

CONSEIL DEPARTEMENTAL DE L'HERAULT

Hôtel du département – Mas d'Alco – 1977, avenue des moulins

34 087 MONTPELLIER Cedex 4



***Etude hydrogéologique de ressources stratégiques en eaux souterraines et
définition des zones de sauvegarde exploitées et non exploitées actuellement –
Département de l'Hérault***

***FRDG 125 – Calcaires et marnes des causses et avant-causses du Larzac sud,
Campestre, Blandas, Séranne***

PHASE 1 – VOLUME 1

**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE
ET PRESENTION DU CONTEXTE**

3 octobre 2020



Ce présent rapport s'inscrit dans le cadre du projet intitulé « Etude hydrogéologique de ressources stratégiques en eaux souterraines et définition des zones de sauvegarde exploitées et non exploitées actuellement dans la masse d'eau t FRDG125 ».

Il concerne la masse d'eau souterraine 125 et la Phase 1 de l'étude : « Point sur les connaissances, synthèse bibliographique et analyses des besoins. »

Les résultats de cette Phase 1 sont présentés en plusieurs volumes :

- Volume 1 : Synthèse bibliographique générale (présent document)
- Volume 2 : Présentation des unités karstiques pré-identifiées
- Volume 3 : Utilisation actuelle des ressources et besoins actuels et futurs.

Le présent rapport correspond au Volume 1 de la Phase 1 de l'étude.

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	6
1.1	NOTIONS DE RESSOURCE STRATEGIQUE ET DE ZONE DE SAUVEGARDE	6
1.1.1	<i>Masses d'eau souterraines stratégiques – échelle globale</i>	<i>6</i>
1.1.2	<i>Zones de sauvegarde – échelle locale</i>	<i>6</i>
1.2	OBJECTIFS ET ORGANISATION DE L'ETUDE.....	8
1.2.1	<i>Zone d'étude</i>	<i>8</i>
1.2.2	<i>Phasage de l'étude.....</i>	<i>8</i>
1.2.3	<i>Recueil des données et informations</i>	<i>9</i>
1.3	NOTIONS D'AQUIFERE KARSTIQUE	10
1.3.1	<i>Le karst.....</i>	<i>10</i>
1.3.2	<i>Typologie du karst.....</i>	<i>11</i>
1.3.3	<i>Fonctionnement du karst</i>	<i>12</i>
2	CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	14
2.1	CADRE GEOLOGIQUE.....	15
2.1.1	<i>Description des formations géologiques.....</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Fracturation</i>	<i>19</i>
2.2	CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE.....	22
2.2.1	<i>Phases de karstification</i>	<i>22</i>
2.2.2	<i>Inventaires des cavités.....</i>	<i>24</i>
2.3	DIRECTIONS D'ECOULEMENT ET PIEZOMETRIE	27
2.3.1	<i>Traçages.....</i>	<i>27</i>
2.3.2	<i>Comportement piézométrique.....</i>	<i>30</i>
2.4	QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES	34
2.4.1	<i>Faciès et paramètres physico-chimiques</i>	<i>34</i>
2.4.2	<i>Contaminants anthropiques</i>	<i>39</i>
2.4.3	<i>Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines.....</i>	<i>39</i>
3	CONTEXTE CLIMATIQUE ACTUEL ET FUTUR	42
3.1	CONTEXTE CLIMATIQUE	42
3.2	IMPACTS PREVISIBLES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	46
4	BIBLIOGRAPHIE	48

Les listes des tableaux et figures sont présentées en fin de document.

GLOSSAIRE

Anticlinal :	Pli convexe des couches géologiques (partie centrale surélevée) dont le centre après érosion est occupé par les couches géologiques les plus anciennes.
Aquiclude :	Formation géologique très peu perméable (considérée imperméable) qui emprisonne l'eau de la formation sous-jacente et ne la laisse pas circuler (du latin aqua : eau et claudere : emprisonner).
Aquifère :	Formation géologique suffisamment poreuse (ou fissurée) et perméable pour contenir et laisser circuler de l'eau. Le terme aquifère désigne à la fois la roche réservoir et le système eau + roche (du latin ferre : porter)
Aquitard :	Formation géologique peu perméable ou semi-perméable qui laisse toutefois circuler l'eau (notamment par drainance) à des vitesses très lentes (du latin tardere : retarder).
Aven :	Cavité naturelle à tendance verticale formée par l'effondrement de la voûte de la cavité karstique (ou grotte) dû à la dissolution des couches calcaires par l'eau de pluie.
Décrochement :	Faïlle décrochante verticale le long de laquelle deux compartiments rocheux coulisent horizontalement l'un par rapport à l'autre. Le décrochement est soit dextre, soit sénestre selon le déplacement des deux compartiments le long de la faille.
Doline :	Dépression circulaire de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres liée à la dissolution des calcaires de surface (= forme caractéristique d'érosion des calcaires en contexte karstique).
Dolomie :	Roche sédimentaire carbonatée contenant 50% ou plus de carbonate de magnésium sous forme de dolomite (Ca, Mg) CO ₃ .
Emergence :	Sortie d'eau souterraine à la surface du sol. Zone d'émergence = zone de sources dont la localisation n'est pas très bien connue.
Epikarst :	Surface superficielle d'un karst caractérisée par un réseau de fissures et de cavités qui collecte, concentre, stocke et facilite l'infiltration vers la zone noyée de l'aquifère karstique.
Exurgence karstique :	Sortie d'eau ou source ne recevant aucune eau en provenance directe de pertes de rivière, ou source issue d'un système karstique unique.
Impluvium :	Bassin d'alimentation superficiel et souterrain d'une ressource ou d'une source.
Karst :	Système superficiel ou souterrain créé par la dissolution des formations carbonatées liée aux écoulements d'eau. Les eaux acides (eau de pluie, eaux riches en matière organique dissoute ont un pouvoir de dissolution important). Le processus de dissolution des roches est appelé karstification.
Masse d'eau souterraine :	Volume d'eau contenu à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères, constituant un système autonome ou suffisamment autonome. C'est le découpage élémentaire utilisé comme unité d'évaluation de la DCE (Directive cadre européenne sur l'eau).
Masse d'eau stratégique :	Masse d'eau souterraine considérée comme stratégique pour l'alimentation en eau potable actuelle ou future.

Rejet d'une faille :	Mesure du décalage vertical qui s'est produit entre deux compartiments rocheux séparés par une faille.
Ressource stratégique :	Ressource considérée comme stratégique pour l'alimentation en eau potable actuelle ou future, sur la base de critères quantitatifs et qualitatifs.
Résurgence karstique :	Sortie d'eau contenue dans un karst dont l'origine est celle d'eaux de surface engouffrées dans des pertes. Source d'un système karstique binaire.
SDAGE :	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux.
Synclinal :	Pli concave (centre affaissé). Après érosion des bordures latérales, les couches géologiques les plus récentes sont retrouvées au centre.
Système aquifère :	Aquifère ou ensemble d'aquifères et d'aquitards contigus et en connexion hydraulique.
Système karstique unaire :	Système aquifère développé dans le karst dont l'impluvium (bassin d'alimentation) est strictement constitué de terrains karstifiables.
Système karstique binaire :	Système aquifère développé dans le karst dont l'impluvium (bassin d'alimentation) est constitué à la fois de terrains karstifiés et de terrains non karstifiés (ou du bassin versant d'un cours d'eau).
Zone de Sauvegarde :	Zone contribuant à l'alimentation d'une ressource ou d'une source, et sur laquelle des efforts doivent être portés pour limiter ou éviter les pressions pouvant porter atteinte à la ressource. Ceci s'applique en particulier aux ressources stratégiques. On distingue les Zones de Sauvegarde Exploitée (ZSE), faisant actuellement l'objet d'un captage des eaux, et les Zones de Sauvegarde Non Exploitée Actuellement (ZSNEA), réservées pour un usage AEP futur.

1 INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre général fixé par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000. Cette directive demande aux États membres de i) désigner dans chaque district hydrographique les masses d'eau les plus importantes parmi celles utilisées actuellement pour l'eau potable et celles destinées dans le futur à un tel usage et ii) assurer leur protection afin de prévenir la détérioration de la qualité.

Cette démarche a été reprise et précisée dans le SDAGE Rhône-Méditerranée-Corse 2016-2021 dont l'orientation fondamentale n°5E prévoit de « Préserver les masses d'eau souterraine stratégiques pour l'alimentation en eau potable actuelle ou future en assurant leur protection à l'échelle des zones de sauvegarde ».

La disposition 5E-01 du SDAGE indique que dans ces zones de sauvegarde, il est nécessaire de protéger la ressource en eau et d'assurer sa disponibilité en quantité et en qualité suffisantes pour permettre sur le long terme une utilisation pour l'alimentation en eau potable sans traitement ou avec un traitement limité (exemple : désinfection). Le SDAGE précise également les différents outils et procédures réglementaires qui doivent prendre en compte cet objectif : SAGE, SCot, PLU, schéma régional des carrières, procédure ICPE et loi sur l'eau, etc...

Dans l'Hérault, certaines masses d'eau souterraines karstiques sont d'un grand intérêt et considérées comme stratégiques pour l'alimentation en eau potable et doivent faire l'objet de la démarche de classement et de préservation. Il s'agit notamment de la masse d'eau :

- FRDG125 : calcaires et marnes causses et avant-causses du Larzac sud, Campestre, Blandas, Séranne (dénommée ci-après « FRDG125 - Rive droite de l'Hérault »).

1.1 Notions de Ressource stratégique et de Zone de sauvegarde

1.1.1 Masses d'eau souterraines stratégiques – échelle globale

Sont considérées comme masses d'eau stratégiques à préserver les masses d'eau recelant des ressources en eau d'intérêt départemental à régional qui sont soit d'ores et déjà fortement sollicitées et dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les populations qui en dépendent, soit pas ou faiblement sollicitées à l'heure actuelle mais à fortes potentialités, préservées à ce jour et à conserver en l'état pour la satisfaction des besoins futurs.

1.1.2 Zones de sauvegarde – échelle locale

Au sein des masses d'eau stratégiques, l'article 10 de l'arrêté du 17 mars 2006, fixant le contenu des SDAGE, demande que :

- Soient identifiées les zones utilisées actuellement pour l'alimentation en eau potable pour lesquelles des objectifs plus stricts seront fixés afin de réduire les traitements nécessaires à la production d'eau potable ;
- Soient proposées les zones à préserver en vue de leur utilisation future pour des captages destinés à la consommation humaine.

Ainsi, la notion de zones de sauvegarde désigne des ressources :

- importantes en quantité ;
- dont la qualité chimique est conforme ou encore proche des critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, tels que fixés dans la directive 98/83/CE ;
- bien situées par rapport aux zones de forte consommation (actuelles ou futures), pour des coûts d'exploitation acceptables.

Parmi ces ressources, il faut distinguer celles qui sont :

- d'ores et déjà fortement sollicitées et dont l'altération poserait des problèmes immédiats pour les populations qui en dépendent ;
- faiblement sollicitées mais à forte potentialité, et préservées à ce jour du fait de leur faible vulnérabilité naturelle ou de l'absence de pression humaine, mais à réserver en l'état pour la satisfaction des besoins futurs à moyen et long terme.

Pour ces ressources, la satisfaction des besoins en eau potable doit être reconnue comme prioritaire vis-à-vis des autres usages (activités agricoles, industrielles, récréatives ...).

In fine, dans une optique de développement durable et conformément à la DCE, le but est d'assurer la disponibilité sur le long terme de ressources suffisantes en qualité et en quantité pour satisfaire les besoins actuels et futurs d'approvisionnement en eau potable des populations.

L'enjeu est de préserver, de manière la plus efficace possible, les ressources les plus intéressantes pour la satisfaction des besoins en eau potable. Ceci doit tenir compte des bouleversements constatés ou attendus en termes d'occupation des sols et de pressions sur les aires de recharge des aquifères (évolution démographique, expansion de l'urbanisation et des activités connexes périphériques, impact sur le long terme des pratiques agricoles ou industrielles).

L'identification des zones de sauvegarde vise à :

- permettre de définir et de mettre en œuvre sur celles-ci, et de manière efficace, des programmes d'actions spécifiques ;
- interdire ou réglementer certaines activités ;
- maintenir une qualité de l'eau compatible avec la production d'eau potable sans recourir à des traitements lourds ;
- garantir l'équilibre entre prélèvements et recharge naturelle ou volume disponible.

Les caractéristiques des outils mobilisables imposent la distinction entre deux catégories de zones de sauvegarde :

- **les Zones de Sauvegarde Exploitées (ZSE)**, identifiées comme étant intéressantes pour l'alimentation en eau potable (AEP) future et qui sont déjà utilisées pour l'AEP.
- **les Zones de Sauvegarde Non Exploitées Actuellement (ZSNEA)**, identifiées comme étant intéressantes pour l'AEP future mais qui ne sont pas utilisées actuellement pour l'AEP.

1.2 Objectifs et organisation de l'étude

1.2.1 Zone d'étude

La présente étude concerne la masse d'eau souterraine karstique FRDG125 « Calcaires et marnes causses et avant-causses du Larzac sud, Campestre, Blandas, Séranne (dénommée ci-après « FRDG125 - Rive droite de l'Hérault »)) » principalement présente sur le département de l'Hérault et caractérisée comme stratégique pour l'alimentation en eau potable actuelle et future. Sa superficie est de 1178 km². Elle est délimitée :

- au Nord, par les formations du socle cévenol ;
- au Sud, par les pélites permienues et calcaires cambriens du lodévois ;
- à l'Est, par la vallées de l'Hérault ;
- à l'Ouest, par les formations plissées de la haute vallée de l'Orb.

Au-delà de l'analyse hydrogéologique de la masse d'eau concernée, l'étude vise également à analyser les besoins en eau potable des territoires concernés par ces masses d'eau.

Le territoire étudié dépasse ainsi les limites de la masse d'eau et s'étend sur trois départements : l'Hérault, le Gard et l'Aveyron. Il couvre 98 communes réparties comme suit :

- 72 communes sur le département de l'Hérault ;
- 19 communes sur le département du Gard ;
- 7 communes sur le département de l'Aveyron.

Parmi ces communes, certaines sont incluses dans leur globalité dans la zone d'étude, d'autres ne sont concernées que sur une superficie réduite.

1.2.2 Phasage de l'étude

L'étude comporte trois phases :

- **PHASE 1** : point sur les connaissances à partir d'une analyse bibliographique portant sur l'ensemble du territoire concerné ; doit permettre d'identifier et de confirmer les systèmes aquifères, ou des secteurs non délimités à ce jour, et à fort potentiel. intègre également une analyse des besoins actuels et futurs en eau potable (incluant une analyse critique des documents existants).

Finalité de la phase 1 :

- Présélectionner des unités aquifères au sein de la masse d'eau stratégique sur la base de critères et définir leur intérêt potentiel ;
- Faire le bilan de l'alimentation en eau potable actuelle et future sur le territoire de l'étude et des autres usages.
- **PHASE 2** : caractérisation des ressources identifiées comme stratégiques et permettant la validation des zones de sauvegarde (ZSE et ZSNEA).

Finalité de la phase 2 :

- Identifier, délimiter et décrire les zones de sauvegarde actuelles et futures ;
- Etablir pour chaque zone un bilan de sa situation en termes de potentialité, qualité, vulnérabilité, risque en fonction de l'évolution prévisionnelle des pressions d'usage et de l'occupation des sols, mais aussi de son statut actuel par rapport aux documents de planification, d'aménagement du territoire et d'urbanisme ;
- **PHASE 3** : proposition pour chaque zone de scénarios opérationnels pour la préservation des zones de sauvegarde.

Finalité de la phase 3 :

- Réfléchir aux mesures de protection à mettre en place sur ces zones pour garantir la qualité et la quantité de l'eau sur le long terme ;
- Réfléchir aux moyens d'action et/ou outils disponibles pour rendre opposable ces zonages.
- Identifier les porteurs de projet qui seront en mesure de communiquer et faire accepter, au sein de ces zonages, les règles de gestion et contraintes associées.

1.2.3 Recueil des données et informations

Pour la réalisation de l'étude, un nombre important de documents, études, thèses et bases de données a été consulté.

1.2.3.1 Bases de données

L'étude s'est appuyée sur les données disponibles, dont en particulier :

- Référentiel hydrogéologique BDLisa, fiches descriptives ;
- Bases de données de description des masses d'eau souterraine définies au titre de la DCE et fiches entités hydrogéologiques existantes ;
- Avis des hydrogéologues agréés et Déclaration d'Utilité Publique (ARS 34, 12 et 30) y compris cartographie papier des périmètres de protection de captages ;
- Base de données ADES et ouvrages de prélèvements AEP de l'Agence de l'Eau (fichier redevances) ;
- Base de données SISE-EAUX (captages AEP, captages abandonnés ou projets de captage, périmètres de protection) et bilan de la qualité de l'eau distribuée publiée par les ARS des trois départements concernés ;
- Banque de données du Sous-sol (BSS) ;
- Schéma départemental Eau potable
- SCOT
- Cartes géologiques au 1/50 000^e et leurs notices ;
- Cartes zones vulnérables ;
- Inventaire des traçages ;

- Schémas locaux d'adduction d'eau potable ;
- Schémas départementaux des carrières ;
- Données INSEE sur l'évolution de la population ;
- Occupation des sols (CORINE Land Cover) ;
- Observatoire régional des SPANCs ;
- Sites BASIAS et BASOL pour les sites industriels ;
- Etudes volumes prélevables ;
- Base de données prélèvements et forages agricoles ;
- Cartes et base de données des sols.

1.2.3.2 Etudes et thèses

En plus des sources d'information mentionnées ci-avant, ont été recherchés tous les rapports d'études, thèses, études hydrogéologiques locales spécifiques, rapports de travaux, rapports des délégataires, documents hydrologiques

1.2.3.3 Informations spéléologiques

Cette étude a également pris en compte les données mis à disposition par les clubs de spéléologie :

- Informations géoréférencées sur les grottes, cavités et réseaux spéléologiques ;
- Pour les réseaux les plus importants, données sur la présence d'eau ou non, le développement des réseaux, la présence ou non de siphons ...
- Données documentaires sur quelques grands réseaux spéléologiques (topographies, cartographie) ;
- Synthèses spéléologiques ;
- Entretiens et échanges avec des représentants ;
- Articles de revues scientifiques et de magazines spéléologiques.

1.3 Notions d'aquifère karstique

1.3.1 Le karst

Si les aquifères karstiques présentent fréquemment des potentialités importantes en termes de ressources en eau, cette ressource peut être sous exploitée du fait de la difficulté à la mobiliser sans connaissance de la géométrie des drains, de la localisation des réservoirs et des volumes stockés ainsi que des impacts potentiels sur les débits aux exutoires et les cours d'eau.

La karstification est un processus d'altération chimique et d'érosion mécanique (abrasion) qui permet la formation de vides karstiques, connectés et hiérarchisés, constituant une unité de drainage au sein de la roche originelle. Les roches concernées sont celles qui pourront être dissoutes directement par l'eau de pluie et surtout celles qui peuvent être dissoutes par l'eau infiltrée à travers le sol, ce qui regroupe l'ensemble des formations carbonatées (calcaires et dolomies).

Une caractéristique importante des paysages karstiques est l'absence ou la faiblesse des écoulements superficiels. La surface des plateaux est parsemée de reliefs et microreliefs sous la forme d'affleurements de calcaires nus creusés de cannelures (lapiatz), de dépressions fermées de petites ou moyenne tailles (dolines) ou plus vastes (poljés), de puits (avens, gouffres) ouverts sur le réseau karstique profond, de vallées sèches et de canyons (Figure 1).

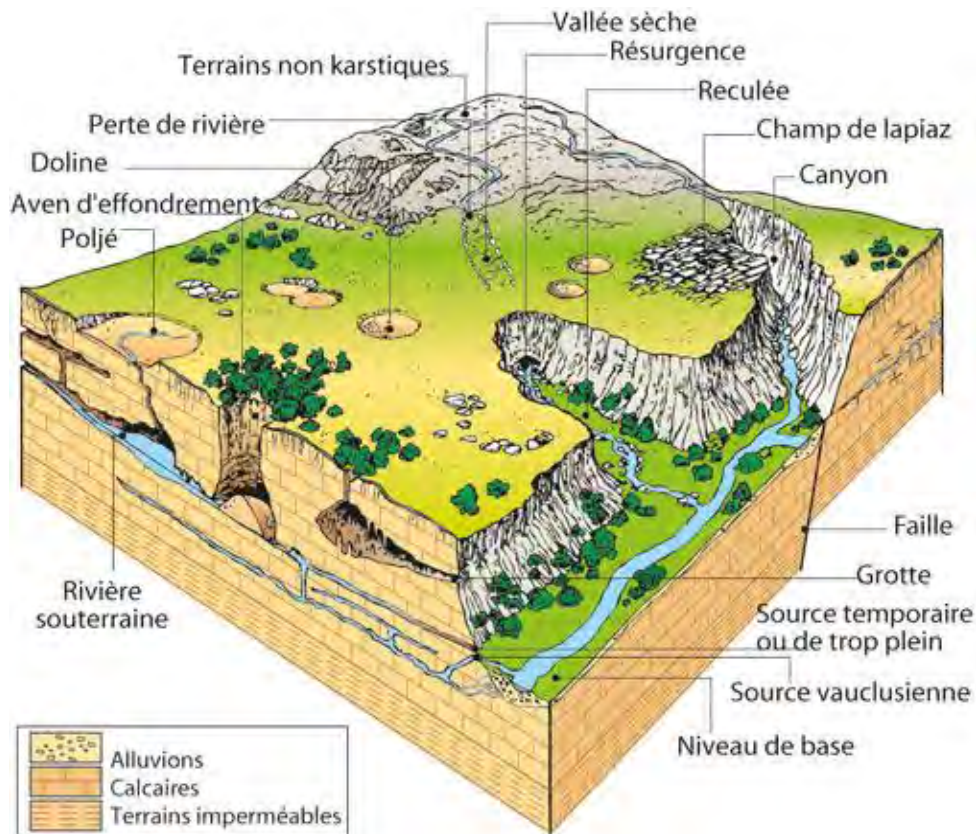


Figure 1 : Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz, 1999)

1.3.2 Typologie du karst

Les systèmes karstiques jurassiens ou vauclusiens caractérisent deux types de développement différents du réseau karstique, qui dépendent en partie de la géologie locale (lithologie, fracturation). Le conduit principal aboutissant à la source peut être disposé de deux façons différentes :

- Le drain principal est situé dans la partie supérieure de la zone noyée (source jurassique ou aquifère à drainage épiphréatique) ; l'écoulement peut y être localement libre, donc sans continuité hydraulique de l'aval vers l'amont dans la zone noyée. Un pompage dans le drain ne permet pas un rabattement sous son niveau ; son débit est alors limité par le débit naturel. Un pompage dans un système annexe au drainage peut autoriser un rabattement suffisant pour détourner l'écoulement du drain et pour solliciter une petite partie de la réserve. Le système annexe au drainage est alors utilisé en réserve tampon.
- Le drain principal est situé plus ou moins profondément dans la zone noyée (source vauclusienne ou aquifère karstique phréatique profond) ; l'écoulement dans le drain est en pression. Il constitue une continuité hydraulique de l'aval vers l'amont, ce qui autorise des rabattements sous le niveau de base, sollicitant, sinon l'ensemble, du moins une

grande partie des réserves de la zone noyée. Il est alors possible d'extraire des débits supérieurs aux débits naturels de la source : l'aquifère peut être surexploité temporairement, en fonction de ses ressources et de sa capacité de stockage.

Sur notre secteur d'étude, les deux types de systèmes sont présents.

Le karst inclut quatre zones qui sont du haut vers le bas :

- **L'épikarst** qui concentre et stocke une partie des infiltrations depuis la surface.
- **La zone d'infiltration composée de :**
 - **La zone vadose** (non saturée) qui transfère les écoulements vers la zone noyée ou le soubassement imperméable (aquiclude). La circulation y est verticale.
 - **La zone épinoyée** qui est la zone de battement de la nappe (variation du niveau de la nappe entre les périodes d'étiage et de crue).
- **La zone noyée** (saturée) qui se développe principalement à l'aval. Elle s'organise autour d'un axe de drainage ou d'un réseau de conduits karstiques en relation avec la roche encaissante, fissurée et pouvant comprendre des vides de grande taille organisés en ensembles individualisés appelés systèmes annexes au drainage (Mangin).

Dans les zones non saturée et saturée, une partie de l'eau d'infiltration circule rapidement par un système de fractures et de conduits suffisamment larges (quelques jours), et l'autre partie circule plus lentement par un système de fines fissures (quelques semaines ou mois). C'est ce retard à l'infiltration qui assure la pérennité des débits aux sources karstiques.

1.3.3 Fonctionnement du karst

1.3.3.1 Mode de recharge

On distingue classiquement deux types d'alimentation : une alimentation par les précipitations sur la zone de recharge de l'aquifère et une alimentation par les pertes de rivières allochtones, c'est-à-dire les rivières qui drainent des terrains non karstiques avant de rejoindre l'aquifère karstique.

Infiltration des précipitations → système unaire

Deux types d'écoulements sont souvent distingués : une infiltration lente avec un stockage temporaire possible (aquifère épikarstique) et une infiltration rapide et concentrée qui utilise et élargit les discontinuités sub-verticales de l'épikarst pour rejoindre rapidement la zone saturée (ou zone noyée) du karst sans nécessairement recharger de manière significative les volumes peu perméables de la zone non saturée. Ces écoulements rapides acheminent en profondeur une eau ayant un plus fort pouvoir de dissolution et de karstification. L'infiltration peut aussi pousser de l'eau déjà présente et plus minéralisée (effet piston), ce qui se manifeste par des pics de minéralisation à l'exutoire.

En surface, il est fréquent d'observer des vallées sèches qui témoignent d'un abandon des structures d'écoulement de surface au profit d'un drainage souterrain au fur et à mesure que la karstification s'est développée. L'orientation de ces vallées ainsi que la distribution spatiale des manifestations karstiques (dolines, poljés, cavités, ...) sont des indices de l'organisation de la karstification passée ou actuelle qui peuvent donc être utilisées pour comprendre le fonctionnement du karst pour différentes conditions hydrogéologiques.

Pertes de rivière → système binaire

Le cas d'une recharge par une rivière allochtone s'apparente au cas d'une infiltration concentrée et rapide puisque les écoulements de surface provenant d'un bassin versant généralement non karstique (fort pouvoir de dissolution) vont s'infiltrer rapidement à la faveur de pertes diffuses ou ponctuelles en liaison directe avec le réseau karstique. Dans ce cas, le système karstique reçoit des eaux précipitées sur une autre surface et la notion de système karstique est étendue pour inclure cette surface : le système est alors qualifié de système karstique binaire (Mangin, 1978). La structure de drainage karstique est l'élément essentiel qui va contrôler la dynamique des échanges entre le karst et la rivière.

1.3.3.2 Vulnérabilité de la ressource à la pollution

La circulation des eaux souterraines peut être très rapide entre la zone de recharge et l'exutoire. La forte perméabilité en grand des terrains karstiques se traduit souvent par des pertes partielles ou totales des cours d'eau qui les traversent, ce qui rend les aquifère karstiques extrêmement vulnérables à une pollution chronique ou accidentelle en surface. En cas d'exploitation AEP, cette forte vulnérabilité justifie l'installation de système d'alerte de pollution en amont des zones de pertes de rivière. Le réseau d'adduction doit dans ce cas avoir assez d'autonomie pour subvenir aux besoins AEP tant que le critère de qualité défini par la réglementation sur les eaux brutes n'est pas atteint.

La vulnérabilité vis-à-vis d'une pollution accidentelle doit être relativisée compte tenu de l'élimination rapide du polluant dès qu'il atteint le réseau de conduit, ou bien de sa forte dilution/dispersion si la pollution se produit loin du réseau. Les impacts qualitatifs des pollutions liés aux échanges karst-rivière sont définis selon leur caractère diffus ou ponctuel et à plusieurs échelles :

- L'impact d'une pollution des eaux de la rivière sur les eaux souterraines (vulnérabilité des pompages ayant une plus ou moins forte dépendance vis-à-vis du réseau superficiel) aura un caractère local aussi bien dans le cas d'une pollution ponctuelle que diffuse.
- L'impact des pollutions des eaux souterraines sur la qualité des eaux de surface implique la vulnérabilité des usages en aval de la rivière, la dégradation de la qualité des eaux de surface et de son état écologique ; ce type d'impact peut-présenter un caractère local dans le cas d'une pollution ponctuelle sur l'ouvrage d'exploitation, ou régionale dans le cas d'une pollution diffuse.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La masse d'eau FRDG125 est située à cheval sur trois départements : l'Hérault, le Gard et l'Aveyron. Elle s'étend principalement sur la partie Nord du département de l'Hérault. L'Aveyron (côté Ouest) et le Gard (côté Est) sont concernés pour la partie Nord de la masse d'eau. Au Sud-Ouest, la masse d'eau inclut le bassin lodévois.

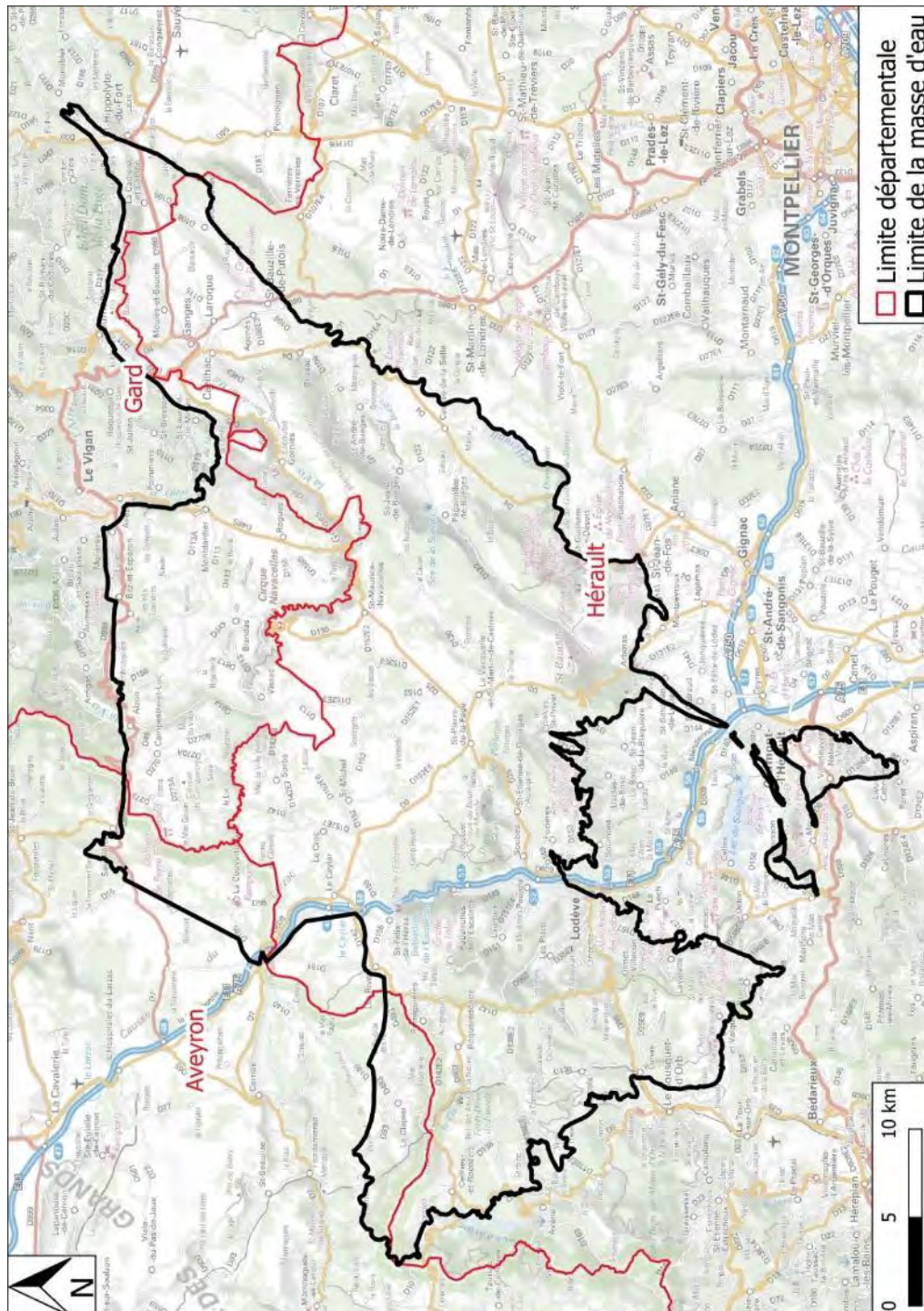


Figure 2 : Extension territoriale de la masse d'eau FRDG 125

La masse d'eau FRDG125 est principalement située entre les fleuves de l'Hérault et de l'Orb. Sa limite Est correspond en effet au tracé du fleuve Hérault qui est considéré comme drainant globalement la

ME et correspond ainsi à une limite à échange nul. Cette limite va de St-Jean-de-Fos à St-Hippolyte-du-Fort, en suivant le cours de l'Hérault jusqu'à St-Bauzille-de-Putois, puis la bordure orientale du bassin de Montoulieu.

Sa limite Nord passe par Saudière – Avèze – Montardier et Saint-Hippolyte-du-Fort. Sa limite Nord-Ouest correspond à la limite de partage des eaux entre le Larzac méridional drainé vers la Méditerranée et le Larzac septentrional drainé vers le Tarn et l'Atlantique. Cette limite est assez incertaine. Elle sera considérée dans cette étude comme celle définie dans le projet de SDAGE 2022-2027 qui exclut cependant les bassins hydrogéologiques qui alimenteraient la Sorgue. Cette limite passe globalement par Ceilhes-et-Rocozels, le Caylar et Saudière. Sa limite Ouest correspond au contact des monts de l'Escandorgue et des formations de socle en rive gauche de l'Orb.

La limite Sud correspond à la terminaison des reliefs calcaires dans la Plaine de l'Hérault (au Nord d'Aniane), passant par le Pont du Diable – Arboras - Saint-Guiraud – Lodève – Mérifon et Le Bousquet-d'Orb.

2.1 Cadre géologique

2.1.1 Description des formations géologiques

Cette masse d'eau est composée de plusieurs grands ensembles individualisés (causses karstiques) :

- La partie Nord, constituée par le Larzac méridional et son prolongement oriental (Causse de Campestre et de Blandas). Cette unité est constituée de calcaires et dolomies du Jurassique moyen et supérieur. Le plateau du Larzac, très faiblement déformé, est seulement affecté par quelques accidents de type cassant.
- Le massif de la Séranne, uniquement formé de calcaires et dolomies du Jurassique supérieur. Ces terrains constituent une épaisse formation de calcaire qui a recouvert la bordure cristalline du seuil Caussenard. Sa morphologie élevée est liée aux deux faisceaux de failles qui l'encadrent et ont permis sa surrection.
- Le Mont de St Guilhem, caractérisé par une forte prédominance des dépôts carbonatés du Jurassique moyen et supérieur.
- Le massif de l'Escandorgue, constituant une unité plus isolée à l'Ouest de Lodève. A l'inverse des autres causses, cette unité est constituée par des calcaires dolomitiques du Jurassique inférieur (Hettangien et Carixien). Le massif est partiellement recouvert de coulées basaltiques issues d'anciens volcans.

L'abondance et la grande épaisseur des formations carbonatées, associées à une fracturation importante, ont constitué une architecture initiale favorable à la karstification. La dolomie est réputée peu karstifiable, mais considérée comme un bon aquifère à forte porosité matricielle, constituant ainsi le stockage des karsts de la région. En fait, la dolomie apparaît tantôt très bien karstifiée (grotte de Clamouse, systèmes karstiques des Cents Fonts) tantôt pas du tout.

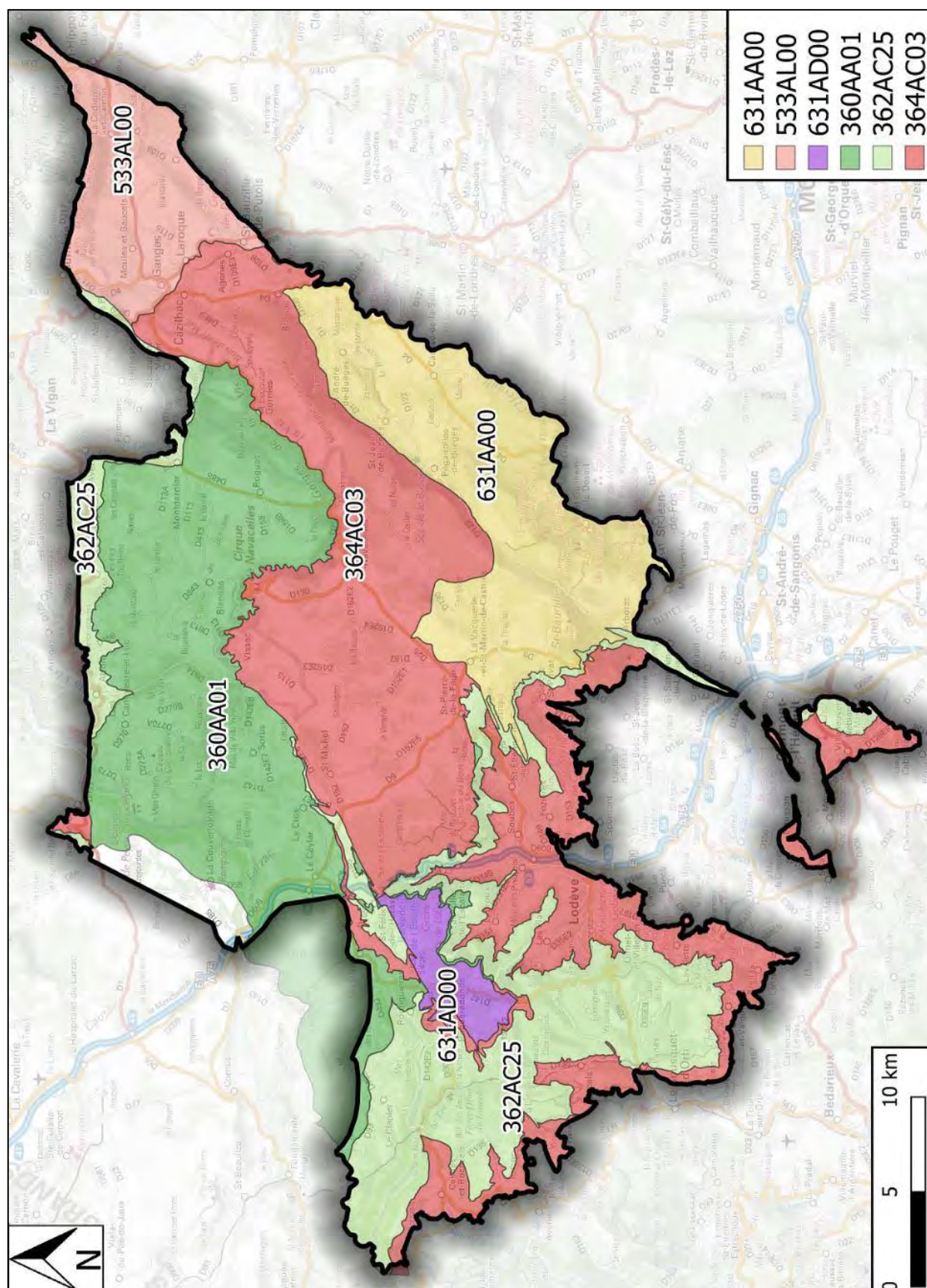


Figure 3 : Entités BDLISA présentes sur la masse d'eau FRDG 125

Cette masse d'eau est constituée par le regroupement de 10 entités hydrogéologiques relativement individualisées les unes des autres, tant géographiquement (réseaux hydrographiques, reliefs) que géologiquement (failles, horizons imperméables), avec d'Est en Ouest :

- Entité 141A3 : Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et du Taurac ;
- Entité 334A : Alluvions de l'Hérault dans le secteur de Ganges - Saint Bauzille de Putois ;
- Entité 141A1 : Calcaires jurassiques de la Séranne en rive droite de la Vis ;
- Entité 141A0 : Calcaires jurassiques de la Buèges-Saint-Guilhem ;
- Entité 141A2 : Calcaires jurassiques du Larzac méridional de Saint-Michel à Saint-Pierre-de-la-Fage ;
- Entité 141B : Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac et du Causse de Blandas ;
- Entité 141C : Calcaires jurassiques de la terminaison méridionale du Larzac au Nord de Lodève ;
- Entité 141E : Marnes du Lias supérieur de la région des Grands Causses ;
- Entité 141F : Calcaires du Lias inférieur de la région des Grands Causses ;
- Entité 141G : Calcaires, grès, et marnes triasiques de la région des Grands Causses.

Les formations constituant les systèmes aquifères sont les suivantes :

- Crétacé inférieur (Berriasien, Valanginien) (épaisseur <250 m) : marnes recouvrant la partie centrale de l'entité 141A3, limitant voire empêchant l'apparition de phénomènes de type karstique.
- Jurassique moyen et supérieur (épaisseur maximale 700m) : calcaires dolomies et marnes (141A3, 141A1, 141A0, 141A2, 141B, 141C). Les marnes oxfordiennes sont absentes dans l'entité 141C. C'est une série aquifère à structure tabulaire très fracturée, diaclasée, parfois karstifiée (moindre karstification pour les dolomies), présentant une porosité de chenaux, de fissures et d'interstices (porosité matricielle surtout pour les dolomies), avec présence de nappes perchées. La ressource naturelle est importante, peu sollicitée mais la disponibilité est inégalement répartie et elle est difficile à mobiliser.
- Jurassique inférieur - marnes du Lias terminal (141E) (épaisseur 0 à 100m) : formations semi-perméables voire imperméables, parfois absentes dans l'emprise de leurs extensions. Elles peuvent constituer le substratum des formations du Jurassique supérieur et moyen, mais ce niveau semi-perméable n'est pas continu et permet le transfert d'eau entre l'aquifère supérieur et l'aquifère liasique inférieur (141F).
- Calcaires du Lias (141F) (épaisseur > 200m) : constitue un aquifère libre au niveau des affleurements et captif sous couverture dans la plus grande partie de son extension. La ressource naturelle est importante, peu sollicitée mais la disponibilité est inégalement répartie et elle est difficile à mobiliser.
- Trias - calcaires, grès et marnes du Trias (141G) : l'entité constitue un aquifère libre au niveau des affleurements et captif sous couverture. La ressource de l'aquifère est limitée. Cette entité présente des niveaux argileux qui peuvent constituer le substratum des entités supérieures.

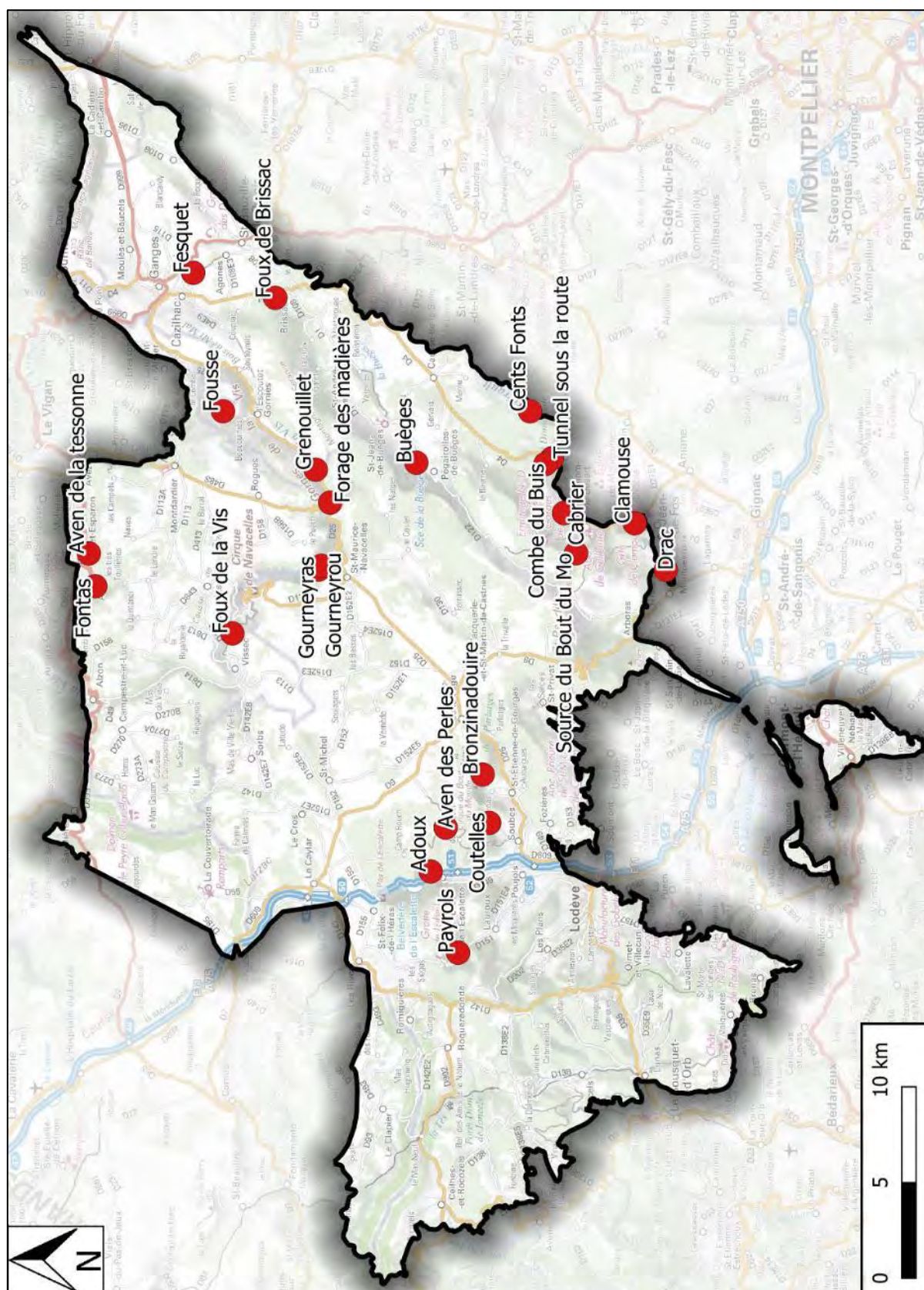


Figure 4 : Localisation des principaux exutoires karstiques du secteur

La recharge se fait principalement par infiltration des eaux superficielles mais aussi de façon concentrée par les pertes :

- pertes du Rieutord (Calcaires et marnes jurassiques et crétacés du Gangeois et du Taurac - 141A3) ;
- pertes de la Vis, pertes de la Vissec (Calcaires jurassiques de la Séranne en rive droite de la Vis - 141A1) ;
- pertes de la Buèges (Calcaires jurassiques de la Bègues-Saint-Guilhem - 141A0).

Les nappes sont libres sur les zones d'affleurement, et souvent captives sous les marnes supra-liasiques (141E) pour les calcaires du Lias inférieur de la région des Grands Causses (141F) et les calcaires, grès, et marnes triasiques de la région des Grands Causses (141G).

Les exutoires majeurs sont les sources du bois de Coutelle, de la Clamouse (1 m³/s), du Foux de la Vis (1 m³/s), de la Buèges (1 m³/s), des Cents Fonts (1 m³/s), de Lasfont et de l'Avèze de Brissac (1.5 m³/s).

2.1.2 Fracturation

L'étude des axes de fracturation est essentielle puisque ces structures sont généralement à l'origine des directions d'écoulement privilégiées des écoulements souterrains. La fracturation sur le secteur d'étude s'organise principalement sur la base d'accidents d'orientation Nord-Est/Sud-Ouest. Ces accidents peuvent jouer le rôle de failles-drains ou de failles-barrières.

Les accidents tectoniques (failles et contacts) qui en apparence, compartimentent et isolent morphologiquement certaines unités ne constituent pas toujours un obstacle aux eaux souterraines qui, dans bien des cas, peuvent les franchir en hautes-eaux.

D'un point de vue tectonique, deux phases majeures sont à noter :

- Une phase de compression dite pyrénéenne (fin du Crétacé supérieur). La tectonique compressive s'est manifestée par la mise en place ou la réactivation d'une série d'accidents verticaux;
- Une phase oligocène de distension avec des accidents subméridiens qui se traduit par la présence de fossé d'effondrement.

Les axes de fracturation (fractures et failles) ont été extraits des cartes géologiques du BRGM au 1/50000ème (Figure 5).

Les failles sont particulièrement bien visibles dans les formations carbonatées. La densité des failles cartographiées est ainsi particulièrement importante dans la partie Est du secteur, occupée par les grands causses et les garrigues nord-montpelliéraines. Á l'Ouest de Lodève, la fracturation est moins importante.

Les principaux axes de fracturation sont les suivants :

- des fractures majeures d'orientation dominante NE-SO ;
- des structures conjuguées d'orientation NS et EO.

La partie Nord-Est de la masse d'eau est délimitée par la faille de l'Arre. La faille marque le passage du substratum anté-permien, constitué par les Cévennes cristallines, aux formations calcaires du Malm, constituées par les Causses de Blandas et de Campestre. La faille est orientée E-O depuis Cernon jusqu'à la commune d'Arre. Le cours d'eau de l'Arre suit d'ailleurs cet axe de fracturation majeure.

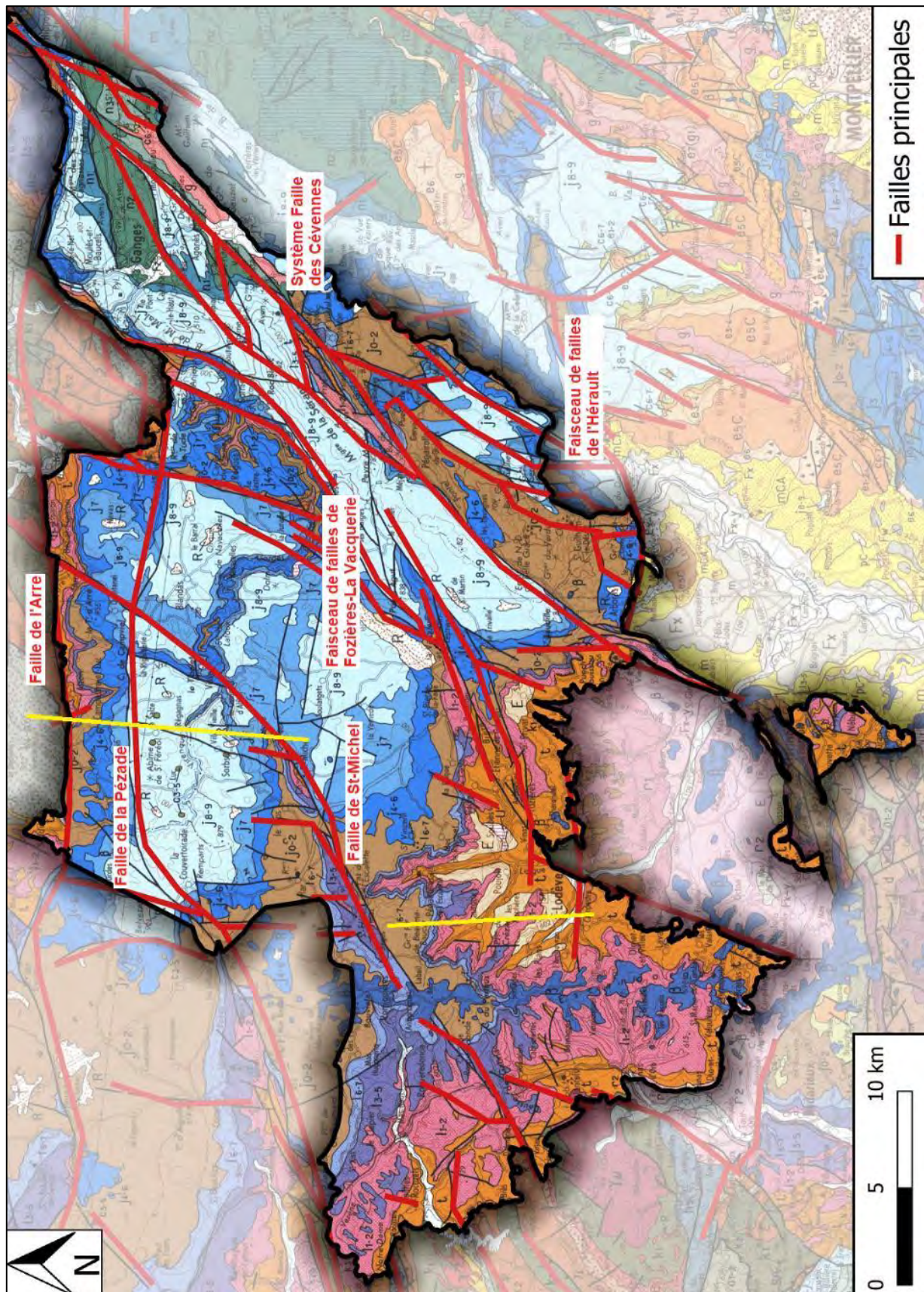


Figure 5 : Failles et fractures majeures affectant le secteur (carte géologique BRGM au 1/250000)
(légende de la carte en page suivante ; en jaune : tracés des coupes des figures suivantes)



Les failles de la Pézade et de St Michel prolongent des lignes structurales très marquées des terrains paléozoïques des Monts de Lacaune. Leur partie méridionale est de direction OSO-ENE. Leur partie septentrionale s'amortie dans les terrains du Malm (jurassique supérieur) selon une direction NO-SE.

Plus au Sud, la fracturation est très importante. Le massif de la Séranne est une zone de compression liée à deux faisceaux de failles d'orientation NE-SO : au Sud, le prolongement de la faille des Cévennes et au Nord un faisceau de failles nommé faille de Fozières-La Vacquerie. Ces failles sont reliées à la surrection du massif.

À proximité des gorges de l'Hérault, les terrains sont affectés par de nombreuses failles plurikilométriques aux rejets verticaux notables. Le faisceau de failles de l'Hérault compartimente en mailles serrées les structures géologiques. Elles ont permis de structurer les garrigues nord montpelliéraines en diverses petites unités géologiques constituant un ensemble fracturé et plissé.

La Figure 6 illustre la complexité géologique et hydrogéologique des systèmes aquifères reliée à la compartimentation des unités (fracturation et déformation) et à l'intense karstification affectant les séries carbonatées.

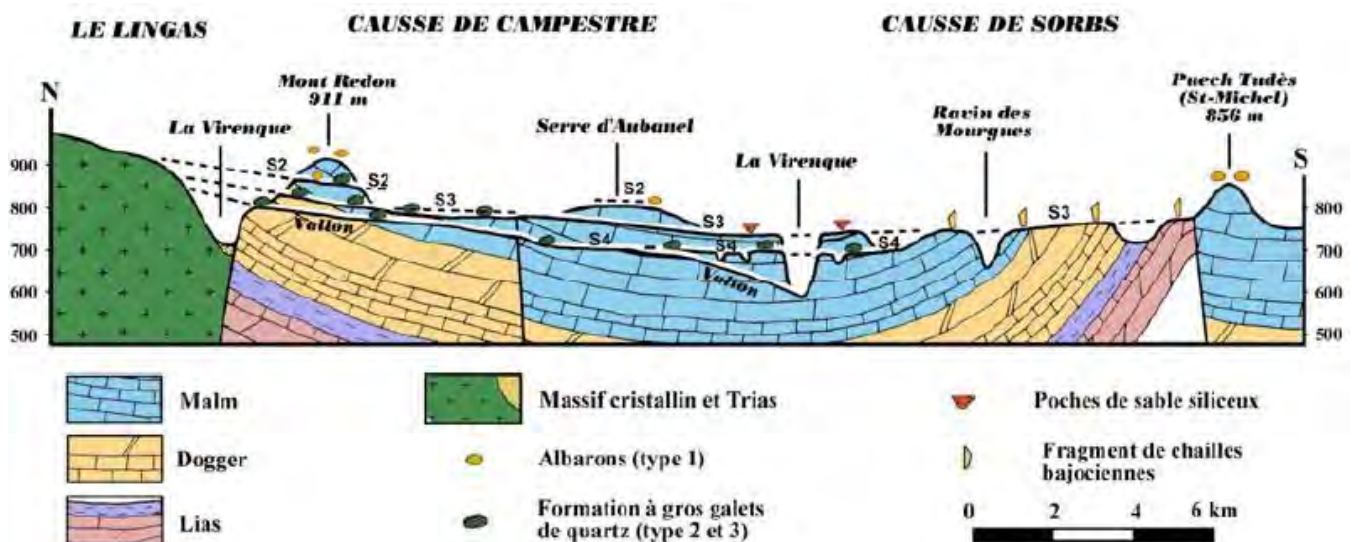


Figure 6 : Coupe géologique synthétique à travers les Causses de Campestre et de Sorbs (orientée selon le trait jaune Est de la Figure 5 ; coupe de Géoter-Bruxelles, 2013)

La Figure 7 illustre quant à elle le contexte géologique d'émergence des sources du Nord-Lodévois. La structure géologique induit l'existence d'aquifères superposés, plus ou moins connectés, pouvant parfois s'alimenter par drainance descendante.

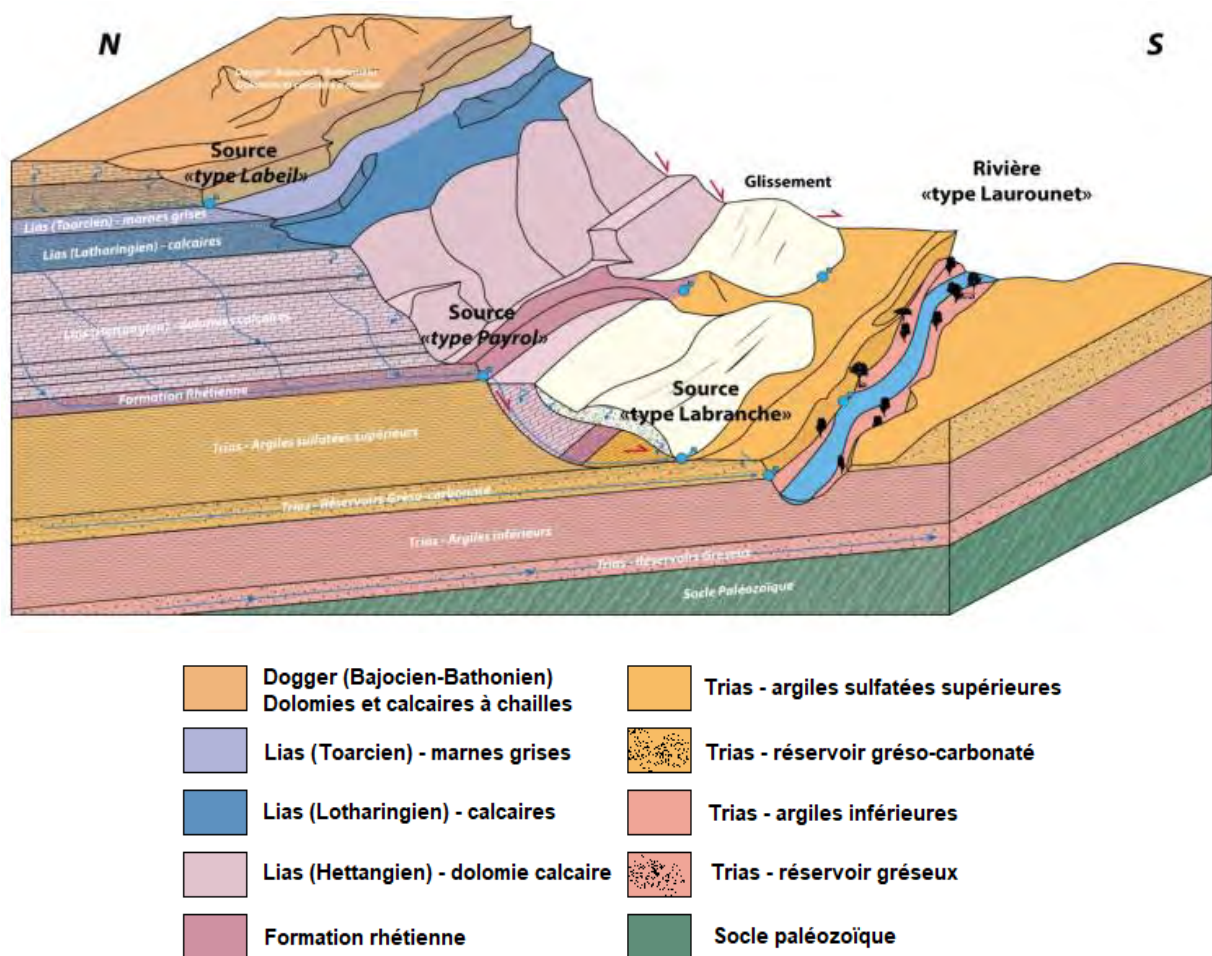


Figure 7 : Contexte géologique d'émergence des sources du Nord-Lodévois (tracé approximatif selon le trait jaune de la Figure 5) (bloc diagramme d'ANTEA, 2016)

2.2 Contexte hydrogéologique

2.2.1 Phases de karstification

Selon Camus (1997), le creusement des réseaux souterrains karstiques obéit aux mêmes lois générales que la géomorphologie, mais avec certaines spécificités tectoniques comme les fractures et joints plus ou moins ouverts qui permettent l'infiltration des eaux et la structuration verticale des systèmes karstiques.

L'étude des vallées et réseaux karstiques de la bordure méridionale du Larzac par Camus (1997) détaille la mise en place des différents niveaux karstiques étagés, leur morphologie et leur éventuel remplissage subséquent.

Selon Camus (1997), les séries litho-stratigraphiques karstifiables se développent au-dessus des calcaires siliceux et des marnes de l'Aalénien (début Dogger / Jurassique moyen) qui constituent le mur de l'aquifère. Les séries karstifiables sont les dolomies et les calcaires à chailles du Dogger (Bajocien, Bathonien), les calcaires sublithographiques de l'Oxfordien et les calcaires récifaux du Malm (Kimméridgien et Portlandien à faciès tithonique coralligène). Selon cet auteur, l'évolution générale des réseaux karstiques de ce secteur serait la suivante :

- Héritage du Crétacé. Les grandes vallées comme la Vis ou le Tarn se sont formées au cours du Tertiaire (en particulier durant sa seconde moitié), à partir d'un paysage karstique déjà très évolué hérité du Crétacé supérieur (Santonien-Campanien ; -80 Ma).
- Période anté-miocène des dépressions endoréiques et grands poljés. Les grands poljés sont des dépressions endoréiques plurikilométriques qui se sont installées sur des déformations ou des contacts structuraux susceptibles d'avoir affecté la paléo-topographie, en particulier le long des failles de direction pyrénéenne (SO-NE). Ils ont également exploité les déformations structurales bartoniennes (ex. anticlinorium de la Buèges, Monts de St-Guilhem), voire des structures plus anciennes (ex. bassin sédimentaire de St-Martin de Londres). Les buttes karstifiées de la surface sommitale des massifs de la Séranne ou de la Sellette, témoignent de ce stade de l'évolution. Cette mosaïque de dépressions basales et de reliefs coniques a évolué par retouches successives pendant les crises tectoniques du Tertiaire, de la phase bartonienne (milieu de l'Éocène) à la mise en place des fossés oligocènes. Lorsque l'Hérault et la Vis commencent à se creuser, ils s'emboîtent dans une paléo-topographie déjà évoluée qui guide en premier lieu les grands axes de drainage à partir des bordures plates de poljés.
- Niveaux des 450-500 mNGF et début du creusement des vallées. Il s'agit du stade initial du creusement superficiel s'inscrivant dans un géosystème karstique organisé en réseaux d'échelle régionale à gros débits et forte compétence de charge. Les reliefs hérités de l'évolution paléogène (Séranne, Sellette, Bois de Monier), façonnés dans les faciès récifaux, en font des barrières difficilement franchissables par les cours d'eau aériens qui déblaient de façon préférentielle les planchers des poljés. Le niveau des Grandes Galeries de la Leïcasse rappelle une paléo-percée mettant en communication le poljé de St-Maurice et le paléo-poljé du Pays de Buèges (vers 400 - 500 mNGF actuel). A l'aval (paléokarst de l'Arbousier), le niveau de base est représenté par la vallée de l'Hérault à peine incisée et circulant à la surface de la plaine karstique du Causse de la Selle qui vient se raccorder au niveau marin du Miocène moyen.
- Première phase d'incision des canyons au Miocène moyen-supérieur. Dans la continuité, l'enfoncement du réseau hydrographique de surface individualise le massif de la Séranne. C'est la fin des poljés en escalier et de l'hydrosystème d'échelle régionale, de même que l'établissement des hauts niveaux des vallées sèches des Natges et du Pontel et des grands réseaux à conduites forcées (argiles litées) à 400 mNGF. Les karsts de la Séranne sont déconnectés de leur amont fluvial par l'incision du canyon de la Vis. Ce creusement ne se fait que sur les grands axes d'écoulement (Hérault et Vis), les affluents et les vallées périphériques n'existant pas encore. Cette incision est suivie par une période calme de développement horizontal des conduites forcées qui s'achève par un dérèglement climatique entraînant le décapage des sols et le colmatage des conduites forcées (à l'altitude 400 mNGF).
- Crise messinienne. Sa connexion étant fermée avec l'Atlantique, le niveau de la Méditerranée baisse de façon importante durant près de 0.5 Ma (jusqu'à un quasi assèchement). Cet abaissement du niveau de base marin induit un surcreusement important du lit des fleuves méditerranéens. Suite à l'ouverture du détroit de Gibraltar, la Méditerranée se remet brusquement en eau, entraînant un comblement plus ou moins argileux de toutes les rias des fleuves méditerranéens jusqu'à une cote d'environ 50 mNGF. L'Hérault n'a développé quant à lui qu'une vallée messinienne assez modeste et a donc vraisemblablement gardé son profil de creusement hérité du Miocène moyen-supérieur. Les écoulements se faisaient donc principalement par des systèmes karstiques profonds. Les sources vauclusiennes actuelles de ce secteur (systématiquement situées dans des canyons anté-messinien ou messinien)

comme pour la source du Lez) correspondent aux pertes qui prenaient place dans ces cours d'eau au Messinien. Les réseaux correspondants sont profonds (entre -75 m et -120 m reconnus) et bien développés (plurikilométriques).

- Évolution plio-quaternaire et réorganisation des paléos-drains. Au Plio-Quaternaire, le réseau hydrographique présente une incision fluviale sensible et un élargissement des gabarits lié au recul des versants soumis à la gélifraction. Le niveau de base est encore assez élevé ce qui témoigne de la faible amplitude du soulèvement et confirme le rôle d'un dérèglement climatique dans la réorganisation des écoulements endokarstiques et de leurs régimes. Une translation des drains principaux s'observe en relation avec le recul des têtes de vallées initiateur de la migration des points d'émergence. L'érosion régressive prend le pas sur l'incision linéaire. L'amplitude entre le niveau de la première génération de surcreusement et celui du système actuel serait de l'ordre de 100 m au maximum, soit un soulèvement vertical du secteur de l'ordre de 120 à 130 m pour tout le Quaternaire.

2.2.2 Inventaires des cavités

Les cavités naturelles sont des marqueurs du développement des réseaux souterrains. L'analyse des cavités souterraines est importante pour la compréhension du fonctionnement hydrogéologique d'un système karstique puisqu'elle considère les dolines, pertes, avens et grottes qui sont autant de points de manifestation de la karstification et de l'infiltration possible des eaux superficielles.

Une synthèse des cavités souterraines a ainsi été réalisée en utilisant :

- les données disponibles sur le site Infoterre-BRGM ;
- les données des différents inventaires spéléologiques disponibles sur internet tel que grottocenter. Ces données détaillent la profondeur et le développement des principales cavités souterraines.

La localisation des cavités permet d'identifier les formations et les secteurs pouvant laisser s'infiltrer les eaux superficielles de façon directe et ainsi constituer des zones sensibles vis-à-vis des pollutions. La distribution spatiale des cavités est très variable.

Le système des Cent Fonts présente par exemple un nombre particulièrement important de cavités reconnues. Ceci peut s'expliquer par la nature des formations géologiques et la tectonique les ayant affectées. Ceci peut cependant aussi comporter une part d'artéfact de connaissances, dû à un plus grand nombre d'études et de reconnaissances ayant eu lieu sur ce territoire.

2.2.2.1 Données Infoterre

Selon la base de données infoterre du BRGM, les cavités (Figure 8) sont principalement localisées dans les formations jurassiques. Les cavités sont absentes ou peu nombreuses dans les formations crétacées, signe que ces secteurs sont moins karstifiables. Les Causses de Campestre et de Blandas présentent une bonne densité de cavités. L'extrémité Sud du Larzac méridional présente, étonnamment, peu de cavités. À l'Ouest de Lodève, il y a peu de cavités, la grande majorité des cavités étant située sur le plateau de l'Escandorgue.

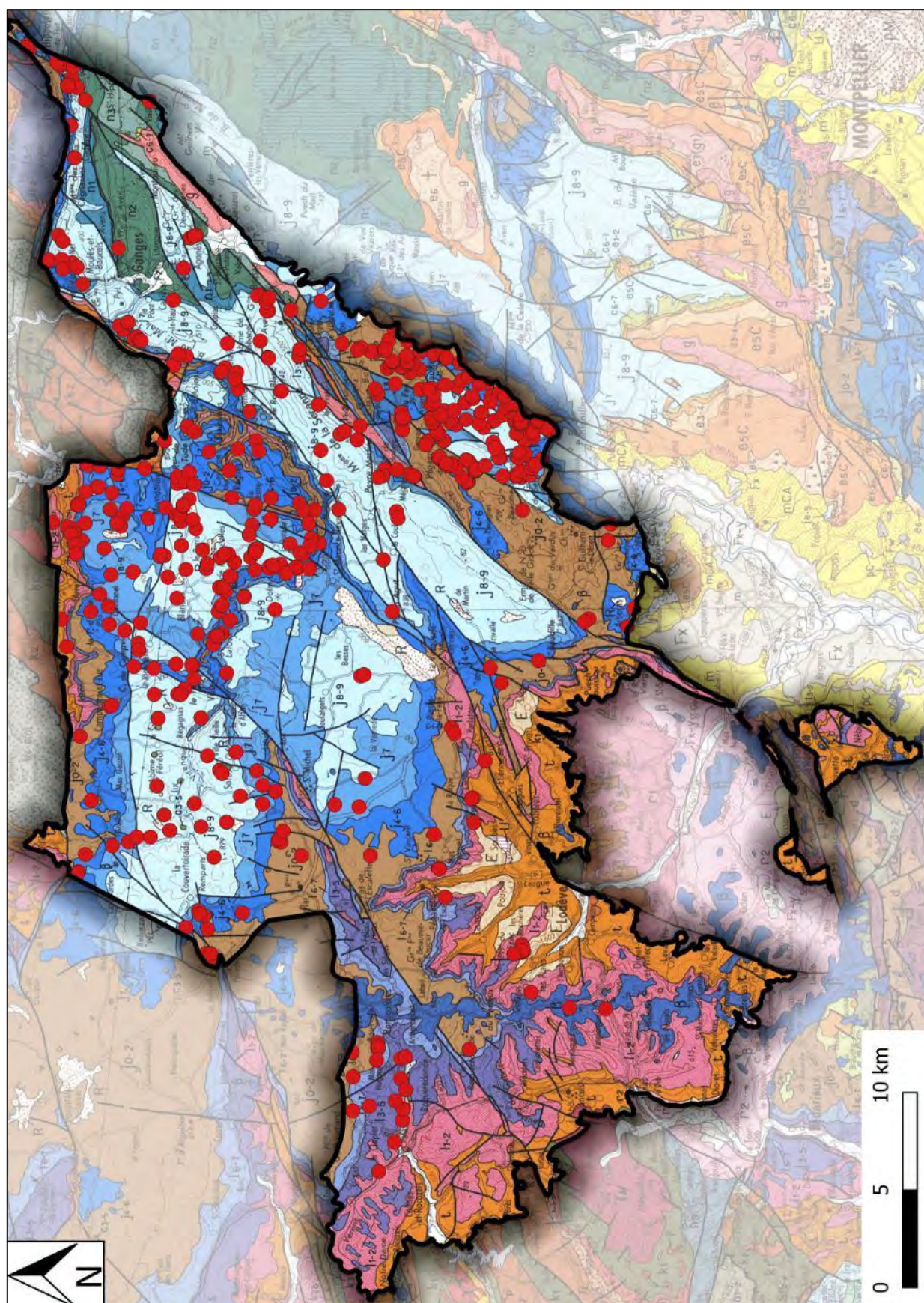


Figure 8 : Illustration de la densité de cavités naturelles reconnues (Banque du Sous-Sol - Infoterre-BRGM)

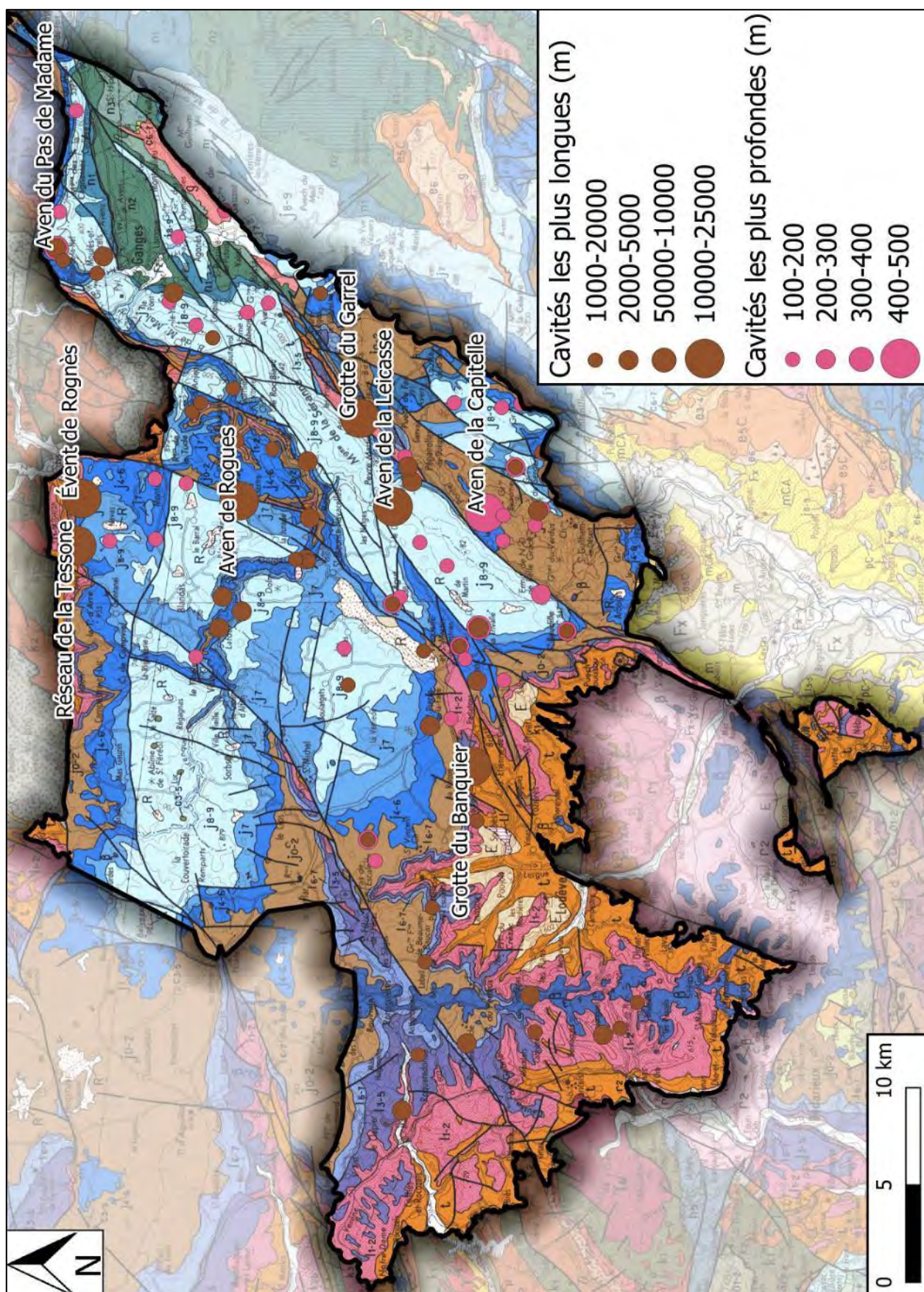


Figure 9 : Localisation des cavités les plus importantes en longueur ou en profondeur

2.2.2.1 Données spéléologiques

De nombreux sites internet présentent un recensement (non exhaustif) des cavités. Les cavités renseignées par ces différents sites ont été importées sous SIG. Les cavités sont classées par catégorie en fonction de leur développement et de leur profondeur. La profondeur et la longueur des cavités est en effet un témoin des manifestations karstiques actuelles ou passées.

La liste des cavités naturelles les plus profondes recense les cavités souterraines dont le dénivelé est supérieur ou égal à cent mètres. La plus profonde cavité souterraine naturelle répertoriée dans cette masse d'eau est l'aven de la Capitelle, sur la commune de Saint-Guilhem-le-Désert, avec une profondeur de 407 m. Cet inventaire illustre l'importance du développement en profondeur des réseaux karstiques et le potentiel d'existence de réseaux karstiques noyés pouvant constituer des ressources exploitables.

La liste des cavités naturelles les plus longues recense les cavités (explorées) dont la longueur est supérieure ou égale à mille mètres. La plus longue cavité souterraine naturelle répertoriée dans cette masse d'eau est l'aven de la Leicasse, sur la commune de Saint-Maurice-Navacelles, qui présente un développement exploré de 16.5 km. D'autres cavités ont une longueur supérieure à 10 km. Ces cavités sont l'Event de Rognès, le réseau de la Tessonne et l'Aven de Rogues situés sur le Causse Blandas, ainsi que la Grotte du Banquier appartenant à la terminaison Sud du Causse du Larzac.

Certaines cavités sont présentes dans l'inventaire spéléologique mais absentes dans la base de données infoterre du BRGM.

La densité des cavités est importante sur la partie Est des Causses.

2.3 Directions d'écoulement et piézométrie

2.3.1 Traçages

Les circulations souterraines sont globalement peu renseignées et incertaines. La nature des formations géologiques, le type d'aquifère karstique et la superficie de la masse d'eau ne permettent pas de réaliser une carte piézométrique réaliste. Les données des traçages par coloration sont ainsi essentielles à la compréhension des écoulements aux échelles locales à régionales. Les traçages permettent de prouver ou non l'existence de connexions hydrauliques entre les unités et les exutoires pour différentes conditions hydrologiques, l'existence de relations entre des pertes et un exutoire, ainsi que les limites du bassin d'alimentation d'une source ou d'un captage. Le bassin d'alimentation d'une source peut varier au cours d'un cycle hydrologique et ne pas correspondre au bassin versant topographique.

L'ensemble des traçages disponibles au travers des bases de données et rapports a été collecté et mis en carte sous SIG. Les sources d'informations sur les traçages sont nombreuses. Les principales études répertoriant des traçages à grande échelle sont les suivantes :

- Formation des réseaux karstiques et creusement des vallées : l'exemple du Larzac méridional (Hérault, France). Camus H. Revue Karstologia. 1997.

Les traçages sont répertoriés dans cet article au moyen d'une cartographie schématique ainsi que d'un tableau listant les principaux traçages réalisés (24 traçages figurent dans le tableau). Tous les traçages représentés sur la carte n'apparaissent pas dans le tableau, et les informations transcrites dans le tableau sont assez succinctes : point d'injection, restitution, temps, vitesse, distance, dénivellation.

- Recherche en eau souterraine sur le département de l'Hérault. Présentation des systèmes karstiques de la moyenne vallée calcaire de l'Hérault. Rapport BRGM R40688. Juillet 1999.

37 traçages sont mentionnés sur la zone d'étude, avec les informations suivantes : date des traçages, coordonnées des sites d'injection et de restitution, ainsi que des données plus techniques comme la quantité de traceur injectée, le mode de détection, la distance rectiligne entre les points d'injection et de restitution, le temps et la vitesse.

- Étude préliminaire des aquifères patrimoniaux karstiques du bassin RMC. Ensemble « Causses Nord Montpelliérains ». ANTEA-BURGEAP. Juin 2000.

21 traçages sont renseignés en annexe. Seuls les coordonnées et le lieu des infiltrations et restitutions sont indiqués.

Enfin, plus récemment, différentes études fournissent des informations équivalentes :

- Traçages de la synthèse Hydro de l'AERMC, en date de 2014 ;
- Traçages représentés sur les cartes de la BD Lisa ;
- Traçages de la BD Lisa synthétisés par le BRGM.

Dans les fichiers récupérés, dont les couches au format shapefile, seuls les points d'injection et de restitution sont renseignés, sans autre information.

D'autres études, plus récentes et plus spécifiques, synthétisent des traçages à l'échelle de systèmes karstiques particuliers. Ces études sont plus précises que les synthèses décrites précédemment. Il s'agit des études suivantes :

- Amélioration des connaissances des circulations d'eau souterraine dans le système de l'Aven des Perles et de l'Event de Soubès par traçages colorés Rapport final. Conseil Départemental de l'Hérault. Mairie de Soubès. Groupe spéléologique de Montpeyroux. Janvier 2019.

Cette étude visait à préciser les circulations complexes au sein du système de l'Event de Soubès. Les traçages ont été réalisés en août 2013. Le type de colorant, la quantité utilisée, la date et l'heure sont renseignés. Préalablement à ces investigations, un inventaire des colorations réalisées dans le secteur a été synthétisé. Le degré de connaissance des colorations inventoriées est très variable.

- Amélioration des connaissances des circulations souterraines dans le système karstique DRAC/Clamouse par traçage coloré. Traçage depuis l'Aven du Fariol – Montpeyroux. CD34 - Communauté de Communes de la vallée de l'Hérault - Groupe spéléologique de Montpeyroux. Janvier 2019.

Un inventaire des traçages par coloration a été réalisé, en partie par reprise de la synthèse hydrogéologique de l'historique du puits du Drac réalisé par Eten Environnement en 2012. 12 traçages sont transcrits sur le système Drac-Clamouse dont certains n'apparaissent pas dans le travail de compilation des traçages réalisé par le BRGM pour l'Agence de l'Eau. Une synthèse cartographique des connaissances est présentée ainsi qu'une description des traçages historiques en Annexe 2 (date, temps de passage et vitesses).

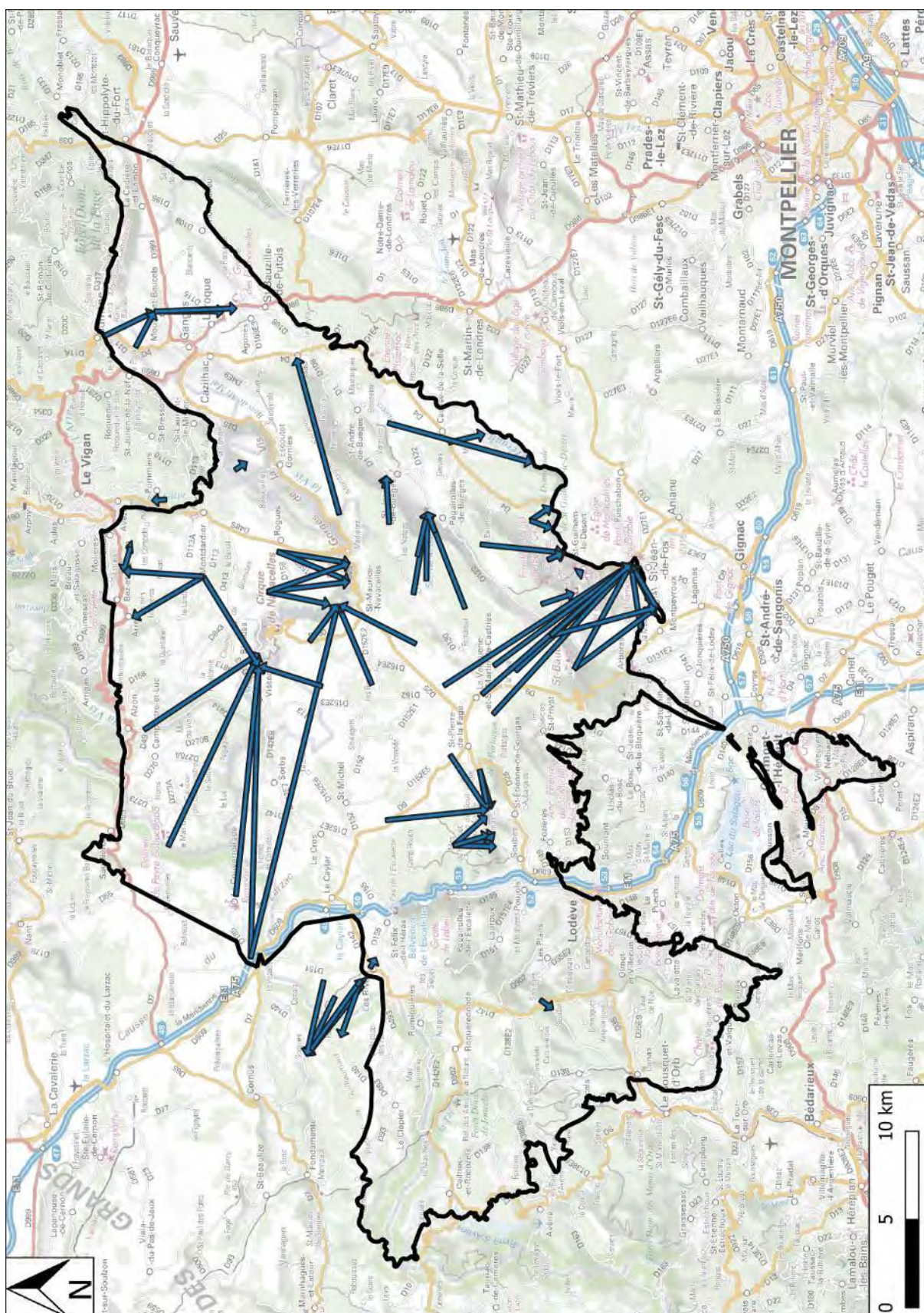


Figure 10 : Traçages positifs jugés valides et cohérents

Des traçages ont également été réalisés dans l'étude 2015 du Parc Naturel des Grands Causses. Le premier traçage a été effectué dans un aven situé en aval d'un des bassins de rétention des eaux de pluie de l'autoroute A75 vers la Foux de la Vis, avec un résultat positif. Un second traçage a été réalisé entre les pertes de la Virenque et le Foux de la Vis mais n'a pas abouti, possiblement en raison d'un problème de fluorimètre.

D'autres traçages sont mentionnés dans la bibliographie :

- Projet de traçage de la source Gravezon de 2014 dont nous ne connaissons pas l'aboutissement ;
- Expérience de traçage mené par le Conseil Général de l'Hérault en 2011 dans une perte de la galerie noyée de la source Payrol Sud;
- Traçage à la fluorescéine au droit du forage Barry par le BRGM en 1982, observé à la source de la Clamouse.

La compilation des traçages analysés est présentée sous forme cartographique et d'une base de données au format Excel.

La densité des traçages est importante sur les bassins versants de l'Hérault et de la Source du Lez. Sur les parties Nord et Ouest de la masse d'eau FRDG125, il y a peu de traçages. Globalement, les traçages sont souvent anciens, hormis quelques secteurs étudiés récemment.

La Figure 10 présente les 85 traçages aboutis du secteur. En l'absence de cartes piézométriques (non représentatives en milieu karstique), ces traçages seront utilisés pour la délimitation des unités aquifères et des bassins d'alimentation des sources et ressources exploitées.

2.3.2 Comportement piézométrique

La masse d'eau souterraine a des caractéristiques variées et des comportements piézométriques particuliers. Le réseau de suivi quantitatif du CD34 (disponible à partir de la base de données ADES-) offre dans le secteur huit piézomètres sur la masse d'eau FRDG125. Certaines zones ne bénéficient pas d'un suivi, telle la zone des causses dépourvue de piézomètres.

Créé en 2003, le réseau départemental de suivi piézométrique compte à ce jour un total de 34 points dont 8 sont situés sur la masse d'eau. La sélection des points de suivi a été réalisée en concertation entre différents hydrogéologues en fonction de l'intérêt de la ressource en eau souterraine et de l'existence de captages exploités pour l'alimentation en eau potable.

Les données acquises sur ces piézomètres renseignent sur les variations piézométriques (amplitude annuelle, variabilité interannuelle, tendance).

Six piézomètres offrent un suivi supérieur à dix ans, deux piézomètres n'offrant un suivi que depuis 2019 (stations de Saint-Bauzille-de-Putois).

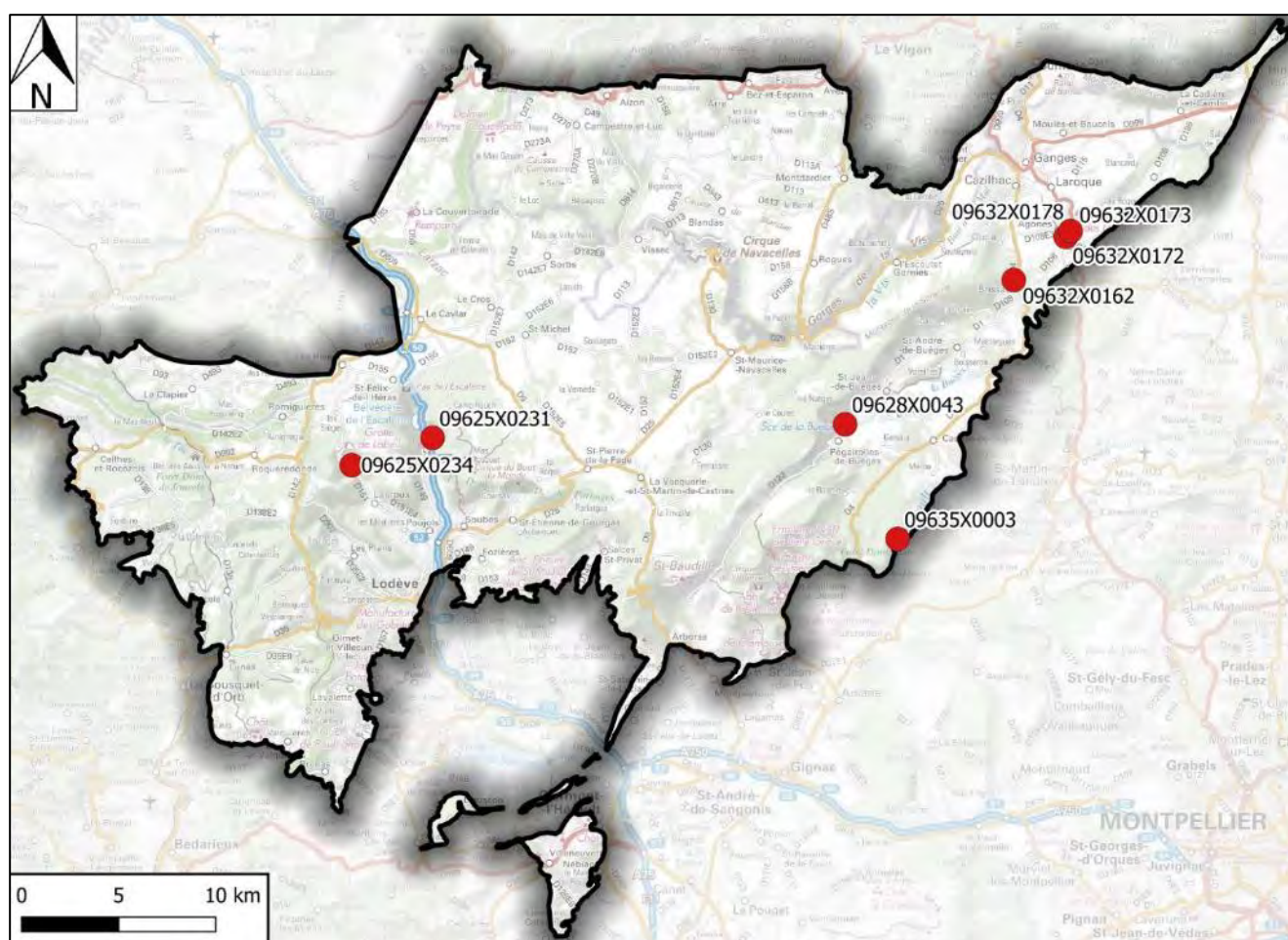


Figure 11 : Localisation des piézomètres du réseau de suivi CD34-ADES

Tableau 1 : Stations piézométriques du réseau CD34-ADES

Code BSS	Dénomination	Commune	Type de point	ME
09625X0231	Adoux	Pégairolles-de-L'Escalette	Source	FRDG125
09625X0234	Payrol 1	Lauroux	Source	FRDG125
09628X0043	Buèges	Pégairolles-de-Buèges	Source	FRDG125
09632X0162	Foux	Brissac	Source	FRDG125
09632X0172	F. de Lergue	Agonès	Forage	FRDG125
09632X0173	Rieutord Sud (F1)	Saint-Bauzille-de-Putois	Puits	FRDG125
09632X0178	Rieutord Nord (F2)	Saint-Bauzille-de-Putois	Forage	FRDG125
09635X0003	Cent Fonts	Causse-de-La-Selle	Forage	FRDG125

Les variations des niveaux d'eau sur le piézomètre de Cent Fonts montrent que le système réagit bien aux pluies. A l'échelle interannuelle, les niveaux sont stables.

Les piézomètres de Brissac (09632X0162) et Agonès (09632X0172) (Figure 13) montrent que les systèmes réagissent aux pluies, mais de manière plus faible en amplitude que le système de Cent Fonts. Les variations sont très faibles, à l'échelle annuelle et interannuelle, ce qui peut être expliqué en partie par la localisation des piézomètres à proximité des exutoires. Les niveaux sont stables sur la période étudiée.

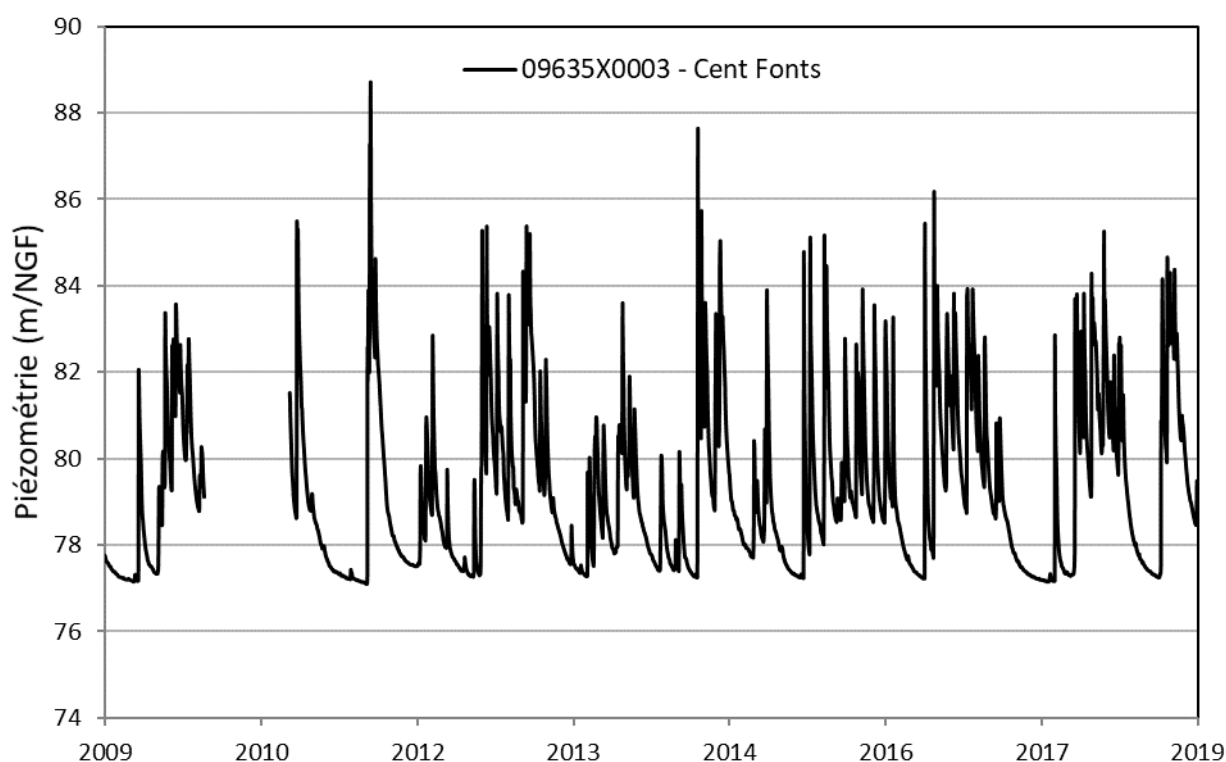


Figure 12 : Evolution piézométrique des systèmes des Cent Fonts (source ADES)

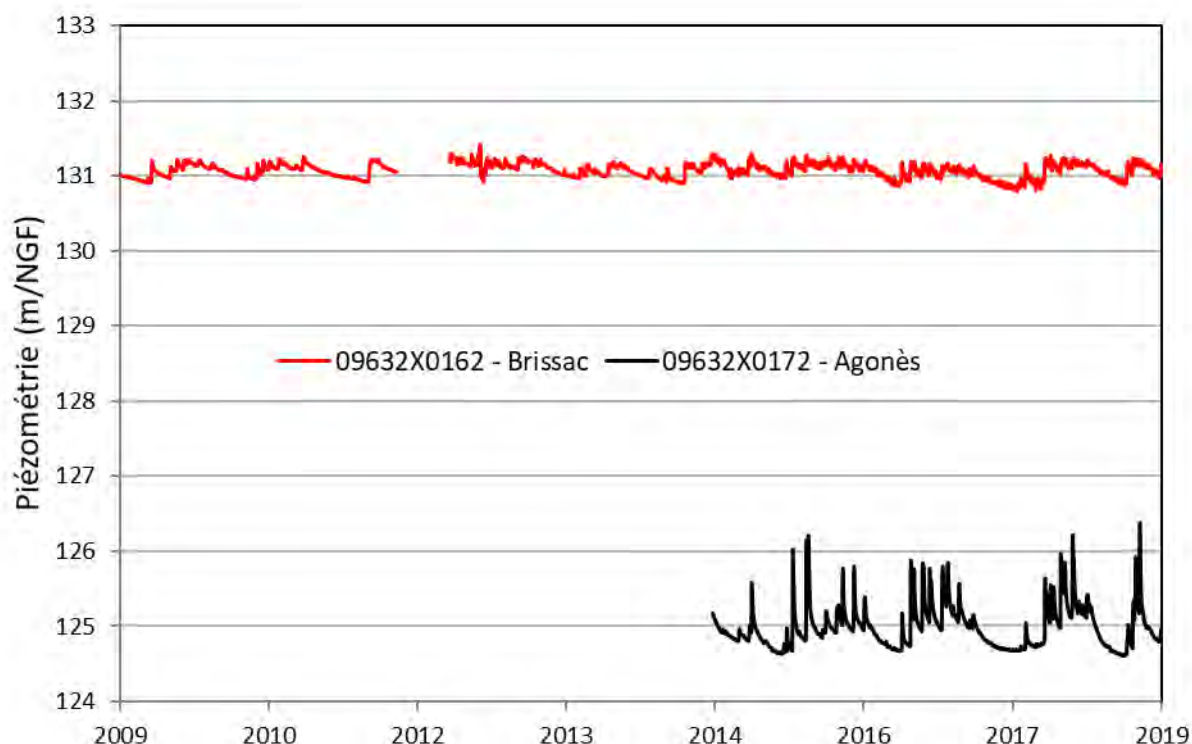


Figure 13 : Evolution piézométrique des piézomètres de Brissac et Agonès (source ADES)

Le niveau d'eau dans le piézomètre du système de la Buèges (Figure 14) montre une très forte réaction du système aux pluies, avec de très nombreux pics au cours de l'année de l'ordre de 2 m. Les niveaux sont stables durant les 10 dernières années.

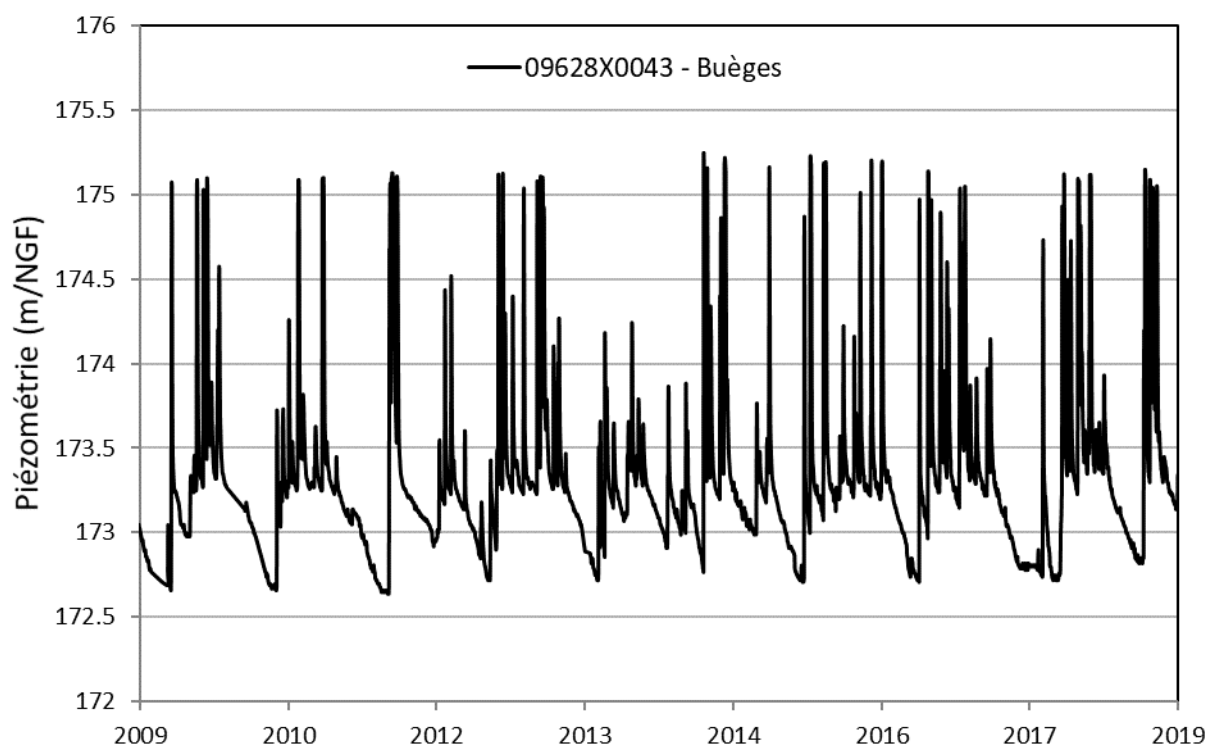


Figure 14 : Evolution piézométrique du système de la Buèges

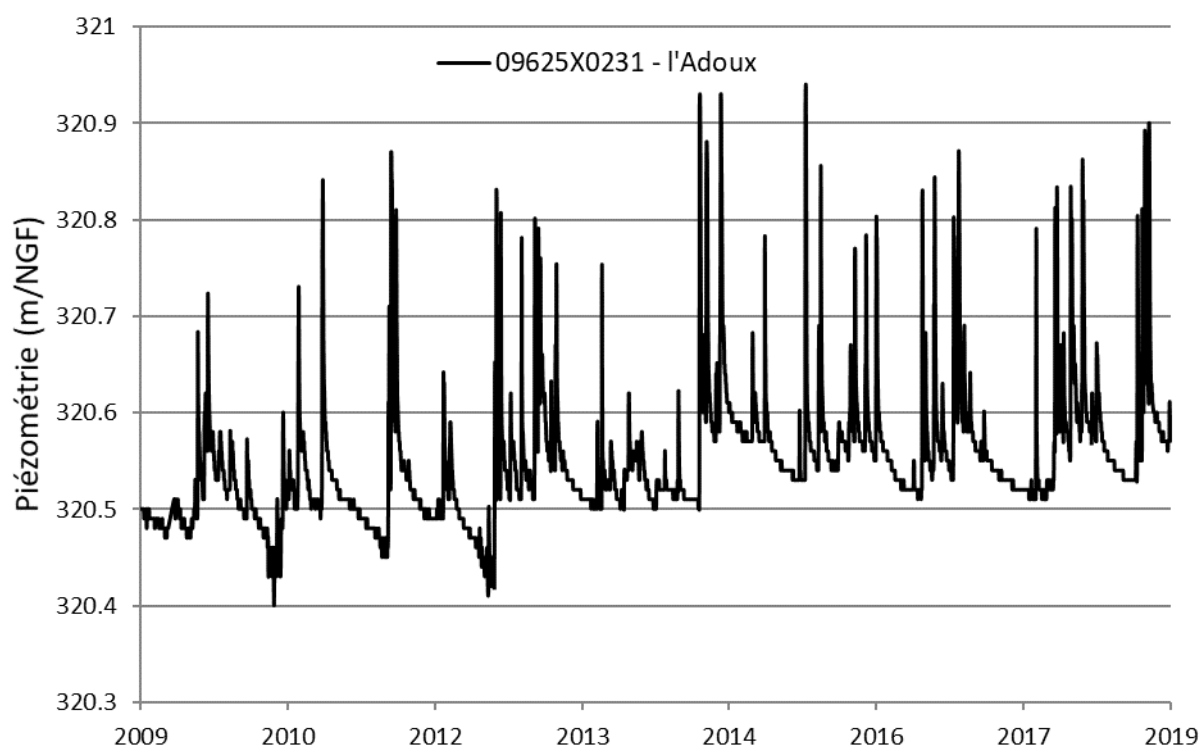


Figure 15 : Evolution piézométrique en amont de la source de l'Adoux (source ADES)

Les suivis piézométriques des systèmes des sources de l'Adoux et de Payrol (Figure 15 et Figure 16) montrent que les systèmes réagissent de façon très rapide aux pluies mais présentent des amplitudes très faibles (ce qui ne signifie pas que l'amplitude des débits de la source est faible). Ceci peut être dû

à l'implantation des piézomètres aux exutoires des bassins hydrogéologiques. A l'échelle interannuelle, les niveaux sont stables.

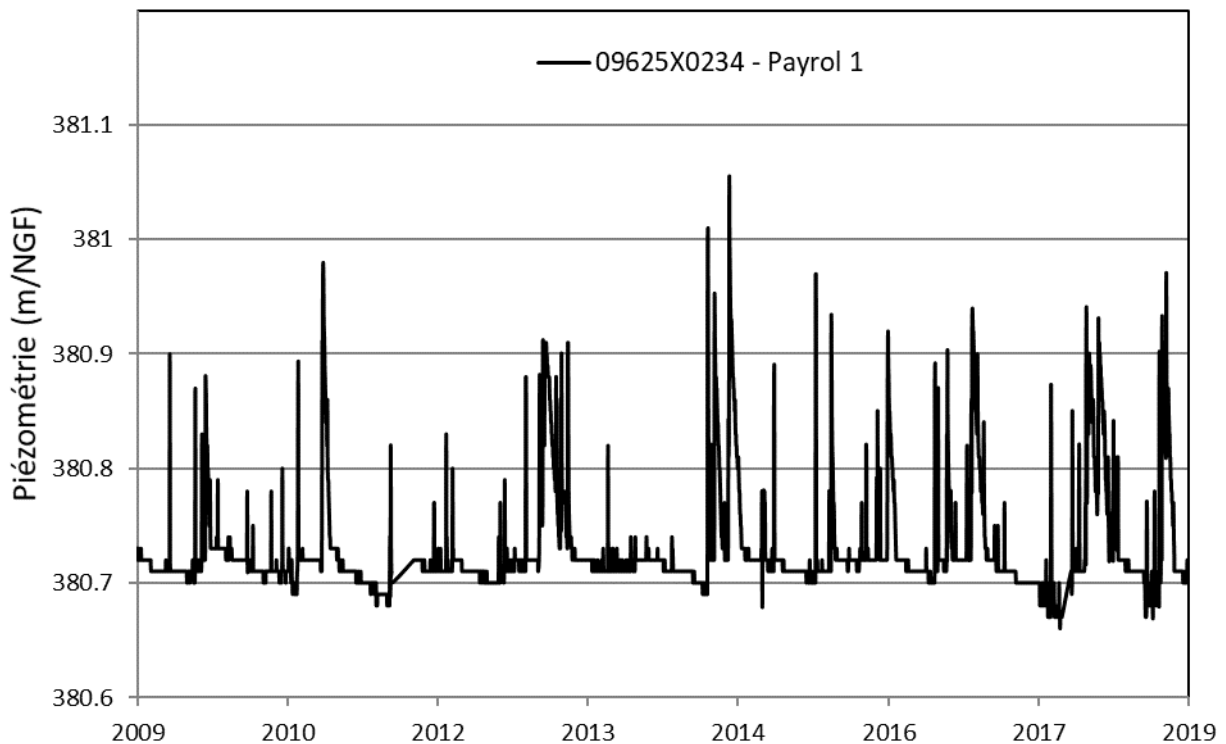


Figure 16 : Evolution piézométrique en amont de la source de Payrol 1 (source ADES)

Les suivis piézométriques mettent en évidence une forte réactivité des nappes aux épisodes pluvieux. Les niveaux maximaux sont atteints suite aux épisodes méditerranéens (cévenols), principalement de septembre à novembre. En résumé :

- Les étiages surviennent de juin à août, et peuvent perdurer jusqu'aux premiers épisodes pluvieux excédentaires.
- De février à avril, les niveaux sont élevés mais n'atteignent pas les hauteurs des pics d'automne.
- Les sources de débordement ont un rôle privilégié et les décrues sont rapides.

2.4 Qualité des eaux souterraines

Une analyse de la qualité des eaux a été réalisée à partir des données récupérées sur le site ADES. Les données ADES rassemblent les données du Conseil Départemental, de l'Agence de l'eau et depuis peu l'intégralité des données ARS. Le travail de synthèse a donc été réalisé sur les eaux brutes. Les fréquences d'analyses entre les différents organismes sont très variables.

2.4.1 Faciès et paramètres physico-chimiques

Afin de dresser un portrait de la qualité des eaux à l'échelle de la masse d'eau, les paramètres suivants ont été étudiés :

- Les ions majeurs sont utilisés pour caractériser le faciès chimique des eaux et leur origine. On différencie les anions (chlorure, sulfate, bicarbonate), et les cations, (calcium, magnésium, sodium, potassium). Les ions majeurs sont représentés sous la forme de diagrammes, dont le diagramme de Piper est le plus classique (Figure 17).

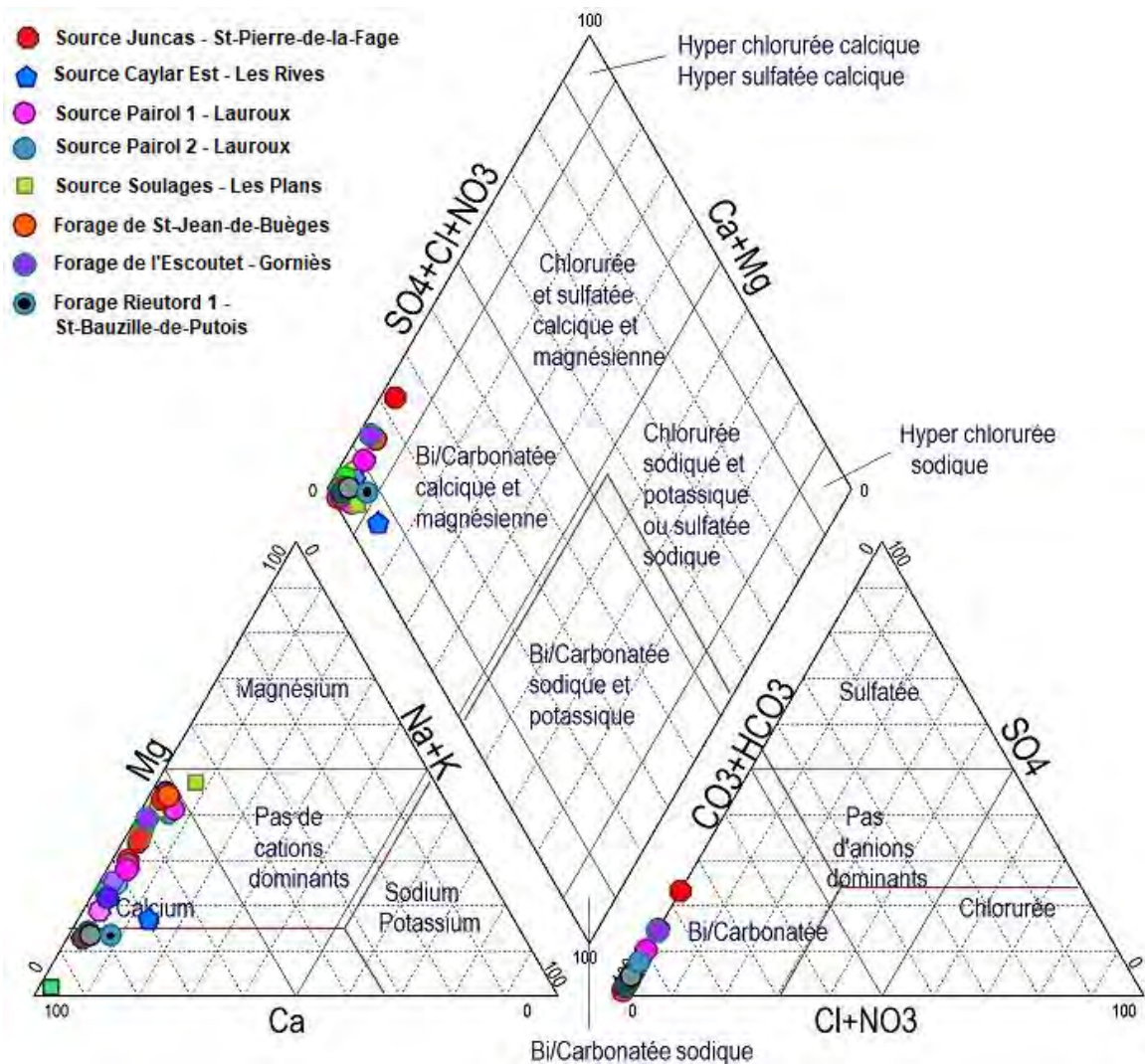


Figure 17 : Diagramme de Piper permettant de déterminer le faciès chimique des eaux

(la légende n'indique que les points discutés dans le texte)

Le diagramme de Piper (Figure 17) montre une chimie des eaux souterraines caractéristique des formations carbonatées. Au niveau des anions (triangle de droite), les eaux sont principalement positionnées sur le pôle des bicarbonates (en bas à gauche dans le triangle), mais pour certaines eaux avec une légère signature sulfatée (glissement des points vers le sommet du triangle). C'est le cas de la Source Juncas à St-Pierre de la Fage et moindrement des eaux du Forage de St-Jean-de-Buèges et du forage de l'Escoutet à Gornières. Cette signature légèrement plus sulfatée pourrait être due à la présence de gypse dans les formations géologiques (sulfate de calcium hydraté) ou de sulfures (oxydés et lessivés lors de la circulation des eaux).

Dans le triangle des cations (triangle de gauche), les eaux sont principalement situées sur le côté gauche du triangle, indiquant une répartition entre le pôle calcique (en bas à gauche) et le pôle magnésien (en haut du triangle), typique des environnements calcaires et dolomitiques. Très peu de points montrent une légère dérive vers la droite, vers le pôle sodique-potassique. C'est le cas de la Source du Caylar Est (Les Rives) et moindrement des eaux de la source Soulages (Les Plans), du forage de Rieutord 1 à St-Bauzille-de-Putois, et des Sources de Pairol (Lauroux). Cette dérive pourrait être due à la présence d'évaporites ou à une contamination anthropique.

Les eaux montrent donc un faciès bicarbonaté calcique dominant, plus ou moins magnésien, et parfois légèrement sulfaté. Ces signatures sont typiques des calcaires (carbonate de calcium) et des dolomies (carbonate de calcium et magnésium).

- Le pH, représente le degré d'acidité de l'eau. En domaine calcaire, les eaux souterraines sont basiques avec un pH élevé (> 7). En domaine volcanique (secteur de l'Escandorgue), les eaux souterraines ont un pH proche de la neutralité.

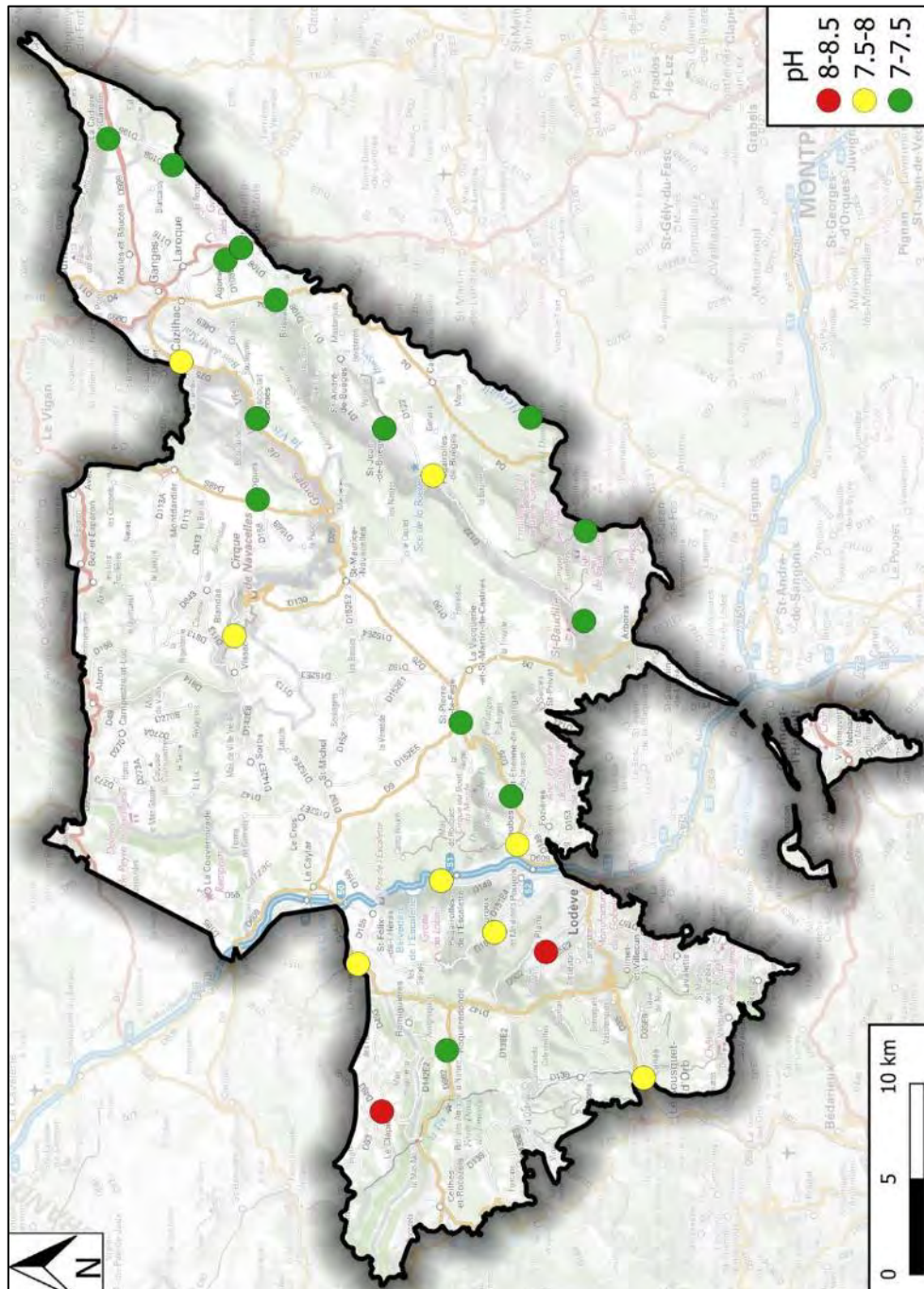


Figure 18 : Valeurs moyennes des pH (données ADES)

Le pH des ressources en eau souterraine sur la masse d'eau aines (Figure 17) est compris entre 7 et 8.5. Le pH est donc légèrement basique, typique des eaux des aquifères carbonatés. Deux

points d'eau présentent des pH supérieurs à 8 (Le Clapier et Les Plans). Les autres points d'eau ont des pH compris entre 7 et 8. Aucune sectorisation ne peut être établie sur la base du pH.

- La conductivité électrique d'une eau dépend de la concentration et de la nature des ions présents dans la solution (ex. chlorure, sulfate, sodium, calcium). Elle est donc liée à la minéralisation de l'eau. Il s'agit donc d'un indicateur permettant d'éclairer le type d'aquifère et le temps de circulation des eaux dans l'aquifère. Sa valeur est souvent élevée en milieu karstique, en particulier en étiage.

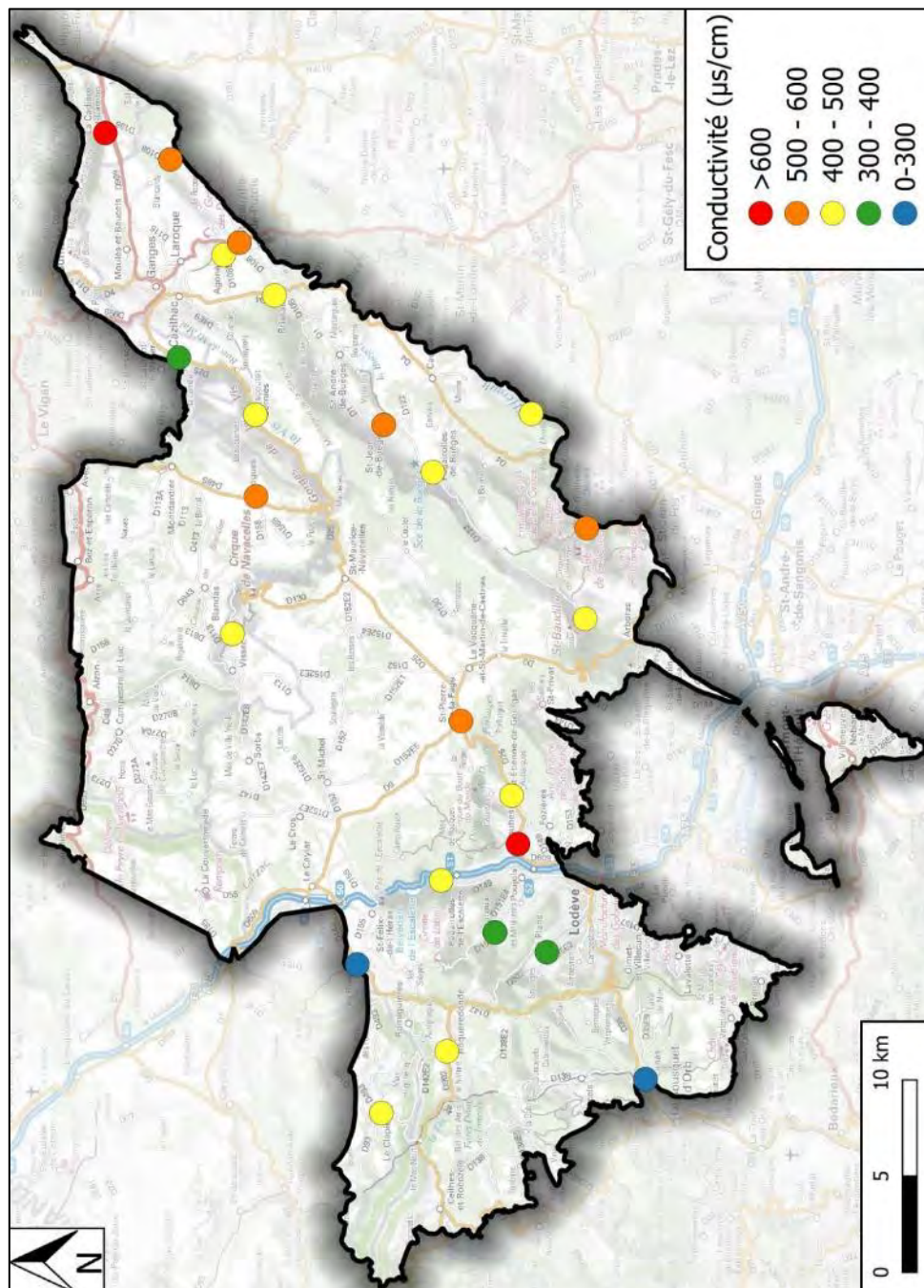


Figure 19 : Valeurs moyennes des conductivités électriques (données ADES)

Les conductivités électriques moyennes (Figure 19) sont globalement comprises entre 400 et 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux ont une minéralisation assez élevée, caractéristique des environnements carbonatés. Quelques points, situés dans le Lodévois présentent des conductivités plus faibles

(Les Rives et Lunas), ce qui pourrait dénoter des eaux ayant un court temps de transit dans l'aquifère. À l'inverse, certaines eaux sont plus minéralisées avec des conductivités dépassant 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Soubès, La-Cadière-et-Cambo), ce qui pourrait illustrer des eaux ayant un plus long temps de résidence dans leurs aquifères.

- La turbidité représente la teneur d'une eau en matière la rendant plus ou moins trouble. Elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales. Dans les eaux souterraines, elle est généralement liée à la présence de particules d'argile.

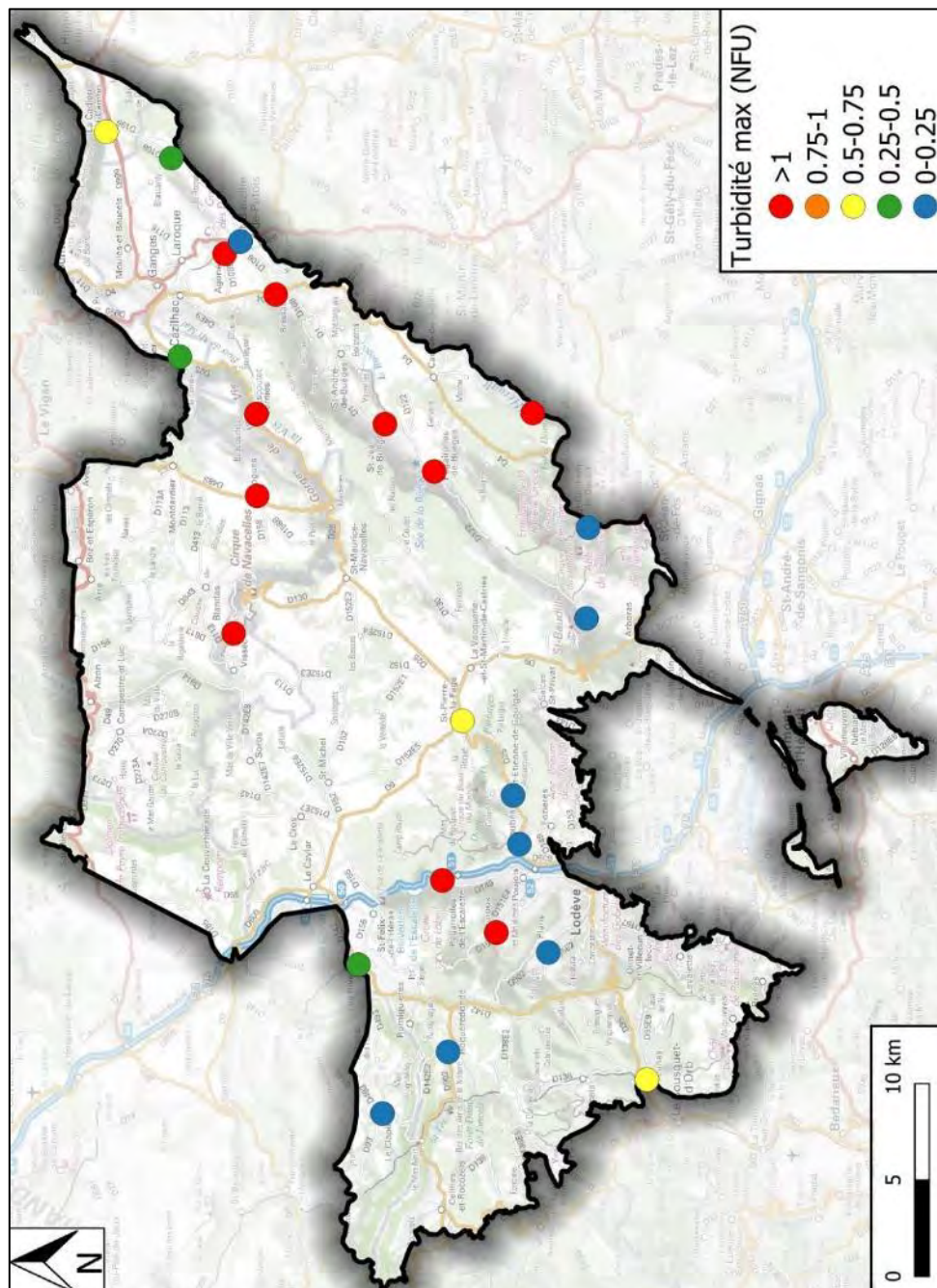


Figure 20 : Valeur maximale de turbidité (données ADES)

La référence de qualité pour la turbidité est fixée à 1 NFU. Cette limite a pu être dépassée (Figure 20) sur une grande partie des points d'eau principalement sur la partie Est de la masse

d'eau. Les plus fortes valeurs observées sur la partie Est de la masse d'eau sont à relier avec l'importance de la karstification du milieu. La hausse de la turbidité est en effet une caractéristique des aquifères karstiques.

Lors de la dissolution des calcaires (phénomènes de karstification), les eaux de pluie emportent les particules argileuses et sableuses. Ces particules ont comme alternatives de s'accumuler et parfois colmater le karst, ou d'être évacuées. Lors des épisodes de fortes pluies ces particules sont remises en mouvement et la turbidité des eaux devient de ce fait très importante.

Tous les points d'eau présentent des concentrations moyennes en fer inférieures à 50 µg/l dénotant l'absence de conditions réductrices.

2.4.2 Contaminants anthropiques

Les nitrates, peu abondants dans les eaux naturelles, reflètent une contamination d'origine anthropique (eaux usées, fertilisations agricoles cultures, élevage). La norme de potabilité pour la concentration en nitrate est fixée à 50 mg/l.

Sur ce territoire, les concentrations en nitrates sont faibles et ne dépassent pas 10 mg/l. On note très peu de détection de pesticides (à l'état de trace), ceux-ci étant plutôt situés dans les secteurs d'activité agricole.

Sur la masse d'eau il n'y a pas captage prioritaire au titre d'une problématique nitrates ou pesticides.

2.4.3 Vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines

Une carte de vulnérabilité des eaux souterraines a été réalisée à l'échelle du département en 1990 par le BRGM (Marchal, 1990).

La masse d'eau apparaît en grande majorité comme très vulnérable, hormis le Lodévois qui paraît peu vulnérable et sur les formations lutétiennes du NE. Cette carte, réalisée à grande échelle, ne pourra être utilisée à l'échelle des zones de sauvegarde à définir en phase 2 de l'étude.

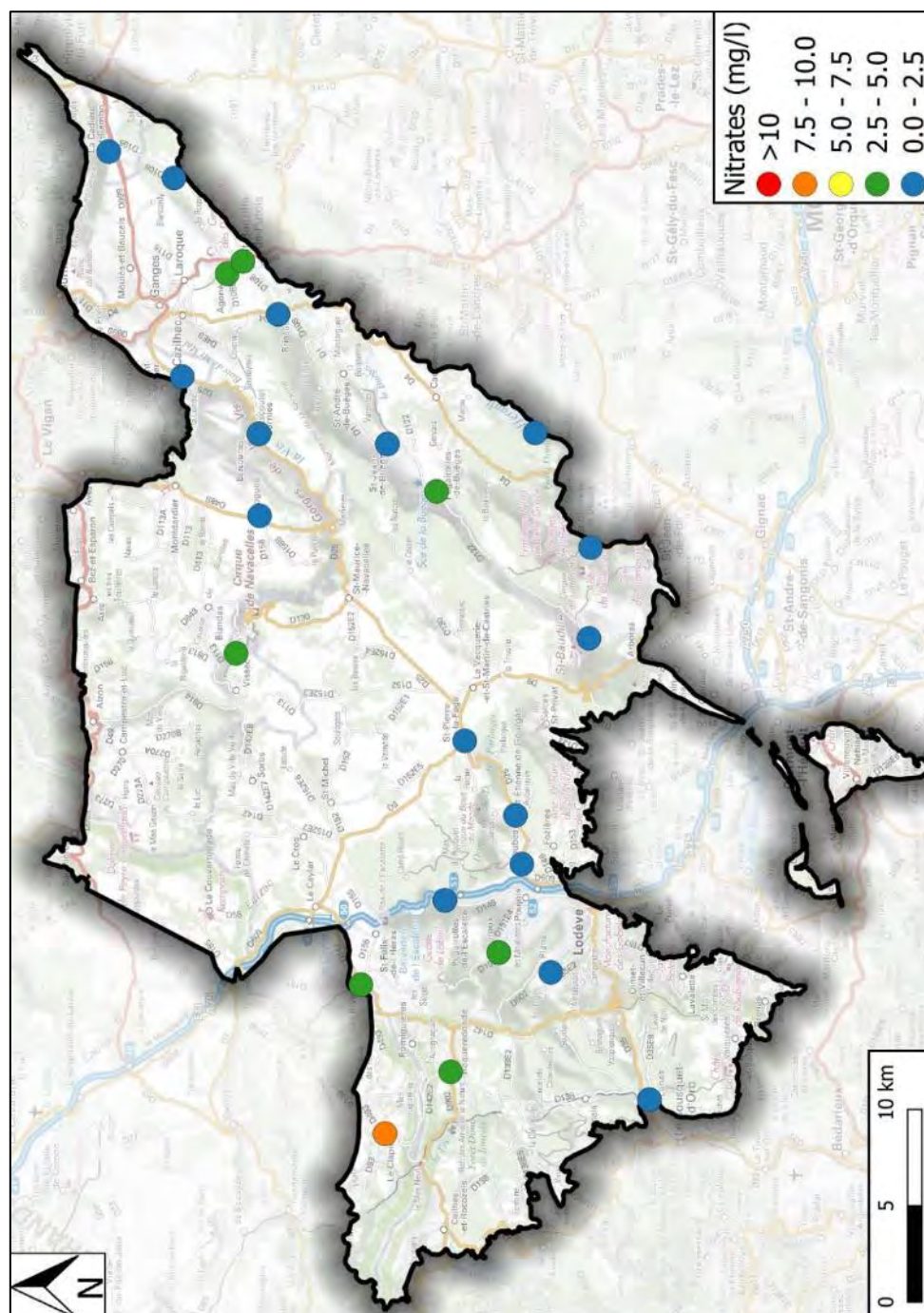


Figure 21 : Valeurs moyennes des concentrations de nitrates (données ADES)

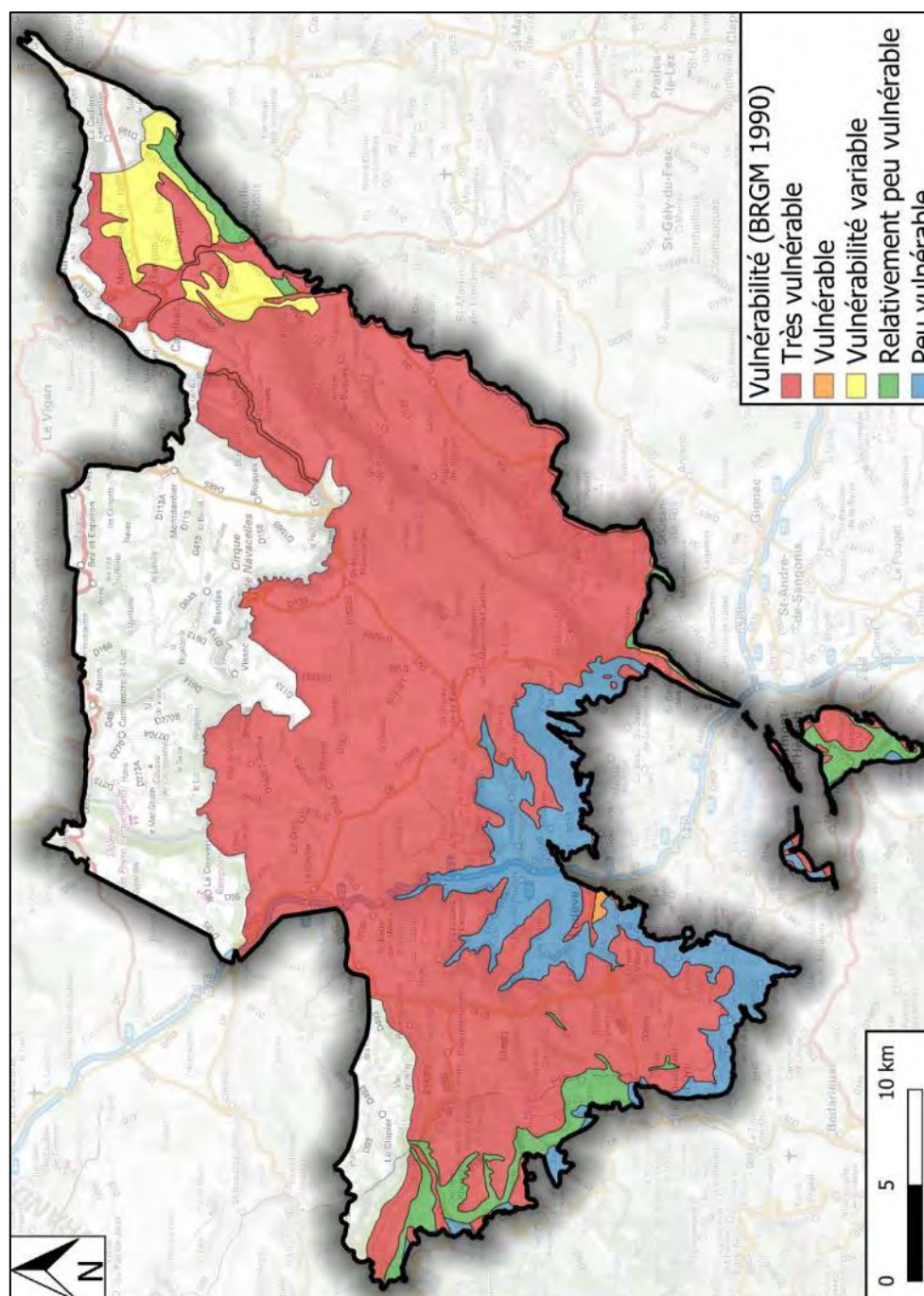


Figure 22 : Extrait de la carte de la vulnérabilité intrinsèque à l'échelle du département de l'Hérault (BRGM, 1990)

3 CONTEXTE CLIMATIQUE ACTUEL ET FUTUR

3.1 Contexte climatique

La partie Sud de la masse d'eau est sous l'influence du climat méditerranéen. Ce climat est caractérisé par des étés chauds et secs durant lesquels les précipitations sont rares, voire inexistantes. Les hivers sont doux et humides. Les précipitations sont très importantes sur des périodes très courtes (régime d'averse et d'épisodes méditerranéens), essentiellement à l'automne.

Le Nord de l'Hérault, à sa limite avec l'Aveyron, peut connaître un climat sous influence continentale avec des hivers froids et des précipitations peu importantes.

La partie Nord-Est, située dans le Gard, présente un climat de type cévenol avec l'occurrence d'épisodes cévenols (épisodes méditerranéens localisés sur les Cévennes et le piémont cévenol). Ces épisodes pluvieux sont violents et provoquent généralement des crues. Un épisode cévenol peut se dérouler sur plusieurs jours et donner des quantités d'eau généralement comprises entre 200 et 400 mm.

À l'Ouest (autour de Lodève), le climat est tempéré chaud. Ce secteur est sous influence méditerranéenne avec une sécheresse estivale qui représente une forte contrainte, des pluies automnales torrentielles et un hiver doux à l'exception des zones montagnardes où des vents forts balaient les plateaux avec de brusques abaissements de température (une quarantaine de jours de gelée par an).

La Figure 23 présente l'emplacement des stations pluviométriques présentes sur ou autour de la masse d'eau étudiée.

Les stations météorologiques appartiennent à Météo-France, au Conseil Départemental de l'Hérault (CD34) et au Service de Prévision des Crues (SPC). Les précipitations annuelles moyennes des 10 dernières années (période 2009-2018) ont été calculées et mises en carte (Figure 24).

Les précipitations montrent un gradient Nord-Sud très marqué, en relation avec l'altitude. Elles sont ainsi importantes sur la partie Nord, sur les grands Causses et le piémont cévenol, où elles sont de l'ordre de 1400 mm/an. Dans la partie Sud, les précipitations sont inférieures à 1000 mm/an.

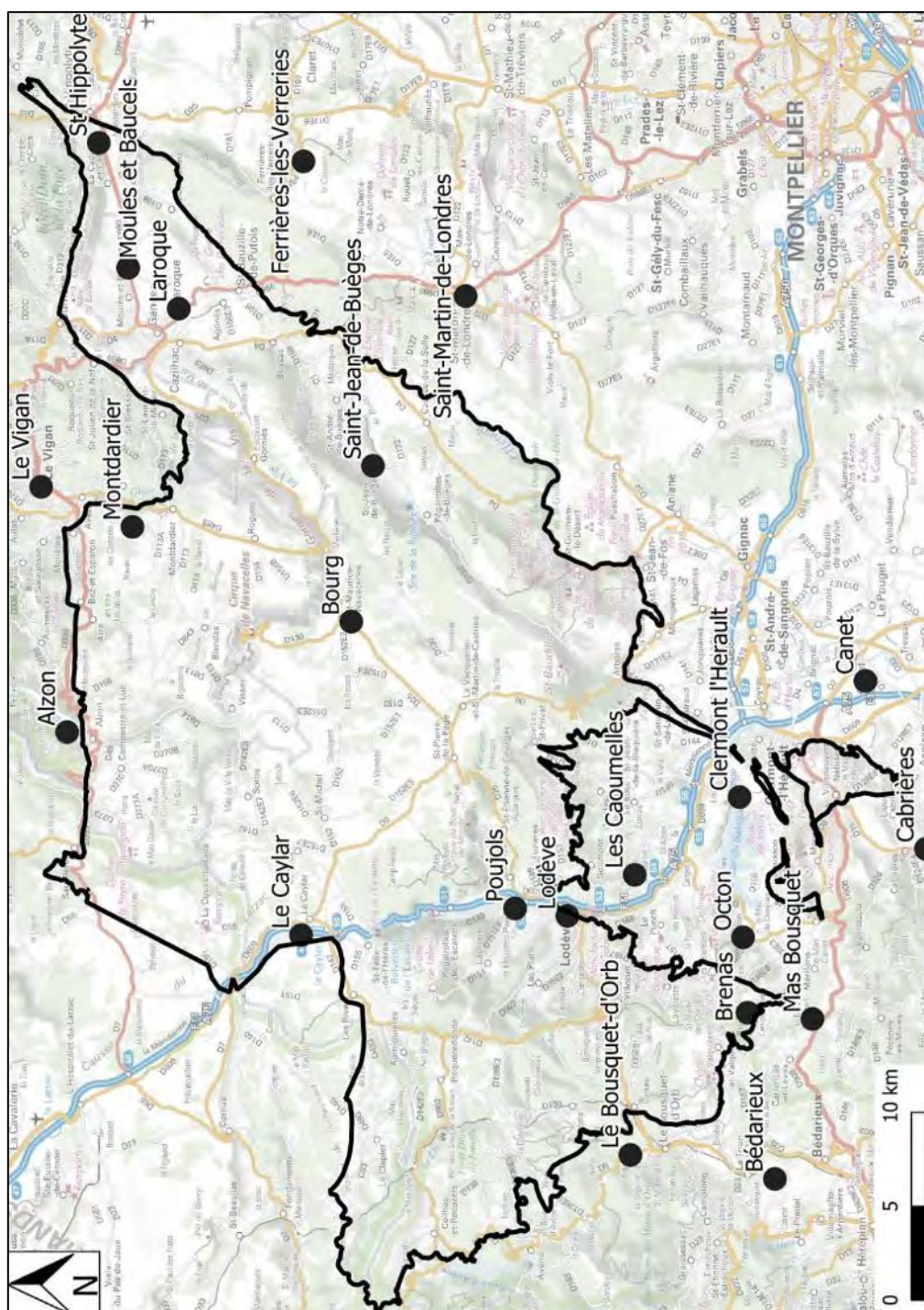


Figure 23 : Stations météorologiques permettant d'estimer les précipitations du secteur d'étude

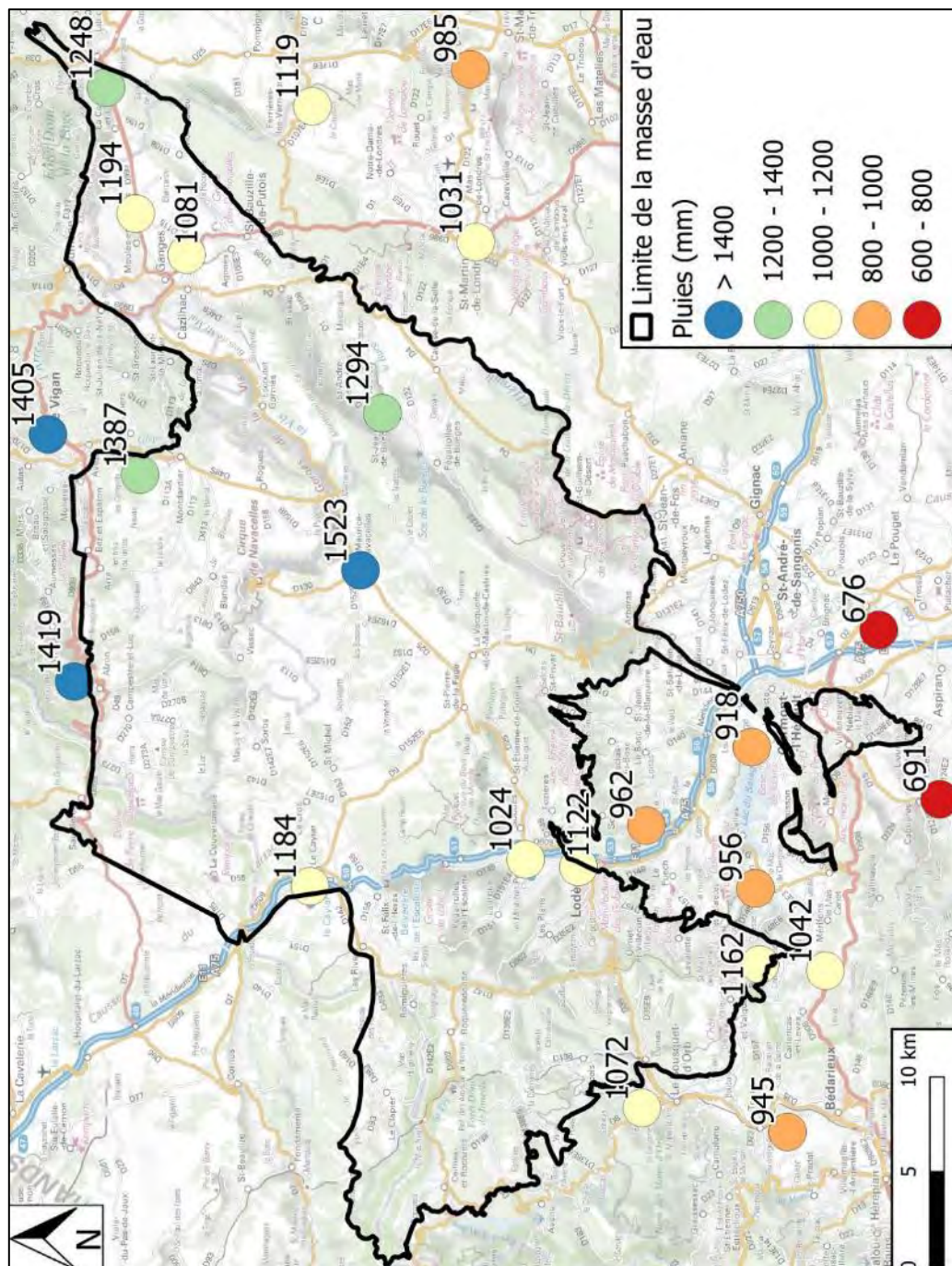


Figure 24 : Précipitations annuelles moyennes sur la période 2009-2018 (sources Météo-France, CD34 et SPC)

Tableau 2 : Précipitations annuelles moyennes des seules stations météorologiques présentes sur la masse d'eau (classées en fonction de leur altitude)

Station	Altitude (mNGF)	Pluie (mm)	Station	Altitude (mNGF)	Pluie (mm)
Le Caylar	729	1184	Montdardier	640	1387
Saint-Maurice-Navacelles	574	1523	Brenas	445	1162
Saint Hippolyte	237	1248	Poujols	273	1024
Moules et Baucels	252	1194	Lodève	185	1122
Saint-Jean-de-Buèges	187	1294	Laroque	150	1081

Notons qu'il n'y a pas de corrélation directe entre la pluviométrie moyenne annuelle et l'altitude de la station, puisque tout ce secteur présente une forte composante pluviométrique reliée certes aux effets orographiques (reliefs) mais également à la provenance et aux directions de circulation des masses d'air humides.

La variabilité des précipitations annuelles est très importante (Figure 25), allant du simple au triple sur les 10 dernières années. Les années 2012, 2015 et 2017 ont été particulièrement sèches. À l'inverse les précipitations ont été importantes en 2014 et 2018.

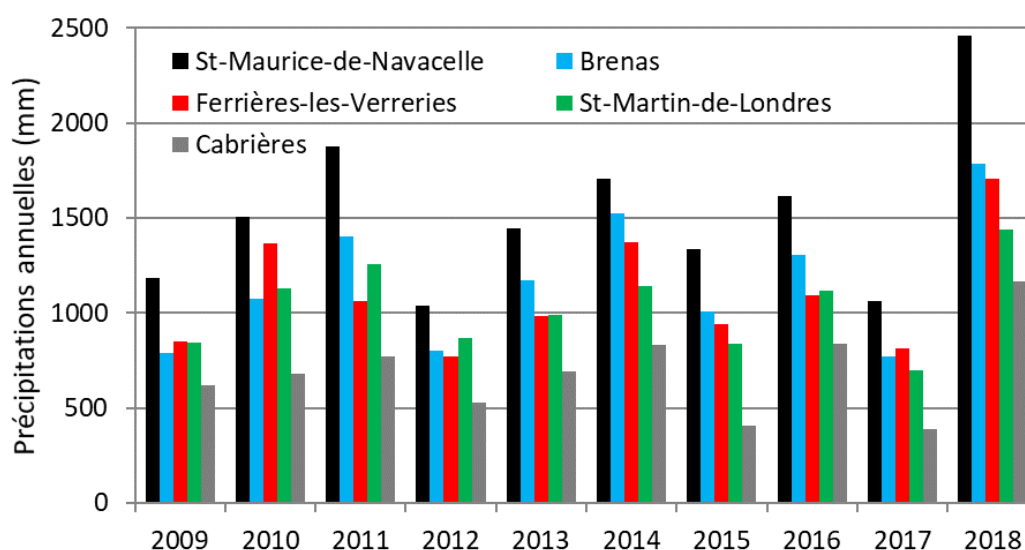


Figure 25 : Précipitations annuelles de quelques stations du secteur

La Figure 26 présente les précipitations mensuelles moyennes de ces mêmes stations sur la période 2009-2018. Les précipitations sont très importantes en octobre et novembre, et reliées à la survenance des épisodes méditerranéens. Les précipitations sont moins importantes, mais cependant significatives de mars à avril. La période sèche s'étale de juin à août.

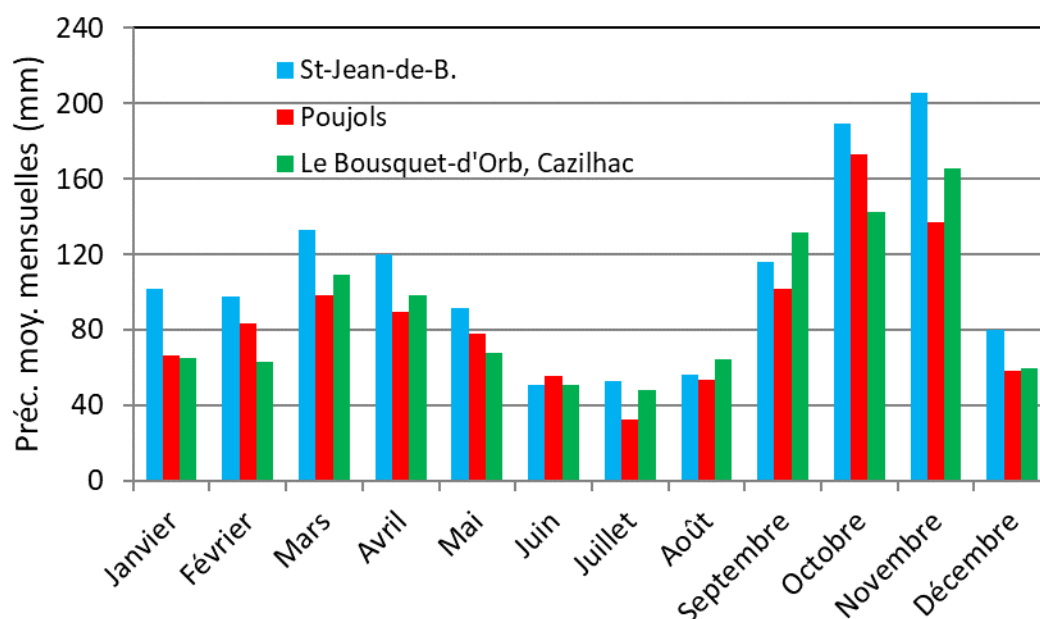


Figure 26 : Précipitations mensuelles moyennes (2009-2018) de quelques stations du secteur

3.2 Impacts prévisibles du changement climatique

L'ADEME a réalisé une évaluation du changement climatique prévisionnel attendu pour le département de l'Hérault. L'étude s'est basée sur l'analyse des données de température et de précipitation des 40 dernières années. Les principales conclusions de ce rapport sont les suivantes :

- Le réchauffement climatique s'est manifesté partout, y compris sur les zones de relief ;
- Les cumuls annuels de précipitation n'évoluent pas ;
- Les précipitations efficaces se réduisent.

Le Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) du Languedoc-Roussillon (DREAL et Conseil Régional LR. 2011) a établi quant à lui un état des lieux des effets attendus du changement climatique pour le Languedoc-Roussillon. La synthèse des études portant sur les chroniques historiques et les simulations futures montre que les précipitations pourraient montrer :

- une baisse vraisemblable pouvant atteindre 180 mm/an à l'horizon 2050 et 275 mm/an à l'horizon 2080 (scénario A1B du GIEC, 2007) ;
- une augmentation de l'intensité des pluies extrêmes (Pujol et al. 2007) ;
- une forte diminution des précipitations durant l'été de l'ordre de 25 à 50 % (Milly et al. 2002) ;
- une augmentation des pluies en automne de 10 à 25% (Milly et al.) et du nombre d'événements pluvieux de près de 50% pour la période 2070-2100 (Tramblay et al. 2011) ;
- une diminution hivernale des pluies dans la plaine côtière et une augmentation dans les Cévennes et l'arrière-pays (Gao et al. 2006).

La variabilité spatiale des précipitations pourrait y être très marquée et plus importante que la variabilité interannuelle. Il est également attendu une forte augmentation de la température moyenne et de l'évapotranspiration (Chaouche et al. 2010). Ceci aurait alors pour conséquence une recharge moins importante sur le territoire.

Le projet de recherche nommé 'Recharge' réalisé en 2016 par le BRGM pour l'Agence de l'Eau RMC (rapport RP-65807-FR) visait à évaluer l'impact prévisionnel du changement climatique sur la recharge des aquifères dans le bassin Rhône- Méditerranée-Corse, en mettant en œuvre un ensemble de

méthodes d'estimation de la recharge adaptées à tous les types d'aquifères rencontrés dans le bassin. Une carte de la recharge moyenne (moyenne multi-modèle) annuelle future sur le bassin a été établie. Cette cartographie montre que la baisse de la recharge qui pourrait avoir lieu selon les différents scénarios climatiques serait comprise entre 10 à 25 % sur la partie Est masse d'eau, entre 0 et 10% pour la partie Nord et entre 25 et 50% pour la partie Ouest.

4 BIBLIOGRAPHIE

- Ambert M. et Ambert P. 1995. Karstification des plateaux et encaissement des vallées au cours du néogène et du quaternaire dans les Grands Causses méridionaux (Larzac, Blandas).
- ANTEA et BURGEA. 2000. Etude préliminaire des aquifères patrimoniaux karstiques du bassin RMC-Ensemble « Causses Nord Montpelliérains »,
- ANTEA. 2014. Identification et préservation des ressources en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable Aquifère des calcaires jurassiques du pli ouest de Montpellier et Gardiole Réflexion engagée sur la méthode PAPRIKA dans le cadre de l'étude de vulnérabilité du bassin d'alimentation de Villeveyrac.
- ANTEA. 2016. Etude hydrogéologique de recherche d'eau sur le territoire du syndicat intercommunal des eaux du Lodévois (34).
- ANTEA. 2016. Nappe alluviale de l'Hérault Identification et protection des ressources majeures en eau souterraine pour l'alimentation en eau potable-Rapport de phase 1.
- Aquilina, L., Ladouche B., Bakalowicz M., Schoen R. et E. Petelet. 1999. Caractérisation du fonctionnement des systèmes karstiques nord-montpelliérains. Synthèse générale. BRGM R40746.
- Audra P. 2010. Grottes et karsts de France. Mémoire karstologia.
- Bakalowicz M. 1999. Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques. Guide technique n°3, SDAGE Rhône - Méditerranée - Corse. Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse, Lyon, 40 p.
- BRGM. 1972. Bassin de Lodève-Etude hydrogéologique préliminaire du permien et de son substratum.
- BRGM. 1979. Etat des connaissances et synthèse hydrogéologique du département de l'Aveyron.
- BRGM. 1979. Etude par modèles mathématiques des écoulements en milieux karstiques-Application au karst de l'Hortus.
- BRGM. 1992. Schéma direction d'alimentation en eau potable à l'horizon 2020 (département de l'Hérault) - Volet 4: Eaux souterraines.
- BRGM. 1999. [Aquilina, L., Ladouche B., Bakalowicz M., Schoen R. et E. Petelet]. Caractérisation du fonctionnement des systèmes karstiques nord-montpelliérains. Synthèse générale. R40746.
- BRGM. 1999. Recherche en eau souterraine sur le département de l'Hérault-Présentation des systèmes karstiques de la moyenne vallée calcaire de l'Hérault.
- BRGM. 2002. Caractérisation du fonctionnement des systèmes karstiques nord montpelliérains-Rapport du programme 1999-2001-Buèges.
- BRGM. 2004. Actualisation de la synthèse hydrogéologique en région Languedoc-Roussillon-Rapport méthodologique BRGM/RP-53020-FR
- BRGM. 2004. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines et de la productivité de la ressource en région Languedoc Roussillon Rapport final BRGM/RP-53241-FR.
- BRGM. 2004. L'eau dans le bassin versant de l'Hérault - Synthèse des travaux du BRGM BRGM/RP-53056-FR.
- BRGM. 2006. Description des aquifères du département de l'Hérault Rapport final BRGM/RP-54849-FR.
- BRGM. 2006. Description des aquifères du département du Gard.
- BRGM. 2009. Inventaire des cavités souterraines du département de l'Aveyron.

- BRGM. 2014. Projet gestion multi-usages de l'hydrosystème karstique du Lez – Synthèse des résultats et recommandations Rapport final L5 BRGM/RP-61051-FR.
- BRGM. 2015. Etude hydrogéologique des Avant-Causse saint-affricains et du Causse Guilhaumard - Lot n°6 : Synthèse BRGM/RP-64689-FR.
- BRGM.1996. Connaissance, aménagement et protection des ressources en eau du Larzac Septentrional en vue de l'établissement des périmètres de protection.
- BRL et Hydrofis. 2015. Etude de connaissance de l'hydrologie de surface du bassin amont de la Lergue-Contributions des eaux souterraines aux débits d'étiage dans le bassin versant.
- BURGEAP. 2013. Diagnostic du fonctionnement Hydro-morphologique du bassin versant de l'Orb-Phase 1.
- Camus H. 1997. Formation des réseaux karstiques et creusement des vallées : l'exemple du Larzac méridional (Hérault, France). Karstologia - revue de karstologie et de spéléologie physique, n°29. pp. 23-42.
- CDS-Gard - Comité départemental de spéléologie du Gard. 2017. Les grandes cavités gardoises 2017.
- CEREG Ingénierie. 2015. Elaboration du schéma directeur de la ressource en eau sur le bassin de l'Hérault-Détermination des volumes maximums prélevables-Actualisation du bilan des prélèvements (phase 1).
- CEREG Ingénierie. 2015. Elaboration du schéma directeur de la ressource en eau sur le bassin de l'Hérault-Détermination des volumes maximums prélevables-Reconstitution de l'hydrologie influencée et naturelle (phase 2).
- CEREG Ingénierie. 2016. Elaboration du schéma directeur de la ressource en eau sur le bassin de l'Hérault-Détermination des volumes maximums prélevables-Estimations des volumes prélevables (phase 3).
- Dörfli N., Fleury P., Le Strat P. et L. Capar. 2008. Caractérisation géologique et hydrogéologique des aquifères carbonatés karstiques sous couverture. Méthodologie, synthèse bibliographique et synthèse géologique régionale. Rapport BRGM-RP-56980- FR. 157 pp. 3 ann.
- EPTB Fleuve Hérault. 2018. Plan de gestion de la ressource en eau.
- EPTB Vidourle. 2019. Plan de gestion de la ressource en eau sur le bassin versant du Vidourle.
- Géoter. 2013. Etude hydrogéologique du Causse Guilhaumard et des Avants-Causse Saint Affricain –Lot 1-Etude géologique et tectonique.
- Géoter. 2013. Etude hydrogéologique du Causse Guilhaumard et des Avants-Causse Saint Affricain –Lot 2-Géomorphologie
- GERSAM - Groupe d'études et de recherches spéléologiques et archéologiques de Montpellier. 1992. Document de synthèse confidentiel sur l'inventaire spéléologique du larzac et de la Seranne.
- Grontmij. 2013. Schéma prospectif d'utilisation de la ressource en eau dans le périmètre de la communauté de communes de la vallée de l'Hérault-Rapport final.
- Grontmij. 2014. Elaboration du schéma directeur de partage de la ressource en eau sur le bassin de l'Orb et du Libron - Détermination des volumes maximums prélevables (Phase 1 : Bilan des prélèvements et Phase 2 : Analyse du fonctionnement hydrologique).
- GSM – Groupe spéléologique de Montpeyroux. Janvier 2019. Amélioration des connaissances des circulations d'eaux souterraines dans le système de l'Aven des Perles et de l'Event de Soubès par traçages colorés Rapport final. Conseil départemental de l'Hérault et Mairie de Soubès.
- GSM - Groupe spéléologique de Montpeyroux. Janvier 2019. Amélioration des connaissances des circulations souterraines dans le système karstique DRAC/Clamouse par traçage coloré-Traçage depuis l'Aven du Fariol. Mairie de Montpeyroux, Conseil départemental de l'Hérault, CC de la vallée de l'Hérault.

Jolivet J. et C. Martin. 2008. La morphologie karstique dans le canyon de la Cèze et sur le plateau de Méjannes-le-Clap (Garrigues nord, Gard, France) – Rapports avec l'évolution paléogéographique mio-pliocène. *Physio-Géo*. 2 : 53-75.

Leonardi V., Massonnat G., Planteblat C. et C. Gal. 2016. Karst genesis modelling of a regional Mediterranean aquifer (Lez, France). Presented at the 43rd IAH Congress, 25-29th September, 2016, Montpellier, France.

Marchal J.P. 1990. Approche globale de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à l'échelle du département de l'Hérault.

Spéléoc n°13 Novembre 1979. *Revue spéléologique*. Rapports sur les grands Causses.

Université d'Orléans. 2014. Etude hydrogéologique du Causse Guilhaumard et des Avants-Causses Saint Affricain. Lot 5 : Informations apportées par les traçages.

UPMC et Isyphe. 2014. Etude hydrogéologique du Causse Guilhaumard et des Avants-Causses Saint Affricain. Lot 3 : Hydrodynamique et hydrologie et Lot 4 : Hydrochimie.

Villeméjeanne. 2002. La foux de la Vis. Synthèse spéléologique.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique d'un aquifère karstique (Bakalowicz, 1999)	11
Figure 2 : Extension territoriale de la masse d'eau FRDG 125	14
Figure 3 : Entités BDLISA présentes sur la masse d'eau FRDG 125	16
Figure 4 : Localisation des principaux exutoires karstiques du secteur	18
Figure 5 : Failles et fractures majeures affectant le secteur (carte géologique BRGM au 1/250000) ..	20
Figure 6 : Coupe géologique synthétique à travers les Causses de Campestre et de Sorbs (orientée selon le trait jaune Est de la Figure 5 ; coupe de Géoter-Bruxelles, 2013)	21
Figure 7 : Contexte géologique d'émergence des sources du Nord-Lodévois (tracé approximatif selon le trait jaune de la Figure 5) (bloc diagramme d'ANTEA, 2016)	22
Figure 8 : Illustration de la densité de cavités naturelles reconnues (Banque du Sous-Sol - Infoterre-BRGM)	25
Figure 9 : Localisation des cavités les plus importantes en longueur ou en profondeur.....	26
Figure 10 : Traçages positifs jugés valides et cohérents.....	29
Figure 11 : Localisation des piézomètres du réseau de suivi CD34-ADES	31
Figure 12 : Evolution piézométrique des systèmes des Cent Fonts (source ADES).....	32
Figure 13 : Evolution piézométrique des piézomètres de Brissac et Agonès (source ADES)	32
Figure 14 : Evolution piézométrique du système de la Buèges.....	33
Figure 15 : Evolution piézométrique en amont de la source de l'Adoux (source ADES).....	33
Figure 16 : Evolution piézométrique en amont de la source de Payrol 1 (source ADES)	34
Figure 17 : Diagramme de Piper permettant de déterminer le faciès chimique des eaux	35
Figure 18 : Valeurs moyennes des pH (données ADES)	36
Figure 19 : Valeurs moyennes des conductivités électriques (données ADES)	37
Figure 20 : Valeur maximale de turbidité (données ADES)	38
Figure 21 : Valeurs moyennes des concentrations de nitrates (données ADES).....	40
Figure 22 : Extrait de la carte de la vulnérabilité intrinsèque à l'échelle du département de l'Hérault (BRGM, 1990)	41
Figure 23 : Stations météorologiques permettant d'estimer les précipitations du secteur d'étude ...	43
Figure 24 : Précipitations annuelles moyennes sur la période 2009-2018 (sources Météo-France, CD34 et SPC)	44
Figure 25 : Précipitations annuelles de quelques stations du secteur	45
Figure 26 : Précipitations mensuelles moyennes (2009-2018) de quelques stations du secteur	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Stations piézométriques du réseau CD34-ADES	31
Tableau 2 : Précipitations annuelles moyennes des seules stations météorologiques présentes sur la masse d'eau (classées en fonction de leur altitude)	45