



SEQUABAT



Projet de construction du village de marques à La Cavalerie (12)

Expertise hydrogéologique



Rapport n°A104310/version finale – Juillet 2020

Projet suivi par Amélie BOYER – 06.77.99.36.46 – amelie.boyer@anteagroup.com

Fiche signalétique

Projet de construction du village de marques à La Cavalerie (12)

Expertise hydrogéologique

CLIENT	SITE
SEQUABAT	SEQUABAT
ZAC de l'Aéroport 99 impasse Adam Smith 34470 PEROLS	12230 La Cavalerie
Vincent IDE Fonction 06.21.43.59.87 v.ide@groupeidec.com	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Amélie BOYER
Interlocuteur commercial	Christophe SUBIAS
	Implantation de Toulouse
Implantation chargée du suivi du projet	05.61.00.70.40 secretariat.toulouse-fr@anteagroup.com
Rapport n°	A104310
Version n°	version finale
Votre commande et date	N°SQBT15A023/CHO15 du 13/05/2020
Projet n°	MPYP20-0151

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Amélie BOYER	Ingénieur projets	Juillet 2020	
Approbation	Christophe SUBIAS	Expert hydrogéologue	Juillet 2020	

Sommaire

1. Contexte et objectifs de l'étude	7
2. Présentation du projet	8
2.1. Localisation du projet	8
2.2. Description du projet	10
2.3. Principes de gestion des eaux usées et des eaux pluviales.....	12
2.3.1. Gestion des eaux usées.....	12
2.3.2. Gestion des eaux pluviales	12
2.3.3. Autres.....	20
3. Contexte géologique.....	21
3.1. Contexte géologique général	21
3.2. Contexte géologique local	24
3.3. Contexte hydrogéologique général.....	25
3.4. Contexte hydrogéologique local	26
3.4.1. Contexte hydrogéologique du causse de La Cavalerie.....	26
3.4.2. Eléments apportés par les traçages	28
3.4.3. Qualité de l'eau souterraine	30
3.5. Conditions d'infiltration au droit du projet	30
3.6. Conclusion sur les contextes géologique et hydrogéologique.....	32
4. Enjeux vis-à-vis de la ressource en eau potable	33
4.1. Captage de la source de l'Esperelle.....	33
4.2. Captage de la source de l'Homède.....	33
4.3. Captage de la source du Moulin de Laumet.....	35
5. Opération de traçage.....	36
5.1. Protocole de traçage mis en œuvre	36
5.1.1. Généralités	36
5.1.2. Phase préalable de prévention	37
5.1.3. Choix du point d'injection	38
5.1.4. Choix des points de suivi	38
5.1.5. Choix et justification du traceur utilisé	39
5.1.6. Méthodologie de l'injection du traceur	40
5.1.7. Méthodologie du suivi de la restitution	41
5.1.8. Analyse des échantillons	42
5.2. Résultats du traçage	42

5.2.1. Pluviométrie	42
5.2.2. Conditions hydrologiques	43
5.2.3. Débits des sources	44
5.2.4. Résultats des restitutions en traceur	46
5.3. Interprétation des résultats	51
6. Impacts du projet sur les eaux souterraines	53
6.1. Vulnérabilité des eaux souterraines.....	53
6.1.1. Définition de la vulnérabilité.....	53
6.1.2. Application au projet.....	53
6.2. Aléa lié à une pollution.....	54
6.3. Evaluation des impacts du projet sur les eaux souterraines.....	55
6.3.1. Impacts quantitatifs	55
6.3.2. Impacts qualitatifs.....	55
7. Conclusion et recommandations.....	57

Table des figures

Figure 1 : Localisation du projet du village de marques sur fond cadastral (source : S.C.P. Olivet-Faillie Architectes DPLG).....	9
Figure 2 : Plan de masse du projet du village des marques (source : SEQUABAT)	11
Figure 3 : Bilan hydraulique avec l'aménagement du projet initial (extrait du DLE de 2009)	13
Figure 4 : Coupe-type de la tranchée drainante	14
Figure 5 : Extrait du plan des réseaux humides projetés	15
Figure 6 : Photographie des aménagements hydrauliques visibles en surface	16
Figure 7 : Ouvrages du réseau d'eau pluvial actuel	17
Figure 8 : Coupe type de la noue d'infiltration à créer (Plan n°19 du DLE 2020).....	20
Figure 9 : Contexte géologique du secteur (Infoterre-BRGM)	22
Figure 10 : Coupe géologique Nord-Sud du causse du Larzac (tiret rouge sur carte géologique)	23
Figure 11 : Affleurement des dalles de calcaires observés sur le Parc d'activité Millau-Larzac, au nord du projet.....	24
Figure 12 : Limites supposées des bassins d'alimentation des sources sur le pourtour septentrional du causse du Larzac (source : PNRGC).....	26
Figure 13 : Délimitation des bassins d'alimentation supposée des sources (source : PNRGC)	27
Figure 14 : Localisation des sondages à pelle mécanique et des tests d'infiltration réalisés en 2008 .	31
Figure 15 : Photographie du fontis apparu au nord du projet (source : SEQUABAT)	31
Figure 16 : Position du projet par rapport aux périmètres de protection des sources captées pour l'AEP.....	34
Figure 17 : Localisation de la source du Moulin de Laumet.....	35
Figure 18 : Schéma de principe d'un aquifère karstique (MANGIN, 1975) et trajet potentiel d'un traceur	37
Figure 19 : Schéma d'un aquifère karstique (BRULHAM et al., 2004).....	37
Figure 20 : Localisation des sources suivies pour l'opération de traçage	39
Figure 21 : Illustrations de l'opération d'injection du traceur dans le bassin d'infiltration.....	40
Figure 22 : Illustrations du matériel de suivi installé à la source du moulin de Laumet.....	41
Figure 23 : Précipitations journalières à La Cavalerie au mois de mai et juin 2020.....	43
Figure 25 : Débit mensuel moyen de la Dourbie en 2020.....	43
Figure 24 : Débit mensuel moyen de la Dourbie moyenné sur 103 ans	43
Figure 26 : Débit de la source de l'Esperelle associé aux précipitations à La Cavalerie.....	44
Figure 27 : Débit de la source de Laumet au cours du traçage	45
Figure 28 : Débits des sources de Riou Ferrand au cours du traçage	46
Figure 29 : Résultats du suivi à la source Riou Ferrand amont	47
Figure 30 : Résultats du suivi à la source Riou Ferrand aval	48
Figure 31 : Résultats du suivi à la source de Laumet	49
Figure 32 : Résultats du suivi à la source de l'Esperelle	50
Figure 33 : Résultats du suivi à la source de l'Homède	51
Figure 34 : Coupe caractéristique d'un aquifère karstique (d'après Mangin)	53

Table des tableaux

Tableau 1 : Parcelles cadastrales concernées par le projet	8
Tableau 2 : Estimation des charges hydraulique et organique générées par le village de marque (source : IRH)	12
Tableau 3 : Résultats du traçage réalisés sur la ZAC de la Cavalerie en mai 2006	28
Tableau 4 : Résultats du traçage réalisés sur le camp militaire en avril 2018	29
Tableau 5 : Présentation des sources suivies pour l'opération de traçage.....	38
Tableau 6 : Seuils de détection du traceur.....	42
Tableau 7 : Mesures manuelles du débit de la source de Laumet.....	45
Tableau 8 : Mesures manuelles du débit des sources de Riou Ferrand.....	45
Tableau 9 : Bilan des restitutions de la fluorescéine.....	52

Table des annexes

Annexe I :	Références utilisées
Annexe II :	Carte de synthèse indiquant les zones d'anomalie de densité – INNOGEO
Annexe III :	Plan d'implantation des sondages - GEOTECHNIQUE
Annexe IV :	Résultats d'analyses de la fluorescéine par le laboratoire CETRAHE

1. Contexte et objectifs de l'étude

Un projet de construction d'un village de marques « Viaduc Village » sur la commune de La Cavalerie, est porté par la SCI TOMMY.

Dans le premier permis de construire déposé en 2009, la superficie du projet était de 2,37 ha et la surface du bassin versant intercepté était de 0,67 ha. Le projet était donc soumis à déclaration en application des articles L.214-1 à L.214-3 du Code de l'Environnement mais non soumis à enquête publique. La SCI a donc déposé en 2009, un dossier Loi sur l'eau qui précisait les mesures compensatoires notamment dans la gestion des eaux pluviales (mise en place de tranchées d'infiltration). A ce dossier, était joint l'avis d'un Hydrogéologue agréé (M. REY) compte tenu du positionnement du futur village de marques dans le périmètre de protection rapprochée de la source captée de l'Esperelle. Ce dossier Loi sur l'Eau a reçu un avis positif de la Police de l'Eau, service instructeur de la DDT de l'Aveyron, qui a autorisé les travaux par récépissé en date du 27/02/2009.

En septembre 2013, une demande de permis de construire modificatif est déposée. La seule modification qui impacte le dossier Loi sur l'Eau est le changement de nature de la toiture des bâtiments. Une note modificative est donc remise au service Police de l'Eau qui l'a enregistré au dossier initial.

En fin d'année 2019, les travaux, menés par l'entreprise Guintoli, ont commencé mais ont été rapidement arrêtés quelques mois après.

En effet, la SCI souhaite déposer un nouveau permis de construire comprenant l'ancien périmètre du projet agrémenté d'une superficie de 2,23 ha. L'opération, qui présente maintenant une emprise totale de 4,6 ha et une surface de bassin intercepté de 0,23 ha, est toujours soumise à déclaration au titre du Code de l'environnement.

Cette procédure nécessite alors de remettre à jour l'ancien dossier Loi sur l'eau assorti d'une étude hydrogéologique (compte tenu des enjeux sur les eaux souterraines).

Compte tenu des contraintes liées à ce projet (positionnement sur un périmètre de protection d'une source captée), un nouvel avis d'hydrogéologue agréé, qui pourra se baser sur l'étude hydrogéologique, a été demandé par l'ARS.

Le maître d'ouvrage délégué de la SCI TOMMY, la société SEQUABAT (groupe IDEC), a missionné le bureau d'études Antea Group afin de compléter et réactualiser l'étude hydrogéologique réalisée par M. Rey en 2008.

Cette synthèse hydrogéologique est basée, dans un premier temps, sur :

- les documents existants, et notamment les plus récents, récupérés auprès du Parc Naturel Régional des Grands Causses, de l'ARS et du maître d'ouvrage qui a déjà fait réaliser des investigations sur le site (références en annexe 1) ;
- une visite du site qui a pour but d'observer le terrain après les premiers travaux de terrassement.

Elle est complétée par les résultats de l'opération de traçage réalisée par Antea Group en mai-juin 2020.

2. Présentation du projet

2.1. Localisation du projet

Le projet du village de marques est localisé sur la commune de La Cavalerie, au sud-est de Millau. Il se situe à proximité du Parc d'Activités Millau-Larzac, au nord-ouest du bourg de La Cavalerie, en bordure de la route départementale n°999.

Les parcelles cadastrales concernées par le projet, qui appartiennent à la SCI TOMMY, sont présentées dans le tableau suivant :

Lieu-dit	Section	Numéros
La Barrière	ZB	15
		64
		141
La Cavalerie	J	875

Tableau 1 : Parcelles cadastrales concernées par le projet

La surface totale des parcelles concernées par le projet est d'environ 46 035 m².

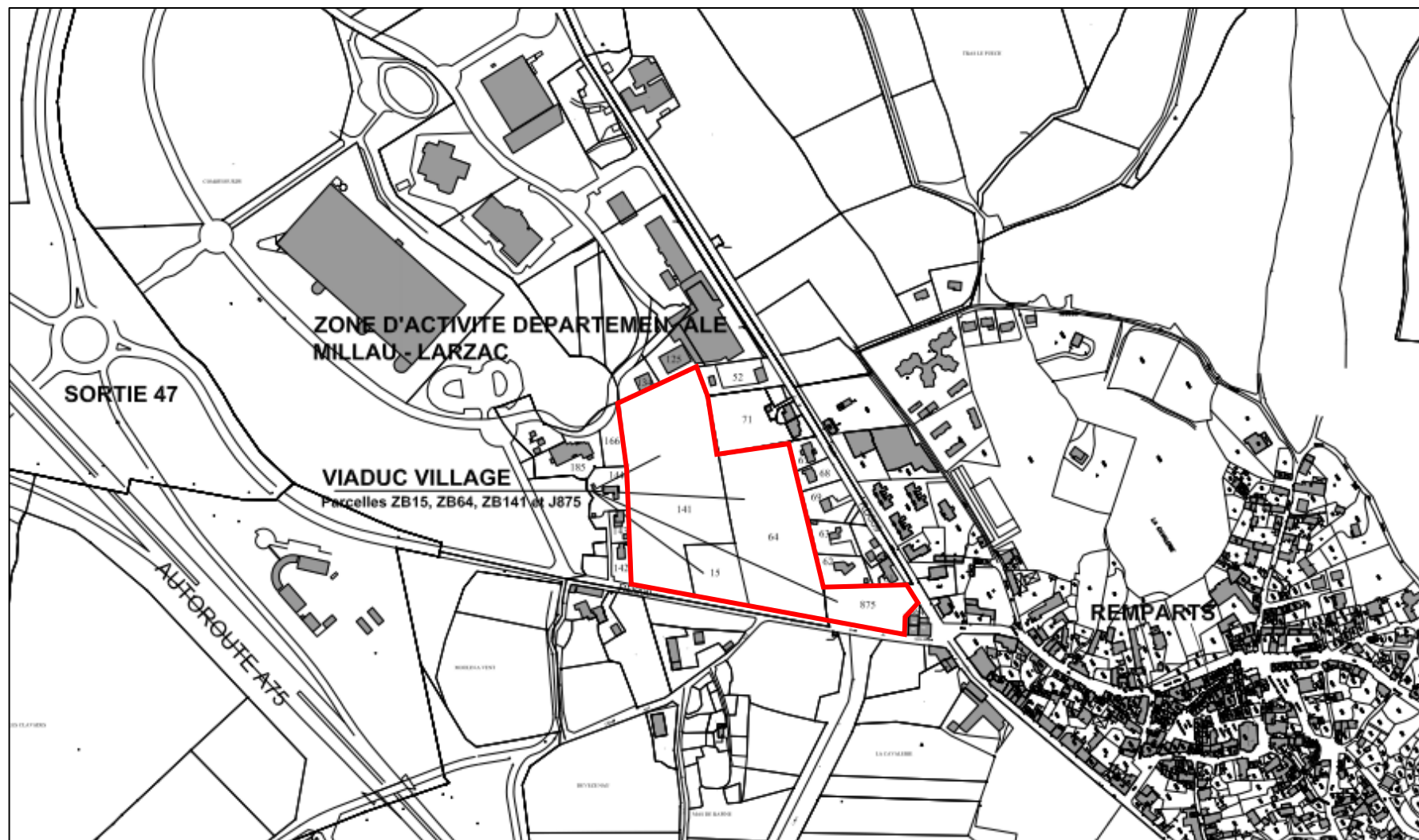


Figure 1 : Localisation du projet du village de marques sur fond cadastral (source : S.C.P. Olivet-Faillie Architectes DPLG)

2.2. Description du projet

Le village de marques consiste en un rassemblement de boutiques de vente, environ 45, qui seront organisées de part et d'autre d'une rue centrale.

L'entrée du site au public se fera via un parvis en façade sud, le long de la RD 999. Deux passerelles-cheminements en béton désactivé relieront ce parvis aux stationnements des véhicules situés de part et d'autre. Elles permettront aussi de se diriger vers le centre du village à l'est, vers le stationnement communal au sud et vers la zone commerciale à l'ouest ; elles assureront également le franchissement de l'ouvrage de gestion des eaux pluviales.

Les aires de stationnement des véhicules, d'une surface totale de 9 380 m², seront revêtues de dalles alvéolaires remplies de pierres concassées.

Les voies d'accès aux parkings et la zone de service périphérique pour la livraison des différents commerces seront bituminées.

Concernant les abords immédiats du bâtiment, l'ensemble des sols extérieurs autres que plantés de la rue centrale, sera constitué d'enrobé beige teinte calcaire. La galerie couverte et le parvis seront réalisés en béton désactivé de teinte ocre calcaire.

La partie ouest du terrain, actuellement une prairie, sera conservée en l'état et entretenue.

Trois accès seront créés sur la RD 999, soit un pour chaque aire de stationnement des véhicules et un pour l'arrivée des livraisons.

La plate-forme du bâtiment sera à l'altitude moyenne de 787,50 m NGF, de façon à équilibrer déblais et remblais.



2.3. Principes de gestion des eaux usées et des eaux pluviales

2.3.1. Gestion des eaux usées

2.3.1.1. Principe de gestion des eaux usées

Le projet prévoit la création d'un réseau d'assainissement d'eaux usées qui sera raccordé au réseau communal existant. Les eaux usées seront ainsi envoyées vers la station d'épuration de La Cavalerie.

A noter qu'une antenne du réseau d'assainissement communal traverse le projet, le long de la limite ouest de la parcelle ZB64 et des limites est et nord de la parcelle ZB141. Dans le projet, ces canalisations sont localisées sous la future voie de service périphérique.

2.3.1.2. Dimensionnement

Les eaux usées générées par les boutiques et les restaurants, seront dirigées vers un réseau constitué de canalisations PVC Ø200 posées sous la voie de service. Ce réseau d'assainissement sera raccordé au réseau communal existant, au nord du site.

Les charges hydraulique et organique engendrées par le projet du village de marques ont été estimées par le bureau d'études IRH :

	EH	Charge hydraulique en m ³ /j	Charge organique en kg de DBO ₅ /jour
47 boutiques – 120 employés	60	6,6	3,6
1 restaurant avec salle de restauration de 203 m ²	270	29,7	16,2
2 blocs sanitaires – 17 WC	119	13,09	7,14
Village de marque	449	49	27

Tableau 2 : Estimation des charges hydraulique et organique générées par le village de marque (source : IRH)

En ajoutant les charges futures liées aux projets de la commune (création d'H.L.M. ...), la capacité de traitement de la station d'épuration de La Cavalerie apparaît insuffisante. La commune envisage alors la construction d'une nouvelle station d'épuration à l'horizon 2022.

2.3.2. Gestion des eaux pluviales

2.3.2.1. Principe retenu dans le Dossier Loi sur l'eau de 2009

2.3.2.1.1. Principe de gestion des eaux pluviales

Dans le projet initial, la collecte des eaux pluviales était effectuée par :

- un réseau dit propre qui recueille les eaux de ruissellement des toitures et des zones piétonnes ;
- un réseau dit « pollué » qui collecte les eaux de ruissellement des voiries et places de stationnement en enrobés.

Ces deux types de réseaux sont construits en parallèle sous la voie de service et composé chacun de deux antennes : une située à l'est du projet, l'autre située à l'ouest.

Une partie des eaux du réseau « propre » est stockée dans deux citernes (50 m³ chacune), situées sur chaque antenne de ce réseau, pour l'arrosage des espaces verts

Les eaux collectées par le réseau « pollué » sont dirigées vers deux séparateurs d'hydrocarbures implantés à la sortie de l'antenne Est et de l'antenne Ouest.

Ces eaux traitées ainsi que les eaux issues du réseau « propre » sont rejetées dans le milieu naturel via une tranchée drainante, aménagée le long de la route départementale 999, au niveau de l'entrée piétonne du village (Figure 5).

Cet ouvrage est ancré dans le substratum rocheux, traité au brise roche sur 50 cm afin de faciliter l'infiltration des eaux. Il est comblé par des pierres concassées recouvertes d'une géomembrane étanche puis d'une couverture de terre végétale sur 40 cm.

Un dispositif de surverse est prévu avec la pose d'un drain de Ø300 mm au toit des matériaux drainants, raccordé au réseau d'eau pluvial communal. Ce dispositif constitue une mesure de sécurité permettant d'évacuer l'excédent des eaux pluviales en cas de surcharge de la tranchée drainante.

Certaines zones aménagées du projet ne sont pas reliées aux réseaux de collecte des eaux pluviales, l'infiltration directe dans le sol étant privilégiée. Au niveau des aires de stationnement, le sol est revêtu de dalles alvéolaires gravillonnées afin de permettre l'infiltration des eaux de pluie. Les eaux provenant de la RD 999 et ruisselant vers le projet, sont infiltrées dans les espaces verts à créer en bordure de cette voie.

2.3.2.1.2. Dimensionnement des ouvrages

De manière générale, l'imperméabilisation des sols est responsable d'une diminution des surfaces d'infiltration des eaux pluviales qui entraîne un risque de concentration des eaux pluviales et d'augmentation des débits de pointe aux exutoires.

Dans le cadre du projet initial, le débit de pointe après l'aménagement du site est calculé pour une pluie trentennale (fréquence de pluie retenue dans le PLU) dans le tableau ci-dessous :

Bilan Hydraulique après aménagement sans mesure compensatoire	SUPERFICIE (ha)	COEFFICIENT DE RUISELLEMENT	PENTE (m/m)	LONGUEUR (hm)	DEBIT DE POINTE (m ³ /s)	COEFFICIENT ALLONGEMENT	COEFFICIENT CORRECTEUR	DEBIT CORRIGE (m ³ /s)
ASSEMBLAGE du bassin 1	0.1800	0.40	0.010	0.70	0.05	1.65	1.01	0.05
ASSEMBLAGE du bassin 2	1.0204	0.75	0.010	1.80	0.39	1.78	1.00	0.39
ASSEMBLAGE du bassin 3	1.0284	0.78	0.010	2.80	0.41	2.76	0.99	0.41
ASSEMBLAGE du bassin 4	0.1400	0.46	0.014	0.60	0.05	1.60	1.01	0.05
ASSEMBLAGE des bassins	2.3688	0.72	0.010	2.80	0.75	1.82	1.00	0.75
Prairie située à l'amont du projet	0.5000	0.20	0.010	1.30	0.05	1.84	1.00	0.05
Route départementale n°999 située à l'amont du projet	0.1700	1.00	0.010	2.90	0.12	7.03	0.96	0.12
ASSEMBLAGE des surfaces	3.0388	0.65	0.010	2.80	0.82	1.61	1.01	0.83
Débit théorique après aménagement, sans mesure compensatoire :								
0.83 m ³ /s								

Figure 3 : Bilan hydraulique avec l'aménagement du projet initial (extrait du DLE de 2009)

Une note modificative a été apportée à ce dossier en 2013, pour le remplacement du toit-terrasse par une toiture en bac acier d'une pente de 3% avec un coefficient de ruissellement estimé à 1. Le bilan hydraulique recalculé donne alors un débit de pointe généré par l'aménagement de 0,96 m³/s pour une pluie trentennale.

A l'état initial, sans aménagement, le débit de pointe est estimé à 0,30 m³/s. Le projet engendre alors une importante augmentation du volume d'eau ruisselé sur le site qui nécessite la mise en place de mesures compensatoires.

Afin de gérer ce volume d'eau pluviale supplémentaire, il est envisagé de collecter les eaux ruisselant sur les surfaces imperméabilisées et de les évacuer dans le sous-sol via une tranchée drainante.

Le dimensionnement de cet ouvrage est calculé selon les paramètres suivants :

- pluie trentennale ;
- débit de fuite équivalent au débit de pointe à l'état initial (0,30 m³/s) ;
- potentiel d'infiltration moyen du substratum calcaire de 15 m³/jour/m² (cf. paragraphe 3.5.) ;

Ainsi, le volume utile de rétention de l'ouvrage, nécessaire pour infiltrer toutes les eaux pluviales collectées, est de 392 m³. Il était prévu de réaliser deux tranchées en parallèle, comblées de matériaux drainants de porosité 40%, avec les dimensions prévisionnelles (Figure 4) suivantes :

- longueur : 180 m,
- largeur : 2,70 m,
- hauteur : 1,70 m.

Ces mesures compensatoires permettent de limiter les impacts de l'aménagement sur le ruissellement des eaux pluviales et d'atteindre un débit de pointe après aménagement, équivalent à celui déterminé à l'état initial.

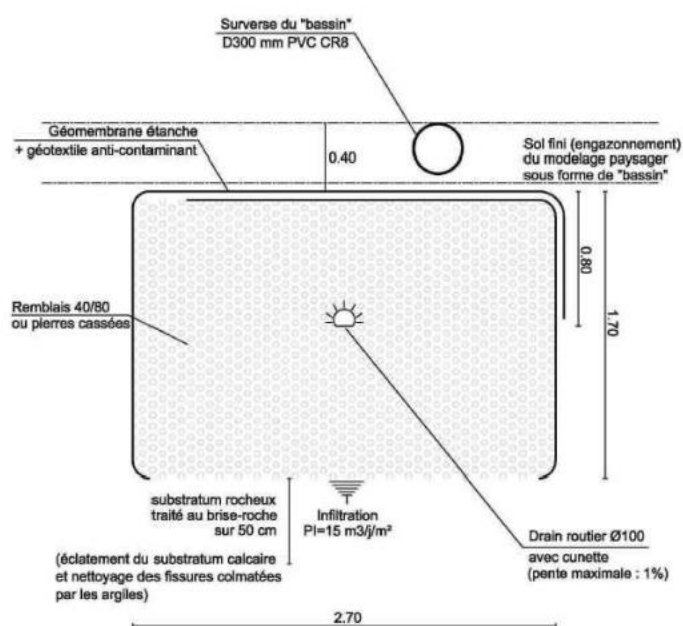


Figure 4 : Coupe-type de la tranchée drainante

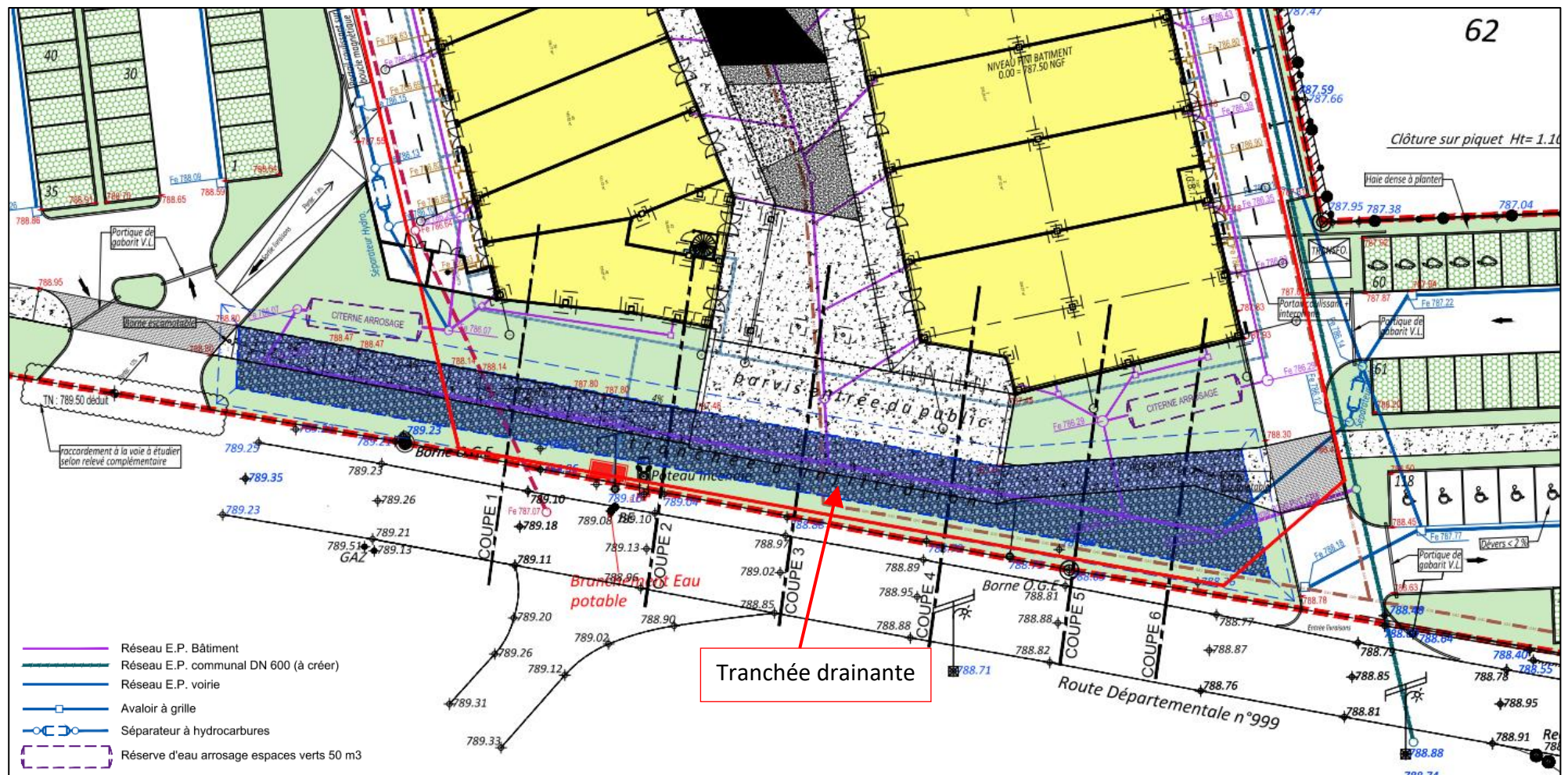


Figure 5 : Extrait du plan des réseaux humides projetés

2.3.2.1.3. Aménagements réalisés à ce jour

Suite au dépôt du permis de construire de 2013, certains travaux ont été réalisés notamment la phase de terrassement-remblaiement qui permet aujourd'hui d'avoir une plateforme à une altitude autour de 787 m NGF.

Aussi, quelques éléments du réseau d'eaux pluviales ont été mis en place et l'ouvrage d'infiltration a été réalisé au sud du projet, le long de la route, sous le futur parvis d'entrée du village (Figure 6 et Figure 7).

Les informations suivantes nous ont été transmises par la société GUINTOLI en charge des travaux :

- Le fond du bassin est fondé sur des calcaires fracturés naturellement à environ 4 m de profondeur par rapport au terrain naturel. Afin d'améliorer l'infiltration des eaux, le rocher a été dérocté au brise-roche sur 50 cm.
- Sa surface en fond est de 580 m² pour une hauteur de 1.70 m, soit un volume d'environ 1000 m³. Le bassin créé a été comblé de matériaux drainants 20/100 permettant une porosité de 40%. Ainsi, la capacité de rétention maximale de l'ouvrage est de 400 m³.
- La côte du fond de bassin est à 784.00 m NGF et le toit des matériaux drainants à 785.70 m NGF.
- Des regards de diffusion (R112, R90, R70 et R20) sont placés à l'exutoire de chaque réseau d'eaux pluviales. Les eaux collectées se déversent et s'infiltrent dans ces regards qui sont ancrés dans les matériaux drainants sur 15 à 40 cm.
- Un drain Ø300 mm a été posé au toit des matériaux drainant afin de permettre une surverse vers le réseau d'eau pluvial communal, au nord du site, en cas de surcharge.

A noter que la capacité globale et finale d'infiltration de ce bassin n'a pas été testée. A ce jour, nous n'avons aucune coupe technique de réception de ce bassin.



Figure 6 : Photographie des aménagements hydrauliques visibles en surface

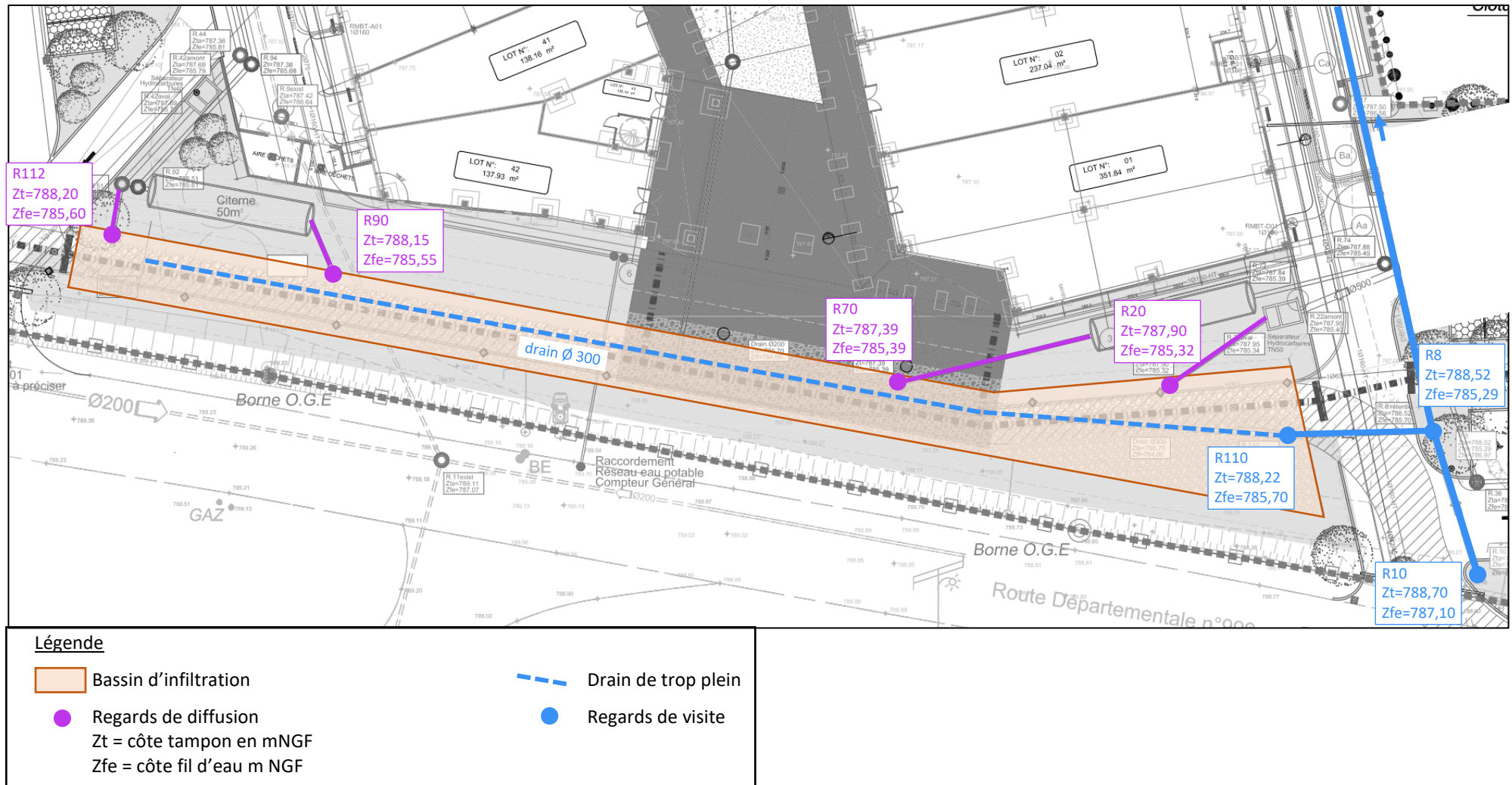


Figure 7 : Ouvrages du réseau d'eau pluvial actuel

2.3.2.2. Propositions de gestion dans le dossier Loi sur l'eau de 2020

2.3.2.2.1. Principes de gestion des eaux pluviales

Les deux réseaux de collecte « eau propre » et « eau polluée » sont maintenus.

Sur la moitié est du projet, les eaux collectées à partir du réseau dit pollué, seront acheminées vers un déboureur, équipé d'une vanne martelière à l'aval, qui permettra de retenir les particules polluantes et une éventuelle pollution accidentelle. Les eaux préfiltrées seront ensuite rejetées dans le bassin d'infiltration existant au droit du parvis d'entrée.

Les eaux collectées par le réseau dit propre ne seront pas traitées et rejoindront directement le bassin d'infiltration. Une partie de ces eaux propres sera stockée dans une citerne enterrée de 50 m³ pour l'arrosage des espaces verts.

Sur la moitié ouest du projet, les eaux propres seront dirigées vers des noues d'infiltration créées en limite ouest de la voirie et du parking ouest. Ces noues disposeront d'une surverse raccordée sur le bassin d'infiltration existant. Par ailleurs, une partie des eaux de toiture transiteront dans une deuxième citerne de rétention pour l'arrosage et pour l'alimentation des sanitaires publics et de l'administration du centre.

Les eaux « polluées » seront dirigées directement vers les noues. En complément, un regard déboureur sera positionné avant raccordement de la noue sur le réseau de surverse. Ce regard a pour vocation principale de préserver dans le temps le massif drainant enterré du bassin d'infiltration.

2.3.2.2.2. Dimensionnement des ouvrages dans le nouveau projet

Le nouveau projet est implanté sur un périmètre plus grand et la surface aménagée est plus importante. Par ailleurs, les calculs hydrauliques sont réalisés pour une pluie décennale, en accord avec le service Police de l'eau de la DDT. Ainsi, les bilans hydrauliques donnent les résultats suivants :

Projet	Débit de pointe
A l'état initial	0,47 m ³ /s
Après aménagement	1,15 m ³ /s

Le nouvel aménagement envisagé engendre un débit généré égal à 2,4 fois le débit initial.

Afin de gérer ce volume d'eau pluviales, les mesures compensatoires prévues sont la collecte des eaux de ruissellement et leur évacuation dans le milieu naturel à partir du bassin d'infiltration existant et de noues d'infiltration.

Le dimensionnement de ces ouvrages est calculé selon les paramètres suivants :

- pluie décennale ;
- débit de fuite équivalent au débit de pointe à l'état initial (0,47 m³/s) ;
- potentiel d'infiltration moyen du substratum calcaire de 15 m³/jour/m² (cf. paragraphe 3.5.) ;

➤ Bassin d'infiltration

Le volume d'eau à retenir est calculé uniquement pour la superficie de la partie Est du projet car l'apport du réseau de surverse de la noue doit être nul pour une pluie décennale.

A partir du bilan hydraulique après aménagement, le volume d'eau à infiltrer est de 343 m³. Le bassin d'infiltration déjà réalisé qui offre un volume de rétention de 400 m³, est adapté à la gestion des eaux pluviales du nouveau projet.

Pour une pluie d'occurrence supérieure à 10 ans, le drain de surverse placé au-dessus du massif drainant du bassin d'infiltration, permettra de rejeter les eaux excédentaires vers le réseau pluvial communal.

➤ Noues d'infiltration

Le volume d'eau à retenir est calculé uniquement pour la superficie de la partie Ouest du projet.

A partir du bilan hydraulique après aménagement, le volume d'eau total à infiltrer est de 177 m³.

Ce volume d'eau sera réparti dans 3 noues, dont les caractéristiques géométriques seront les suivantes :

Noue 1 (tronçon N6-N5) => volume de rétention : 58 m³

- hauteur de rétention : 25 cm
- longueur de fond : 100 ml
- largeur de fond : 1.90 m

Noue 2 (tronçon N1-N5) => volume de rétention : 116 m³

- hauteur de rétention : 25 cm
- longueur de fond : 200 ml
- largeur de fond : 1.90 m

Noue 3 (Pv18) => volume de rétention : 8 m³

- hauteur de rétention : 25 cm
- longueur de fond : 10 ml
- largeur de fond : 2.50 m

La pente du profil en long de la noue doit se situer entre 0.5% et 2%. Le tronçon N1-N5 présente une pente du profil en long très faible de 0.19%, ce qui nécessite de prévoir des organes de vidange tous les 50 mètres (3 ouvrages sur 200 ml).

Pour une pluie d'occurrence supérieure à 10 ans, la surverse de cet ouvrage constitue une mesure de sécurité permettant d'évacuer l'excédent des eaux pluviales dans le bassin d'infiltration. De plus, en cas d'évènement exceptionnel qui provoquerait le débordement des noues et la mise en charge de la surverse, les écoulements excédentaires se dirigeraient en direction du point bas de la prairie naturelle, au Nord du terrain, et non vers le Village de Marques.

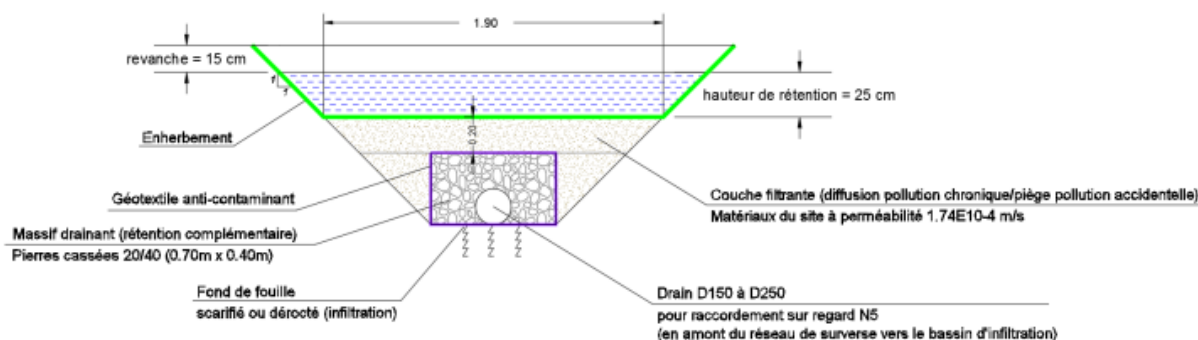


Figure 8 : Coupe type de la noue d'infiltration à créer (Plan n°19 du DLE 2020)

Ces mesures compensatoires permettent de limiter les impacts de l'aménagement sur le ruissellement des eaux pluviales et d'atteindre un débit de pointe après aménagement, inférieur à celui déterminé à l'état initial ($Q_{10 \text{ résiduel}} = 0,22 \text{ m}^3/\text{s}$).

2.3.3. Autres

Dans le cadre du projet, il n'est pas prévu l'installation d'une réserve de stockage d'eau pour la défense incendies. Le réseau de bornes à incendies de la commune sera utilisé si nécessaire.

Par ailleurs, aucun stockage de produits polluants n'est envisagé sur le site.

3. Contexte géologique

3.1. Contexte géologique général

Le projet du village de marques se situe sur le plateau du causse du Larzac.

Le causse est constitué de formations calcaires et dolomitiques du Jurassique moyen (Aalénien à Callovien), qui présente une épaisseur d'environ 200 mètres. Ces terrains sont caractérisés par des dolomies du Bathonien supérieur (J2b) présentant un relief d'ancien karst très érodé. Ils surmontent des calcaires très fracturés qui forment la base des falaises bordant les Grands Causses (I9b, J1b et J2a).

Globalement, les structures sont faiblement monoclinales vers le nord ou subhorizontales. Le seul pli notable est le vaste synclinal qui plonge légèrement vers le nord jusqu'à la Dourbie (Figure 10).

Le substratum calcaire est parfois recouvert de placages de matériaux meubles naturels composés d'argiles rouges de décalcification à cailloutis calcaires (R).

Cet abrupt dans le paysage surmonte les marnes feuilletées du Lias moyen et supérieur (Domérien et Toarcien, I6 et I8-9a) qui forment les terrains de l'avant causse.

Plusieurs vallées bordent ce massif. Au nord et à l'est, la vallée de la Dourbie est formée d'éboulis du causse et d'alluvions fluviatiles. Au sud-est, le fond de la vallée du Durzon est également formé de ces terrains. A l'ouest, la vallée du Cernon est formée de calcaires et dolomies du Jurassique inférieur et notamment de l'Hettangien (I1-2). Ces terrains en fond de vallée, sont recouverts d'alluvions dans le lit du Cernon.

Cet important ensemble carbonaté est découpé par quelques grands accidents tectoniques. Le compartiment de La Cavalerie est limité au sud par la grande faille E-O de l'Hospitalet-du-Larzac, qui est parallèle à la faille de Lapanouse-de-Cernon, plus au nord.

Un dense réseau de failles s'est développé sur le causse du Larzac dont les orientations dominantes sont N-S et SO-NE. Ce faisceau SO-NE est notamment représenté par la grande faille de La Cavalerie qui est observée jusque dans la vallée de Millau.



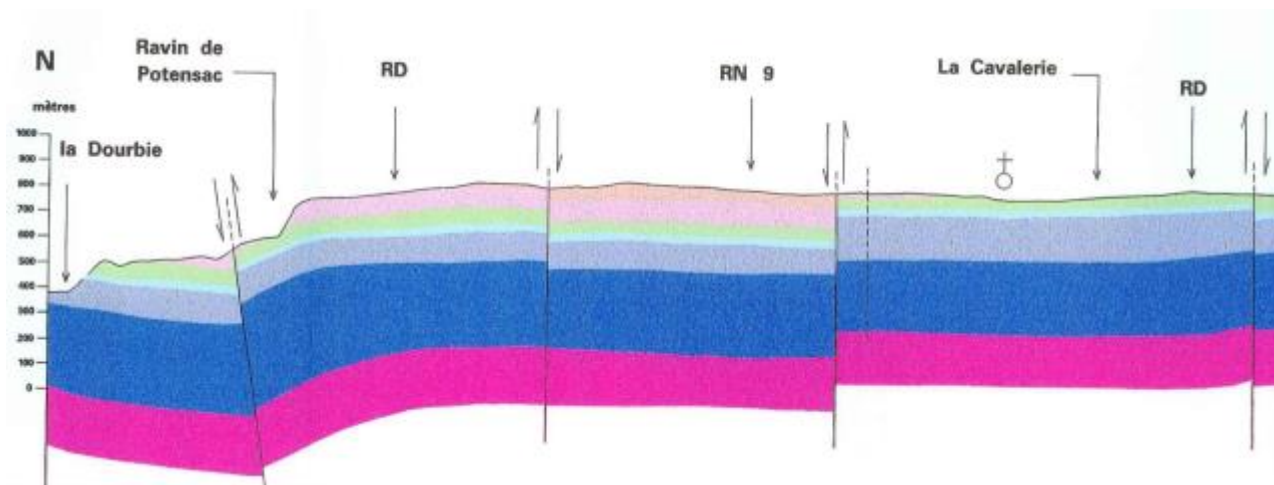


Figure 10 : Coupe géologique Nord-Sud du causse du Larzac (tiret rouge sur carte géologique)

	Description	Attributions stratigraphiques	Couleur de la légende
J6-7	Calcaires et Dolomies	Oxfordien supérieur Kimméridgien inférieur	
J3-5	Calcaires, dolomies cristallines	Callovien Oxfordien inférieur	
J2b	Dolomies ruiformes	Bathonien supérieur Callovien ?	
J2a	Calcaires et dolomies, faisceau à charbon	Bathonien inférieur	
J1b	Calcaires et dolomies	Bajocien supérieur	
J1a	Calcaires à chailles	Bajocien inférieur	
L9b	Calcaires à chailles et calcaires à fucoides	Asiénien supérieur	
L8-9a	Intercalations de calcaires Marnes feuilletées	Asiénien inférieur	
		Toarcien supérieur	
L6-7	Marnes feuilletées	Toarcien inférieur Doménien	
L5	Calcaires argileux et marnes subordonnées	Carixien	
L3-4	Calcaires et dolomies	Sinemurien	
L1-2	Dolomies et calcaires dolomitiques	Hettangien	
		Trias	

3.2. Contexte géologique local

Le projet est implanté sur une couverture argileuse qui repose sur les calcaires du Bajocien supérieur (J1b). Cette roche se débite en dalles épaisses de 5 à 20 cm (Figure 11) qui présentent un léger pendage général vers le nord. Le plancher imperméable, constitué par les marnes du Toarcien, se trouve vers 160 m de profondeur.



Figure 11 : Affleurement des dalles de calcaires observés sur le Parc d'activité Millau-Larzac, au nord du projet

Dans le cadre de l'expertise hydrogéologique de 2008, 3 sondages ont été réalisés au droit du futur ouvrage d'infiltration des eaux pluviales du projet. Ils ont permis de faire les observations suivantes :

- la surface des bancs calcaires présente un modelé karstique caractéristique (« lapiaz ») ;
- les fissures et fractures sont nombreuses et largement ouvertes en surface ;
- les ouvertures sont partiellement colmatées par des argiles rouges ;
- l'épaisseur du recouvrement argileux est irrégulière (entre 1,8 et 2,7 m sur la zone inspectée).

Par la suite, plusieurs sondages géotechniques ont été réalisés au droit du projet en 2011 par I-TERRE et en 2016 et 2018 par GEOTECHNIQUE. Ces investigations ont permis d'identifier des horizons géologiques d'épaisseur très hétérogène sur l'ensemble du site. Les nombreuses coupes géologiques indiquent, de haut en bas :

- un niveau de limons plus ou moins gravelo-sableux, de couleur marron-beige à rosé, avec de nombreux cailloutis et petits blocs de calcaire blanc. Cet horizon est présent jusqu'à 0,4 / 2,9 m de profondeur, avec une moyenne de 1 m d'épaisseur.
- un horizon constitué principalement d'argiles plus ou moins sableuses, plus ou moins plastiques, avec de nombreux cailloutis et blocs de calcaire (argiles de décalcification). Il est présent très superficiellement, jusqu'à 2,9 m de profondeur, sous forme de placages ou plus

profondément dans la masse calcaire sous forme de remplissage (souvent soutiré dans les vides karstiques).

- le calcaire peut apparaître, au toit du substratum, sous forme très altérée et décomprimée. Ce niveau, d'épaisseur très variable, présente de nombreuses fractures et fissures qui peuvent être comblés par de l'argile.
- le calcaire franc peut être présent à partir de 0,5 m de profondeur. Il peut présenter, en profondeur, des zones fracturées plus ou moins karstifiées, avec la formation de petites cavités, et parfois comblées par des argiles.

Suite à la formation d'une zone de fontis après de fortes pluies, au nord du site, une campagne de reconnaissance géophysique au droit des futurs bâtiments, a été réalisée en 2017 par INNOGEO. L'objectif de la méthode utilisée, qui est la microgravimétrie, était de détecter les zones d'anomalies de densité du sous-sol pouvant correspondre à des vides.

La prospection a mis en évidence trois zones d'anomalies microgravimétriques qui correspondent à des zones présentant un déficit de densité. Elles sont localisées au nord, au centre et à l'extrémité sud-est du site (cf. annexe 2). L'anomalie située à proximité immédiate de la zone de fontis présente l'amplitude la plus élevée.

Une des hypothèses avancées sur l'origine des anomalies de densité, d'après les modélisations effectuées et les coupes de sondages, serait la variabilité d'épaisseur de matériaux de plus faible densité (estimée à 1,3 g/cm³) surmontant le calcaire. Toutefois la présence de vides de petites à très petites dimensions, favorisant l'écoulement d'eau, n'est pas à exclure.

Les sondages complémentaires réalisés en 2018 par GEOTECHNIQUE ont permis de confirmer la présence de calcaire très fracturé avec des zones de vides, au centre et au nord, pouvant être importante localement (jusqu'à 2 m sur le sondage ED13, proche du fontis).

3.3. Contexte hydrogéologique général

Les différentes formations calcaires qui composent le causse du Larzac, correspondent à un aquifère unique qui est limité au plancher par les marnes imperméables du Lias et qui est alimenté par les infiltrations des eaux météoriques sur la surface du causse.

Cet aquifère est organisé en plusieurs systèmes karstiques qui alimentent plusieurs sources importantes dans les fonds de vallées, dont certaines sont captées pour l'alimentation en eau potable.

La structure monoclinale avec un léger pendage vers le nord du causse de la Cavalerie et la présence de nombreuses fractures orientées Nord-Sud, vont induire une circulation préférentielle des eaux souterraines vers le nord, c'est-à-dire vers la vallée de la Dourbie.

Plusieurs études hydrogéologiques ont été réalisées par le BRGM en 1999. L'objectif était notamment de définir la superficie et l'extension des bassins drainés par chaque source (ou bassin d'alimentation). Cette délimitation se base notamment sur les expériences de colorations des eaux ou de traçages, complétées par un suivi des débits de chaque source.

La carte suivante présente les bassins d'alimentations supposés des sources, délimités à partir des résultats des traçages. Certaines de ces limites restent encore incertaines et évoluent en fonction notamment de la connaissance scientifique apportée sur ce secteur au fil des années.



3.4. Contexte hydrogéologique local

3.4.1. Contexte hydrogéologique du causse de La Cavalerie

La figure 13 présente les délimitations les plus récentes des bassins d'alimentation supposés des sources existantes dans la vallée de la Dourbie et les résultats des différents traçages réalisés dans le secteur.

Cette carte permet de constater que le territoire de La Cavalerie se trouve sur plusieurs systèmes karstiques drainés par des sources plus ou moins importantes :

- la source de l'Esperelle qui est captée pour alimenter en eau potable la ville de Millau,
- la source du moulin de Laumet, captée pour un usage privé, pourrait correspondre à un trop-plein du système karstique de l'Esperelle,
- les sources de Riou Ferrand,
- la source de l'Homède, qui est captée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Creissels.

D'après la figure 13, le projet du village de marques se trouverait sur le bassin d'alimentation de la source de l'Esperelle.

D'après le BRGM, cette source draine un aquifère dont le fonctionnement est peu karstique et qui possède des réserves en eau très importantes. Le système est donc peu transmissif (vitesse apparente < 100 m/h) et possède une capacité de dilution assez importante ce qui le rend moins vulnérable que les autres systèmes karstiques.

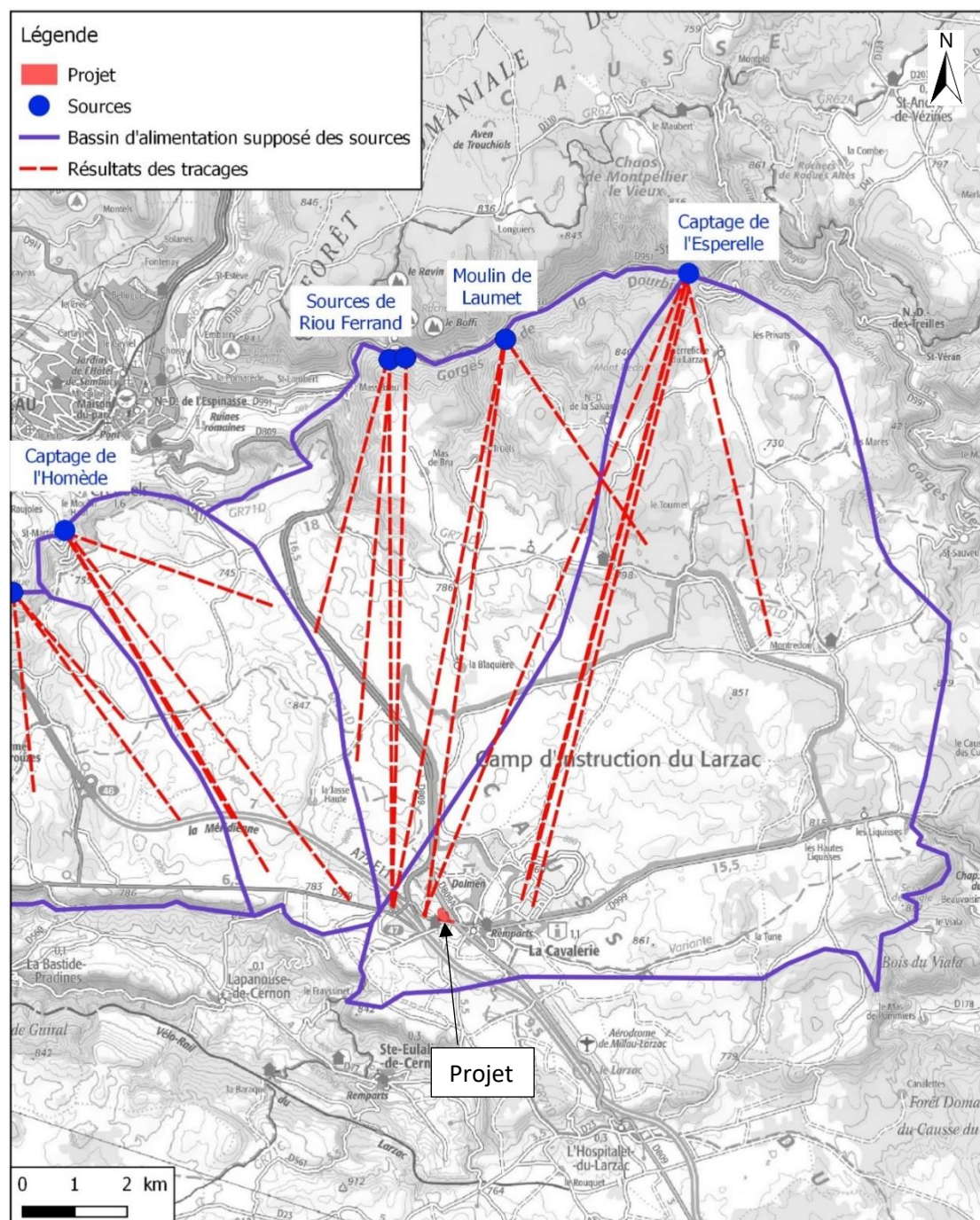


Figure 13 : Délimitation des bassins d'alimentation supposée des sources (source : PNRGC)

3.4.2. Éléments apportés par les traçages

Des expériences de traçage ont été réalisées dans le secteur de La Cavalerie, notamment sur le camp militaire. Elles sont présentées ci-dessous. Les objectifs de ces opérations étaient d'identifier les impacts des rejets d'eaux pluviales sur la ressource en eau et de positionner les points de rejets sur les bassins d'alimentations d'une ou plusieurs sources.

Traçage sur la ZAC de la Cavalerie (réalisé par CALLIGEE pour le compte de la CCI de Millau)

Les injections de traceurs ont été effectuées dans une doline, située près du bassin de décantation de l'A75. Le colorant a été détecté à la source de Laumet et aux sources Riou Ferrand. L'opération s'est déroulée en mai 2006, en condition de basses eaux et en période pluviométrique très faible.

Les résultats du traçage obtenus (Tableau 3) sont en partie des estimations car le suivi des sources a été arrêté avant la restitution complète du traceur.

Ce traçage indique que même en basses eaux, les vitesses de circulation des eaux souterraines peuvent être élevées (74 m/h) et le temps de transit court (6 jours pour atteindre la source principale).

Le taux de restitution en traceur est faible, autour de 6% (ce qui signifie que seulement 6% de la quantité injectée de traceur ont été retrouvés aux deux sources). Il indique que le traceur a été probablement fortement ralenti et absorbé dans la zone d'infiltration des calcaires. Les conditions de basses eaux et probablement l'existence de réserves très importantes en eau souterraine expliqueraient également les restitutions très étalées dans le temps.

Traçage sur la ZAC de la Cavalerie		
Lieu d'injection	Doline	
Traceur	Fluorescéine – 7 kg	
Date d'injection	30/05/2006 8:45	
Point de restitution	Source de Laumet	Source de Riou Ferrand aval
Distance entre l'injection et la restitution (m)	10 750	10 250
Masse restituée (g)	100	341
Restitution %	1	5
Temps		
Apparition du traceur (j)	13	5,8
Temps modal (j)	24	16
Vitesses		
Vitesse d'apparition (m/h)	34	74
Vitesse modale (m/h)	19	27
Concentration et dilutions		
Concentration initiale (g/l)	100	100
Concentration max (g/l)	0,4E-6	3,7E-6
Dilution unitaire (l ⁻¹)	5,7E-11	5,4E-10
Dilution minimale	4,0E-9	3,8E-8

Tableau 3 : Résultats du traçage réalisés sur la ZAC de la Cavalerie en mai 2006

Traçages sur le camp militaire (réalisés par ANTEA GROUP pour l'ESID)

Les injections de traceurs ont été effectuées dans 2 avens à l'intérieur du camp militaire. Les traceurs ont été restitués à la source de l'Esperelle uniquement.

Les résultats des traçages réalisés en période de hautes eaux, dans les conditions les plus défavorables, sont présentés dans le tableau suivant :

Traçage sur le camp militaire		
Lieu d'injection	Aven A1	Aven A6
Restitution	Source de l'Esperelle	Source de l'Esperelle
Date d'injection	05/04/2018 11:47	05/04/2018 13:53
Traceur	Sulforhodamine B	Fluorescéine
Distance entre l'injection et la restitution (m)	12 458	12 388
Masse injectée (g)	11 000	9 000
Masse restituée (g)	16 400	1 270
Restitution %	149	14
Temps		
Apparition du traceur (j)	6,2	7,3
Temps modal (j)	6,5	7,8
Vitesses		
Vitesse d'apparition (m/j)	2 007 (ou 84 m/h)	1 700 (ou 71 m/h)
Vitesse modale (m/j)	1 904 (ou 79 m/h)	1 591 (ou 66 m/h)
Vitesse moyenne (m/j)	1 705 (ou 71 m/h)	1 380 (ou 57 m/h)
Vitesse apparente (m/j)	1 609 (ou 67 m/h)	1 246 (ou 52 m/h)
Concentration et dilutions		
Concentration initiale (g/l)	200	300
Concentration max (g/l)	2,36E-5	7,9E-7
Dilution unitaire (l ⁻¹)	2,15E-9	8,8E-11

Tableau 4 : Résultats du traçage réalisés sur le camp militaire en avril 2018

Le bilan massique des deux traçages est délicat (résultat aberrant de la masse restituée en sulfo) du fait de l'incertitude des valeurs de débits de la source en crue qui induit une marge d'erreur importante sur le calcul de la masse restituée et des paramètres associés (temps moyen de séjour, vitesse moyenne, vitesse apparente).

La restitution de la fluorescéine a été moins marquée au niveau de la source de l'Esperelle du fait, notamment, de la présence d'argile au fond de l'aven et probablement dans les fissures qui a alors ralenti l'infiltration du colorant jusqu'à la zone noyée du système.

Néanmoins, ces traçages permettent de faire les constats suivants :

- les avens testés sur le camp militaire présentent une relation hydraulique unique avec le système karstique de la source de l'Esperelle, captée pour l'alimentation en eau potable ;
- tout liquide infiltré dans ces points, arrive à la source d'Esperelle en 6 jours environ, dans les conditions hydrologiques du traçage ;
- la vitesse de circulation maximale de l'eau dans le système de la source de l'Esperelle est de l'ordre de 80 m/h.

3.4.3. Qualité de l'eau souterraine

A partir des analyses d'eau règlementaires réalisées aux captages d'eau potable de l'Esperelle et de l'Homède, étudiées dans les avis sanitaires des hydrogéologues agréés, la ressource en eau de ces deux systèmes karstiques présente une qualité similaire :

- une conductivité moyenne autour de 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, caractéristique d'un aquifère carbonaté ;
- un pH neutre ;
- des pics de turbidité fréquents et importants suite à des épisodes pluvieux.
- des contaminations bactériologiques régulières, souvent concomitantes avec les pics de turbidité ;
- la présence de nitrates mais à des concentrations inférieures à la limite règlementaire imposée ;
- l'absence de produits phytosanitaires.

La qualité des eaux brutes des deux sources respecte les limites et référence de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine, sauf en cas de pics de turbidité, la référence de qualité étant fixé à 2 NFU.

3.5. Conditions d'infiltration au droit du projet

En 2008, dans le cadre de l'expertise hydrogéologique, trois sondages de reconnaissance à la pelle mécanique ont été réalisés au droit de l'emplacement projeté de l'ouvrage d'infiltration des eaux pluviales et deux tests d'infiltration ont été réalisés au fond des fosses S2 et S3 (sur Figure 14). Sur ces deux points, le calcaire altéré a été atteint à environ 2 m de profondeur.

Les valeurs de perméabilité obtenues sont 0,3 l/s/m² sur S2 et 0,16 l/s/m² sur S3.

Le potentiel d'infiltration des eaux relevé sur ces sondages paraît relativement bon. Il est cependant important de noter que l'hétérogénéité des calcaires dans le secteur est très importante. On peut passer rapidement de calcaires très argileux en surface et peu perméables à des calcaires karstifiés très perméables (présence de vides).

Sur la base de ces résultats, une infiltration moyenne de 15 m³/jour/m² a été retenue pour dimensionner l'ouvrage d'infiltration des eaux pluviales.

En l'état naturel, les terrains du projet ne présentaient pas de formes karstiques (doline, aven) qui pouvaient être des points d'infiltration préférentielle des eaux météoriques.

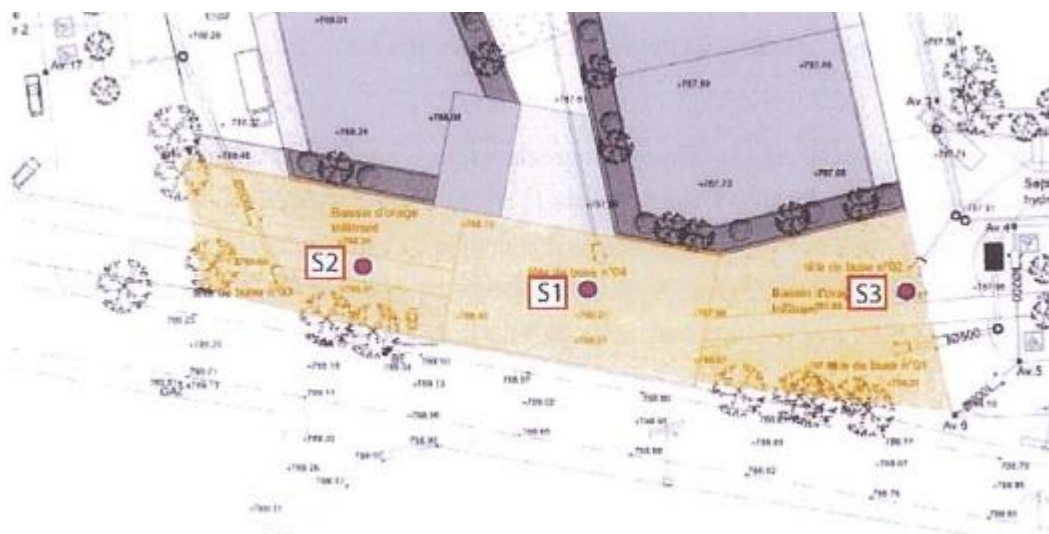


Figure 14 : Localisation des sondages à pelle mécanique et des tests d'infiltration réalisés en 2008

En 2017, suite à des travaux de décapage de la couverture argileuse et d'un épisode de forte pluie, un fontis est apparu au nord du projet, ainsi qu'une zone de dépression à environ 15 m, vers la limite de parcelle (cf. annexe 3). Ces formes d'effondrements localisées peuvent être provoquées :

- par la rupture du toit d'une cavité formée dans les calcaires. La coupe géologique d'un sondage (DE13) réalisé entre le fontis et la zone de dépression indique la présence d'une cavité entre 3,8 et 6 m.
- par le débouillage de matériaux de comblement d'une cavité suite à une circulation d'eau massive. Sur les sondages SP1 et DE9, à proximité du fontis, une poche d'argile peu compacte est identifiée.

Cette zone de fontis a été simplement remblayée avant d'être recouverte par la couche de remblais de la plateforme.



Figure 15 : Photographie du fontis apparu au nord du projet (source : SEQUABAT)

3.6. Conclusion sur les contextes géologique et hydrogéologique

Pour conclure, les éléments à retenir sur le contexte (hydro)géologique au droit du projet sont les suivants :

- le projet se situe sur un substratum calcaire recouvert par des placages argileux dont l'épaisseur et la nature peuvent varier sensiblement d'un endroit à un autre.
- Les deux tests d'infiltration réalisés au droit de la future tranchée d'infiltration indiquent une infiltration moyenne autour 15 m³/jour/m².
- Les observations de terrain indiquent que le sous-sol est fortement hétérogène, avec la présence de calcaires très fracturés en profondeur et localement karstifiés (c'est-à-dire avec la présence de vides ouverts reconnus par sondages). Cette hétérogénéité est responsable de phénomènes de soutirages au nord du projet, apparus après de fortes précipitations. Ces phénomènes sont liés à une infiltration ponctuelle et préférentielle des eaux de ruissellement dans des vides karstiques présents en profondeur.
- D'après les expériences de coloration, le projet serait situé sur le bassin d'alimentation de la source captée de l'Esperelle. D'après le BRGM, cette source possède d'importantes réserves en eau. Depuis la surface, les vitesses de transfert d'une éventuelle pollution peuvent être très importantes (jusqu'à 100 m/h) mais l'impact qualitatif d'une pollution accidentelle serait minimisé par la forte capacité de dilution des réserves en eau, qui confère à la source de l'Esperelle une faible vulnérabilité.
- La qualité de l'eau de la source de L'Esperelle est bonne malgré quelques paramètres déclassants comme la turbidité.

Afin de compléter ces informations, un traçage hydrogéologique a été proposé en mai-juin 2020 dans l'objectif de :

- vérifier l'appartenance du projet aux bassins d'alimentation d'une ou plusieurs sources karstiques, captées ou non ;
- obtenir des informations sur la vulnérabilité de l'aquifère au droit du projet ;
- évaluer les risques de dégradation de la qualité des eaux éventuellement captées.

Les résultats de ce traçage sont présentés dans le paragraphe 5.

4. Enjeux vis-à-vis de la ressource en eau potable

Les captages pour l'alimentation en eau destinée à la consommation humaine sont protégés contre les risques de pollution ponctuelle par des périmètres de protection, prévus par le décret n°2007-49 du 11 janvier 2007.

4.1. Captage de la source de l'Esperelle

La source de l'Esperelle se situe dans la vallée de la Dourbie, sur la commune de Roque-Sainte-Marguerite. Elle est captée pour alimenter en eau potable les habitants de Millau.

Le projet du village de marques se trouve à l'intérieur du périmètre de protection rapprochée du captage d'eau potable de l'Esperelle (Figure 16), défini par l'hydrogéologue agréé M. Rey, dans son avis du 27/03/2000, et repris dans l'arrêté préfectoral n°2001-1954 du 25/09/2001.

Cet arrêté, qui autorise l'exploitation de la source de l'Esperelle pour l'alimentation en eau potable de la commune de Millau, impose diverses préconisations dans les périmètres de protection, visant à protéger les ouvrages de captage et la ressource en eau souterraine captée.

Dans le périmètre de protection rapprochée, tous les aménagements ou activités nouvelles doivent faire l'objet d'une étude hydrogéologique approfondie permettant d'évaluer et de quantifier l'impact de cette activité sur le débit et la qualité des eaux de l'Esperelle.

Dans le cadre du projet initial qui a fait l'objet d'un premier permis de construire, une expertise hydrogéologique a été réalisée en novembre 2008, par M. Rey, hydrogéologue agréé. Le rapport est annexé au dossier Loi sur l'Eau de février 2009.

4.2. Captage de la source de l'Homède

La source de l'Homède, située sur la commune de Creissels, est captée pour alimenter en eau potable les habitants de Creissels.

Le projet du village de marques se trouve à l'extérieur mais proche du périmètre de protection éloignée (Figure 16) défini dans l'arrêté d'autorisation d'exploiter cette ressource de juillet 1993.

Pour information, les mesures à respecter à l'intérieur de ce périmètre est le respect rigoureux de la réglementation générale en vigueur.

En 2019, l'hydrogéologue agréé, M. Dadoun, a été missionné par l'ARS pour réaliser un avis sanitaire pour améliorer la protection de la ressource en eau captée. En se basant sur les dernières données acquises, notamment les résultats des traçages, de nouveaux périmètres de protection ont été définis.

Le projet est toujours à l'extérieur de ces périmètres (Figure 16).

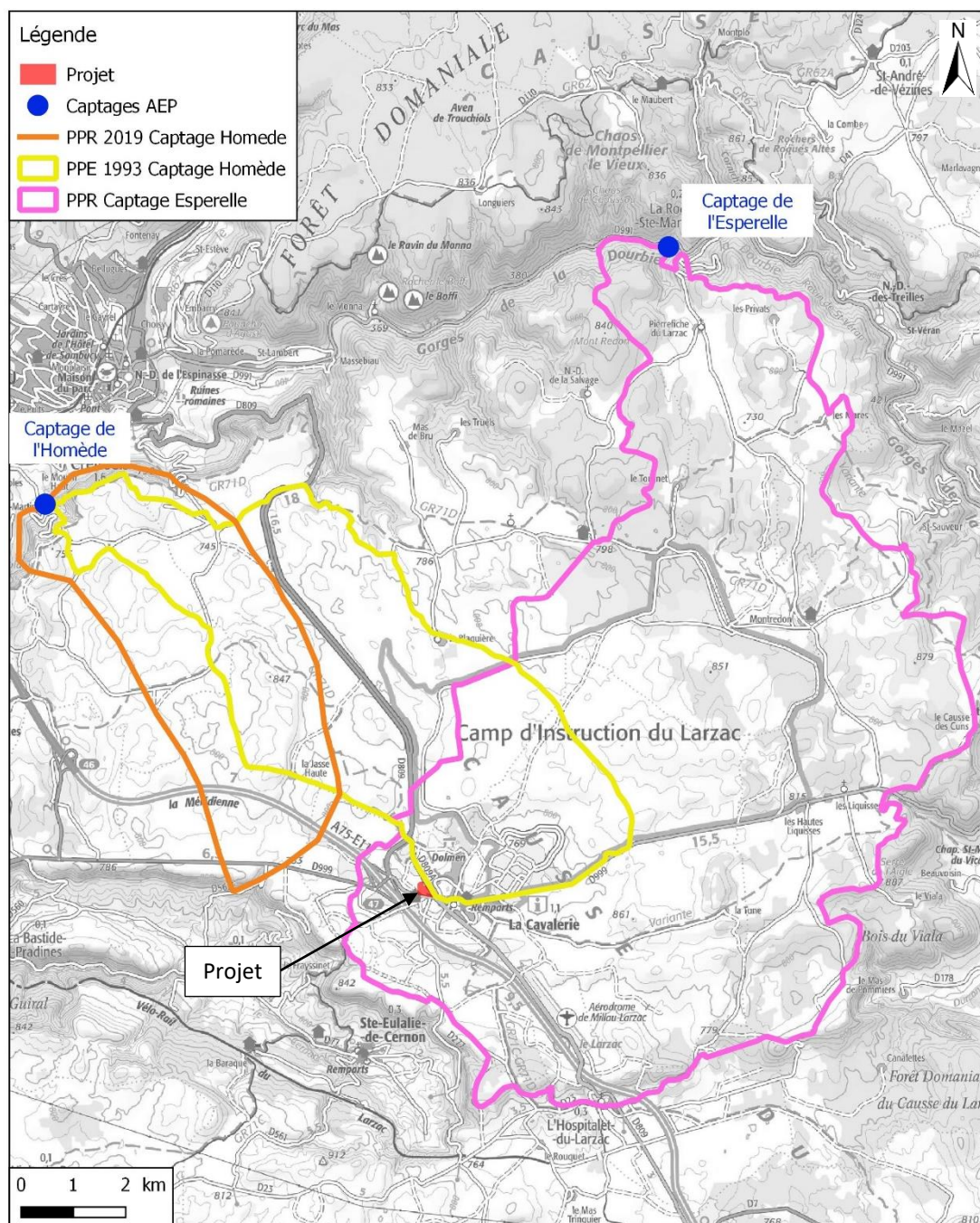


Figure 16 : Position du projet par rapport aux périmètres de protection des sources captées pour l'AEP

4.3. Captage de la source du Moulin de Laumet

La source de Laumet est située sur la commune de Millau. Elle est positionnée en rive gauche de la Dourbie, au pied d'un versant abrupt et n'est accessible que par une passerelle métallique privée qui permet de traverser la rivière (Figure 17).

Cette source alimentait un moulin qui a été réhabilité et transformé en habitation. Actuellement, elle est habitée par une famille qui utilise l'eau de la source pour leur consommation domestique et également alimentaire.

Il s'agit d'un captage privé. Il n'existe pas de périmètres de protection.

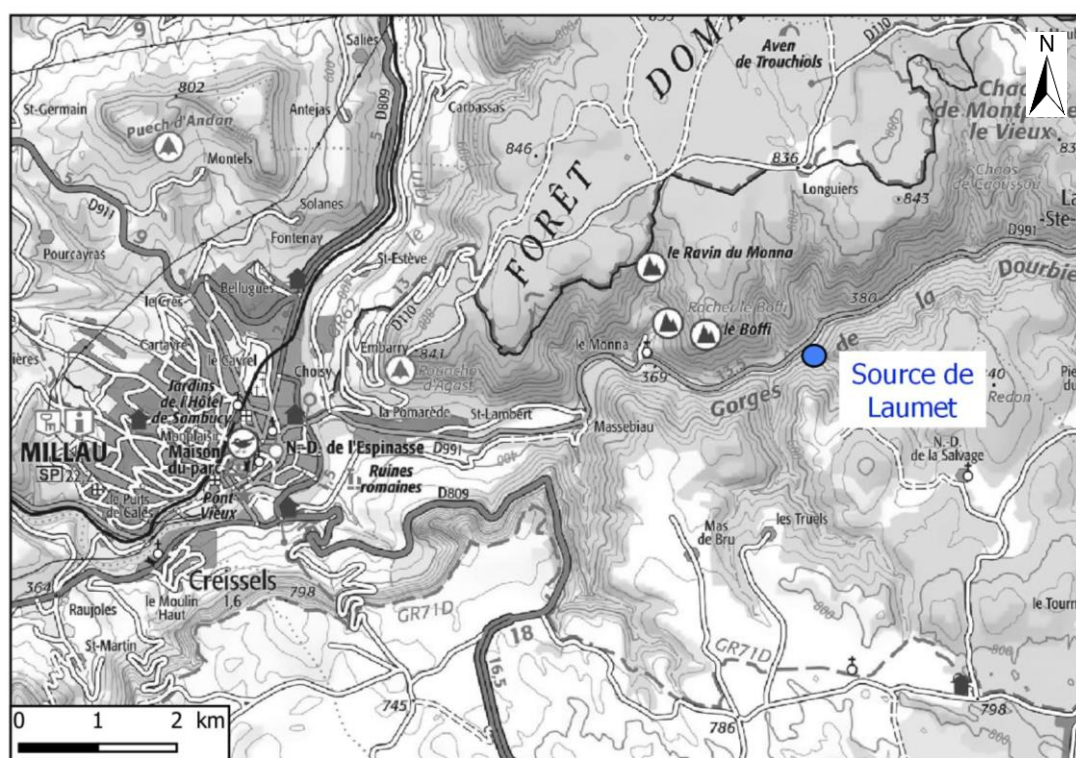


Figure 17 : Localisation de la source du Moulin de Laumet

5. Opération de traçage

5.1. Protocole de traçage mis en œuvre

5.1.1. Généralités

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 impulsifonnelle 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 18). 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.

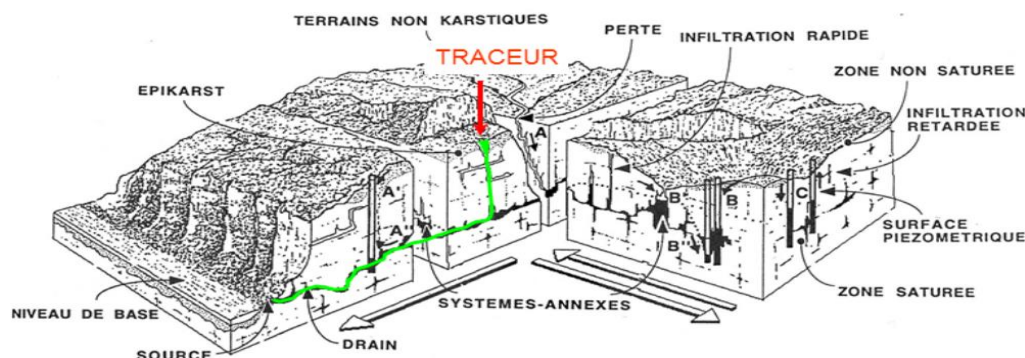


Figure 18 : Schéma de principe d'un aquifère karstique (MANGIN, 1975) et trajet potentiel d'un traceur

Le trajet du traceur et donc de la molécule polluante dépend de la structure verticale du système karstique qui peut se schématiser ainsi (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) :

- 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.

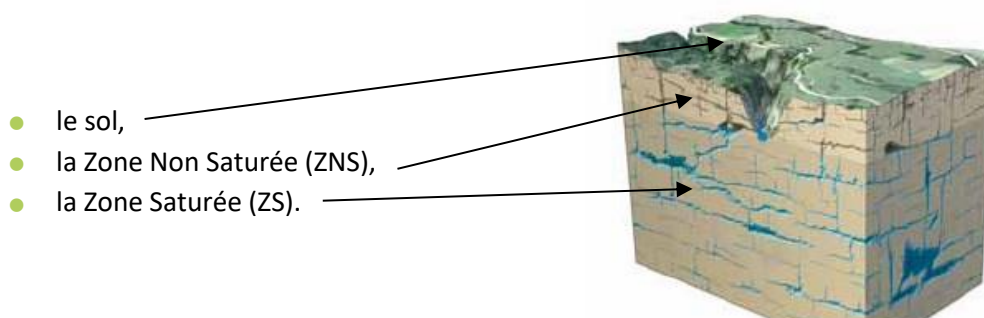


Figure 19 : Schéma d'un aquifère karstique (BRULHAM et al., 2004)

5.1.2. 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, totalement 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 LA CAVALERIE, MILLAU, CREISSELS et LA ROQUE-SAINT-MARGUERITE, la gendarmerie nationale, le SDIS, la fédération de pêche ont été prévenus par e-mails deux semaines avant l'injection des traceurs.

De plus, l'une des sources suivies se situant sur une propriété privée, le propriétaire a été préalablement contacté. Sa présence est nécessaire pour toute intervention à la source.

5.1.3. Choix du point d'injection

La visite de terrain réalisée préalablement à l'opération de traçage a permis de constater les travaux déjà réalisés sur le site et notamment les aménagements hydrauliques en place (cf. paragraphe 2.3.2.). Par ailleurs, aucun point d'infiltration préférentielle naturel n'a été repéré sur l'ensemble du site. Le fontis apparu pendant les travaux a été remblayé et n'est plus visible en surface.

Ainsi, avec l'approbation du PRNGC et du maître d'œuvre, il a été décidé d'injecter le colorant dans un des regards (R20, Figure 7) qui sont implantés en surface des matériaux drainants du bassin d'infiltration. Le choix de ce point d'injection permet de simuler l'infiltration des eaux pluviales dans l'ouvrage dédié, en phase d'exploitation.

5.1.4. Choix des points de suivi

Avec l'aval du PRNGC, les points de suivi, choisis au regard des traçages réalisés précédemment sur le secteur et de l'importance des sources AEP présentes également, sont présentés dans le tableau 5 et sur la figure 19.

Au total, 5 sources ont été suivies et deux d'entre elles sont exploitées pour l'alimentation en eau potable collective et une pour l'alimentation en eau potable d'un particulier.

Points de suivi	X (m, Lambert 93)	Y (m, Lambert 93)	Z (m NGF)	Observations
Source de l'Espérelle	716 771	6 335 785	397	Source captée pour l'alimentation en eau potable de MILLAU
Source de Riou Ferrand amont	711 510	6 334 105	411	Source non captée située dans les coteaux du causse face au lieu-dit Le Monna
Source de Riou Ferrand aval	711 126	6 334 220	379	Source non captée située dans les coteaux du causse face au lieu-dit Le Monna
Source du Moulin de Laumet	713 293	6 334 510	391	Source captée pour l'alimentation en eau potable de l'habitation au moulin de Laumet
Source de l'Homède	704 838	6 330 884	500	Source captée pour l'alimentation en eau potable de CREISSELS

Tableau 5 : Présentation des sources suivies pour l'opération de traçage

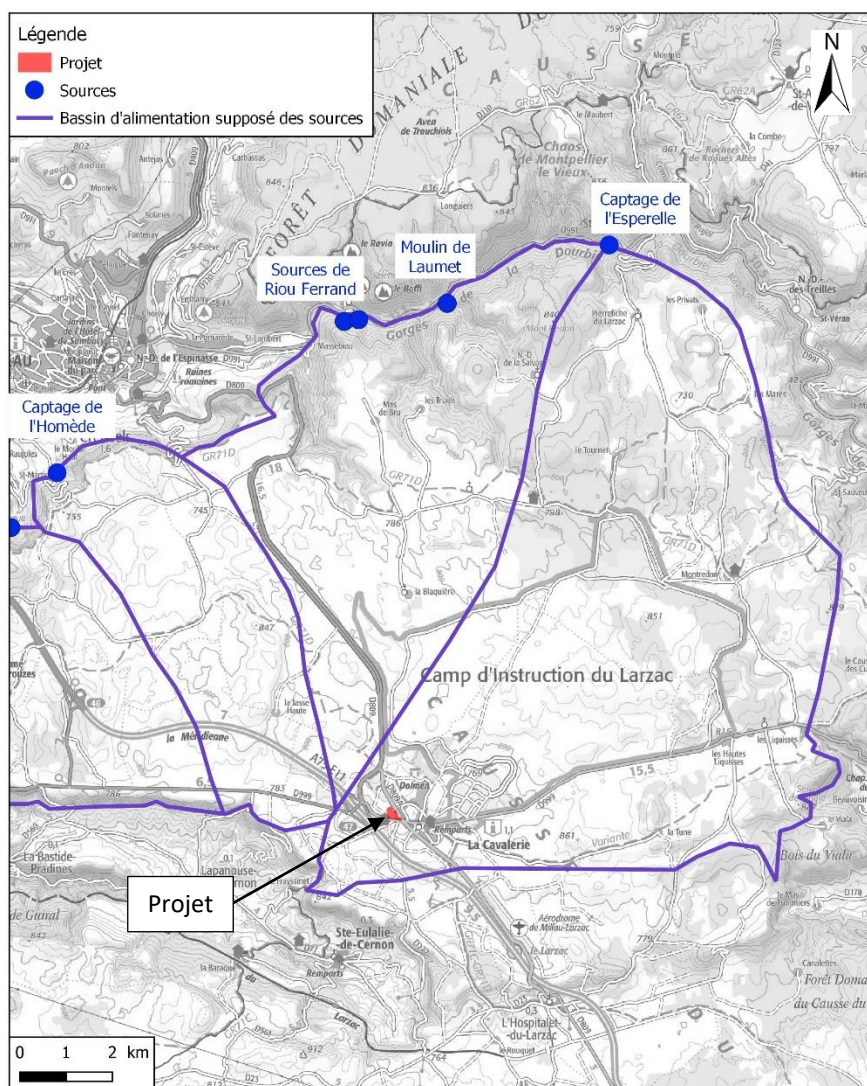


Figure 20 : Localisation des sources suivies pour l'opération de traçage

5.1.5. Choix et justification du traceur utilisé

Le traceur utilisé est la fluorescéine (coloration verte). Il s'agit d'un traceur fluorescent facile à mettre en œuvre et à analyser par les laboratoires spécialisés.

Totalement inoffensif et couramment utilisé en hydrogéologie, ce colorant est 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.

Afin d'assurer des restitutions de bonnes qualités, la quantité de traceur injectée doit être adaptée. Dans le cas de cette opération, elle a été déterminée à partir des informations suivantes :

- la distance entre le point d'injection et les sources suivies est comprise entre 10 et 13 km ;
- l'injection est réalisée dans des matériaux drainants (granulométrie 20/100), de 1,5 m d'épaisseur, posés sur un substratum calcaire fracturé ;
- les conditions hydrologiques au cours du traçage correspondent à des moyennes eaux (cf. paragraphe 5.2.1) ;
- les quantités de traceurs injectés pour les traçages voisins sont comprises entre 7 et 11 kg (cf. Tableau 3 et Tableau 4).

Ainsi, il a été décidé d'injecter une quantité de 15 kg de fluorescéine. Elle est un peu plus importante que celle des traçages voisins en raison de l'absence d'information sur la capacité d'infiltration réelle de la couche des matériaux et du calcaire au droit du point d'injection.

5.1.6. Méthodologie de l'injection du traceur

L'opération d'injection a eu lieu le 20 mai 2020.

Avant l'injection de colorant, une quantité de 3 m³ d'eau claire, depuis un camion-citerne préalablement rempli à partir d'une borne à incendie, a été déversée dans le regard à un débit de l'ordre de 1,5 m³/min. L'eau s'est immédiatement infiltrée dans le matériau drainant.

Puis le colorant a été injectée à 9h35. Afin de « pousser » le traceur à travers les matériaux drainants puis la zone non saturée du système karstique, un important volume d'eau claire (27 m³) a été déversé dans le bassin.



Injection d'eau claire à partir d'un camion-citerne



Injection du colorant



Intérieur du regard de diffusion testé

Figure 21 : Illustrations de l'opération d'injection du traceur dans le bassin d'infiltration

5.1.7. Méthodologie du suivi de la restitution

Le matériel de suivi de la restitution du traceur a été mis en place sur les 5 sources sélectionnées, la veille de l'injection du traceur, soit le 19 mai 2020 (Figure 22).

Le suivi de la restitution a été réalisé sur toutes les sources, à partir de fluorimètres de terrain de type SHNEGG (pas de temps de mesure de 15 minutes).

Sur les sources de l'Esperelle, de l'Homède et du moulin de Laumet, des préleveurs autonomes d'une capacité de 24 flacons de 0,5 à 1,0 l ont également été installés (pas de temps de prélèvements variables en fonction des dates de tournées de prélèvements).

Au niveau des sources de Riou Ferrand, dont l'accès est plus difficile, des échantillons ont été prélevés manuellement à chaque tournée de maintenance du matériel de suivi.

La surveillance s'est déroulée du 19 mai au 17 juin 2020, soit une durée d'un mois, comprenant 5 tournées de maintenance.

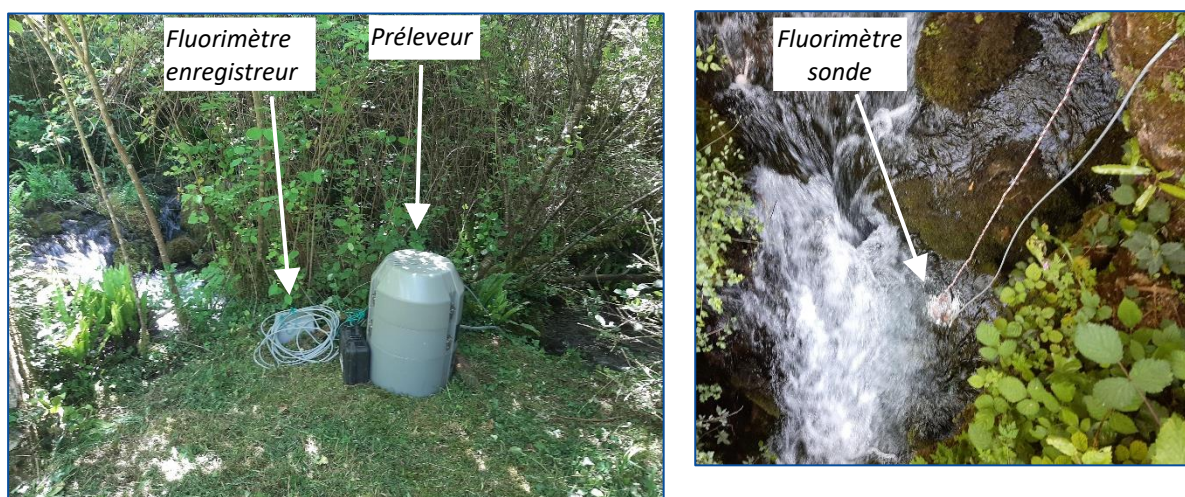


Figure 22 : Illustrations du matériel de suivi installé à la source du moulin de Laumet

5.1.8. 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 spectrofluorimétrie 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 interférent avec la mesure. Les résultats des analyses effectuées sont présentés en annexe 4.

Les seuils de détection de la fluorescéine 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

Tableau 6 : Seuils de détection du traceur

5.2. Résultats du traçage

5.2.1. Pluviométrie

Les données de pluie quotidienne sur le Larzac ont été récupérées auprès de Météo-France, à partir de la station météorologique nommée « Millau-Larzac-SAPC », n°12063003, qui se trouve à l'aérodrome de Millau, à quelques kilomètres au sud de la Cavalerie. Elles sont présentées sur la figure suivante.

Sur les 10 jours avant l'opération de traçage, un épisode pluvieux a permis un cumul d'eau précipitée de 65,6 mm.

Au cours de la période de suivi de restitution, quelques jours de pluie ont eu lieu sur la dernière moitié, avec notamment 2 jours très pluvieux (61,2 mm le 11/06, 35 mm le 12/06).

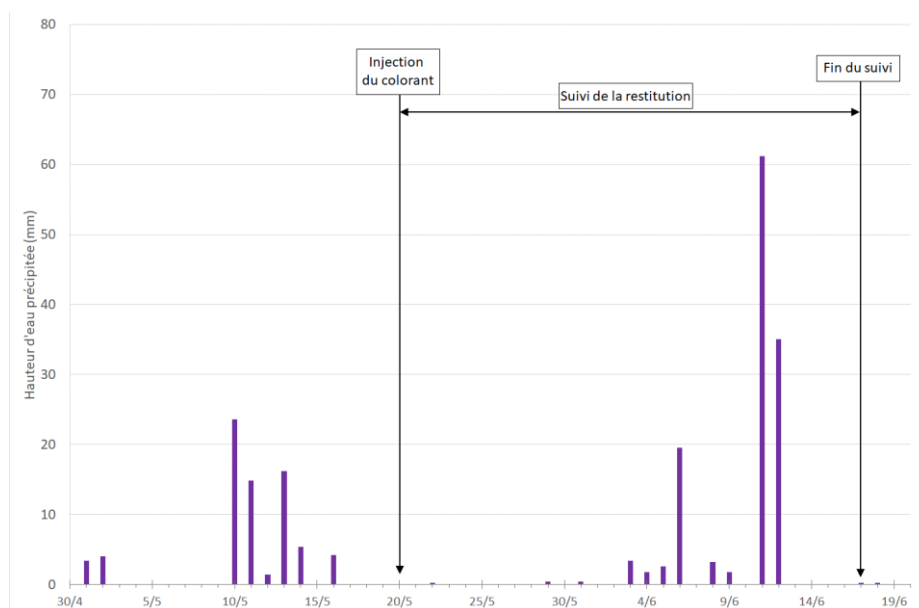


Figure 23 : Précipitations journalières à La Cavalerie au mois de mai et juin 2020

5.2.2. Conditions hydrologiques

Les débits de la Dourbie ont été récupérés sur la banque de données « Banque Hydro », à la station située à Massebiau (code : 03394030), à environ 4 km en amont de Millau.

D'après les débits mensuels moyens de la Dourbie du début d'année 2020 (Figure 25), comparées aux débits mensuels moyennés sur 103 ans (Figure 24), les conditions hydrologiques au cours desquelles a été réalisé le traçage, correspondent à des moyennes eaux.

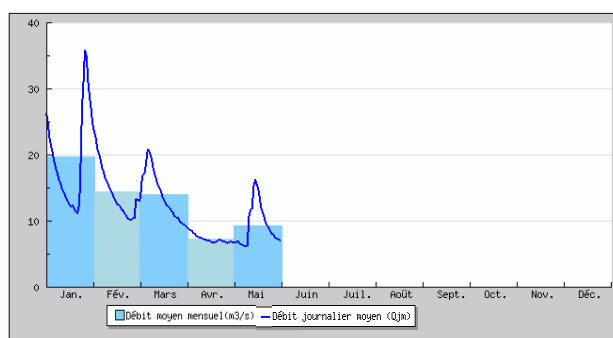


Figure 25 : Débit mensuel moyen de la Dourbie en 2020

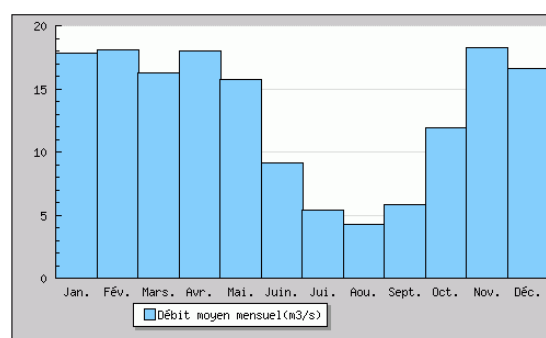


Figure 24 : Débit mensuel moyen de la Dourbie moyenné sur 103 ans

5.2.3. Débits des sources

Les données de débits des sources permettent d'effectuer un bilan massique du traçage. Elles ont pu être obtenues pour les sources de l'Esperelle, la source de Laumet et les sources de Riou Ferrand. Pour la source de l'Homède qui est suivie à partir d'une station de mesures du Parc naturel régional des Grands Causses, les mesures ne sont pas encore disponibles.

Source de l'Esperelle

La source de l'Esperelle est équipée d'une station de mesures de débit appartenant au Parc naturel régional des Grands Causses.

Les débits de cette source ont été récupérés depuis le 1^{er} mai jusqu'au 17 juin 2020 (Figure 26). Le débit de base est autour de 0,5 m³/s. Après des épisodes pluvieux, il augmente rapidement. Au cours de la période observée, une petite crue (débit max : 1,7 m³/s) est identifiée juste avant l'injection du colorant. Puis, en fin de phase de suivi, une crue plus importante survient après les fortes pluies du 11 et 12 juin. Le débit maximum mesuré est de 5,9 m³/s.

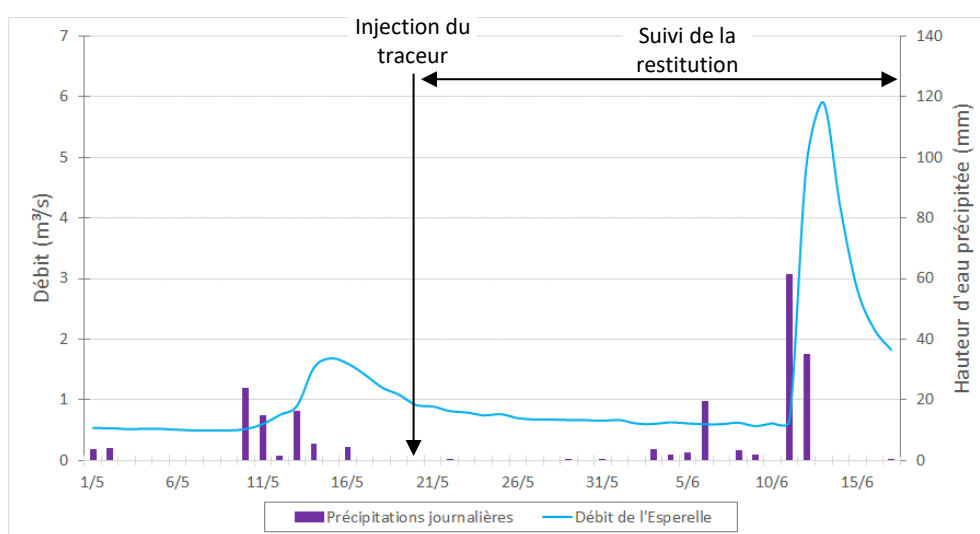


Figure 26 : Débit de la source de l'Esperelle associé aux précipitations à La Cavalerie

Source du moulin de Laumet

Des jaugeages au micromoulinet ont été réalisés en aval de la source de Laumet. Les débits mesurés sont présentés dans le tableau suivant.

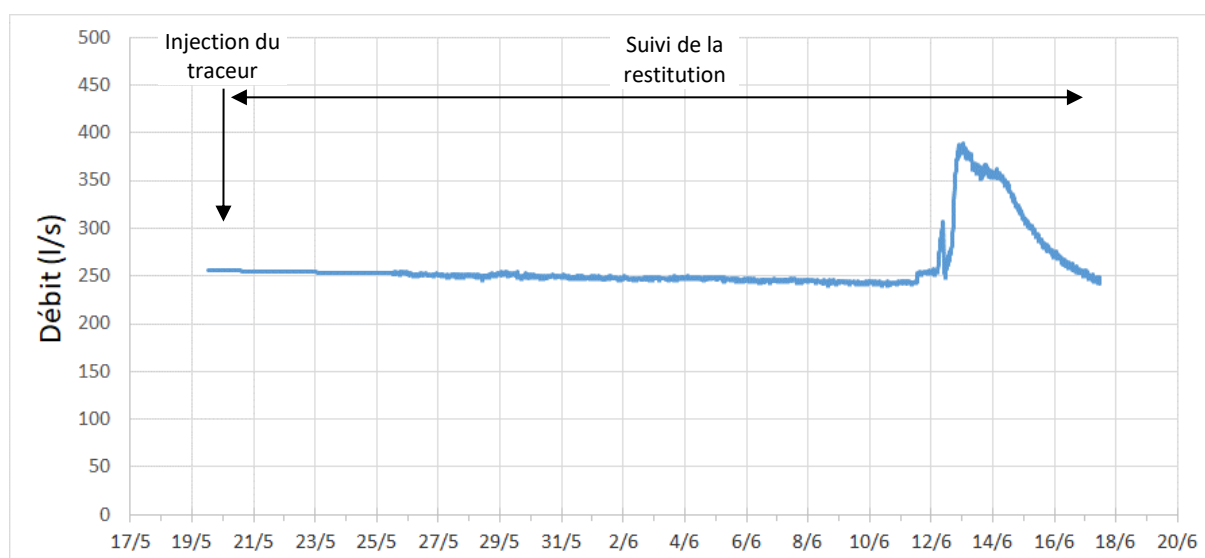
Ces mesures au micromoulinet présente une incertitude non négligeable liée principalement aux caractéristiques du site. En aval de la source, aucune section de mesures adéquate n'a été identifiée pour réaliser un jaugeage fiable (écoulement turbulent avec des rapides, présence de cailloux et blocs). Les mesures du jaugeage du tableau 7 doivent alors être considérés comme une approche du débit de la source de Laumet.

Date	Débit mesuré (m³/s)
29/05/2020	0,22
03/06/2020	0,25
11/06/2020	0,29

Tableau 7 : Mesures manuelles du débit de la source de Laumet

Afin d'avoir un suivi en continu du débit, une sonde mesurant les hauteurs d'eau a été placée au fond du cours d'eau, en aval de la source. Ces mesures sont rapportées en débit à partir des valeurs des jaugeages. Ainsi, on obtient la courbe de variation de débit présentée sur la figure suivante.

Le débit de base de la source est autour de 250 l/s. Comme pour la source de l'Esperelle, une crue est observée en fin de la période de suivi, avec un débit maximum évalué à 385 l/s.


Figure 27 : Débit de la source de Laumet au cours du traçage

Sources de Riou Ferrand

L'accès à ces sources étant plus difficile et le cours d'eau en aval ne présentant pas de section adaptée pour un jaugeage, une seule mesure au micromoulinet a été réalisée afin d'avoir un ordre de grandeur du débit de ces sources (Tableau 8). Comme pour les mesures de la source de Laumet, ces valeurs présentent une marge d'erreur importante.

Les sources de Riou Ferrand sont issues d'un même système karstique. La source aval en est le principal exutoire puisqu'elle présente un débit plus important.

Date	Débit mesuré (m³/s)	
	Riou Ferrand amont	Riou Ferrand aval
29/05/2020	0.024	0.125

Tableau 8 : Mesures manuelles du débit des sources de Riou Ferrand

Une sonde mesurant les hauteurs d'eau a été placée en aval des deux sources permettant d'obtenir les courbes de suivi de débit présentées sur la figure suivante.

Comme pour les autres sources, les fortes pluies de mi-juin ont provoqué une crue qui est moins marquée sur la source Riou Ferrand amont.

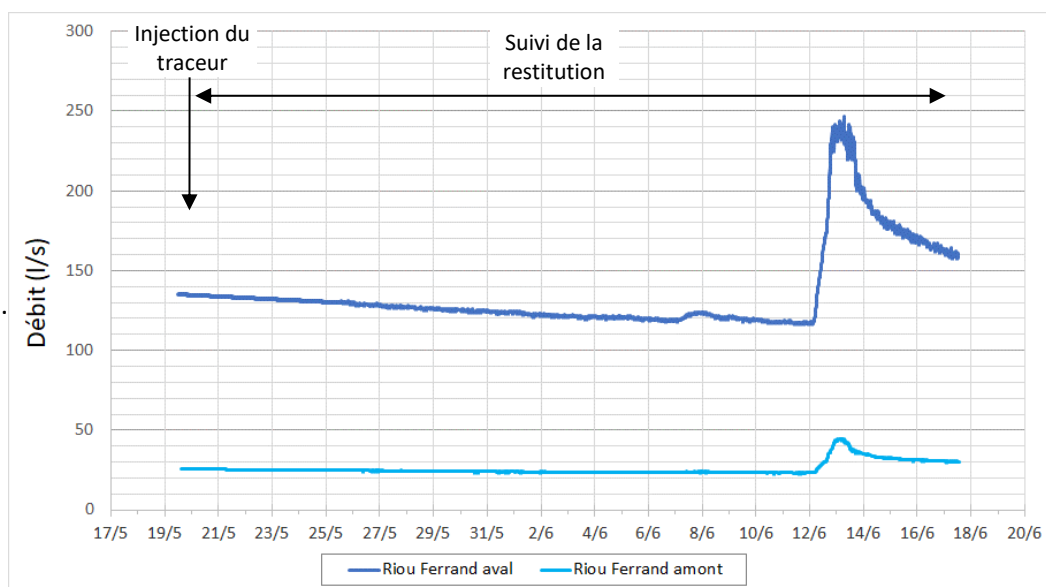


Figure 28 : Débits des sources de Riou Ferrand au cours du traçage

5.2.4. Résultats des restitutions en traceur

5.2.4.1. Restitution aux sources Riou Ferrand

Pour rappel, l'injection de fluorescéine s'est déroulée le 20 mai à 9h35.

Les suivis effectués avec les fluorimètres indiquent une restitution visuelle aux deux sources de Riou Ferrand, confirmée ensuite par les analyses des prélèvements en laboratoire (Figure 29 et Figure 30).

Les premières traces de fluorescéine sont détectées sur les deux sources, le 23/05 vers 15h30, soit 78h après l'injection. La distance entre le projet et les sources étant de 10,8 km, la vitesse maximale atteinte par le traceur est de 138,5 m/h.

Les deux courbes de restitution obtenues présentent un seul pic avec des concentrations maximales de 62,4 µg/l sur la source amont et de 63,3 µg/l sur la source aval, atteintes environ 99h après l'injection. La vitesse modale du traceur est alors d'environ 110 m/h.

Puis, la concentration en fluorescéine diminue très rapidement et passe en-dessous de 1 µg/l le 29/05 en début de soirée. La durée du pic de restitution est alors de 149h, soit un peu plus de 6 jours. L'analyse des derniers échantillons prélevés le 17/06 indiquent une teneur en fluorescéine de 0,045 µg/l pour la source aval et de 0,021 µg/l pour la source amont.

En fin de période de suivi, les données des fluorimètres indiquent de nouveau un pic qui est beaucoup moins important et plus étalé. Les analyses des échantillons ne montrent pas d'augmentation de la teneur en fluorescéine. Les sources sont en crue à ce moment du suivi et présentent une importante turbidité, également mesurée par les fluorimètres. La présence de matière organique dans l'eau interfère les mesures de fluorescéine de l'appareil. Ce pic ne correspond donc pas à une deuxième restitution du traceur injecté.

La période de surveillance a permis d'observer une restitution à Riou Ferrand aval, de l'ordre de 907 g soit 6% de la masse du traceur injectée. Sur Riou Ferrand amont, la masse restituée est de 168 g, soit un taux de restitution de 1,1%.

Ces bilans massiques, qui sont calculés à partir des mesures de débits peu fiables, donnent un ordre de grandeur du flux de sortie.

Le taux de dilution unitaire du traceur calculé (concentration maximale restituée sur la masse injectée) est de $4,2 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$ au niveau des deux sources. Ainsi pour un déversement de 50 kg d'une substance potentiellement polluante et miscible à l'eau, dans les mêmes conditions d'injection et de transfert que celles du traçage, la concentration maximale attendue aux sources de Riou Ferrand serait de 210 $\mu\text{g/l}$.

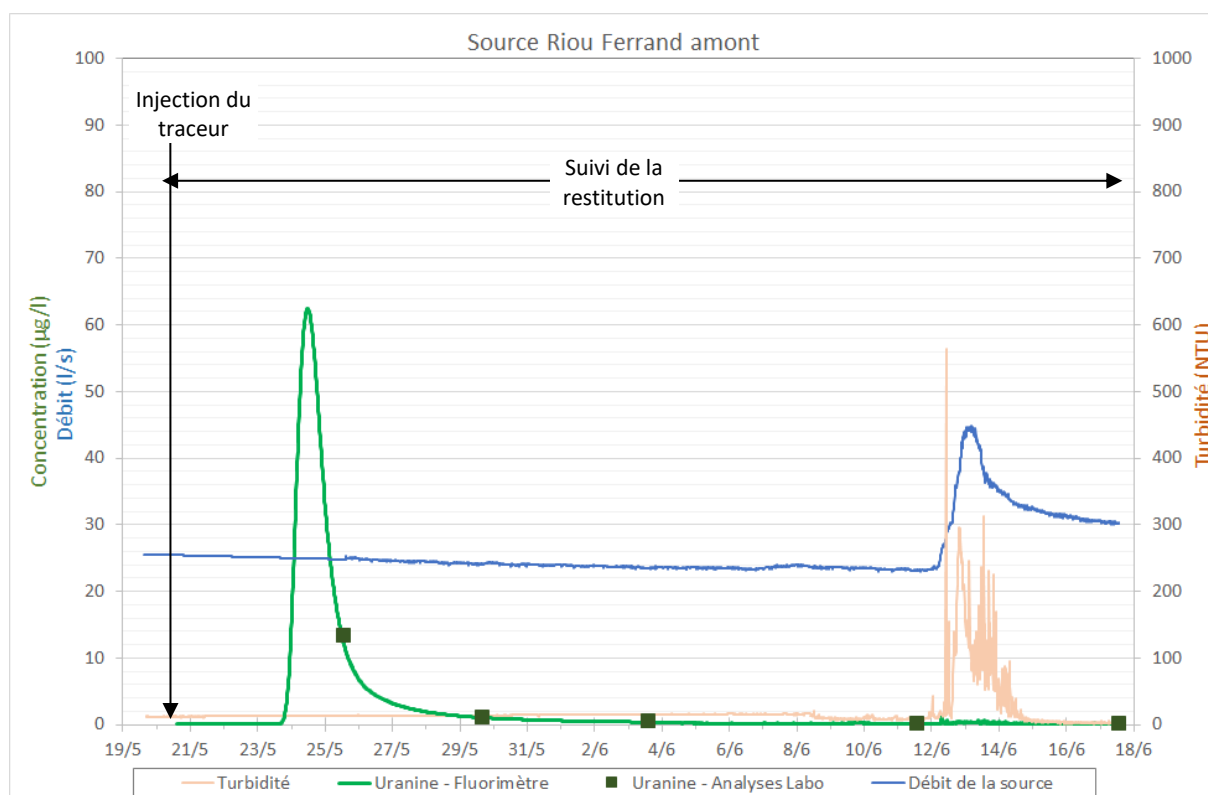


Figure 29 : Résultats du suivi à la source Riou Ferrand amont

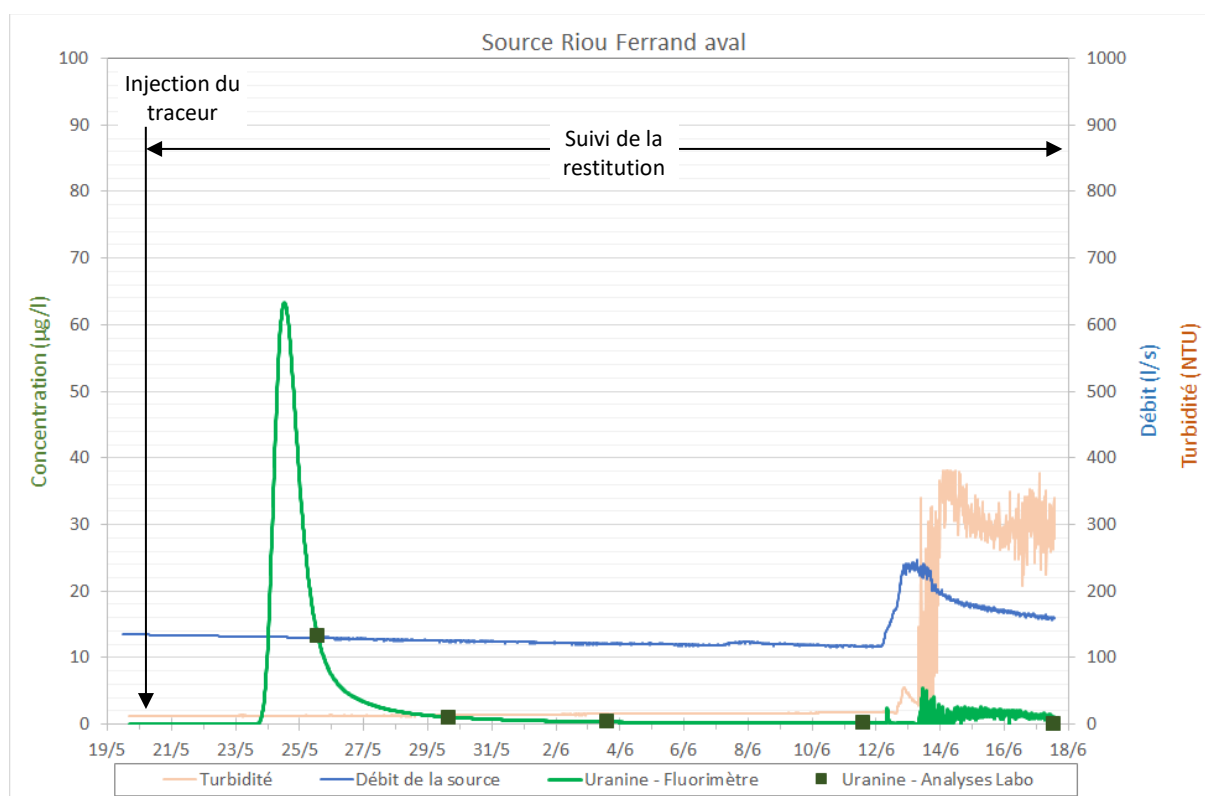


Figure 30 : Résultats du suivi à la source Riou Ferrand aval

5.2.4.2. Restitution à la source du moulin de Laumet

Le suivi avec le fluorimètre indique une restitution tardive à la source du Moulin de Laumet, confirmée ensuite par les analyses des prélèvements en laboratoire (Figure 31).

Les premières traces de fluorescéine sont détectées le 28/05 vers 18h15, soit un peu plus de 8 jours après l'injection. La distance entre le projet et la sources étant de 11,2 km, la vitesse maximale atteinte par le traceur est de 56 m/h.

La courbe de restitution obtenue présente un pic plus étalé que celui observé sur les sources de Riou Ferrand. La concentration maximale mesurée est de 4,6 µg/l, atteinte environ 10 jours après l'injection. La vitesse modale du traceur est alors d'environ 46 m/h.

Puis, la concentration en fluorescéine diminue progressivement, la queue de restitution est assez étalée. L'analyse du dernier prélèvement effectué le 17/06, indique encore la présence en trace de fluorescéine (0,011 µg/l).

En fin de période de suivi, comme observé sur les sources de Riou Ferrand, les données des fluorimètres montrent une légère augmentation des valeurs mesurées. Les résultats d'analyses permettent de démontrer l'absence d'un second relargage du traceur utilisé. Il s'agit, ici aussi, d'une interférence de la matière organique sur les mesures du fluorimètre.

La période de surveillance a permis d'observer une restitution à la source de Laumet, de l'ordre de 287 g soit 1,9% de la masse du traceur injectée. Ici aussi, les débits mesurés sur cette source ne sont pas suffisamment précis et peuvent fausser les résultats sur le calcul de masse restituée.

Le taux de dilution unitaire du traceur calculé (concentration maximale restituée sur la masse injectée) est de $3,1 \cdot 10^{-10} \text{ l}^{-1}$. Ainsi pour un déversement de 50 kg d'une substance potentiellement polluante et miscible à l'eau, dans les mêmes conditions d'injection et de transfert que celles du traçage, la concentration maximale attendue à la source de Laumet serait de l'ordre de 15 $\mu\text{g/l}$.

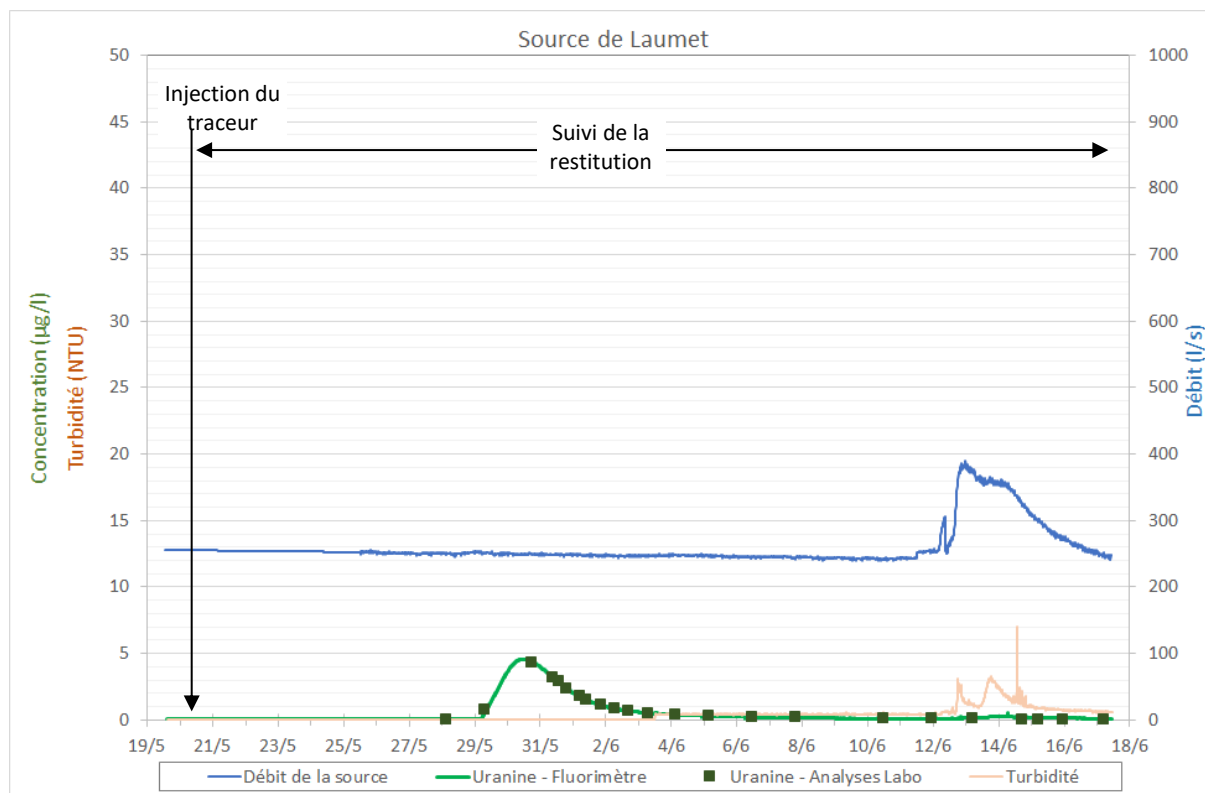


Figure 31 : Résultats du suivi à la source de Laumet

5.2.4.3. Sur les autres sources

Source de l'Esperelle

Les données du fluorimètre montrent l'absence de restitution jusqu'au 12/06, confirmée par les résultats d'analyses de quelques échantillons prélevés pendant cette période.

A partir du 12/06 à 20h40, les valeurs des mesures par le fluorimètre augmentent jusqu'à 0,28 $\mu\text{g/l}$, puis elles diminuent progressivement. Ce pic très faible apparaît alors que la source est en crue et que la turbidité de l'eau de la source, qui est également mesurée avec le fluorimètre, est au plus haut.

Les analyses en laboratoire indiquent des résultats très faiblement positifs à la fluorescéine sur des échantillons prélevés après ce pic. Les concentrations mesurées sont très faibles, de l'ordre du $\mu\text{g/l}$. Ces traces de fluorescéine n'ont pas été détectées au fluorimètre. Ces résultats impliqueraient une restitution 24 jours après l'injection et une vitesse maximale du traceur de 20 m/h.

L'explication la plus plausible est que les traces de colorant détecté par le laboratoire soient des restes de colorant d'anciens traçages relargué après le lessivage des terrains par les fortes pluies de juin.

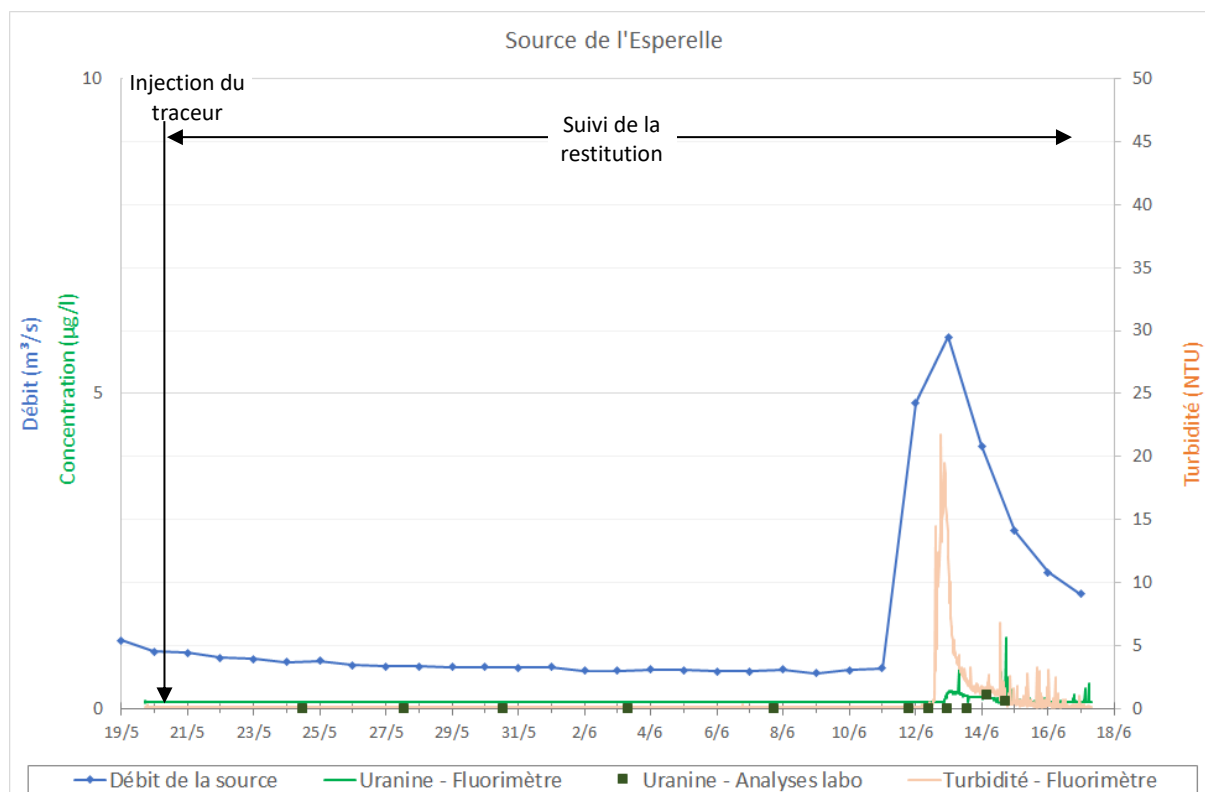


Figure 32 : Résultats du suivi à la source de l'Esperelle

Source de l'Homède

Aucune restitution du traceur n'a été identifiée sur la source de l'Homède.

Comme pour les autres sources, les données du fluorimètre montrent un léger pic de fluorescéine, concomitant à celui de la turbidité. Mais les résultats d'analyses des échantillons prélevés sur cette période confirment l'absence de traces de fluorescéine dans les eaux de la source de l'Homède.

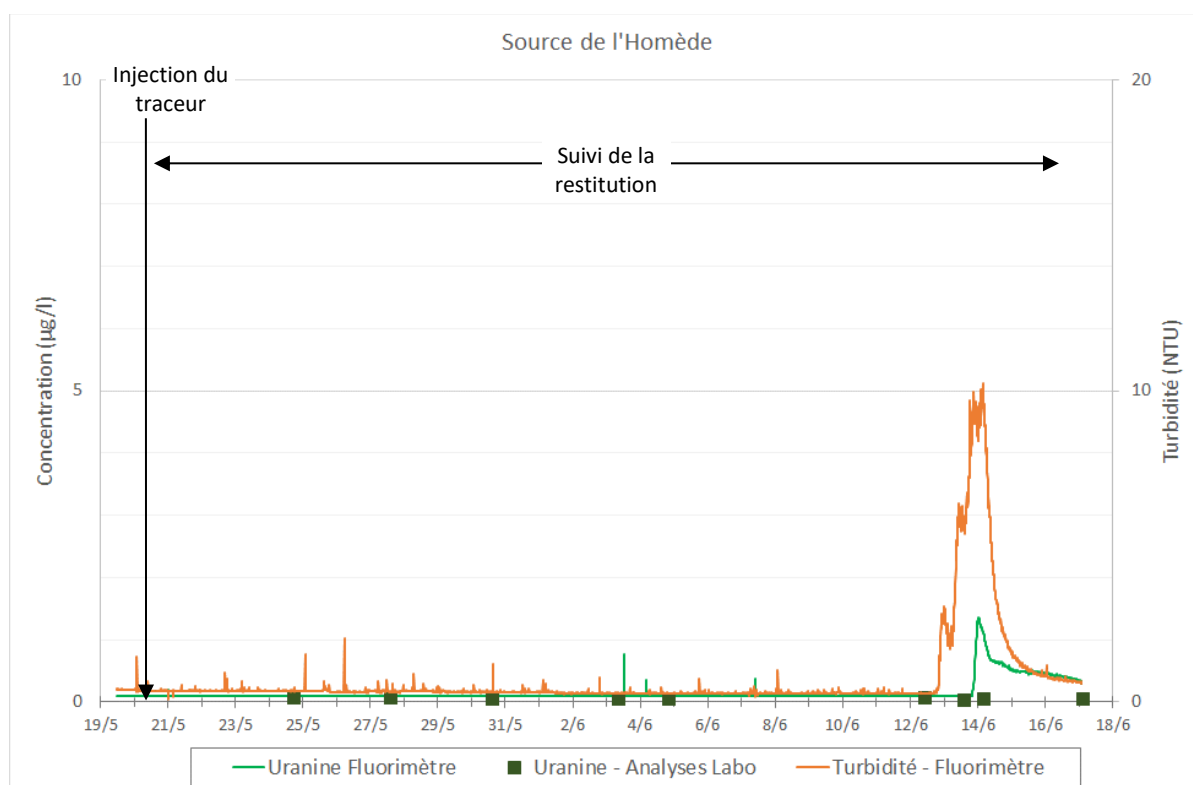


Figure 33 : Résultats du suivi à la source de l'Homède

5.3. Interprétation des résultats

Le traceur injecté dans le bassin d'infiltration sur le site du futur village de marques à la Cavalerie, a été retrouvé aux sources de Riou Ferrand et à la source du moulin de Laumet. Le projet est donc situé sur les bassins d'alimentation de ces sources. Ce résultat va à l'encontre des études antérieures qui positionnaient ce secteur sur le bassin d'alimentation de la source de l'Esperelle.

La restitution de la fluorescéine aux sources de Riou Ferrand est observée un peu plus de 3 jours après l'injection. Les vitesses maximales de transit sont supérieures à 100 m/h et le temps de séjour moyen est d'environ 5 jours. La circulation très rapide et une faible dispersion du traceur dans la zone noyée signifient que le système tracé entre le point d'injection et les sources de Riou Ferrand est bien organisé avec probablement un axe de drainage principal.

Avec des concentrations maximales de fluorescéine très faibles (environ 60 µg/l), les taux de dilution calculés sont très forts ($4,2 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$), ce qui traduit un volume tracé très important, à mettre en relation avec les conditions d'injection (hautes eaux) et la présence de réserves d'eau souterrains très importante dans le système karstique tracé.

La restitution de la fluorescéine à la source de Laumet vient un peu plus de 8 jours après l'injection et 5 jours après l'arrivée du colorant aux sources de Riou Ferrand. La vitesse maximale de transit est de 56 m/h. La forme étalée de la courbe de restitution indique une dispersion du traceur dans le système-tracage. Ces informations indiquent que la circulation du colorant est peu rapide et se fait dans un système peu organisé. Cette restitution tardive, dans des conditions hydrologiques stables (pas de crue), signifie probablement que le réseau de la source de Laumet est connecté au drain principal du système des sources de Riou Ferrand.

Sur la masse de traceur injectée, seulement 9% environ est restitué sur les 3 sources. Une partie du colorant injecté a probablement été retenu dans les matériaux drainants du bassin d'infiltration et/ou a été piégé dans des systèmes annexes.

L'ensemble des résultats des deux traçages est synthétisé dans le tableau suivant.

Traçage			
Lieu d'injection	Bassin d'infiltration sur le site du futur Village de marques		
Date d'injection	20/05/2020 09:35		
Traceur et masse injectée (g)	Fluorescéine – 15 000 g		
Restitution	Riou Ferrand aval	Riou Ferrand amont	Moulin de Laumet
Distance entre l'injection et la restitution (m)	10 866	10 721	11 162
Masse restituée (g)	907	168	287
Restitution %	6,05	1,12	1,91
Temps			
Apparition du traceur (j)	3,25	3,25	8,36
Temps modal (j)	4,12	4,11	10,10
Temps moyen de séjour (j)	5,35	5,17	11,91
Vitesses			
Vitesse d'apparition (m/h)	139,5	137,6	55,6
Vitesse modale (m/h)	109,8	108,6	46,1
Vitesse moyenne (m/h)	95,8	96,5	41,0
Vitesse apparente (m/h)	84,6	86,4	39,0
Concentration et dilutions			
Concentration initiale (g/l)	300	300	300
Concentration max (g/l)	6,3E-5	6,2E-5	4,6E-6
Dilution unitaire (l ⁻¹)	4,2E-9	4,2E-9	3,1E-10
DTS max (s ⁻¹)	9,1E-6	9,2E-6	4,0E-6

Tableau 9 : Bilan des restitutions de la fluorescéine

6. Impacts du projet sur les eaux souterraines

6.1. Vulnérabilité des eaux souterraines

6.1.1. Définition de la vulnérabilité

Généralement, la vulnérabilité aux pollutions des aquifères karstiques est forte. Elle dépend :

- de l'épaisseur et la nature de la formation de recouvrement sur les calcaires ;
- de la nature de l'infiltration des eaux météoriques : diffuse ou localisée au niveau de formes karstiques (doline, aven...) ;
- de l'épaisseur et de la fracturation de la zone non saturée ;
- du colmatage des fractures ;
- du degré de karstification et d'organisation du drainage du système ;
- du volume d'eau dans la zone noyée ;

Les systèmes les plus vulnérables sont donc les systèmes bien karstifiés, avec infiltration rapide des écoulements et une zone noyée de faible ampleur. Ces systèmes sont sujets à des pollutions brutales, de courte durée avec de fortes teneurs.

La connaissance de la structure des systèmes karstiques et de leur fonctionnement est donc prépondérante pour orienter des mesures de protection efficaces et durables.

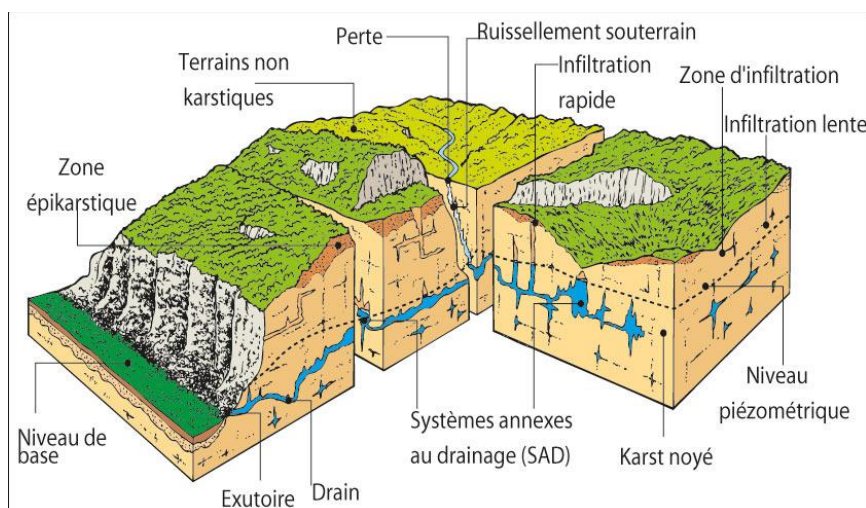


Figure 34 : Coupe caractéristique d'un aquifère karstique (d'après Mangin)

6.1.2. Application au projet

Sur le projet, la présence d'une couverture argileuse ralentit fortement l'infiltration de surface et peut jouer un rôle épurateur vis-à-vis notamment des pollutions chroniques issues du projet. L'épaisseur de ces matériaux peu perméables est variable sur le site mais leur nature argilo-sableuse permet d'assurer une infiltration diffuse des eaux de ruissellement, en partie collectée sur le site.

Sous ces placages argileux, le substratum calcaire est globalement peu fracturé. En attestent les valeurs de perméabilité rencontrées lors des deux tests d'infiltration (autour 15 m³/jour/m²) caractéristiques de terrains peu perméables.

Ce constat peut cependant être pondéré par les données des reconnaissances géologiques. Elles indiquent que l'infiltration peut être localement très importante. La découverte d'un fontis sur la partie nord du projet montre la présence de zones d'infiltration préférentielle, liées probablement à des vides karstiques métriques au sein même des calcaires et qui soutirent massivement et localement les eaux de ruissellement.

Ces circulations préférentielles sont souvent réactivées notamment lors des travaux de décapage des argiles de surface, mettant au jour des vides karstiques superficiels, colmatés ou non. Les ruissellements induits par les argiles de surface s'infiltrant alors massivement dans ces vides exhumés, qui sont décolmatés ou réactivés au fil du temps et par le travail mécanique et chimique des eaux de ruissellement. Ces zones sont donc à identifier préalablement car elles constituent des points importants de soutirage (en lien avec les contraintes géotechniques du projet) et d'infiltration préférentielle (en lien avec la gestion des eaux pluviales).

Ces aspects montrent donc la forte hétérogénéité des formations de surface (argiles et calcaires) qui conditionnent la capacité d'infiltration des eaux (diffuse ou massive) et donc la vulnérabilité des eaux souterraines à toutes pollutions.

Après infiltration en surface, les eaux vont percoler verticalement à travers les couches de calcaire (ce qu'on appelle la zone d'infiltration – voir figure 17). Les eaux rejoignent ensuite le ou les réseaux de drainage souterrain (voir Drain sur la figure 17) pour transiter jusqu'à la source.

Dans le cas du projet, les résultats du traçage ont permis de déduire que le projet se trouve sur les bassins d'alimentation des sources de Riou Ferrand et de la source de Laumet. Les systèmes de ces sources présentent une forte capacité de dilution liée probablement à d'importantes réserves en eau. De ce fait, la sensibilité des sources à une pollution donnée va être faible car tout polluant va être fortement diluée dans la zone noyée. Cependant, les vitesses de transit importantes dans le réseau principal des sources de Riou Ferrand impliquent une vulnérabilité forte au niveau de ces exutoires. La source de Laumet est moins vulnérable car son système est moins bien organisé, les vitesses de circulation sont donc plus faibles.

6.2. Aléa lié à une pollution

L'aléa majeur existant au droit du futur village de marques correspond à une pollution chronique par des éléments provenant du ruissellement des eaux pluviales sur les surfaces imperméabilisées (zones de stationnement, les toitures...). Ces particules polluantes comprennent :

- les matières en suspension (MES) ;
- la matière organique ;
- les hydrocarbures ;
- les métaux lourds (plomb, zinc et cuivre).

Le risque de pollution accidentelle est seulement lié à la présence de véhicules sur le site (fuites carburants ou huile provenant d'un véhicule) puisque qu'aucun stockage de produits polluants n'est envisagé dans le projet. Le trafic sur les voies d'accès sera modéré et la vitesse de circulation sera limitée. Le risque de pollution accidentelle reste alors minime au droit du site.

6.3. Evaluation des impacts du projet sur les eaux souterraines

6.3.1. Impacts quantitatifs

Le projet comprend la collecte des eaux ruisselant sur les surfaces imperméabilisées et leur régulation dans plusieurs ouvrages permettant d'assurer une infiltration diffuse des eaux. Aucune infiltration massive des eaux n'est prévue, dans une doline ou un vide karstique identifié (fracture ouverte dans les calcaires, soutirage des eaux...).

Le volume d'eau recueilli par le projet lors des fortes pluies sera donc tamponné par la capacité de rétention du bassin enterré (400 m³) et du système de noues (182 m³), et régulé de manière diffuse au toit des calcaires.

Le projet aura donc une incidence quantitative négligeable sur la ressource en eau. Les eaux de pluie tombant actuellement sur le secteur s'infiltreront dans le sous-sol, ce qui sera le cas ultérieurement.

Par ailleurs, l'infiltration des eaux collectées, au sein du substratum calcaire sera répartie sur toute la longueur des noues (310 ml) et sur 4 points (regards de diffusion) dans le bassin d'infiltration d'une longueur de 180 ml et sur une couche de 1,70 m d'épaisseur de matériau drainant. Ce mode va permettre une infiltration linéaire et diffuse de l'eau collectée.

6.3.2. Impacts qualitatifs

Le projet prévoit divers aménagements pour le traitement et le rejet des eaux pluviales dans le milieu naturel.

Les eaux pluviales ruisselant sur les voiries de la zone Est du projet seront collectées et traitées dans un débourbeur avant leurs rejets dans le bassin d'infiltration. Par ailleurs, la vanne martelière placée en aval du débourbeur, sera fermée par le gestionnaire du Village des Marques, en cas de pollution accidentelle. Sur le secteur Ouest du projet, les noues d'infiltration constituent l'ouvrage principal de filtration de la pollution chronique et de la pollution accidentelle.

Les eaux collectées dites « propres » seront envoyées vers les citernes de stockage qui vont permettre la décantation des particules. Cependant, en cas d'épisodes de forte pluie, le rôle de stockage et d'épurateur des citernes sera transparent. Les eaux traitées et le trop-plein des citernes seront évacués dans le bassin qui permettra une infiltration diffuse dans les calcaires.

Ainsi, le bon fonctionnement du réseau pluvial permettra d'assurer le rejet d'eaux relativement propres dans le milieu naturel.

Au niveau des places de stationnement, les eaux météoriques ne seront pas collectées par le réseau pluvial mais s'infiltreront directement dans le sol, de manière diffuse, évitant ainsi des désordres géologiques. Dans ces zones, la couverture de matériau meuble est de faible épaisseur (de 0,50 à 1m) et devrait être décapée pour la mise en place d'une couche de pierres concassées. Le risque de

pollution diffuse ou accidentelle reste négligeable au niveau des zones de stationnement, mais la présence d'une couche peu perméable aurait permis une épuration naturelle des eaux par la fixation d'une partie des éventuels polluants par les colloïdes argileux.

D'après ces éléments, l'impact du projet sur les eaux souterraines paraît faible.

L'opération de traçage réalisée en mai-juin 2020 a permis de simuler la circulation des eaux pluviales qui seront rejetées dans le bassin d'infiltration. Les résultats démontrent qu'elles arriveront rapidement aux sources de Riou Ferrand et plus tardivement, à la source de Laumet.

Les sources de Riou Ferrand, qui se déversent dans la Dourbie, ne sont pas captées pour un usage quelconque. En revanche, la source de Laumet présente un enjeu sanitaire puisqu'elle est captée pour alimenter l'habitation du Moulin où elle est consommée par ses habitants.

Pour reprendre l'exemple d'un déversement accidentel d'une substance potentiellement polluante et miscible à l'eau dans le bassin d'infiltration, la concentration maximale attendue à la source captée de Laumet serait de l'ordre de 15 µg/l (dans les mêmes conditions d'injection et de transfert que celles du traçage). Pour information, la limite de qualité des eaux distribuées pour la consommation humaine, du benzène, élément présent dans l'essence, est de 1 µg/l (arrêté du 11 janvier 2007).

Les aménagements prévus pour la gestion des eaux pluviales permettront d'éviter ce genre d'accidents. En cas de pollution accidentelle sur le site du village de marques, la fermeture de la vanne martelière permettra de limiter le transfert de la pollution vers le bassin d'infiltration. Par ailleurs, le temps de transit jusqu'à la source de Laumet est assez long (8 jours), permettant au gestionnaire du Village de prévenir les consommateurs et de prendre les mesures nécessaires en cas de pollution des eaux à la source.

Les aménagements de gestion des eaux pluviales prévus dans le projet permettront de limiter l'impact qualitatif des sources de Riou Ferrand et surtout de la source captée de Laumet.

7. Conclusion et recommandations

Le projet du village des marques se trouve sur le causse du Larzac, qui est drainé en sa périphérie par plusieurs sources karstiques importantes dont certaines sont captées pour l'alimentation en eau potable.

D'après les résultats de traçage réalisé en mai-juin 2020, le projet se situe sur les bassins d'alimentation des sources de Riou Ferrand, qui ne sont pas captées, et de la source de Laumet qui est utilisée pour la consommation humaine dans une seule habitation (Moulin de Laumet).

Les investigations sur le site ont montré la présence de calcaires fracturés et karstifiés, avec des circulations d'eau, sous une couverture argileuse plus ou moins épaisse. Dans le cadre du projet, le bassin d'infiltration des eaux pluviales, qui seront préalablement traitées en partie, est ancré dans les calcaires.

Le traçage, qui a compris une injection de colorant dans ce bassin d'infiltration rempli de matériaux drainants, a permis d'obtenir des informations sur l'aquifère dans lequel les eaux pluviales seront rejetées.

Il s'agit d'un système karstique bien organisé avec un drain principal qui permet une circulation des eaux rapide, jusqu'aux sources de Riou Ferrand. L'important volume d'eau dans la zone noyée de cet aquifère permet une dilution des éventuels polluants. Cependant, l'importante vitesse de circulation dans le réseau principal rend vulnérable les sources de Riou Ferrand. Celles-ci n'étant pas captées, le risque d'impact sanitaire est nul.

Un réseau annexe moins bien structuré est connecté au drain principal. Son exutoire correspond à la source de Laumet. Dans ce système, le taux de dilution important, le temps de transit long et la dispersion du panache du traceur traduisent une vulnérabilité plutôt faible au niveau de l'exutoire.

Le système de gestion des eaux pluviales envisagé dans le nouveau projet va permettre de limiter l'impact qualitatif sur les eaux souterraines et notamment au niveau de la source de Laumet qui est captée pour la consommation humaine.

Ces ouvrages devront être entretenus régulièrement afin d'assurer leur bon fonctionnement. Un protocole d'urgence en cas de pollution accidentelle devra être établi et sera remis au gestionnaire du site. En cas de départ intempestif de polluant dans le milieu naturel, les usagers de la source de Laumet devront être rapidement prévenus.

Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



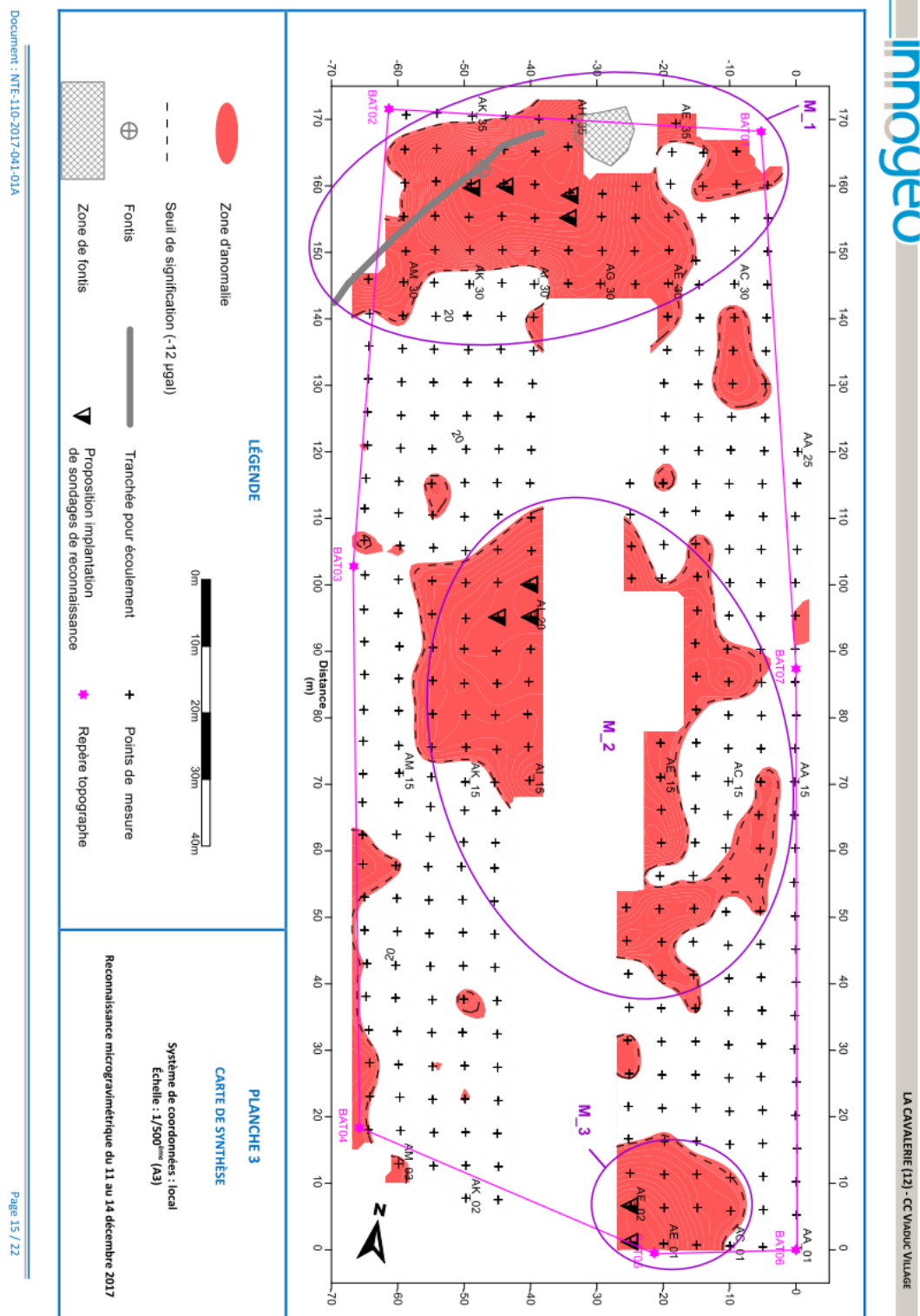
ANNEXES

- Annexe I : Références utilisées
- Annexe II : Carte de synthèse indiquant les zones d'anomalie de densité – INNOGEO
- Annexe III : Plan d'implantation des sondages - GEOTECHNIQUE
- Annexe IV : Résultats d'analyses de la fluorescéine par le laboratoire CETRAHE

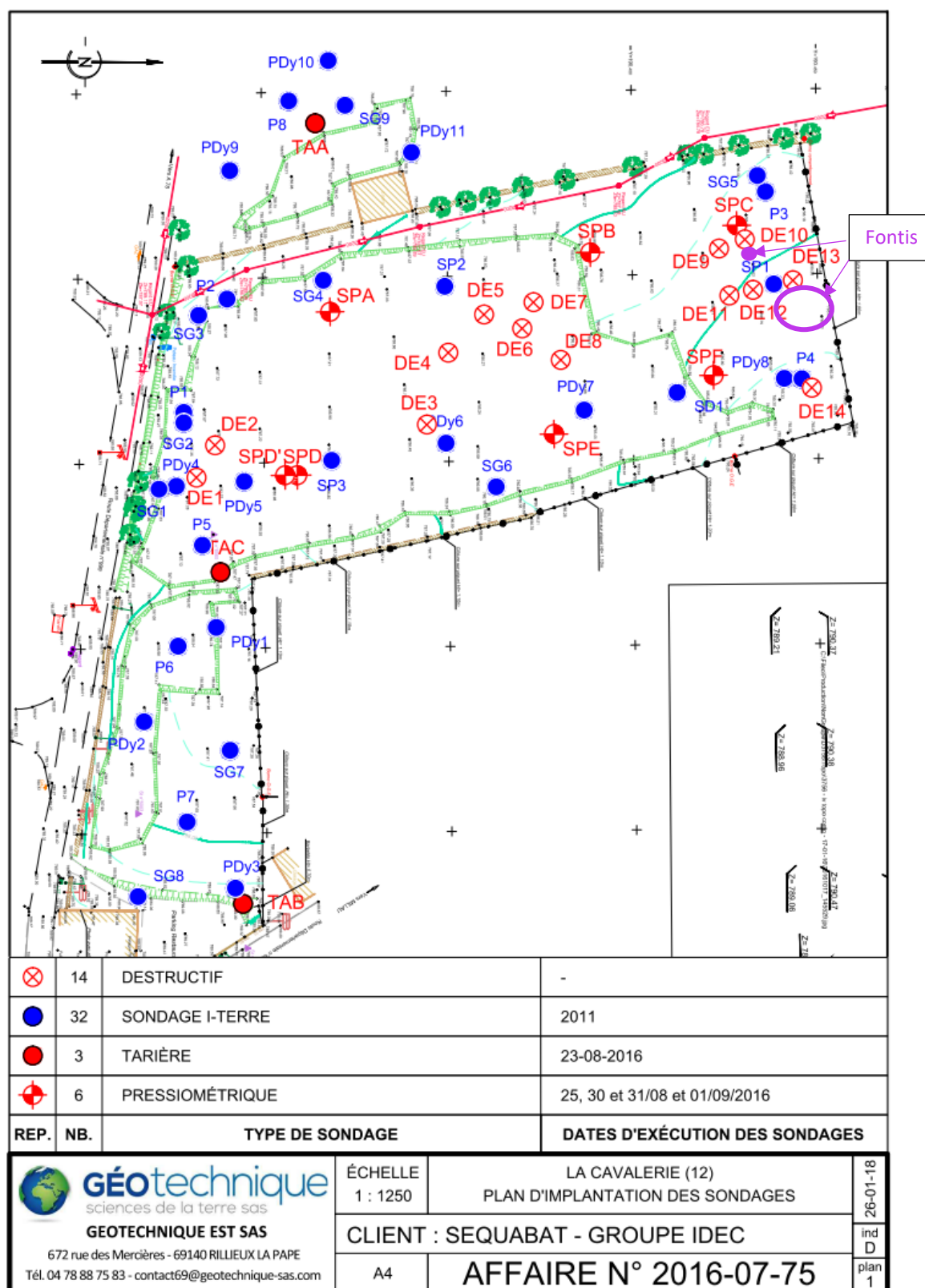
Annexe I : Références utilisées

- Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau du Larzac Septentrional en vue de l'établissement des périmètres de protection - Ricard, Bakalowicz BRGM – juin 1996
- Etude hydrogéologique de la source de l'Esperelle et de son bassin d'alimentation en vue de l'établissement des périmètres de protection - Ricard, Bakalowicz BRGM – février 1994
- Rapport d'expertise hydrogéologique concernant la protection de la source captée de l'Esperelle – Rey – mars 2000
- Arrêté préfectoral : Autorisation de prélèvement, et d'utilisation d'eau pour la consommation humaine, déclarant d'utilité publique le prélèvement des eaux de la résurgence de l'Esperelle, commune de LA ROQUE SAINTE MARGUERITE et l'instauration des servitudes de protection réglementaire au profit de la commune de MILLAU – septembre 2001
- Arrêté préfectoral : Autorisation d'utiliser de l'eau prélevée dans le milieu naturel en vue de la consommation humaine – juillet 1993
- Avis sanitaire de l'hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique par le Ministère chargé de la Santé, Captage de l'Homède – Dadoun – juin 2019
- Gestion du risque pour la santé publique : réalisation de traçages afin de redéfinir les limites des bassins hydrogéologiques des sources captées pour l'alimentation en eau potable de l'Homède et du Boundoulaou – PNRGC – aout 2017
- Gestion du risque pour la santé publique : réalisation de traçages en aval des bassins de décantation situés sur des périmètres de protection de sources captées pour l'alimentation en eau potable (bassin du Durzon, de l'Esperelle et de l'Homède) – PNRGC – juillet 2011
- Traçage hydrogéologique dans le cadre de la création de la zone d'activités économiques de Millau Sud, commune de La Cavalerie – CALLIGEE – juillet 2006
- Opération de traçages hydrogéologiques depuis le camp militaire du Larzac – ANTEA GROUP – janvier 2019
- Dossier de déclaration Loi sur l'Eau, Construction d'un village de marques « Viaduc Village », commune de La Cavalerie – SCP GRAVELLIER et FOURCADIER – février 2009
- Notice architecturale, Construction d'un village de marques « Viaduc Village », commune de La Cavalerie – Olivet Faillie Architectes – avril 2020
- Etudes géotechniques préalables de projet de la réalisation d'un village de marques, La Cavalerie – I-TERRÉ – novembre 2011
- Rapport d'étude, mission géotechnique, Village de marques « Viaduc Village », La Cavalerie – GEOTECHNIQUE – octobre 2019
- Recherche de cavités par microgravimétrie, Centre commercial Viaduc Village, La Cavalerie – INNOGEO – janvier 2018
- Plan de masse, Construction d'un village de marques « Viaduc Village », La Cavalerie – Olivet Faillie Architectes – avril 2020
- Plan de situation, Construction d'un village de marques « Viaduc Village », La Cavalerie – Olivet Faillie Architectes – avril 2020
- Plan Exécution Réseaux – GUINTOLI – novembre 2019

Annexe II : Carte de synthèse indiquant les zones d'anomalie de densité – INNOGEO



Annexe III : Plan d'implantation des sondages - GEOTECHNIQUE



Annexe IV : Résultats d'analyses de la fluorescéine par le laboratoire CETRAHE

CETRAHE

Cellule R&D d'Expertise et de Transfert en TRAçages
Appliqués à Hydrogéologie et à l'Environnement
Université d'Orléans – Polytech
8 rue Léonard de Vinci, 45072 Orléans cedex 2, France



Date	19/06/2020
Laboratoire/BE demandeur:	ANTEA Goup

Responsable	Amélie BOYER
Expertise analytique	Nevila JOZIA

TRACAGE

Date d'injection	20/05/2020 09:35
Point d'injection	Bassin d'infiltration au Village des marques à La Cavalerie
Traceur	Uranine
Masse injectée	15 kg

Type d'analyses demandées:	Spectrofluorimétrie
Traceurs recherchés :	Uranine

Point de surveillance : Captage de l'Homède

Date	Conc. Brute en µg/L	Spectre émission	Spectre exc.	C° nette en µg/L
24/05/2020 18:00	0,058	négatif	négatif	0,000
27/05/2020 14:30	0,058	négatif	négatif	0,000
30/05/2020 14:30	0,048	négatif	négatif	0,000
03/06/2020 08:30	0,048	négatif	négatif	0,000
04/06/2020 20:40	0,047	négatif	négatif	0,000
12/06/2020 10:40	0,072	négatif	négatif	0,000
13/06/2020 14:40	0,033	négatif	négatif	0,000
14/06/2020 04:40	0,049	négatif	négatif	0,000
17/06/2020 02:40	0,052	négatif	négatif	0,000

Point de surveillance : Source de Riou Ferrand amont

Date	Conc. Brute en µg/L	Spectre émission	Spectre exc.	C° nette en µg/L
25/05/2020 13:30	13,097			13,087
29/05/2020 16:00	1,090			1,080
03/06/2020 14:00	0,410			0,400
11/06/2020 14:30	0,193			0,183
17/06/2020 13:30	0,031	positif	positif	0,021

Point de surveillance : Source de Riou Ferrand aval

Date	Conc. Brute en µg/L	Spectre émission	Spectre exc.	C° nette en µg/L
25/05/2020 13:20	13,265			13,255
29/05/2020 15:30	1,015			1,005
03/06/2020 14:00	0,405			0,395
11/06/2020 14:30	0,193			0,183
17/06/2020 13:30	0,055			0,045


Point de surveillance : Captage de l'Esperelle

Date	Conc. Brute en µg/L	Spectre émission	Spectre exc.	C° nette en µg/L
24/05/2020 11:50		négatif	négatif	0,000
27/05/2020 13:20		négatif	négatif	0,000
30/05/2020 13:20		négatif	négatif	0,000
03/06/2020 07:20		négatif	négatif	0,000
07/06/2020 17:35	0,014			0,000
11/06/2020 19:35	0,017			0,000
12/06/2020 09:35	0,013			0,000
12/06/2020 23:35	0,017	négatif	négatif	0,000
13/06/2020 13:35	0,023	positif très faible	positif très faible	0,009
14/06/2020 03:35	1,057	positif	positif	1,043
14/06/2020 17:35	0,596			0,582
17/06/2020 01:35	0,335			0,321

Point de surveillance : Source de Laumet

Date	Conc. Brute en µg/L	Spectre émission	Spectre exc.	C° nette en µg/L
28/05/2020 03:45	0,011			0,000
29/05/2020 07:45	0,710			0,700
30/05/2020 18:30	4,279			4,269
31/05/2020 09:30	3,190			3,180
31/05/2020 14:30	2,874			2,864
31/05/2020 19:30	2,358			2,348
01/06/2020 05:30	1,798			1,788
01/06/2020 10:30	1,481			1,471
01/06/2020 20:30	1,142			1,132
02/06/2020 06:30	0,865			0,855
02/06/2020 16:30	0,677			0,667
03/06/2020 07:30	0,497			0,487
04/06/2020 03:30	0,385			0,375
05/06/2020 03:30	0,301			0,291
06/06/2020 11:30	0,210			0,200
07/06/2020 19:30	0,144			0,134
10/06/2020 11:30	0,108			0,098
11/06/2020 23:15	0,091			0,081
13/06/2020 05:15	0,090			0,080
14/06/2020 17:15	0,041			0,031
15/06/2020 05:15	0,030			0,020
15/06/2020 23:15	0,024	positif très faible	positif très faible	0,014
17/06/2020 05:15	0,021	positif très faible	positif très faible	0,011



Références :

Logo
MASE



www.lne.fr



Portées
communiquées
sur demande