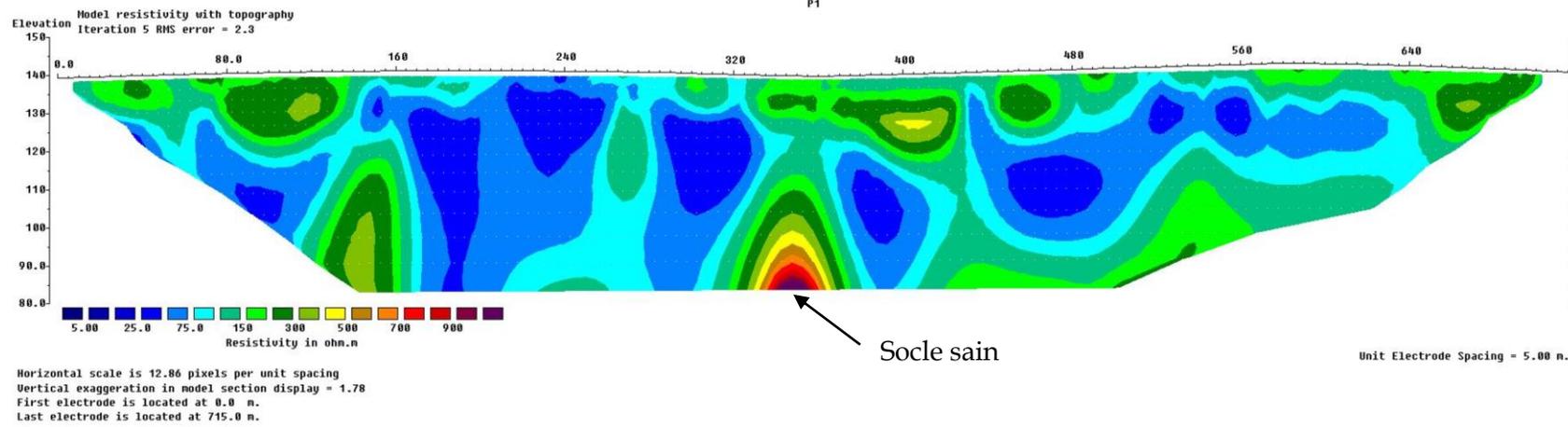


Figure 17. Interprétation des panneaux électriques.

Panneau 1 (SW/NE)



Panneau 4 (Nord-Ouest/Sud-Est)

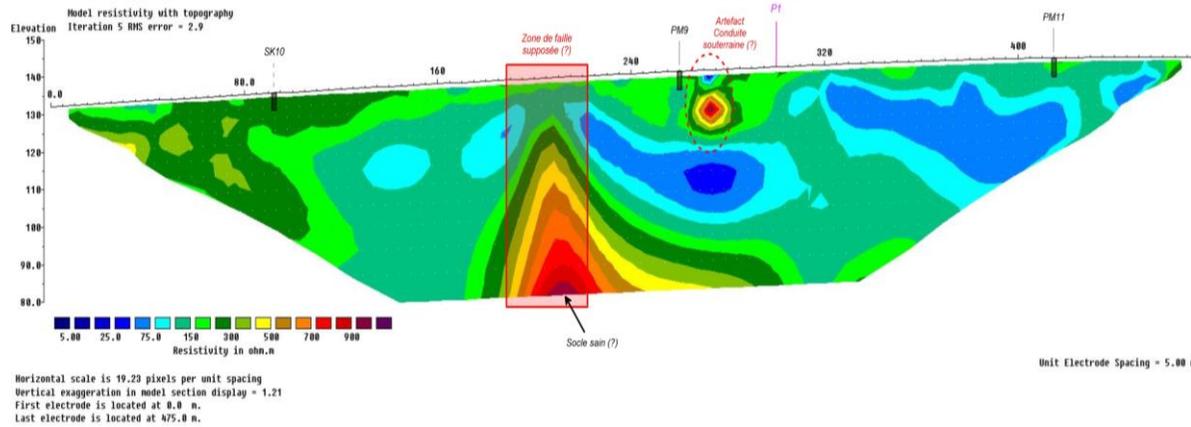


Figure 18. Exemples de panneaux électriques.

3.2.1.2 Couverture électromagnétique du site en sub-surface (EM31)

3.2.1.2.1 Méthodologie et investigation réalisée

Cette méthode d'étude géophysique permet d'obtenir une cartographie de la totalité de la zone investiguée (sans zones de « blanc » comme pourraient le faire les panneaux de résistivité électrique).

Le dispositif consiste à émettre un courant électromagnétique dans le sol par l'intermédiaire d'une bobine émettrice et de réceptionner le champ modifié par le sol par la bobine réceptrice. Les variations du champ magnétique artificiel (champ primaire H_p) provoqué par la circulation du courant alternatif de fréquence f donnée dans la bobine d'un émetteur, induisent de faibles courants dans le sol. Ces courants créent un champ magnétique secondaire H_s mesuré à l'aide d'un récepteur situé à quelques mètres de l'émetteur (voir schéma 1 ci-dessous). Ce champ magnétique secondaire est lié à la conductivité des terrains concernés selon la relation :

$$\rho = k \left(\frac{1}{\mu} \frac{H_s}{H_p} \right)$$

Où

ρ : conductivité apparente
 μ : perméabilité électromagnétique
 k : constante

H_p : champ magnétique primaire
 H_s : champ magnétique secondaire

Les schistes sains sont très peu conducteurs (< 5 mS/m). Les terrains argileux sont, en revanche, très conducteurs (> 50 mS/m). Les horizons silteux ont une conductivité intermédiaire.

3.2.1.2.2 Résultats observés et interprétation

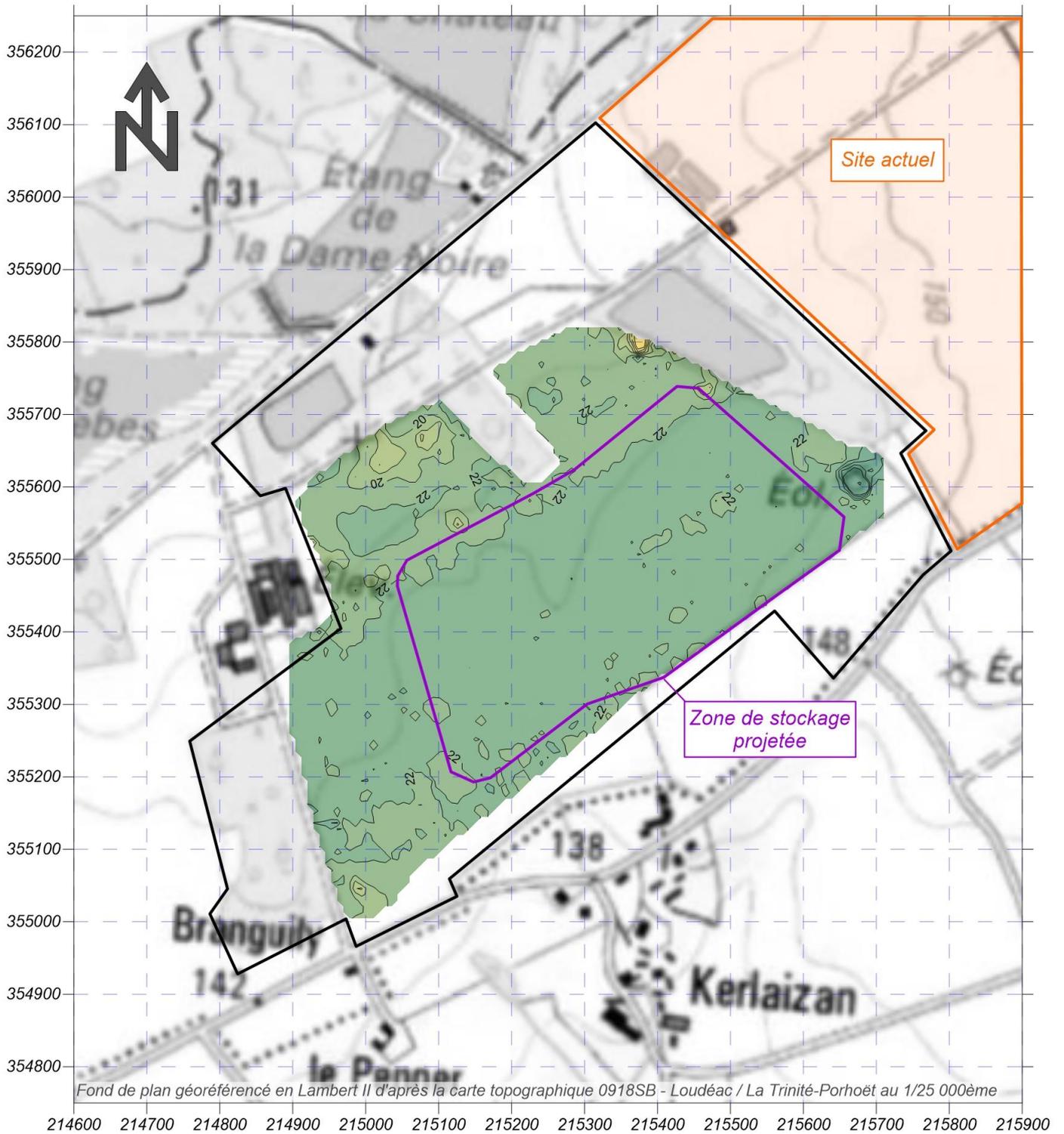
La campagne de mesures fines a consisté en la réalisation de profils linéaires distants de 10 m environ avec des points de mesures tous les 2 mètres. La figure 19 en page suivante illustre la carte de répartition de la conductivité mesurée entre 0 et 6 mètres de profondeur.

Les terrains investigués sont **très homogènes** avec une moyenne à 22,4 mS/m et une médiane à 22,5 mS/m. Quelques valeurs sont anormalement élevées (>30 mS/m et jusqu'à 100 mS/m au niveau de l'éolienne à l'Est : il s'agit d'un artefact lié à la masse métallique). Les valeurs sont relativement « faibles » ce qui témoigne d'une faible teneur en argile des altérites.

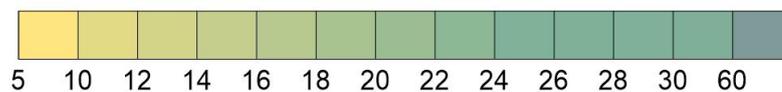
Dans le détail, on peut remarquer une concordance entre la cote topographique et la conductivité :

- En domaine de plateau aux cotes topographiques les plus élevées (et jusqu'à la rupture de pente à l'isohypse 140 m NGF), les mesures de conductivité sont les plus élevées (conductivité d'environ 22 à 24 mS/m) ;
- En flanc de plateau, en dessous de la cote 140 m NGF, les formations se révèlent légèrement plus résistantes (< 22 mS/m).

Cette légère fluctuation spatiale des valeurs de conductivité observées peut s'expliquer par le taux de saturation des horizons investigués (teneur en eau légèrement plus élevée en tête de site où il n'y a pas de pente topographique).



Echelle de répartition de la conductivité des terrains de 0 à 6 mètres (mS/m)



3.2.1.3 Couverture électromagnétique de faible à moyenne profondeur (EM34)

3.2.1.3.1 Méthodologie et investigation réalisée

La technique utilisée (EM34) permet de reconnaître la conductivité des terrains sur une profondeur de 15 m en champs horizontal et de 30 m en champs vertical. Le site a été couvert par 527 points à raison de points tous les 20 m et des profils tous les 40 m environ.

3.2.1.3.2 Résultats observés et interprétation

Champs horizontal (0-15 m) : La carte est présentée en figure 20 en page suivante.

Les valeurs s'échelonnent de 4 mS/m à 12 mS/m pour une moyenne à 6,5 mS/m et une médiane à 6,2 mS/m : les terrains investigués sont **très homogènes**.

Comme pour l'EM31, on observe, grossièrement, une zonation de la conductivité en fonction de la cote topographique :

- Les conductivités apparentes les plus faibles (< 7 mS/m, zones en jaune clair) sont localisées en majorité sur les flancs du plateau et au droit des points bas topographiques (TN < 140 m NGF) ;
- Les zones les plus conductrices (> 7 mS/m, en vert foncé) sont aux cotes topographiques supérieures à 140 m NGF.

Champs horizontal (0-30 m) : La carte est présentée en figure 21 en page 45.

Les valeurs s'échelonnent de 1 mS/m à 12 mS/m pour une moyenne à 6,5 mS/m et une médiane à 6,4 mS/m : ces valeurs ont une très faible étendue et sont relativement basses dans l'ensemble. Elles sont révélatrices de terrains plus résistants en profondeur.

La carte n'amène pas de remarques particulières ; Les valeurs sont très similaires à la carte d'étendue 0 à 15 mètres ce qui témoigne d'une épaisseur importante des horizons d'altération au-dessus du socle (> 30 mètres d'altérites).

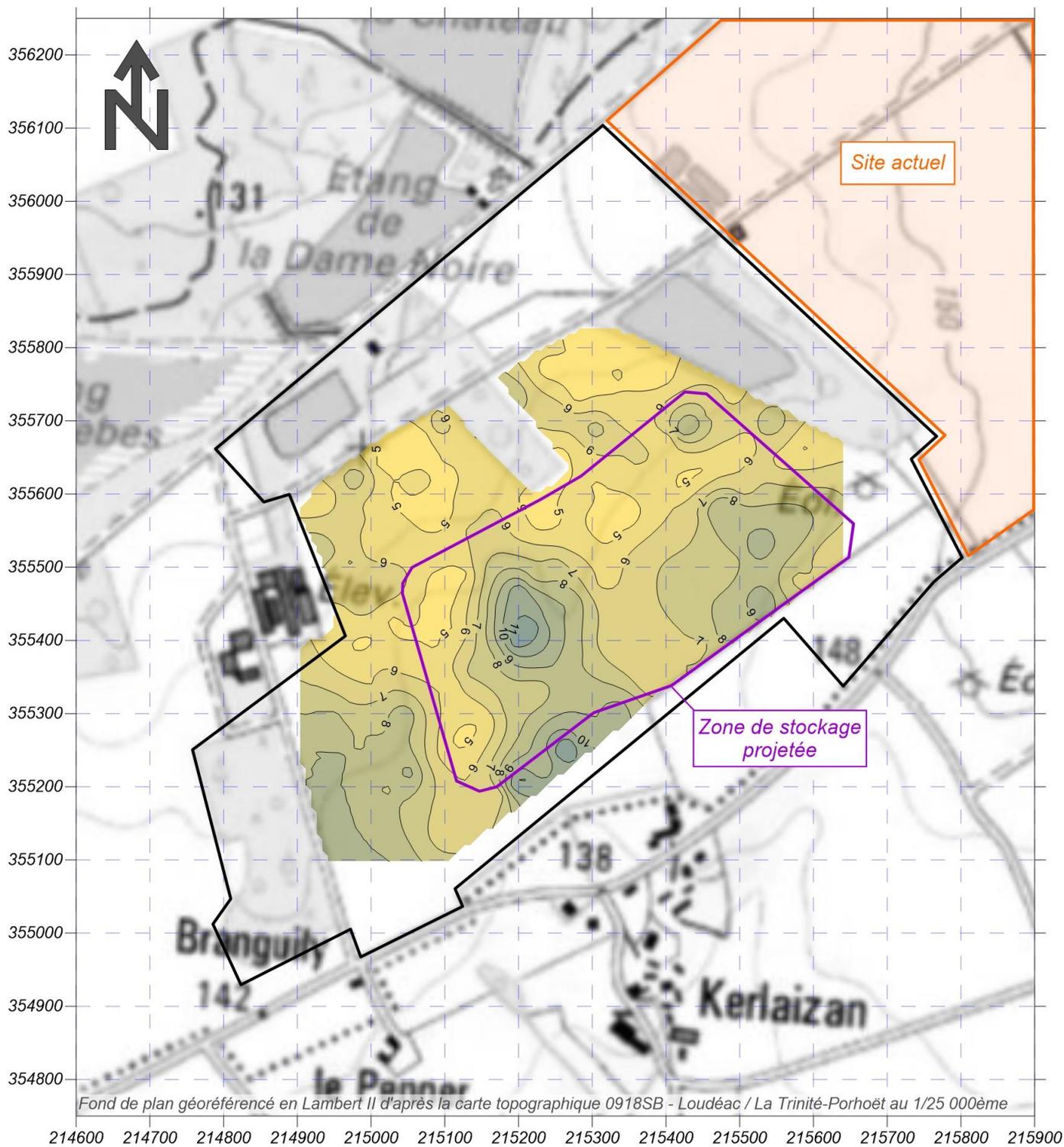
La carte ne met pas en évidence de discontinuité électromagnétique.

3.2.1.4 Synthèse des investigations électromagnétiques

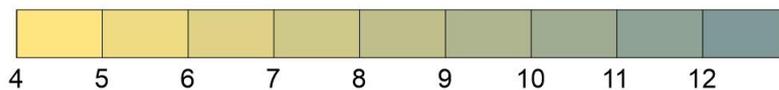
Les 3 cartes réalisées ont mis en évidence l'extrême homogénéité des terrains investigués. En particulier, aucune discontinuité n'a été mise en évidence sur les 30 m testés (notamment, la zone hétérogène mise en évidence dans les panneaux électriques à forte profondeur n'a pas d'incidence visible sur les cartes EM).

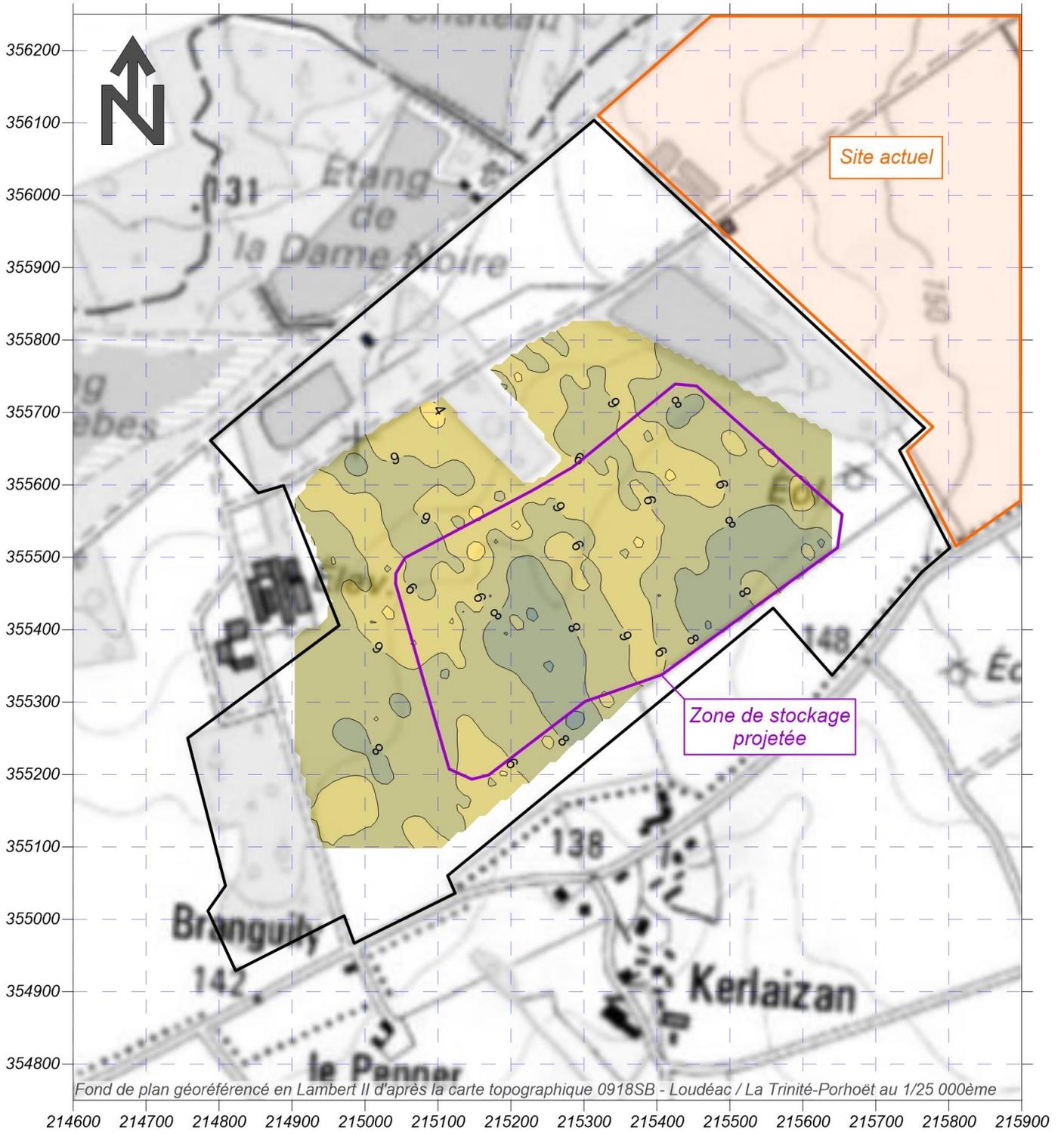
Quand on compare, maintenant, les 3 cartes de conductivités apparentes sur les 3 profondeurs d'investigations (6 ; 15 et 30 m), on observe une baisse de la conductivité vers la profondeur surtout entre la tranche 0-6 m et 0-15 m (pas d'évolution ensuite si ce n'est les valeurs les plus faibles mesurées sur la tranche 0-30 m). Cette évolution est à rapprocher du degré d'altération des altérites : plus elles sont à un stade d'altération important, plus elles sont conductrices (argileuses).

Les valeurs révèlent cependant une teneur en argile vraisemblablement faible vu les gammes de conductivité obtenues.

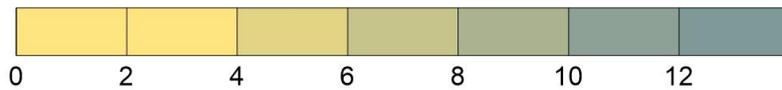


Echelle de répartition de la conductivité des terrains de 0 à 15 mètres (mS/m)





Echelle de répartition de la conductivité des terrains de 0 à 30 mètres (mS/m)



3.2.2 Nouveaux sondages réalisés en 2022

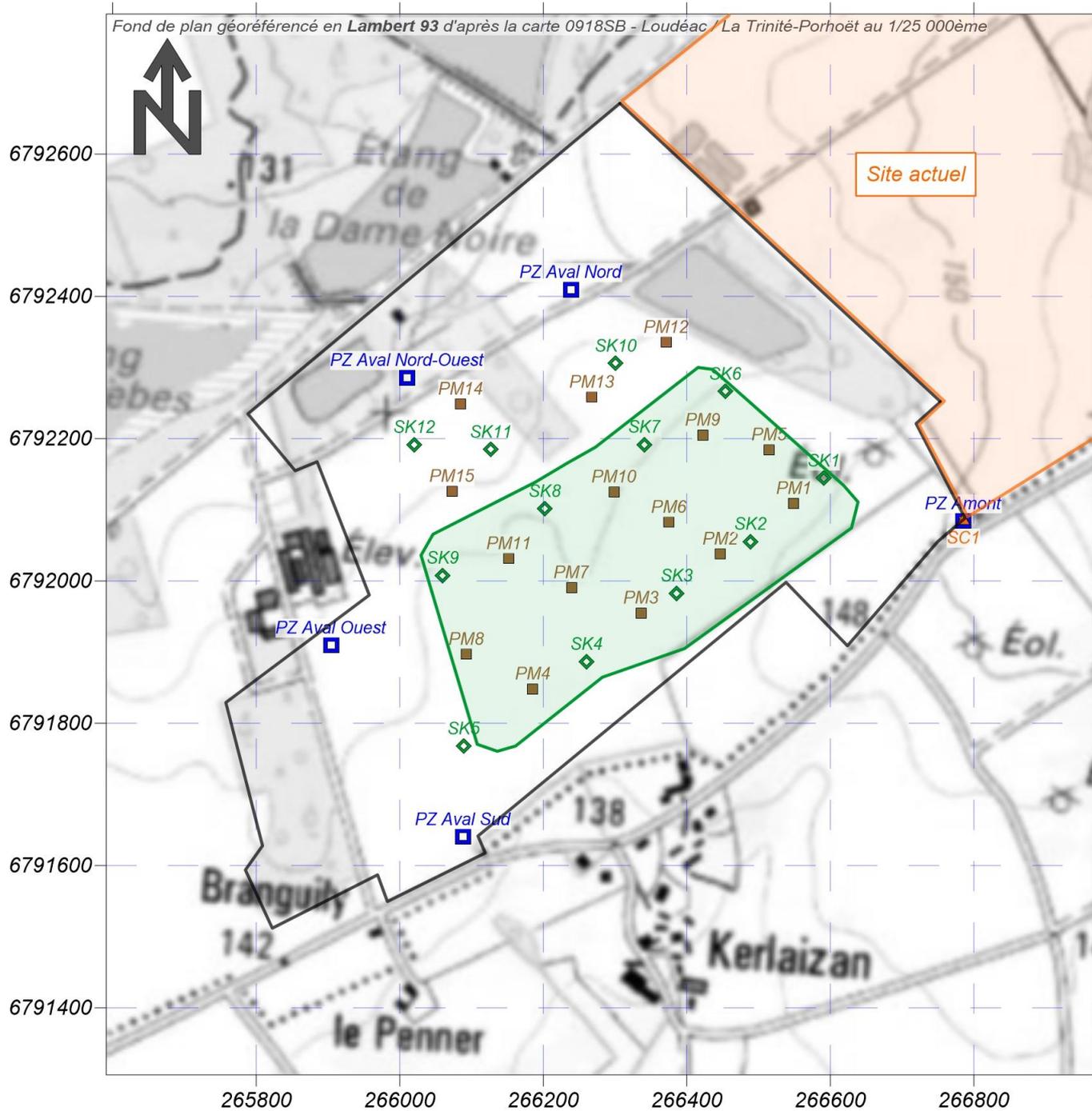
33 nouveaux sondages ont été réalisés au droit de la zone d'études par l'entreprise GÉOTEC entre janvier et mars 2022 (voir détail de leur intervention en [annexe 6](#)) sur la base du cahier des charges défini par ACG Environnement et validé par Suez. Les sondages profonds (hors fouilles à la pelle) ont fait l'objet d'une déclaration au code minier et des DT/DICT préalables.

Les ouvrages sont localisés dans la [figure 22](#) en page suivante et sont énumérés dans le [tableau 4](#) ci-dessous). Les sondages réalisés sont les suivants :

- Un sondage carotté SC a été implanté au point haut du site au Sud-Est afin de recouper toute la succession lithologique locale (30 mètres linéaires carottés) ;
- Cinq piézomètres qui viennent compléter le réseau existant sur le site actuel et quadriller la zone d'extension projetée dans le sens d'écoulement attendu des eaux souterraines ;
- 12 sondages destructifs pour essais de perméabilité in situ (SK1 à SK12) selon un ratio de 0,5 sondages à l'hectare de site initial théorique ;
- 15 fouilles à la pelle hydraulique pour reconnaissance des formations d'altération de sub-surface ont été réalisées en complément des sondages destructifs afin d'avoir un maillage d'investigation fin pour valider l'homogénéité des formations.

Nom ACG	Nature	Coordonnées (Lambert 93)		Z (NGF)	Fond		Objectif
		X	Y		Prof. (en m)	Cote (NGF)	
SC1 / PZ Amont	Sondage carotté / PZ	266785	6792084	150,14	30,00	120,14	Reconnaître la succession lithologique jusqu'à 10 mètres sous le FDF (-8m/TN)
PZ Aval Ouest	Piézomètre pour niveaux superficiels	265904	6791910	135,39	17,00	118,39	Piézomètres interceptant le premier niveau de saturation superficiel
PZ Aval Nord-Ouest		266010	6792286	129,80	13,00	116,80	
PZ Aval Nord		266238	6792409	132,18	10,00	122,18	
PZ Aval Sud		266088	6791640	140,67	15,00	125,67	
SK1	Sondage pour essai de perméabilité	266591	6792150	145,14	7,30	137,84	Sondages pour test de la perméabilité des terrains selon la norme NFX 30-423
SK2		266488	6792061	144,54	8,00	136,54	
SK3		266386	6791986	142,63	9,00	133,63	
SK4		266261	6791889	141,58	3,20	138,38	
SK5		266088	6791773	140,56	8,00	132,56	
SK6		266469	6792243	140,34	10,00	130,34	
SK7		266361	6792163	139,93	10,00	129,93	
SK8		266218	6792077	139,36	10,00	129,36	
SK9		266079	6791985	138,27	11,00	127,27	
SK10		266300	6792313	136,47	3,40	133,07	
SK11		266128	6792192	135,08	7,21	127,87	
SK12		266023	6792195	132,33	8,00	124,33	
PM1	Fouille à la pelle mécanique	266549,21	6792108,99	144,00	4,50	139,50	Reconnaissance géologique de sub-surface et prélèvement d'échantillons
PM2		266446,71	6792037,87	143,00	4,90	138,10	
PM3		266336,11	6791954,83	142,00	4,70	137,30	
PM4		266185,35	6791848,13	142,00	4,70	137,30	
PM5		266514,85	6792184,22	142,00	4,30	137,70	
PM6		266375,12	6792082,43	141,00	4,00	137,00	
PM7		266239,47	6791990,59	140,00	4,20	135,80	
PM8		266092,81	6791896,84	141,00	4,10	136,90	
PM9		266422,08	6792204,96	141,00	4,70	136,30	
PM10		266298,52	6792125,02	140,00	3,90	136,10	
PM11		266151,86	6792031,27	140,00	4,70	135,30	
PM12		266371,17	6792335,28	136,00	4,50	131,50	
PM13		266267,62	6792258,18	136,00	4,10	131,90	
PM14		266084,67	6792248,67	131,00	3,40	127,60	
PM15		266072,68	6792125,85	135,00	4,40	130,60	

Tableau 4. Nouveaux sondages.



- ▲ Sondage carotté équipé en piézomètre (1)
- Piézomètres complémentaires au réseau de contrôle existant (5)
- ◆ Sondages pour essais de perméabilité NFX30-423 (12)
- Fouilles à la pelle mécanique (15)

3.2.3 Données lithologiques

L'analyse du contexte régional (chapitre 2.3, page 18 et suivantes) a permis de définir les grands ensembles lithologiques. En tout point, le site étudié est recouvert par des formations d'altération dont l'épaisseur varie en lien avec la topographie de la zone. Ainsi deux grands ensembles lithologiques peuvent être définis de haut en bas :

- Les altérites du socle s'organisent selon 2 faciès :
 - Les allotérites, terme ultime de l'altération au sommet (formation la plus argileuse) ;
 - Les isaltérites, plus en profondeur, dont le degré d'altération baisse avec la profondeur.
- En profondeur, et sous les altérites, le « socle » fissuré qui correspond au début d'altération du socle fin (non recoupé en forages, trop profond).

Le schéma 1 présenté ci-après illustre la succession des différents faciès et replace ceux rencontrés au droit de la zone d'études (encadrés en rouge)

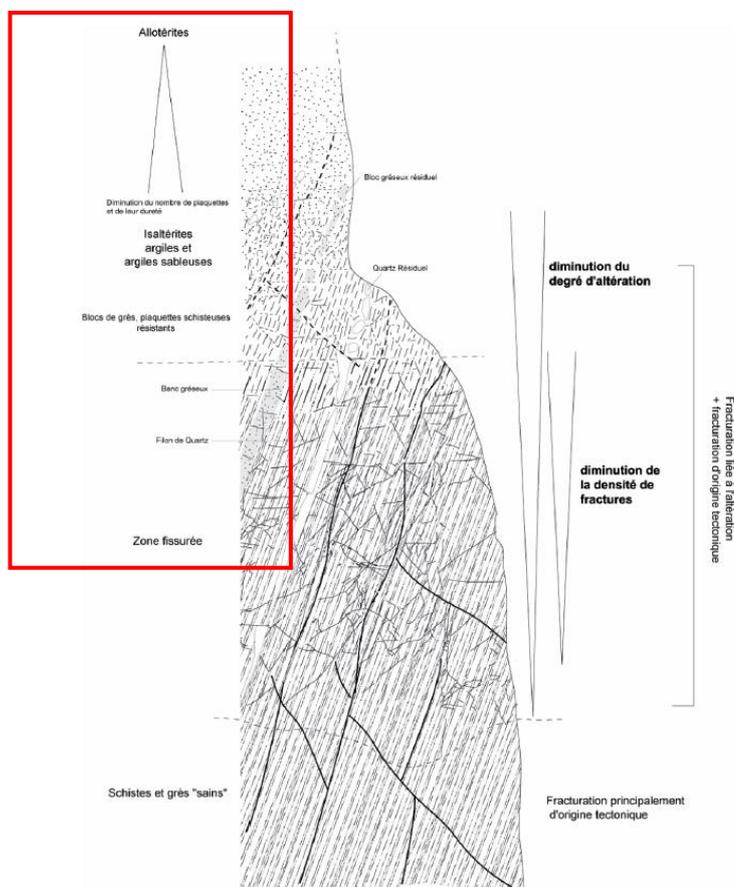


Schéma 1. Profil d'altération type des formations schisto-gréseuses (Notice 0314N).

Les diverses investigations menées en 2022 ont permis de préciser les différents horizons sur l'ensemble du site.

La description des faciès a été réalisée par deux géologues : Boris BRETAUDEAU et Nicolas RODOLPHE d'ACG Environnement qui ont une bonne connaissance des faciès lithologiques de la région armoricaine. Seul le sondage carotté et les fouilles à la pelle hydraulique ont permis de décrire et de distinguer en visuel les différents faciès d'altérites. Les levés réalisés par ACG sont détaillés en annexe 7. Il n'a pas été possible de distinguer les altérites en place des altérites remaniées telles que décrites dans la carte géologique (même nature).

Les sondages destructifs (SK et PZ) ont permis d'identifier la transition entre les altérites et le socle fissuré (horizon rocheux identifiable en foration).

Les sondages de 2022 ont été diagraphiés par diagraphies gamma-ray afin de réaliser des corrélations entre les sondages destructifs les plus profonds et le sondage carotté de référence SC (PZ Amont).

Les principaux faciès observés en fouilles et dans le sondage carotté sont illustrées par la [planche photo 1](#) en [page 50](#). Les données pertinentes sont reprises dans le [tableau 5](#) en [page 51](#). Les paragraphes ci-après reprennent la description des horizons rencontrés en fonction de la profondeur (du haut vers le bas).

3.2.3.1 Les Limons quaternaires

L'épaisseur des limons est décimétrique (souvent inférieur à 0,5 m). On les retrouve sur l'ensemble des sondages. Dans le sondage carotté (SC), les limons sont bruns et présentent une légère texture argileuse. Ils sont de nature limono-argileuse et la transition avec les altérites sous-jacentes est nette (changement de couleur, passage du brun à l'ocre).

3.2.3.2 Les allotérites

Les allotérites sont identifiables en forage par leur texture soyeuse au touché. Elles sont de nature silto-argileuse ocre à rouille.

Elles se développent directement sous les limons sur une épaisseur faible (0,5 m environ sur les SK). Au droit des fouilles à la pelle, l'épaisseur varie de 0,7 m sur PM1, PM5 et PM10 à 1,7 m sur PM9.

Dans le sondage carotté au point haut du site (zone où l'altération est la plus importante), il a été observé des passées d'argiles blanchâtres à rosées de 7 à 10 m de profondeur. C'est le seul ouvrage où la kaolinite (faciès typique des allotérites) a été observée.

3.2.3.3 Les isaltérites

On les retrouve sur l'ensemble des sondages réalisés. Ces formations d'altération se différencient des allotérites sus-jacentes par une nature principalement silteuse (non argileuse).

Les isaltérites du socle schisteux sont de teinte grisâtre (parfois verdâtre) et s'étendent sur une épaisseur variable en fonction de la cote topographique (épaisseur moyenne d'environ 3 mètres, 6,6 m sur SC en tête de site, moins de 2 m sur PM14).

Elles surplombent le faciès rocheux fissuré du socle. La transition entre altérites et socle altéré est franchement marquée et a bien été reconnue en forages.

3.2.3.4 Le socle schisteux fissuré du Briovérien

Le socle Briovérien altéré a été recoupé sur une quinzaine de mètres au droit du sondage carotté (de 16,4 m à 30 m) sans pour autant atteindre le faciès dit de « socle sain ». Le faciès moyen est une siltite indurée grisâtre (teinte donnée aux isaltérites sus-jacentes) qui tranche nettement avec les isaltérites. En gamma-ray, la signature est très nette (oscillation rythmique entre 70 et 90 cps). On la différencie des altérites sus-jacentes par la conservation de la structure originelle de la roche (foliation visible) qui ne l'est plus dans les altérites meubles.

Il a été touché au droit de certaines fouilles à la pelle notamment sur PM14 à 3,4 m de profondeur seulement (la plus au nord aux cotes topographiques les plus basses). La schistosité et les litages de la roche originelle sont bien observables et les plans de foliation qui ont pu être observés en flancs de fouilles à la pelle et dans le sondage carotté, sont quasiment sub-verticaux).

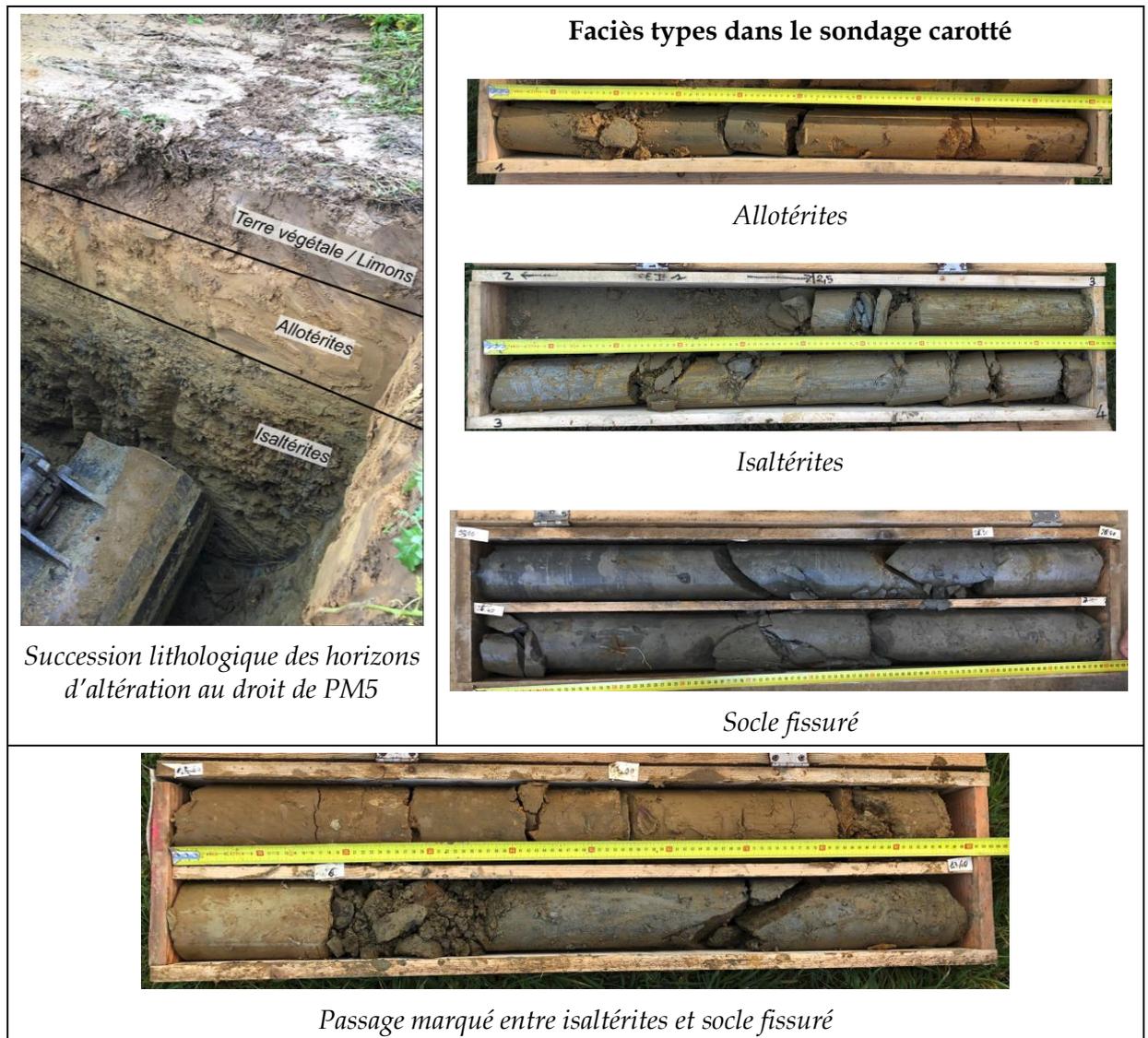
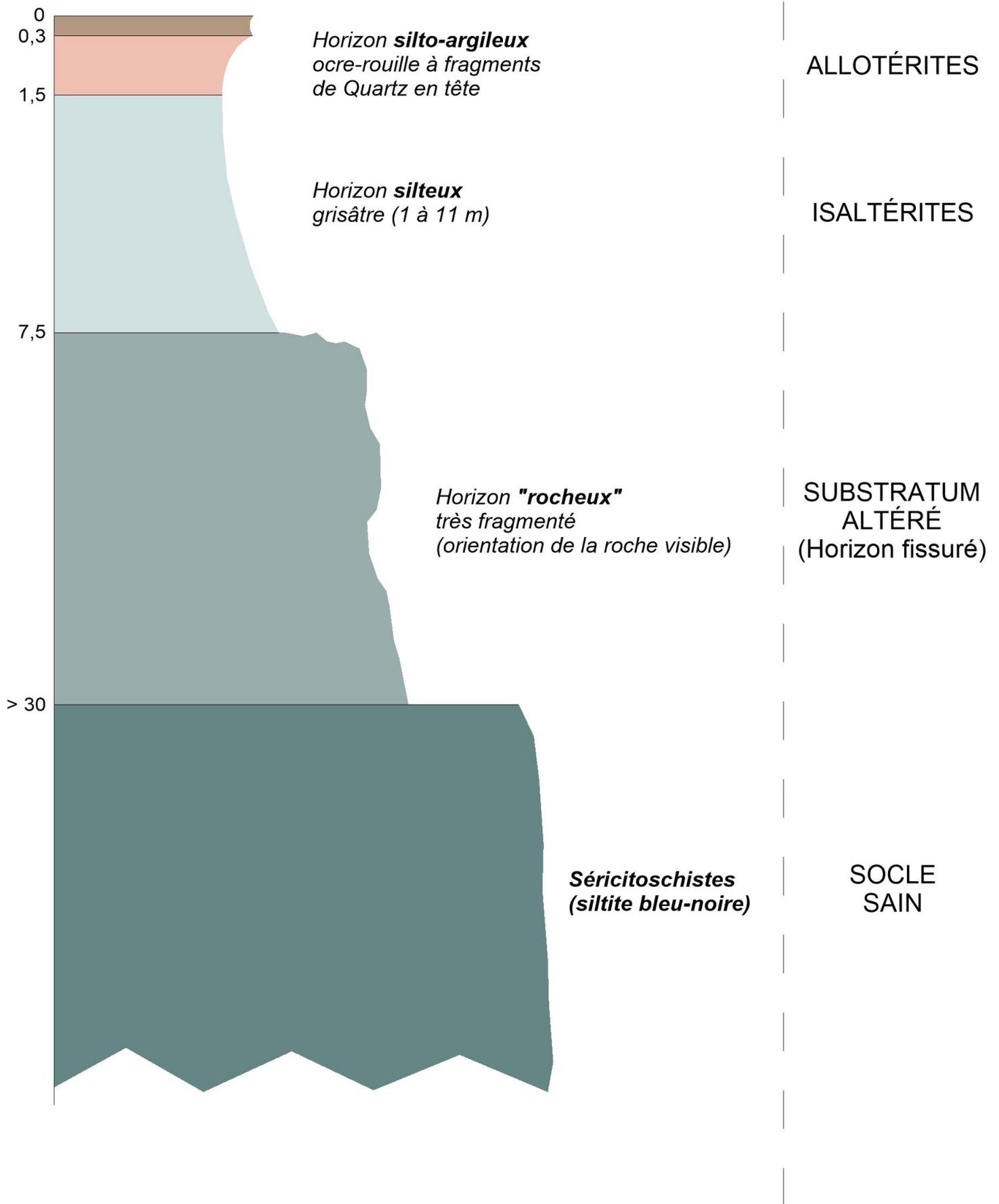


Planche photo 1. Faciès lithologiques rencontrés en sondages.

Nom ACG	Coordonnées (Lambert 93)		Z (NGF)	Altération silto-argileuse (altérite)			Schiste altéré "rocheux"		
	X	Y		Prof. du toit (en m)	Cote du toit (en m NGF)	Epaisseur (m)	Prof. du toit (en m)	Cote du toit (en m NGF)	Epaisseur (m)
SC1 / PZ Amont	266785	6792084	150,14	0	150,14	16,60	16,6	133,54	nd.
PZ Aval Ouest	265904	6791910	135,39	0	135,39	5,00	5	130,39	nd.
PZ Aval Nord-Ouest	266010	6792286	129,80	0	129,80	2,30	2,3	127,50	nd.
PZ Aval Nord	266238	6792409	132,18	0	132,18	1,50	1,5	130,68	nd.
PZ Aval Sud	266088	6791640	140,67	0	140,67	8,20	8,2	132,47	nd.
SK1	266591	6792150	145,14	0	145,14	nd.			
SK2	266488	6792061	144,54	0	144,54	nd.			
SK3	266386	6791986	142,63	0	142,63	nd.			
SK4	266261	6791889	141,58	0	141,58	nd.			
SK5	266088	6791773	140,56	0	140,56	nd.			
SK6	266469	6792243	140,34	0	140,34	nd.			
SK7	266361	6792163	139,93	0	139,93	nd.			
SK8	266218	6792077	139,36	0	139,36	8,60	8,6	130,76	nd.
SK9	266079	6791985	138,27	0	138,27	6,40	6,4	131,87	nd.
SK10	266300	6792313	136,47	0	136,47	4,20	4,2	132,27	nd.
SK11	266128	6792192	135,08	0	135,08	5,30	5,3	129,78	nd.
SK12	266023	6792195	132,33	0	132,33	5,20	5,2	127,13	nd.
PM1	266549	6792109	144	0	144	3,7	3,7	140,3	nd.
PM2	266447	6792038	143	0	143	nd.			
PM3	266336	6791955	142	0	142	4,5	4,5	137,5	nd.
PM4	266185	6791848	142	0	142	nd.			
PM5	266515	6792184	142	0	142	3,5	3,5	138,5	nd.
PM6	266375	6792082	141	0	141	4,0	4,0	137,0	nd.
PM7	266239	6791991	140	0	140	nd.			
PM8	266093	6791897	141	0	141	4,0	4,0	137,0	nd.
PM9	266422	6792205	141	0	141	nd.			
PM10	266299	6792125	140	0	140	nd.			
PM11	266152	6792031	140	0	140	nd.			
PM12	266371	6792335	136	0	136	nd.			
PM13	266268	6792258	136	0	136	nd.			
PM14	266085	6792249	131	0	131	3,4	3,4	127,6	nd.
PM15	266073	6792126	135	0	135	nd.			

Tableau 5. Données lithologiques des sondages.



3.2.4 Illustrations : cartes et coupes géologiques du site

La synthèse des investigations géologiques (description des carottes, corrélations diagraphiques...etc) a permis de réaliser des figures illustrant le contexte du site en plan et en coupe :

- La carte géologique du toit des horizons rocheux (socle fissuré) qui sert de niveau de base à la définition de la barrière passive du projet : Ces horizons, indurés limitent le décaissement « aisé » possible (figure 24, page 54) ;
- La carte des épaisseurs des horizons de couverture au-dessus du socle fissuré (figure 25, page 55) ;
- 2 coupes géologiques (longitudinale et transversale au projet) en figures 26 et 27, pages 56 et 57).

3.2.4.1 Carte du toit du « Socle fissuré »

La carte du toit du « socle » fissuré (figure 24) varie de 133,54 m NGF au sud-est au droit du sondage carotté à près de 127 m NGF au nord (secteur SK12 et PZ aval nord-ouest). Il existe un léger plongement vers le Nord-Ouest d'environ 1,2 % (quasiment plat).

Cette morphologie du toit du socle altéré est en corrélation avec la topographie locale et valide l'analyse générale (l'altération des formations du socle est à relier au dénivelé topographique local et à l'érosion).

3.2.4.2 Carte d'épaisseur des horizons de couverture

Cette esquisse grossière réalisée à partir d'une simple interpolation linéaire des points de sondages. Elle est à prendre comme ordre de grandeur car il n'y a pas assez de points de mesures pour représenter l'allure exacte des épaisseurs de couverture au-dessus du socle rocheux (elle ne prend pas en compte les variations de l'altitude du terrain naturel en dehors des points de sondage).

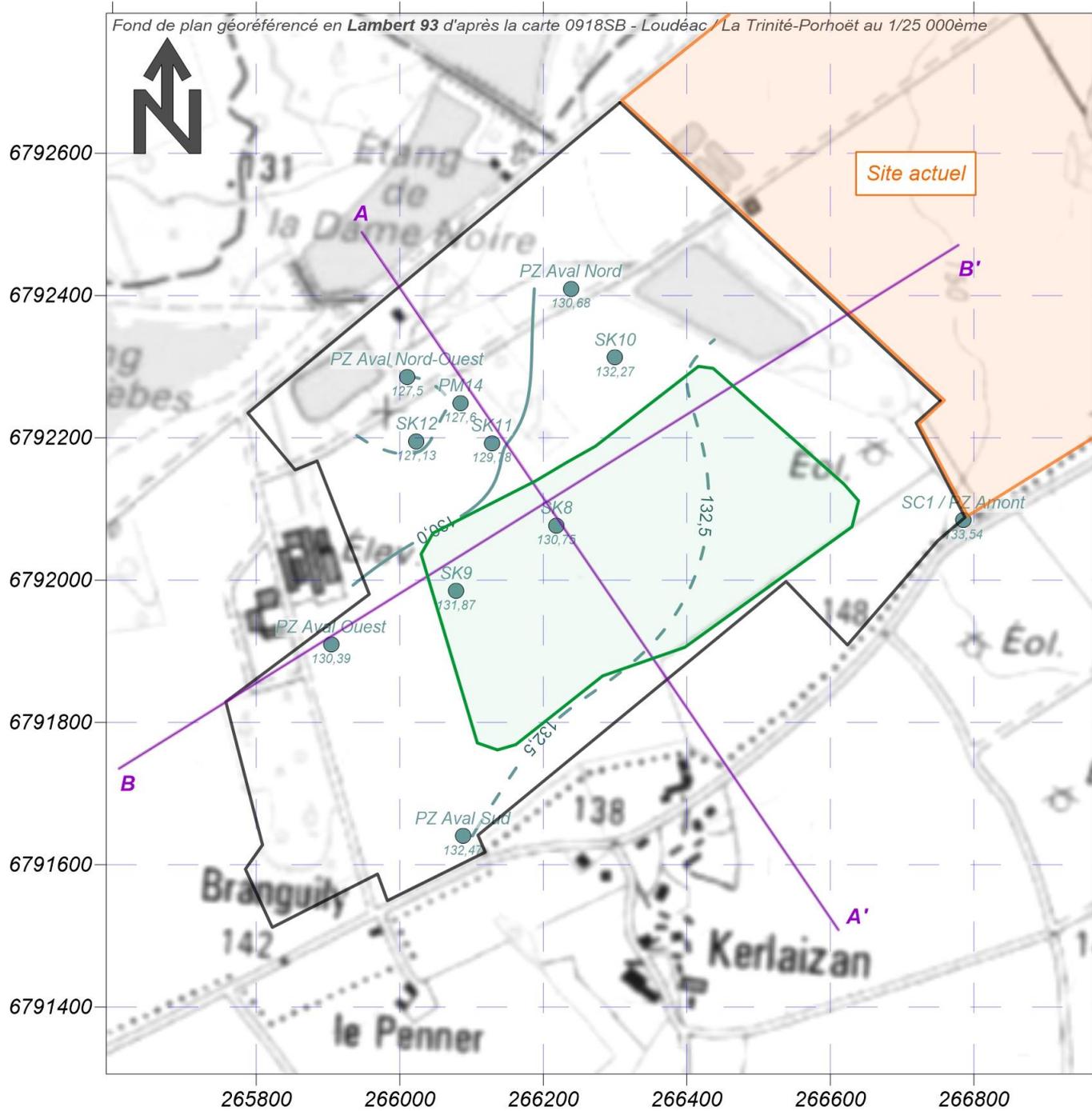
Les altérites ont une épaisseur moyenne de 7,5 m environ (au centre du site) et varie de plus de 15 m au sud du site (SC au point haut) où elles ont été épargnées de l'érosion à moins de 2 m en aval (1,5 m sur PZ Aval Nord).

3.2.4.3 Coupes géologiques du site

Deux coupes géologiques (1 longitudinale et 1 transversale au projet) ont été tracées afin d'illustrer, dans un plan, les différentes interfaces lithologiques. L'échelle des hauteurs a été exagérée pour plus de lisibilité.

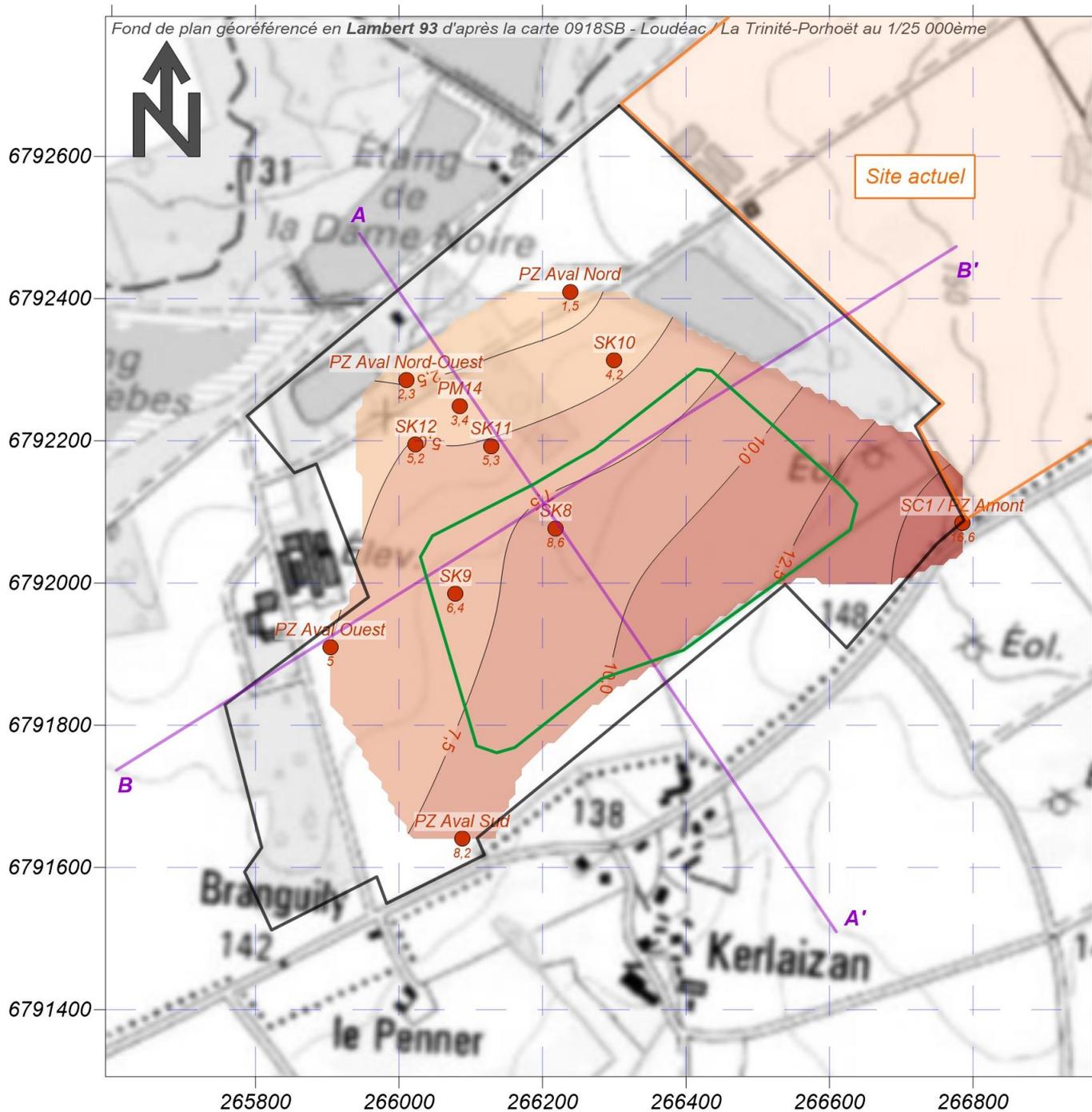
Les coupes présentent 2 ensembles principaux (de bas en haut) :

- A la base, le socle rocheux indifférencié entre son faciès fissuré et sain ;
- Au sommet, les altérites du socle indifférenciées qui constituent les horizons de couverture aisément décaissables.

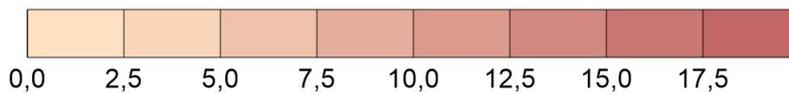


● Sondages géologiques de référence

- SC : Sondage carotté
- PZ : Piézomètre
- SK : Sondage destructif
- PM : Fouille à la pelle mécanique

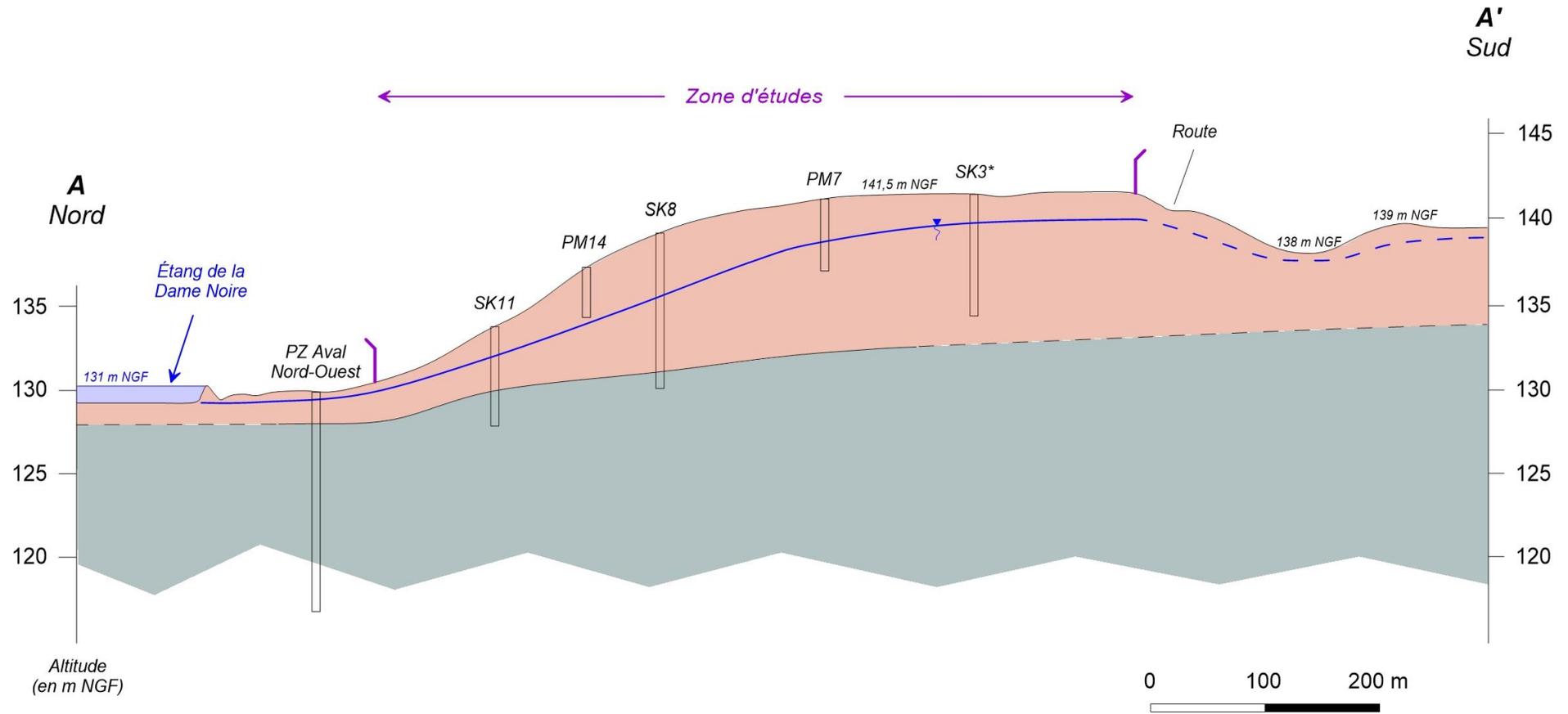


Epaisseur des horizons de couverture (en m)



● *Sondages géologiques de référence*

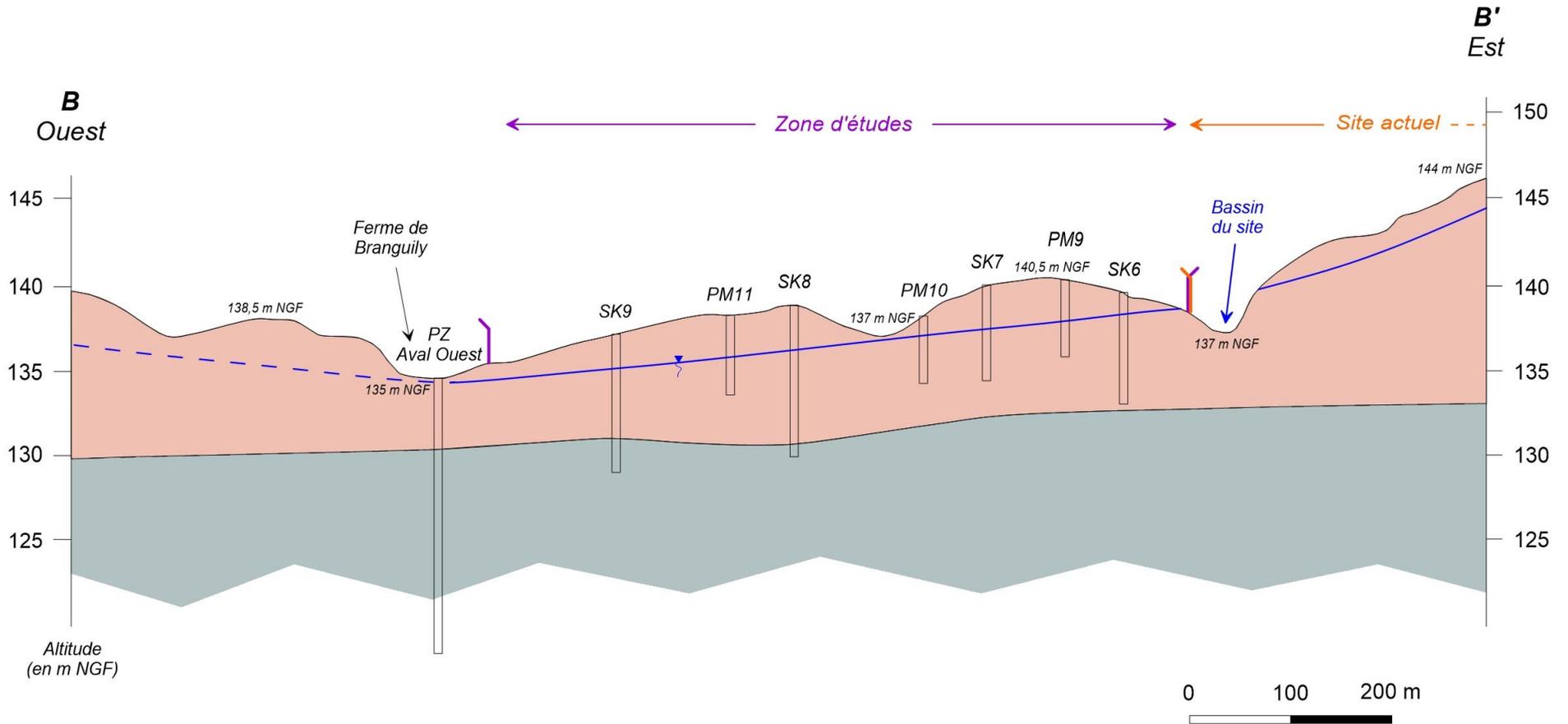
- SC : *Sondage carotté*
- PZ : *Piézomètre*
- SK : *Sondage destructif*
- PM : *Fouille à la pelle mécanique*



Horizons de couverture indifférenciés :

- Terre végétale ;
- Allotérite (silt-argileux ocre-rouille) ;
- Isaltérite (silts grisâtres).

Substratum "rocheux", socle schisteux altéré (Briovérien)



Horizons de couverture indifférenciés :

- Terre végétale ;
- Allotérite (silt-argileux ocre-rouille) ;
- Isaltérite (silts grisâtres).

Substratum "rocheux", socle schisteux altéré (Briovérien)

3.2.5 Perméabilité de la barrière passive

3.2.5.1 Objectif

L'objectif des essais de perméabilité en sondage dans les couches participant à la barrière dite de « sécurité passive », vise à satisfaire la prescription réglementaire définie par l'article 8 de l'arrêté ministériel (5 m à $k < 1. 10^{-6}$ m/s et 1 m à $k < 1. 10^{-9}$ m/s).

Par retour d'expérience, les normes d'essais ont évolué et les « anciens » essais réalisés jadis selon la norme NFP 94-132 (essais « Lefranc ») ne sont plus recevables en termes de quantification du degré d'imperméabilité si la perméabilité est inférieure à 10^{-6} m/s.

En effet, compte-tenu des faibles perméabilités qui caractérisent les matériaux peu à très peu perméables comme les argiles ou les sables fins argileux ($k < 1. 10^{-6}$ m/s), seuls les essais in situ adaptés aux gammes de mesures inférieures à $1. 10^{-6}$ m/s qui suivent les normes de l'AFNOR NF X 30-423 ou NF X 30-424 de mise en œuvre doivent être pris en compte pour la quantification du degré d'imperméabilité.

Les essais de type Lefranc ou Nasberg (NFP 94-132) qui étaient utilisés jadis, sont recevables aujourd'hui pour des perméabilités comprises entre 10^{-4} et 10^{-6} m/s. Ils ne s'appliquent plus aux formations peu perméables dont les coefficients sont inférieurs à 10^{-6} m/s.

3.2.5.2 Essais historiques issus du site actuel

2 campagnes de mesures ont été réalisées lors des précédents dossiers pour la zone de l'ISDND actuelle :

- En 1993, dans le cadre de l'étude de qualification du site de Gueltas, 21 essais de perméabilité ont été menés :
 - 9 d'entre eux l'ont été au double anneau sur les matériaux présent en surface des futurs casiers ;
 - 8 essais utilisant la méthode Lefranc ont eu lieu sur les sondages carottés SC1 et SC4 historiques à différentes profondeurs ;
 - 4 essais ont été réalisés par interprétation de tests de pompage au sein de 4 piézomètres (PZ4, PZ6, PZ8 et PZ10).
- En 2006, lors de la dernière extension du site, BURGÉAP a testé les altérites au droit de 19 sondages selon les essais suivants :
 - 2 essais au laboratoire après compactage des matériaux à l'optimum proctor ;
 - 55 essais Lefranc répartis sur 11 points de forage à différentes cotes ;
 - 6 essais Lefranc sur des piézomètres pendant des tests de pompage.

3.2.5.3 Nouveaux essais de perméabilité au droit de la zone d'extension

3.2.5.3.1 Investigations menées

Entre janvier et mars 2022, GÉOTEC a réalisé 16 essais de perméabilité in situ répartis dans 12 sondages au droit de la zone d'extension initiale étudiée pour les cotes de la barrière passive selon la norme NFX 30-423 (voir localisation en [figure 22, page 47](#)) :

- SK1*, SK4, SK10* et SK12* afin de tester les flancs ;
- SK1*, SK2, SK3, SK5*, SK6, SK7, SK8, SK9, SK10*, SK11 et SK12* en fond.

**Sondages dont un doublet a été réalisé afin de tester les flancs et le fond ou différentes cotes de fond.*

Le ratio de sondages pour essais de perméabilité est supérieur à 0,5 sondage par hectare pris en application du guide des bonnes pratiques (FDX 30-438). L'homogénéité démontrée des formations sur la zone étudiée (géophysique et sondages géologiques) conjuguée à la bonne connaissance locale historique (nombreux sondages avec essais de perméabilité) permettent de limiter le nombre de sondages pour essais de perméabilité.

Dans le cadre du projet, l'objectif est de démontrer la recevabilité des formations silto-argileuses à accueillir la base de la barrière de sécurité passive (5 m à $K < 10^{-6}$ m/s) étant entendu que le sommet de la barrière (1 m à $K < 10^{-9}$ m/s) sera reconstitué (par apport d'argile sur 1 mètre comme déjà mise en œuvre sur le site actuel ou reconstituée avec les matériaux du site traités à la bentonite).

3.2.5.3.2 Résultat des essais de perméabilité

L'ensemble des résultats est consigné :

- Dans les [tableaux 6 et 7](#) pour les essais historiques (normes non recevables aujourd'hui) ;
- Dans le [tableau 8](#) pour les essais réalisés en 2022 selon les normes actuelles ;
- Dans le [tableau 9](#) en synthèse en fonction de la position des essais.

Pour la seule zone d'extension et pour les essais réalisés en 2022 (norme actuelle), la perméabilité des horizons de couverture varie entre $1,1 \cdot 10^{-7}$ et $4,0 \cdot 10^{-6}$ m/s. Les perméabilités mesurées sont peu étendues (écart type de 36,4) ce qui témoigne d'une bonne homogénéité des horizons de couverture au sens du guide des bonnes pratiques. Cela confirme les nombreuses investigations précédentes (géophysique et sondages géologiques). Les altérites silto-argileuses présentent une gamme de perméabilité relativement homogène en tout point et sont bien dans des gammes dites de semi-perméabilité (elles ne sont pas aquifères au sens hydrogéologique du terme).

Sur l'ensemble des essais, il ressort que sur les 16 essais réalisés :

- 11 d'entre eux se révèlent conformes aux attentes de l'arrêté ministériel pour les ISDND, à savoir que la perméabilité est inférieure à $1 \cdot 10^{-6}$ m/s ;
- 5 d'entre eux sont non conformes ($> 10^{-6}$ m/s). Ces non-conformités peuvent s'expliquer par la nature des horizons testés ou par la géométrie des lanternes de mesures. En effet, certaines lanternes en flancs se situent quasiment en sub-surface avec risque de fuite liée à la décompression des terrains (cas du SK10).

Pour les essais spécifiquement en fond de projet, la perméabilité moyenne est de $9,5 \cdot 10^{-7}$ m/s pour une médiane à $4,2 \cdot 10^{-7}$ m/s. Néanmoins, 3 essais sont supérieurs au seuil réglementaire (10^{-6} m/s, en rose dans le tableau 8, en page 62). Ainsi, les altérites du socle n'ont pas présenté, en tout point, une perméabilité inférieure à $1 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Ainsi, il faudra **renforcer la barrière de sécurité passive** du site pour compenser l'absence partielle de la couche à $1 \cdot 10^{-6}$ m/s en tout point (absente en termes de perméabilité) et **démontrer sa recevabilité par calcul d'équivalence**.

Pour le calcul d'équivalence, c'est la valeur la plus pénalisante qu'il faut prendre en compte afin de se placer en conditions sécuritaires soit $4,0 \cdot 10^{-6}$ m/s.

Date	Sondage	Nature des terrains	Méthode	Profondeur (en m)	Perméabilité K (en m/s)		
1993	SP1	argile schisteuse	Double anneau	3	2,60E-07		
	SP2	schiste argileux gris		5	1,20E-08		
	SP3	argile grise claire		3	4,00E-07		
	SP7	schiste gris		4	1,40E-07		
	SP8	schiste ocre		4	9,00E-08		
	SP9	schiste argileux gris ocre		3	4,50E-07		
	SP13	schiste argileux gris		4	2,30E-07		
	SP14	schiste argileux gris ocre		4,5	5,50E-07		
	SP16	schiste gris		4	6,20E-07		
	SC1	altérites schisteuses	altérites argileuses	Lefranc (charge variable)	2 à 3	1,00E-09	
					7 à 8	2,50E-08	
					12 à 13	4,90E-08	
					19 à 20	1,20E-07	
	SC4	altérites à blocs de quartz	altérites schisteuses		2 à 3	2,40E-07	
					7 à 8	4,00E-07	
					14 à 15	5,00E-06	
					24 à 25	3,50E-06	
	PZ4	-	-		Pompage dans les piézomètres	-	4,90E-08
	PZ6					6,10E-06	
	PZ8			1,70E-04			
PZ10	5,30E-08						

Tableau 6. Essais de perméabilité antérieurs (1993).

Date	Sondage	Nature des terrains	Méthode	Z au TN (NGF)	Lanterne				Perméabilité K (en m/s)
					Haut		Bas		
					Prof. (en m)	Cote (NGF)	Prof. (en m)	Cote (NGF)	
2006 BURGEAP	PM1	Argile schisteuse brune	Oedomètre après compactage au Proctor	-	0,2	-	1,0	-	1,3E-10
	PM8	Argile schisteuse grise à verdâtre		-	0,3	-	1,2	-	1,5E-10
	11	Argile schisteuse beige à grise évoluant en schistes altérés friables et argileux	Essais Lefranc NFP 94-132	141,1	3,1	138	4,1	137	4,0E-07
					4,1	137	5,1	136	7,0E-07
					5,1	136	6,1	135	6,0E-07
					6,1	135	7,1	134	4,0E-07
					7,1	134	8,1	133	4,0E-07
	12	Argile schisteuse grise évoluant en schistes altérés argileux et friables		144,3	2,3	142	3,3	141	7,0E-07
					3,3	141	4,3	140	6,0E-07
					4,3	140	5,3	139	6,0E-07
					5,3	139	6,3	138	5,0E-07
					6,3	138	7,3	137	5,0E-07
	13	Argil plastique compacte à passées schisteuses		150,2	5,2	145	6,2	144	9,0E-08
					6,2	144	7,2	143	8,0E-08
					7,2	143	8,2	142	3,0E-08
					8,2	142	9,2	141	1,0E-08
					9,2	141	10,2	140	1,0E-08
	14	Argile plastique compacte à passées schisteuses		145	4,0	141	5,0	140	2,0E-08
					5,0	140	6,0	139	9,0E-09
					6,0	139	7,0	138	2,0E-08
					7,0	138	8,0	137	2,0E-08
					8,0	137	9,0	136	1,0E-08
	15	Argile limoneuse		147,5	1,0	146,5	2,0	145,5	1,0E-07
		Argile plastique compacte grise			2,0	145,5	3,0	144,5	1,0E-07
		Argile plastique compacte à passées schisteuses			3,0	144,5	4,0	143,5	5,0E-08
					4,0	143,5	5,0	142,5	6,0E-08
					5,0	142,5	6,0	141,5	5,0E-08
	16	Argile plastique compacte à passées schisteuses		144	3,0	141	4,0	140	4,0E-08
					4,0	140	5,0	139	2,0E-08
					5,0	139	6,0	138	2,0E-08
					6,0	138	7,0	137	1,0E-08
					7,0	137	8,0	136	1,0E-08
	17	Argile plastique compacte à passées schisteuses		149,2	3,7	145,5	4,7	144,5	3,0E-08
					4,7	144,5	5,7	143,5	2,0E-08
					5,7	143,5	6,7	142,5	1,0E-08
					6,7	142,5	7,7	141,5	5,0E-08
					7,7	141,5	8,7	140,5	2,0E-08
	18	Argile plastique compacte à passées schisteuses		154,4	6,4	148	7,4	147	7,0E-08
					7,4	147	8,4	146	3,0E-08
					8,4	146	9,4	145	4,0E-08
					9,4	145	10,4	144	1,0E-08
					10,4	144	11,4	143	9,0E-09
	19	Argile schisteuse grise		143,4	2,9	140,5	3,9	139,5	5,0E-08
					3,9	139,5	4,9	138,5	4,0E-08
					4,9	138,5	5,9	137,5	5,0E-08
5,9					137,5	6,9	136,5	8,0E-08	
6,9					136,5	7,9	135,5	3,0E-08	
110	Argile schisteuse grise	152,4	7,4	145	8,4	144	1,0E-07		
			8,4	144	9,4	143	7,0E-08		
			9,4	143	10,4	142	1,0E-07		
			10,4	142	11,4	141	2,0E-07		
			11,4	141	12,4	140	1,0E-07		
111	Argile schisteuse grise à cristaux et fragments de schiste	156,5	8,0	148,5	9,0	147,5	2,0E-07		
	Schistes argileux altérés et friables		9,0	147,5	10,0	146,5	2,0E-07		
			10,0	146,5	11,0	145,5	3,0E-07		
			11,0	145,5	12,0	144,5	6,0E-07		
			12,0	144,5	13,0	143,5	4,0E-07		
P21	-	Essais Lefranc par pompage	-	-	-	-	-	1,1E-07	
P22	-		-	-	-	-	-	4,8E-07	
P23	-		-	-	-	-	-	1,1E-07	
P24	-		-	-	-	-	-	2,3E-07	
P26	-		-	-	-	-	-	1,1E-07	
P27	-		-	-	-	-	-	1,0E-07	

Tableau 7. Essais de perméabilité antérieurs (Campagne Burgeap de 2006).

Nom	Coordonnées (en Lambert 93)		Z en NGF (approx. ACG)	FDF projet SUEZ	Position	Lanterne d'essai (GEOTEC)				Résultat
	X	Y				Haut		Bas		
						Prof. (en m)	Cote (NGF)	Prof. (en m)	Cote (NGF)	
SK1	266591	6792150	145,14	143	Flanc	0	144,14	2	143,14	1,0E-06
SK1	266591	6792150	145,14	143	Fond	2	143,14	7	138,14	1,0E-06
SK2	266488	6792061	144,54	142		3	141,54	8	136,54	3,5E-06
SK3	266386	6791986	142,62	140		4	138,62	9	133,62	5,9E-07
SK4	266261	6791889	141,58	139	Flanc	0	141,58	9	132,58	1,1E-07
SK5	266088	6791773	140,55	139	Fond	1	139,55	3	137,55	1,9E-07
SK5	266088	6791773	140,55	139		3	137,55	8	132,55	3,2E-07
SK6	266469	6792243	140,34	137		5	135,34	10	130,34	2,9E-07
SK7	266361	6792163	139,93	136,5		5	134,93	10	129,93	2,5E-07
SK8	266218	6792077	139,35	136		5	134,35	10	129,35	1,3E-06
SK9	266079	6791985	138,27	136		6	132,27	11	127,27	1,9E-07
SK10	266300	6792313	136,47	134	Flanc	0	136,47	3	133,47	4,0E-06
SK10	266300	6792313	136,47	134	Fond	3	133,47	8	128,47	nd.
SK11	266128	6792192	135,07	133		2	133,07	7	128,07	2,4E-06
SK12	266023	6792195	132,32	131	Flanc	1	131,32	3	129,32	9,9E-07
SK12	266023	6792195	132,32	131	Fond	3	129,32	8	124,32	4,2E-07

Tableau 8. Essais de perméabilité 2022 (Géotec).

Total		Fond		Flanc	
Max	4,0E-06	Max	3,5E-06	Max	4,0E-06
Min	1,1E-07	Min	1,9E-07	Min	1,1E-07
Moyenne	1,1E-06	Moyenne	9,5E-07	Moyenne	1,5E-06
Médiane	5,9E-07	Médiane	4,2E-07	Médiane	1,0E-06
Ecart	36,4	Ecart	18,4	Ecart	36,4

Tableau 9. Valeurs de perméabilités retenues.

3.2.6 Conclusion géologique

Les caractéristiques des formations géologiques constituant le substratum du site sont clairement identifiées par les nombreux forages effectués (sondage carotté, sondages à destructifs, diagraphies, campagne de mesures géophysiques).

Le substratum géologique du site (siltite du Briovérien) a été altéré et on observe toute la succession classique des différents degrés d'altération en fonction de la profondeur. Ainsi, la succession lithologique locale est la suivante (de la base vers le sommet) :

- Le socle sain n'a pas été touché en sondage (à plus de 30 m) mais a été reconnu à près de 45 m en géophysique ;
- Le toit du socle altéré et induré (premier degré d'altération du socle) dessine une interface très légèrement pentée vers le Nord-Ouest (1,2%) en accord avec la topographie de la zone étudiée. La cote du toit varie de 133,5 m NGF au sud-ouest à 127,5 m NGF pour une cote moyenne d'environ 131 m NGF ;
- Les altérites meubles (islatérites argileuses et allotérites silteuses) ont partiellement été érodées en direction de la vallée au Nord du site (exutoire naturel des eaux de ruissellement). L'épaisseur de ces formations dites de couverture varie de 12,5 m sur le plateau au Sud à 1,5 m à proximité de la vallée au nord.

D'un point de vue structural, les investigations géophysiques ont montré l'extrême homogénéité des formations (électromagnétisme et panneaux électriques) sur au moins 30 m (pas de discontinuités). Notamment, la faille voisine notée sur la carte géologique (observable à travers des filons de quartz) pourrait se prolonger au droit du site (possiblement visible en fond de panneau à 45 m de profondeur) mais n'a pas d'effet sur le projet (faille de tension sans décalage et/ou estompée dans les altérites).

Dans le cadre du projet de SUEZ, il est préférable de s'ancrer dans les altérites meubles, formation la moins contraignante et la plus apte à former la barrière de sécurité passive du site.

Les essais de perméabilité in situ selon la norme en vigueur au droit de 12 sondages (NFX30-423) ont été réalisés sur site et ont donné une valeur de perméabilité moyenne de $9,5 \cdot 10^{-7}$ m/s pour les horizons constitutifs de la barrière passive en place. Les altérites silteuses sont à caractère semi-perméables en grand. Néanmoins, localement le seuil des 10^{-6} m/s est dépassé sur quelques valeurs tout en restant toujours proche de la valeur seuil.

Ainsi, le contexte géologique local est jugé peu contraignant et même favorable sous réserve de mise en place de mesures compensatoires répondre aux exigences réglementaires, avec en particulier :

- **La reconstitution du mètre supérieur de la barrière passive à $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s ;**
- **Le renforcement de la barrière passive du fait de l'absence partielle des 5 m à $k < 10^{-6}$ m/s (épaisseur acquise mais perméabilité supérieure ponctuellement).**

La structure proposée devra être validée par un calcul d'équivalence de la barrière passive (voir paragraphe 4.2, en page 90 et suivantes).

3.3 Contexte hydrogéologique

3.3.1 Rappel des conclusions de l'étude d'aptitude et objectif de l'étude hydrogéologique locale

Le site est géologiquement formé par les produits d'altération des silts briovériens anciens par nature peu perméables en couverture et induisent l'absence de ressource en eau souterraine substantielle qui se concentre aléatoirement et uniquement au gré des fractures profondes de la roche mère saine et à forte profondeur (à plus de 30 m de profondeur). Les fractures de la roche jouent un rôle de drain des eaux infiltrées).

Le site est localisé en domaine de plateau où la couverture d'altérites est de facto plus importante qu'en domaine de vallée (point favorable). Cependant, l'absence de pente topographique substantielle conjuguée à la nature peu perméable des altérites induisent, a priori, une cote de saturation peu profonde (les altérites jouent un rôle du capacitif en retenant l'eau d'infiltration pluviale). Ce point est à étudier finement en phase d'études de qualification car elle contraint nécessairement la cote du fond de forme du site.

L'aire d'études hydrogéologiques est définie spatialement par le bassin versant hydrographique (et donc hydrogéologique) qui inclut le site et en profondeur par celle du premier niveau d'eau (saturation naturelle des horizons d'altération du socle).

Le contexte hydrogéologique reste favorable sous réserve de positionner le fond de forme du site au-dessus du niveau de saturation des altérites ou sous réserve d'une gestion des eaux sa saturation à même d'assurer un drainage du niveau pour des raisons évidentes de faisabilité hydrogéologique.

L'objectif de la phase de qualification hydrogéologique est de confirmer le caractère non aquifère des altérites et définir la cote de saturation naturelle qui contraint le projet en termes de profondeur de décaissement. L'analyse du contexte hydrologique local et notamment la cote de l'exutoire naturel du site (cote topographique du réseau hydrographique en aval immédiat du projet) est importante car elle sert de base à la définition du projet (fil d'eau).

3.3.2 Données générales

En milieu de socle comme c'est le cas pour les schistes briovérien, l'aquifère s'organise de la façon suivante :

- Bien qu'à caractère semi-perméables (non aquifère au sens hydrogéologique du terme), les altérites présentes sur plus de 30 m en couverture du socle (voire 50 m possibles) jouent le rôle de formations dites « réservoir ». La portion d'eau pluviale non ruisselée (appelée pluie efficace) est « stockée » au sein de ces formations semi-perméables. L'écoulement en leur sein est lent et imperceptible.
- Les formations de socle (fissurées voire fracturées) viennent remplir le rôle de drain potentiellement productif : c'est cette formation qui est dite aquifère et qui est alimentée par gravité par l'eau stockée dans les altérites.

Sur les plateaux, l'alimentation de la nappe se fait par drainance lente à travers les altérites quand le socle est recouvert par une couche d'altération ou par alimentation directe quand les horizons de couverture sont absents (axe des vallées).

De manière générale, il y a concordance entre les bassins versants hydrographiques et les bassins versants hydrogéologiques. La nappe est drainée par le réseau hydrographique et s'écoule donc en direction des vallées principales, à savoir le vallon au nord du site pour le contexte proximal puis la Belle Chère plus en aval, qui s'écoule au Nord et à l'Ouest du site.

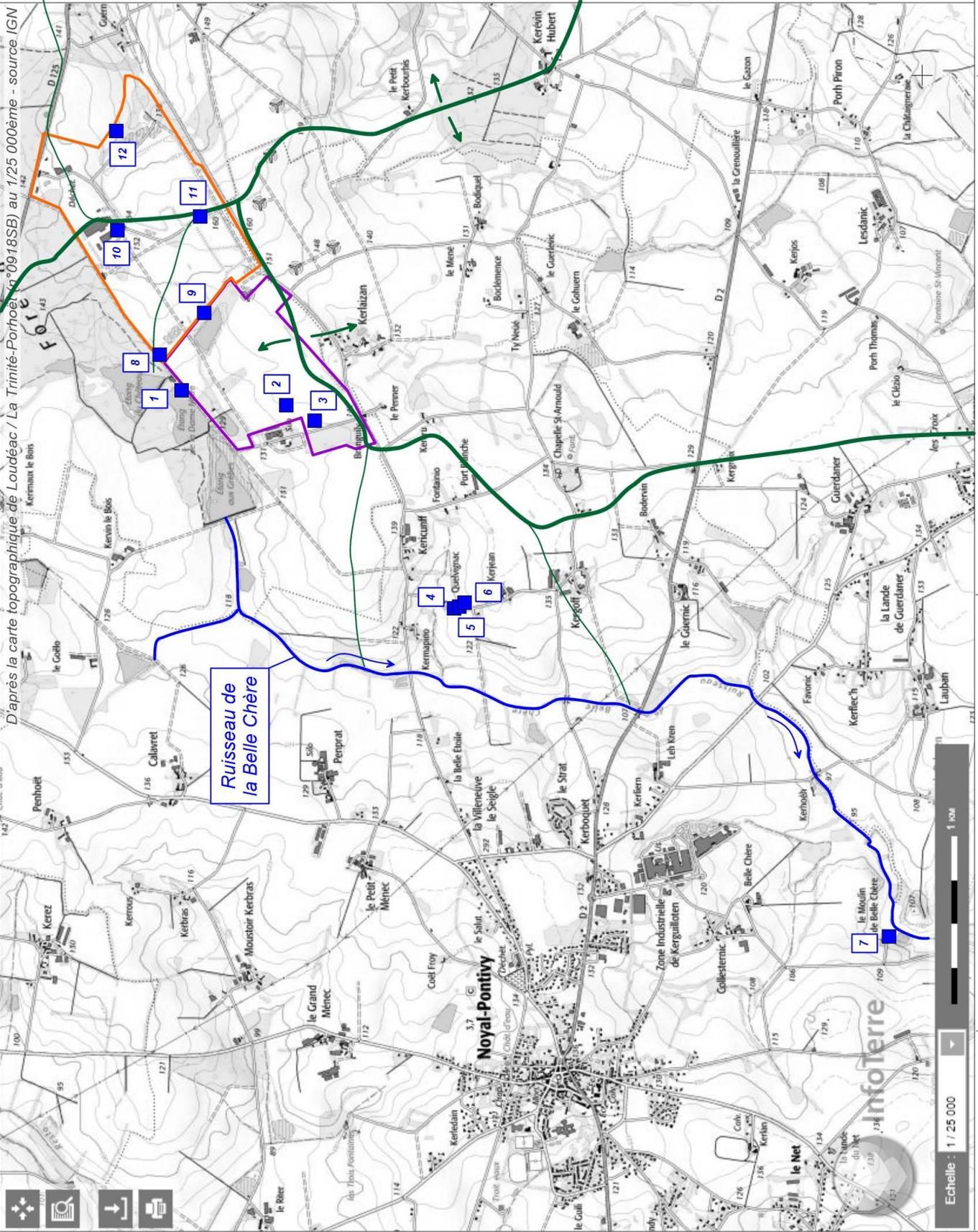
3.3.3 Ouvrages référencés dans l'aire d'étude hydrogéologique

Le **tableau 10** ci-dessous et la carte en **figure 28** en pages suivantes, reprennent les points d'eau référencés à la BSS dans l'aire d'études et à proximité. Les données collectées et consultables à la BSS sont reprises en annexe.

Il n'y a que très peu de points référencés. On dénombre uniquement 7 points dans le secteur dont seulement 3 seraient dans l'aire d'études (points 1 à 3). Il s'agirait de forages profonds qui atteignent le socle à des profondeurs variant de 39 à 92 m réalisés dans les années 70 et 80 pour une recherche d'eau à usage d'eau agricole). Ces ouvrages n'ont pas été retrouvés lors de nos investigations sur le terrain.

N° carte	N° à la BSS	Date de création de l'ouvrage	Cote TN (en m NGF)	Fond		Aquifère / Nappe	Indication sur niveau d'eau	Distance au projet (en m)	Remarques
				Prof. (m)	Cote (NGF)				
1	03145X0008/F	26-oct-77	130	39	91	Socle Briovérien	Non	200	Forage équipé d'une pompe pour relevage d'eau
2	03145X0010/F	06-août-86	140	92	48	Socle Briovérien	Non	Dans l'emprise du projet	
3	03145X0009/F	12-juin-80	139	46	93	Socle Briovérien	Non		
4	03145X0039/F	09-août-07	124	100	24	Socle Briovérien	Non	1 300	
5	03145X0038/F		125	100	25				
6	03145X0037/F		125	100	25				
7	03501X0009/F	16-juil-81	97	35	62	Socle Briovérien	Non	4 200	

Tableau 10. Points d'eau référencés.



3.3.4 Investigations menées pour la présente étude

Cinq nouveaux piézomètres ont été réalisés spécifiquement au droit de la zone d'études qui encadrent le site avec 1 ouvrage en amont (PZ amont) et 4 en aval hydrographique (en direction du vallon au nord et à l'ouest, notés PZ aval 1 à 4). Ils interceptent le premier niveau d'eau souterrain contenu dans les altérites peu perméables. Les données techniques sont reprises dans le tableau 11 ci-dessous.

Ils ont été réalisés et nettoyés dans les règles de l'art (NFX10-999).

Nom ACG	Coordonnées (Lambert 93)		Z (NGF)	Fond		Norme	Equipement	
	X	Y		Prof. (en m)	Cote (NGF)		Diamètre d'équipement (en mm)	Prof. Crépines (en m)
PZ Amont	266785	6792084	150,14	30,00	120,14	NFX 10-999	52/60	6-30 m
PZ Aval Ouest	265904	6791910	135,39	17,00	118,39	NFX 10-999	52/60	5-17 m
PZ Aval Nord-Ouest	266010	6792286	129,80	13,00	116,80	NFX 10-999	52/60	4-13 m
PZ Aval Nord	266238	6792409	132,18	10,00	122,18	NFX 10-999	52/60	4-10 m
PZ Aval Sud	266088	6791640	140,67	15,00	125,67	NFX 10-999	52/60	3-13 m

Tableau 11. Données techniques des nouveaux piézomètres.

Sur ces ouvrages, des pompages d'essais ont été réalisés afin de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques ; de même que des analyses pour la qualité des eaux.

Enfin, plusieurs campagnes piézométriques synchrones ont été faites sur l'ensemble des piézomètres (site actuel + zone de poursuite d'activité) afin de réaliser les cartes piézométriques nécessaires au dossier.

3.3.5 Premier niveau sous le site : Niveau de saturation des altérites du Briovérien

Le premier niveau d'eau sous le site est contenu dans les altérites (rôle capacitif). Ce niveau d'eau n'est pas une nappe à proprement parler (Cf. étude d'aptitude) car les horizons qui la contiennent sont de nature semi-perméable (donc non aquifère au sens hydrogéologique du terme). Néanmoins, ce niveau contraint le projet dans le sens où il conviendrait de ne pas positionner le fond de forme et qui plus est la base de la barrière passive reconstituée sous la cote de saturation pour des raisons évidentes de faisabilité de terrassement et de mise en œuvre de la barrière passive reconstituée.

Ce niveau de saturation est alimenté par les eaux d'infiltration pluviales (dit « pluie efficace »), c'est-à-dire la proportion d'eau pluviale qui n'est ni ruisselée ni captée par la végétation. Ainsi, il existe tout naturellement des cycles annuels de recharge/vidange en fonction de la pluviométrie (hausse du niveau de la fin de l'automne au printemps avec un niveau haut vers fin mars/début avril puis baisse du niveau jusqu'à l'automne, fin septembre/début octobre).

Ainsi, l'écoulement général est gouverné par le réseau hydrographique qui draine les eaux. Il y a concordance entre les bassins versants hydrologiques et hydrogéologiques.

3.3.5.1 Esquisse piézométrique et sens d'écoulement

Plusieurs campagnes piézométriques se sont succédé depuis la réalisation des 5 nouveaux ouvrages spécifiques à la zone de poursuite d'activité en février 2022 et jusqu'à la fin de l'étude de la phase de qualification en juillet 2022. Les valeurs mesurées sont reprises dans le [tableau 12](#) ci-dessous.

Une mesure en période de hautes eaux a pu être effectuée au mois de mars (campagne du 08/03/2022). Une figure de l'esquisse des plus hautes eaux à l'échelle locale est présentée en [figure 29](#) en [page suivante](#). Le niveau piézométrique varie de 151,77 m NGF en amont au droit de PZ6 à 129,32 au niveau de PZ Aval Nord-Ouest (piézomètre le plus aval).

La [figure 29](#) en page suivante, illustre l'esquisse piézométrique locale. Il est à noter qu'il existe une crête topographique entre le site actuel et la zone d'études pour le projet de poursuite d'exploitation et donc tout naturellement une crête piézométrique. Cette crête se situe dans un axe passant par PZ6 et PZ3. Ainsi, à l'Ouest de PZ6 (zone de poursuite d'activité) les eaux s'écoulent en direction de la Belle Chère tandis qu'à l'Est (site actuel) les eaux s'écoulent vers la vallée de l'Oust.

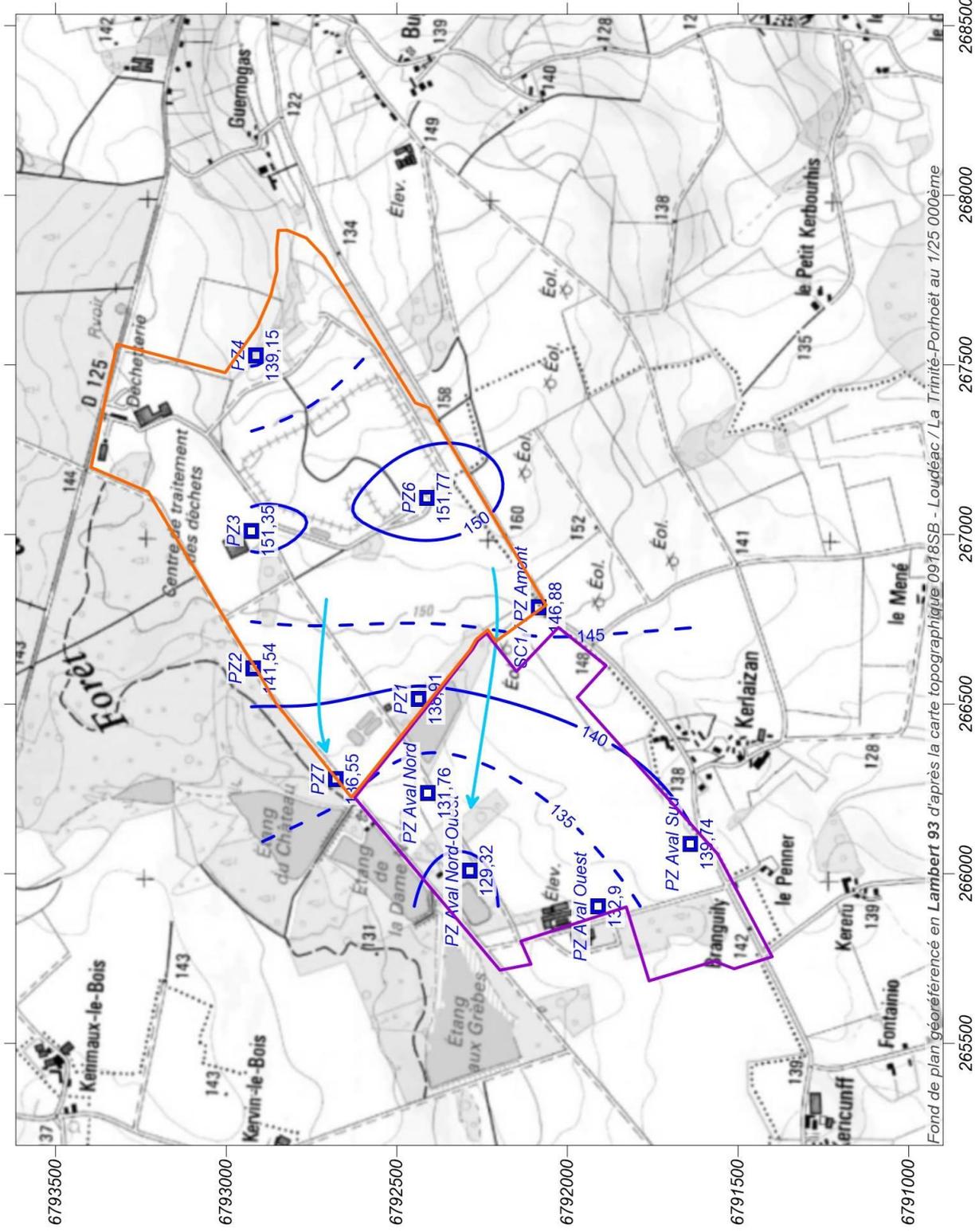
La carte piézométrique en [figure 30](#) en [page 70](#) est un zoom de cette piézométrie de référence centrée sur la zone d'études. Au droit de la zone de poursuite d'activité, le niveau s'échelonne de 146,88 m NGF (extrémité Sud-Est, PZ Amont) à 129,32 m NGF au niveau de PZ Aval Nord-Ouest avec un gradient de l'ordre de 2,2 % (écoulement lent, en corrélation avec les formations d'altération peu transmissives). La nappe s'écoule grossièrement d'Est en Ouest en direction de la Belle Chère qui draine les eaux.

Pour la zone de poursuite d'activité, on a 1 piézomètre amont (PZ Amont) et deux piézomètres en aval immédiat (PZ aval nord et PZ aval nord-ouest).

PZ aval ouest et aval sud sont en position latérale.

Nom de l'Ouvrage	Site	Coordonnées (Lambert 93)				Fond de l'ouvrage		Mesures du 16/02/2022		Mesures du 08/03/2022			Mesures du 31/03/2022		Mesures du 05/07/2022	
		X	Y	Z		Prof. (en m)	Cote (m NGF)	Prof. vs Repère (m)	Cote (m NGF)	Prof. vs Repère (m)	Prof. vs TN (m)	Cote (m NGF)	Prof. vs Repère (m)	Cote (m NGF)	Prof. vs Repère (m)	Cote (m NGF)
				Repère	TN											
SC1 / PZ Amont	Zone de poursuite d'activité	266785	6792084	150,60	150,14	29,17	121,43	3,72	146,88	3,72	3,26	146,88	4,27	146,33	7,95	142,65
PZ Aval Ouest		265904	6791910	135,97	135,39	17,45	118,52	3,03	132,94	3,07	2,49	132,90	3,42	132,55	6,35	129,62
PZ Aval Nord-Ouest		266010	6792286	130,55	129,80	13,71	116,84	1,12	129,43	1,23		129,32	1,39	129,16	1,91	128,64
PZ Aval Nord		266238	6792409	132,66	132,18	10,40	122,26	0,83	131,83	0,90	0,14	131,76	1,04	131,62	1,83	130,83
PZ Aval Sud		266088	6791640	141,22	140,67	15,21	126,01	1,25	139,97	1,48	0,92	139,74	1,79	139,43	4,57	136,65
P21	ISDND actuelle	266516	6792436	139,03	139,23	14,43	124,60	/	/	0,12	/	138,91	0,21	138,82	/	/
P22		266606	6792921	143,60	143,08	13,73	129,87	/	/	2,06	/	141,54	2,12	141,48	/	/
P23		267011	6792926	154,54	154,01	13,90	140,64	/	/	3,19	/	151,35	3,50	151,04	/	/
P24		267528	6792913	139,79	139,32	13,68	126,11	/	/	0,64	/	139,15	1,00	138,79	/	/
P26		267108	6792412	159,41	158,74	12,64	146,77	/	/	7,64	/	151,77	7,67	151,74	/	/
P27		266279	6792679	137,90	137,21	14,31	123,59	/	/	1,35	/	136,55	1,45	136,45	/	/

Tableau 12. Relevés piézométriques.

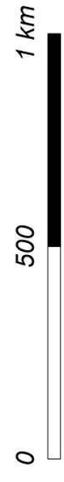


Légende

■ Piézomètre de contrôle (11)

Isopièze (iso-altitude) de l'horizon de saturation

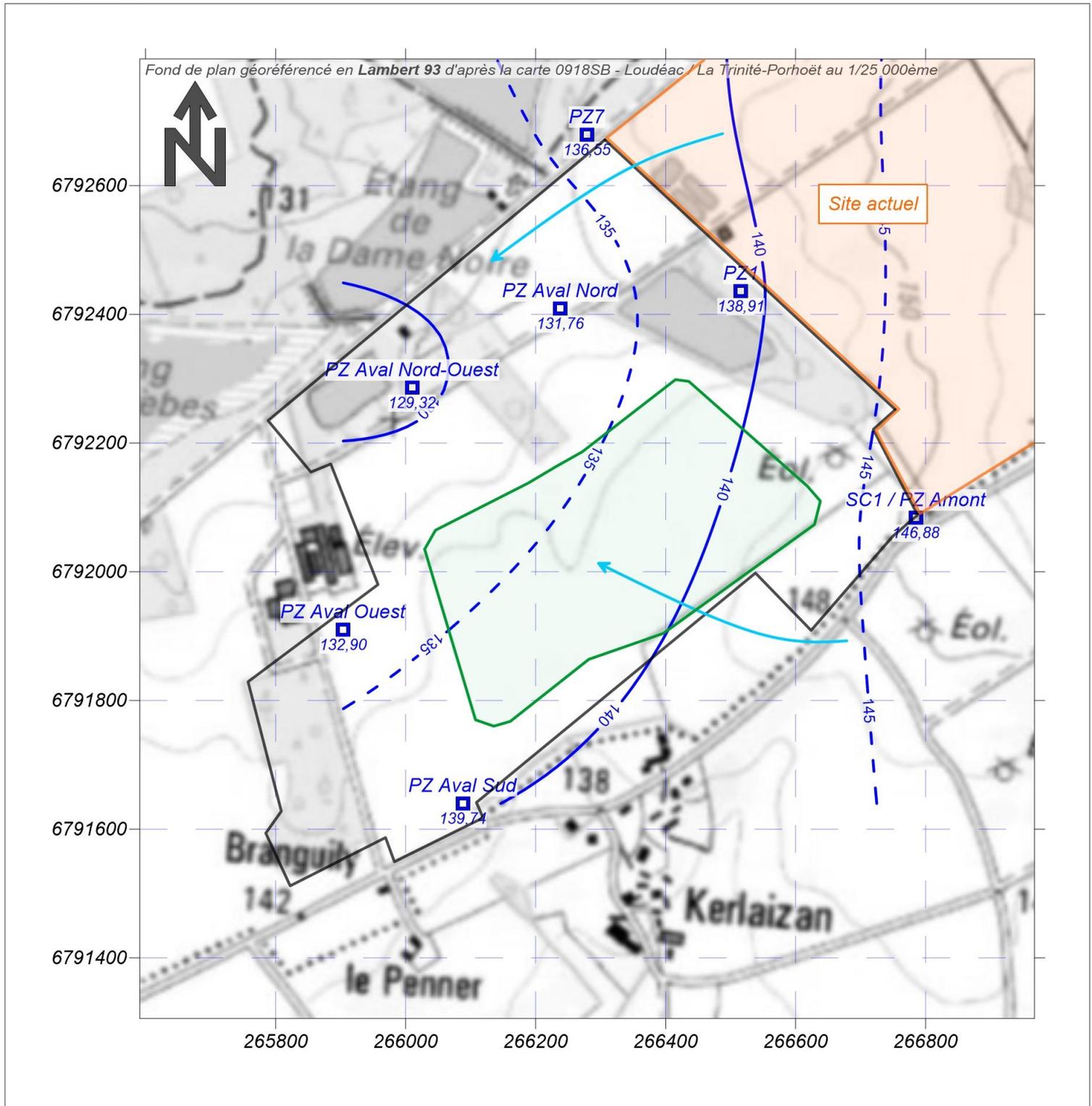
Sens d'écoulement des eaux souterraines



Projet de poursuite d'exploitation de l'ISDND de Gueffas (56)

ETUDE DE QUALIFICATION GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Figure 29.
Esquisse piézométrique des plus hautes eaux (Mars 2022)



■ Piézomètre de contrôle (11)

↘ Sens d'écoulement des eaux souterraines

— Isopièze (iso-altitude) de l'horizon de saturation

La carte ci-dessous en figure 31 illustre l'épaisseur de terrain dessaturé (au-dessus du niveau de saturation) sur l'ensemble des points pour lesquels de l'eau de saturation a été mise en évidence (PZ et PM, données de février 2023, voir illustration dans la planche photo 2 en page suivante). Cette carte est à prendre comme ordre de grandeur car elle est réalisée à partir d'une simple interpolation linéaire entre les points de mesure (ne prend pas en compte la topographie entre les points). Néanmoins, elle permet de fixer l'ordre de grandeur.

Ainsi, au point haut du site en amont et en domaine de plateau où la pente est inexistante (secteur PM2 et PM3) le niveau de saturation est à moins de 2 m. En aval en domaine de vallée, il est sub-affleurant (secteur PZ aval nord et aval nord-ouest).

La zone où l'eau est la plus profonde (> 3 m) est le flanc de plateau (où il existe un drainage par la pente topographique et donc un abaissement relatif du niveau de saturation).

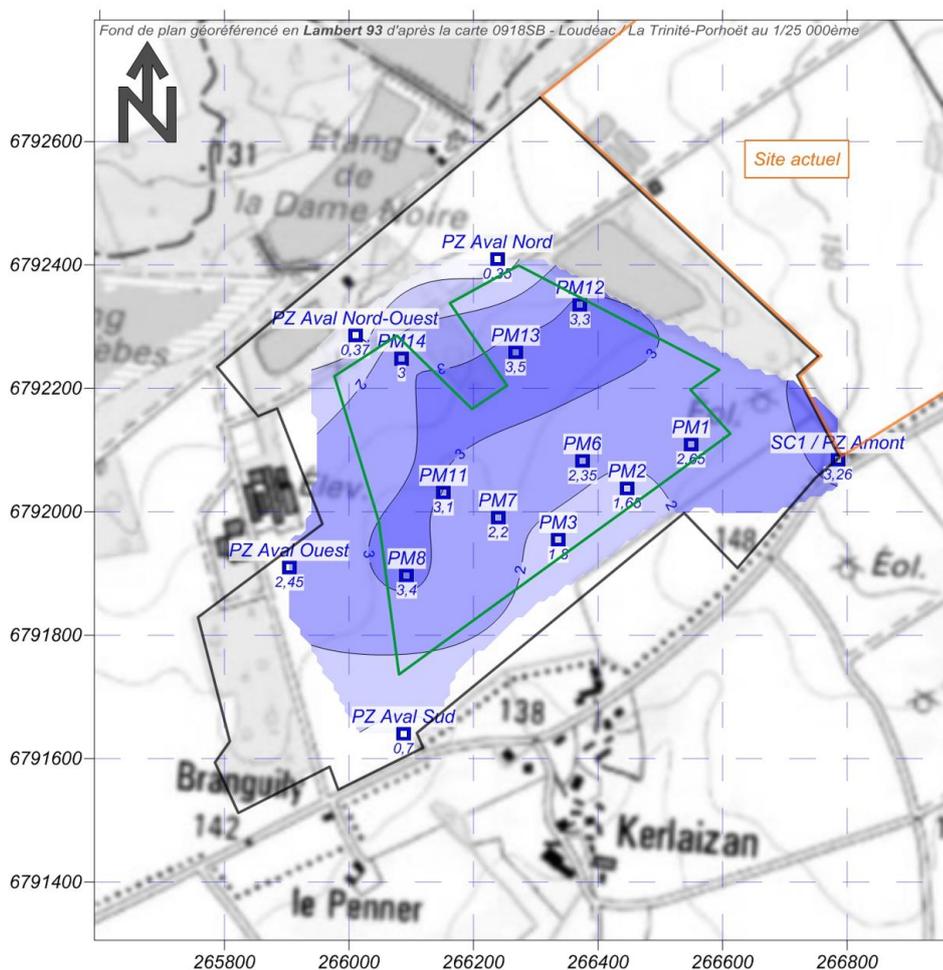


Figure 31. Epaisseur de terrains dessaturés.

Ce niveau de saturation (élevé) implique la mise en place d'un système de drainage en amont du site pour permettre l'exploitation de l'ISDND future (voir préconisations techniques en chapitre 4).

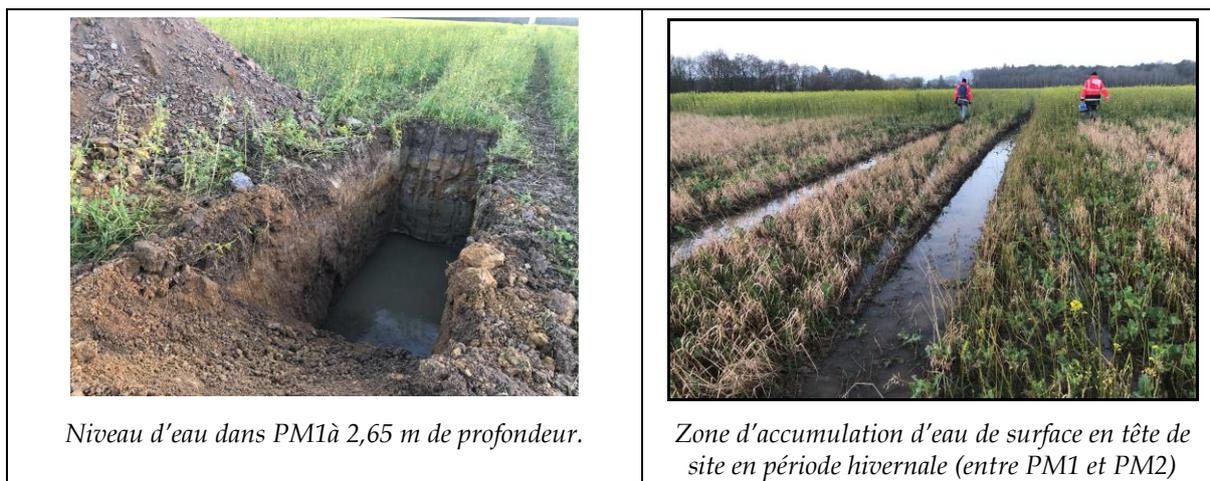


Planche photo 2. Saturation des terrains.

3.3.6 Caractéristiques hydrodynamiques des altérites

Les 5 nouveaux piézomètres ont fait l'objet de pompages d'essais afin de déterminer les caractéristiques des altérites contenant le premier niveau d'eau sous le projet (eau de saturation).

Les caractéristiques hydrodynamiques (perméabilité et transmissivité) renseignent sur la nature des altérites. Ces grandeurs mathématiques sont obtenues par l'approximation de Jacob dérivée de la loi de Darcy qui régit les écoulements souterrains qui sont fonction de l'allure de la perte de charge en phase de pompage et de la remontée de l'eau après l'arrêt de la pompe. Les données sont détaillées en annexe 8 et sont synthétisées dans le tableau 13 ci-dessous.

Ouvrages	Transmissivité (m ² /s)	Perméabilité (m/s)
PZ Amont / SC	2,46E-05	9,7E-07
PZ Aval Sud	7,09E-05	5,08E-06
PZ Aval Ouest	5,28E-06	3,7E-07
PZ Aval Nord	8,30E-06	6,4E-07
PZ Aval Nord-Ouest	1E-05	1,21E-06
Min	5,28E-06	3,7E-07
Max	7,09E-05	5,08E-06
Moyenne	2,41E-05	1,65E-06
Ecart	13,42	13,86

Tableau 13. Caractéristiques hydrodynamiques au droit des 5 nouveaux piézomètres (ACG).

La transmissivité varie de 7.10^{-5} à $5,3.10^{-6}$ m²/s et la perméabilité de 5.10^{-6} à $3,7.10^{-7}$ m/s c'est-à-dire dans des gammes extrêmement faibles (et homogènes) : les altérites sont bien des horizons peu perméables et donc non aquifères. Ces valeurs de perméabilité se corrèlent parfaitement bien avec celles réalisées en forage selon la norme NFX 30-423 (voir tableau 9, page 62).

Sur cette base, la **vitesse d'écoulement des eaux de saturation** serait de l'ordre de **1 à 2 m par an** (pour une perméabilité de 10^{-6} m/s et pour un gradient d'écoulement de 2 %).

3.3.7 Qualité des eaux de saturation

3.3.7.1 Données générales

Les eaux souterraines sont actuellement suivies par l'intermédiaire du réseau de contrôle piézométrique de l'ISDND (6 piézomètres) pour les paramètres définis dans l'arrêté préfectoral du site. Les données sont détaillées et synthétisées dans le rapport annuel envoyé à l'administration de tutelle.

Pour la zone de poursuite d'activité, nous avons réalisé l'analyse de la qualité des eaux des 5 nouveaux ouvrages réalisés en mars 2022. Les résultats sont synthétisés dans le tableau 13 en page suivante et détaillés en annexe 8. La qualité des ouvrages est comparée aux valeurs du guide d'évaluation des eaux souterraines rédigé par le ministère de la transition énergétique et solidaire (MTES) en juillet 2019.

Il n'y a pas grand-chose à dire quant à la qualité des eaux analysées. D'un point de vue général et sur les 76 paramètres analysés, les 5 points ont une qualité d'eau similaire : l'eau est très peu minéralisée (conductivité variant entre 170 et 340 $\mu\text{S}/\text{cm}$) avec un pH légèrement acide (6,3 à 6,9) en rapport avec la nature des horizons saturés (silts).

Les eaux analysées n'ont pas de BDO₅ ni de DCO (pas de pollution chimique ou biochimique). On observe l'absence d'éléments indésirables (pas de HAP, pas de BTEX, pas d'hydrocarbures, pas de PCB, pas d'éléments bactériologiques indésirables...).

Il est toutefois possible de noter la présence de nitrates aussi bien en amont qu'en aval à rapprocher des activités agricoles sur les parcelles du site à des concentrations supérieures aux valeurs guide de référence (> 50 mg/l).

Parmi les éléments métalliques, on retrouve des dépassements de la valeur guide uniquement pour le fer et le manganèse sur les 2 piézomètres en domaine de vallée en contre-bas du site (sur PZ Aval Nord et Nord-Ouest). D'après notre connaissance du contexte géologique local, la présence de ces éléments pourrait provenir du sommet des altérites de nature argileuse (allotérites) et intrinsèquement ferro-magnésiennes. Les autres métaux sont absents ou à l'état de traces infimes (Arsenic, Chrome, Plomb, Cuivre, Nickel et Cadmium).

Enfin, sur 2 piézomètres, on retrouve des MES (PZ amont et PZ aval Nord) en rapport avec la finesse des silts qui peuvent localement être pompés lors des prélèvements (passent à travers le massif filtrant).

La qualité des eaux sur ces 5 piézomètres est équivalente à celle des ouvrages sur le site actuel à la teneur en nitrates près (pas ou peu de nitrates sur les PZ du site actuel).

3.3.7.2 Vulnérabilité des eaux souterraines

Le « vrai » niveau aquifère est formé par la roche saine profonde au droit de fractures productives. Cet aquifère n'a pas été reconnu sur site (plus profond que 30 m, vraisemblablement vers 45/50 m de profondeur si l'on en croit les panneaux électriques). Cet aquifère de socle n'est pas vulnérable au site compte tenu de sa forte profondeur et de la nature de son recouvrement (altérites).

Cependant, les eaux de saturation sont sub-affleurantes (voir p. 71), leur vulnérabilité aux pollutions de surface est donc intrinsèquement forte (voir qualité des eaux dans le paragraphe précédent, présence de nitrates). Les eaux de saturation n'ont pas d'usage sensible connu.

Dès lors que le projet met en place les barrières de sécurité réglementaires (barrière active et barrière passive), la vulnérabilité sous le site par infiltration est nulle. De plus, ces eaux seront détournées en amont du site afin d'être rabattues.

Enfin, en aval, la vulnérabilité du niveau de saturation dans la vallée sera maîtrisée par l'analyse de la qualité des rejets qui ne pourront se faire que lorsque la qualité sera conforme aux exigences réglementaires. Ainsi, dès lors que les eaux du site sont gérées et rejetées dans les règles de l'art et que les rejets sont conformes aux seuils de l'arrêt préfectoral pris en application de l'AM afférent, il n'y a pas d'effets prévisibles sur les eaux à l'aval.

	Référence normative Guide d'évaluation de l'état des eaux souterraines - Juillet 2019	Unités	PZ	PZ	PZ	PZ	PZ
			Amont	Aval Sud	Aval Ouest	Aval Nord	Aval Nord- Ouest
Commentaire							
Date de prélèvement			31/03/22	31/03/22	31/03/22	31/03/22	31/03/22
<i>Physico-chimie</i>							
pH	9		6,4	6,3	6,4	6,9	6,8
Conductivité à 25°C	1100	µS/cm	210	340	320	170	190
Résistivité à 25 °C		ohm.cm	4854,37	2915,45	3174,6	5882,35	5376,34
Potentiel d'oxydo-réduction		mV	287,58	282,6	270,58	119,55	115,64
DCO		mg O2/l	<5,000	<5,000	<5,000	<5,000	<5,000
DBO5		mg O2/l	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00	<3,00
MES	25	mg/l	39,2	4	<4,00	191	11,8
Nitrates	50	mg NO3/l	46,6	87,5	50,1	<0,50	5,21
Azote Nitrique		mg N-NO3/l	10,5	19,8	11,3	<0,11	1,18
Nitrites	0,3	mg NO2/l	<0,01	0,03	0,089	<0,01	<0,01
Azote nitreux		mg N-NO2/l	<0,003	0,009	0,027	<0,003	<0,003
Azote Kjeldahl (NTK)		mg/l	<0,50	1,07	<0,50	<0,50	<0,50
Azote global		mg/l	10,52	20,84	11,34	<0,50	1,18
Ammonium	0,5	mg/l	0,031	0,043	0,084	0,076	0,034
Azote ammoniacal		mg N/l	0,024	0,033	0,065	0,059	0,027
Orthophosphates (PO4)	0,5	mg PO4/l	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15	<0,15
Carbone Organique Total (COT)		mg C/l	0,28	0,8	0,67	0,24	0,28
<i>Anions et Cations</i>							
Magnésium (Mg)		mg/l	8,3	16	9,3	6,6	7,4
Calcium (Ca)		mg/l	7,7	9,4	14	6,9	4,8
LSFDE : Potassium (K)		mg/l	0,78	4,3	7,5	0,54	0,66
IX138 : Potassium (K)		mg/l	0,65	4,4	7,3	<0,5	0,52
Chlorures	250	mg/l	28	41,9	36,8	22,7	25,8
Sulfates (SO4)	250	mg/l	1,36	9,92	12,7	13,2	12,8
<i>Métaux</i>							
Arsenic (As)	10	µg/l	0,19	0,21	0,69	0,96	1,8
Mercuré (Hg)	1	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Etain (Sn)		µg/l	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Chrome (Cr)	50	µg/l	0,09	0,4	0,9	0,46	<0,05
Zinc (Zn)	5000	µg/l	13	20	18	12	12
Plomb (Pb)	10	µg/l	<0,1	0,2	<0,1	0,1	<0,1
Cuivre (Cu)	2000	µg/l	0,4	0,6	0,7	0,3	0,2
Nickel (Ni)	20	µg/l	8,5	14	12	14	5,4
Manganèse (Mn)	50	µg/l	40	31	52	490	390
Fer (Fe)	200	µg/l	2,2	1,9	10	6800	5000
Cadmium (Cd)	5	µg/l	0,05	0,1	0,1	0,04	<0,1
<i>Composés Volatils</i>							
Benzène	1	µg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Toluène	700	µg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Ethylbenzène	300	µg/l	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
m+p-Xylène		µg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
o-Xylène		µg/l	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Xylène	500	µg/l	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
BTEX totaux		µg/l	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62	<0,62
<i>HAP</i>							
Somme des HAP 4	0,1	µg/l	<0,0112	<0,0112	<0,0112	<0,0112	<0,0112
Somme des HAP 6	1	µg/l	<0,0172	<0,0172	<0,0172	<0,0172	<0,0172
Somme des HAP 16		µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<i>Micropolluants</i>							
Organo Halogénés Adsorbables (AOX)		µg/l	14	23	100	16	18
<i>PCB</i>							
PCB 28		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
PCB 52		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
PCB 101		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
PCB 118		µg/l	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
PCB 138		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
PCB 153		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
PCB 180		µg/l	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
<i>Microbiologie</i>							
Bactéries coliformes		ufc/100 ml	< 1	< 1	1	< 1	< 1
Escherichia coli		ufc/100 ml	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Entérocoques intestinaux		NPP/100 ml	< 15	< 15	< 15	< 15	< 15
Salmonella		/1 litre	Non mesuré				
<i>Radiochimie</i>							
Activité en Tritium		Bq/l	<9,2	<9,1	<9,1	<9,6	<6,4
Activité Bêta globale hors potassium K40		Bq/l	<0,08	<0,12	<0,09	0,41	<0,09
Activité alpha global		Bq/l	<0,04	<0,05	<0,05	0,27	<0,05
Activité bêta global		Bq/l	<0,08	<0,12	0,23	0,43	<0,09

Tableau 14. Qualité moyenne des eaux de la nappe.

3.3.8 Conclusion hydrogéologique (schéma hydrogéologique local)

La nature silteuse (texture fine) des horizons d'altération du socle présents sur plus de 30 m avec une perméabilité très faible (10^{-6} m/s) conjuguée à l'absence de pente en domaine de plateau comme c'est le cas au droit du site (pas de drain naturel) induisent une saturation des altérites (fonction capacitive). Un écoulement lent (1 à 2 m par an) s'effectue des points hauts topographiques vers les axes de drainage que forment les fonds de vallée (concordance entre les bassins versants hydrographiques et les bassins versants hydrogéologiques).

Les 11 piézomètres présents (les 6 sur l'ISDND actuelle et les 5 nouveaux pour la présente étude) ont permis de tracer l'esquisse piézométrique locale qui confirme les données développées dans l'étude d'aptitude régionale : au droit de la zone de poursuite d'activité, la nappe s'écoule d'Est en Ouest avec un gradient de 2,2 % en direction de la Belle-Chère (affluent de l'Ével/Blavet) qui draine les eaux. Le niveau piézométrique s'échelonne de 145 m NGF en amont à l'Est à moins de 130 m NGF en aval à l'ouest avec un niveau à faible profondeur (moins de 3 m).

La grandeur mathématique des caractéristiques hydrodynamiques acquises sur les 5 nouveaux piézomètres ajoutées aux mesures de perméabilité au sein des altérites ont confirmé le caractère non aquifère des horizons d'altération (formation semi-perméable).

Le seul niveau de nappe potentiellement productif est contenu en profondeur au droit du socle sain quand il est fracturé (drain donc écoulement possible). Il n'a pas été touché sur site (investigations jusqu'à 30 m de profondeur). L'aquifère profond n'est pas vulnérable (forte profondeur et couverture semi-perméable importante). Néanmoins, les eaux de saturation sont fortement vulnérables aux pollutions de surface (niveau sub-affleurant).

La faible profondeur de la cote de saturation implique la mise en place d'un système de drainage en amont qu'il convient de dimensionner (en phase de préconisations techniques) afin de s'assurer de la non sollicitation de la barrière passive reconstituée et donc de la faisabilité technique du projet.

Compte-tenu des éléments développés ci-avant, le contexte hydrogéologique est considéré comme favorable à l'implantation du projet :

- **Sous réserve de la mise en place des barrières de sécurité passives et actives conformes à la réglementation ;**
- **Sous réserve de la mise en place d'un système de drainage des eaux de saturation en amont du site** dans le cas où il serait dimensionné un projet plus profond que celle de la cote de saturation ;
- **Et sous réserve de rejets d'eau de surface conformes aux seuils réglementaires.**

3.4 Contexte hydrologique local

3.4.1 Bassins versants à l'échelle locale

Le contexte hydrologique est illustré dans la figure 32 en page suivante réalisée à partir de la carte topographique IGN à 1/25 000. La figure permet de définir les sous-bassins versants hydrographiques à l'échelle locale.

Ainsi, la zone retenue pour la poursuite d'activité de l'ISDND est incluse en majorité dans le bassin versant de la vallée de la Belle Chère et plus spécifiquement dans un sous-bassin versant (noté BV A, coloré en verdâtre sur la figure 32) en rive gauche d'un vallon affluent de la Belle Cher souligné par la présence de plusieurs étangs anthropiques en cascade (étang du Château, étang de la Dame Noire et étang aux Grèbes).

Le sous-bassin versant BVA est limité :

- Au sud-est par la crête topographique qui passe en amont immédiat de la zone d'études quasiment au niveau de la route (cote d'environ 150 m NGF) ;
- A l'Est par l'ISDND actuelle ;
- Au nord par un fossé creusé en fond de vallon (cote inférieure à 130 m NGF) et qui achemine les eaux vers l'ouest en direction de la Belle Cher (115 m NGF environ à la confluence) ;
- A l'ouest par le cours d'eau lui-même.

Une partie de l'emprise globale du projet est située dans le sous-bassin du Runio (en jaune sur la figure) mais l'emprise de la future zone de stockage, elle, reste uniquement dans le sous-BV A.

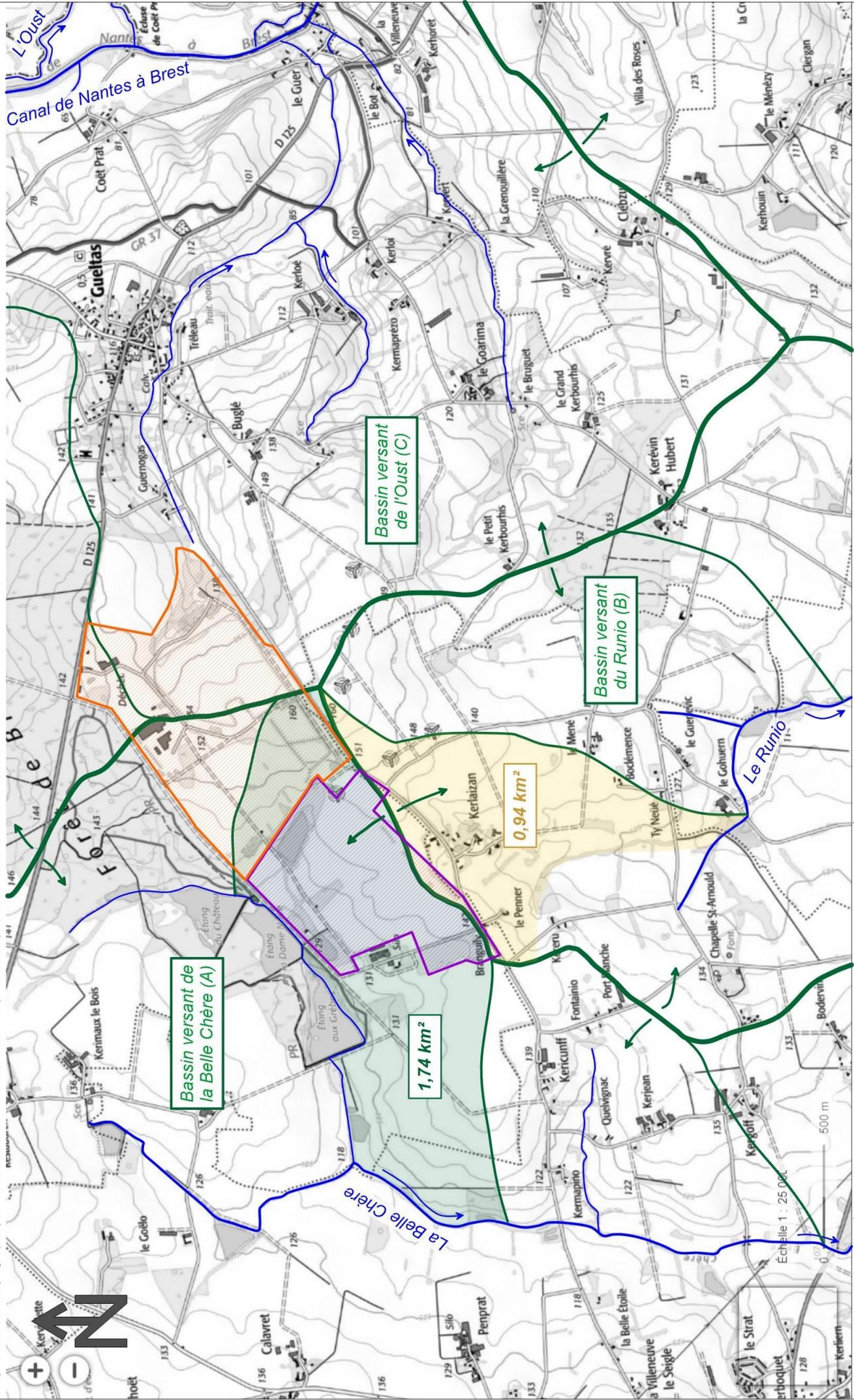
Deux éléments sont à signaler :

- Le projet, en domaine de plateau, est implanté en tête du bassin versant (ligne verte, pas d'amont substantiel).

Cette position est intéressante puisqu'il n'y a que très peu de surface amont et il n'est pas à prévoir de fossés majeurs de détournement des eaux de ruissellement.

- Les étangs présents dans l'axe du vallon (Dame Noire et des Grèbes) sont des retenues d'eau collinaires perchées dans la vallée (niveau d'eau plus haut que celui du fossé qui forme la limite du bassin versant incluant le site, Cf. paragraphe en page suivante).

Ainsi, il n'y a pas de relation hydrologique entre le site et les étangs (sous-bassins versants différents séparés par un fossé plus bas que le niveau d'eau des étangs (voir paragraphe ci-après).



3.4.2 Hydrologie du site et point de rejet naturel

L'hydrologie du site et le point de rejet naturel des eaux est illustré dans la figure 33 en page suivante.

Le projet retenu par Suez (zone en vert clair) est localisé en domaine de plateau et en tête du bassin versant (ligne en vert foncé). La cote topographique au droit du projet varie de 145 m NGF à 136 m NGF environ soit une pente relativement faible de 2 %.

Plus en aval (en « flanc » de plateau entre le projet et le chemin qui borde le site au Nord-ouest), la pente topographique moyenne est légèrement plus forte (2,5 %). L'axe du vallon est, pour sa part, quasiment plat (< 0,5 %).

Le site étant une zone cultivée (moutarde et maïs), il n'y a que très peu d'éléments à repérer concernant le contexte hydrologique. Afin d'assainir les terres et de permettre son exploitation agricole, le champ a été drainé (réseau de drainage agricole qui émerge au nord-ouest dans la petite zone boisée).

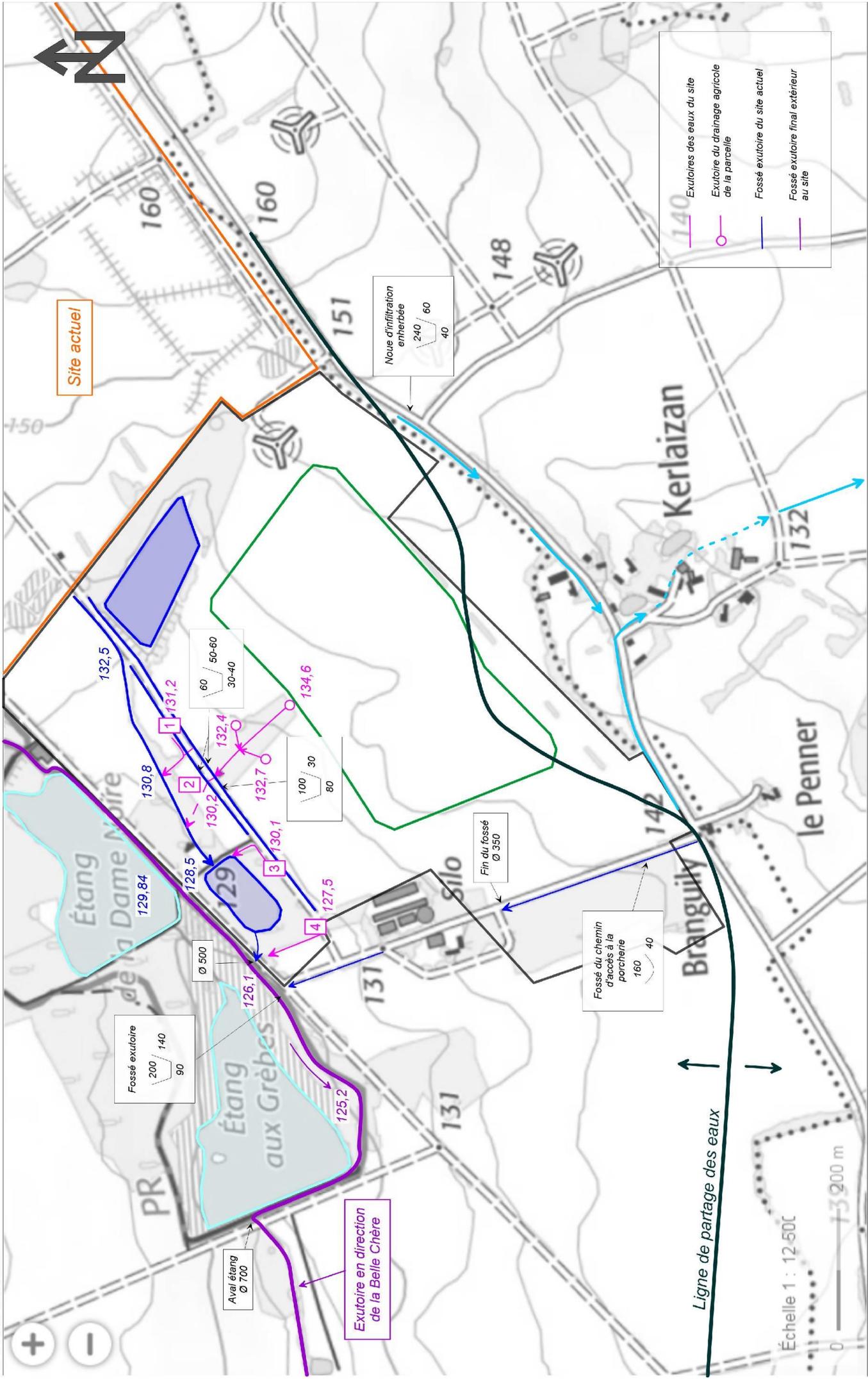
La morphologie générale du site conjuguée à la nature du proche sous-sol (silts fins) imposent à la majeure partie des eaux :

- De s'infiltrer en domaine de plateau et de vallée où les pentes topographiques sont faibles à nulles ;
- De ruisseler en flancs de plateau quand la pente est suffisante (> 5 % généralement).

Sur le fond de plan IGN à 1/25 000 (en noir et blanc) sont mentionnés les principaux éléments hydrographiques (fossés, fils d'eau...) tels qu'ils ressortent du relevé précis demandé au cabinet de géomètres experts COGEO (chiffres en rose). Ces données sont importantes car elles servent de base à la définition du projet dans le sens où elles imposent la cote du fil d'eau du drainage périphérique des eaux de saturation. Ainsi, **4 exutoires en aval immédiat sont possibles** (notés 1 à 4 dans la figure). Ces 4 exutoires sont cotés (fil d'eau) et **convergent tous au réseau de rejet des eaux du site actuel** (en bleu foncé). Les fossés en bordure de chemin ou de parcelle sont canalisés dès qu'ils franchissent les chemins par de grosses canalisations en béton.

En aval du bassin tampon de Suez, les **eaux sont drainées par un large et profond fossé** de près de 2 m de largeur en tête et de 1,4 m de profondeur (fossé en rose foncé). Le débit assimilable par ce fossé en fond de vallée (pente de 0,36 % selon les relevés du géomètre expert) est **supérieur à 2 m³/s** (2 365 l/s selon la loi de Manning strickler qui permet de définir le débit d'un fossé selon sa nature et sa morphologie, voir détail en annexe 8). Ce fossé (cote du fil d'eau à 126 m NGF environ et moins) est environ 3,5 m plus bas que l'étang de la Dame Noire et contourne les étangs. Il constitue donc bien une limite hydrologique entre le sous-bassin versant du site (en rive gauche du fossé) et les étangs (en rive droite) avec une indépendance hydraulique entre les 2 versants.

Ainsi, le réseau de gestion des eaux de ruissellement en aval du site (en domaine de vallée) semble surdimensionné vraisemblablement pour prendre en compte les conditions extrêmes (en cas d'inondation du fond de la vallée).



- Exutoires des eaux du site
- Exutoire du drainage agricole de la parcelle
- Fossé exutoire du site actuel
- Fossé exutoire final extérieur au site

4

Préconisations techniques

Les principes d'aménagement des ouvrages d'une ISDND sont pris en application des différents articles de l'arrêté ministériel du 15 février 2016.

Les principes exposés dans le cadre de la qualification et la faisabilité technique du projet sont des mesures élaborées à un niveau de préconisations techniques et non d'une étude de maîtrise d'œuvre de travaux. Les recommandations et les prédimensionnements présentés sont des paramètres qui peuvent servir à l'élaboration du projet technique de la demande d'autorisation (voir projet technique du Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale).

On justifiera, dans un tableau récapitulatif, la conformité réglementaire.

La conception des aménagements qui concernent les terrassements, tient compte des données acquises précédemment dans les études géologiques, hydrogéologiques, hydrologiques et géotechniques :

- La qualité et l'usage des matériaux ;
- La définition du fond de forme du projet d'extension de l'ISDND ;
- La constitution des couches de la barrière passive du fond et des flancs ;
- Dispositif de détournement et de drainage des eaux souterraines ;
- L'étude de stabilité ;
- Le réseau de contrôle des eaux souterraines ;
- Le point et les modalités de rejet des eaux du site.

Le projet retenu par la société Suez RV Ouest tel que développé dans l'avant-projet sommaire (APS) est présenté dans la figure 34 en page suivante pour fixer les idées pour les 2 configurations extrêmes (cote du fond de forme pour la plan du haut et projet de réaménagement pour la plan du bas).

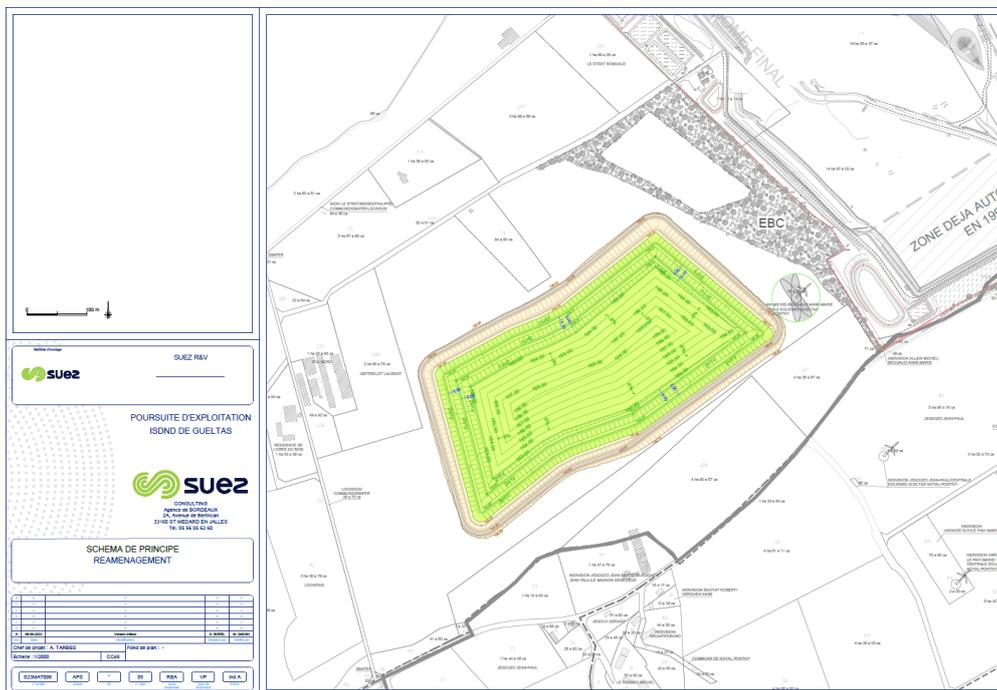
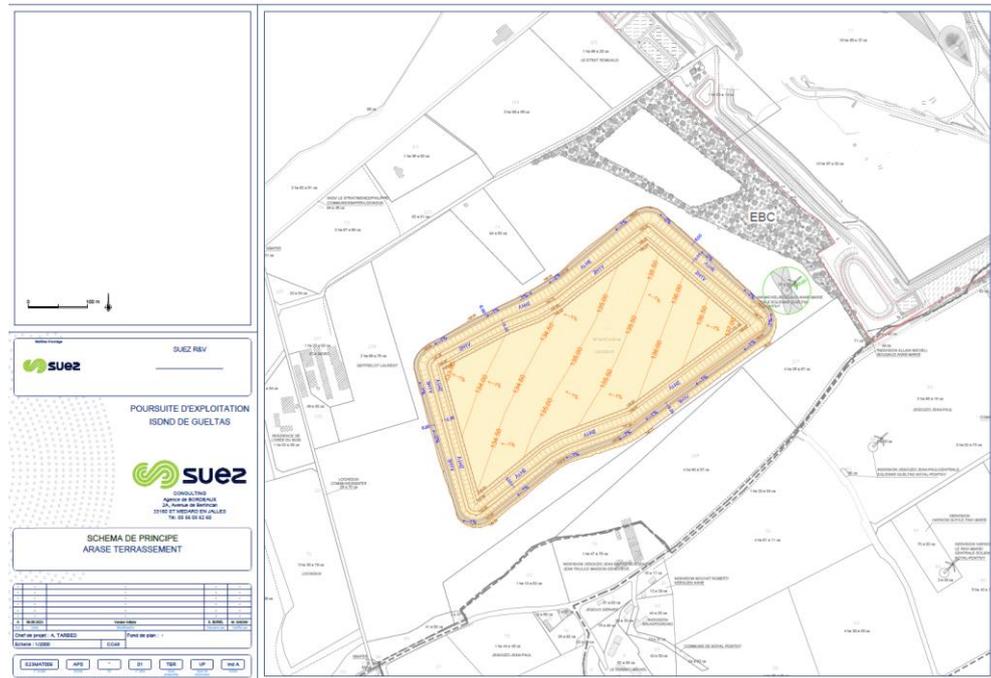


Figure 34. Etendue du projet retenu par Suez (zone stockage).

4.1 Qualité et usage des matériaux

Dans le cadre de la qualification du site, les matériaux qui seront extraits pour les besoins de la création du vide de fouille ont fait l'objet d'essais en laboratoire afin d'en définir leur usage futur (digues, couverture).

Les caractéristiques géomécaniques des matériaux du site sont déjà bien connues puisqu'ils ont été testés jadis pour l'ISDND actuelle (étude Fairtec en 2006). Des études complémentaires ont été réalisées en 2022 sur la zone de poursuite d'activité. L'ensemble des nouveaux essais a été confié au laboratoire de GÉOTEC (compte-rendu des sondages et des essais en [annexe 6](#)). Toutes ces données (historiques et nouvelles) permettent de qualifier les matériaux à travers 4 familles de paramètres :

- Les paramètres de nature (granulométrie, valeur de bleu, limites d'Atterberg, indice de plasticité) qui déterminent la qualité intrinsèque des matériaux et leur classement ;
- Les paramètres d'état (teneur en eau, poids volumique, indice de consistance) qui déterminent l'aptitude du sol à supporter des charges en l'état (portance) ;
- Les paramètres de comportement mécaniques (essai Proctor, essai de cisaillement), qui déterminent les caractéristiques de compactage et de cohésion sous une charge ;
- Les paramètres de comportement hydraulique, dont les essais de perméabilité qui permettent de déterminer le coefficient de perméabilité verticale du matériau (coefficient réglementaire).

Les matériaux décaissés sont de 2 types :

- La couverture végétale limono-argileuse ;
- Les altérites meubles (argileuses et silteuses) ;

Ils surmontent les siltites indurées (socle altéré) qui resteront en place.

Les altérites et les siltites ont fait l'objet de tests au laboratoire afin de définir leur qualité géotechnique intrinsèque voire leur usage possible pour ceux qui seront décaissés.

4.1.1 Données historiques

En 2006, FAIRTEC a réalisé les tests nécessaires à la qualification des limons, des limons après compactage (pour reconstitution d'une digue), des altérites et des déchets stockés :

- 4 essais triaxiaux ont été menés ;

Les résultats des essais géotechniques sont repris en [annexe 5](#) et synthétisées dans le [tableau 15](#) en page suivante. Ces données avaient servies de base au calcul de stabilité et à la définition de l'usage des matériaux pour le site actuel.

Etude	Formation	Données géotechniques		
		Poid volumique apparent	Angle de frottement	Cohésion
Unités		γ (en kN.m3)	ϕ' (en °)	C' (en kPa)
FAIRTEC (Juillet 2006)	Limons	20	64	4
	Limons compactés (pour digue périphérique)	20	60	1
	Argiles schisteuses	21	40	1
	Déchets	10	20	5

Tableau 15. Récapitulatif des valeurs des essais en laboratoire (Fairtec, 2006).

4.1.2 Données nouvelles (2022)

4.1.2.1 Matériaux prélevés et testés

En 2022, ACG Environnement a réalisé des prélèvements d'échantillons pour essais au laboratoire complémentaires. Ces essais ont eu pour objectifs :

- De valider l'homogénéité géomécanique des formations rencontrées (Silts, argiles et siltites indurées) ;
- De caractériser les différents faciès des altérites en couverture qui seront décaissées pour définir leur usage.

Ainsi, il a été prélevé 5 échantillons intacts au sein du sondage carotté (SC/PZ Amont) sur lesquels les tests suivants ont été menés :

- Valeur au bleu de méthylène et teneur en eau sur tous les échantillons (pour définir l'argilosité et l'homogénéité) ;
- Essai de cisaillement rectiligne à la boîte (CD) sur l'échantillon au droit des horizons amenés à former les futurs flancs de projet (silts de 2 à 2,5 m).

4.1.2.2 Résultat des analyses historiques au laboratoire

Les résultats, détaillés en annexe 7, sont repris et synthétisés dans le [tableau 15](#) en page suivante.

Ces données complémentaires serviront de base au calcul de stabilité et à la définition de l'usage des matériaux.

Ainsi, l'ensemble des altérites testé est classé A1 voire A2 selon la classification GTR (tableau du haut). Il s'agit bien de silts peu plastiques non argileux (A1) ou légèrement argileux (A2) qui peuvent changer de comportement géotechnique selon la teneur en eau.

Les caractéristiques géomécaniques nécessaires pour les calculs de stabilité ont été acquises (voir tableau du bas) :

- Sur matériau intact pour les calculs de stabilité au décaissement ;
- Et sur matériau foisonné compacté à l'optimum proctor en cas d'utilisation en remblai périmétrique digue).

Identification G.T.R des matériaux :

Nom du sondage	Profondeur (en m)	Nature du matériau	W nat (en %)	Granulométrie			Valeur au bleu V.B.S (en g/100g)	Limite d'Atterberg				Classe GTR
				Dmax (mm)	< 2 mm	< 80 μ		Wl (en %)	Wp (en %)	Ip	Ic	
PM1		Siltite grise à brune	25,90	57,00	78,70	72,70		51,50	31,90	19,60	/	C1 / A2
PM3		Siltite rosée	24,80	12,00	95,00	89,70		48,60	32,70	16,00	1,37	A2 s
PM4		Siltite grise (rocheuse)	22,70	3,00	99,60	98,70		54,60	36,20	18,40	1,72	A2 ts
PM9		Siltite grise d'aspect verdâtre	17,80	3,00	99,90	86,20	0,97					A1
PM15		Silts argileux ocre	24,30	13,00	98,10	91,60		33,70	25,80	8,00	1,05	A1
SC1	2,0 - 2,5	Silt argileux grisâtre	27,80				3,57					
	7,5 - 8,0	Siltite à matrice graveleuse et argileuse					2,03					
	9,0 - 9,5	Siltite argileuse blanche					3,31					
	11,0 - 11,4	Silt argileux brune ocre					2,92					
	25,1 - 25,4	Siltite indurée					0,99					

Essai de cisaillement & perméabilité à l'oedomètre :

Nom du sondage	Profondeur (en m)	Nature du matériau	Compactage au Proctor		Cisaillement rectiligne à la boîte (CD)	
			Teneur en eau	Densité sèche	Cohésion	Angle de frottement
			Wopn (%)	pd (Wopn)	C' (kPa)	φ' (°)
PM1	1 à 2,7	Siltite grise à brune compactée à l'OPN	21,50	1,55	10,00	31,00
SC1	2,0 - 2,5	Silt argileux grisâtre	/	/	18,00	27,00

Tableau 16. Récapitulatif des valeurs des essais en laboratoire (Géotec, 2022).

4.1.2.3 Usage des matériaux

Un des principes qui prévaut dans la construction des Installations de Stockage de Déchets est le réemploi des matériaux excavés pour la construction des ouvrages de confinement (digues, fond de forme, couverture).

La géométrie du projet est définie :

- Par les flancs en décaissement dont les pentes doivent être stables à court terme pour les talus intérieurs ;
- Par le fond de forme positionné sur des matériaux qui doivent respecter les critères réglementaires de la barrière passive (épaisseur et perméabilité) ;
- Par un dôme de déchets soutenus en périphérie par une la digue dont la géométrie globale doit être stable vers l'extérieure à longs termes.

Les matériaux excavés pour l'exploitation du projet trouvent un usage sur le site. L'usage des matériaux excavés de haut en bas des flancs est le suivant :

- La terre végétale devra soigneusement être décapée et mise en attente du réaménagement final du site après exploitation du projet, au-dessus de la couverture finale. Son épaisseur est de 0,30 m à 0,50 m ;
- Les altérites meubles de nature silteuse qui pourront servir la constitution des digues périmétriques ou en merlon paysager en cas d'excédent.

4.2 Structure de la barrière passive du site

4.2.1 Rappel

4.2.1.1 Cadre réglementaire : arrêté ministériel du 15 février 2016

L'article 8 de l'arrêté ministériel stipule que : « *La protection du sol, des eaux souterraines et de surface est assurée par une barrière géologique dite « barrière de sécurité passive » constituée du terrain naturel en l'état répondant aux critères suivants :*

- le fond d'un casier présente, de haut en bas, une couche de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur et une couche de perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres d'épaisseur ;
- les flancs d'un casier présentent une perméabilité inférieure ou égale à 1.10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre d'épaisseur. La géométrie des flancs est déterminée de façon à assurer un coefficient de stabilité suffisant »

Le second alinéa stipule que : « *Lorsque la barrière géologique ne répond pas naturellement aux conditions précitées, elle est complétée et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente. L'épaisseur de la barrière ainsi reconstituée ne doit pas être inférieure à 1 mètre pour le fond de forme et à 0,5 mètre pour les flancs jusqu'à une hauteur de 2 mètres par rapport au fond. L'ensemble des éléments relatifs à l'équivalence de la barrière de sécurité passive est décrit dans la demande d'autorisation d'exploiter.* »

Dans le cas où le milieu géologique ne satisfait pas naturellement aux règles stipulées par l'arrêté, la réglementation offre la possibilité de mesures compensatoires en introduisant la notion de « *niveau de protection équivalent* ». Selon le guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets, version 3 de décembre 2019 : « *Deux barrières*

d'étanchéité passives seront considérées comme « équivalentes » lorsqu'elles assurent un même niveau de protection en termes d'impact potentiel d'une installation de stockage sur une ressource en eau souterraine ».

4.2.1.2 Rappel sur le contexte géologique et hydrogéologique

La perméabilité des altérites aux cotes de la barrière passive (formant les 5 m en place) bien qu'ayant une perméabilité moyenne conforme aux attentes réglementaires n'ont pas une perméabilité inférieure à $k=1.10^{-6}$ m/s en tout point. La couche d'atténuation en place n'est donc pas présente en termes de perméabilité, même si elle l'est en termes d'épaisseur. De même, la partie supérieure de la barrière passive est absente (1 m à $k<10^{-9}$ m/s).

Cette insuffisance doit être compensée par une solution alternative telle que définie dans l'article 8 de l'arrêté du 16/02/2006 : si la barrière géologique ne répond pas naturellement aux prescriptions, « elle peut être complétée artificiellement et renforcée par d'autres moyens présentant une protection équivalente ».

Une telle compensation a déjà été mise en œuvre sur le site actuel.

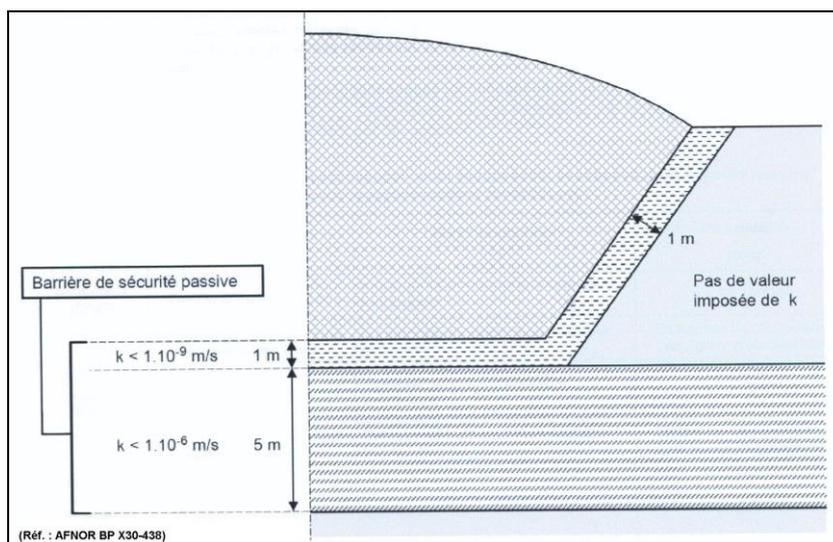
Le projet de reconstitution de la barrière passive doit donc prendre en compte 2 exigences :

- La **reconstitution** de la partie supérieure de la barrière passive (1 m à $k<1.10^{-9}$ m/s) ;
- Le **renforcement** de la barrière passive du fait de l'absence partielle de la couche d'atténuation (5 m à $k<1.10^{-6}$ m/s).

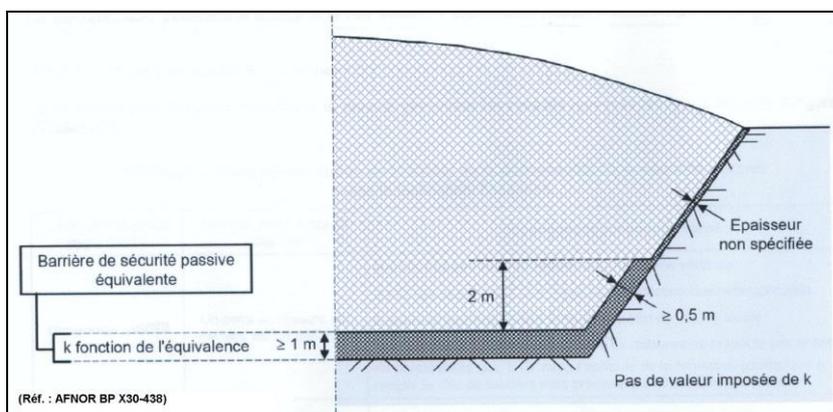
La justification de la structure proposée doit être apportée par un calcul d'équivalence réalisée selon le guide afférant.

4.2.2 Recommandations préalables

Les recommandations suivantes sur la conception du dispositif équivalent de la barrière passive réglementaire, sont proposées en application des exemples de mise en œuvre décrits dans le guide de Bonnes Pratiques de l'AFNOR BP X 30-438 (figure 35).



Principe de la barrière passive selon la réglementation française (ISDND).



Principe de la barrière passive équivalente selon la réglementation française (ISDND).

Figure 35. Principes d'aménagement de la barrière passive (AFNOR BP X 30-438).

4.2.2.1 Altitude de la barrière passive

Les prescriptions indiquent que la barrière passive ne doit pas être sollicitée pendant l'exploitation. De même, l'épaisseur de la barrière passive doit répondre à deux exigences :

- L'AM précise qu'en cas d'équivalence, la barrière passive reconstituée ne peut pas être inférieure à 1 m en fond ;
- Selon le *Guide d'Equivalence V3* : « il conviendrait que les plus hautes eaux connues se situent au moins à une distance de 2 m de la base de la couche de 1 m à 10^{-9} m/s ».

Ainsi, l'altitude de la base de la barrière passive reconstituée (équivalent à la cote de terrassement) doit donc, a minima, **être située 2 m au-dessus des plus hautes eaux souterraines ou à 2 m du niveau rabattu en cas de mise en place d'une tranchée drainante soit une épaisseur de barrière passive dite « équivalente » de 3 m minimum.**

4.2.2.2 Barrière passive sur le fond

La couche supérieure de la barrière passive doit avoir une épaisseur minimale de 1 m et une perméabilité inférieure à 1.10^{-9} m/s. Comme elle est absente naturellement, il convient de la **reconstituer** par un matériau à perméabilité $K < 10^{-9}$ m/s.

La couche inférieure de la barrière passive (dite couche d'atténuation) qualifiée à l'échelle du site aura une épaisseur de 2 m par rapport au niveau de saturation des eaux (ou du niveau rabattu) et un coefficient de perméabilité supérieur à la réglementation (K pénalisant $= 4.10^{-6}$ m/s). Il convient de **renforcer** la barrière passive pour compenser l'insuffisance de la couche d'atténuation soit par la mise en place d'un GSB soit par une surépaisseur de la couche à 1.10^{-9} m/s.

4.2.2.3 Barrière passive sur les flancs

Au-delà des 2 m de base de remontée du 10^{-9} m/s en flanc, la couche de 1 m à perméabilité $k < 1.10^{-9}$ m/s devra être reconstituée à l'aide d'un dispositif équivalent en termes de perméabilité (un GSB, par exemple).

Les propositions de structures équivalentes sur le fond et sur les flancs, pour la reconstitution de la barrière passive sont définies dans les paragraphes ci-après.

4.2.3 Etude d'équivalence de la barrière passive de la zone ISDND

L'étude d'équivalence est présentée en **annexe 9**.

Le rapport est établi conformément au "guide de recommandations à l'usage des tiers experts pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive de centres de stockage". Ce guide a été réalisé par un groupe de travail autour du Ministère de l'Environnement du Développement et de l'Aménagement Durable (MEDAD), constitué de l'ADEME, le BRGM, le CEMAGREF, CETE, INERIS et INSAVALOR.

4.2.3.1 Calculs d'équivalences en fond

La modélisation mathématique a été réalisée à l'aide du logiciel MISP_V3 développé par le BRGM. Elle permet de calculer une concentration résiduelle dans la nappe présente sous le site à partir d'une pollution potentielle unitaire traversant la barrière passive.

Le calcul d'équivalence s'appuie sur des critères qui sont volontairement pénalisant comme, par exemple :

- La perméabilité des altérites qui a été prise à 4.10^{-6} m/s (valeur pénalisante correspondant à la plus élevée des mesures réalisées sur site) ;
- Nous avons imposé une épaisseur de terrain en place au-dessus du niveau des eaux souterraines rabattu comme étant de 2 m (valeur minimum recommandée par le guide d'équivalence) ;
- Nous avons pris comme épaisseur du GSB 6 mm alors qu'il est de 8 mm une fois hydraté ;
- Nous avons imposé une valeur de perméabilité du GSB à 5.10^{-11} m/s alors qu'en pratique elle est inférieure à 3.10^{-11} m/s.

Nous avons calculé les structures suivantes :

- Cas 1 : solution réglementaire (1 m + 5 m) ;
- Cas 2 : solution équivalente avec ajout d'un GSB au-dessus de la couche de 1 m à 10^{-9} m/s ;
- Cas 3 : solution équivalente par surépaisseur de la couche à 10^{-9} m/s (1,1 m).

Les performances de solutions dites équivalentes ont été comparées au cas réglementaire (cas 1). Une structure est au moins équivalente au cas réglementaire dès lors que la concentration d'un polluant dans la nappe est inférieure à celle issue du dispositif réglementaire.

Les rapports de performances, présentés dans la figure ci-dessous, sont réalisés par rapport au cas réglementaire :

- Si le rapport est supérieur à 1 : la solution offre une protection supérieure au cas réglementaire, la solution est donc recevable ;
- Si le rapport est inférieur à 1 : la solution n'est pas recevable car le degré de protection de la structure étudiée est inférieur à celui du cas réglementaire.

Les résultats sont illustrés dans le tableau 17 en page suivante. Il en ressort que :

- En cas de mise en place d'une couche de 1 m à $K < 10^{-9}$ m/s, il convient de renforcer la structure par un GSB (cas 2), solution équivalente selon les calculs réalisés ;
- Sans renforcement par un GSB, il convient de mettre une surépaisseur minimale d'argile à $K < 10^{-9}$ m/s de 0,1 m soit une épaisseur totale de 1,1 m minimum.

	Cas Réglementaire	Renforcement par un GSB	Renforcement par surépaisseur d'argile
	Cas 1	Cas 2	Cas 2
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">1m à 10⁻⁹</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">5m à 1.10⁻⁶ m/s</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <small>133,5</small> GSB à 5.10⁻¹¹ m/s 1m à 10⁻⁹ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Silts meubles 2m à 4.10⁻⁶ m/s </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <small>133,6</small> 1,1m à 10⁻⁹ </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Silts meubles 2m à 4.10⁻⁶ m/s </div>
		<small>Eau souterraine rabattue à 130,5 m NGF</small>	
Épaisseur (m) :	6,00	3,01	3,10
k Darcy (m/s) :	5,97E-09	2,68E-09	0,00
Vitesse d'infiltration (m/s) :	1,294E-09	1,166E-09	1,272E-09
Temps de transfert (s) :	4,6E+09	2,6E+09	2,4E+09
Concentration (mg/l) :	1,62E-03	1,47E-03	1,59E-03
Rapport concentrations :	1,00	1,1025	1,0157
Amélioration (%) :		10,3%	1,6%

Tableau 17. Calculs d'équivalence de la barrière passive en fond de l'ISDND.

4.2.3.2 Cas des flancs

Selon la législation française pour la reconstitution d'une structure équivalente sur les flancs, l'épaisseur sur les flancs n'est pas spécifiée (comme illustré ci-dessus par le schéma p. 82, extrait du guide AFNOR BP X 30-438).

Pour les flancs, un calcul d'équivalence est sujet à caution. En effet, la problématique est autrement plus complexe que celle des fonds car la composante « stabilité mécanique » y est prépondérante. Ainsi, pour un GSB en flanc, dès lors qu'il n'y a pas de venues d'eaux latérales et qu'une étude de stabilité démontre la tenue à court et à long terme de la structure mise en place, l'équivalence est actée sans nécessiter un calcul d'équivalence.

Comme il n'existe pas de venues latérales et que le profil de stabilité a été justifié par une note de calcul, l'équivalence par GSB est actée sur les flancs.

4.2.4 Structure recommandée pour l'ISDND

4.2.4.1 Recommandation 1 : altitude minimale préconisée de la barrière passive

L'altitude du toit de la barrière passive reconstituée devra être placée, a minima, **3 m au-dessus du niveau des eaux souterraines (rabattu)**.

Ainsi, deux esquisses sur l'emprise initiale maximale du projet ont été réalisées en fonction de la pente du drainage (0,5 % minimum à 1 % maximum). Les esquisses correspondantes sont illustrées en figure 37 en page 93.

Dès lors que la cote du fond de forme retenu par le pétitionnaire est supérieure à celles illustrées en figure 36, elle sera conforme à nos recommandations et prendra en compte la sensibilité locale.

L'altitude du fond de forme préconisé est conforme à la réglementation.

4.2.4.2 Recommandation 2 : renforcement de la barrière passive par un GSB

Nous préconisons de reconstituer et de renforcer la barrière passive par **la mise en place d'un GSB** (préféré à une sur-épaisseur seule d'argile). En effet, cette structure « bi-couches » imperméable apportera une sécurité supplémentaire dans le sens où l'imperméabilité sera « double » (produit naturel et produit manufacturé).

La couche peu perméable mise en place en fond de forme devra avoir une épaisseur minimale de 1 m et doit se prolonger sur la base des flancs, de façon à créer une forme en « cuvette » étanche, sur une hauteur verticale de 2 m au-dessus du fond de forme (Cf. figure 35, page 87).

La constitution de la couche très peu perméable de la barrière passive doit suivre, a minima, les prescriptions suivantes :

- Planche d'essais préalable pour définir de la perméabilité du matériau pressenti afin de préciser la teneur en eau, le dosage en bentonite éventuel en cas de matériau traité et l'intensité de compactage nécessaires à l'obtention du 1.10^{-9} m/s ;
- Mise en œuvre d'une couche d'au moins 1 m d'épaisseur homogénéisée et compactée à $k < 1.10^{-9}$ m/s en fond et de 0,5 m sur les flancs jusqu'à une hauteur de 2 m par rapport au fond (*mesurée au-dessus de la couche de 1 m*) à la teneur et à l'énergie de compactage définis par la planche d'essai ;
- Contrôle in situ de la conformité des couches compactées (perméabilité et épaisseur) de manière à obtenir le coefficient de perméabilité de service à $k < 1.10^{-9}$ m/s sur 1 m d'épaisseur en fond et sur la base des flancs.

Au-dessus de cette barrière passive, sera mise en place la barrière active réglementaire (*association d'une géomembrane étanche et d'une couche drainante*).

4.2.4.3 Structure recommandée pour les flancs

Selon la législation française, pour la reconstitution d'une structure équivalente, l'épaisseur n'est pas spécifiée en flanc, comme illustré ci-dessus par le schéma p. 87 (extrait du guide AFNOR BP X 30-438).

Parmi les solutions équivalentes qui permettent de reconstituer la barrière passive, celle du GéoSynthétique Bentonitique (GSB) est fréquemment utilisée car elle satisfait aux performances hydrauliques définies par la réglementation ($k < 5. 10^{-11}$ m/s).

Le GSB est un produit industriel manufacturé pour chacun de ses composants. Parmi ceux-ci, la bentonite appartient à une famille spécifique d'argiles dont la composition chimique est importante en ce qui concerne sa perméabilité. On distingue ainsi :

- La bentonite sodique naturelle, issue de gisements nord-américain et indien ;
- La bentonite calcique activée, d'origine européenne.

Sur la totalité des flancs et en continuité du fond, nous recommandons de poser un Géosynthétique Bentonitique à bentonite sodique en nappe de 0,8 cm d'épaisseur (*en service après humidification*), dont les caractéristiques hydrauliques à $k < 5.10^{-11}$ m/s, sont au moins équivalentes à celles de la couche de 1 m à $k < 10^{-9}$ m/s.

Le GSB sera plaqué sur les flancs jusqu'à la tranchée d'ancrage au sommet du projet. L'entreprise de pose des géosynthétiques devra être certifiée ASQUAL et devra respecter l'état de l'art en matière de fourniture et pose de ces matériaux, tel que décrit dans le fascicule du *Comité Français des Géosynthétiques* relatif au GSB.

4.2.5 Cas du bassin de lixiviat

Un calcul d'équivalence complémentaire a été réalisé pour le bassin de lixiviat pour lequel la réglementation demande l'existence d'une barrière passive constituée d'une couche de 0,5 m à 10^{-9} m/s en fond et en flanc (article 11, paragraphe 2, de l'AM).

Suez envisage, en effet une reconstitution d'une barrière équivalente par un GSB comme pour le site actuel.

Les calculs ont été réalisés sur la même base que pour l'ISDND à l'aide du logiciel MISP du BRGM. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Ainsi, la barrière passive du bassin de lixiviat peut être reconstituée avec un GSB en substitution de la couche d'argile réglementaire à $K < 10^{-9}$ m/s.

	Cas Réglementaire	Renforcement par un GSB
	Cas 4	Cas 5
	0,5 m à 10^{-9}	GSB à 5.10^{-11} m/s Silts meubles à 4.10^{-6} m/s
Épaisseur (m) :	0,50	0,50
k Darcy (m/s) :	1,00E-09	5,00E-11
Vitesse d'infiltration (m/s) :	3,00E-09	1,50E-10
Temps de transfert (s) :	1,7E+08	3,3E+09
Concentration (mg/l) :	1,51E-03	7,52E-04
Rapport concentrations :	1,00	2,0019
Amélioration (%) :		100,2%

Tableau 18. Calculs d'équivalence de la barrière passive du bassin de lixiviat.

4.3 Préconisation du dispositif de drainage des eaux souterraines

4.3.1 Principe de gestion

Il convient de mettre en place un **système de tranchée drainante périphérique** au projet avec un fil d'eau à minima 3 m en-dessous de la cote du fond de forme **afin de conserver 2 m de matériaux en place désaturés** entre la base de la barrière passive reconstituée et le sommet des eaux souterraines rabattu comme proposé dans le guide d'équivalence. Le schéma de principe est présenté en figure 36 ci-dessous.

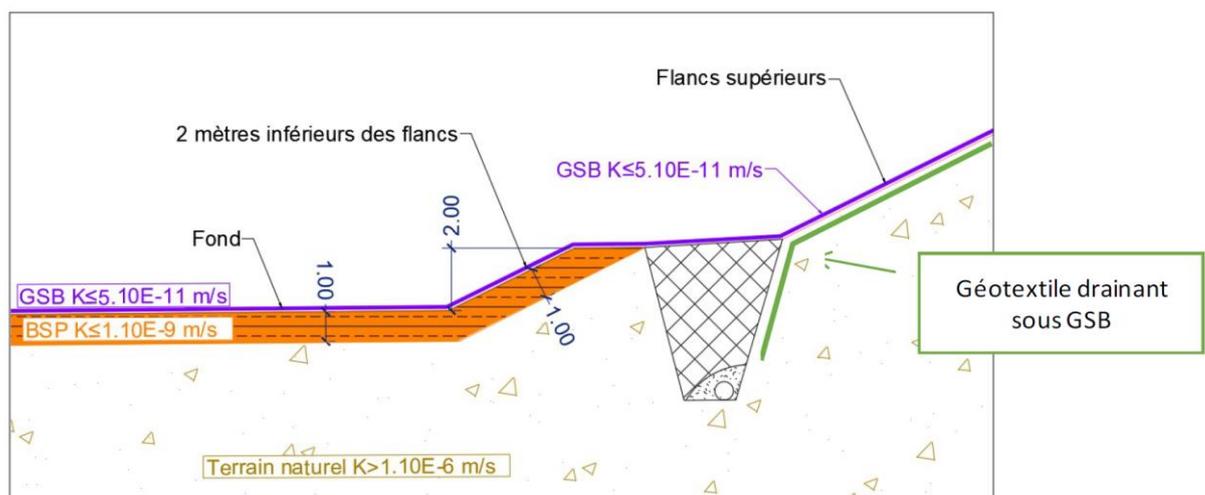


Figure 36. Coupe schématique de principe de la tranchée drainante.

Le fil d'eau de la tranchée drainante devra être à une altitude de 2 m minimum sous celle de la base de la barrière passive reconstituée. Nous recommandons de constituer la tranchée drainante comme suit :

- En fond de site et à la base des flancs, création d'une risberme intermédiaire positionnée à 2 m au-dessus du fond de forme (pour avoir la remontée réglementaire de l'argile à 10^{-9} m/s) et creusement d'une tranchée drainante au niveau de la risberme dont le fil d'eau est positionné 2 m minimum sous la base de la barrière passive reconstituée ;
- En flanc de site : mise en place d'un géotextile de drainage plaqué sur les flancs de terrassement et sous le GSB avec raccordement à la tranchée drainante.

Le dimensionnement du géotextile de drainage aussi bien en termes de débit que de stabilité devront faire l'objet d'une étude de dimensionnement. Notamment, en ce qui concerne les débits mis en jeu, nous avons calculé les débits maximums calculés en fonction de l'analyse du contexte hydrogéologique (Cf. paragraphe 4.3.3, en page 96).

4.3.2 Altitudes mini et maxi préconisées de la tranchée drainante

L'altitude du fil d'eau de la tranchée drainante est contrainte par 2 données d'entrée :

- **La cote du ou des points bas en aval** du site qui définit l'altitude minimale afin de pouvoir **rester en gestion gravitaire**. 4 exutoires sont possibles tels que montrés dans l'analyse du contexte hydrologique local (Cf. paragraphe 3.4.2, page 78) ;
- **La pente du fil d'eau de la tranchée qui ne doit pas être inférieur à 0,5 %** (pour une raison de faisabilité en phase travaux) et qui en **borne haute** pourrait **atteindre 1 %** (inutile de faire plus).

Les cotes à l'exutoire ainsi que les 2 pentes de fils d'eau correspondants aux 2 bornes des pentes de la tranchée sont illustrées dans la figure 37 en page suivante. Sur ces schémas, c'est l'emprise maximum du projet théorique qui est présenté.

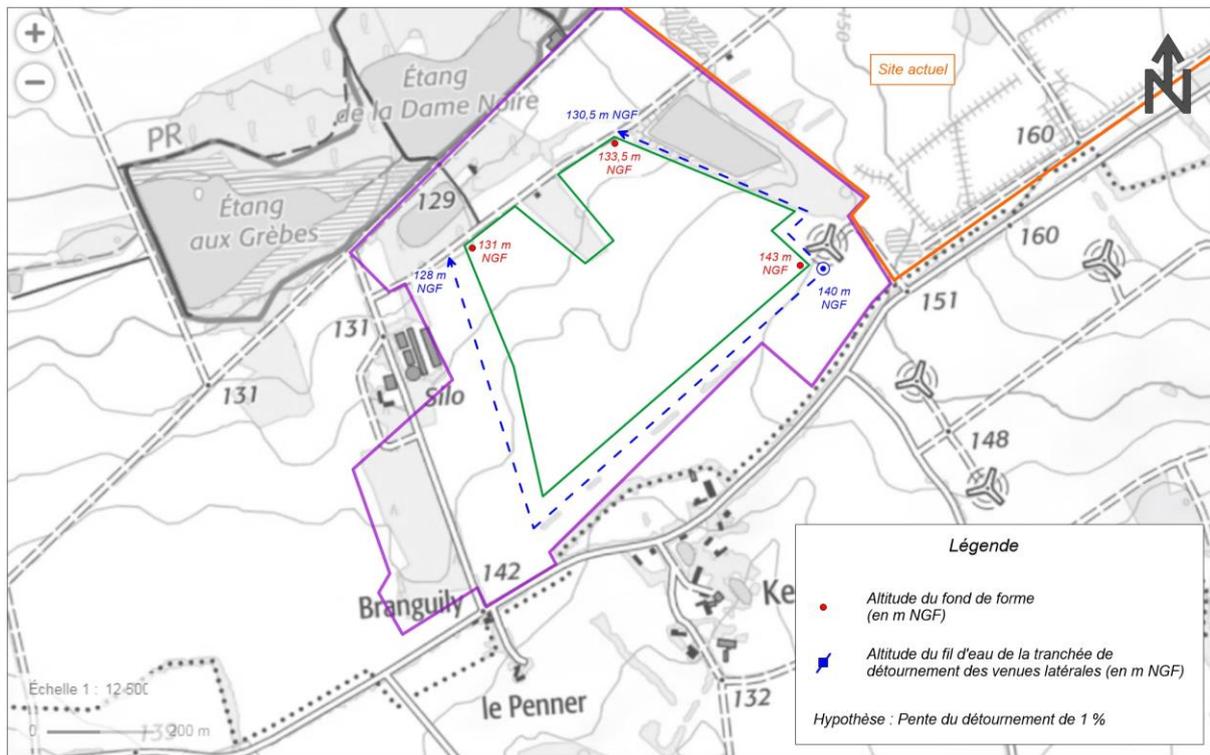
Ainsi, il y a 2 cotes imposées à l'exutoire en aval pour permettre un rejet dans le réseau existant :

- 128 m NGF au nord-ouest ;
- Et/ou 130,5 m NGF au nord).

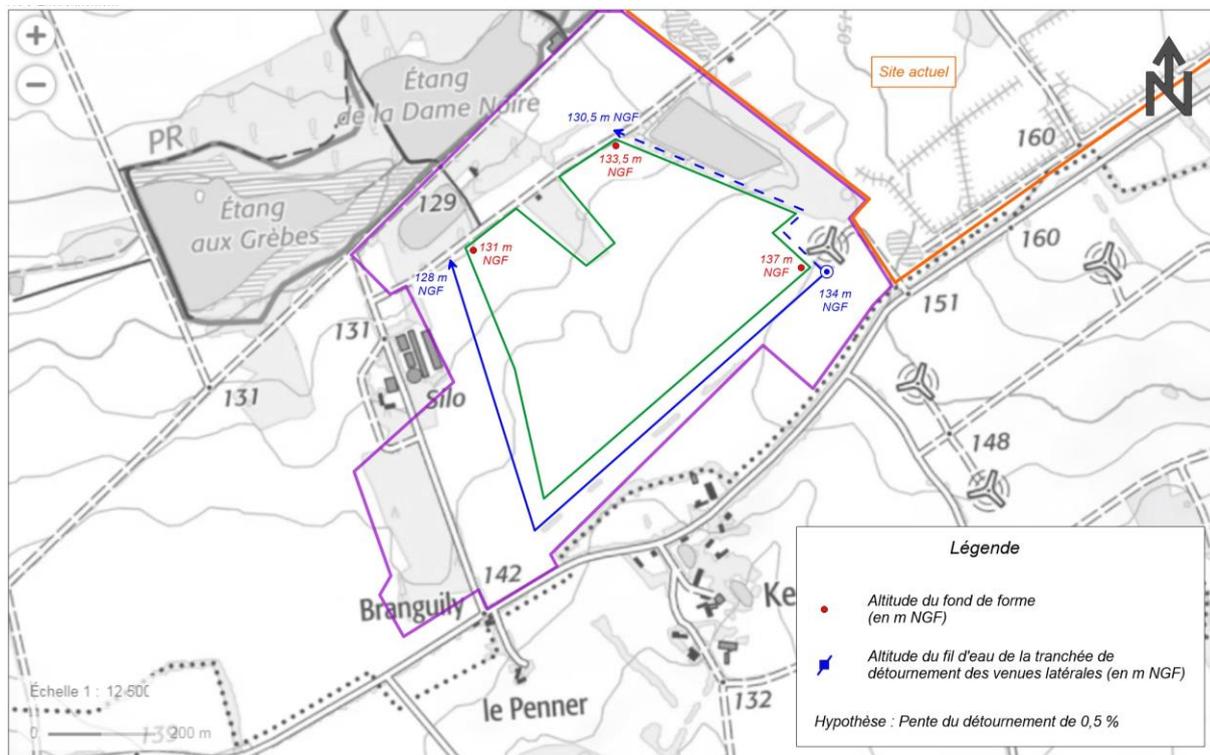
En fonction de la pente de la tranchée retenue (0,5 % ou 1 %), les cotes du fil d'eau de la tranchée drainante (en pointillé bleu) sont renseignées dans la figure 37.

L'altitude du fond de forme correspondante est figurée en rouge selon les 2 hypothèses :

- Elle varierait de 143 à 131 m NGF du sud-est vers le nord-ouest pour un fil d'eau de tranchée drainante penté à 1% ;
- Elle pourrait être optimisée et varier de 137 à 131 m NGF en cas d'une pente de fil d'eau à 0,5 %.



Hypothèse 1 : pente du drainage maximum à 1 %



Hypothèse 2 : pente du drainage minimum à 0,5 %

Figure 37. Altitudes du fil d'eau de la tranchée drainante et fond de forme associé.

4.3.3 Débits et volumes mis en jeu

Le calcul du débit spécifique à détourner par la tranchée drainante et les volumes annuels induits ont été réalisés afin de permettre le dimensionnement des dispositions constructives (capacité de drainage du géotextile en flanc, taille de la tranchée drainante et volume du bassin de stockage en aval) et ce en fonction du projet retenu par Suez (présenté en figure 34, en page 81).

Les débits et volumes mis en jeu ont été calculés en conditions pénalisantes en fonction des lois qui régissent les écoulements souterrain (loi d'assèchement de fouille dérivée de la loi de Darcy). Ainsi, et pour les données d'entrées pénalisantes suivantes :

- Pour un périmètre de stockage de 17 000 m² ;
- Avec une profondeur de tranchée drainante variant de 2,5 m au centre nord à près de 10,4 m dans l'angle Est (moyenne 6 m) ;
- Avec une hauteur de nappe prise en conditions de hautes eaux telles que définies dans la présente étude (voir figure 30, en page 70, soit 3 m de hauteur d'eau en moyenne) ;
- Et avec une perméabilité prise à 4.10^{-6} m/s ;

La tranchée drainante devra détourner un **volume annuel**, selon la loi d'assèchement de fouille, de **22 500 m³/an** soit un **débit de 2,6 m³/h à l'exutoire**.

Pour information, selon les lois de l'hydraulique, en prenant un bassin versant amont maximum théorique de 5,7 ha (d'après la carte topo à 1/25000) et pour une pluie efficace de 250 mm/an), on aurait un volume correspondant en provenance de l'amont de 14 500 m³/an soit un débit de 1,6 m³/h à l'exutoire.

Le **débit spécifique maximum par section unitaire d'écoulement (pour 1 mètre linéaire du périmètre)**, serait de l'ordre de **2,2 l/h** (selon la loi de Darcy et pour la perméabilité maximum de 4.10^{-6} m/s).

4.4 Mesures de protection de la qualité des eaux

4.4.1 Réseau de contrôle de la qualité des eaux souterraines pour la zone d'extension

La réglementation prévoit des mesures de contrôle de la qualité des eaux souterraines par la mise en place d'un réseau piézométrique sur la totalité du site avec a minima 1 piézomètre à l'amont et 2 piézomètres à l'aval.

Le réseau nécessaire et suffisant pourrait être constitué comme suit (voir localisation en figure 30, en page 70) :

- Un piézomètre amont : PZ amont existant à l'Est ;
- Trois piézomètres à l'aval : PZ aval nord et PZ aval nord-ouest et PZ aval nord-ouest.

Il n'est pas utile d'intégrer l'ouvrage noté PZaval sud dans le réseau de contrôle vu sa position (latérale).

4.4.2 Mode et point de rejet envisageables

Quatre points de rejets ont été identifiés en aval immédiat du site avec la définition d'une cote du fil d'eau respective. Il conviendra de rejeter dans un de ces points et de faire en sorte d'acheminer les eaux au bassin tampon du site actuel présent en aval du projet.

En aval de ce bassin, les eaux sont évacuées par surverse dans un gros fossé en fond de vallée qui contourne les étangs présents dans le sous-bassin versant hydrographique voisin. Ce fossé permettra vraisemblablement de gérer les eaux générées par le site (le fossé permet un débit de plus de 2 m³/s).

4.5 Etude de stabilité

ACG Environnement n'a pas les compétences en termes d'études de stabilité. Les études ont donc été réalisées par Technosol, bureau d'études aguerri à de telles missions. Elles ont été réalisées en appui du projet technique sur la base des données géotechniques acquises sur le site et en respect des règles de l'art (logiciel Talren). Les études sont de type G2AVP. Elles sont détaillées en annexe 10 du dossier de qualification.

Trois calculs ont été réalisés par Technosol en collaboration avec ACG Environnement (étude de qualification géologique) et l'assistant au maître pour le projet retenu par Suez :

- A. Stabilité au décaissement vers l'intérieur (pente interne de 2H/1V) au droit de la zone potentielle la plus profonde du site (profil pénalisant) ;
- B. Calcul de stabilité de la digue périmétrique vers l'intérieur où son emprise est plus importante (4,9 m de surélévation pour un talus interne en 2H/1V) ;
- C. Calcul de stabilité vers l'extérieur du site réaménagé pour le projet retenu par Suez pour le profil potentiellement le plus pénalisant (au point le plus haut du réaménagement).

4.5.1 Stabilité au décaissement

Le profil étudié correspond au profil le plus profond avec un fond de **terrassement à 138,29 m NGF** au droit du décaissement potentiel maximum (TN à 146,31 m NGF soit un rampant de 8,02 m) avec une pente de talus de **2H/1V**.

Les caractéristiques géomécaniques des matériaux constitutifs du site (allotérites et isaltérites) sont celles définies à partir des données acquises au laboratoire à partir des prélèvements représentatifs sur site (voir paragraphe 4.1, pages 82 à 85).

Les calculs pertinents repris de l'étude de Technosol sont illustrés dans la figure 42 en page suivante.

Les coefficients de sécurité sont au minimum de 2,14 (> 1,3 et même > 1,5) : la stabilité au décaissement est assurée et même hautement sécuritaire pour les pentes étudiées avec les caractéristiques géomécaniques déduites des données acquises sur site.

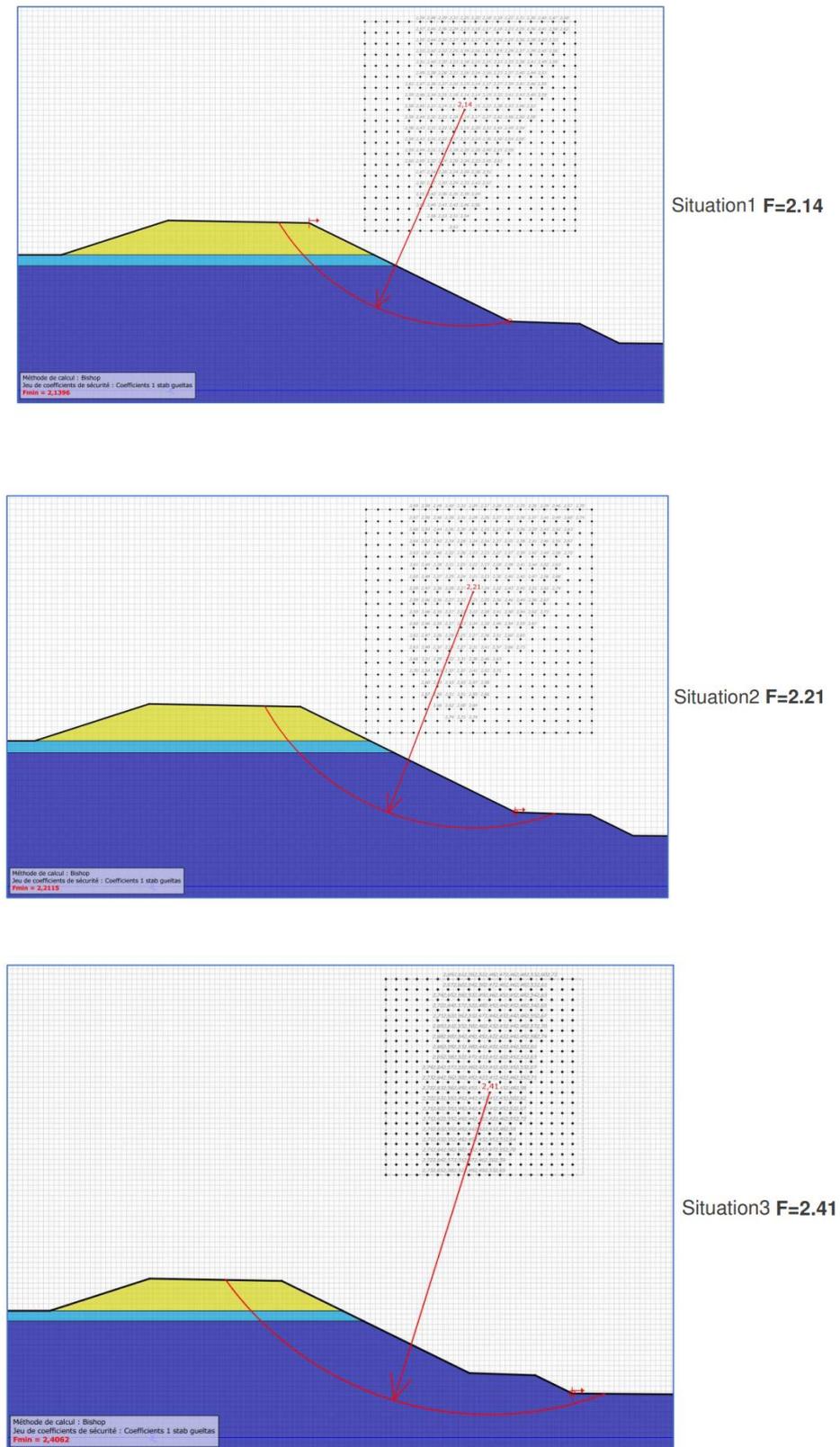


Figure 38. Profil de stabilité au décaissement (Technosol).

4.5.2 Stabilité de la digue périmétrique

Il a été modélisé une **digue périmétrique théorique maximum (4,9 m de haut et 5 m de large avec des pentes de 2H/1V en intérieur et en extérieur)** ceinturant le site. Les résultats sont présentés dans la figure 43 ci-dessous.

Les résultats montrent une stabilité assurée pour la géométrie étudiée avec un coefficient de stabilité minimum de $2,38 > 1,5$ (profil hautement sécuritaire).

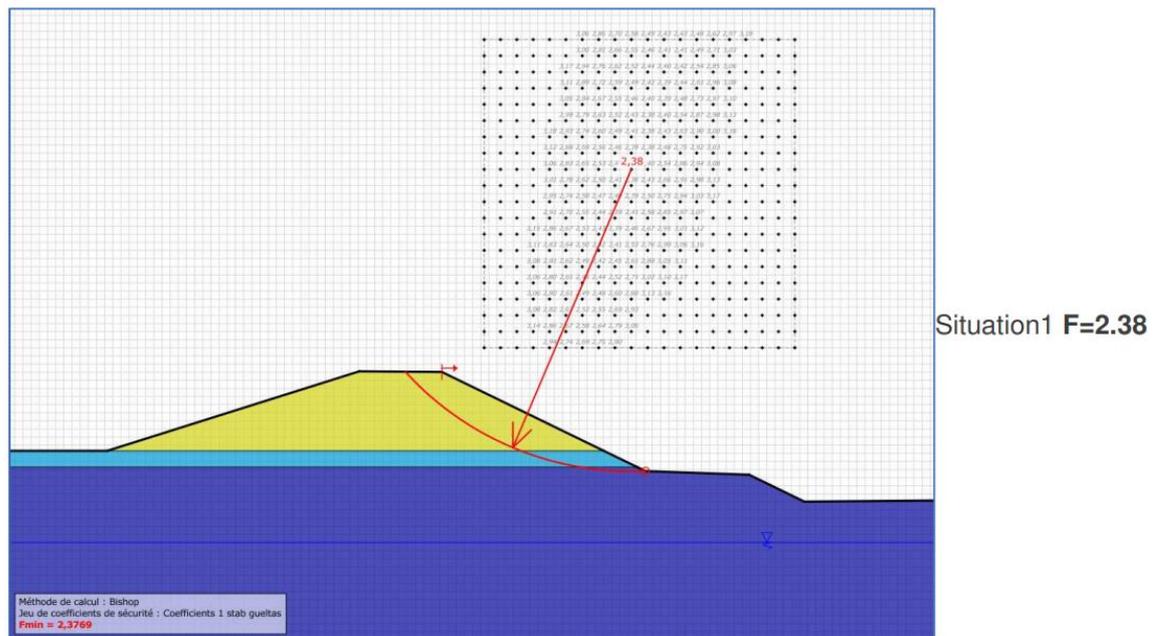


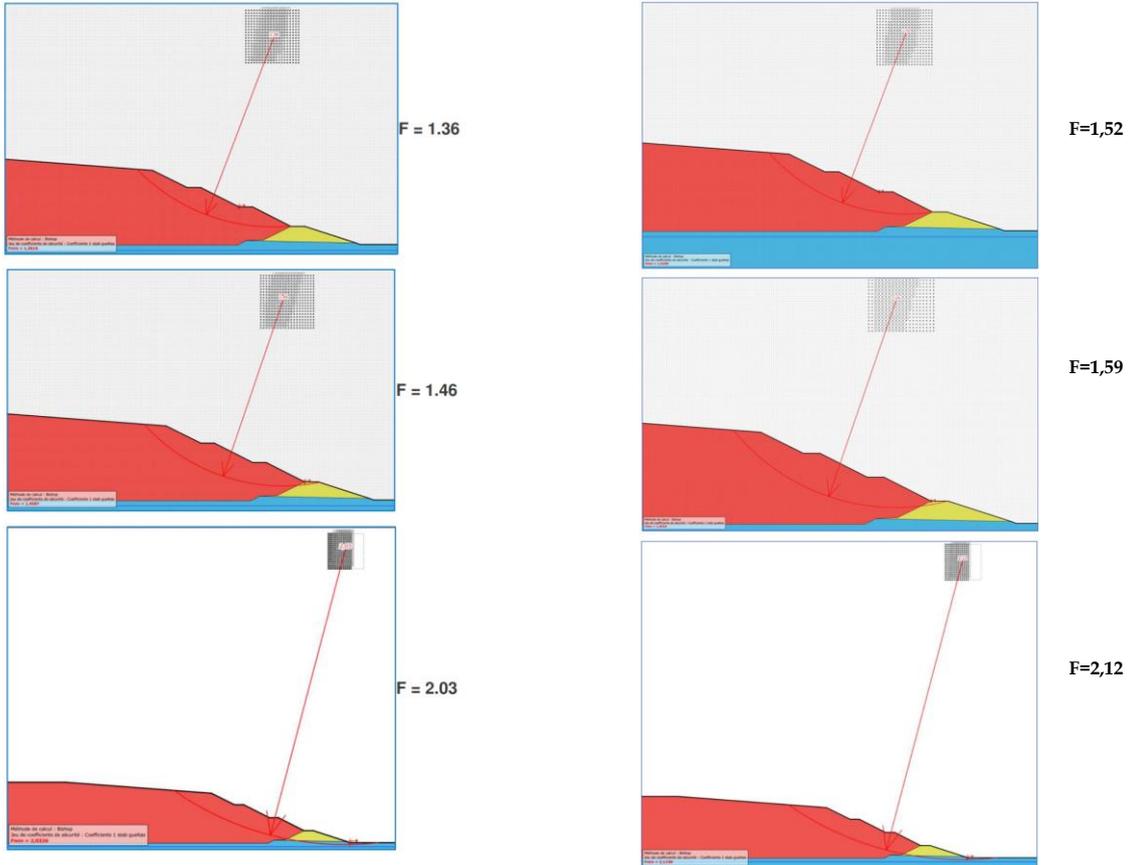
Figure 39. Profil de stabilité de la digue périmétrique maximum (Technosol).

4.5.3 Stabilité du projet retenu en configuration site réaménagé

La stabilité du projet retenu a fait l'objet d'un calcul de stabilité en configuration site réaménagé pour le profil le plus pénalisant passant au droit du point haut de réaménagement fixé à 147 m NGF. Les résultats sont présentés dans la figure 40 en page suivante.

Avec des caractéristiques de déchets pénalisantes (5 kPa de cohésion), on n'obtient pas les coefficients requis à long terme ($F=1,36 < 1,5$) tout en restant tout proche du seuil recherché. Pour avoir $F > 1,5$, il faudrait une cohésion de déchets légèrement supérieur à 8 kPa ce qui semble tout à fait réaliste (à confirmer en phase travaux).

Phase 1, situations 1, 2 et 3



Déchets à 5 kPa

Déchets à 8 kPa

Figure 40. Stabilité vers l'extérieur du site réaménagé pour le projet retenu par Suez.

5

Conclusion

La mission réalisée suit les recommandations du « *Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques de sites d'installations de centres de stockage de déchets* » de décembre 2009.

Les mesures et observations sont suffisamment nombreuses pour être représentatives ; les données sont suffisamment précises et variées pour qu'une interprétation objective puisse être proposée.

Le volume important de données sur ce site (existantes et nouvelles acquises) permet d'élaborer un diagnostic favorable à l'implantation de l'extension de l'Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux.

Les paragraphes ci-après sont la reprise des conclusions d'étapes du présent rapport.

5.1 Etude d'aptitude

L'étude d'aptitude aux échelles régionales et locales a été réalisée à partir de sources bibliographiques et documentaires. Le site répond aux critères d'aptitude tels que définis par la Guide de Bonnes Pratiques de l'AFNOR (*BP X 30-438*), paru en décembre 2009, pour la reconnaissance de sites d'installation de stockage de déchets.

Les critères d'aptitude géologique, hydrogéologique et hydrologique aux échelles régionales et locales **restent globalement favorables (peu contraignants) à une poursuite d'exploitation de l'ISDND, sous réserve de la mise en place de mesures compensatoires** comme la reconstitution et le renforcement de la barrière passive réglementaire.

Contexte géologique :

Les données géologiques et structurales acquises aux échelles régionales et locales sont les suivantes :

- La zone d'études appartient au Massif Armoricaïn et plus spécifiquement au « Domaine Varisque de Bretagne centrale », composé par les roches les plus anciennes du massif (datant du Briovérien) ;
- Ces roches anciennes silteuses (anciens sédiments marins légèrement métamorphosés) ont subi l'effet du temps et ont été altérés en sables argileux sur plus de 30 m (altérites). Ces produits d'altération sont les horizons les plus favorables à l'échelle régionale à former la barrière de sécurité passive (notion de base des ISDND, 5 m à perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s) ;

- Le site est localisé en domaine de plateau, zone la plus favorable :
 - Tectoniquement parlant car en dehors des couloirs de failles que caractérisent les vallées principales d'orientation sub-méridienne (à N20) ;
 - Et géologiquement parlant car où l'épaisseur d'altérites est la plus importante.

Compte tenu de ces éléments, le contexte géologique et structural régional et local est jugé favorable dès lors que le projet est localisé en domaine de plateau et ancré dans les horizons altérés.

L'aire d'étude géologique est définie spatialement par le plateau qui porte le site et en profondeur par la présence des altérites de socle (30 m).

Cela étant dit, il conviendra d'être vigilant quant à la présence possible de failles de tensions (filons de quartz) connus dans le secteur (hétérogénéité locale) qu'il conviendra d'étudier en phase de qualification. Il conviendra, vraisemblablement également, de reconstituer la couche supérieure imperméable de la barrière passive (1 m à $K < 10^{-9}$ m/s).

Contexte hydrogéologique :

Les données hydrogéologiques acquises à l'échelle régionale sont les suivantes :

- Le site de Gueltas est localisé dans le domaine varisque de Bretagne centrale qui se caractérise par la présence de roches anciennes schisteuses ayant subi une altération intense tant et si bien que la roche mère profonde se situe à plus de 30 m de profondeur sous des horizons altérés argilisés peu perméable ;
- Cette couverture peu perméable induit l'absence de ressource en eau souterraine substantielle qui se concentre aléatoirement et uniquement au gré des fractures profondes de la roche mère saine et à forte profondeur (Les fractures de la roche jouent un rôle de drain des eaux infiltrées).
- Ainsi, il n'y a pas de captages AEP dans le secteur du fait de l'absence de ressource.

Pour ces raisons, le contexte hydrogéologique est favorable.

Le site est localisé en domaine de plateau où la couverture d'altérites est de facto plus importante qu'en domaine de vallée (point favorable). Cependant, l'absence de pente topographique substantielle conjuguée à la nature peu perméable des altérites induisent, a priori, une cote de saturation peu profonde (les altérites jouent un rôle du capacitif en retenant l'eau d'infiltration pluviale). Ce point est à étudier finement en phase d'études de qualification car elle contraint nécessairement la cote du fond de forme du site.

L'aire d'études hydrogéologiques est définie spatialement par le bassin versant hydrographique (et donc hydrogéologique) qui inclut le site et en profondeur par celle du premier niveau d'eau (saturation naturelle des horizons d'altération du socle).

Le contexte hydrogéologique reste favorable sous réserve de positionner le fond de forme du site au-dessus du niveau de saturation des altérites ou sous réserve d'une gestion des eaux sa saturation à même d'assurer un drainage du niveau pour des raisons évidentes de faisabilité hydrogéologique.

Les critères positifs pour le choix du site à l'échelle régionale sont les suivants :

1. En faveur de son aptitude géologique :

- La présence à l'affleurement et sur des épaisseurs substantielles des altérites, unité géologique qui représente la formation la plus favorable et la plus apte à former la barrière passive du site à l'échelle régionale ;

2. En faveur de son aptitude hydrogéologique :

- L'absence de nappe au sens hydrogéologique du terme dans les altérites ;
- L'absence de captages d'eau potable potentiellement vulnérables au site.

5.2 Etude de qualification

5.2.1 Qualification géologique du site

Les caractéristiques des formations géologiques constituant le substratum du site sont clairement identifiées par les nombreux forages effectués (sondage carotté, sondages à destructifs, diagraphies, campagne de mesures géophysiques).

Le substratum géologique du site (siltite du Briovérien) a été altéré et on observe toute la succession classique des différents degrés d'altération en fonction de la profondeur. Ainsi, la succession lithologique locale est la suivante (de la base vers le sommet) :

- Le socle sain n'a pas été touché en sondage (à plus de 30 m) mais a été reconnu à près de 45 m en géophysique ;
- Le toit du socle altéré et induré (premier degré d'altération du socle) dessine une interface très légèrement pentée vers le Nord-Ouest (1,2%) en accord avec la topographie de la zone étudiée. La cote du toit varie de 133,5 m NGF au sud-ouest à 127,5 m NGF pour une cote moyenne d'environ 131 m NGF ;
- Les altérites meubles (islatérites argileuses et allotérites silteuses) ont partiellement été érodées en direction de la vallée au Nord du site (exutoire naturel des eaux de ruissellement). L'épaisseur de ces formations dites de couverture varie de 12,5 m sur le plateau au Sud à 1,5 m à proximité de la vallée au nord.

D'un point de vue structural, les investigations géophysiques ont montré l'extrême homogénéité des formations (électromagnétisme et panneaux électriques) sur au moins 30 m (pas de discontinuités). Notamment, la faille voisine notée sur la carte géologique (observable à travers des filons de quartz) pourrait se prolonger au droit du site (possiblement visible en fond de panneau à 45 m de profondeur) mais n'a pas d'effet sur le projet (faille de tension sans décalage et/ou estompée dans les altérites).

Dans le cadre du projet de SUEZ, il est préférable de s'ancrer dans les altérites meubles, formation la moins contraignante et la plus apte à former la barrière de sécurité passive du site.

Les essais de perméabilité in situ selon la norme en vigueur au droit de 12 sondages (NFX30-423) ont été réalisés sur site et ont donné une valeur de perméabilité moyenne de $9,5 \cdot 10^{-7}$ m/s pour les horizons constitutifs de la barrière passive en place. Les altérites silteuses sont à caractère semi-perméables en grand. Néanmoins, localement le seuil des 10^{-6} m/s est dépassé sur quelques valeurs tout en restant toujours proche de la valeur seuil.

Ainsi, le contexte géologique local est jugé peu contraignant et même favorable sous réserve de mise en place de mesures compensatoires répondre aux exigences réglementaires, avec en particulier :

- La reconstitution du mètre supérieur de la barrière passive à $k < 1 \cdot 10^{-9}$ m/s ;
- Le renforcement de la barrière passive du fait de l'absence partielle des 5 m à $k < 10^{-6}$ m/s (épaisseur acquise mais perméabilité supérieure ponctuellement).

La structure proposée devra être validée par un calcul d'équivalence de la barrière passive.

5.2.2 Qualification hydrogéologique du site

La nature silteuse (texture fine) des horizons d'altération du socle présents sur plus de 30 m avec une perméabilité très faible (10^{-6} m/s) conjuguée à l'absence de pente en domaine de plateau comme c'est le cas au droit du site (pas de drain naturel) induisent une saturation des altérites (fonction capacitive). Un écoulement lent (1 à 2 m par an) s'effectue des points hauts topographiques vers les axes de drainage que forment les fonds de vallée (concordance entre les bassins versants hydrographiques et les bassins versants hydrogéologiques).

Les 11 piézomètres présents (les 6 sur l'ISDND actuelle et les 5 nouveaux pour la présente étude) ont permis de tracer l'esquisse piézométrique locale qui confirme les données développées dans l'étude d'aptitude régionale : au droit de la zone de poursuite d'activité, la nappe s'écoule d'Est en Ouest avec un gradient de 2,2 % en direction de la Belle-Chère (affluent de l'Ével/Blavet) qui draine les eaux. Le niveau piézométrique s'échelonne de 145 m NGF en amont à l'Est à moins de 130 m NGF en aval à l'ouest avec un niveau à faible profondeur (moins de 3 m).

La grandeur mathématique des caractéristiques hydrodynamiques acquises sur les 5 nouveaux piézomètres ajoutées aux mesures de perméabilité au sein des altérites ont confirmé le caractère non aquifère des horizons d'altération (formation semi-perméable).

Le seul niveau de nappe potentiellement productif est contenu en profondeur au droit du socle sain quand il est fracturé (drain donc écoulement possible). Il n'a pas été touché sur site (investigations jusqu'à 30 m de profondeur). L'aquifère profond n'est pas vulnérable (forte profondeur et couverture semi-perméable importante). Néanmoins, les eaux de saturation sont fortement vulnérables aux pollutions de surface (niveau sub-affleurant).

La faible profondeur de la cote de saturation implique la mise en place d'un système de drainage en amont qu'il convient de dimensionner (en phase de préconisations techniques) afin de s'assurer de la non sollicitation de la barrière passive reconstituée et donc de la faisabilité technique du projet.

Compte-tenu des éléments développés ci-avant, le contexte hydrogéologique est considéré comme favorable à l'implantation du projet :

- **Sous réserve de la mise en place des barrières de sécurité passives et actives conformes à la réglementation ;**
- **Sous réserve de la mise en place d'un système de drainage des eaux de saturation en amont du site dans le cas où il serait dimensionné un projet plus profond que celle de la cote de saturation ;**
- **Et sous réserve de rejets d'eau de surface conformes aux seuils réglementaires.**

5.3 Préconisations techniques

La structure et l'altitude de la barrière passive ont été déterminées par un calcul d'équivalence. Le projet est recevable eu égard à l'arrêté ministériel et même sécuritaire d'un point de vue protection de la ressource en eau sous réserve :

1. De rabattre les eaux souterraines par un système de tranchée drainante périphérique afin de maintenir a minima 2 m de terrain en place non saturé entre le niveau rabattu et la base de la barrière passive reconstituée ;
2. De reconstituer la couche à $k < 1.10^{-9}$ m/s en fond de site par apport d'argile extérieur ou par tout autre moyen démontrant l'obtention du seuil des 10^{-9} m/s (traitement des silts du site à la bentonite par exemple) ;
3. De mettre en place, en fond et en flanc un GSB sodique ;
4. De décaisser la zone de stockage selon les pentes talutaires internes de 2H/1V ;
5. Et selon le profil de réaménagement défini dans le projet technique qui est stable à long terme selon les calculs de stabilité réalisés sous Talren sous réserve d'une cohésion de déchets à 8 kPa minimum.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

ADES : Accès aux Données sur les Eaux Souterraines ;

AFNOR : Agence Française de NORmalisation ;

A.E.P. : Alimentation en eau potable ;

A.M. : Arrêté Ministériel du 15 février 2016 ;

A.R.S. : Agence Régionale de la Santé ;

B.R.G.M. : Bureau de Recherches Géologiques et Minières ;

B.S.S. : Banque de données du Sous-Sol ;

D.D.A.E. : Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale ;

I.S.D.N.D. : Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux ;

GTR : GéoTechnique Routière ;

I.G.N. : Institut Géographique National ;

K : coefficient de perméabilité, s'exprime en m/s ;

M.a : Million d'années ;

N.G.F. : Nivellement Général de la France ;

O.P.N. : Optimum Proctor Normal

S.D.A.G.E. : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux ;

TN : Terrain Naturel ;

V.B.S. : Valeur de Bleu Spécifique

W_{nat} ou **W_{opn}** : Teneur en eau naturelle ou à l'optimum Proctor.

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Carte géologique de la France 1/50 000 n°314 LOUDEAC, BRGM éd.

Carte géologique de la France à 1/1 000 000. J. Chantraine, A. Autran, Cl. Cavelier. *BRGM éd.*, 6^{ème} édition, 1996.

Carte topographique 1/25 000 de Loudéac / La Trinité-Porhoët, n°0918SB, IGN Paris.

Arrêté ministériel relatif aux installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) du 15 février 2016.

Guide de recommandations pour l'évaluation de « l'équivalence » en étanchéité passive d'installation de stockage de déchets. Version 3. *MEEDAT*. Décembre 2019.

Aptitude hydrogéologique de sites de stockage de déchets ultimes non dangereux. B. Mouthier, *Géologues n°160*, pp. 95-101, 2009.

Guide de bonnes pratiques pour les reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques de sites de centres de stockage de déchets. FD X 30-438, *AFNOR*, juillet 2017.

Détermination du coefficient de perméabilité d'un terrain par essai à charge variable en forage ouvert. NF X30-423, révisée, *AFNOR*, 30p. septembre 2011.

Guide de recommandations pour la conception et l'évaluation de dispositifs « d'équivalence » en étanchéité passive d'installations de stockage de déchets - Version 3, décembre 2019.