

Projet éolien des Moulins du Bosc

Opération de traçage hydrogéologique sur la commune de Fondamente (12)



Fiche Signalétique

Projet éolien des Moulins du Bosc Opération de traçage hydrogéologique sur la commune de Fondamente (12)

CLIENT

Raison sociale	Terre et Lac
Coordonnées	12 rue Auguste Fabregat 34500 Béziers
Contact / Destinataire	Mme Luce PRESSET

SITE D'INTERVENTION

Raison sociale	FONDAMENTE
Coordonnées	Fondamente 12540
Famille d'activité	Production d'eau potable
Domaine Antea Group	Eau

DOCUMENT

Date de remise	Octobre 2019
Nombre d'exemplaire remis	1
Pièces jointes	-
Responsable Commercial	Christophe SUBIAS

N° Rapport/ N°Projet	A100483/MPYP18-0451
Révision	/B

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Fabrice REY	Ingénieur de projets	Octobre 2019	
Vérification	Christophe SUBIAS	Responsable commercial	Octobre 2019	



Sommaire

1	Introduction	5
2	Contexte général de l'étude	7
2.1	Contexte géologique.....	7
2.2	Contexte hydrogéologique	9
3	Protocole de traçage mis en œuvre.....	12
3.1	Rappels	12
3.2	Phase préalable de prévention.....	13
3.3	Choix et justification des traceurs utilisés	14
3.4	Choix des points d'injection	14
3.5	Choix des points suivis	16
3.6	Méthodologie des injections des traceurs	19
3.7	Méthodologie du suivi de la restitution	19
3.8	Analyse des échantillons	20
4	Résultats des traçages	22
4.1	Pluviométrie	22
4.2	Résultats et interprétation des restitutions en traceurs.....	23
4.2.1	Restitution de la sulforhodamine B.....	23
4.2.2	Restitution de la fluorescéine	24
4.2.3	Synthèse des résultats.....	26
5	Rappel des impacts potentiels.....	28
5.1	En phase de travaux	28
5.1.1	Préambule	28
5.1.2	Impacts qualitatifs.....	28
5.2	En phase d'exploitation	28
6	Mesures et préconisations	30
7	Synthèse et conclusion	31



Table des illustrations

FIGURES

Figure 1. Localisation du projet et des points d'eau utilisés pour l'eau potable	6
Figure 2. Carte géologique du secteur d'étude.....	8
Figure 3. Carte de vulnérabilité obtenue à partir de la méthode PaPRiKa	10
Figure 4. Résultats d'anciens traçages dans le secteur du projet.....	11
Figure 5. Schéma de principe d'un aquifère karstique (MANGIN, 1975) et trajet potentiel d'un traceur.....	13
Figure 6. Schéma d'un aquifère karstique [BRÜHLMAN et al., 2004].....	13
Figure 7. Localisation des tests de perméabilité préalables aux injections.....	16
Figure 8. Localisation des points de suivi et des points d'injection	18
Figure 9. Graphique du cumul des hauteurs de précipitation mensuelles de la station Météo France de Cornus.....	22
Figure 10. Données enregistrées par le fluorimètre près du Mas de Combes	24
Figure 11. Carte synthétisant les résultats de l'opération de traçage.....	27

TABLEAUX

Tableau 1. Résultats des tests de perméabilité	15
Tableau 2. Caractéristiques des points de suivi	17
Tableau 3. Caractéristiques des points d'injection	19
Tableau 4. Planning des tournées de maintenance et de prélèvement.....	20
Tableau 5 : Seuils de détection des traceurs.....	21
Tableau 6. Résultats de la restitution en sulforhodamine B.....	23
Tableau 7. Résultats de la restitution en fluorescéine.....	25
Tableau 8. Synthèse des résultats du traçage.....	26



1 Introduction

Dans le cadre du projet de parc éolien « Moulin du Bosc », situé sur la commune de Fondamente (Cf. Figure 1), une opération de traçages hydrogéologiques a été menée afin d'estimer la vulnérabilité des ressources en eaux souterraines locales et d'évaluer les impacts du projet sur ces dernières.

Le secteur présente un enjeu sensible avec la présence de la source communale de Fondamente qui alimente en eau potable l'ensemble des habitants et du puits de Saint-Maurice-de-Sorgues qui dessert en eau la commune. Afin de déterminer la vulnérabilité de ces ressources vis-à-vis du projet, un traçage hydrogéologique a été réalisé entre le 20 février 2019 et le 5 avril 2019. Deux traceurs colorés ont été injectés au sein de la zone de projet avec un suivi de la restitution au niveau de plusieurs points d'eau dont les deux captages utilisés pour l'alimentation en potable. Le protocole de traçage établi préalablement à la mise en œuvre de l'opération, a été validé par le service Eau du Parc Naturel Régional des Grands Causses.

Le présent rapport décrit la méthodologie employée et les résultats de cette opération ainsi que les préconisations relatives au projet dans le but de préserver qualitativement et quantitativement les ressources en eaux souterraines du secteur.



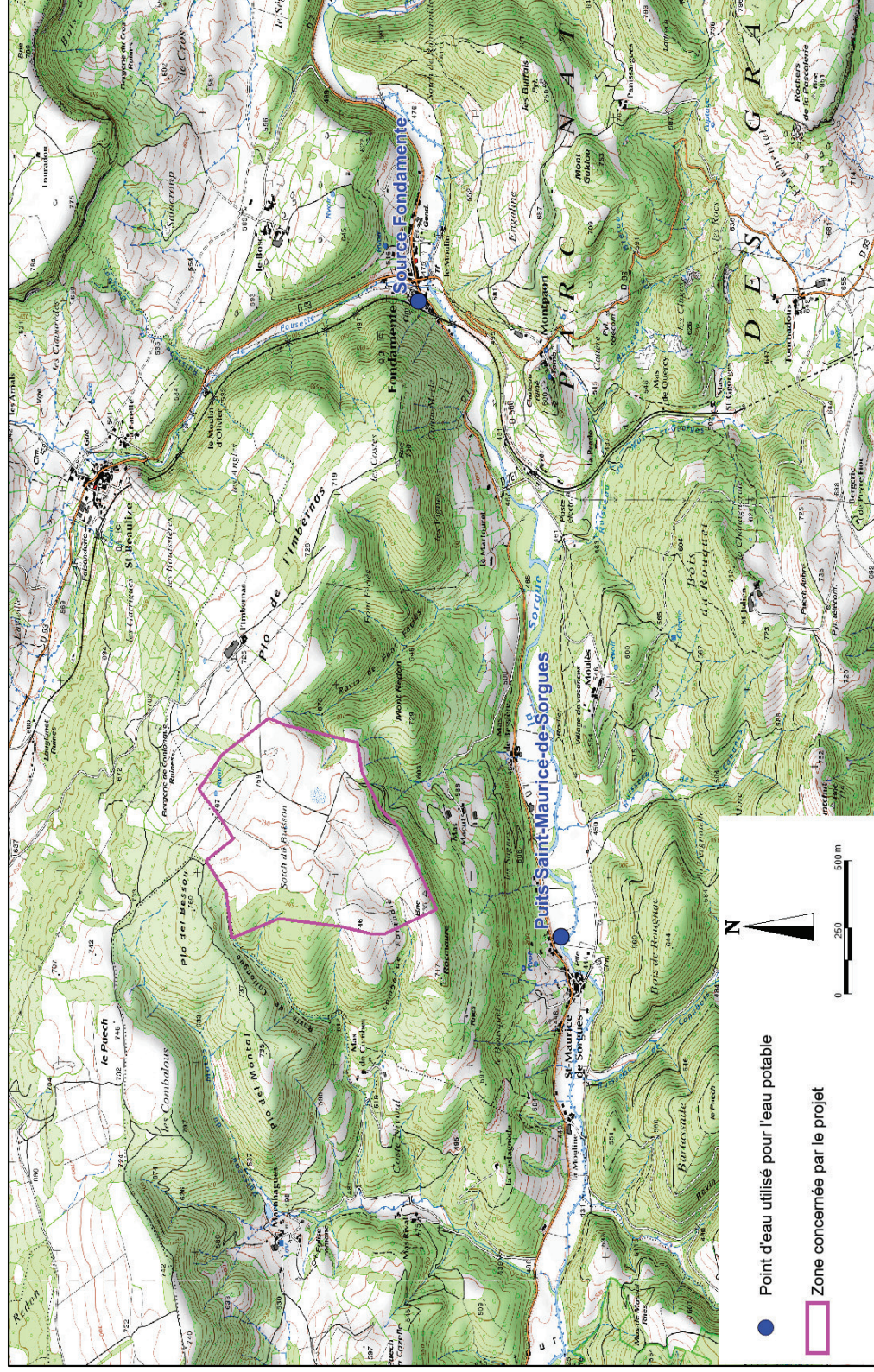


Figure 1. Localisation du projet et des points d'eau utilisés pour l'eau potable



2 Contexte général de l'étude

2.1 Contexte géologique

Le secteur étudié se trouve à la limite entre le Causse du Larzac et le Plateau du Guilhaumard. D'après la feuille n°961-CAMARES et sa notice réalisées par le BRGM, les principales formations géologiques concernées par la zone d'étude (Cf. Figure 2) sont :

- les argiles bariolées du Trias (notées t8 sur la carte géologique), de 60 à 80 m d'épaisseur ;
- les dolomies de l'Hettangien (notées l1-2) avec des passées d'argilites. Cette formation peut atteindre jusqu'à 180 m d'épaisseur ;
- l'alternance de calcarénites et de dolomies du Sinémurien (notées l3), de 30 à 35 m d'épaisseur.



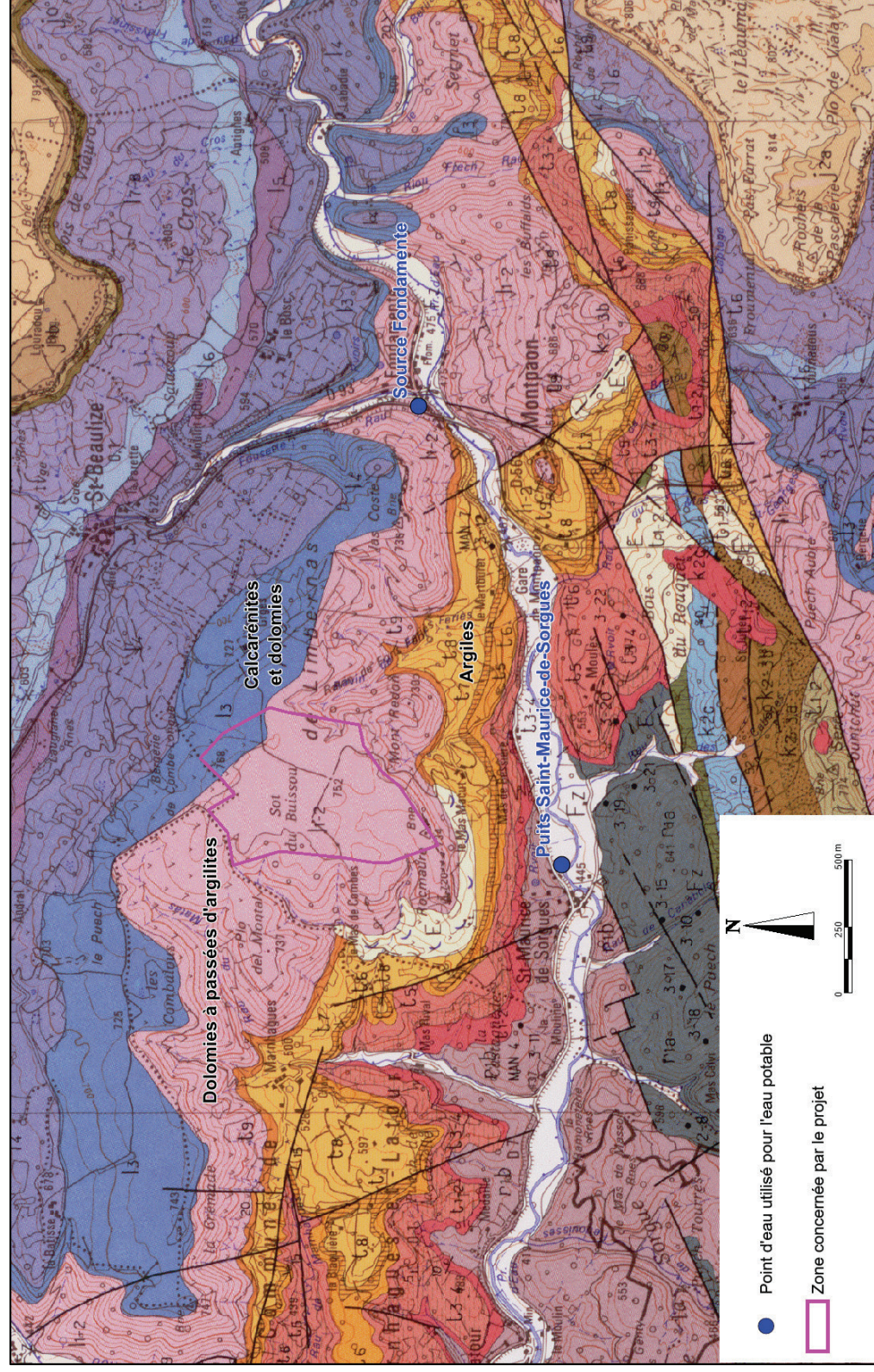


Figure 2. Carte géologique du secteur d'étude



2.2 Contexte hydrogéologique

D'après les données issues de la synthèse hydrogéologique des Avant-Causse Saint-Affricain et du Causse Guilhaumard (BRGM/RP-64689-FR), on peut associer la zone d'étude à l'unité hydrogéologique U3 : aquifère du Lias inférieur et du Trias supérieur. Cette unité est composée de deux types d'aquifère. Un premier, karstique (Hettangien et Sinémurien), de 250 m d'épaisseur et un second, à porosité primaire de roche sédimentaire (Rhétien) de 10 à 40 m d'épaisseur.

Au droit de la zone du projet, on retrouve l'aquifère dolomitique de l'Hettangien qui est limité d'un point de vue hydraulique par les formations imperméables des argiles bariolés du Trias. En outre, il est important de noter que la présence de passées d'argilites au sein de ces dolomies va réduire de manière significative la perméabilité en grand de cette formation, ce qui réduit d'autant les vitesses de transfert des eaux de surface infiltrées en profondeur.

Par ailleurs, dans le cadre de ce travail de synthèse, la vulnérabilité des ressources en eau a été étudiée à partir de la méthode multicritère « PaPRIKa » (Protection des aquifères karstiques basée sur la Protection, le Réservoir, l'Infiltration et le degré de Karstification) développée par le BRGM.

Les résultats montrent que dans le secteur d'étude les aquifères karstiques présentent une vulnérabilité faible à modérée (Figure 3 ci-après). Ce résultat est un premier élément d'information intéressant sur la vulnérabilité des ressources en eau locales vis-à-vis du projet.



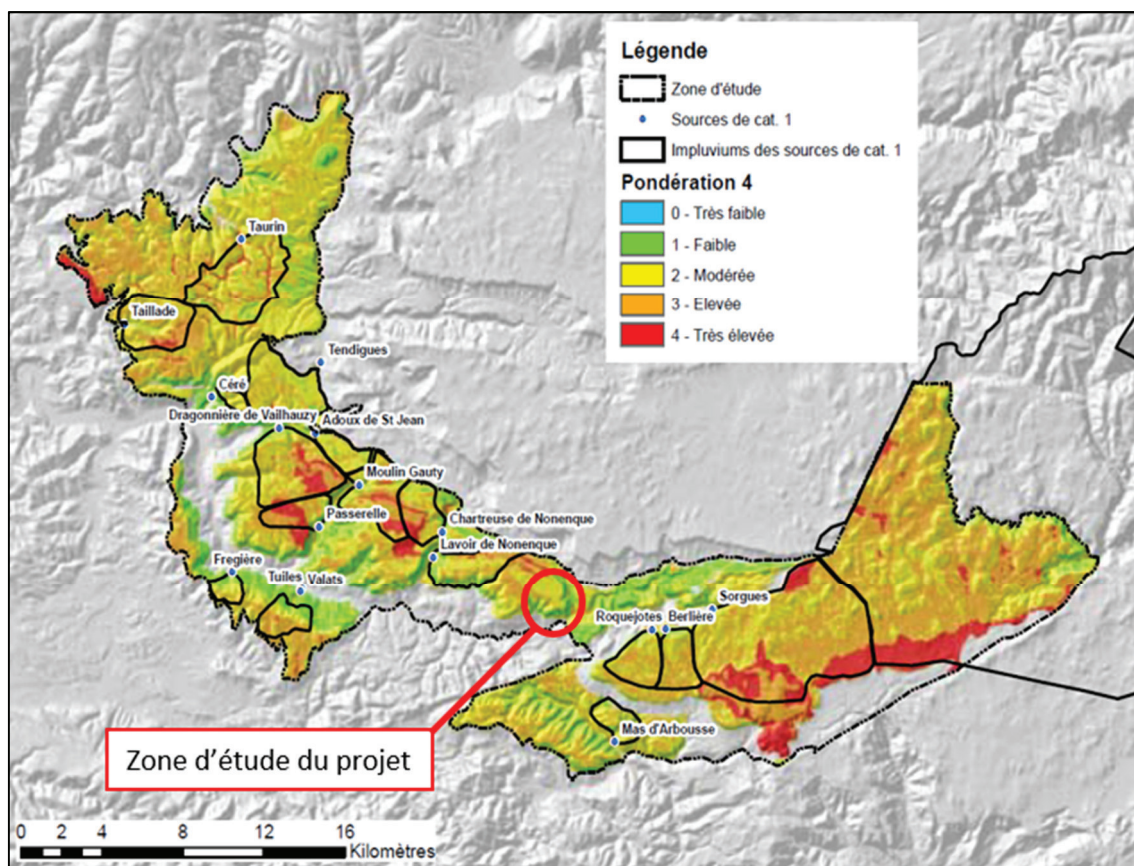


Figure 3. Carte de vulnérabilité obtenue à partir de la méthode PaPriKa

Dans le cadre de la synthèse hydrogéologique des Avants-Causse, deux traçages ont été réalisés dans le secteur de Fondamente (Cf. Figure 4).

Pour le premier, le colorant a été injecté dans une cavité près du lieu-dit « Imbernas » et s'est révélé positif à la source AEP de Fondamente (Cf. Figure 4). De la même manière, le second traçage partant du nord de la bergerie de Conlongue a été restitué à la source de Fondamente.

Il y a eu d'autres traçages au nord-ouest de la zone d'étude dont la restitution s'est effectuée au niveau de deux sources vers le secteur de la Chartreuse de Nonenque, dans la direction opposée de Fondamente. Ces traçages ont permis de définir les bassins d'alimentation présentés en Figure 4 (source PNRGC).

On remarque qu'une partie du bassin d'alimentation supposé de la source est intersectée par la zone de projet, ce qui justifie d'autant plus la réalisation de traçages colorés dans le cadre du projet (les 2 points d'injection du traçage de février 2019 sont figurés sur la carte en Figure 4).



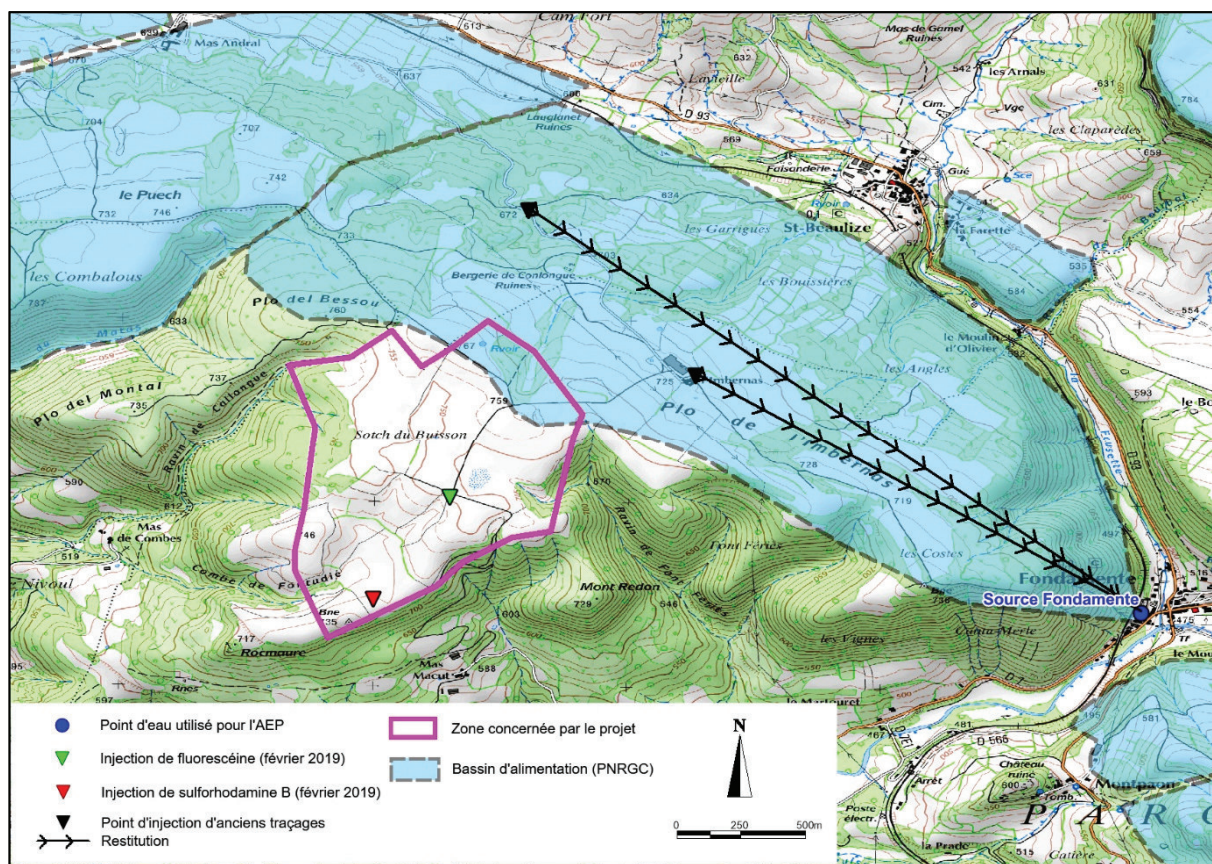


Figure 4. Résultats d'anciens traçages dans le secteur du projet



3 Protocole de traçage mis en œuvre

3.1 Rappels

La technique du traçage artificiel est couramment utilisée en hydrogéologie karstique afin de vérifier l'existence d'une relation entre une zone d'infiltration et un ou plusieurs exutoires, ceci permettant de préciser les limites des bassins d'alimentation des sources. Cette opération constitue également une véritable simulation de pollution, en évaluant la dilution et l'épuration naturelle au sein même du système karstique.

L'opération de traçage nécessite cependant de respecter certaines conditions, notamment :

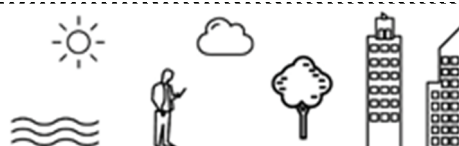
- ❖ l'injection du traceur doit se faire de façon instantanée, de manière à obtenir une réponse impulsionnelle facilement interprétable ;
- ❖ la masse de traceur injectée doit être suffisante pour que sa présence puisse être détectée à l'exutoire ;
- ❖ l'échantillonnage à la sortie du système karstique doit être effectué à un pas de temps adapté, afin de caractériser les variations de concentration du traceur restitué en fonction du temps ;
- ❖ des mesures de débits couplées à des mesures de hauteurs d'eau doivent être réalisées au niveau des exutoires afin de pouvoir effectuer un bilan massique de l'opération. Il correspond au rapport entre la masse injectée et la masse restituée.

Un résultat de traçage doit toujours être illustré par la courbe de restitution (donnant la répartition des concentrations en fonction du temps).

On retiendra qu'une opération de traçage permet de calculer de nombreux paramètres dont :

- ❖ l'analyse du **flux de sortie**, permettant d'obtenir la masse de traceur restituée et donc le pourcentage de restitution en traceur, caractéristique des phénomènes d'autoépuration du système karstique ;
- ❖ le **temps moyen de transit** et la vitesse apparente permettant de décrire le déplacement du nuage ;
- ❖ le **taux de dilution** subi par le traceur qui présente un intérêt pour une simulation de pollution.

Le traceur injecté ne va parcourir qu'une partie seulement du système karstique, appelé système-traçage (Cf. Figure 5). Les résultats obtenus indiquent donc des informations sur les modalités de transit de l'eau marquée et par conséquent sur la structure de la partie du système concernée par ce transit.



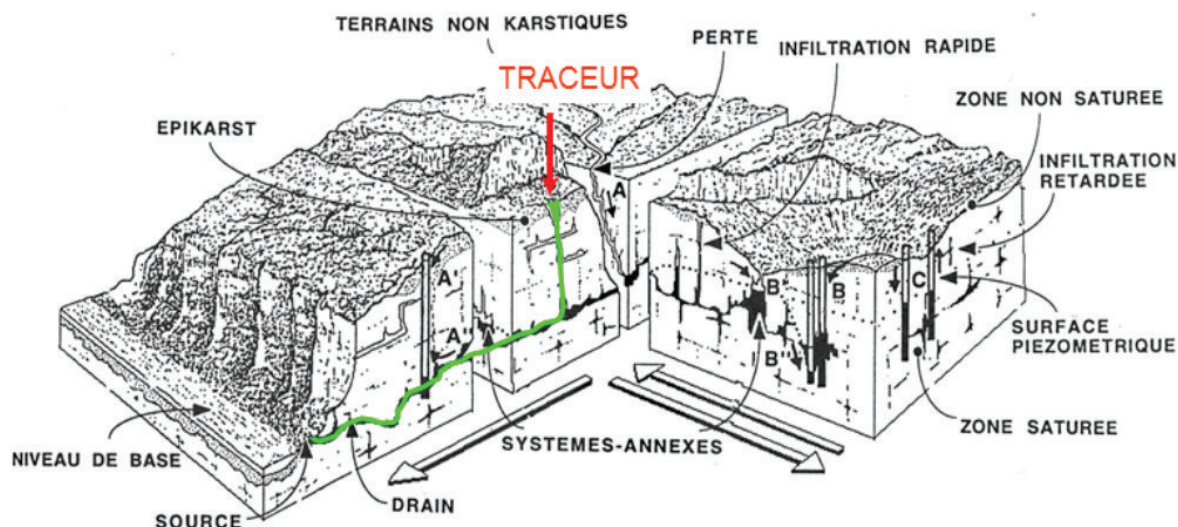


Figure 5. Schéma de principe d'un aquifère karstique (MANGIN, 1975) et trajet potentiel d'un traceur

Le trajet du traceur et donc de la molécule polluante dépend de la structure verticale du système karstique qui peut se schématiser ainsi (Figure 6) :

- 💧 une couverture (sol) plus ou moins épaisse et ralentissant les écoulements ;
- 💧 une zone d'infiltration (ou Zone Non Saturée) plus ou moins fracturée ;
- 💧 la zone noyée drainée vers l'exutoire.

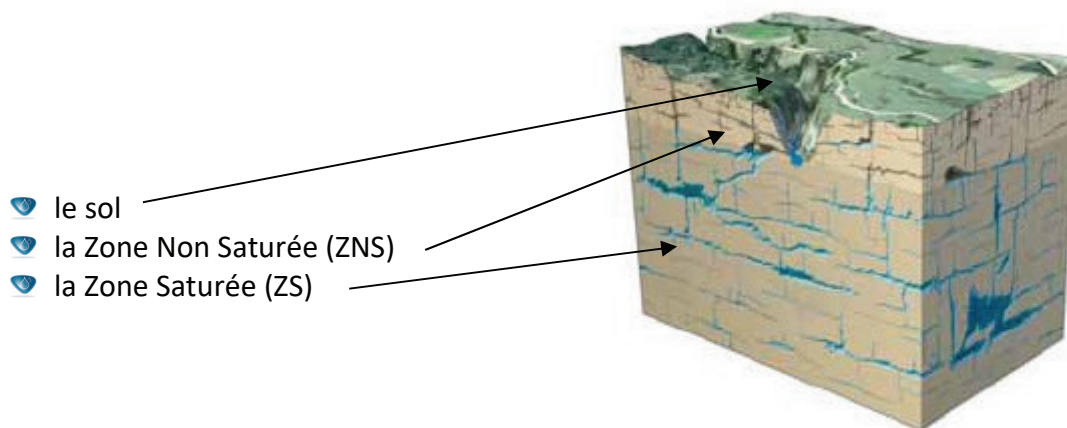


Figure 6. Schéma d'un aquifère karstique [BRÜHLMAN et al., 2004]

3.2 Phase préalable de prévention

L'injection de traceur, si elle n'est pas maîtrisée, peut engendrer une coloration des eaux souterraines (sources, forages...) ou superficielles (ruisseaux, cours d'eau...). Cette coloration,



totalelement inoffensive pour la santé humaine et le milieu aquatique, peut constituer une gêne importante vis-à-vis des usagers de l'eau (exploitants agricoles, particuliers, syndicats d'eau, pêcheurs). Il est donc primordial de communiquer sur l'innocuité du traceur et sur l'objectif de l'opération.

Ainsi, l'ARS, la DDT, l'ONEMA, le PNRGC, les mairies de Fondamente, de Saint-Maurice-de-Sorgues, de Manhargues-et-Latour, la gendarmerie nationale, le SDIS, la fédération de pêche et les usagers des ressources en eau à proximité, ont été prévenus par courriers ou e-mails deux semaines avant l'injection des traceurs.

En outre, comme évoqué en introduction, le protocole de traçage a été préalablement soumis aux services compétents du PNRGC qui l'ont validé deux semaines avant le début de l'opération.

3.3 Choix et justification des traceurs utilisés

Les traceurs utilisés sont des substances totalement inoffensives et couramment utilisées en hydrogéologie. De ce fait, l'ensemble des traceurs était adapté au contexte de l'étude (sorties possibles sur des captages utilisés pour l'alimentation en eau potable) sans engendrer de contraintes fortes en termes de potabilité de l'eau ou pour d'autres utilisations. De plus, les traceurs injectés sont des traceurs fluorescents faciles à mettre en œuvre et à analyser par les laboratoires spécialisés.

Afin d'assurer des restitutions de bonnes qualités, les quantités de traceur injectées devaient être adaptées au contexte géologique et hydrogéologique local, c'est-à-dire prendre en compte :

- 💧 les phénomènes d'absorption pouvant apparaître dans la zone non saturée et tout au long du cheminement souterrain ;
- 💧 les remplissages karstiques importants, tapissant le fond des dolines, des igues ou autres phénomènes karstiques ;
- 💧 l'interférence de certains traceurs dont les longueurs d'ondes sont souvent proches et rendent difficile la détection en laboratoire.

Les quantités et la nature des traceurs finalement retenues sont les suivantes :

- 💧 3 kg de fluorescéine ;
- 💧 6 kg de sulforhodamine B.

3.4 Choix des points d'injection

Les deux points d'injection initialement proposés par le Parc Naturel Régional des Grands Causses (PNRGC) étaient les suivants :

- 💧 Point n°1 : au droit d'une zone de dépression (doline) dans le secteur du Sotch du Buisson ;



- Point n°2 : dans un vallon, d'origine fluvio-karstique, sur la partie sud de la zone du projet.

Il est important de préciser que le nord de la zone de projet, qui intercepte une partie du bassin d'alimentation supposé de la source de Fondamente, correspond au point le plus haut du secteur en termes de topographie. C'est pour cette raison que les injections de traceurs ont été réalisées plus au sud, sur les parties basses et plus planes, qui sont plus vulnérables à l'infiltration des eaux météoriques.

En outre, compte tenu de l'aspect peu karstifié en surface des formations dolomitiques et de la présence d'un sol de recouvrement (de nature argileuse), plusieurs tests de perméabilité ont été réalisés avant que les traceurs ne soient injectés (Cf. 3.6.1), afin d'optimiser les chances de réussite de l'opération. Les tests se sont déroulés à l'aide d'une pelle mécanique et d'une tonne à eau et ont été répartis sur les deux zones ciblées par le PRNGC (Cf. position en Figure 7).

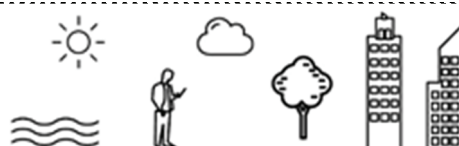
Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Secteur géographique de la zone de projet	Test de perméabilité	Perméabilité (m/s)
Nord	1	$2,9.10^{-7}$
	2	$2,8.10^{-7}$
	3	Nulle
	7	$2,9.10^{-5}$
Sud	4	$3,5.10^{-6}$
	5	$6,1.10^{-6}$
	6	$1,8.10^{-6}$

Tableau 1. Résultats des tests de perméabilité

Les valeurs obtenues sont dans l'ensemble faibles ($\approx 10^{-5}$ m/s) à très faibles ($<10^{-6}$ m/s) pour un milieu carbonaté fissuré et fracturé. Ces résultats montrent que les systèmes aquifères sous-jacents sont peu vulnérables aux infiltrations d'eau de surface. En effet, les faibles perméabilités mises en évidence en surface vont avoir tendance à tamponner les infiltrations d'eaux météoriques et donc engendrer un effet retard sur les transferts souterrains jusqu'aux exutoires (sources dans le cas présent).

Les points 5 (partie sud) et 7 (partie nord) ont montré les meilleurs résultats et ont ainsi été retenus pour les injections des deux colorants.



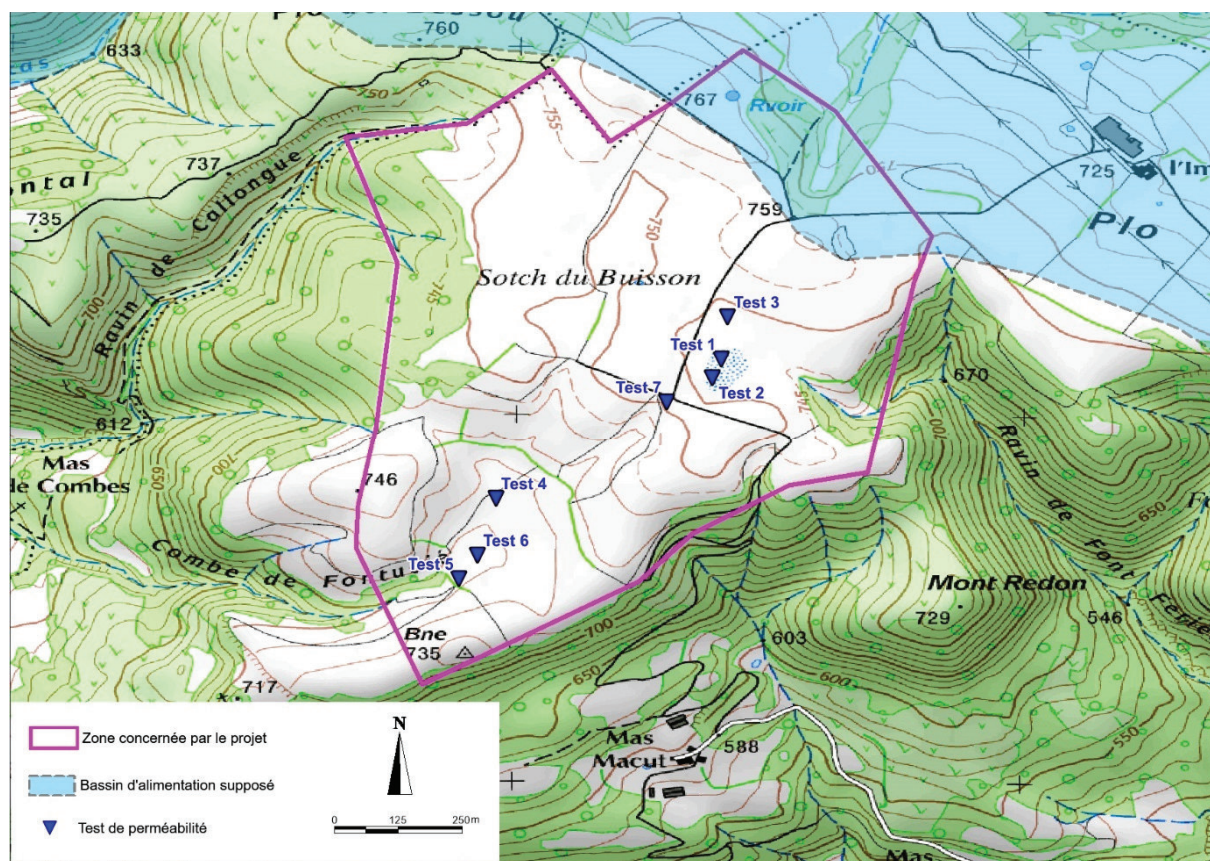


Figure 7. Localisation des tests de perméabilité préalables aux injections

3.5 Choix des points suivis

Les points de suivi ont été proposés par le PNRGC et sont au nombre de cinq :

- 💧 la source communale de Fondamente (eau destinée à la consommation humaine) ;
- 💧 le puit communal de Saint-Maurice-de-Sorgues (eau destinée à la consommation humaine)
- 💧 un point d'eau dans le secteur du Mas Macut en aval de la source à l'origine du ruisseau ;
- 💧 un point d'eau sur un ruisseau à côté de la départementale 7 ;
- 💧 un dernier point de suivi sur un ruisseau également dans le secteur du Mas des Combes.

La surveillance de ces points d'eau a permis de quadriller l'ensemble du secteur sur lequel les traceurs étaient susceptibles de ressortir.



Les caractéristiques géographiques des points de suivi sont les suivantes :

Points de suivi	X (m, Lambert 93)	Y (m, Lambert 93)	Z (m NGF)	Observations
Source Fondamente	709 707,2	6 308 583,2	483	Source dont l'eau est destinée à la consommation
Le Mas Macut	707 237,6	6 308 370,2	571	Ruisseau
Le Mas des Combes	705 477,8	6 308 963,1	523	Ruisseau
D7	708 166,3	6 307 821,3	466	Ruisseau
Puits Saint-Maurice-de-Sorgues	706 327,7	6 307 523,5	445	Puits dont l'eau est destinée à la consommation

Tableau 2. Caractéristiques des points de suivi

Leur position est reportée sur la carte en Figure 8.



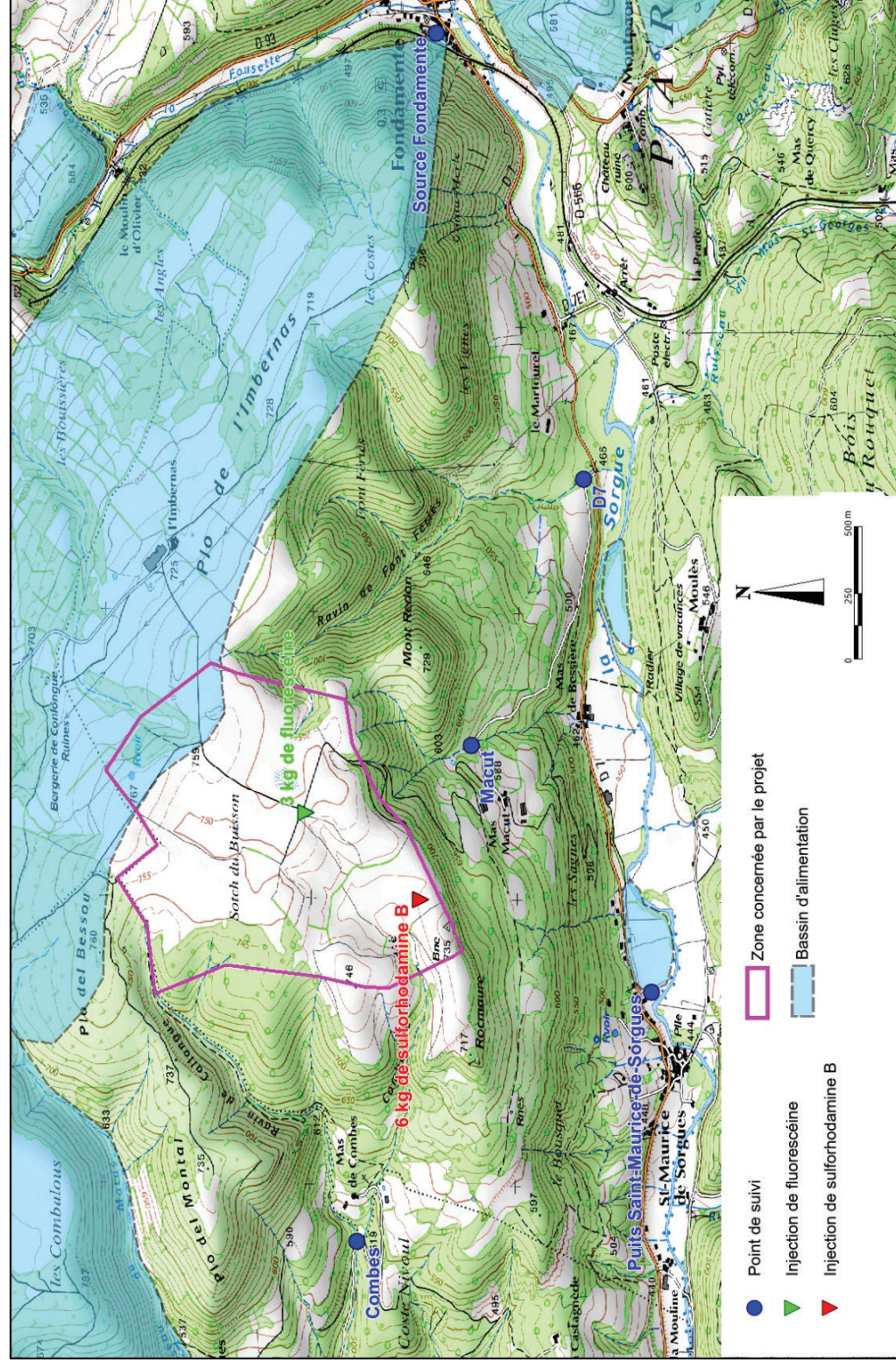
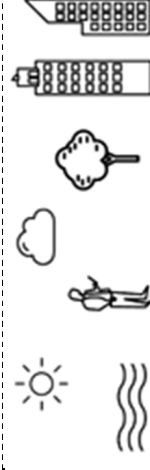


Figure 8. Localisation des points de suivi de suivi et des points d'injection



3.6 Méthodologie des injections des traceurs

Les injections de traceurs ont été réalisées le 20 février 2019. Afin de faciliter l'infiltration des traceurs au sein du système karstique, un volume d'eau de 10 m³ a été apporté à l'aide d'une tonne à eau dans les points d'injection.

Sur les deux points d'injection, les traceurs et l'eau ont été déversés dans les fosses ayant servi pour les tests de perméabilité.

Points d'injection	X (m, Lambert 93)	Y (m, Lambert 93)	Z (m NGF)	Observations
Point n°1	706 986,3	6 309 209,6	751	Injection de 3 kg de fluorescéine à 15h45
Point n°2	705 577,9	6 308 728,8	708	Injection de 6 kg de sulforhodamine B à 16h35

Tableau 3. Caractéristiques des points d'injection

3.7 Méthodologie du suivi de la restitution

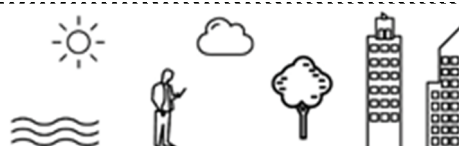
Le suivi de la restitution a été réalisé sur l'ensemble des points retenus (hormis le puit de Saint-Maurice-de-Sorgues) à partir de fluorimètres de terrain de type SHNEGG (pas de temps de mesure de 15 minutes) et de prélèvement d'eau ponctuels hebdomadaires (pour analyse en laboratoire des échantillons) effectués lors des tournées de maintenance du matériel.

Seule la source de Fondamente est équipée d'un préleveur automatique (pas de temps variable en fonction des dates de tournées de prélèvement) comportant 24 flacons de 1 L. Le fluorimètre installé à la source a été associé à un système de télétransmission des données qui a permis de surveiller en temps réel le passage éventuel d'un colorant. Ce système de surveillance spécifique a été mise en place en raison de la sensibilité du point d'eau (usage pour l'eau potable de la commune).

Les points d'eau ont été équipés le mercredi 19 février, la veille de l'injection des deux colorants.

La surveillance s'est déroulée du 20 février au 5 avril 2019, soit sur une durée d'un mois et demi. Il est important de préciser que dans le protocole initial le suivi devait durer 4 semaines. Cependant, en raison des conditions climatiques (peu de précipitations) et de l'absence de résultats positifs avérés au bout des 4 semaines (avant analyse en laboratoire), le suivi a été prolongé de deux semaines.

Il convient de préciser que le fluorimètre installé près du Mas de Combes a été volé entre les tournées n°4 (07/03/2019) et n°5 (14/03/2019) et n'a pas été remplacé par la suite.



Les interventions de terrain (maintenance du matériel et prélèvement d'eau sur chacun des points d'eau) se sont déroulées selon le planning suivant.

Numéro de la tournée	Date	Pas de temps des prélèvements (préleveur automatique)
Tournée n°1	20/02/2019	5 h
Tournée n°2	25/02/2019	4 h
Tournée n°3	01/03/2019	6 h
Tournée n°4	07/03/2019	7 h
Tournée n°5	14/03/2019	7 h
Tournée n°6	21/03/2019	7 h
Tournée n°7	28/03/2019	8h
Tournée n°8	05/04/2019	Fin

Tableau 4. Planning des tournées de maintenance et de prélèvement

Il est important de préciser que le suivi a été prolongé de deux semaines par rapport au protocole initial en raison de conditions hydrologiques peu favorables (Cf. § 4.1). Le suivi a ainsi duré 6 semaines entre le 20 février et le 5 avril 2019.

3.8 Analyse des échantillons

Les échantillons prélevés par les préleveurs automatiques ont été stockés dans des flacons en verre brun fumé rincés à l'eau prélevée. L'analyse par spectrofluorimètre a été réalisée par la Cellule R&D d'Expertise et de Transfert en Traçage Appliqués à l'Hydrogéologie et à l'Environnement (CETRAHE) de l'université d'Orléans.

Le spectrofluorimètre utilisé est un appareil mono-faisceau dont la résolution du balayage spectral est de l'ordre de 2 nm. Sous l'action d'un rayon lumineux de longueur d'onde bien précise (pic d'excitation), les produits fluorescents émettent un rayonnement (pic d'émission) dont l'amplitude est proportionnelle à la concentration du produit analysé.

La comparaison entre l'amplitude obtenue sur l'échantillon et l'amplitude d'une gamme étalon réalisée sur le même colorant permet alors de déterminer la concentration du produit. La comparaison entre les longueurs d'ondes des échantillons analysés (spectres d'émission et d'excitation) et du traceur utilisé lors de l'injection permet de vérifier que l'intensité mesurée correspond bien aux produits recherchés.

Ainsi le spectre positif signifie que le colorant est présent dans l'échantillon analysé. A l'inverse, si le spectre est négatif, le produit analysé n'est pas le colorant mais un tout autre produit comme la matière organique ou divers « polluants » pouvant contenir un mélange



fluorescent interfèrent avec la mesure. Les résultats des analyses effectuées sont présentés en annexe 1.

Les seuils de détection de chaque substance utilisée sont résumés dans le tableau suivant :

Traceur	Eaux naturelles optiquement propres (µg/l)	Bruit de fond élevé (µg/l)
Fluorescéine	0,001	0,01
Sulforhodamine B	0,2	0,5

Tableau 5 : Seuils de détection des traceurs



4 Résultats des traçages

4.1 Pluviométrie

Afin d'apprécier le contexte hydrologique dans lequel s'est déroulée l'opération de traçage, les données pluviométriques de la station Météo France de Cornus (n°12077002) ont été récupérées. Cette station est située à environ 8 km de la zone de projet et à une altitude de 718 m NGF. Les altitudes entre la station et la zone de projet (750 m NGF) sont comparables.

Les données pluviométriques entre la fin d'année 2018 et la période de suivi montrent une pluviométrie très faible (seulement 104 mm de décembre 2018 à mars 2019). En février, le cumul des hauteurs de précipitation atteint seulement 3,6 mm sachant que l'injection du traceur a eu lieu le 20 février. L'antécédent hydrologique du système aquifère présentait donc un déficit hydrique. Les conditions hydrologiques n'étaient donc pas optimales au moment du début de l'opération. Il a fallu attendre le mois d'avril et la fin de la période de suivi pour observer quelques évènements pluvieux significatifs.

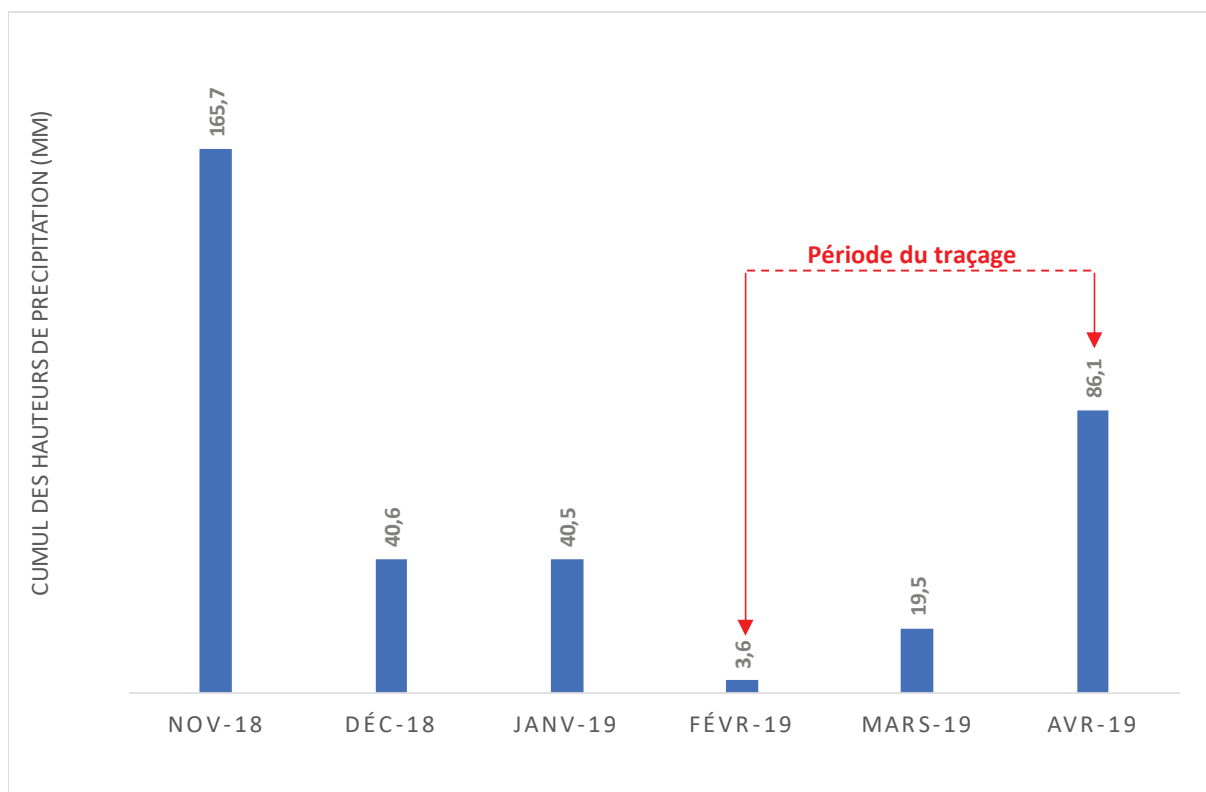


Figure 9. Graphique du cumul des hauteurs de précipitation mensuelles de la station Météo France de Cornus



4.2 Résultats et interprétation des restitutions en traceurs

4.2.1 Restitution de la sulforhodamine B

L'injection de 6 kg de sulforhodamine B a eu lieu de 20 février 2019 à 16h35. D'après les résultats analytiques du laboratoire, la sulforhodamine B a été restituée au niveau du ruisseau dans le secteur du Mas Macut. Aucune trace n'a été décelée sur les autres points de suivi. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Il convient de préciser que les données enregistrées en continu par le fluorimètre ne révèlent aucune trace du colorant, probablement en raison des faibles concentrations obtenues (Cf. Tableau 6 ci-dessous).

Le premier échantillon positif est daté du 25 février 2019 à 14h00, soit 118 h après l'injection. La concentration maximale mesurée est de 0,111 µg/l. La vitesse d'apparition calculée est de 6,4 m/h.

Compte tenu du nombre limité d'échantillons à disposition (prélevés de manière ponctuelle lors des tournées), ces valeurs doivent être interprétées avec prudence. En effet, le moment exact d'arrivée du traceur (et du pic) n'est pas connu (pas d'échantillon entre les 19 et 25 février). Ces résultats donnent cependant un ordre de grandeur intéressant pour caractériser le système aquifère. Ils indiquent une certaine inertie du système aquifère ainsi qu'un effet de dilution liés à la zone d'infiltration (non saturée). Ces observations ont tendance à caractériser une ressource peu vulnérable, ce qui est cohérent avec les résultats de l'étude réalisée sur les Avants-Causse (Cf. Figure 3).

Date de prélèvement	Concentration en sulforhodamine B (µg/l)	Distance du point d'eau au point d'injection (m)	Vitesse d'apparition estimée du traceur(m/h)
19/02/2018 - 14h30	0,000	755	6,4
25/02/2019 - 14h00	0,079		
01/03/2019 - 14h30	0,111		
07/03/2019 - 14h30	0,010		
14/03/2019 - 14h45	0,000		
21/03/2019 - 14h30	0,000		

Tableau 6. Résultats de la restitution en sulforhodamine B



4.2.2 Restitution de la fluorescéine

L'injection de 3 kg de fluorescéine a eu lieu de 20 février 2019 à 15h45. Le colorant a été retrouvé de manière certaine en 3 points :

- 💧 Le ruisseau près de la D7 ;
- 💧 Le ruisseau près du Mas de Combes ;
- 💧 Le puits de Saint-Maurice-de-Sorgues.

Pour le ruisseau du Mas Macut, 1 seul échantillon en laboratoire s'est révélé positif sur les 6 analysés. Un doute persiste donc sur la restitution réelle du colorant à cet endroit, ce résultat positif (mais avec une faible concentration, 0,033 µg/L) pouvant être dû à une contamination de l'échantillon.

De la même manière que pour la sulforhodamine, les données enregistrées en continu par les fluorimètres positionnés dans les ruisseaux près la D7 et du Mas Macut ne révèlent aucune trace du colorant. En revanche, le fluorimètre mis en place dans le ruisseau du Mas de Combes met en évidence la présence de deux pics de colorant les 2 et 7 mars. Le second pic s'est produit après un épisode pluvieux de 12 mm enregistré le 6 mars. Ces deux pics correspondent à de faibles concentrations en traceur, inférieures à 1 µg/L.

Aucune restitution n'a été observée sur la source de Fondamente.

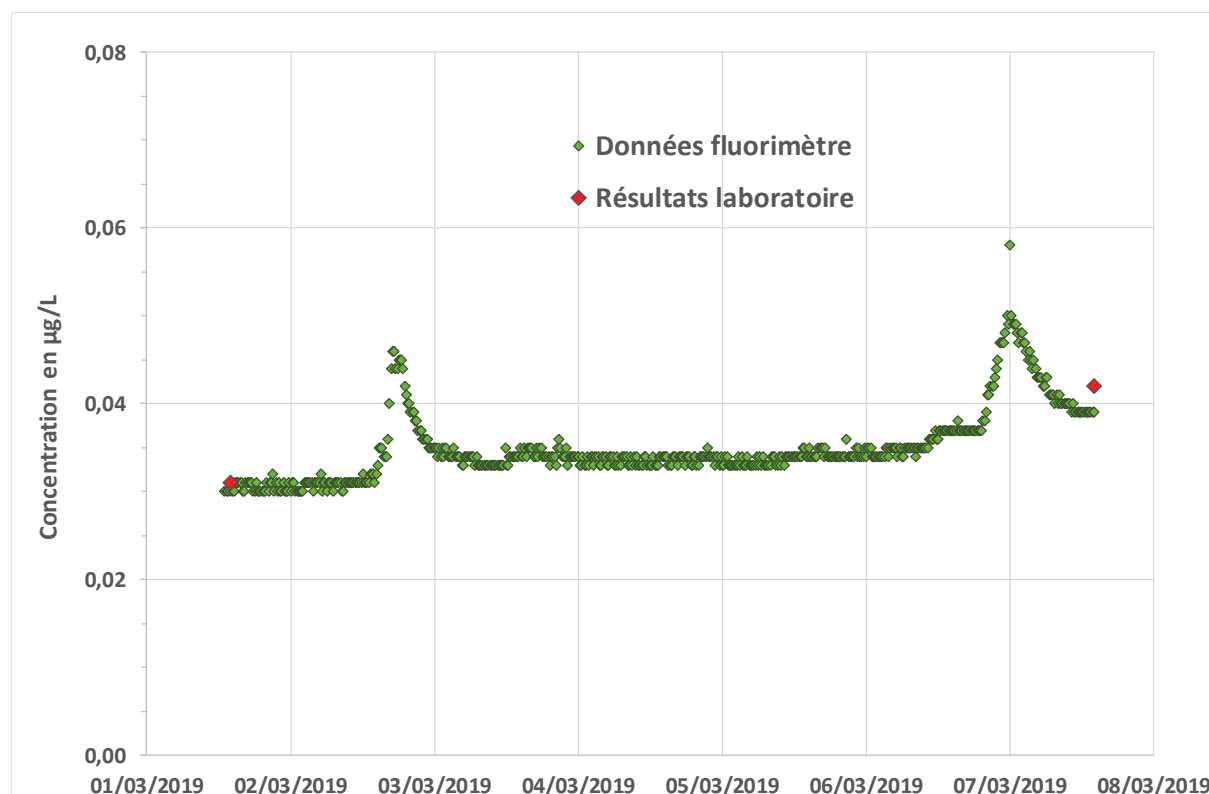


Figure 10. Données enregistrées par le fluorimètre près du Mas de Combes



Ces résultats ont permis de définir les vitesses d'apparition du traceur au niveau des différents points d'eau. Ces résultats sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Point d'eau	Date de prélèvement	Concentration en fluorescéine (µg/l)	Distance du point d'eau au point d'injection (m)	Vitesse d'apparition estimée du traceur(m/h)
Ruisseau D7	01/03/2019 - 14h30	0,081	1 750	8,2
	07/03/2019 - 14h30	0,031		
Ruisseau du Mas Macut	25/02/2019 - 14h00	0,033	900	7,0
Ruisseau du Mas de Combes	25/02/2019 - 13h00	0,223	1 660	14,9
	01/03/2019 - 14h00	0,031		
	07/03/2019 - 14h00	0,042		
Puits de Saint-Maurice de Sorgues	25/02/2019 - 14h00	0,715	1 800	12,8
	01/03/2019 - 14h30	0,055		
	07/03/2019 - 15h00	0,011		

Tableau 7. Résultats de la restitution en fluorescéine

Les vitesses d'apparition estimées (car suivi ponctuel et non continu, Cf. ci-dessus) restent faibles pour un aquifère de type karstique. A titre d'exemple, on peut rencontrer des vitesses de transfert 10 fois supérieures (> 100 m/h) à celles obtenues dans le cas de systèmes karstiques bien développés et fonctionnels. Ces vitesses peu élevées s'expliquent en partie par une infiltration retardée depuis la surface par des formations peu perméables (Cf. § 3.4). Ces observations confirment bien le caractère peu vulnérable des ressources en eau souterraine locales vis-à-vis des pollutions de surface.

Tout comme pour la restitution de la sulforhodamine, les concentrations obtenues au niveau des points d'eau sont faibles (< 1 µg/l), ce qui montre une dilution importante du traceur au sein de l'aquifère. Ce phénomène de dilution est la conséquence d'au moins 2 éléments intrinsèques à la structure de l'aquifère :

- le rôle de la zone non saturée de l'aquifère (y compris des formations de surface) qui piège et retarde une partie des écoulements (et du traceur en l'occurrence) ;
- la réserve en eau importante dans la zone saturée de l'aquifère qui joue un rôle de dilution.



4.2.3 Synthèse des résultats

Les résultats du traçage et des traçages réalisés par le passé sont présentés sur la carte de la zone du projet sur la figure suivante (Figure 13). Les principaux résultats sont également synthétisés dans le tableau suivant :

Point d'eau suivi	Restitution de la fluorescéine	Restitution de la sulforhodamine B	Vitesse d'apparition estimée du traceur (m/h)
Source de Fondamente	Non	Non	-
Ruisseau Mas Macut	? (1 seul échantillon positif)	Oui	7,0/6,4
Ruisseau D7	Oui	Non	8,2
Puits de Saint-Maurice-de-Sorgues	Oui	Non	12,8
Ruisseau Mas des Combes	Oui	Non	14,9

Tableau 8. Synthèse des résultats du traçage



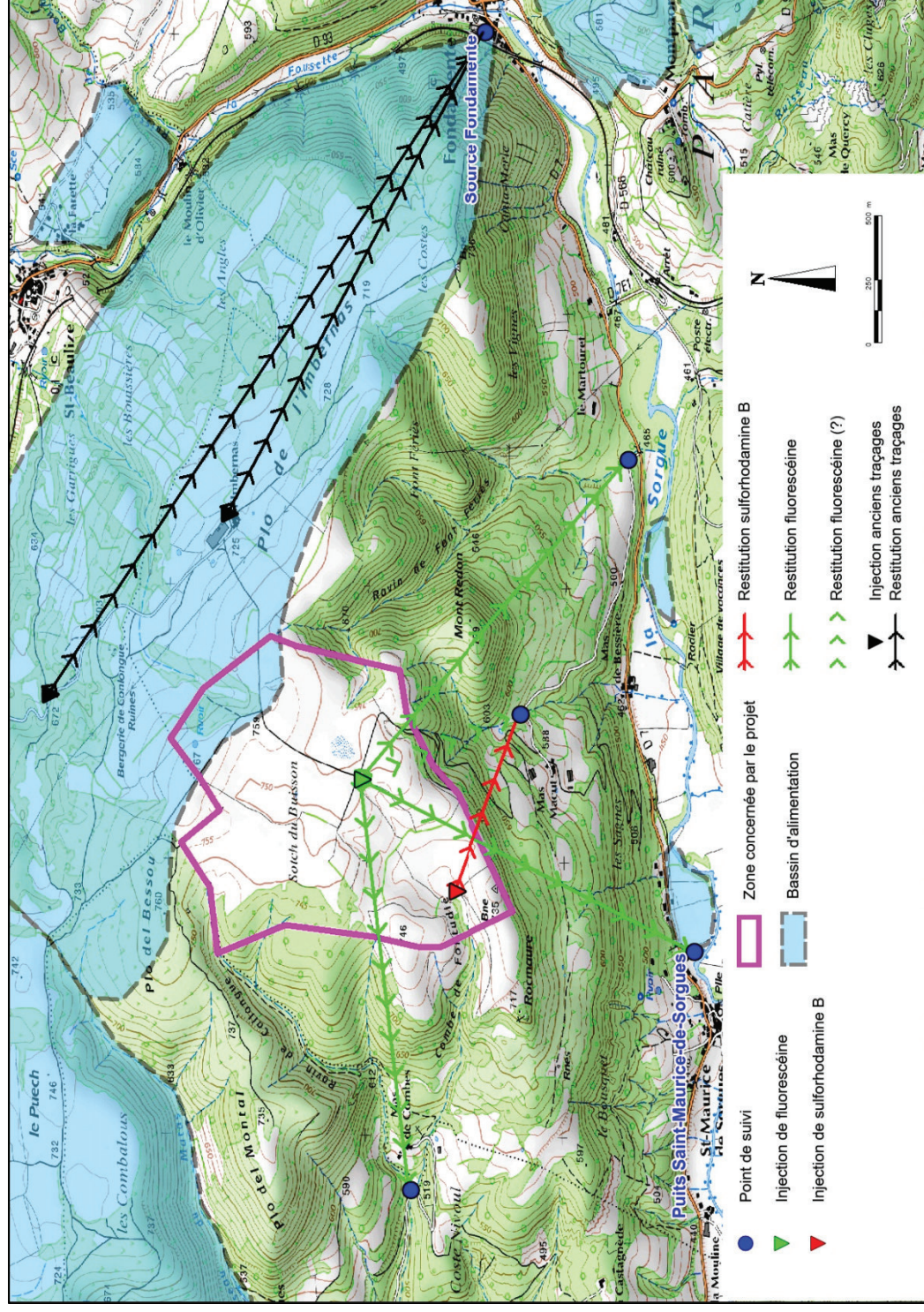


Figure 11. Carte synthétisant les résultats de l'opération de traçage



5 Rappel des impacts potentiels

5.1 En phase de travaux

5.1.1 Préambule

Durant la phase de travaux d'aménagement du parc éolien, les impacts potentiels sur les eaux souterraines seront uniquement de nature à altérer leur qualité et en aucun cas leur quantité. En effet, les travaux liés à la réalisation du parc éolien ne concernent qu'une faible épaisseur du sol et du sous-sol (< 5m) en comparaison du niveau d'eau des nappes qui peuvent être impactées (situé approximativement au moins 50 m plus bas).

5.1.2 Impacts qualitatifs

L'origine de ces impacts potentiels sur la qualité de l'eau peut provenir de fuites de produits polluants liées à la présence des engins de chantier (hydrocarbures essentiellement), de l'entretien des engins ainsi que du stockage d'éventuels produits polluants sur site. Le déversement accidentel de ces produits sur le sol peut entraîner leur ruissellement puis leur infiltration dans le sous-sol pour atteindre les eaux souterraines.

De plus, l'apport de matières en suspension (particules fines) durant certaines phases des travaux, par exemple lors de la réalisation des fondations des éoliennes (ou de nouvelles pistes) peut également être à l'origine de la dégradation de la qualité des eaux souterraines. Par ailleurs, la réalisation des travaux en période de fortes pluies peut être un facteur aggravant à ces risques (produits polluants et matières en suspension). En effet, celles-ci vont favoriser le lessivage des sols en surface (dont les éventuels produits polluants), le ruissellement vers le réseau hydraulique de surface ainsi que l'infiltration de ces particules dans le sous-sol vers les eaux souterraines.

Ces risques restent cependant limités en raison d'un part, des faibles quantités de produits potentiellement polluants sur le chantier (essentiellement liés aux réservoirs des engins) et d'autre part, de la durée du chantier limitée dans le temps (3 à 6 mois pour les phases de terrassement).

5.2 En phase d'exploitation

Durant la phase d'exploitation du parc éolien, les risques de pollution des eaux souterraines seront en revanche très limités. En effet, le fonctionnement des éoliennes ne nécessite pas d'apport d'eau et les quantités de produits potentiellement dangereux sont très faibles (liquide des dispositifs de transmissions mécaniques, huile des transformateurs électriques).



Dans le cas d'éoliennes « classiques », la principale réserve d'hydrocarbure est située au niveau du multiplicateur dans des carters fermés, étanches et régulièrement entretenus. Une technologie fiable permet de limiter les risques de fuites des différents hydrocarbures ; ces risques sont extrêmement faibles ; la conception des nacelles permet d'éviter toute propagation d'éventuelles fuites d'hydrocarbures.

Par ailleurs, de l'huile est présente au niveau des transformateurs. Conformément aux normes réglementaires, les transformateurs des machines sont hermétiques : ils sont équipés d'une cuve de rétention permettant de récupérer toute fuite éventuelle.

Les risques de pollution peuvent également provenir de la présence de véhicules légers, utilisés pour l'entretien et l'exploitation des éoliennes, et à d'éventuelles fuites d'hydrocarbures. Leur présence sur le site reste toutefois très ponctuelle et de courte durée, le risque de pollution accidentelle est donc très faible.



6 Mesures et préconisations

Afin de s'assurer de la préservation la qualité des ressources en eau du secteur, tout particulièrement celle destinée à la consommation humaine (puits de Saint-Martin-de-Sorgues), il est nécessaire de mettre en œuvre une série de mesures compensatoires pour réduire et éviter ces impacts potentiels.

Ces mesures spécifiques aux eaux souterraines seront les suivantes :

- ❖ stocker des produits potentiellement polluants, stationnement et entretien des véhicules sur un système de rétention ;
- ❖ drainer et collecter les eaux de ruissellement issues du chantier vers des bassins étanches qui permettront la décantation des particules fines avant rejet dans le milieu naturel. Dans le cas où la topographie des lieux ne permettrait pas le drainage des eaux vers les bassins de manière gravitaire, d'autres solutions techniques pourront être envisagées pour limiter les matières en suspension apportées par les eaux de ruissellement (filtration par la mise en place bottes de paille, etc.) ;
- ❖ réaliser les terrassements pour la réalisation ou le recalibrage des pistes et des fondations des éoliennes en dehors des périodes de forte pluviométrie ;
- ❖ réaliser 1 analyse physico-chimique mensuelle sur le puits de Saint-Maurice-de-Sorgues (Matières en Suspension, turbidité, indice HCT, pH, conductivité, et turbidité) durant 6 mois avant le début des travaux (dont 3 ciblées en période pluvieuse) ;
- ❖ réaliser 1 analyse physico-chimique mensuelle sur le puits de Saint-Maurice-de-Sorgues (Matières en Suspension, indice HCT, pH, conductivité et turbidité) durant la phase de travaux et les 3 mois qui suivront la fin des travaux.

Il est enfin recommandé de faire suivre les travaux par un hydrogéologue durant la phase critique des travaux (terrassements notamment). Compte tenu de l'hétérogénéité naturelle des formations calcaires, il n'est pas exclu que des vides de plus ou moins grandes ampleurs soient recoupés lors de la réalisation des fondations. Dans ce cas, il est donc important de prendre toutes les mesures pour éviter une infiltration directe et ponctuelle d'eau superficielle qui pourrait dégrader la ressource en eau.



7 Synthèse et conclusion

Les deux traceurs injectés au mois de février 2019 au droit de la zone de projet, ont été restitués sur les points d'eau situés au sud et au sud-ouest. Aucun traceur n'a en effet été retrouvé à la source principale de Fondamente, positionnée au sud-est de la zone de projet. Il est donc possible d'émettre l'hypothèse qu'il existe une ligne de partage des eaux sur le Causse qui divise les écoulements soit vers le sud-est (source de Fondamente qui draine essentiellement le secteur du Plo de l'Imbernas), soit vers le sud et le sud-ouest (sources secondaires et puits de Saint-Maurice-de-Sorgues qui drainent le secteur du Sotch du Buisson où se développe le projet éolien).

En outre, les résultats des tests de perméabilité (valeur de l'ordre de 10^{-6} m/s), effectués préalablement aux injections, et ceux des traçages (vitesses d'apparition, concentrations maximales restituées, etc.) montrent que les systèmes aquifères locaux sont peu vulnérables vis-à-vis des infiltrations d'eaux météoriques. Ces résultats sont cohérents avec les conclusions de l'étude hydrogéologique globale des Avants-Causse du Saint-Affricain.

Dans le cas où l'ensemble des mesures préconisées est respecté, la faisabilité du projet de parc éolien des Moulins du Bosc est compatible avec la préservation de la qualité et de la quantité des eaux des ressources en eau locales, tout particulièrement celles qui constituent des enjeux majeurs du fait que l'eau soit destinée à la consommation humaine (puits de Saint-Maurice-de-Sorgues et source de Fondamente).



Observation sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.






anteagroup