

ANNEXES - Volume 4 ETUDE HYDROGEOLOGIQUE



Parc éolien des Colchiques

COMMUNES D'ACCOLANS, BOURNOIS, MANCENANS ET SOYE

Département du DOUBS (25)

Février 2021 – Version consolidée Février 2024

H2air
29, rue des Trois Cailloux
80000 Amiens
www.h2air.fr



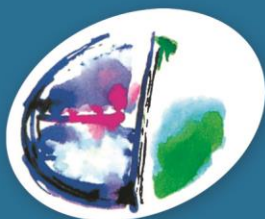


ETUDE HYDROGEOLOGIQUE
Note de synthèse

Bureau d'études
d'ingénierie,
conseils, services

Projet de Parc Eolien Colchique

Note hydrogéologique sur l'impact potentiel des travaux sur les captages en eau potable du secteur



Sciences Environnement



Décembre 2021 – Ver 2.2

Ce dossier a été réalisé par :

Sciences Environnement
Agence de Besançon

Pour le compte : de H2air SAS

Personnel ayant participé à l'étude :

Ingénieur de projet : Sébastien LIBOZ

Révisions du dossier :

- *Version 1.0 de novembre 2019 : Version initiale*
- *Version 1.1 de décembre 2019 : Version approuvée*
- *Version 1.2 de juin 2020 : Version consolidée*
- *Version 2.1 de novembre 2021 : Version réactualisée*
- *Version 2.2 de décembre 2021 : Version réactualisée approuvée*

Sommaire

1	Introduction	5
2	Contexte géologique et hydrogéologique	7
3	Description des principaux exutoires du secteur	9
3.1	Source captée pour l'alimentation en eau potable	9
3.1.1	Forage de la Sarre	9
3.1.2	Source du Crible	12
3.1.3	Forage des Corvées	14
3.2	Source de Mancenans	14
4	Sensibilité du projet de parc éolien vis-à-vis des zones de captage	15
4.1	Forage de la Sarre	15
4.2	Source du Crible	15
4.3	Forage des Corvées à Courchaton	16
5	Enjeux et mesures sur la ressource en eau	17
5.1	Turbidité de l'eau et risques vis-à-vis des hydrocarbures	17
5.2	Réseau enterré	20
5.3	Création des fondations	20
5.3.1	Etude géotechnique de chaque site et notamment de l'épikarst	20
5.3.2	Mesures prévues pour éviter toute migration de béton lors de la mise en place de la fondation	21
5.4	Suivi en continu du forage de Soye durant toute la durée du chantier	25
5.4.1	Alternatives pour l'alimentation en eau du village de Soye en cas de pollution	25
5.5	Période d'exploitation	27

Liste des figures

Figure 1	: Localisation du projet	4
Figure 2	: Extrait de la géologie au 1 / 50 000 ^e	6
Figure 3	: Log stratigraphique local simplifié	8
Figure 4	: Zone de protection des captages et résultats des principaux traçages	10
Figure 5	: Schéma conceptuel de fonctionnement du forage de la Sarre	11
Figure 6	: Coupe hydrogéologique interprétative du système karstique de la source du Crible	13
Figure 7	: Principe de réalisation du Jet Grouting	22
Figure 8	: Principe de réalisation de l'injection solide de type CHS	24

Annexe 1	: Listes des risques et des moyens de maîtrise liés à la mise en place d'éoliennes	29
----------	--	----

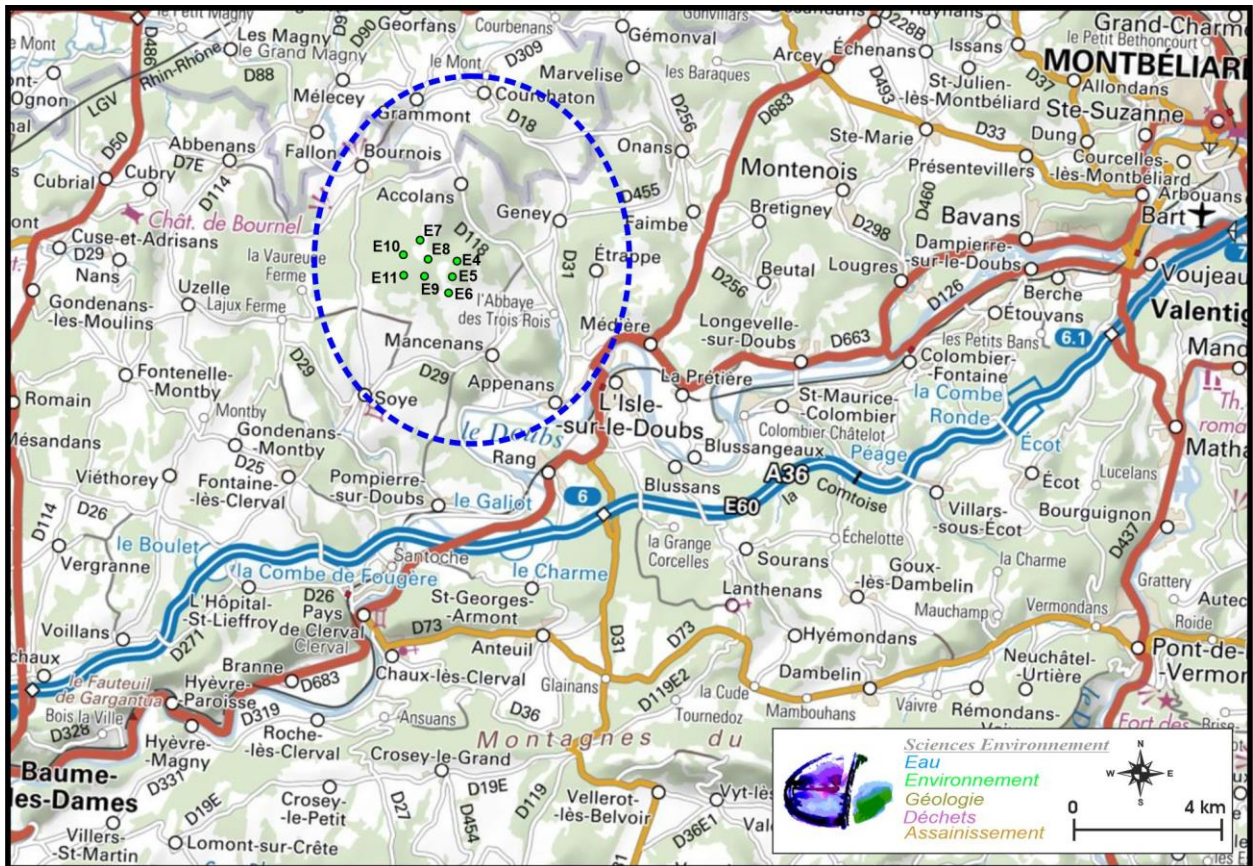


Figure 1 : Localisation du projet

1 Introduction

Le projet éolien « Colchique », porté par la société H2air, prévoyait la construction de 11 éoliennes implantées sur le territoire des communes d'Accolans, Bournois, Mancenans et Soye au nord du département du Doubs.

Plusieurs machines étant implantées au sein de périmètres de protection éloignée de captages d'eau potable, une expertise hydrogéologique complétée par la réalisation d'une opération de traçages des eaux souterraines a été réalisée janvier 2020 afin de préciser la vulnérabilité du projet vis-à-vis de la ressource en eau potable.

Après examen des résultats présentés, l'hydrogéologue agréé désigné par les services de l'Agence Régionale de Santé du Doubs pour porter avis sur le projet d'implantation des éoliennes dans le bassin d'alimentation de plusieurs points de captage d'eau potable a formulé un avis défavorable à la mise en place de 3 éoliennes situées dans le bassin versant de la source karstique dite de la Fontaine du Crible en raison de sa vulnérabilité très importante.

Ainsi, l'objectif de ce rapport est d'actualiser et compléter, en intégrant les demandes de compléments, le volet hydrogéologique du projet Colchique réduit à 8 éoliennes nommées de E4 à E11.

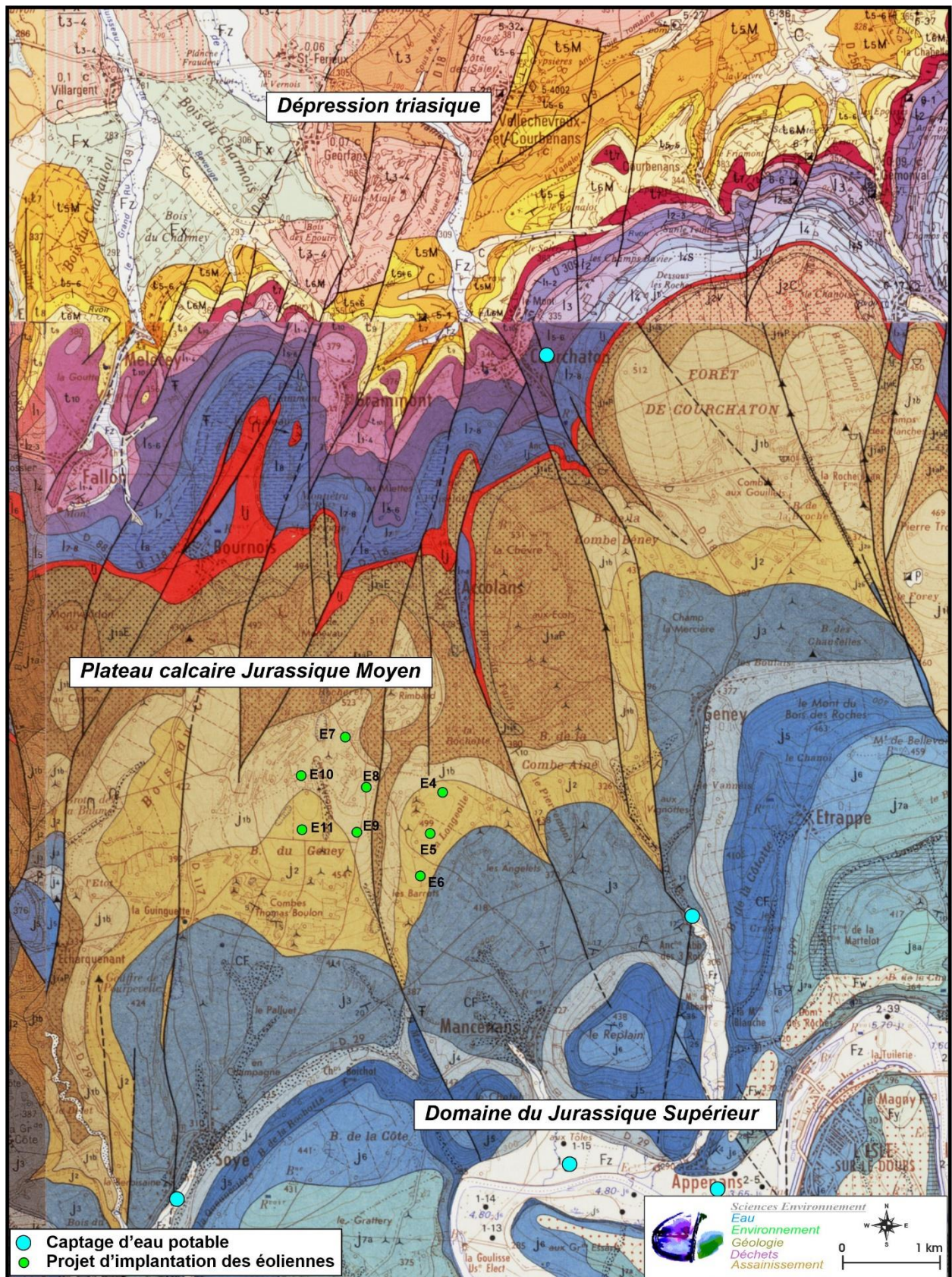


Figure 2 : Extrait de la géologique au 1 / 50 000°

2 Contexte géologique et hydrogéologique

Le projet de parc éolien Colchique est implanté au cœur de la zone de plateaux pré-jurassiens limités au nord par la dépression Permo-triasique séparant le massif du Jura et celui des Vosges et au sud par la vallée du Doubs.

Dans le secteur d'étude, toute l'ossature du plateau est composée par l'importante série de calcaires massifs du Jurassique Moyen qui affleurent en couche monoclinale avec un pendage modéré, orienté en direction de la vallée du Doubs.

Ces niveaux calcaires dont l'épaisseur varie de quelques dizaines à plus d'une centaine de mètres entre le nord et le sud du plateau, reposent sur l'ensemble globalement imperméable du Lias qui affleure au nord du plateau en formant une cuesta bien marquée dominant la dépression triasique de Haute-Saône.

Du fait de l'étagement géologique, l'ossature du plateau qui borde la vallée du Doubs est constituée par les niveaux calcaires du Jurassique supérieur qui sont séparés de ceux du Jurassique moyen par un niveau de marnes bleues imperméables d'âge Oxfordien dont la présence est soulignée par une petite zone en dépression à proximité de laquelle sont implantés les villages de Soye et Mancenans.

Cet ensemble tabulaire est affecté par de grands accidents tectoniques d'orientation subméridienne dont le rejet peut localement atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Du point de vue hydrogéologique, les calcaires du Jurassique moyen forment ainsi un aquifère karstique particulièrement bien développé qui se distingue notamment par :

- la présence de nombreuses dolines et dépressions fermées,
- la présence de gouffres, de grottes et d'importants réseaux souterrains visitables,
- la quasi-absence d'écoulement de surface sur l'essentiel du plateau et des écoulements souterrains qui se concentrent dans des sources peu nombreuses mais au débit relativement important.

Une vingtaine d'opérations de traçage des eaux souterraines sont recensées sur le secteur d'étude dont les résultats témoignent d'une concentration des écoulements en direction de la vallée du Doubs selon trois exutoires principaux, tous localisés près du contact entre les calcaires du Jurassique moyen et les marnes de l'Oxfordien :

- Le système de Gourdeval – Soye à l'ouest
- Le système de Mancenans
- Le système de l'Abbaye des 3 Rois à l'est du territoire de Mancenans.

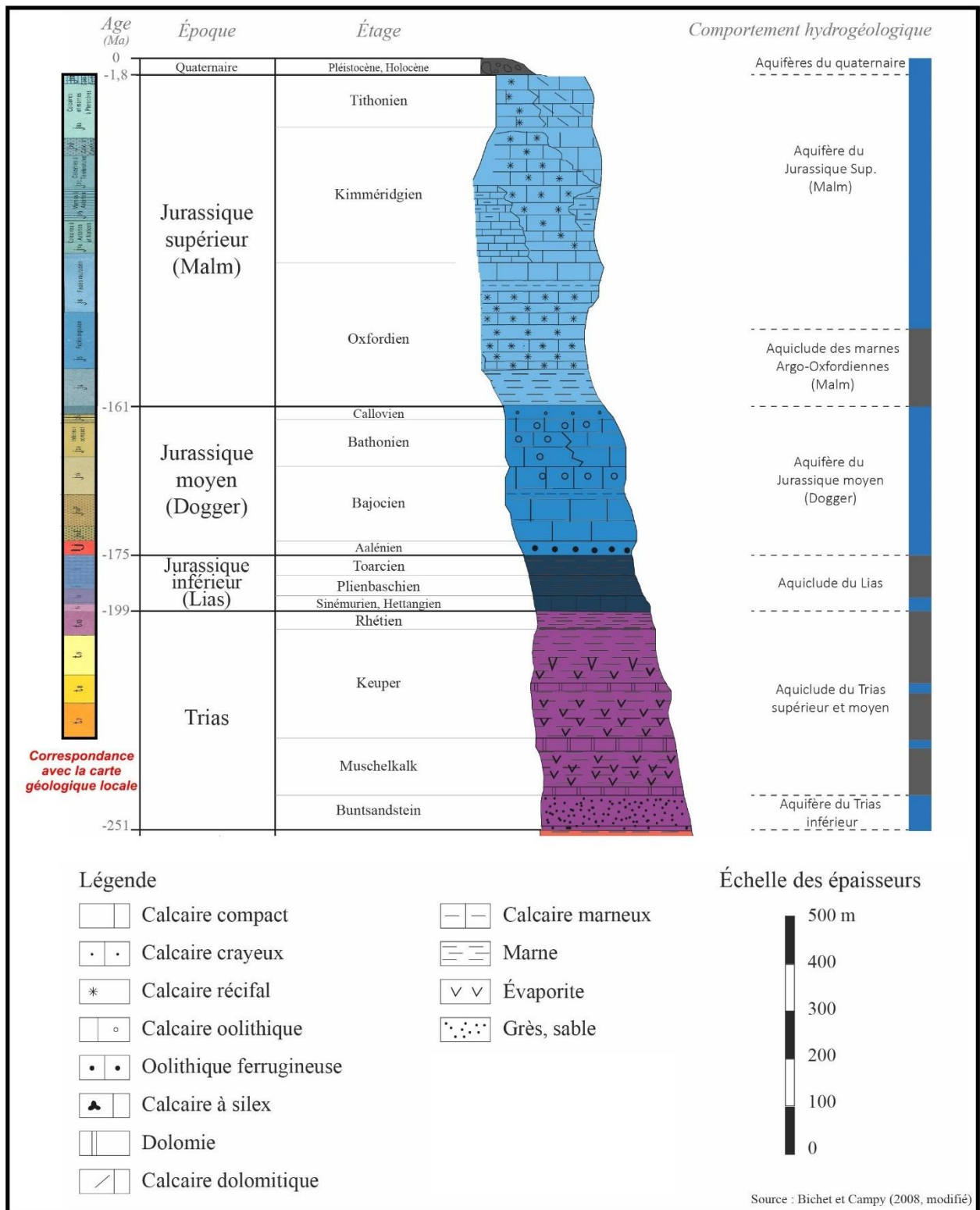


Figure 3 : Log stratigraphique local simplifié

3 Description des principaux exutoires du secteur

3.1 Source captée pour l'alimentation en eau potable

La partie suivante a été ajoutée ou a fait l'objet d'évolutions suite aux demandes de compléments et/ou à la modification du projet.

Suite aux traçages complémentaires de janvier 2020 et à la modification du projet de parc éolien Colchique en 2021, seules 3 machines (E7, E10 et E11) demeurent dans la zone de protection éloignée du forage de la Sarre exploité par la commune de Soye (code BSS n°001GBWH).

Les zones de protection des deux autres zones de captages proches, mais qui ne sont plus directement concernées par le projet éolien, sont :

- La source du Crible exploitée par le syndicat des Eaux de l'Abbaye des Trois Rois (code BSS n°001GBTH), implantée en limite Est de la commune de Mancenans.
- Le forage des Corvées (code BSS n°001GBVY) situé cœur du village de Courchaton (70) que cette commune exploite également pour son alimentation en eau potable.

3.1.1 *Forage de la Sarre*

Jusqu'en 2008, la commune de Soye était alimentée en eau potable par la source karstique de la Sarre qui prend naissance dans la partie basse du village.

En raison de cette situation géographique défavorable, ce point de captage était jugé difficilement protégeable, la majeure partie du Bourg étant située dans sa zone d'alimentation proche.

Ainsi, en 2008, un forage de 80 m de profondeur a été réalisé à proximité de la zone de source pour capter la partie noyée de l'aquifère contenu dans les calcaires du Jurassique moyen.

Les études et essais réalisés sur cet ouvrage ont montré que la qualité de l'eau de cette partie de l'aquifère était beaucoup moins liée au système karstique actif de surface qui s'illustre notamment par une absence de problème de turbidité ainsi qu'une moindre sensibilité aux pratiques de fertilisation au sein de l'aire d'alimentation.

Le traceur fluorescéine injecté au niveau de l'éolienne E10 en janvier 2020 n'a été retrouvée sur aucun exutoire et ne permet pas d'infirmer ou confirmer le tracé du bassin d'alimentation du forage.

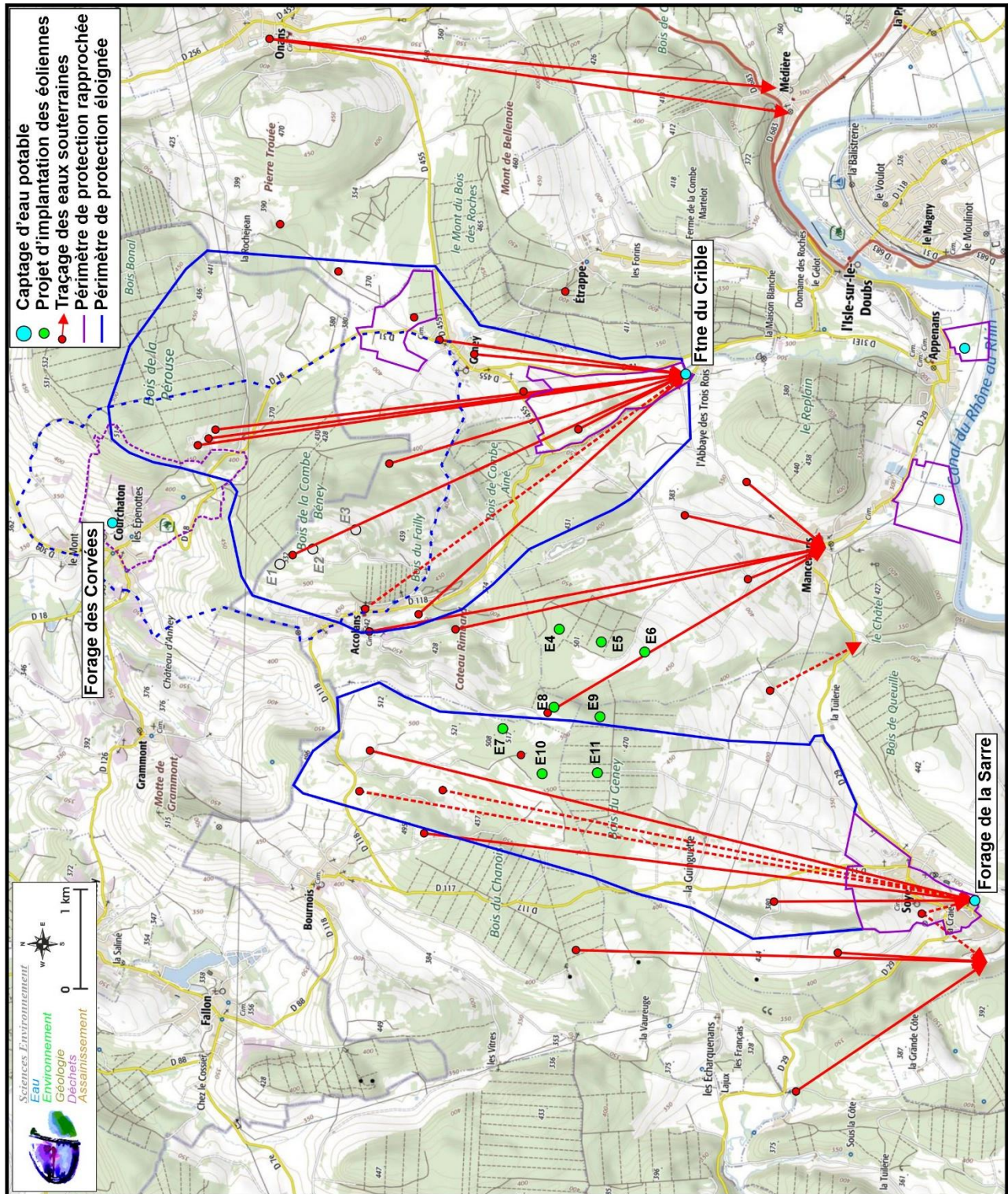


Figure 4 : Zone de protection des captages et résultats des principaux tracés

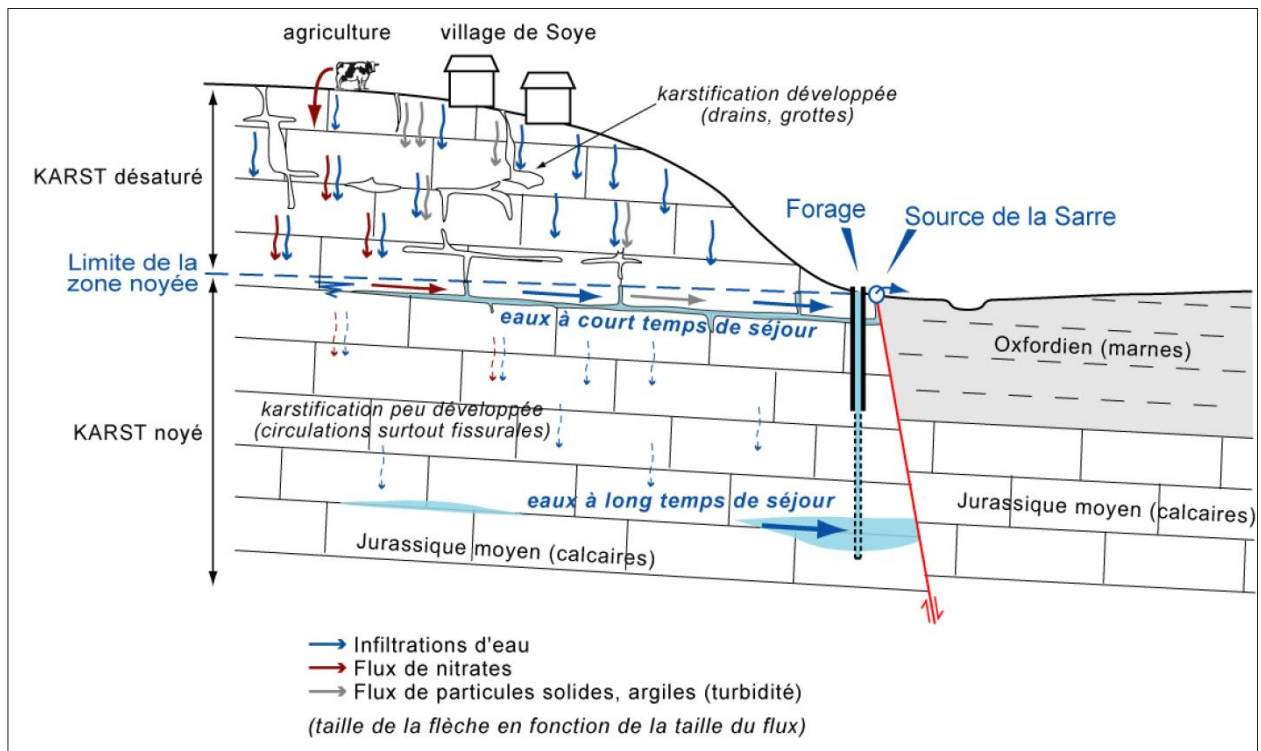


Figure 5 : Schéma conceptuel de fonctionnement du forage de la Sarre (Source Cabinet Reilé)

Le bassin versant du forage semble ainsi peu différer mais la vulnérabilité du forage apparaît beaucoup moindre. En effet, la source de la Sarre est principalement alimentée par l'eau circulant dans la partie supérieure et fonctionnelle, le forage drainant quant à lui la partie saturée du réservoir près de la base du massif calcaire où la circulation serait plutôt de type fissurale et nettement plus lente.

La zone de protection du forage de la Sarre (arrêté de DUP de juillet 2014) est organisée autour de 3 zones de protections :

- Zones de protection immédiate, de faible dimension visant à protéger physiquement l'ouvrage de captage.
- Zones de protection rapprochée où diverses activités (construction, agriculture, ...) sont interdites ou réglementés. Ce périmètre concerne principalement les terrains calcaires où sont implantés le village de Soye et les parcelles agricoles périphériques.
- Zone de protection éloignée, qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'alimentation supposée du captage et constitue une zone de vigilance vis à vis des activités susceptibles de porter atteinte à la productivité ou à la qualité de la ressource.

Il s'étend sur un peu moins de 10 km² au nord de Soye et au sud-est de Bournois.

3.1.2 Source du Crible

La source du Crible fait partie d'un important système d'émergences karstiques exploitées depuis de très nombreuses années pour l'alimentation en eau potable du Syndicat de l'Abbaye de Trois Rois qui regroupe 9 communes, soit un peu plus de 1310 habitants.

Ce captage d'eau potable bénéficie d'un arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique (DUP) signé en novembre 2016 qui instaure différents périmètres de protection.

La mise en place de cette protection réglementaire a été précédée de plusieurs études hydrogéologiques qui ont permis de mieux connaître le fonctionnement de ce système karstique et de délimiter avec précision les contours de son aire d'alimentation.

Plusieurs séries de traçages des eaux souterraines ont montré sa grande vulnérabilité du fait de l'excellent développement du système karstique dans le secteur notamment représenté par le réseau karstique de la Combe Ainée dont plus de 800 m de galeries ont déjà été explorées à ce jour.

L'aire d'alimentation qui a été définie s'étend sur près de 15 km² et englobe une large partie du plateau calcaire situé au nord de la zone de source.

Cette vulnérabilité est soulignée par un aquifère très réactif aux précipitations, l'onde de crue se propageant en moins de 24 h dans le système souterrain. Les vitesses de circulation observées lors des opérations de traçages des eaux souterraines sont également relativement importantes, notamment en période de hautes eaux où elles peuvent être supérieures à 50 m/h, soit plus de 1,2 km/j.

Le traceur injecté au niveau de l'éolienne E1 en janvier 2020, au sein du Périmètre de Protection Eloignée de la Fontaine du Crible, est réapparu rapidement sur cet exutoire karstique avec une vitesse apparente de l'ordre de 165 m/h.

Malgré une dilution importante du traceur dans ces conditions hydrologiques de hautes-eaux, cette restitution confirme l'excellente fonctionnalité de ce système karstique et donc sa vulnérabilité importante.

La qualité de l'eau de cette ressource est d'ailleurs notablement affectée par cette fonctionnalité importante du système karstique et présente des problèmes chroniques de turbidité et de bactériologie qui nécessitent un traitement spécifique avant sa distribution.

A l'image du forage de la Sarre, la protection de la source du Crible se décompose en trois zones de protection progressive distinctes :

- Zones de protection immédiate, de faible dimension visant à protéger physiquement la zone de source et plusieurs entrées directes sur le système karstique actif (gouffre de la Combe Ainée et plusieurs pertes ou gouffres situés au nord du village de Geney).
- Zones de protection rapprochée où diverses activités (construction, agriculture, ...) sont interdites ou réglementées. Ce périmètre concerne principalement les terrains situés dans le vallon sec situé à l'amont de la zone d'émergence (partie aval du réseau karstique de la Combe Ainée) ainsi que ceux situés au nord du village de Geney sur le pourtour des zones de pertes citées précédemment.

- Zone de protection éloignée, qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'alimentation du captage et constitue une zone de vigilance vis-à-vis des activités susceptibles de porter atteinte à la productivité ou à la qualité de la ressource.

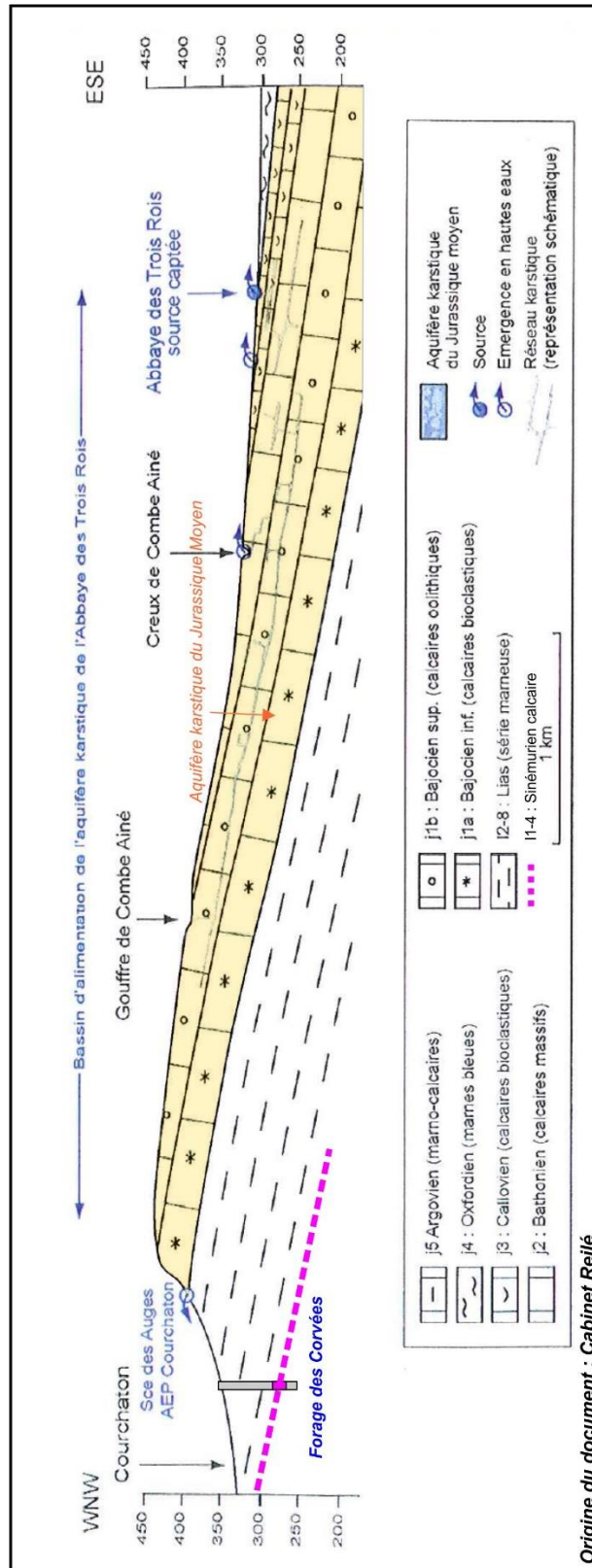


Figure 6 : Coupe hydrogéologique interprétative du système karstique de la source du Crible

3.1.3 Forage des Corvées

Afin de compléter sa production d'eau potable, la commune de Courchaton a fait réaliser un forage en 2006 implanté dans les niveaux peu perméables du Lias au cœur du village.

Compte tenu de la bonne productivité de l'ouvrage, ce forage constitue actuellement la ressource en eau principale de la commune.

Atteignant 89 m de profondeur, il exploite les petits niveaux aquifères du Sinémurien et du Rhétien constitués respectivement de calcaires fracturés et de grès rencontrés entre 70 et 85 m de profondeur, insérés entre les épais niveaux imperméables du Lias et Trias.

Cette ressource en eau d'origine profonde dispose également d'un arrêté préfectoral de déclaration d'utilité publique signé en juillet 2012 qui instaure à nouveau 3 zones de protection progressive distinctes :

- Immédiate : autour du point de forage
- Rapprochée : sur le versant nord de la cuesta dominant le village à l'amont topographique de la zone de forage.
- Eloignée : définie sur une surface de l'ordre de 8,5 km² à cheval sur les terrains du Lias dominant la dépression triasique de Haute-Saône et couvrant un large secteur de la partie nord du bassin d'alimentation de la source du Crible.

L'origine de l'eau dans les calcaires du Sinémurien reste mal connue mais la zone de recharge apparaît plus probablement en lien avec les secteurs d'affleurements de ces niveaux dans la zone de dépression liaso-triasique du Sud-Est de la Haute-Saône.

La nappe apparaît en effet nettement en charge sous l'épais niveau imperméable sus-jacent qui constitue également le niveau de base des circulations karstiques du plateau calcaire notamment à l'origine de la source du Crible.

3.2 Source de Mancenans

Les différents traçages réalisés sur le secteur d'étude montrent qu'une partie des eaux s'infiltrant au sein des calcaires du Jurassique moyen entre Accolans et Soye sont dirigées vers la zone de sources de Mancenans (« Le Châtel » et « Village ») qui drainent le reste du plateau situé entre le système karstique de la source du Crible et celle de la Sarre.

Les sources de Mancenans prennent naissance dans un contexte tout à fait comparable aux deux autres grands exutoires au niveau du contact entre le toit des calcaires du Jurassique moyen et les marnes de l'oxfordien.

Les sources de Mancenans ne sont pas exploitées pour l'alimentation en eau potable, le village disposant d'un puits de captage implanté dans les alluvions récentes du Doubs dans un système hydrogéologique distinct.

Une série de traçage réalisée en 2016 sur les hauteurs de la commune témoigne également d'une très bonne fonctionnalité du système karstique dans ce secteur avec des vitesses d'écoulement comprises entre 400 et 2 600 m/j.

Le traçage réalisé au droit du projet d'éolienne E8 en janvier 2020 a permis de confirmer l'appartenance des éoliennes E4, E5, E6 et E8 au bassin versant la zone de source de Mancenans.

4 Sensibilité du projet de parc éolien vis-à-vis des zones de captage

La rédaction des trois chapitres suivants a fait l'objet d'évolutions tenant compte des résultats des traçages de février 2020 et de la modification du projet.

4.1 Forage de la Sarre

Le groupe d'éoliennes E7 à E11 est situé près de la limite Est du bassin versant supposé de la source de la Sarre et donc par extension du forage de la Sarre exploité par la commune de Soye.

En l'absence de données plus précises, il reste délicat de statuer sur la direction des écoulements s'infiltrant près des éoliennes E8 et E9 qui, sans certitude, semblerait plutôt appartenir au réseau de Mancenans « le Châtel » plutôt que celui de la Sarre.

Comme il est évoqué précédemment, le traceur fluorescéine injecté au niveau de l'éolienne E10 en janvier 2020 n'a été retrouvée sur aucun exutoire et n'a ainsi pas permis d'infirmier ou confirmer les hypothèses quant au devenir des eaux s'infiltrant au droit du groupe d'éoliennes implantées sur ce secteur.

S'agissant d'un traceur considéré comme très efficace dans ce contexte d'injection, ce résultat pourrait tendre à montrer la présence d'un karst moins fonctionnel dans ce secteur par rapport à celui observé sur le secteur de la Fontaine du Crible où de Mancenans.

Dans tous les cas, de par la dynamique de fonctionnement de la ressource profonde interceptée par le forage de la Sarre, sa vulnérabilité vis-à-vis du projet de parc éolien apparaît limitée.

En effet, la survenue d'un incident sur ce secteur lors de phase de travaux de construction n'aura probablement peu ou pas d'impact sur la ressource en eau potable. En effet, d'après les essais effectués par le cabinet Reilé en 2012, le forage drainerait principalement la partie profonde du réservoir karstique diminuant ainsi sa vulnérabilité vis-à-vis des risques de pollutions véhiculés par le système karstique actif superficiel.

4.2 Source du Crible

La révision du projet prévoyant le retrait des machines E1, E2 et E3 implantées au nord-est de la commune d'Accolans au sein de la zone d'alimentation de la source du Crible, la construction du parc éolien n'aura ainsi pas d'impact sur cette ressource karstique exploitée pour la production d'eau potable par le Syndicat de l'Abbaye des Trois Rois.

4.3 Forage des Corvées à Courchaton

Comme pour la ressource du Crible, seules les éoliennes E1, E2 et E3 dorénavant retirées du projet de parc éolien étaient situées dans la zone de protection éloignée de cette ressource singulière.

Toutefois, comme il l'avait été établi dans l'expertise hydrogéologique préalable, tous les traçages effectués dans les calcaires du Jurassique moyen dans ce secteur témoignent d'une connexion rapide et directe des eaux s'infiltrant dans le sous-sol karstique avec la source du Crible.

Les niveaux du Sinémurien qui sont à l'origine de la productivité du forage des Corvées sont séparés des calcaires du Jurassique Moyen par plusieurs centaines de mètres de niveau imperméable qui constituent d'ailleurs le mur de l'aquifère karstique drainé en direction de la vallée du Doubs.

Ainsi, sur cette partie de la zone de protection éloignée du forage, seule la réalisation d'un forage non maîtrisé de plusieurs centaines de mètres de profondeur apparaîtrait en mesure de constituer un risque de dégradation de la qualité de ce petit aquifère particulier.

Le projet d'implantation d'éoliennes ne présentant pas ce type d'aménagements, aucun impact n'était à attendre sur la ressource exploitée par le forage des Corvées.

5 Enjeux et mesures sur la ressource en eau

La partie suivante a été ajoutée ou a fait l'objet d'évolutions suite aux demandes de compléments et/ou à la modification du projet.

Avec le retrait des éoliennes E1 à E3 du projet, seule la ressource profonde de la Sarre reste potentiellement concernée par la création du parc éolien Colchique et plus précisément le groupe d'éoliennes (E7, E10, E11).

Toutefois, la dynamique de cette ressource apparaissant relativement déconnectée du système superficiel est de ce fait, beaucoup moins exposée au risque de pollution accidentelle pouvant être générée par le chantier.

Des mesures de précaution et d'évitement spécifiques peuvent être envisagées en plus de celles déjà classiquement mises en œuvre lors de l'exécution de tels projets et ce particulièrement durant la phase travaux.

Précisons également que les enjeux principaux portent essentiellement sur le volet de la qualité de l'eau potable. En effet, en raison de l'importance du réservoir karstique concerné et de son mode de fonctionnement, aucun impact quantitatif associé n'est à attendre sur cette ressource.

L'annexe 1 présente un tableau de synthèse des impacts et moyens d'évitement associés proposé dans le rapport de l'ANSES d'août 2011 relatif aux « Dispositifs d'exploitation d'énergies renouvelables dans les périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine ».

Cette liste de recommandations couvre une large partie des points critiques induits par la mise en œuvre de tels projets et qui a d'ores et déjà été prise en compte dans la constitution du projet initial.

La base vie du chantier et les aires de stockage et de ravitaillement des engins nécessaires à la conduite du chantier sont bien entendu exclus des secteurs d'alimentation des ressources en eau potable du secteur.

5.1 Turbidité de l'eau et risques vis-à-vis des hydrocarbures

La dynamique de fonctionnement de la ressource exploitée par le forage de la Sarre, la rend peu vulnérable aux risques de pollution et de la turbidité pouvant être générés par le chantier et notamment en période pluvieuse.

Il en est de même vis-à-vis des risques de déversement d'hydrocarbures associés à la présence et à la circulation des engins nécessaires à la construction du parc éolien.

Rappelons néanmoins, que la gestion du chantier prévoit de nombreuses mesures de gestion et d'évitement permettant de limiter ces impacts et ces risques de pollution sur la ressource karstique en général.

Afin de limiter les risques vis-à-vis de l'augmentation de la turbidité de l'eau, il peut être préconisé de réaliser les opérations de terrassement au sein de cette zone sensible en dehors de la période de recharge hivernale où l'impact des épisodes pluvieux susceptibles de générer des épisodes turbides est la plus importante.

Bien évidemment, la mise en œuvre d'aménagements spécifiques de gestion des eaux de ruissellement durant le chantier permettra de limiter d'autant l'infiltration des fines dans le système souterrain et donc potentiellement sur la turbidité générale observée au niveau des sources du secteur.



Création de merlons de protection



Fosse de collecte et de décantation



Dispositif de filtration sur végétaux dans cadre préfabriqué

Exemples d'aménagements d'assainissement de chantier (documents Cerema)

Concernant les risques de déversement d'hydrocarbures, l'ensemble des préconisations d'évitement et de gestion décrites dans le guide ANSES et précisées dans l'étude d'impact devront être mises en place.

Listons pour rappel, les principales mesures suivantes :

- utilisation d'engins de chantier récents et contrôlés réduisant la probabilité de pertes d'huiles ou hydrocarbures ;
- interdiction de stockage et de manipulation d'hydrocarbures (hors aire étanche) dans la zone d'alimentation des captages d'eau potable ;
- interdire les opérations de lavage et d'entretien des engins de chantier dans au sein de la zone d'alimentation des captages d'eau potable ;
- présence obligatoire sur les engins de kits anti-pollution d'urgence permettant d'absorber d'éventuelles fuites accidentelles d'hydrocarbures ;

Tous les engins intervenant sur le chantier ne pouvant pas utiliser majoritairement des fluides biodégradables permettant de satisfaire la demande spécifique de l'hydrogéologue agréé au sein des zones de protection des captages d'eau potable, un plan d'intervention spécifique sera mis en place lors de mise en œuvre des éoliennes de la partie ouest du projet qui permettra :

- Mise en œuvre et animation d'un plan d'information et de gestion environnemental spécifique pour les secteurs de travaux situés en zone de protection de captage incluant la gestion des pollutions accidentelles éventuelles.
- La responsabilisation des entreprises intervenantes sur le bon état mécanique des engins, l'interdiction de stockage des produits polluants en dehors des zones dédiées et le respect des consignes de circulation.
- De positionner les engins peu mobiles sur des zones de rétentions provisoires de chantier durant leurs interventions au sein du bassin d'alimentation des captages d'eau potable.

5.2 Réseau enterré

Les câbles électriques qui relient les éoliennes entre elles peuvent également présenter un risque de détournement des eaux souterraines. Cependant, les linéaires de ces câbles mis en place sont restreints et ne recoupent que partiellement les bassins d'alimentation des sources captées.

Dans les bassins versants des sources captées pour l'alimentation, nous recommandons l'installation de câblages sans lit de sable (dits à « enterrabilité » directe) comme le préconise l'ANSES. L'intérêt principal de cette méthode de pose est d'éviter un éventuel effet de drain de sub-surface susceptible de collecter et de faire transiter rapidement des eaux de ruissellement vers le système souterrain et ce notamment dans les secteurs agricoles.

5.3 Création des fondations

5.3.1 Etude géotechnique de chaque site et notamment de l'épikarst

Plusieurs études géotechniques spécifiques seront réalisées au droit des sites d'implantation de chacune des éoliennes pour connaître de manière détaillée la structure et les conditions de stabilité du sous-sol pour le maintien dans le temps des fondations.

Une fois le projet validé et initié, une étude géotechnique d'avant-projet incluant la réalisation de forage de reconnaissance destructif s'accompagnant d'essais pressiométriques vont permettre d'évaluer les conditions de stabilité et de mise en place des fondations superficielles des éoliennes. Ils sont généralement complétés par la réalisation de sondage à la pelle mécanique pour apprécier, la nature et l'épaisseur des formations de recouvrement qui permettront également d'apporter des éléments de précisions importants sur le développement et les caractéristiques de la franche épikarstique locale du système karstique.

En terrain calcaire, dans une majorité des situations, les semelles de fondations superficielles peuvent être mises en place directement sur des plateformes d'accueil aménagées entre 2 et 3 m de profondeur après terrassement de la partie épikarstique et ancrage dans le massif calcaire au brise-roche.

Dans certains cas, les reconnaissances préliminaires peuvent témoigner de la présence locale d'anomalies pouvant être associées à la présence de zone de faille comblée d'argile ou quelques zones de fractures ouvertes qui sont susceptibles de nécessiter un renforcement du massif sous certaines zones de la semelle de fondation.

C'est lors de la réalisation des missions de reconnaissance géotechnique détaillée au stade G2 PRO et G3 qui accompagne les opérations de terrassement et précède la mise en place de la semelle de fondation, que seront détaillées, dimensionnées et mises en œuvre les mesures de conservation permettant d'assurer in-fine la stabilité de l'assise des éoliennes concernées.

5.3.2 Mesures prévues pour éviter toute migration de béton lors de la mise en place de la fondation

Une fois le potentiel géotechnique de chaque point d'implantation défini, plusieurs cas de figure peuvent être rencontrés :

A - Le massif est apte à supporter le massif de fondation et la construction pourra être directement mise en œuvre après décaissement des terrains entre 2,5 et 3 m de profondeur.

Durant le décaissement, la présence éventuelle de fissures ou failles « ouvertes » dans la zone de travaux pourra être aisément mise en évidence et être aménagée pour éviter toute perte gravitaire de béton lors des opérations de coulage.

Il peut être envisagé :

- La pose de bâche ou géotextile de protection en fond de fouille.
- L'obturation manuelle des drains karstiques de taille réduite.

En cas de découverte de vide karstique important lors des travaux de terrassement ayant échappé aux reconnaissances préalables, un diagnostic spécifique devra être effectué et porté à connaissance de l'autorité administrative.

Rappelons à ce propos que le nettoyage des toupies de béton pourra être effectué en dehors des zones de protection de captage sur des aires prévues à cet effet.



Doc. Sciences Environnement

Mise à nu des bancs calcaires sous la couverture épikarstique

B - En fonction de l'importance de la fissuration du massif, il est possible que les caractéristiques géotechniques du sous-sol ne soient pas suffisantes pour garantir la stabilité à long terme de la base des fondations et qu'un renforcement du sol soit préconisé à l'issue des investigations géotechniques.

Sans être exhaustif, les mesures peuvent être relativement simples comme dans le cas d'une remontée partielle du toit des calcaires compacts qui peuvent conduire à la nécessité d'aménager un matelas de répartition en fond de fouille ou de purger localement un surcreusement rempli d'argile et le substituer par un béton grossier.



Doc. Sciences Environnement

Exemple d'anomalie pouvant être traitée directement en fond de fouille

En pays calcaire, lorsque la fissuration où la microfissuration du massif est importante et s'accompagne fréquemment d'un envahissement progressif par les argiles d'altération, peut conduire à une réduction des caractéristiques de résistance intrinsèques des bancs calcaires supérieurs et nécessiter d'un renforcement de tout ou partie des semelles de fondation superficielle devant accueillir l'éolienne.

Les techniques de renforcement les plus fréquentes sont des techniques par injection et notamment par érosion (Jet Grouting) qui consiste à injecter dans un forage d'une dizaine de centimètres de diamètre, un coulis de ciment à prise rapide sous forte pression avec un mouvement circulaire remontant.

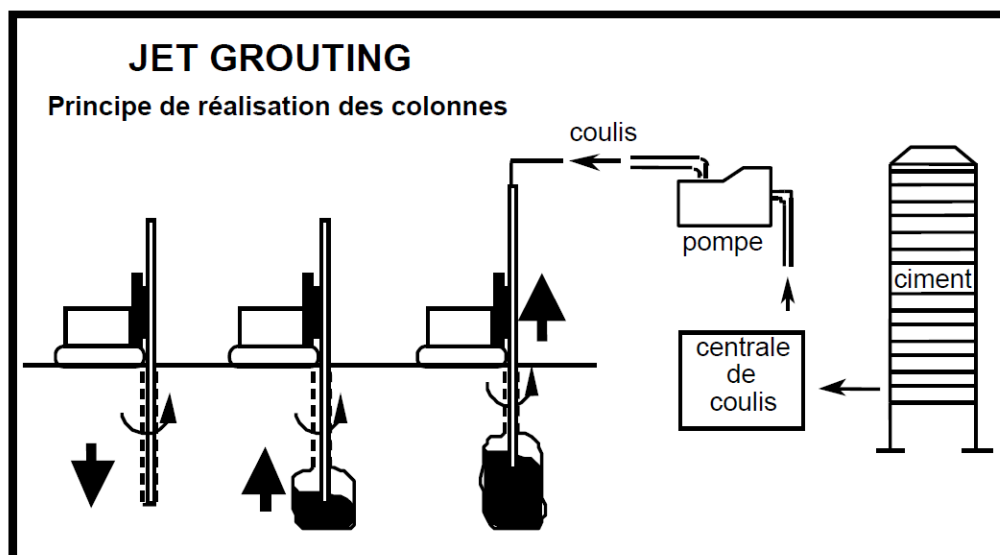


Figure 7 : Principe de réalisation du Jet Grouting (Menard)

La forte pression d'injection va engendrer une érosion des terrains moins cohérents dans les parties à traiter qui vont se mélanger au coulis et permettre ainsi une consolidation de sol après prise du coulis dans un volume cylindrique autour du forage compris entre 0,5 et 1 m de diamètre.

Avec cette technique, le coulis, étant quasi instantanément mélangé aux débris rocheux et argileux détruits par la pression d'injection, lui redonne une cohésion et une viscosité importantes qui réduit les risques d'exportation de fluide au sein du terrain et donc en direction du système karstique.

La quantité de coulis injecté par forage est prédéterminée lors des étapes de conception géotechnique préalable mais reste généralement compris entre 1 et 2 m³ par ouvrage.

Lors de la mise en place de cette technique plusieurs étapes de contrôle sont réalisées pour assurer la bonne exécution et l'efficacité du renforcement.

Parmi ces contrôles, le contrôle du volume injecté et de la remontée du coulis en surface sont consignés. Dès lors, un volume limite d'injection peut être imposé pour éviter la perte en forage dans le cas de la présence d'une fissure ouverte non détectée lors des séquences d'investigations géotechniques initiales (type G2) ou spécifiques (type G3).

C - En cas de rencontre d'un drain karstique lors des opérations de reconnaissance, de terrassement ou lors des séquences d'injections de renforcement, il conviendra dans tous les cas de gérer spécifiquement cet aléa.

Bien qu'ils soient souvent spectaculaires, les vides karstiques les plus importants représentent généralement un très faible volume par rapport à celui du massif calcaire qui les renferme. Ainsi, en l'absence d'entrée visible ou connue, il est généralement difficile de prédire leur présence et de les détecter préalablement.

C'est pourquoi, la mise en évidence d'un éventuel vide karstique au droit du point de construction d'une des éoliennes n'interviendra que très tardivement dans le processus de construction et nécessitera probablement une analyse et un solutionnement adapté aux caractéristiques du ou des vides rencontrés.

Dans cette situation, pour garantir la stabilité à long terme de la semelle de fondation, les investigations géotechniques devront en effet permettre de caractériser au mieux les dimensions et l'extension de ces vides ou cavités (sondage complémentaire, reconnaissance vidéo ou spéléologique, relevés géophysiques, ...).

En contexte de simple diaclase, la mise en œuvre d'injection solide (de type CHS) pourrait être bien adaptée et relativement simple à mettre en œuvre.

L'injection solide CHS consiste à injecter sous pression dans le sol un mortier de consistance raide à plastique. Ce mortier s'expande de manière homogène dans le sol sur la hauteur du forage, le train de tiges remontant par passe entre chaque injection. Le terrain environnant se trouve donc comprimé par l'inclusion, et sa capacité augmentée.

Le mortier peut également être injecté directement dans certains vides karstiques isolés.

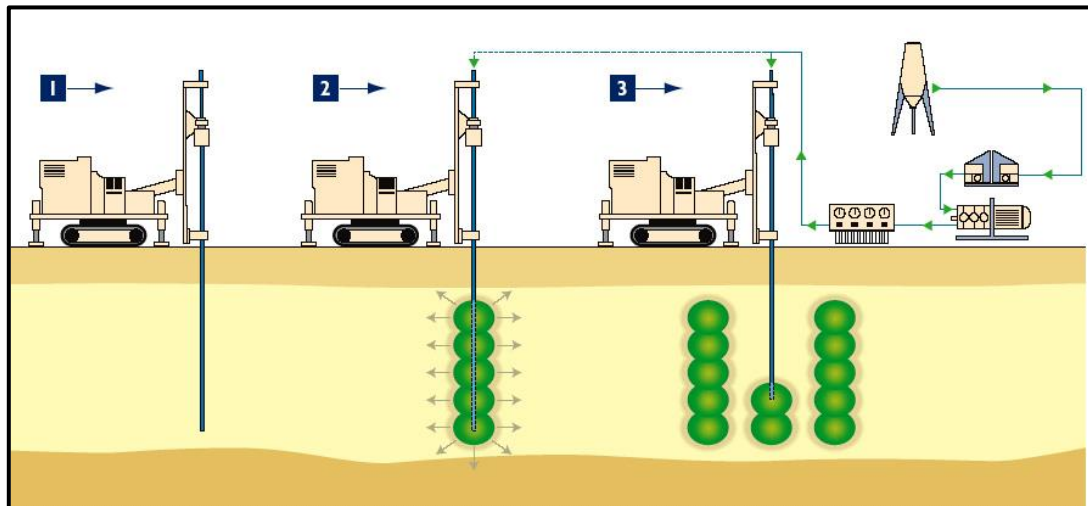
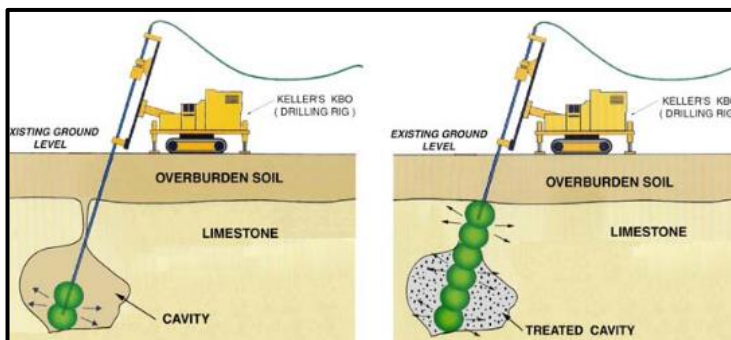


Figure 8 : Principe de réalisation de l'injection solide de type CHS (Keller)



Injection solide en cavité (Keller)



Test de viscosité du mortier frais

L'avantage de cette technique est une maîtrise des volumes injectés et de leur positionnement, contrairement à une injection du coulis standard. En outre, elle permet, dans le cas de traitement de vide ou de cavité, de maîtriser la densité et la viscosité du mortier frais qui peut conserver une viscosité élevée limitant les risques d'export en dehors de la zone à traiter.

Dans le cas plus rare de la découverte d'un réseau karstique horizontal plus ou moins organisé, la mise en œuvre de fondations sur pieux pourrait être envisagé pour reporter l'effort de charge sur les terrains situés plus en profondeur.

Dans ces cas singuliers de rencontre de vides karstiques, la technique de solutionnement envisagée devra dans tous les cas permette d'éviter tout export massif de mortier et à l'image du contrôle du volume injecté lors de la mise en place de Jet Grouting. Le programme de travaux devra estimer les volumes de béton nécessaire, et définir des volumes limites permettant d'éviter tout export inconsidéré vers le système karstique.

Toute tentative de colmatage « à l'aveugle » de vide ou cavité karstique avec du béton ou de surcroît de coulis plus ou moins visqueux reste à proscrire puisqu'il ne permettrait pas de garantir le devenir de tout au parti du volume injecté, ainsi que dans une certaine mesure la validation de la stabilité de l'assise de fondation.

5.4 Suivi en continu du forage de Soye durant toute la durée du chantier

Afin de satisfaire à la demande de l'hydrogéologue agréé qui souhaite la mise en place d'un suivi du pH, de la conductivité, de la turbidité, et des hydrocarbures sur l'eau produite sur le forage de la Sarre durant toute la durée du chantier, deux approches pourront être mises en place lors de la réalisation des travaux :

A - Un contrôle ponctuel régulier (par exemple hebdomadaire) pour une quantification en laboratoire à en moyenne à j+2.

Fiable et nécessitant moins d'investissement au départ, le coût du prélèvement peut représenter une dépense importante sur un chantier plurimensuel. La fréquence peut néanmoins être modulée avec le temps.

B - Le captage sera équipé de sondes de mesure en continu reliées à un système d'alerte permettant de signaler en temps réel (alerte via réseau gsm).

La technologie de suivi des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, turbidité) est fiable et relativement accessible.

Il est également possible de connecter à ce dispositif des instruments de suivi des « hydrocarbures » (totaux ou de type HAP) qui présentent moins de précisions quantitatives mais peuvent constituer un dispositif d'alerte intéressant.

L'investissement de départ est plus important et nécessite une maintenance régulière (mensuelle) pour s'assurer de l'effectivité de la pertinence des mesures.

5.4.1 Alternatives pour l'alimentation en eau du village de Soye en cas de pollution

Comme il l'est évoqué aux chapitres précédents, le forage de Soye reste assez peu exposé aux pollutions rapides et directes pouvant être véhiculées par le système karstique actif.

En cas de pollution, à moins d'un fait évident sur le chantier, la question de l'origine de la contamination restera également posée.

Dans tous les cas, si le forage est affecté par une pollution, la réutilisation de la source karstique (ancien captage) ne sera très certainement pas envisageable.

La commune n'étant pas interconnectée avec d'autres collectivités, en cas de pollution rendant impossible la distribution d'eau potable, le citernage régulier d'eau en provenance d'autres collectivités reste la solution la plus rapide et efficace à mettre en œuvre.

Avec une consommation de l'ordre de 70 m³/j, cette solution présente néanmoins d'importantes contraintes logistiques.

En fonction de la nature et de l'importance de la pollution, il pourra être envisagé la mise en place d'un système de traitement temporaire de l'eau produite. La filière retenue devra néanmoins être adaptée à la problématique et être autorisée à la mise en service par les services de l'ARS qui exigera notamment des Attestations de Conformité Sanitaire des produits et équipements mis en place sur le site.



Exemple d'unité de potabilisation mobile (Polymem)

5.5 Période d'exploitation

En phase d'exploitation, les éoliennes fonctionnent automatiquement. En l'absence de personnel sur site (sauf visites de contrôle ponctuelle), le risque de pollution accidentelle est uniquement lié à la présence de fluides dans les génératrices qui pourraient atteindre le milieu naturel.

Rappelons toutefois que les nacelles sont dimensionnées pour constituer un bac de rétention en cas de fuite sur la génératrice évitant ainsi la migration de ces huiles à l'extérieur de la machine.

D'après les informations transmises par le constructeur des machines prévues sur le projet, les bacs de rétention des nacelles peuvent contenir jusqu'à 1 092 litres d'huile. La quantité d'huile présente dépend du type de boîte d'entraînement qui peut différer en fonction de la turbine mais dont le volume peut varier entre 998 et 1 015 litres.

Ainsi, le dimensionnement des nacelles permet de constituer des bacs de rétention suffisants en cas de fuite.

Ajoutons que le système de télégestion de chacune des machines possède des alarmes en cas de « niveau d'huile bas » ou de « basse pression d'huile » du circuit hydraulique et de boîte d'entraînement qui assure une mise à l'arrêt automatique de l'éolienne entraînant le déclenchement d'une alarme et donc d'une intervention sur site.

Des kits antipollution seront également conservés dans les éoliennes pour une éventuelle mise à disposition rapide du technicien.

Le gestionnaire en charge de l'exploitation pourra également s'assurer que les plateformes d'accès ou de grutage des éoliennes ne soient pas utilisées pour le stockage ou le stationnement.

L'utilisation de produits phytosanitaires pour l'entretien des abords des éoliennes, des plateformes ou des chemins d'accès situés à l'intérieur des zones de protection sera également interdite.

6 Synthèse

Le projet de parc éolien Colchique (8 éoliennes) est implanté au sein des formations calcaires du Jurassique moyen constituant l'ossature de la zone de plateau péri-jurassien située au nord de la vallée du Doubs.

Les résultats des traçages réalisés sur le secteur montrent que l'essentiel des eaux s'infiltrant sur ce massif calcaire sont drainées par diverses sources d'origine karstique localisées dans la partie basse du plateau.

La ressource karstique est notamment exploitée sur le secteur par le syndicat des eaux de l'Abbaye des Trois Rois via la source dite « du Crible ». En raison de l'existence d'un lien rapide et direct avec la ressource du Crible, trois éoliennes ont été retirées du projet d'implantation initial en accord avec l'avis de l'hydrogéologue agréé en charge de l'examen du projet vis-à-vis de la ressource en eau potable.

Quelques machines implantées dans la partie ouest du projet pourraient être en lien avec le forage dit de « la Sarre » qui participe à l'alimentation en eau potable de la commune de Soye.

Conçue pour exploiter uniquement la partie profonde du réservoir karstique local, cette ressource détachée du système karstique superficiel actif apparaît peu vulnérable vis-à-vis des activités présentes sur son aire d'alimentation.

La construction des éoliennes sur ce secteur reste ainsi envisageable par l'hydrogéologue agréé sous réserve de mesures d'accompagnement et d'évitement visant à prévenir tout risque de dégradation de la qualité de l'eau de la ressource karstique locale en phase de travaux et d'exploitation.

Pour l'essentiel, il s'agit :

- De mesures de gestion de stockage et entretien des machines de chantier sur les secteurs les plus sensibles.
- De mesures de conception et de prise en compte de l'aléa karstique pour la mise en place des fondations superficielles supportant les machines.
- De mesures de suivi et d'autocontrôle de la qualité de l'eau du forage de la Sarre pendant la période de construction des éoliennes concernées.

Annexe 1 :

Document ANSES

**Listes des risques et des moyens de maîtrise liés
à la mise en place d'éoliennes**

	Opération	Danger	Moyen de maîtrise	
Phase d'installation	Aménagement de la zone de chantier	Création de voies d'accès (parfois empierrées), de l'aire de grutage	Tassement du sol Imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Limitation des surfaces mobilisées Création des accès si possible hors des PPC Réutilisation des voies existantes
		Stockage de produits dangereux (hydrocarbures par exemple)	Infiltration de polluants	Stockage en cuvette de rétention
		Assainissement du chantier	Infiltration de polluants	Mise en place de sanitaires de chantier conformes à la réglementation
	Conduite du chantier	Circulation de véhicules lourds de chantier et de transport	Tassement du sol, imperméabilisation partielle <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Aucun
		Alimentation en carburant et entretien des véhicules Utilisation de groupes électrogènes	Infiltration d'hydrocarbures notamment	Pas de stockage d'hydrocarbures et de fluides dans les PPC Entretien et réparation des engins hors des PPC Présence de kits anti-pollution (absorbants et floculants) sur le site
	Réalisation de fouilles pouvant atteindre 5 m de profondeur pour un diamètre de 20 m. Recours parfois nécessaire à des colonnes ballastées ou des pieux qui peuvent atteindre une vingtaine de mètres de profondeur		Atteinte de la nappe ou réduction de la couche protectrice au dessus du toit de la nappe <i>Remarque : les études géotechniques permettant de définir la profondeur des fondations ne sont en général pas réalisées avant l'obtention du permis de construire alors que cela devrait être une obligation</i>	Aucun
	Fouilles ouvertes pendant plusieurs semaines		Création d'un chemin préférentiel pour l'infiltration	Coulage du béton dès la fin de réalisation des fouilles
	Emploi possible de « brise roche »		Création de fissures et infiltrations	Aucun
	Utilisation de béton adjuvanté (400 m ³ par éolienne), produits de cure et huiles de décoffrage	Écoulement de béton dans des cavités karstiques		Même si des techniques existent pour éviter l'écoulement de béton dans les cavités (occultation des excavations), elles ne suppriment pas tout danger
		Infiltrations préférentielles le long des parois		Utilisation de bâches en polymères en fond et en périphérie de la fouille Réalisation d'un coffrage étanche empêchant l'infiltration de laitance de béton
		Alcalinisation, migration d'aluminium, de métaux ou de substances organiques dans l'eau de la nappe		Respect des règles de l'art concernant le choix du béton et sa mise en œuvre
	Nettoyage des toupies ayant contenu le béton		Infiltration de polluants	Nettoyage hors PPC
	Installation ou construction de bâtiments annexes pour les équipements électriques		Imperméabilisation partielle du sol <i>Mais, surfaces concernées limitées</i>	Installation si possible à l'extérieur des PPR
Pose de câbles enterrés		Modification de la perméabilité du sol Infiltrations préférentielles au niveau des tranchées (=drains)	Pose de câbles à « enterrabilité directe »	
Apport d'huile pour le multiplicateur (jusqu'à 700 L)		Déversement d'huile <i>Mais, la nacelle sert de bac de rétention</i>	Aucun	

	Opération	Danger	Moyen de maîtrise
Phase d'exploitation et de maintenance	Utilisation de véhicules	Infiltration d'hydrocarbures <i>Mais, surfaces concernées et fréquences limitées</i>	Aucun
	Lubrification des éléments mobiles (1fois par an par exemple)	Déversement d'huile <i>Mais, la nacelle sert de bac de rétention</i>	Aucun
	Utilisation de liquides diélectriques dans les transformateurs et/ou condensateurs	Fuite de liquides diélectriques	Utilisation de transformateurs et/ou condensateurs secs ou installés sur un bac de rétention
	Présence d'installation en hauteur (plus de 100 m)	Foudroiement en cas d'orage, incendie	Protection des installations contre la foudre Déclenchement d'une alarme transmise à un service capable d'intervenir en urgence
	Opérations de maintenance effectuées par des agents extérieurs à la production et/ou la distribution d'eau	Agents peu familiarisés avec les risques liés à l'EDCH	Établissement de conventions entre les différents acteurs, précisant notamment leurs responsabilités respectives Formation des agents

- 
-  Énergies renouvelables
 -  Aménagement et environnement
 -  Déchets, Diagnostics de pollution
 -  Carrières, Installations classées
 -  Milieu naturel
 -  Hydrogéologie
 -  Eaux superficielles
 -  Assainissement collectif et non collectif
 -  Maîtrise d'œuvre et réseaux d'eau potable



Sciences Environnement

Agence de Clermont-Ferrand
5 bis allée des roseaux
63200 Riom
Tél. +33 (0)4 73 38 84 73
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
clermont-ferrand@sciences-environnement.fr

Agence de Besançon et Siège social
6 boulevard Diderot
25000 Besançon
Tél. +33 (0)3 81 53 02 60
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
besancon@sciences-environnement.fr

Agence d'Auxerre
12 rue du stade
89290 Vincelles
Tél. +33 (0)9 67 29 27 28
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
auxerre@sciences-environnement.fr



ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Compte rendu du traçage des eaux souterraines du 5 février 2020

*Ce traçage a été réalisé avant le dépôt du dossier de demande d'autorisation
environnementale, avec un projet à 11 éoliennes*



***Compte rendu du traçage des eaux
souterraines du 5 février 2020***



Ce dossier a été réalisé par :

Sciences Environnement
Agence de Besançon

Pour le compte : de la Société H2air

Personnel ayant participé à l'étude :

Chef de projet : Sébastien LIBOZ

Chargée d'étude et rédacteur : Anouck DUPARC

Révisions du dossier :

- Version **1.0** de **mars 2020** : Version initiale
- Version **1.1** de **mai 2020** : Version définitive

Sommaire

1	Préambule	5
2	Contexte hydrogéologique	5
3	Méthodologie générale des opérations de traçage	9
4	Déroulement du traçage des eaux souterraines	10
4.1	Injection du colorant	10
4.1.1	Choix des traceurs	11
4.1.2	Injection de Fluorescéine	13
4.1.3	Injection de Sulforhodamine B	14
4.1.4	Injection d’Eosine	15
4.1.5	Récapitulatif	16
4.2	Description des points de surveillance	16
4.3	Conditions hydrologiques	20
5	Résultats - Conclusions	22
5.1	Restitution observée	22
5.1.1	Restitution de l’éosine	22
5.1.2	Restitution de la Sulforhodamine B	23
5.1.3	Restitution de la fluorescéine	23
5.2	Interprétations et conclusions	25

Liste des figures

Figure 1	: Plan de situation générale	4
Figure 2	: Log stratigraphique local simplifié	7
Figure 3	: Contexte hydrogéologique	8
Figure 4	: Préleveur automatique ; Fluocapteurs ; Spectrofluorimètre LS-50B	9
Figure 5	: Localisation des points d’injection sur fond IGN	10
Figure 6	: Localisation des points d’injection de la fluorescéine et la sulforhodamine	12
Figure 7	: Localisation du point d’injection de l’éosine (commune d’Accolans)	12
Figure 8	: Injection de fluorescéine	13
Figure 9	: Injection de sulforhodamine B	14
Figure 10	: Fosse d’injection de l’éosine	15
Figure 11	: Injection de l’éosine	15
Figure 12	: Plan de localisation des points de surveillance	18
Figure 13	: Localisation des points de surveillance sur fond géologique au 1/50000 ^e	19
Figure 14	: Pluviométrie quotidienne durant la période d’étude	20
Figure 15	: Creux de la Combe Aîné débordant vers l’aval	21
Figure 16	: Comparaison graphique des niveaux d’eau du Doubs à Besançon (25)	21
Figure 17	: Courbe de restitution à la Fontaine du Crible	22
Figure 18	: Carte de synthèse des traçages de février 2020	24

Liste des annexes

Annexe 1	: Fiche de coloration	26
Annexe 2	: Spectres des fluocapteurs	27

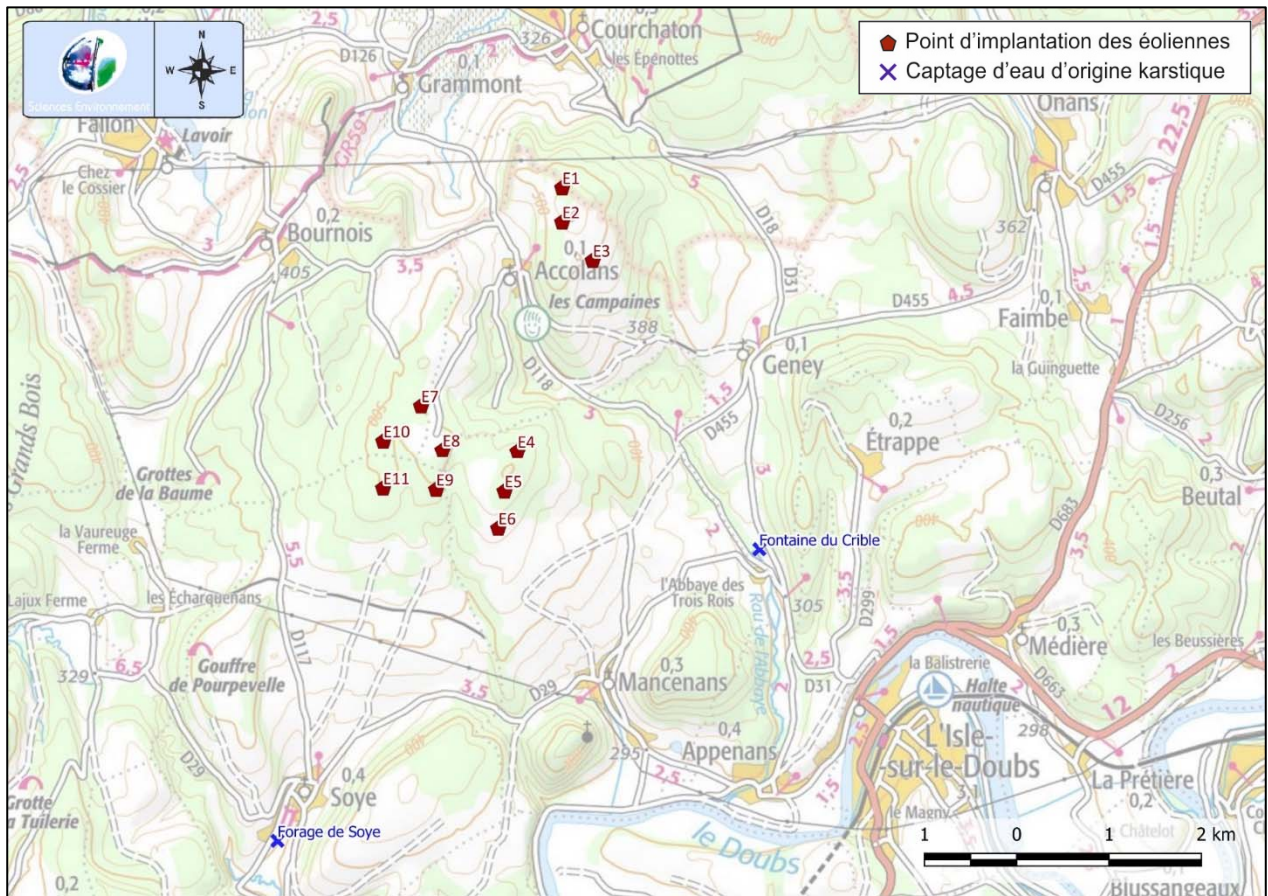


Figure 1 : Plan de situation générale

1 Préambule

Dans le cadre de l’étude d’impact du projet éolien Colchique sur les communes d’Accolans, Bournois, Mancenans et Soye, la société H2AIR a mandaté le bureau d’études Sciences Environnement pour réaliser une note hydrogéologique sur l’impact potentiel des travaux sur les ressources en eau du secteur (dossier 19-280 de décembre 2019).

Suite à cette note et à une réunion sur le terrain, M. Mettetal, Hydrogéologue Agréé, a demandé la réalisation d’une campagne de coloration pour émettre un avis sur la mise en place des éoliennes. En effet, les éoliennes E1, E2, E3, E7, E10, et E11 sont localisées dans les aires d’alimentation des captages AEP de la Fontaine du Crible et de Soye : cette étude vise à caractériser les relations entre les points d’implantation des éoliennes et les sources AEP.

Compte tenu des contraintes techniques inhérentes à la mise en œuvre des traçages des eaux souterraines, l’injection de plus de 3 traceurs fluorescents dans des systèmes aussi proches peut être problématique : une restitution importante et simultanée de traceurs aux caractéristiques proches peut rendre impossible leur distinction. Sciences Environnement a donc proposé de réaliser dans un premier temps une campagne de traçage sur les points E1, E8 et E10, et d’envisager la suite en fonction des résultats de cette campagne.

Cette étude a été réalisée avec un suivi qualitatif (fluocapteurs) et quantitatif (fluorimètres et préleveurs automatiques) au niveau des sources AEP.

2 Contexte hydrogéologique

Le projet de parc éolien Colchique est implanté au cœur de la zone de plateaux pré-jurassiens limités au nord par la dépression Permo-triasique séparant le massif du Jura et celui des Vosges et au sud par la vallée du Doubs.

Dans le secteur d’étude, toute l’ossature du plateau est composée par l’importante série de calcaires massifs du Jurassique Moyen qui affleurent en couche monoclinale avec un pendage modéré, orienté en direction de la vallée du Doubs.

Ces niveaux calcaires dont l’épaisseur varie de quelques dizaines à plus d’une centaine de mètres entre le nord et le sud du plateau, reposent sur l’ensemble globalement imperméable du Lias qui affleure au nord du plateau en formant une cuesta bien marquée dominant la dépression triasique de Haute-Saône.

Du fait de l’étagement géologique, l’ossature du plateau qui borde la vallée du Doubs est constituée par les niveaux calcaires du Jurassique supérieur qui sont séparés de ceux du Jurassique moyen par un niveau de marnes bleues imperméable d’âge Oxfordien. Leur présence est soulignée dans le paysage par une petite zone en dépression à proximité de laquelle sont implantés les villages de Soye et Mancenans.

Cet ensemble tabulaire est affecté par de grands accidents tectoniques d’orientation subméridienne dont le rejet peut localement atteindre plusieurs dizaines de mètres.

Du point de vue hydrogéologique, les calcaires du Jurassique moyen forment ainsi un aquifère karstique particulièrement bien développé qui se distingue notamment par :

- la présence de nombreuses dolines et dépressions fermées,
- la présence de gouffres, de grottes et d'importants réseaux souterrains visitables,
- la quasi-absence d'écoulement de surface sur l'essentiel du plateau et des écoulements souterrains qui se concentrent dans des sources peu nombreuses mais au débit relativement important.

Une vingtaine d'opérations de traçage des eaux souterraines sont recensées sur le secteur d'étude dont les résultats témoignent d'une concentration des écoulements en direction de la vallée du Doubs selon trois exutoires principaux, tous localisés près du contact entre les calcaires du Jurassique moyen et les marnes de l'Oxfordien :

- Le système de Gourdeval – Soye à l'ouest
- Le système de Mancenans
- Le système de l'Abbaye des 3 Rois à l'est du territoire de Mancenans.

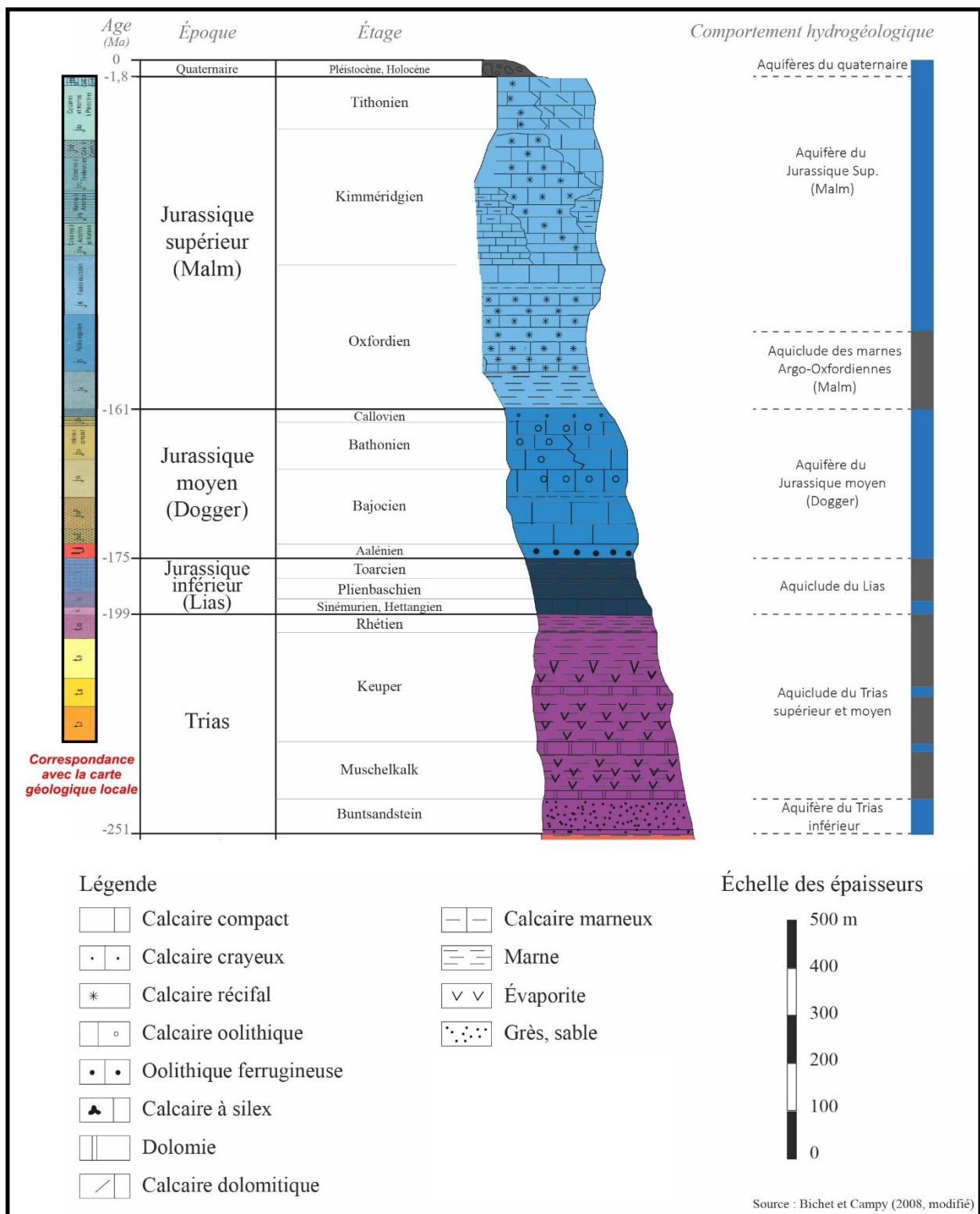


Figure 2 : Log stratigraphique local simplifié

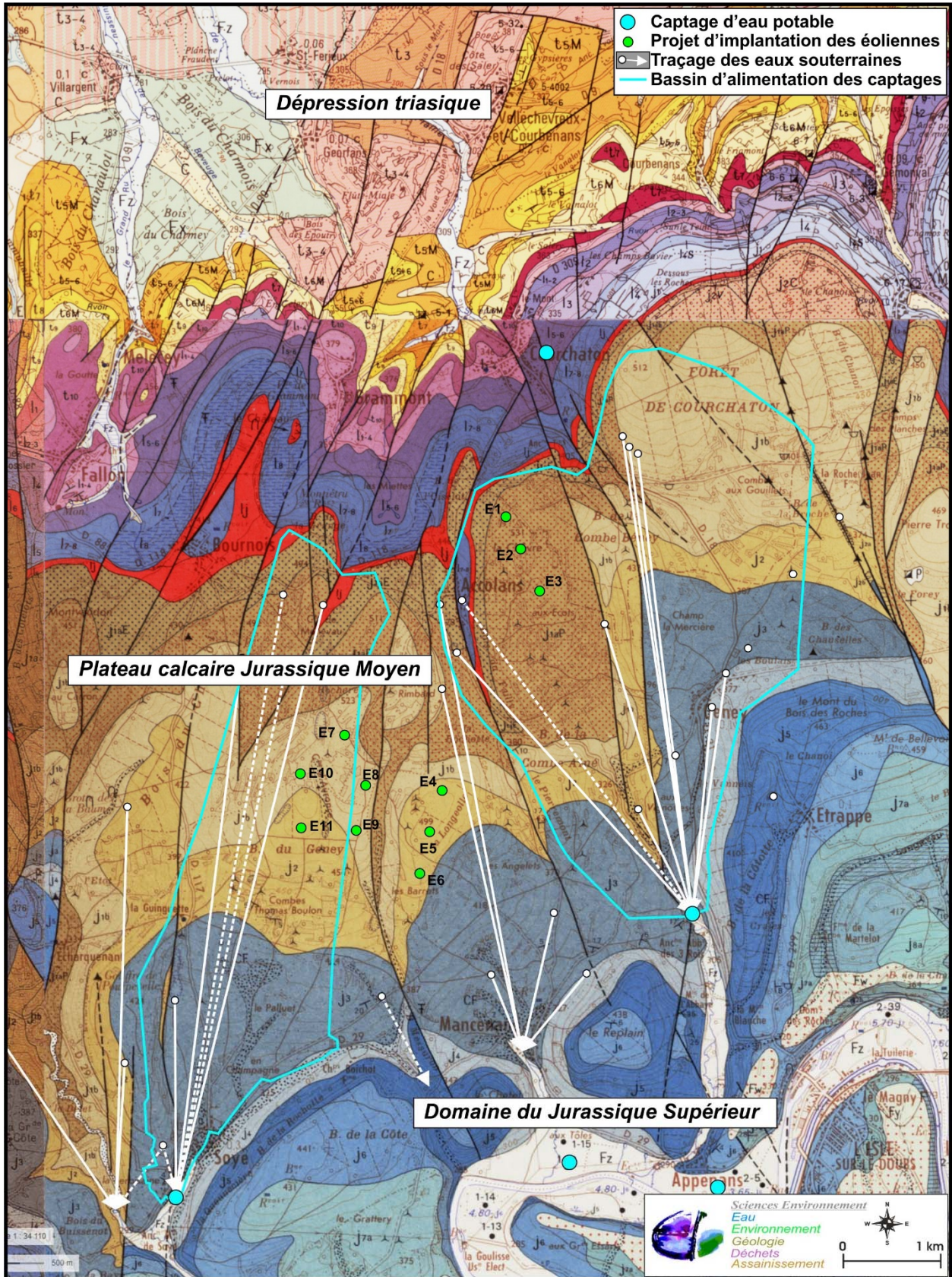


Figure 3 : Contexte hydrogéologique

3 Méthodologie générale des opérations de traçage

Le traçage des eaux souterraines vise à mettre en évidence les relations hydrogéologiques pouvant exister entre un secteur d’infiltration des eaux superficielles avec un ou plusieurs points d’émergence (naturel ou artificiel) des eaux souterraines.

Les essais de traçage à partir des sites d’éoliennes E1, E8 et E10 ont été réalisés avec l’injection de trois traceurs fluorescents différents, l’éosine, la sulforhodamine B et la fluorescéine, directement dans des fosses creusées au plus près des implantations prévues des éoliennes.

L’injection du colorant s’est accompagnée d’un ajout de plusieurs mètres cubes d’eau pour faciliter son infiltration et sa circulation dans le sous-sol.

Ces traceurs sont classiquement employés pour ce type d’opération, car ils ne présentent pas de contrainte toxicologique et offrent l’intérêt d’une analyse simple et fiable pour des seuils de détection particulièrement faibles ($< 0,5 \mu\text{g/l}$).

La restitution des colorants est contrôlée sur les sources et les cours d’eau voisins pour définir au mieux l’orientation des écoulements dans le sous-sol. Suivant la transmissivité des terrains traversés (fissures peu ouvertes ou chenaux karstiques) et la distance des points d’injection, le pas de temps de contrôle aux émergences peut varier de quelques heures à quelques semaines.

La surveillance quantitative des exutoires peut s’effectuer par le biais de fluorimètres de terrain (quantification en continue) ou de préleveurs d’eau automatiques pour analyses en laboratoire (plus fiables et plus précises).

Elle peut être complétée par un contrôle qualitatif de la restitution via l’utilisation de fluocapteurs. Il s’agit de petits sachets poreux remplis de charbon actif ayant la propriété de fixer les molécules de colorant présentes dans l’eau.



Figure 4 : Préleveur automatique ; Fluocapteurs ; Spectrofluorimètre LS-50B

Relevés avec un pas de temps évolutif adapté aux résultats de chaque tournée, ils permettent d’étendre la surveillance passive de la restitution à de nombreux exutoires.

Les échantillons d’eau et les fluocapteurs collectés lors de chaque tournée sont analysés dans notre propre laboratoire d’analyses de colorant, équipé d’un spectrofluorimètre LS-50B.

L’échantillon analysé est soumis à un double scanning synchrone (balayage des longueurs d’ondes d’excitation et d’émission avec un intervalle de longueur d’onde constant).

Le spectre obtenu est caractérisé par des pics symétriques et étroits lors de la présence de colorants. Chaque pic est concentré sur une longueur d’onde d’émission caractéristique du colorant contenu dans la solution.

Cette méthode d’analyse permet l’identification fiable et certaine de la présence du ou des colorants dans l’échantillon analysé et limite, dans certains cas, les erreurs d’interprétation liées aux variations d’intensité de la fluorescence naturelle.

Les analyses ont été effectuées dans les jours suivant le ramassage des échantillons, ce qui permet d’avoir un suivi en temps réel de la restitution et d’ajuster au mieux le suivi de la coloration.

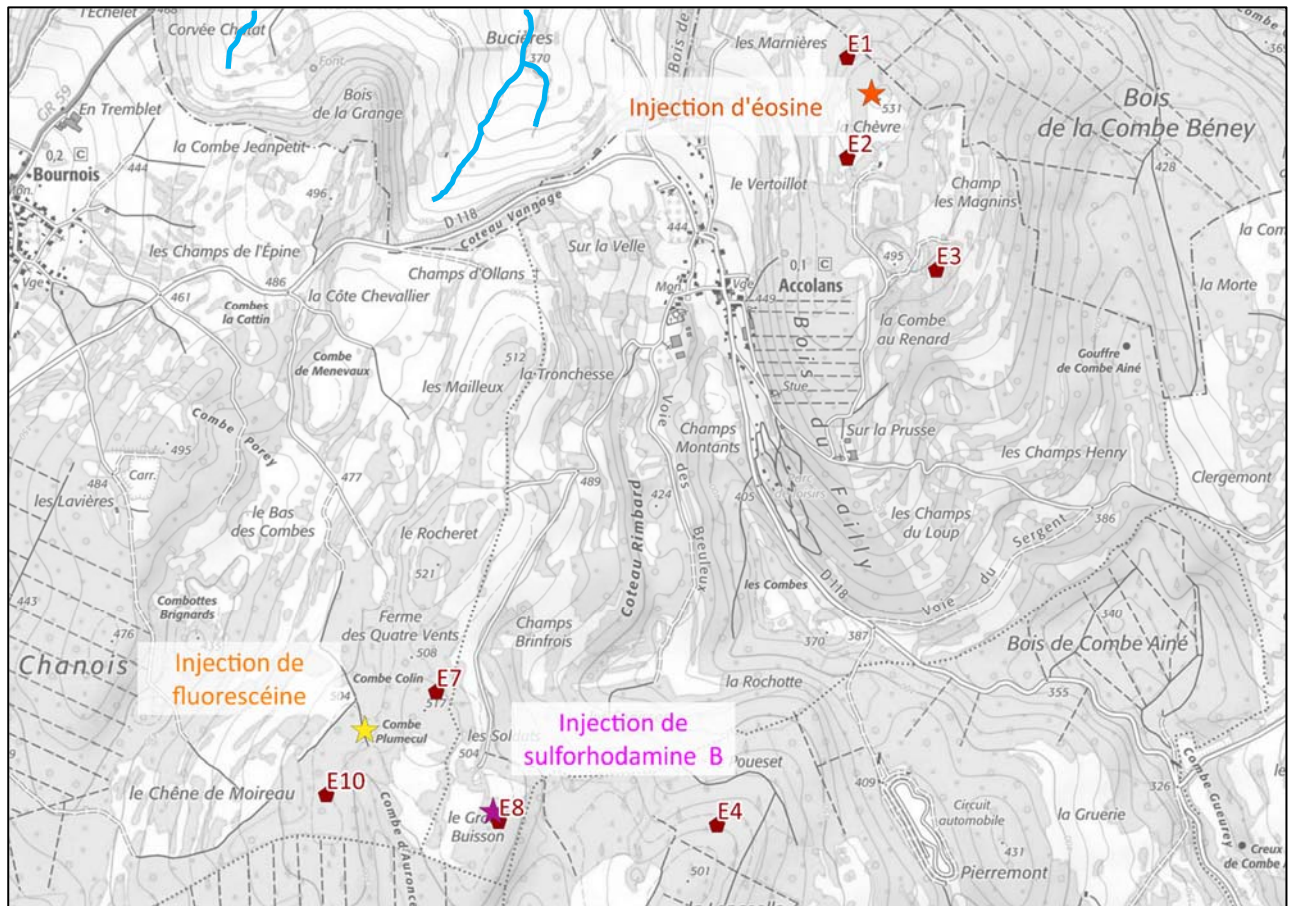


Figure 5 : Localisation des points d'injection sur fond IGN

4 Déroulement du traçage des eaux souterraines

4.1 Injection du colorant

Les essais de traçage ont été réalisés le 5 février 2020 avec 3 traceurs fluorescents : la fluorescéine, la sulforhodamine B et l'éosine.

Les choix des points d'injection ont été réalisés en concertation avec l'hydrogéologue agréé au plus près des implantations des éoliennes E1, E8 et E10 avec pour principal objectif la caractérisation du lien entre les points d'implantation des éoliennes et les sources AEP du secteur.

Les éoliennes concernées étaient situées sur les communes d’Accolans et de Bournois.

L’environnement boisé des implantations ne nous a pas permis d’injecter les colorants précisément au droit des éoliennes, mais le point d’injection le plus éloigné se trouve à moins de 300 m de l’éolienne concernée.

En absence d’entrée naturelle des petites fosses d’injection ont été creusées à la pelle mécanique afin de favoriser la migration des traceurs au sein du réservoir karstique et de maximiser les chances de succès de l’opération.

4.1.1 Choix des traceurs

Pour ce type d’étude des circulations d’eau au sein de la ressource karstique, le choix des traceurs fluorescents fait généralement consensus car ils permettent notamment obtenir une excellente résolution analytique avec des méthodes d’analyses fiables et simples.

Leur propriété d’absorption sur le charbon actif permet également la mise en place d’une surveillance passive par fluocapteurs et ainsi de fiabiliser et d’étendre la surveillance à une pluralité d’exutoires.

Dans le cadre de l’opération de février 2020, les choix du positionnement des traceurs et les quantités utilisés ont été motivés par les principaux points suivants :

- Mise en place de l’éosine sur le bassin versant de la Fontaine du Crible pour limiter les risques de réapparition à l’œil nu sur la source captée de la Fontaine du Crible, l’éosine étant moins « colorante » que la fluorescéine à concentration égale.

En outre, en cas de restitution simultanée avec la fluorescéine, sa quantification précise peut être rendue complexe d’où la volonté d’éviter l’usage de ces 2 traceurs dans le même bassin versant.

- Mise en place de la fluorescéine et de la sulforhodamine B dans le bassin versant supposé des sources de Mancenans et/ou de Soye.

En cas de restitution simultanée des 2 traceurs, leurs propriétés de fluorescence ne limitent pas la précision de leur quantification.

En outre en cas de restitution massive et rapide de la fluorescéine (plus aisément visible à l’œil nu), les exutoires karstiques ciblés ne sont pas captés pour la production d’eau potable.

Le village de Soye est en effet alimenté par le forage profond de la Sarre qui draine la partie inférieure de l’aquifère karstique local (cf. notre rapport « Note hydrogéologique sur l’impact potentiel des travaux sur les captages en eau potable du secteur » de décembre 2019).

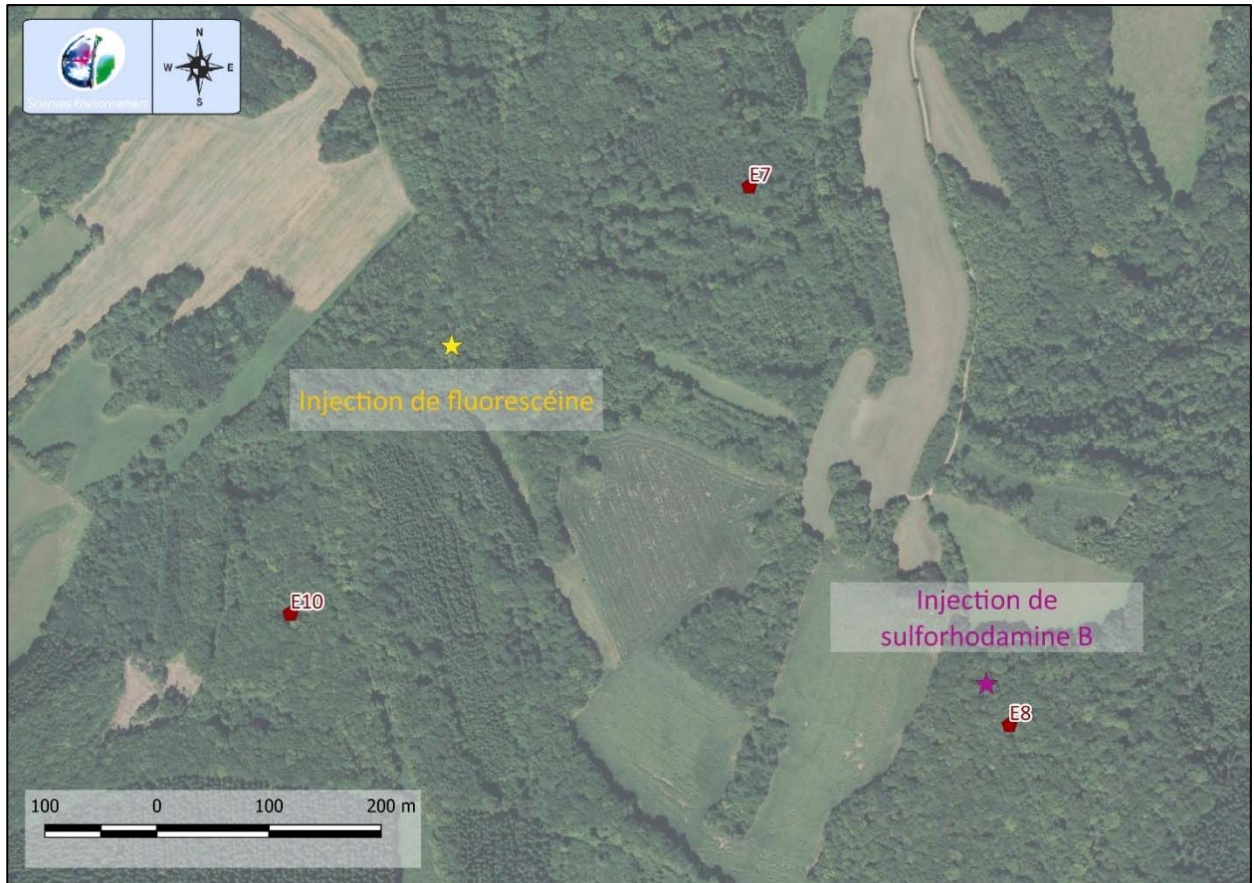


Figure 6 : Localisation des points d’injection de la fluorescéine et la sulforhodamine

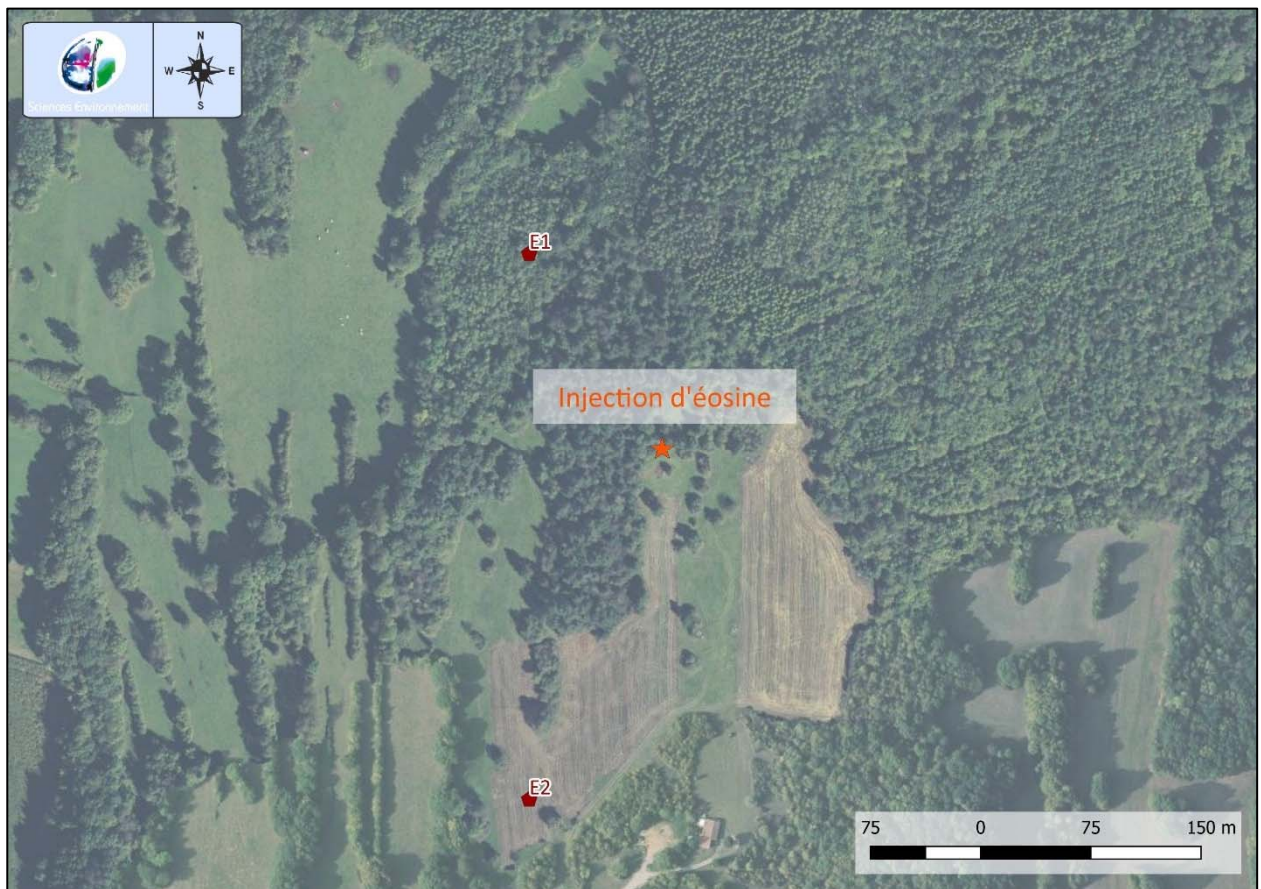


Figure 7 : Localisation du point d’injection de l’éosine (commune d’Accolans)

4.1.2 Injection de Fluorescéine

Le premier point testé correspondait à l’implantation de l’éolienne E10, au niveau de la combe Plumecul, sur la parcelle B 745 à Bournois. La fosse a été creusée le long de la piste forestière.

Elle montrait la coupe suivante :

- De 0 à 0,3 mètre de profondeur : un horizon de terre végétale ;
- De 0,3 à 1,5 mètre de profondeur : un horizon de plaquettes calcaires et de terre limoneuse ;
- A 1,5 m de profondeur : un horizon calcaire.

Vers 10h, 2 kg de Fluorescéine ont été dilués dans de l’eau puis déversés dans cette fosse. 5 m³ d’eau ont été ajoutés. L’infiltration était moyenne, mais terminée vers 11h et la fosse a été rebouchée.



Figure 8 : Injection de fluorescéine

4.1.3 Injection de Sulforhodamine B

Le deuxième point testé correspondait à l’éolienne E8, localisée au niveau du lieu-dit Le Grand Buisson, parcelle ZE 4 de la commune d’Accolans.

La fosse a été creusée à la pelle mécanique le long de la piste forestière et a atteint une profondeur d’environ 2m.

Elle montrait la coupe suivante :

- De 0 à 0,5 m de profondeur : un horizon de terre végétale ;
- De 0,5 à 1,5 m : horizon de calcaire en plaquettes ;
- De 1,5 à 2 m : horizon calcaire.

Vers 12h, 4 kg de sulforhodamine B ont été dilués dans de l’eau puis déversés dans cette fosse. 5 m³ d’eau ont ensuite été ajoutés au colorant afin de favoriser sa migration vers le système actif de l’aquifère. L’infiltration était lente, mais terminée un peu après 13h et la fosse a été rebouchée.



Figure 9 : Injection de sulforhodamine B

4.1.4 Injection d’Eosine

Le dernier point testé correspondait à l’implantation de l’éolienne E1, au niveau du lieu-dit La Chèvre, sur la parcelle ZA 31 à Accolans. Une première fosse a été creusée, mais l’infiltration était quasi-nulle et une seconde fosse a été réalisée un peu plus loin.



Figure 10 : Fosse d’injection de l’éosine

Elle montrait la coupe suivante :

- De 0 à 0,2 mètre de profondeur : un horizon de terre végétale ;
- De 0,2 à 1 mètre de profondeur : un horizon de plaquettes calcaires et de terre limoneuse ;
- De 1 à 1,5 m de profondeur : un horizon calcaire.

Vers 14h30, 4 kg d’Eosine ont été dilués dans de l’eau puis déversés dans cette fosse. L’infiltration était médiocre et seulement 3 à 4 m³ d’eau ont été ajoutés. La fosse a été rebouchée un peu après 16h.



Figure 11 : Injection de l’éosine

4.1.5 Récapitulatif

Tableau 1 : Résumé des injections réalisées le 5 février 2020 sur les communes de Bournois et Accolans

Secteur d’injection	Combe Plumecul	Le Grand Buisson	La Chèvre
Colorant injecté	Fluorescéine 2 kg	Sulforhodamine B 4 kg	Eosine 4 kg
Coordonnées Lambert 93	X = 964 537 Y = 6 714 793 Z = 505,6	X = 965 013 Y = 6 714 491 Z = 508,5	X = 966 420 Y = 6 717 161 Z = 530,1
Eolienne concernée	E10	E8	E1
Volume d’eau ajouté	5 m ³	5 m ³	3,5 m ³
Conditions d’infiltration	Moyennes	Moyennes	Médiocres
Distance à la Fontaine du Crible			4,3 km
Distance au captage de Soye	4,7 km	4,6 km	

4.2 Description des points de surveillance

Lors de cette opération de traçage des eaux souterraines, 9 points distincts ont fait l’objet d’une surveillance régulière par fluocapteurs, et 3 d’une surveillance quantitative par le biais d’un doublet de fluorimètres et de préleveurs automatiques.

Les résultats des préleveurs étant plus fiables en cas de turbidité importante, un second préleveur a été installé à la Fontaine du Crible en plus du fluorimètre de terrain pour privilégier la qualité des mesures sur cette ressource particulière.

Le tableau 2, en page suivante, présente les principales caractéristiques de ces points de contrôle. La plupart de ces points sont des points d’émergence issus de l’aquifère du Jurassique moyen, mis à part le forage de Courchaton qui capte une venue d’eau issue des niveaux marno-calcaires du Domérien.

Les fluocapteurs ont tous été renouvelés selon un pas de temps évolutif après l’injection puis totalement retirés le 4 mars 2020 après un suivi d’1 mois.

Une série de témoins a été placée du 15 au 29 janvier 2020 sur les points de surveillance de façon à établir le bruit de fond analytique et de confirmer l’absence de trace de colorant sur les exutoires avant les opérations d’injection.

Tableau 2 : Description des points de surveillance (coordonnées Lambert 93)

N°	Nom	Commune	Coordonnées Lambert 93	Contexte
A	Ru de Mancenans	Mancenans	X : 966742 Y : 6711847 Z : 295	Exutoire des calcaires du Callovien
B	Fontaine du Crible	Mancenans	X : 968334 Y : 6713270 Z : 308	Exutoire des calcaires du Callovien
C	Creux de la Combe Aîné	Geney	X : 967801 Y : 6714363 Z : 322	Exutoire karstique des calcaires du Bathonien
D	Forage de Soye	Soye	X : 963251 Y : 6710233 Z : 302	Forage AEP captant les calcaires du Callovien en profondeur
E	Résurgence de Gourdeval	Soye	X : 962923 Y : 6709848 Z : 297	Exutoire des calcaires du Callovien
F	Ru de Courchaton	Courchaton	X : 966770 Y : 6718447 Z : 350	Exutoire des calcaires de l’Aalénien
G	Ancien captage de Courchaton	Courchaton	X : 966396 Y : 6719092 Z : 325	Ancien captage AEP Calcaires de l’Hettangien et du Sinémurien
H	Forage de Courchaton	Courchaton	X : 966884 Y : 6718602 Z : 376	Forage AEP captant les marno calcaires du Domérien (Lias)
I	Ancien captage de Soye	Soye	X : 963250 Y : 6710229 Z : 302	Ancien captage AEP Calcaires du Callovien

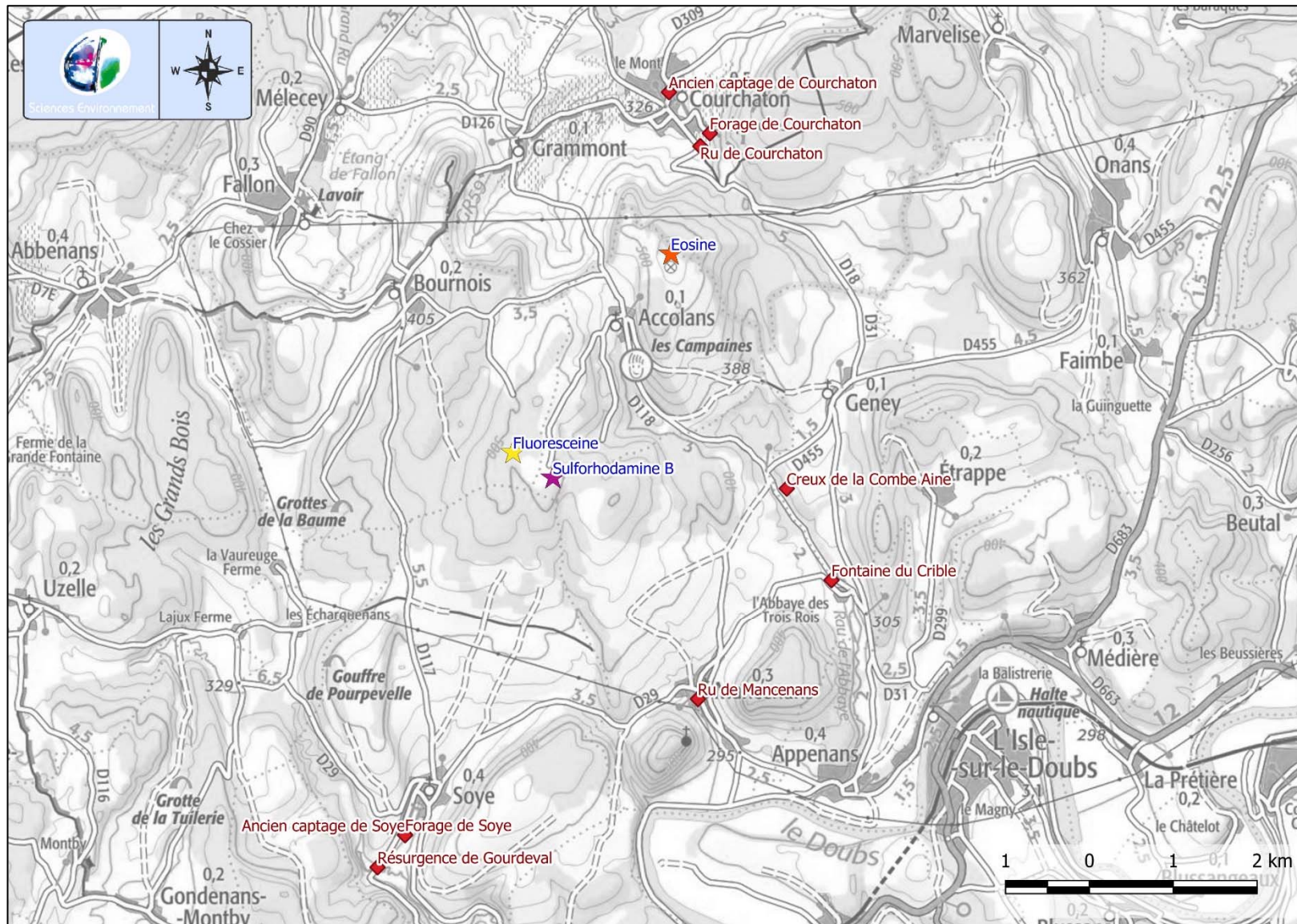


Figure 12 : Plan de localisation des points de surveillance

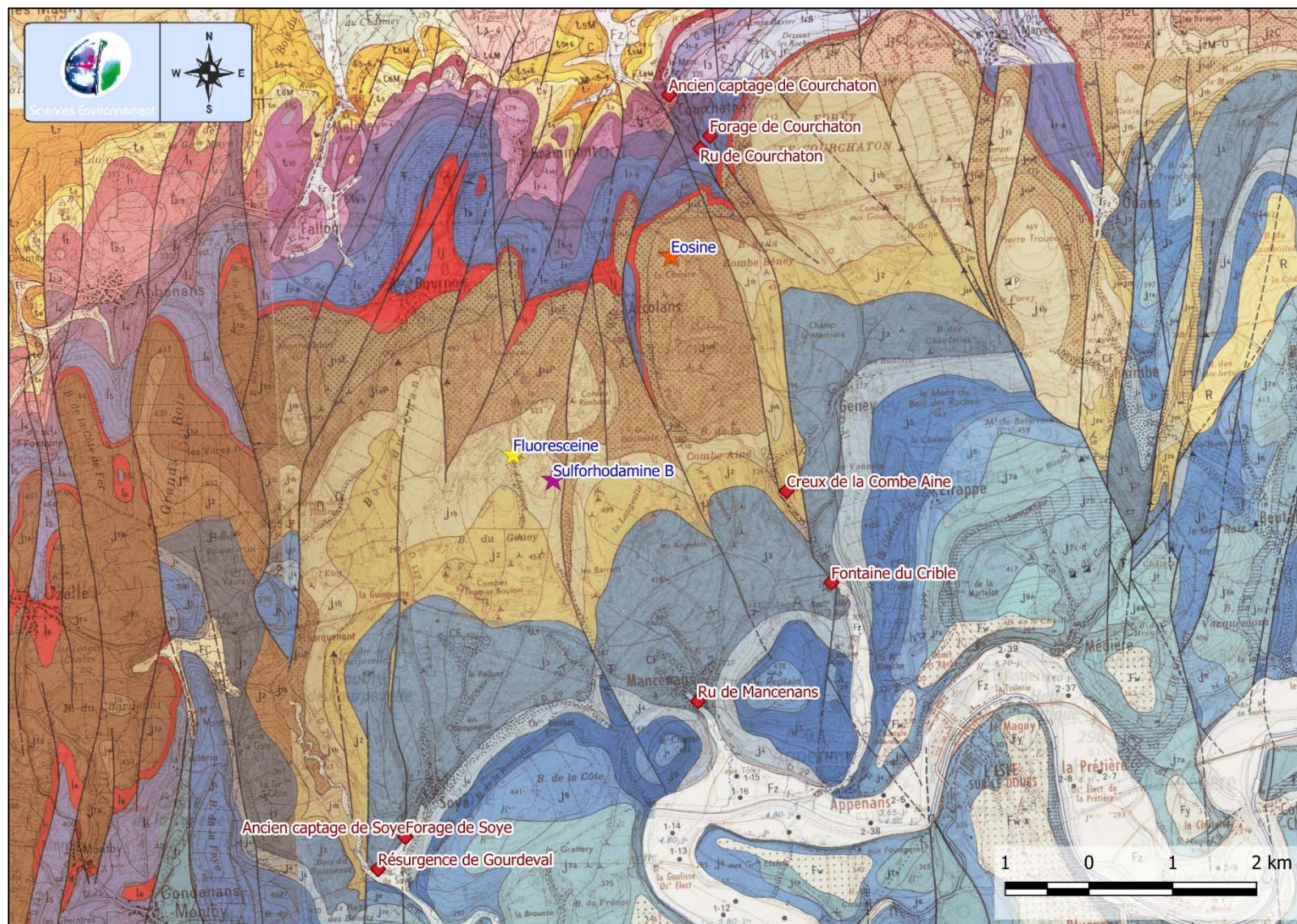


Figure 13 : Localisation des points de surveillance sur fond géologique au 1/50000°

4.3 Conditions hydrologiques

L’injection s’est déroulée en période de hautes eaux.

En effet, si le mois de janvier était très sec, les précipitations ont repris une dizaine de jours avant l’injection. Le mois de février a connu quelques épisodes pluvieux de plusieurs jours, avec un cumul de 100 mm de pluie à Besançon et 88,5 à Luxeuil.

Les conditions hydrologiques rencontrées durant la période d’étude peuvent ainsi être considérée comme favorables à la mise en œuvre de l’opération de traçage. En effet, les conditions pluvieuses sont notamment en mesure de favoriser le transfert vertical du traceur en direction de la zone active du système karstique.

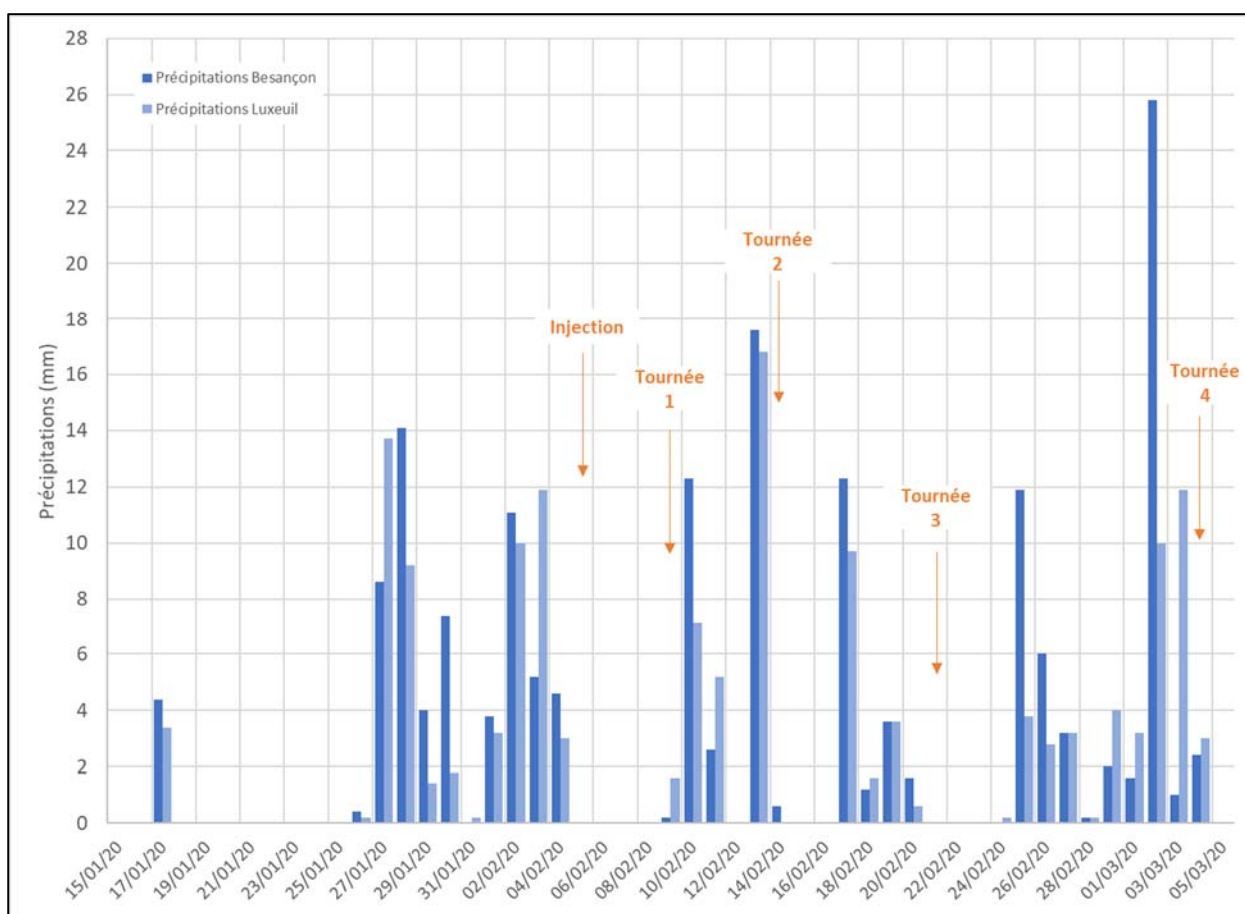


Figure 14 : Pluviométrie quotidienne durant la période d’étude

Les plus hautes eaux ont été observées sur le terrain début février (le jour de l’injection) et lors de la tournée 4 : le creux de la Combe Aîné débordait et inondait la plaine en contrebas.



Figure 15 : Creux de la Combe Aîné débordant vers l’aval

Ces variations peuvent être illustrées en observant les débits du Doubs à Voujeaucourt (25), à environ 18 km du site d’étude. La comparaison du débit journalier du Doubs à Voujeaucourt, avec la médiane des débits (Figure 16) montre que le débit passe de valeurs d’été hivernal en janvier à des valeurs de moyennes-hautes eaux en février, durant la période de suivi.

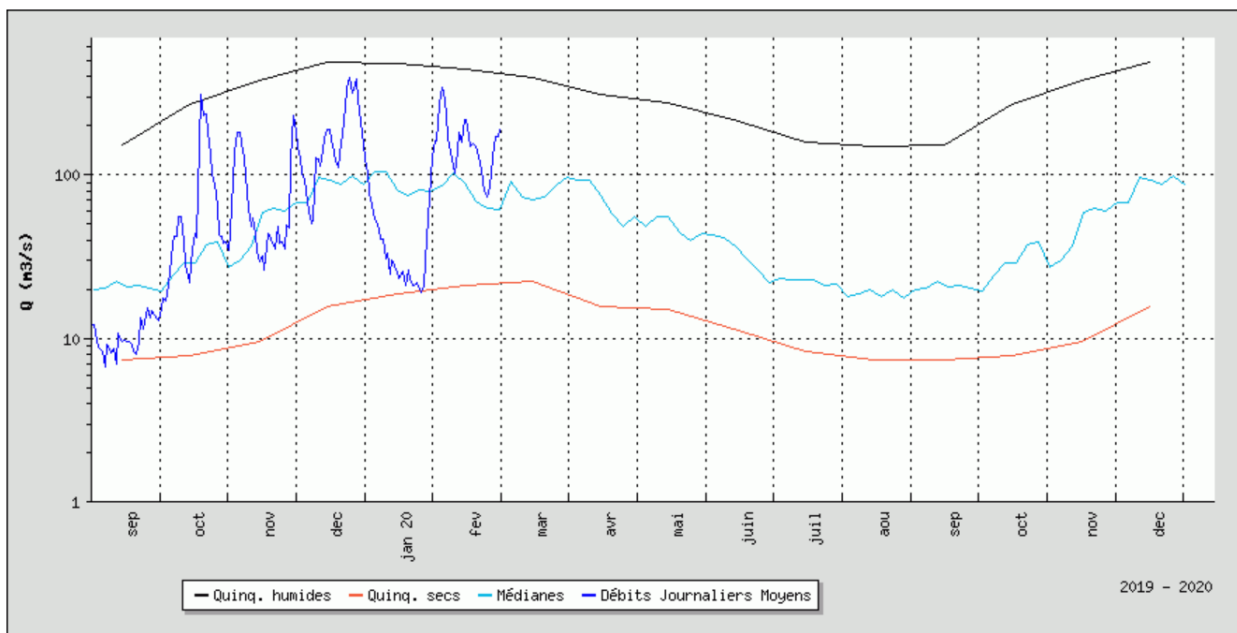


Figure 16 : Comparaison graphique des niveaux d’eau du Doubs à Besançon (25)

5 Résultats - Conclusions

5.1 Restitution observée

5.1.1 Restitution de l'éosine

Le suivi qualitatif mis en place montre une **restitution nette de l'éosine** injectée à l'éolienne E1 **sur les fluocapteurs de la source AEP de la Fontaine du Crible**. La courbe de restitution obtenue par analyse des échantillons du préleveur automatique est présentée en Figure 17.

Les analyses d'eau ponctuelles réalisées lors des différentes tournées ainsi que celles du préleveur automatique confirment les résultats observés à partir des fluocapteurs. Les résultats du préleveur automatique (Figure 17) montrent un pic de restitution commençant le 6 février à 17h, soit environ 25h après l'injection. Cela correspond à une vitesse de 4 km/j environ. Les teneurs observées restent par contre modérées, avec une valeur au pic de l'ordre de 3,6 µg/l le 07/02/2020.

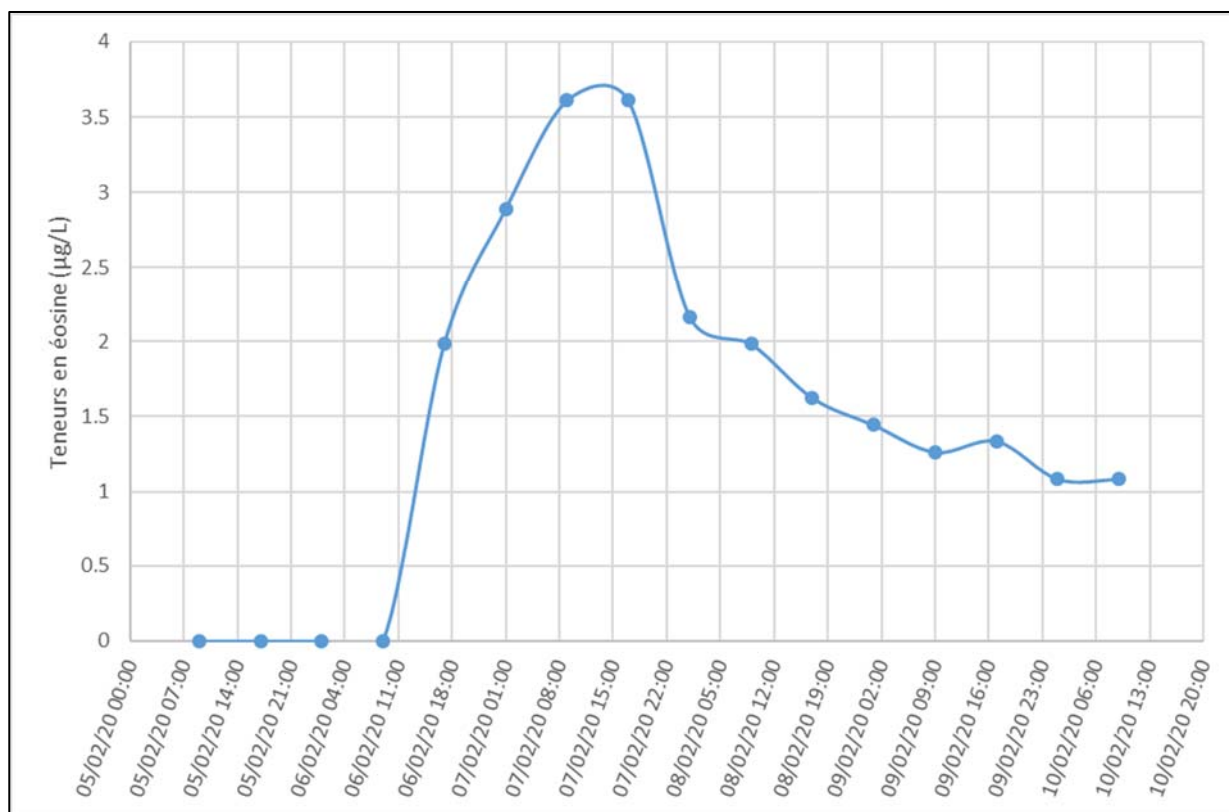


Figure 17 : Courbe de restitution à la Fontaine du Crible

Le taux de restitution au captage, calculé pour les concentrations mesurées du 6 février à 17h au 4 mars à 10h, et pour un débit moyen de 100 l/s, est d'environ 7,5 %. Il s'agit d'un taux de restitution plutôt faible, mais cohérent avec les teneurs plus importantes mesurées sur les fluocapteurs placés au Creux de la Combe Aîné, où le débit apparaît parfois relativement important durant cette période (point de restitution principale apparent).

5.1.2 Restitution de la Sulforhodamine B

Les résultats montrent une **restitution peu marquée de la sulforhodamine B** sur le fluocapteur de la dernière tournée, mis en place au droit de la source du ruisseau de Mancenans. Ce résultat est confirmé sur la même tournée par la présence de ce traceur sur le second fluocapteur de contrôle mise en place plus à l’aval de ce cours d’eau. Ces fluocapteurs ont été installé sur la période couvrant le 21 février au 4 mars. **Aucune trace de sulforhodamine B n’a été détectée sur les zones de captages d’eau potable surveillées aussi bien sur les échantillons d’eau que sur les fluocapteurs.**

La surveillance par fluocapteur ne permet pas d’établir précisément des vitesses d’écoulement : on sait toutefois que la restitution de la sulforhodamine B a eu lieu entre le 21 février et le 4 mars, soit plus de deux semaines après l’injection, ce qui correspondrait à une vitesse maximale d’environ 0,2 km/j.

5.1.3 Restitution de la fluorescéine

Aucune trace du traceur fluorescéine injectée sur la commune de Bournois n’a été détectée sur les échantillons d’eau et les fluocapteurs relevé durant toute la durée du suivi.

Rappelons que ce traceur et celui qui offre les meilleurs performance de fluorescence. Il permet en effet d’obtenir une résolution analytique relativement précise de l’ordre de 0,05 µg/l contre 0,1 à 0,2 µg/l pour les autres traceurs habituellement utilisés.

L’absence de détection sur la totalité des points contrôlés périodiquement durant l’étude témoigne très certainement de la quasi-absence de transfert du traceur déversé dans la fosse d’injection en direction du système karstique actif local.

Ce type de résultat négatif avec ce traceur est particulièrement peu fréquent dans ce type d’aquifère pour être signalé.

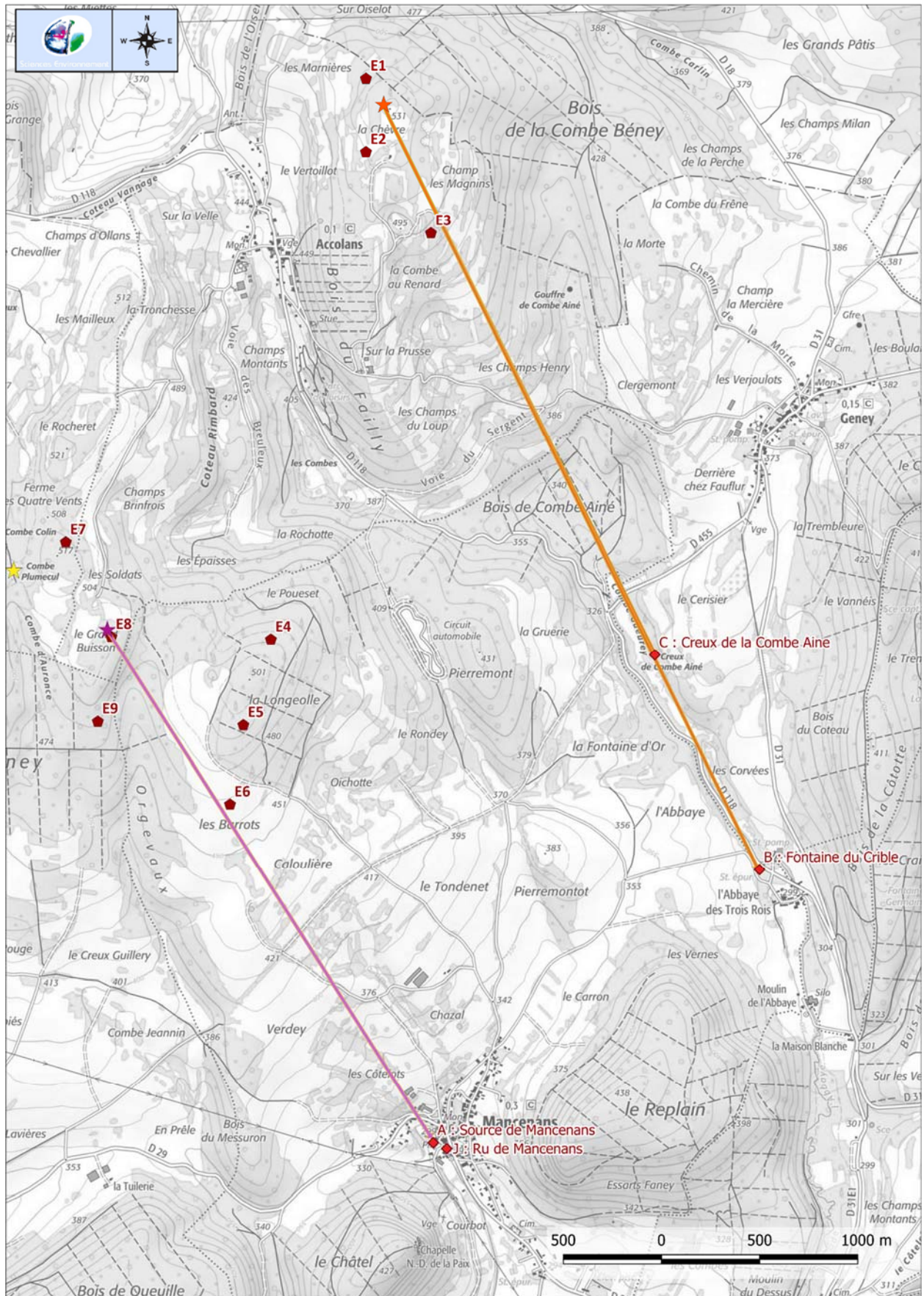


Figure 18 : Carte de synthèse des traçages de février 2020

5.2 Interprétations et conclusions

Les résultats des essais de traçage réalisés en février 2020 sont cohérents avec les résultats des précédents traçages réalisés sur le secteur d’étude.

L’éosine injectée au niveau de l’éolienne E1, dans le Périmètre de Protection Eloigné de la Fontaine du Crible, a été retrouvée au droit de cette source, venant confirmer l’appartenance des éoliennes E1 à E3 au bassin d’alimentation de la Fontaine du Crible.

La restitution a été rapide (1 jour), ce qui correspond à une vitesse de 4 000 m/j (165 m/h) : il s’agit d’une vitesse élevée, témoignant des hautes eaux du jour de l’injection, indiquant un excellent fonctionnement du système karstique et confirmant la vulnérabilité importante du secteur.

Cependant, le débit de la source est à l’origine d’une importante dilution limitant les risques d’impact lisible d’une pollution accidentelle en provenance d’un tel chantier.

La sulforhodamine injectée en E8, en dehors du Périmètre de Protection du forage de la Sarre, n’a été retrouvée qu’à Mancenans, et sur aucune des sources captées pour l’alimentation en eau potable, confirmant ainsi son appartenance et probablement celle des éoliennes E4, E5 et E6 au système de Mancenans.

Sa restitution a été moins marquée et beaucoup plus tardive que pour l’éosine (> 2 semaines), ce qui correspond à une vitesse de circulation de 200 m/j. Cette vitesse peut être considérée comme plutôt faible, bien qu’elle demeure dans les gammes de vitesse habituellement rencontrées dans la région.

Cette différence notable de vitesse témoigne probablement d’une moindre connectivité verticale entre la zone d’injection et le système karstique actif en lien avec la zone d’émergence de Mancenans.

La fluorescéine injectée au niveau de l’éolienne E10 n’a pas été retrouvée, malgré le fait qu’il s’agisse du traceur le plus efficace. Ce résultat un peu surprenant peut également tendre à montrer une karstification moins fonctionnelle dans ce secteur.

Une incertitude subsiste sur le devenir des eaux transitant par le groupe d’éoliennes E7, E9, E10 et E11 et notamment vis-à-vis de son appartenance au système de Soye ou de Mancenans.

Rappelons que dans le cas d’une potentielle connexion avec le secteur de Soye, la survenue d’un incident sur ce secteur lors de phase de travaux de construction n’aura probablement peu ou pas d’impact sur la ressource en eau potable. En effet, d’après les essais effectués par le cabinet Reilé en 2012, le forage drainerait principalement la partie profonde du réservoir karstique diminuant ainsi sa vulnérabilité vis-à-vis des risques de pollutions drainées par le système karstique actif.

Annexe 1 :

Fiche de coloration

Fiche de coloration

COMMUNE :

INJECTION Type de traceur	Quantité (kg)	Lieu (coordonnées Lambert)	Date et heure
Fluorescéine	2	X = 964536.66 ; Y = 6714792.99 ; Z = 506	5/2/2020 à 10h
Sulforhodamine B	4	X = 6481024,8 ; Y = 3501493,4 ; Z = 509	5/2/2020 à 12h30
Eosine	4	X = 6482260,1 ; Y = 3505557,6 ; Z = 530	5/2/2020 à 14h

POINTS SURVEILLES (type de point d'eau : source, ruisseau ou autre - Nom)

N° du fluocapteur	A Source du rude Mancenans			B Fontaine du Crible			C Creux dela Combe Aîné			D Forage de Soye			E Résurgence de Gourdeval			F Ru de Courchaton		
0	15/01/20	29/01/20		15/01/20	29/01/20		15/01/20	29/01/20	Emporté	15/01/20	29/01/20		15/01/20	29/01/20		15/01/20	29/01/20	
		11h45			11h30			11h10			12h20			12h30			10h50	
1	29/01/20	10/02/20		29/01/20	10/02/20		29/01/20	10/02/20		29/01/20	10/02/20		29/01/20	10/02/20		29/01/20	10/02/20	
	11h45	11h45		11h30	12h20		11h10	11h20		12h20	10h30		12h30	09h55		10h50	12h	
2	10/02/20	14/02/20		10/02/20	14/02/20		10/02/20	14/02/20		10/02/20	14/02/20		10/02/20	14/02/20		10/02/20	14/02/20	
	11h45	12h40		12h20	12h20		11h20	12h30		10h30	12h50		09h55	13h25		12h	10h30	
3	14/02/20	21/02/20		14/02/20	21/02/20		14/02/20	21/02/20		14/02/20	21/02/20		14/02/20	21/02/20		14/02/20	21/02/20	
	12h40	11h15		12h20	10h15		12h30	11h		12h50	11h40		13h25	11h55		10h30	9h30	
4	21/02/20	04/03/20		21/02/20	04/03/20		21/02/20	04/03/20	Emporté	21/02/20	04/03/20		21/02/20	04/03/20		21/02/20	04/03/20	
	11H15	9h40		10h15			11h			11h40	10h30		11h55	9h50		9h30	12h20	

Fiche de coloration

COMMUNE :

INJECTION Type de traceur	Quantité (kg)	Lieu (coordonnées Lambert)	Date et heure
Fluorescéine	2	X = 964536.66 ; Y = 6714792.99 ; Z = 506	5/2/2020 à 10h
Sulforhodamine B	4	X = 6481024,8 ; Y = 3501493,4 ; Z = 509	5/2/2020 à 12h30
Eosine	4	X = 6482260,1 ; Y = 3505557,6 ; Z = 530	5/2/2020 à 14h

POINTS SURVEILLES (type de point d'eau : source, ruisseau ou autre - Nom)

N° du fluocapteur	G Lavoir de Courchaton		H Foroage de Courchaton		I Ancien captage de Soye		J Ruisseau de Mancenans		K		L	
0	15/01/20	29/01/20										
		10h40										
1	29/01/20	10/02/20	29/01/20	10/02/20	29/01/20	10/02/20						
	10h40	12h05	10h30	11h50	12h30	10h30						
2	10/02/20	14/02/20	10/02/20	14/02/20	10/02/20	14/02/20						
	12h05	11h10	11h50	10h50	10h30	12h50						
3	14/02/20	21/02/20	14/02/20	21/02/20	14/02/20	21/02/20	14/02/20	21/02/20				
	11h10	9h55	10h50	9h45	12h50	11h40	12h45	11h20				
4	21/02/20	04/03/20	21/02/20	04/03/20	21/02/20	04/03/20	21/02/20	04/03/20				
	9h55	12h10	9h45	12h20	11h40	10h10	11h20	9h45				

Annexe 2 :

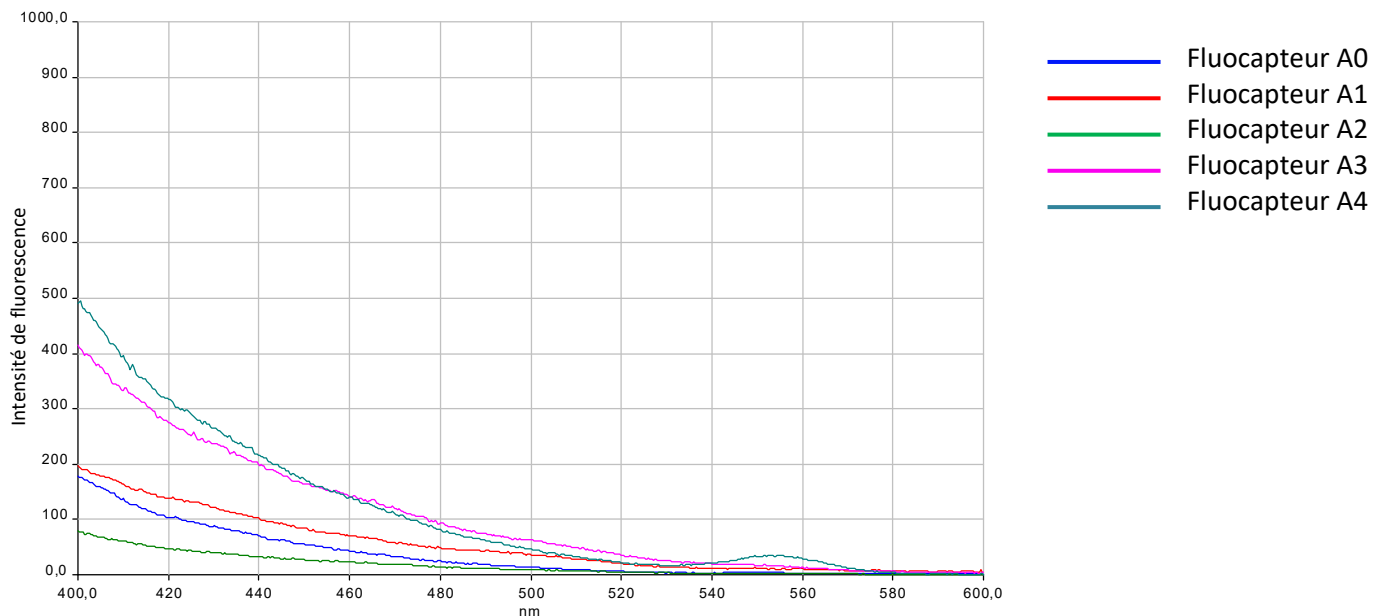
Spectre des fluocapteurs

Les lettres correspondent aux emplacements des sites où les fluocapteurs ont été installés et les chiffres aux tournées de ramassage des fluocapteurs.

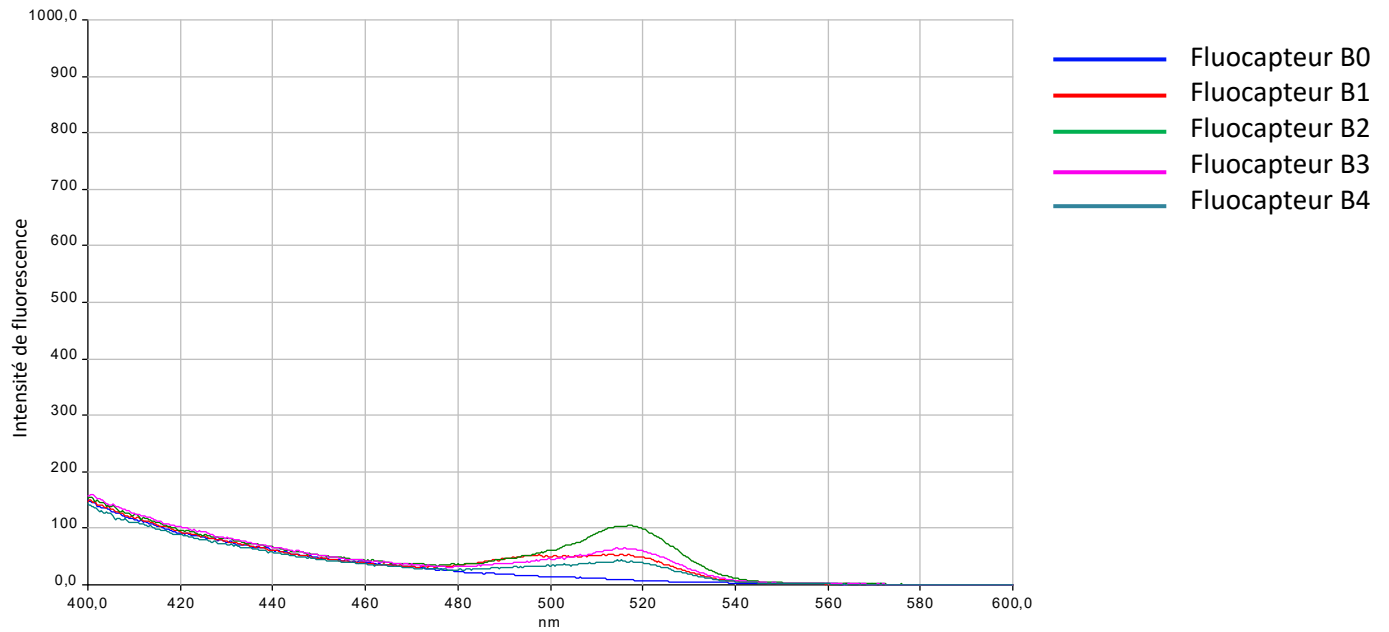
- 1 : 5 jours après l'injection ;
- 2 : 9 jours après l'injection ;
- 3 : 16 jours après l'injection ;
- 4 : 28 jours après l'injection.

Chaque pic est concentré sur une longueur d'onde d'émission caractéristique du colorant contenu dans la solution. La fluorescéine apparaît à une longueur d'onde de 495 nm, l'éosine à 510 nm et la sulforhodamine B à 559 nm.

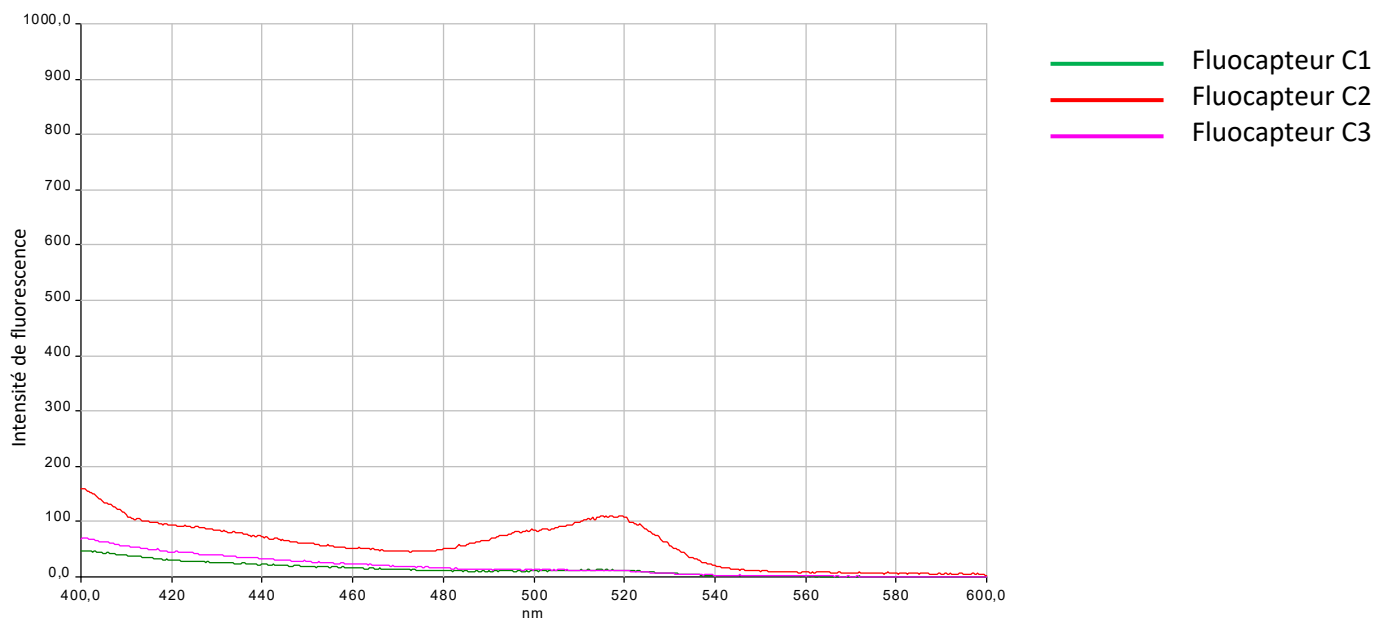
A. SOURCE DE MANCENANS



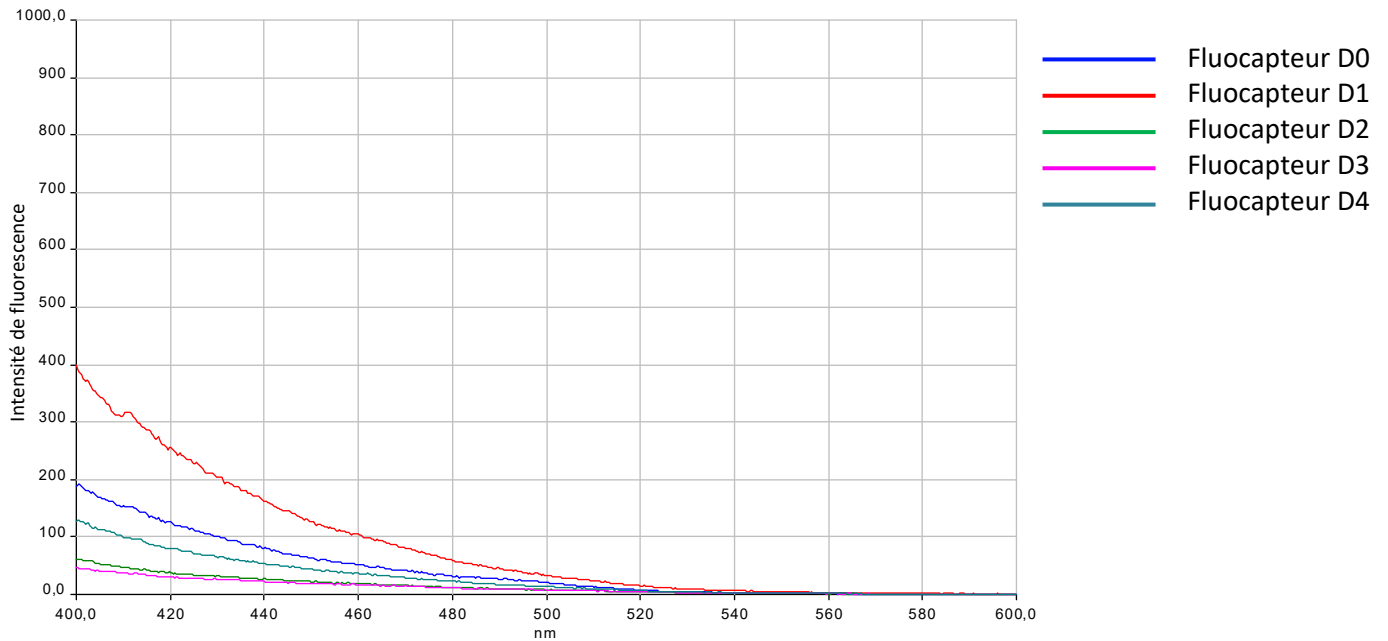
B. FONTAINE DU CRIBLE



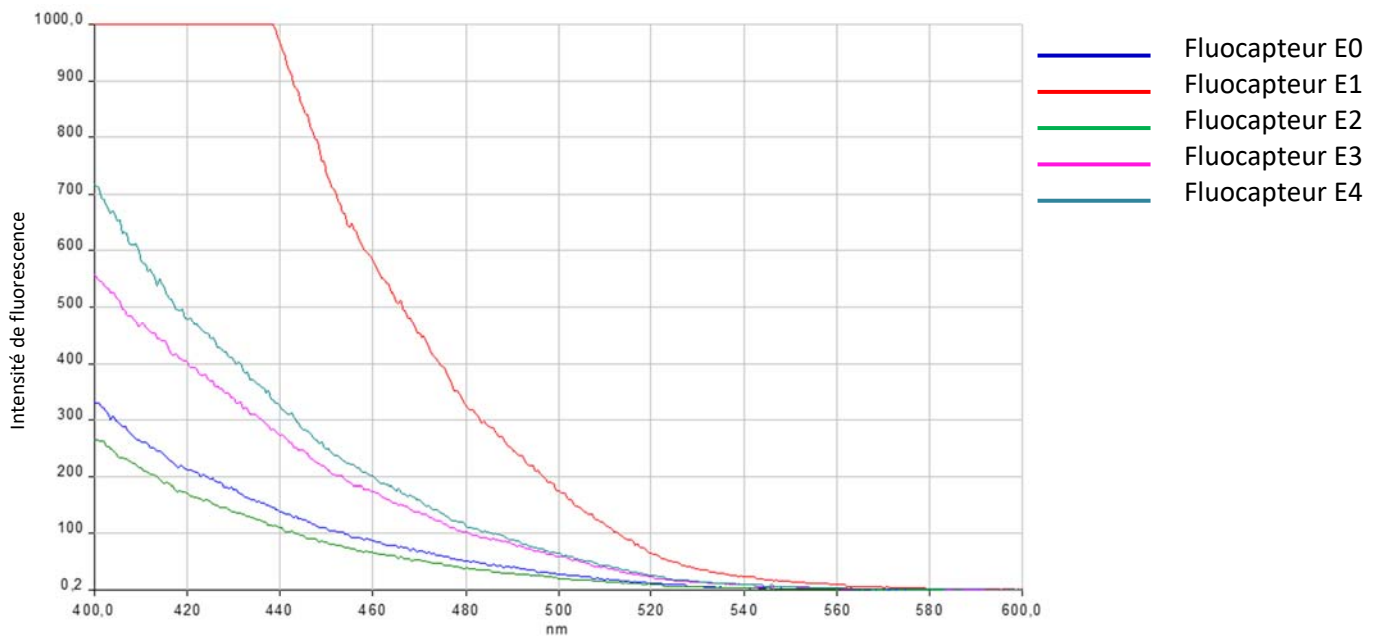
C. CREUX DE LA COMBE AINE



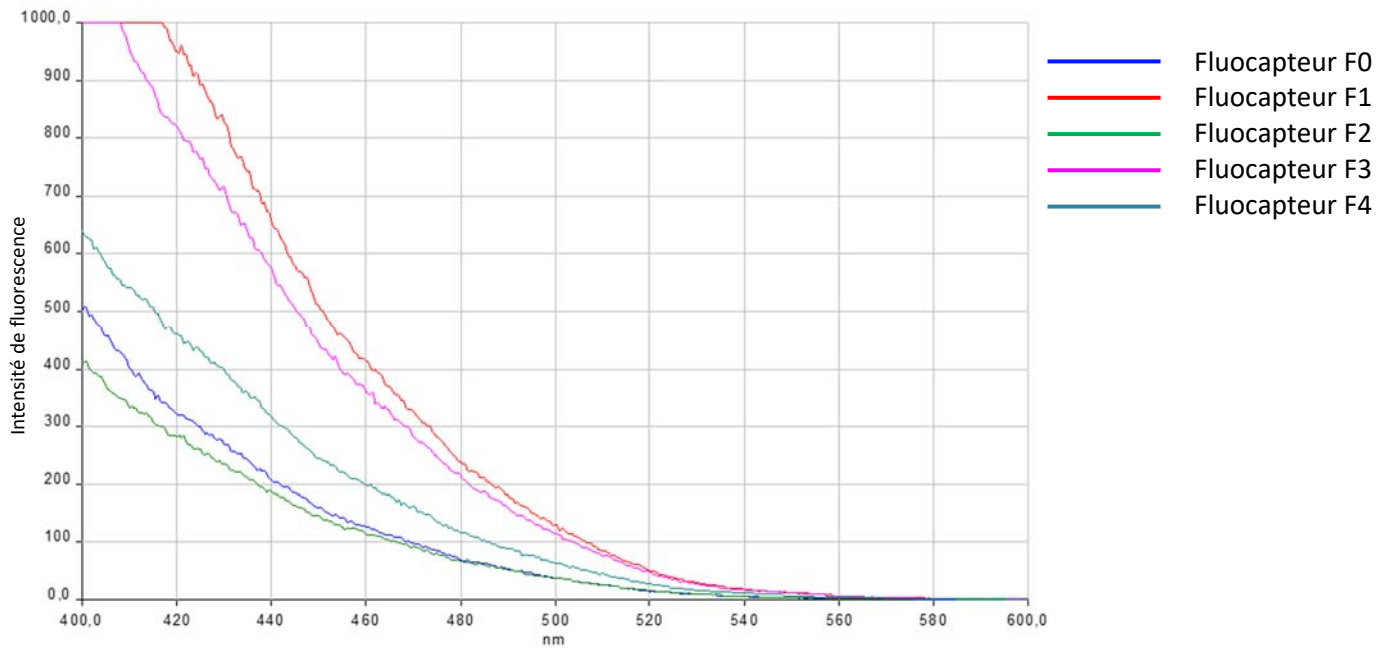
D. FORAGE DE SOYE



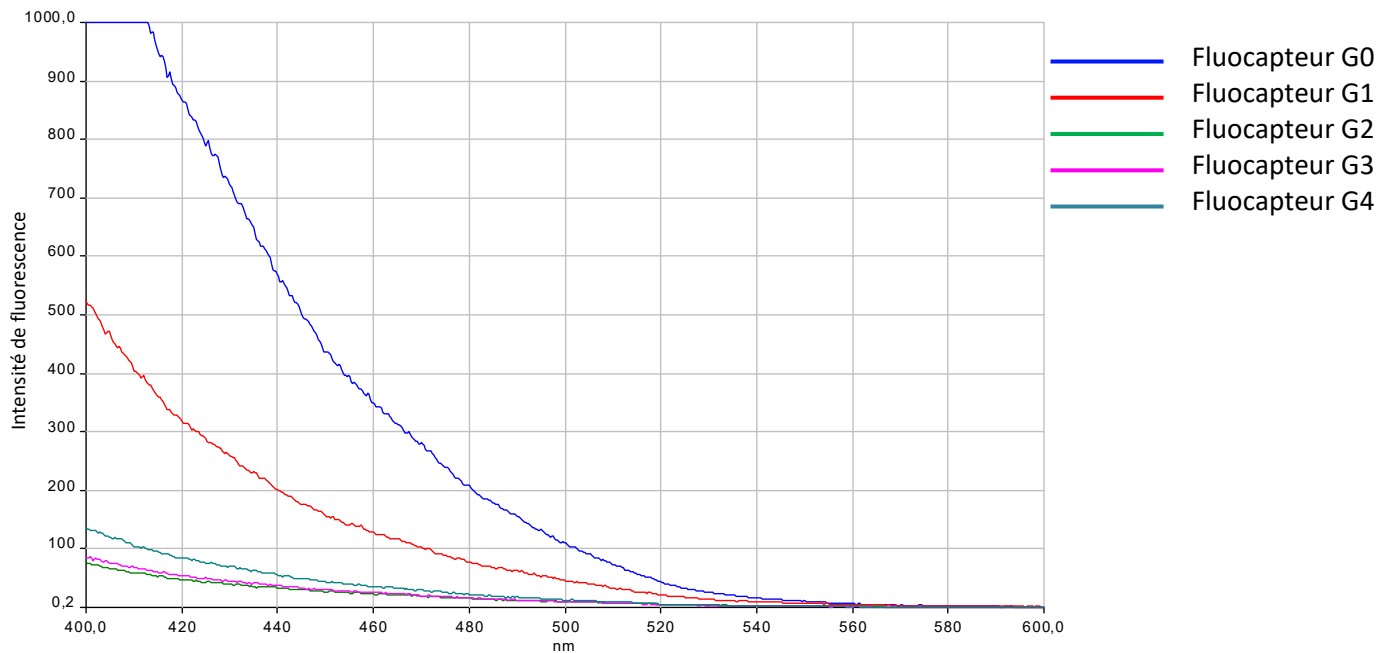
E. RESURGENCE DE GOURDEVAL



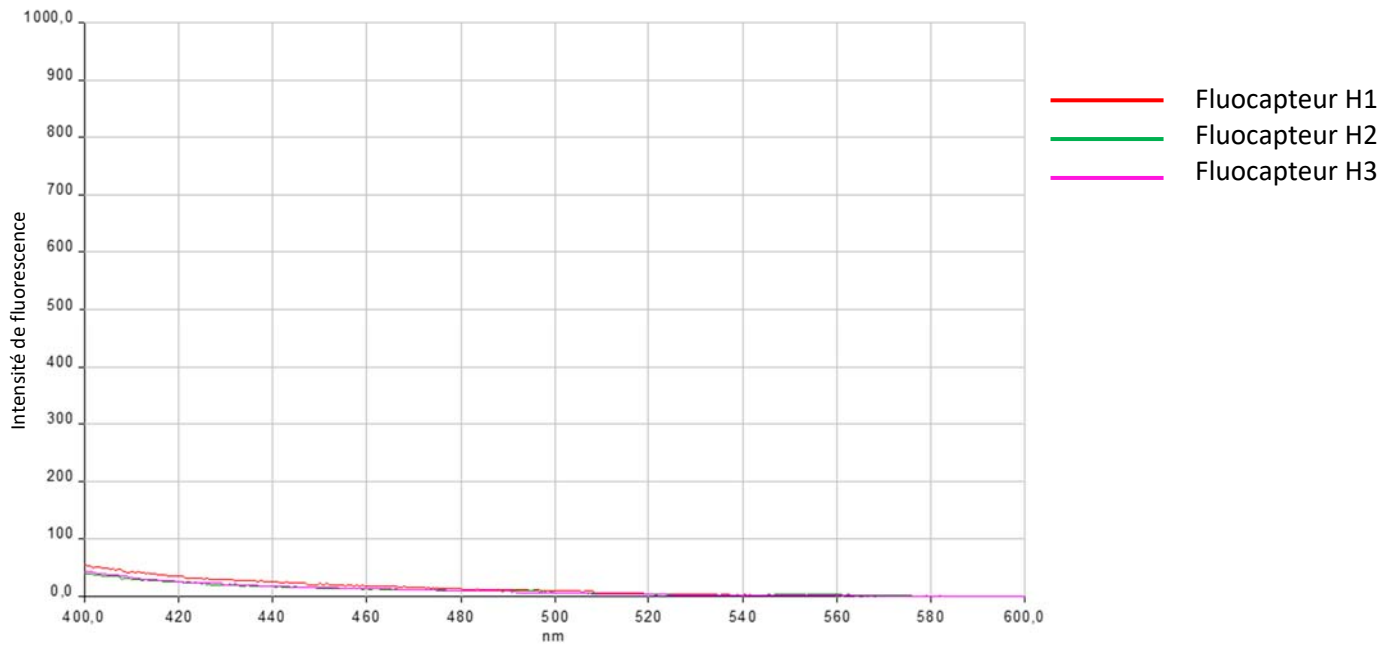
F. RU DE COURCHATON



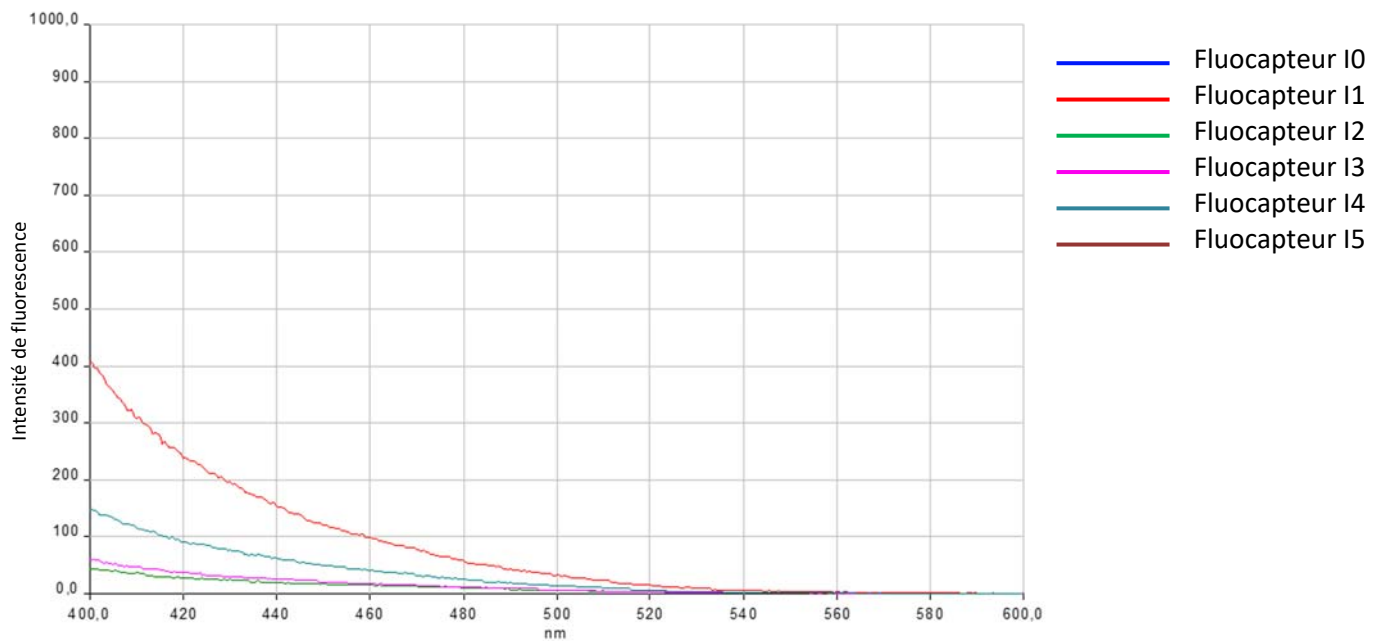
G. ANCIEN CAPTAGE DE COURCHATON



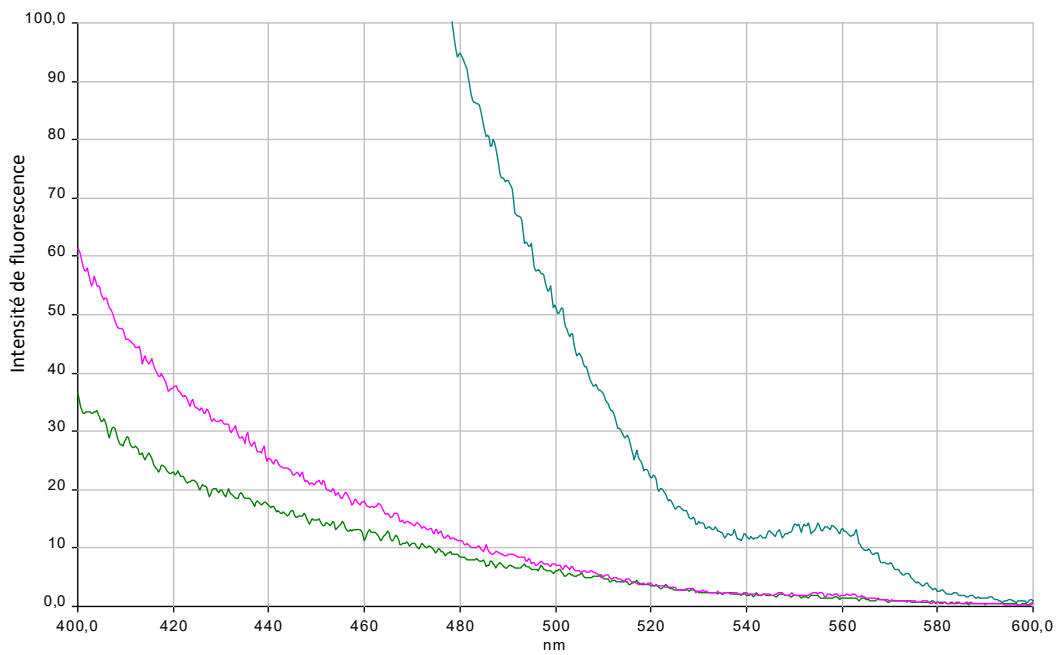
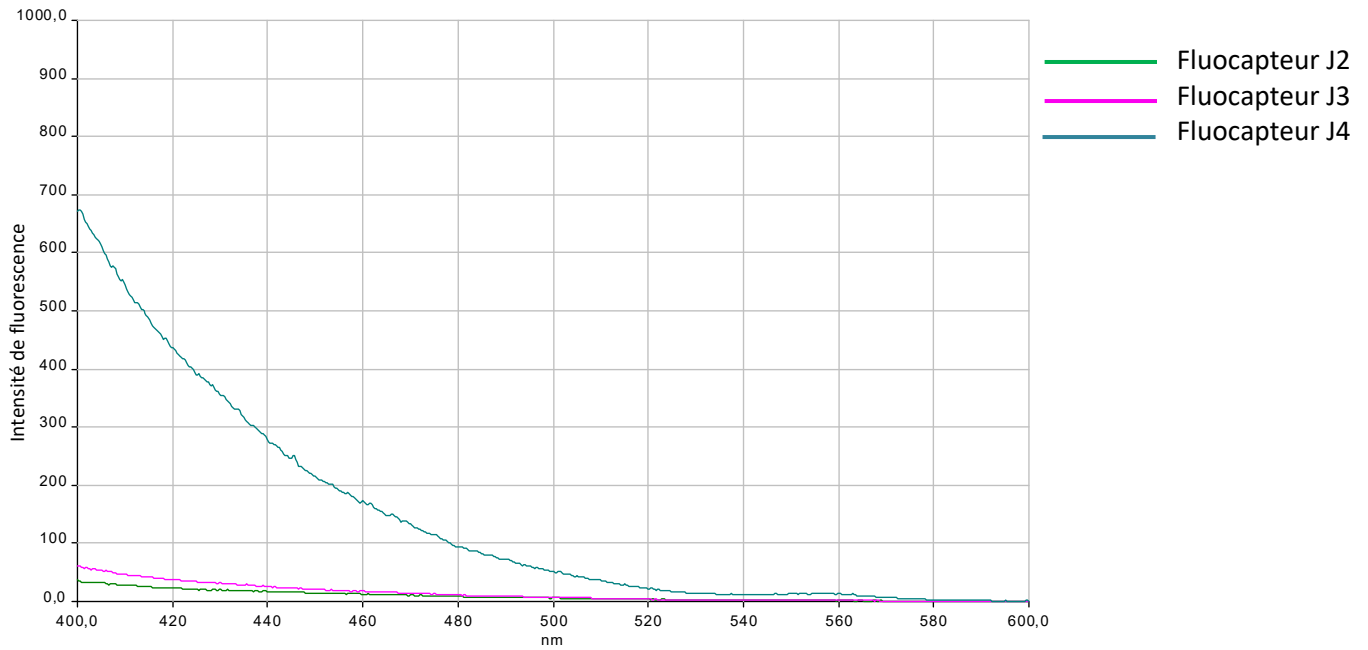
H. FORAGE DE COURCHATON



I. ANCIEN CAPTAGE DE SOYE



J. RU DE MANCENANS (PONT)



- 
-  Énergies renouvelables
 -  Aménagement et environnement
 -  Déchets, Diagnostics de pollution
 -  Carrières, Installations classées
 -  Milieu naturel
 -  Hydrogéologie
 -  Eaux superficielles
 -  Assainissement collectif et non collectif
 -  Maîtrise d'œuvre et réseaux d'eau potable



Sciences Environnement

Agence de Clermont-Ferrand
5 bis allée des roseaux
63200 Riom
Tél. +33 (0)4 73 38 84 73
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
clermont-ferrand@sciences-environnement.fr

Agence de Besançon et Siège social
6 boulevard Diderot
25000 Besançon
Tél. +33 (0)3 81 53 02 60
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
besancon@sciences-environnement.fr

Agence d'Auxerre
12 rue du stade
89290 Vincelles
Tél. +33 (0)9 67 29 27 28
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
auxerre@sciences-environnement.fr