



Compréhension du fonctionnement hydrogéologique du point de surveillance : source de Fourès - Commune de Busque (81)

Rapport final approuvé

BRGM/RP-69295-FR
Décembre 2019



Compréhension du fonctionnement hydrogéologique du point de surveillance : source de Fourès - Commune de Busque (81)

Rapport final approuvé

BRGM/RP-69295-FR
Décembre 2019

M. Saplaïroles, B. Monod, E. Petelet-Giraud, W. Kloppmann, C. Cariven
Avec la collaboration de
M. Djemil

Vérificateur :

Nom : N. Baran

Fonction : Hydrogéologue

Date : 30/10/2019

Signature :

Approbateur :

Nom : AV. Hau-Barras

Fonction : directrice régionale déléguée

Date : 11/12/2019

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : sources, nitrates, hydrogéologie, hydrochimie, isotopes, temps de résidence, représentativité, molasses, masse d'eau souterraine, Directive Nitrates, Busque, Tarn, Occitanie

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Saplaïroles M., Monod B., Petelet-Giraud E., Kloppmann W., Cariven C. (2019) – Compréhension du fonctionnement hydrogéologique du point de surveillance : source de Fourès – Commune de Busque (81). Rapport final. BRGM/RP-69295-FR, 71 p., 47 fig.

Synthèse

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne a décidé d'engager une étude sous sa maîtrise d'ouvrage pour lever les incertitudes persistantes à ce jour concernant le (ou les) niveau(x) aquifère(s) capté(s) par le point de suivi de Fourès sur la commune de Busque dans le Tarn, intégré au réseau de suivi de la Directive Nitrates. L'étude réalisée par le BRGM doit fournir un schéma de fonctionnement hydrogéologique des sources concernées par ce point. En effet, cet aspect est un préalable indispensable pour la compréhension des fortes teneurs en nitrates actuellement mesurées par ce point de suivi de la qualité.

Sous l'appellation « Source de Fourès » sont désignés en fait trois ouvrages captant trois sources indépendantes les unes des autres. Les prélèvements d'eau réalisés pour les différents réseaux de contrôle de la qualité sont effectués dans la station de pompage de Fourès, au niveau de la conduite collectant les eaux des 3 sources. Il s'agit donc d'une caractérisation de la qualité des eaux correspondant à un mélange d'eaux issues des 3 captages de sources.

Pour atteindre l'objectif, plusieurs types de reconnaissances ont été mis en œuvre sur un délai contraint de deux mois et demi, entre juillet et septembre 2019, inhérent aux enjeux de l'étude.

Dans le but de caractériser les conditions d'émergence des sources de Fourès, un diagnostic du fonctionnement et de l'état de chacun des 3 captages a été entrepris. Un suivi régulier de chacun des drains d'arrivées d'eau de ces 3 ouvrages a été mis en place à une fréquence hebdomadaire à partir de mesures de débits et de paramètres physico-chimiques non conservatifs associés à des mesures de teneurs en nitrates.

Des relevés géologiques de terrain ont été réalisés dans le secteur de Busque. Ils ont permis d'étudier en détail la nature des différentes roches composant la molasse et leur organisation spatiale dans la vallée du Lenjou. Les formations molassiques du Rupélien sont observées sous la forme de marnes sableuses dans lesquelles s'intercalent des bancs de poudingues à matrice sableuse et ciment carbonaté parfois associés à des lentilles de sables fins à matrice carbonatée. Les observations géologiques ont également montré que le ruisseau du Lenjou s'écoule sur les marnes sableuses du Rupélien.

Les molasses du Rupélien du secteur de Busque sont considérées peu perméables dans leur ensemble. Localement, à la faveur de bancs de poudingues altérés associés aux sables fins, ces niveaux plus grossiers et plus perméables favorisent des écoulements diffus, de très faibles débits, avec des vitesses de transfert très lentes. Sur le plateau de Valéry – Les Condats, les terrains molassiques sont recouverts par des alluvions peu perméables du Quaternaire.

Le schéma géomorphologique de la rive gauche du Lenjou au niveau des captages de Fourès révèle des éléments d'observations d'importance dans la compréhension des écoulements captés par ces ouvrages. En effet, le versant est presque entièrement recouvert de colluvions qui fluent sur des pentes abruptes. L'organisation de ce fluage se fait par le biais de plusieurs glissements successifs plus ou moins anciens. Les captages de Fourès se situent au sein de ces matériaux flués au niveau des loupes de glissement observées sur le versant. Ces matériaux flués et remaniés jouent un double rôle hydrogéologique en favorisant un transfert rapide des écoulements sub-superficiels issus du plateau, et en assurant localement un rôle de drain vis-à-vis des écoulements diffus issus des niveaux des molasses encaissantes, ces écoulements restant cependant dans de très faibles débits.

Différentes analyses chimiques (hydrochimie, isotopie et datation) ont été mises en œuvre sur une sélection de 14 points d'eau répartis sur un territoire élargi à une dizaine de kilomètres de la commune de Busque. Les critères de sélection ont plus particulièrement porté sur leur représentativité géologique vis-à-vis des formations géologiques (alluviales ou molassiques ou en mélange) susceptibles de contribuer aux écoulements des captages de Fourès.

Les résultats d'analyses sont concordants avec les schémas de fonctionnement hydrogéologique révélés par les observations géologiques et hydrogéologiques de terrain. En particulier, les conditions d'émergence des sources de Fourès sont contrastées, notamment entre le captage n°1 d'une part, et les captages n°2 et 3 d'autre part.

Le captage n°1 présente, sur la période de mesures (juillet à mi-septembre), les débits les plus élevés, les teneurs en nitrates les plus importantes (de l'ordre de 60 à 65 mg/l). Le rapport isotopique des isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) souligne également une différence avec les eaux des captages n°2 et n°3. L'interprétation de l'analyse des gaz dissous ($\text{CFC}_s / \text{SF}_6$) indique un apport d'eau récente (en moyenne datée d'une année) quasi exclusif (à 99%). Ces éléments témoignent d'écoulements à transfert rapide provenant essentiellement des formations de recouvrement localisées sur le plateau (colluvions, alluvions).

Les captages n°2 et n°3 présentent de nombreuses similitudes physico-chimiques entre eux. Toutefois le captage n°3 présente des débits 10 fois moins élevés que ceux du captage n°2. De même, les signatures isotopiques du strontium mesurées pour les eaux de ces 2 ouvrages sont similaires, révélant des circulations au sein d'un réservoir de même nature lithologique. L'interprétation de l'analyse des gaz dissous ($\text{CFC}_s / \text{SF}_6$) indique comme pour le captage n°1, un apport d'eau récente (en moyenne datée de 3 ans pour le captage n°2 et en moyenne de 1,5 ans pour le captage n°3) très majoritairement (70 à 90%) provenant des formations superficielles issues du plateau associées aux colluvions des glissements qui affectent le versant. A la différence du captage n°1, des apports d'eaux anciennes (évaluées en moyenne à 33 ans) contribuent aux écoulements des captages n°2 et n°3 dans une moindre proportion (entre 10 et 30%). Ces apports d'eaux anciennes sont attribués aux formations molassiques en place qui sont drainées au niveau des loupes de glissement.

La composante jeune (1 à 3 ans de temps de résidence) prédomine pour les trois captages (à 99% pour le captage n°1, à 86% pour le captage n°3 et à 72% pour le captage n°2). Une part significative de l'eau des captages serait issue des formations superficielles (colluvions et/ou alluvions) et une partie inférieure à 30% concernerait des apports en eau de la molasse rupélienne. Ces informations semblent indiquer que les eaux transitant au sein des formations superficielles issues du plateau seraient plus contaminées en nitrates que celles provenant des niveaux molassiques en place, le captage n°1 révélant les concentrations en nitrate les plus élevées.

L'application des règles de délimitation des masses d'eau de type imperméable localement aquifère induit que le point de suivi de Fourès appartient à la masse d'eau souterraine « des molasses du bassin du Tarn (FRFG089) ». Pour autant, l'étude réalisée a mis en évidence que le suivi actuel réalisé à la station de pompage de Fourès correspond à un mélange des eaux des 3 captages jugés vulnérables aux contaminations directes de surface, car non étanches, et dont les arrivées d'eau sont identifiées très majoritairement sub-superficielles. A ce titre, ce point ne peut être considéré comme un point représentatif pour le suivi de la qualité des eaux souterraines, et notamment des teneurs en nitrates, de la molasse rupélienne. Par ailleurs, la qualité mesurée au point de suivi de Fourès est représentative d'une superficie extrêmement restreinte du territoire, correspondant à celle de sa zone d'alimentation, établie à 0,4 km², et pour des écoulements s'opérant majoritairement au sein des formations superficielles de la masse d'eau concernée.

Ces problèmes de représentativité locale soulignent l'importance qu'une réflexion méthodologique puisse être menée pour améliorer les suivis de la qualité de ces unités aquifères peu profondes représentées au sein de ces masses d'eau molassiques caractérisée « imperméables localement aquifères », et particulièrement pour ce qui concerne le suivi des pollutions diffuses. En effet, le caractère majoritairement ruisselant des formations molassiques et superficielles représentées à l'affleurement des masses d'eaux souterraines concernées et la quasi absence d'aquifères d'envergure dans ces domaines, incitent à privilégier un suivi de la qualité de ces vastes étendues molassiques à partir de stations de mesures sur les eaux de surface. Ce type de suivi est plus intégrateur de la globalité des écoulements (eaux de ruissellement et écoulements sub-superficiels comme ceux représentés par le point de suivi de Fourès), et de fait plus représentatif des effets anthropogéniques sur la qualité des eaux à l'échelle du bassin versant.

Sommaire

1. Contexte et objet de la mission	11
2. Masses d'eaux souterraines de type imperméables localement aquifères	13
3. Localisation du secteur d'étude	15
4. Rappels.....	19
4.1. AVIS APPORTE PAR LE BRGM EN AVRIL 2019.....	19
4.2. RESULTATS D'ANALYSES DISPONIBLES	21
4.2.1. Teneurs en nitrates	21
4.2.2. Teneurs en produits phytosanitaires et métabolites	22
4.2.3. Molécules spécifiques des eaux usées	23
5. Travaux réalisés et résultats.....	25
5.1. RECONNAISSANCES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES	25
5.1.1. Contexte géologique	25
5.1.2. Description détaillée des molasses du Lenjou.....	27
5.1.3. Analyse géomorphologique de la rive gauche du Lenjou au niveau du captage de Fourès	29
5.1.4. Coupe lithologique synthétique du secteur des captages de Fourès	30
5.1.5. Interprétations hydrogéologiques	31
5.2. CARACTERISATION DES CONDITIONS D'EMERGENCE DES CAPTAGES DE FOURES ET SUIVI HYDROGEOLOGIQUE ASSOCIE	33
5.2.1. Diagnostics du fonctionnement et de l'état des captages de Fourès	33
5.2.2. Informations collectées auprès de la mairie de Busque	42
5.2.3. Mesures hebdomadaires des débits et des paramètres physico-chimiques	43
5.3. EVALUATION DES TENEURS EN NITRATES EN PRESENCE DANS LE RUISSEAU DU LENJOU ET SES AFFLUENTS	48
5.4. CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DES AQUIFERES EN PRESENCE.....	49
5.4.1. Inventaire et diagnostic de points d'eau (puits et sources)	49
5.4.2. Campagne de mesures hydrochimiques et hydrogéologiques	51
5.4.3. Résultats et interprétation des données géochimiques	52
5.4.4. Les paramètres physico-chimiques.....	55
5.4.5. La chimie des éléments majeurs.....	56
5.4.6. Les isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$).....	62
5.4.7. Estimation des temps de résidence moyens des eaux.....	64
6. Conclusion	71
7. Bibliographie.....	77

Liste des figures

Figure 1 – Délimitation des masses d'eau souterraine de type « molasse » (version 2016) dans le Bassin Adour-Garonne	13
Figure 2 – Liste des masses d'eau souterraine de type « molasses » représentées dans le Bassin Adour-Garonne	14
Figure 3 – Localisation des captages de Fourès sur la commune de Busque (81). Délimitation de la zone d'alimentation du captage de Fourès issue du rapport ANTEA A83721/A	15
Figure 4 – Occupation du sol actuelle (2016-2017) au niveau de la zone d'alimentation du captage de Fourès (source données cartographiques Géoportail ©IGN, FEDER, Région Occitanie, Préfecture de la région Occitanie, MMA, ASP)	16
Figure 5 – Evolution de l'occupation des sols du secteur des sources de Fourès entre 1981 et 2019 (site internet http://remonterletemps.ign.fr/)	17
Figure 6 – Carte de localisation des investigations géologiques réalisées et du captage de Fourès et de sa zone d'alimentation définie dans l'étude de la définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses	20
Figure 7 – Evolution des teneurs en nitrates mesurées entre 2004 et 2019 à la source de Fourès (BSS002ENEF)	22
Figure 8 – Evolution entre 2004 et 2018 des teneurs en atrazine et ses métabolites quantifiés au captage de la source de Fourès (par convention, les analyses inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à 0)	23
Figure 9 - Localisation des points d'observations géologiques sur le secteur de Busque de la carte géologique de Gaillac (958) d'après Cavallé (1971)	26
Figure 10 – Carte géologique du secteur de Busque d'après Cavallé (1971) modifiée à partir des nouvelles observations de terrain sur les versants du Lenjou	27
Figure 11 – Coupes lithologiques détaillant la succession et la nature des terrains molassiques du Rupélien dans la vallée du Lenjou. Position des coupes sur la Figure 10.	28
Figure 12 – Profil géomorphologique schématisé du versant de la rive gauche du Lenjou au niveau des captages de Fourès (captage haut = captage n°1 et captages bas = captages n°2 et n°3)	30
Figure 13 – Coupe lithologique interprétative entre Pz13 et le Lenjou synthétisant les données disponibles et observations de terrain	32
Figure 14 - Coupe schématisée de localisation des captages et de la station de pompage de Fourès sur les rives de la rivière Lenjou	33
Figure 15 – Photographies du captage n°2 avant et après l'opération de curage	34
Figure 16 – Coordonnées et cotes altitudinales des captages mesurées par GPS GNSS (repère de mesure noté RM dans le tableau)	35
Figure 17 – Dimensionnement du captage n°1	36
Figure 18 – Vues et représentations schématisées du captage n°1	37
Figure 19 - Dimensionnement du captage n°2	38
Figure 20 – Vues et représentations schématisées du captage n°2	39
Figure 21 - Dimensionnement du captage n°3	40
Figure 22 – Vues et représentations schématisées du captage n°3	41
Figure 23 – Photographies des aménagements réalisés pour les suivis des drains des 3 captages	44

Figure 24 – Evolution des débits mesurés dans les drains des captages de Fourès	45
Figure 25 – Evolution des paramètres physico-chimiques non conservatifs de terrain mesurés dans les drains des captages de Fourès.....	46
Figure 26 – Evolution des teneurs en nitrates mesurées dans les drains des captages de Fourès.....	47
Figure 27 – Vue du ruisseau Lenjou en contrebas des captages de Fourès en septembre 2019	48
Figure 28 - Carte de localisation des échantillons prélevés pour analyse chimique (fond de carte géologique de Gaillac 1/50 000)	50
Figure 29 - Paramètres physico-chimiques mesurés dans les points d'eau de la campagne d'analyse.....	53
Figure 30 - Résultats des analyses chimiques (composés majeurs) obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse	53
Figure 31 - Résultats des analyses chimiques (composés mineurs et traces) obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse.....	54
Figure 32 - Résultats des analyses chimiques du strontium et des rapports isotopiques du strontium obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse. (n.m. : non mesuré).....	54
Figure 33 - Représentation de la Conductivité Electrique en fonction de la température des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude	55
Figure 34 : Représentation du potentiel rédox (mV) en fonction de la teneur en oxygène dissous (% sat.) des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude	56
Figure 35 - Diagramme de Piper des trois groupes de points d'eau échantillonnés dans le secteur d'étude (taille du point proportionnelle à la concentration totale des substances dissoutes, TDS)	57
Figure 36 - Indices de saturation des eaux vis-à-vis de la calcite, aragonite, dolomite, gypse et anhydrite. Calculs réalisés avec le logiciel Diagrammes (SIMLER, 2017, Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon). Gras noir : à l'équilibre, bleu : sous-saturé, rouge : sur-saturé.	58
Figure 37 - Représentation de la teneur en sodium en fonction de la teneur en chlorure des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude complété par le suivi historique de la « source de Fourès ».....	59
Figure 38 - Représentation de la teneur en nitrate en fonction de la teneur en chlorure (gauche) et représentation du potentiel rédox en fonction de la teneur en nitrate (droite) des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude. Les données historiques du point de suivi de Fourès ont été ajoutées dans le diagramme NO ₃ vs. Cl.	59
Figure 39 – Répartition des teneurs en nitrates mesurées dans les différents points d'eau de la campagne d'analyse de juillet 2019	60
Figure 40 - Répartition des différentes formes de l'azote dans chacune des eaux du secteur d'étude	61
Figure 41 - Concentrations en fer (Fe) et manganèse (Mn) en fonction du potentiel rédox (Eh) dans les échantillons d'eau souterraine du secteur d'étude.	62
Figure 42 - Rapport isotopique du strontium dissous (⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) en fonction de la concentration en Sr dissous dans les échantillons d'eau souterraine du secteur d'étude. L'expression du rapport isotopique ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr est donné avec une précision à la 5 ^{ème} décimale, la barre d'erreur de chaque point de mesure est ainsi incluse dans la taille du symbole.....	63
Figure 43 - Courbes des concentrations atmosphériques des gaz synthétiques depuis leur première émission par l'homme.....	64
Figure 44 - Principe de l'estimation du temps de résidence à partir des teneurs en gaz atmosphériques (CFCs et SF ₆)	65
Figure 45 - Schéma d'un modèle de recharge : Recharge à travers une zone non saturée épaisse puis transfert sur des cheminements plus ou moins longs jusqu'à l'ouvrage prélevé. Le « déclenchement du chronomètre » correspond au moment où l'eau d'infiltration est isolée de l'atmosphère.	65

Figure 46 - Teneurs en argon et azote gazeux dissous dans les eaux souterraines des points échantillonnés.....	66
Figure 47 - Concentrations calculées du CFC-11 et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés.	67
Figure 48 - Concentrations calculées du CFC-113 et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques plus perméables, d'épaisseur limitée.	68
Figure 49 - Concentrations calculées du SF ₆ et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques perméables, d'épaisseur limitée.	69
Figure 50 - Concentrations calculées du SF ₆ et du CFC-113 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques perméables, d'épaisseur limitée.	69

Liste des annexes

Annexe 1 – Tableau de synthèse de l'ensemble des données acquises et des critères de sélection des 18 points d'eau échantillonnés pour analyses chimiques.....	79
--	----

1. Contexte et objet de la mission

La directive européenne 91/676/CEE dite « Nitrates » vise à réduire la pollution provoquée ou induite des eaux par les nitrates à partir de sources agricoles et à prévenir toute nouvelle pollution de ce type. Elle s'applique en droit français par la définition de territoires, appelés zones vulnérables, où sont imposés des programmes d'actions destinés à mettre en place des pratiques agricoles particulières permettant de limiter les risques de pollution.

Ces zonages et ces programmes d'actions, faisant régulièrement l'objet d'actualisation, sont respectivement sous la responsabilité de la DREAL de Bassin et de la DREAL. Ainsi, depuis 1996, la mise en œuvre de la directive nitrates en France a donné lieu à 6 générations de programmes d'actions. L'efficacité de ces actions est évaluée à partir des données acquises dans un réseau de surveillance de la qualité des eaux vis-à-vis des nitrates, placé sous la responsabilité des Agences de l'Eau.

Sur le Bassin Adour-Garonne, plusieurs révisions du zonage des territoires classés en zones vulnérables aux nitrates d'origine agricole ont été menées, dont la première en 2002, elle-même révisée en 2007, puis révisée en 2012 et complétée en 2015. **Le dernier zonage en vigueur a été adoptée le 21 décembre 2018.**

En effet, depuis 2012 et en réponse au contentieux européen, les critères de désignation de ces zones ont été revus en droit français. Les règles utilisées pour cette nouvelle délimitation des zones vulnérables pour les eaux souterraines sont définies dans l'article 4 de l'arrêté du 05 mars 2015 indiquant que *« les zones vulnérables sont désignées en fonction des masses d'eau pour les eaux souterraines. Dès lors que la teneur en nitrates d'un point d'une masse d'eau souterraine répond aux critères mentionnés au 1° du I et au 1° du II de l'article R. 211-76 du code de l'environnement, la totalité de la masse d'eau souterraine est considérée comme atteinte par la pollution par les nitrates ou susceptible de l'être et l'ensemble des communes dont une partie du territoire est sus-jacent à la masse d'eau sont désignées comme zone vulnérable. Toutefois si un fonctionnement hydrogéologique différencié au sein de la masse d'eau peut justifier une compartimentation de la masse d'eau, seules les communes dont une partie du territoire est sus-jacent au compartiment de la masse d'eau atteint par la pollution par les nitrates ou susceptible de l'être sont désignées comme zone vulnérable »*.

Ainsi, la masse d'eau souterraine FRFG089 des molasses du bassin du Tarn a été classée dans sa totalité en zone vulnérable à la pollution par les nitrates d'origine agricole en raison de teneurs élevées en nitrates (teneurs moyennes de l'ordre de 60 mg/l sur la période 2004 – 2019) mesurées au point de suivi de la source de Fourès (BSS002ENEF) sur la commune de Busque dans le Tarn (81).

Faisant suite aux inquiétudes formulées par les représentants de la profession agricole, quant aux conséquences économiques de la délimitation des zones vulnérables dans le département du Tarn, et aux doutes sur la pertinence du point de suivi, le Préfet coordonnateur de bassin stipule dans un courrier adressé au Président de la Chambre d'agriculture du Tarn *« commander au BRGM une étude complémentaire plus ciblée, plus précise, pour explorer toute possibilité de continger la nappe dans le respect des règles techniques qui s'imposent. L'objectif est d'aboutir durant l'été 2019 et de reconsidérer alors la pertinence du classement en s'appuyant sur des éléments non attaquables afin de confirmer ou infirmer le classement des 34 communes suivantes (...) »*.

Suite à ce courrier, une réunion, pilotée par le SGAR et réunissant les Services de l'Etat et la Chambre d'agriculture du Tarn, a été organisée fin janvier 2019 pour préciser ce qui était techniquement réalisable dans le délai imparti. Il a ainsi été convenu que la DREAL sollicite le BRGM Occitanie, dans le cadre de la ligne « Appui à la Police de l'Eau 2019 », pour émettre un avis d'expertise d'une part, sur la ressource captée par le point de suivi BSS002ENEF de la commune de Busque, notamment sur son appartenance à la masse d'eau FRFG089 et d'autre part, sur l'origine possible des teneurs en nitrates mesurées dans les eaux du captage.

La compréhension des teneurs en nitrates mesurées dans les eaux du captage est étroitement liée à la connaissance précise de la (ou des) ressource(s) captée(s) et donc de la zone d'alimentation du captage et des pressions qui y sont exercées ou qui y ont été exercées.

L'expertise hydrogéologique menée en avril 2019 par le BRGM (Rapport BRGM/RP-68926-FR), basée uniquement sur l'analyse critique des documents remis dans le cadre de la mission d'Appui à la Police de l'Eau, fait ressortir que les éléments à disposition et les imprécisions identifiées dans les différents documents consultés engendrent des doutes et incertitudes quant aux interprétations proposées, notamment vis-à-vis de l'identification précise du (ou des) niveau(x) aquifère(s) capté(s) par le point de suivi dit de « la source de Fourès ».

Les teneurs en nitrates observées aujourd'hui peuvent apparaître, en premier examen, surprenantes au regard de l'actuelle occupation du sol sur la zone d'alimentation, essentiellement concernée par de l'habitat individuel. Sachant qu'aucune molécule spécifique des eaux usées n'a été quantifiée lors des 6 campagnes d'analyses réalisées depuis 2016, une origine urbaine semble peu probable pour expliquer les teneurs en nitrates mesurées aujourd'hui à la source. Ainsi, l'origine des nitrates pourrait être liée à une activité agricole passée induisant un transfert régulier de nitrates contenus dans le sol et la zone non saturée vers la nappe captée au niveau de la source de Fourès.

Au regard de ces différents éléments, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a décidé d'engager une étude sous sa maîtrise d'ouvrage pour lever les imprécisions identifiées par l'expertise du BRGM d'avril 2019.

L'Agence de l'Eau Adour-Garonne a donc initié la consultation n°2019-060 auprès du BRGM Occitanie avec pour objectif de lever les incertitudes persistantes à ce jour concernant le (ou les) niveau(x) aquifère(s) capté(s) par la source de Fourès, et de préciser le fonctionnement hydrogéologique (origine et dynamique des écoulements) de la source.

2. Masses d'eaux souterraines de type imperméables localement aquifères

Le guide méthodologique de mise en œuvre de la DCE concernant l'identification et la délimitation des masses d'eau souterraine publié en janvier 2003 donne comme **définition des masses d'eau de type imperméable localement aquifère** : « Formations sédimentaires peu ou pas aquifères en grand (domaine hydrogéologique) renfermant de petits aquifères disjoints, disséminés et dont les limites sont souvent mal connues ».

Sur le territoire Adour-Garonne, ce type de masse d'eau concerne les formations molassiques tertiaires peu perméables, à faciès marno-argileux, affleurantes sur de vastes superficies. Les masses d'eau de type « molasses » occupent environ 25 000 km² du Bassin Adour-Garonne (soit environ 20% de l'ensemble du bassin). La majeure partie de ces formations est localisée en région Occitanie, le reste étant situé sur la région Nouvelle-Aquitaine. Douze départements sont concernés en tout ou partie. Ces masses d'eau ne sont pas continues à l'affleurement, en raison notamment des dépôts alluvionnaires des principaux cours d'eau (Garonne, Adour, Tarn, Ariège, Aveyron, Lot...) (Antea Group, Ginger CEBTP, Calligée, 2015).

La carte de Figure 1 et le tableau de la Figure 2 indiquent la répartition des masses d'eau souterraine de type « molasses » sur le territoire du Bassin Adour-Garonne.

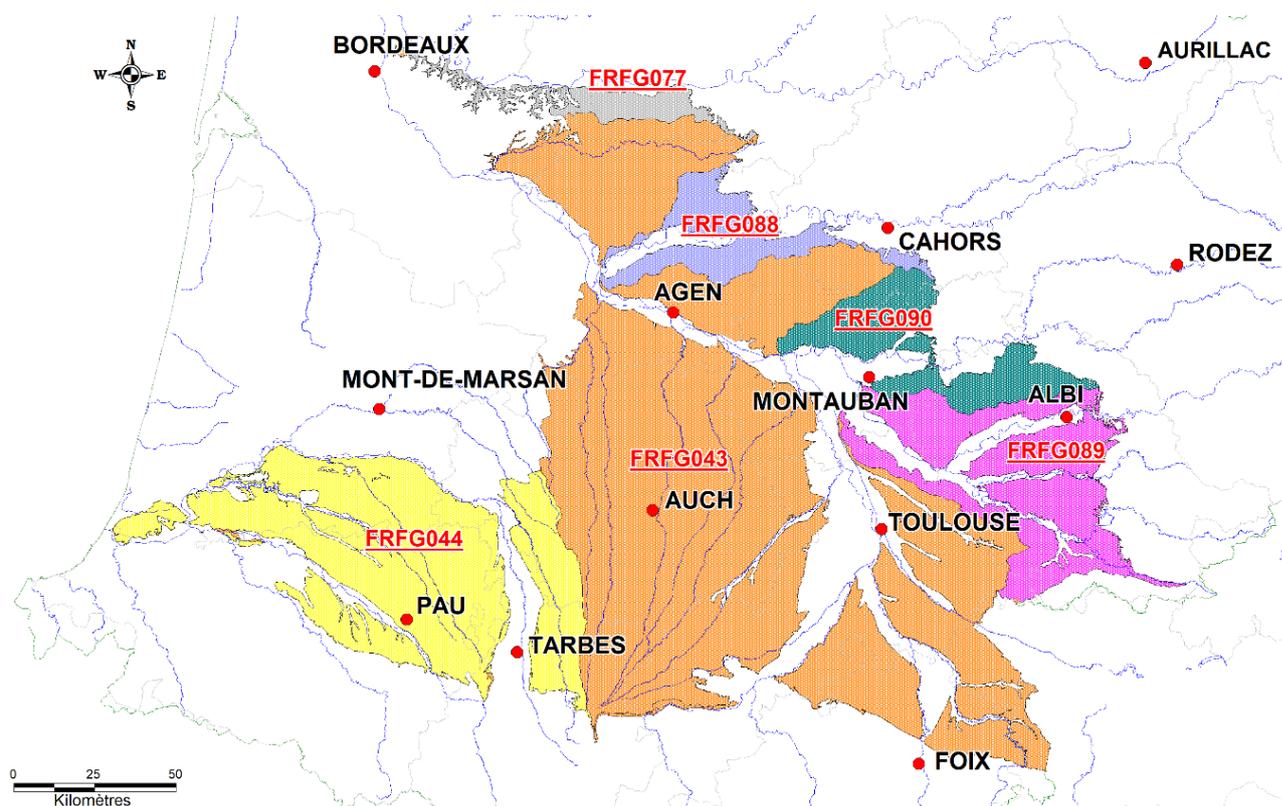


Figure 1 – Délimitation des masses d'eau souterraine de type « molasse » (version de 2016) dans le Bassin Adour-Garonne

Code	Appellation	Département	Commission territoriale	Superficie (km ²)
FRFG043	Molasses du bassin de la Garonne et alluvions anciennes de piémont	09, 11, 24, 32, 33, 46, 47, 65, 81, 82	Garonne	14 439,2
FRFG044	Molasses du bassin de l'Adour et alluvions anciennes de piémont	32, 40, 64, 65	Adour	5 023,7
FRFG077	Molasses du bassin de la Dordogne	24, 33, 47	Dordogne	530,3
FRFG088	Molasses du bassin du Lot	46, 47, 82	Lot	1 072,9
FRFG089	Molasses du bassin du Tarn	11, 31, 81, 82	Tarn / Aveyron	2 559,0
FRFG090	Molasses du bassin de l'Aveyron	46, 81, 82	Tarn / Aveyron	1 411,6

Figure 2 – Liste des masses d'eau souterraine de type « molasses » représentées dans le Bassin Adour-Garonne

Les règles de découpage pour ce type de masse d'eau indiquent que « le contour de ce type de masse d'eau correspond à celui de la zone d'affleurement du domaine hydrogéologique ».

La contrainte réglementaire fixée par la DCE, imposant de définir un nombre restreint de masses d'eau à l'échelle nationale et une taille unitaire minimale importante, a impliqué de réaliser des regroupements d'entités hydrogéologiques présentant les mêmes caractéristiques hydrogéologiques et une même problématique en terme de pressions.

Ce type de configuration s'est appliqué dans la délimitation des masses d'eau souterraine des formations molassiques en Adour-Garonne. Ainsi, ces masses d'eau de type « molasses » ont été délimitées à partir des affleurements cartographiés et découpées selon les principaux bassins hydrologiques. Elles peuvent ainsi intégrer des unités imperméables et également regrouper plusieurs unités aquifères. Ainsi, les formations peu aquifères et/ou d'extension restreinte, correspondant notamment aux différentes terrasses alluviales déconnectées des cours d'eau et à toutes les formations de pentes comme les colluvions, les éboulis, les cônes de déjection, les matériaux de solifluxions etc..., recouvrant localement les molasses, ont été intégrées dans la délimitation des masses d'eaux molassiques.

3. Localisation du secteur d'étude

Le point de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la source de Fourès (BSS002ENEF - 09586X0006/HY) est situé sur le commune de Busque dans le département du Tarn (81). Les prélèvements d'eau effectués pour les suivis de la qualité sont réalisés au niveau de la station de pompage de Fourès collectant les eaux des anciens captages de sources alimentant en eau potable les habitants de Busque jusqu'en 1995. Ces captages sont implantés sur le rebord occidental d'un plateau dit de Valéry – Les Condats. Ils sont situés à mi-pente d'un talweg boisé relativement abrupt en rive gauche de la rivière Lenjou, affluent de rive droite de la rivière le Dadou, dont la confluence est située en aval immédiat de la ville de Graulhet (Figure 3).

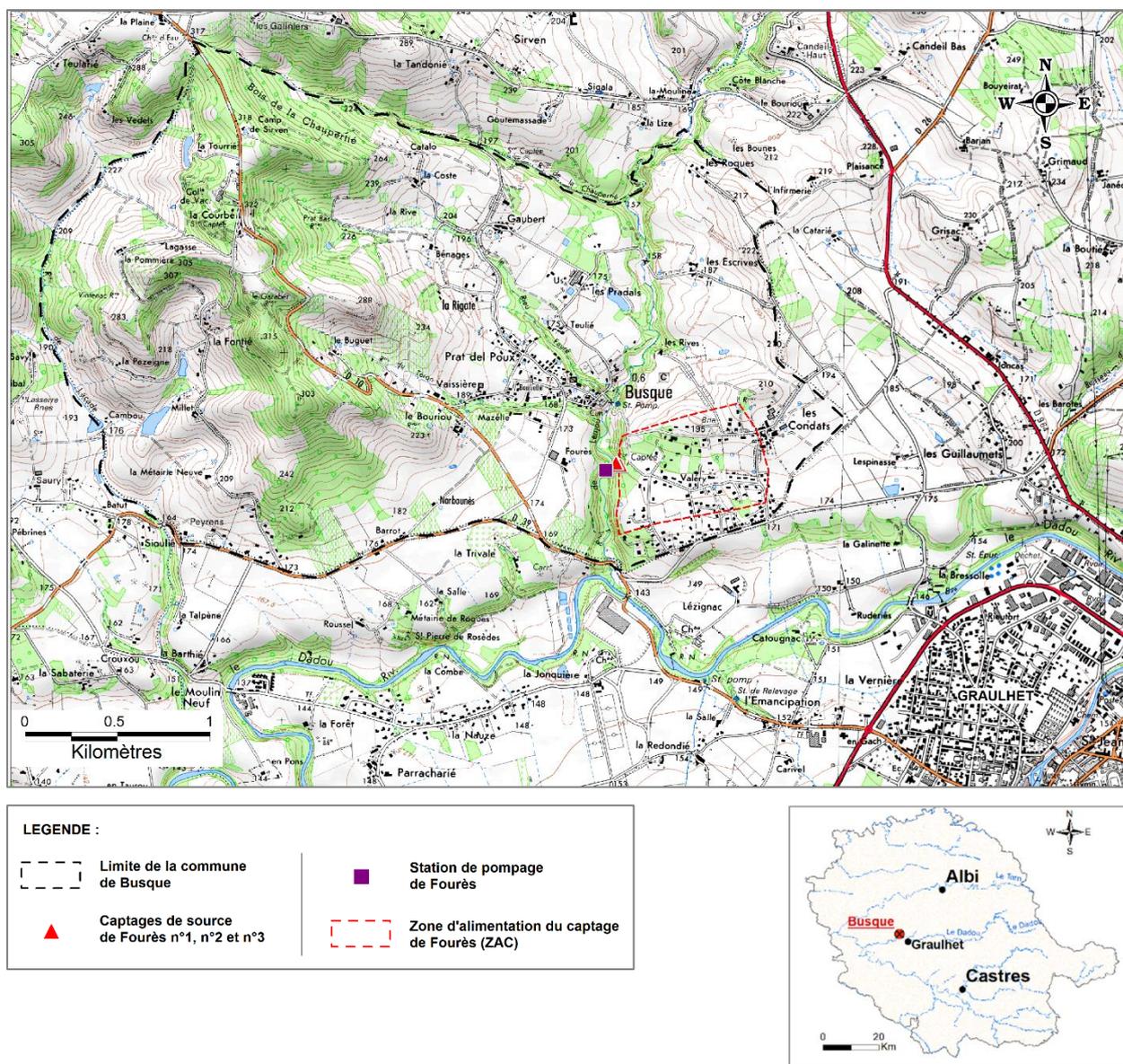


Figure 3 – Localisation des captages de Fourès sur la commune de Busque (81). Délimitation de la zone d'alimentation du captage de Fourès issue du rapport ANTEA A83721/A

L'actuelle occupation des sols de la zone d'alimentation des captages de Fourès est représentée sur la Figure 4 à partir des données cartographiques issues du Registre Parcellaire Graphique (RPG) de 2017 et de photographies aériennes de 2016 provenant du site internet Géoportail©.

Il apparaît clairement sur cette représentation, que la majorité des terrains intégrés à la zone d'alimentation telle que définie dans le rapport ANTEA A83721/A, concerne aujourd'hui des zones résidentielles. Seules 2 parcelles entièrement situées à l'intérieur de la ZAC sont déclarées en 2017 à usage agricole pour des prairies permanentes (selon les données du RPG). Trois autres portions de parcelles agricoles (déclarées en 2017 en blé, en mélange de légumineuses, d'herbacées ou de graminées fourragères et en prairie) sont localisées en bordure nord et nord-est de la ZAC.

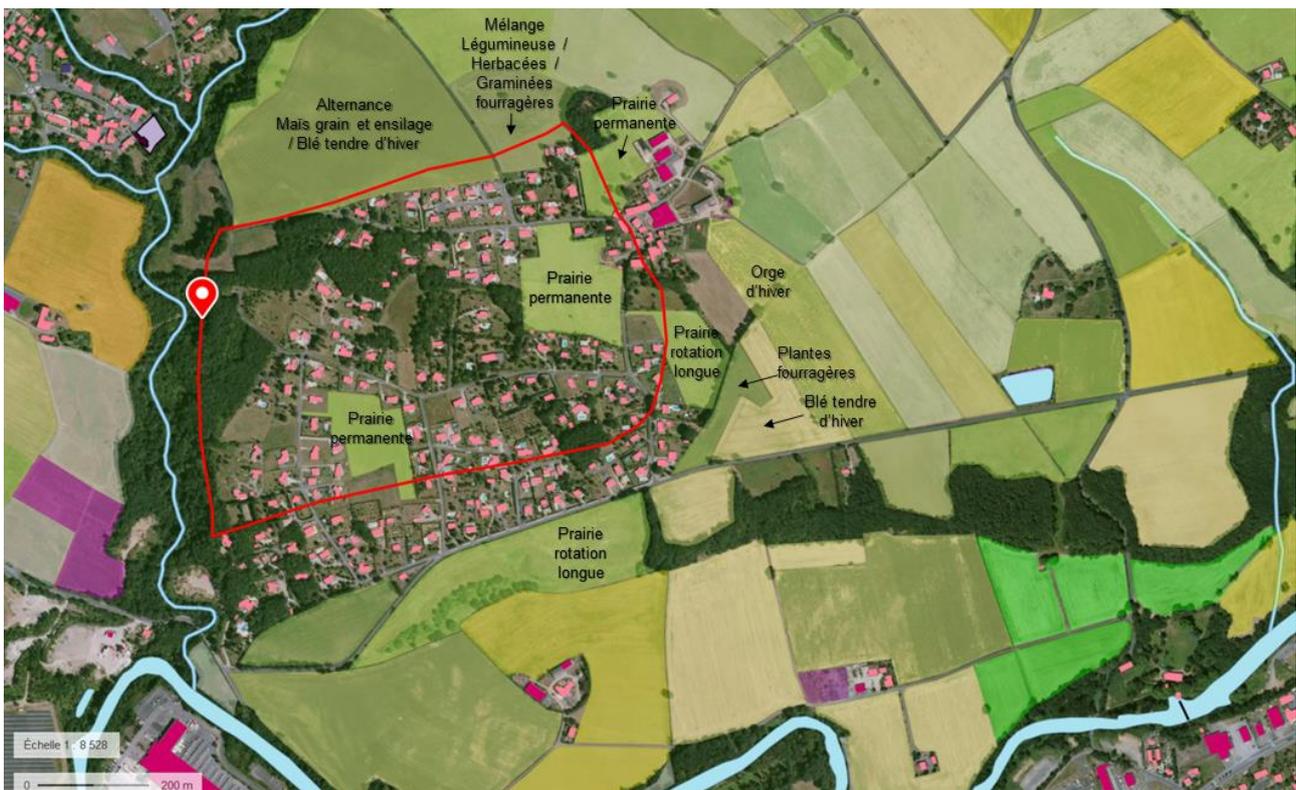


Figure 4 – Occupation du sol actuelle (2016-2017) au niveau de la zone d'alimentation du captage de Fourès (source données cartographiques Géoportail ©IGN, FEDER, Région Occitanie, Préfecture de la région Occitanie, MMA, ASP)

Cependant, il est important de mentionner que, par le passé, ce secteur était majoritairement concerné par des terrains agricoles comme en témoigne la Figure 5 représentant l'évolution de l'occupation de la zone de 1981 à 2019 à partir de photographies aériennes (téléchargées du site internet <http://remonterletemps.ign.fr/>).

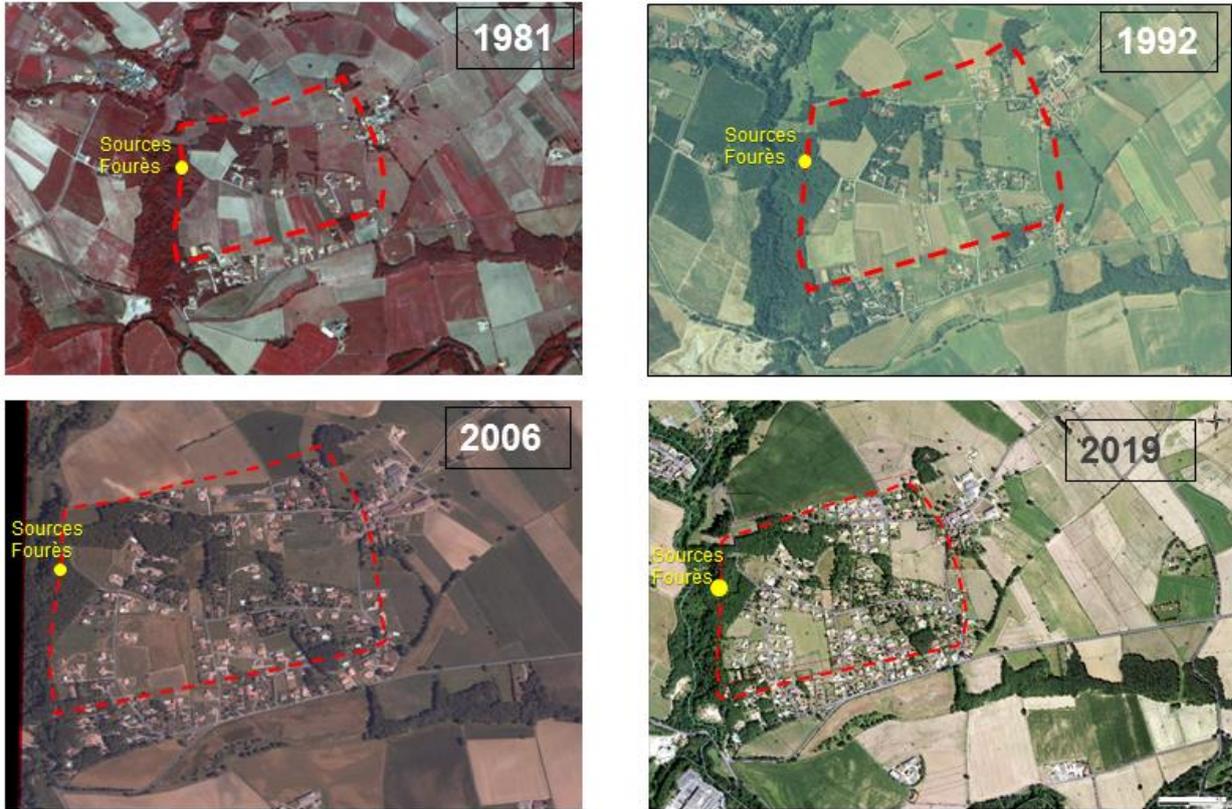


Figure 5 – Evolution de l'occupation des sols du secteur des sources de Fourès entre 1981 et 2019
(site internet <http://remonterletemps.ign.fr/>)

4. Rappels

4.1. AVIS APPORTE PAR LE BRGM EN AVRIL 2019

L'expertise hydrogéologique menée en avril 2019 par le BRGM (Rapport BRGM/RP-68926-FR) a consisté à établir une analyse critique des données disponibles et des documents remis afin de déterminer si ces derniers permettaient de caractériser précisément la ressource captée par le point de suivi de Fourès sur la commune de Busque (BSS002ENEF). Les documents sur lesquels se sont appuyés cette expertise d'Appui aux Administrations sont les suivants:

- Rapports intitulés « Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses ». Sous maîtrise d'ouvrage de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, cette opération en 3 phases a été réalisée par le groupement Antea Group – Ginger CEBTP – CALLIGEE :
 - ✓ Rapport A76940/C d'avril 2015 intitulé « Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses ». Phase 1 : Collecte des données, bilan des connaissances, choix des captages et propositions d'investigations.
 - ✓ Rapport A81875/B de mai 2016 intitulé « Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses ». Phase 2 : Investigations de terrain, interprétations des données et proposition d'une méthodologie pour les zones d'alimentation.
 - ✓ Extrait du rapport A83721/A en cours de vérification intitulé « Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses ». Phase 3 : Définition des zones d'alimentation et programme de surveillance.
- Rapport A91837_VB de décembre 2017 rédigé par Antea Group à la demande de la Chambre d'agriculture du Tarn, portant l'intitulé « Révision du zonage des zones vulnérables du département du Tarn. Fonctionnement hydrogéologique des 3 points de suivi qualitatif ».

Plusieurs imprécisions et incohérences entre les différents documents consultés ont été relevées. Elles concernaient en particulier le rôle des ouvrages en présence (s'agissait-il uniquement de captages ou l'un d'entre eux jouait-il un rôle de collecteur ?). Ces informations conditionnaient le nombre et la position des sources existantes et leurs conditions d'émergences. Par ailleurs, des cotes altitudinales différentes pour la source de Fourès étaient indiquées dans les documents mis à disposition, induisant des interprétations différentes des niveaux captés.

Le contexte géologique et hydrogéologique de la source de Fourès a été principalement établi à partir d'une campagne géophysique par tomographie électrique, destinée à implanter et réaliser un sondage de reconnaissance des formations géologiques du secteur sur le plateau de Valéry en amont des captages de Fourès. Ces travaux ont été réalisés lors de la phase 2 de l'étude portant sur la définition d'une stratégie de surveillance des masses d'eau de type molasses (Figure 6). Toutefois, aucune information n'est indiquée dans les différents rapports consultés au sujet d'arrivées d'eau observées en cours de foration du sondage. Seule une mesure du niveau piézométrique a été effectuée en fin de foration. Cet ouvrage a été rebouché en fin d'opération ne permettant plus d'effectuer des prélèvements d'eau pour analyse chimique et d'engager des suivis de l'évolution des niveaux piézométriques.

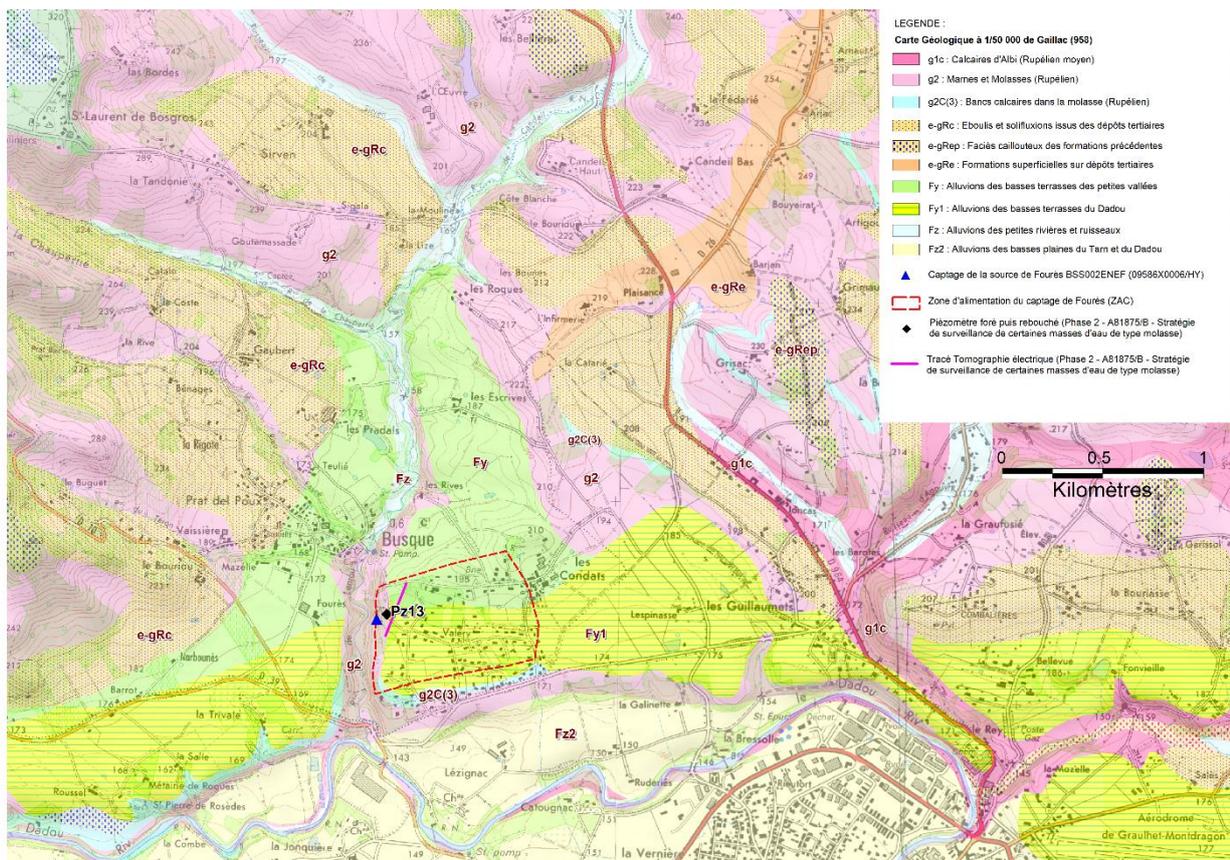


Figure 6 – Carte de localisation des investigations géologiques réalisées et du captage de Fourès et de sa zone d'alimentation définie dans l'étude de la définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses

Ainsi, en fonction des incertitudes identifiées dans les différents documents consultés, l'expertise a identifié que plusieurs cas de figure pouvaient être considérés. Les écoulements de la source pouvaient être issus, hypothèse 1 : d'un ou de plusieurs niveau(x) aquifère(s) molassique(s) (formations des calcaires d'Albi, niveaux marno-calcaires ou gréseux), hypothèse 2 : de circulations superficielles au sein des colluvions en relation avec les formations alluviales, hypothèse 3 : de plusieurs compartiments aquifères combinés (molassiques et superficiels), voire hypothèse 4 de circulations de sub-surface. Dans tous les cas pour ces 4 hypothèses, le bassin d'alimentation de la source étant étroitement lié à la connaissance précise de la (des) ressource(s) captée(s), il pouvait s'avérer être sensiblement différent de celui proposé.

Les informations présentes dans les documents remis, mentionnaient un fonctionnement de la source caractérisé par un débit moyen relativement faible mais présentant d'importantes variations temporelles, du tarissement à l'étiage à des augmentations notables de débit lors d'événements pluvieux. Ces éléments ont été interprétés lors de l'expertise comme retranscrivant un aquifère transmissif et peu capacitif dont la recharge est directement influencée par les conditions climatiques. Ce type de fonctionnement serait alors cohérent avec une participation plus ou moins marquée d'aquifères superficiels aux écoulements de la source.

Les recommandations émises lors de l'expertise dans un objectif de compréhension de l'évolution des teneurs en nitrates mesurées au captage de Fourès stipulaient la mise en œuvre des actions suivantes :

- Une caractérisation précise des conditions d'émergence de la (les) source(s) de Fourès, avec identification du rôle réel des ouvrages existants et la mesure de leur cote altitudinale précise (par nivellement).
- La mise en place d'un système de mesure des débits du captage de Fourès couplé à la mesure au moins mensuelle des teneurs en nitrates dans les eaux du captage afin d'analyser la réactivité du système en fonction des événements climatiques, et d'appréhender les compartiments aquifères contribuant aux écoulements de la source.
- Une reconnaissance géologique et hydrogéologique de l'ensemble des formations géologiques susceptibles de participer aux écoulements de la source de Fourès en s'appuyant sur les nombreux points d'accès aux eaux souterraines identifiés sur le secteur. Ces reconnaissances devaient nécessairement être réalisées sur un secteur sensiblement élargi par rapport à la zone d'alimentation actuellement définie.
- Une campagne de mesures hydrochimiques et isotopiques d'une sélection de points d'eau couplée à une campagne piézométrique destinée à proposer des hypothèses pour redéfinir la zone d'alimentation du captage, et de mettre en évidence un potentiel impact des zones résidentielles en présence sur la zone d'alimentation en terme de qualité des eaux.
- Une évaluation des stocks de nitrates en présence à différentes profondeurs au sein de la zone non saturée des terrains de la zone d'alimentation du captage de Fourès, dans ses limites actuelles. Cette approche consiste à mettre en évidence une éventuelle origine des nitrates en relation avec des activités agricoles passées. L'estimation de la vitesse moyenne de transfert des nitrates pourrait être réalisée dans le cas présent en évaluant l'époque de modifications de l'occupation de sol sur le secteur (de terrains agricoles à zones urbaines).

Les travaux engagés dans la présente étude et exposés dans le chapitre 3 du présent rapport portent uniquement sur l'amélioration de la compréhension du fonctionnement hydrogéologique du secteur et concernent donc les 4 premières actions listées. Toutefois, la nécessité réglementaire de disposer d'éléments de réponse pour la fin du mois de septembre a imposé une réalisation de l'étude sur seulement 3 mois, de juillet à septembre 2019, période peu propice à des périodes hydrologiques contrastées.

Par ailleurs, dans une logique d'avancer par étape, la dernière action proposée portant plus précisément sur la caractérisation de la vitesse de transfert des nitrates dans la zone non saturée des terrains aquifères en présence, destinée à rechercher l'origine des nitrates mesurés dans les eaux de la source, n'a pas été retenue à ce stade.

4.2. RESULTATS D'ANALYSES DISPONIBLES

Les résultats d'analyses de la source de Fourès sont issus de la banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES) qui se présente comme un outil public de collecte et de conservation des données quantitatives et qualitatives, relatives aux eaux souterraines (www.adès.eaufrance.fr).

4.2.1. Teneurs en nitrates

Les teneurs en nitrates disponibles mesurées à la source de Fourès s'échelonnent entre mai 2004 et mars 2019 avec, dans la majorité des cas, 4 campagnes d'analyse réalisées par année (mars-juin-septembre-décembre). Ainsi, 53 valeurs de teneurs en nitrates ont été mesurées au cours de cette période.

L'évolution des teneurs en nitrates est présentée sur la Figure 7. Sur la période 2004 – 2019, la totalité des 53 analyses réalisées présente des valeurs de teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l. La valeur la plus faible mesurée est de 53 mg/l en septembre 2015 et la valeur plus élevée de 77 mg/l en novembre 2005. Une valeur moyenne de 63 mg/l est obtenue sur cette période.

Les teneurs en nitrates mesurées sur la période 2004 - 2019 semblent suggérer une évolution à la baisse, avec toutefois l'existence plus ou moins marquée de variations intra-annuelles de plusieurs mg/l, mais difficilement appréhendables compte-tenu de la fréquence de mesures. Par ailleurs, l'absence de mesures de débits concomitantes à celles des teneurs en nitrates est préjudiciable à la compréhension des évolutions observées.

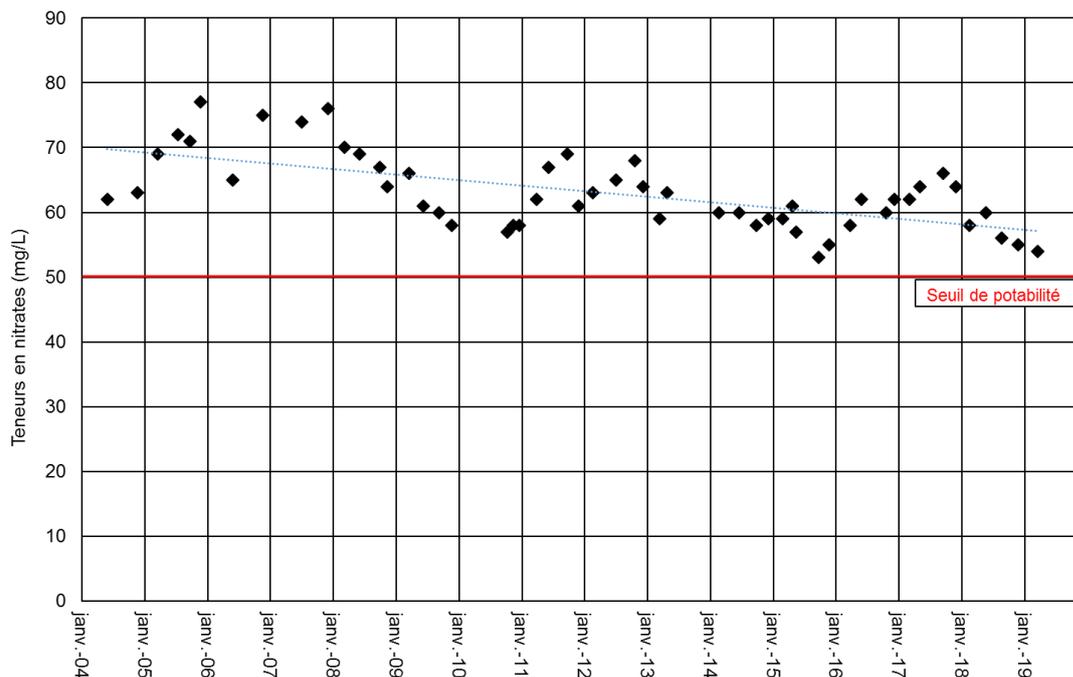


Figure 7 – Evolution des teneurs en nitrates mesurées entre 2004 et 2019 à la source de Fourès (BSS002ENEF)

4.2.2. Teneurs en produits phytosanitaires et métabolites

Sur les nombreux produits phytosanitaires analysés au cours de cette période, seulement 6 d'entre eux ont été détectés et quantifiés. Il s'agit de l'atrazine et de 2 de ses métabolites (l'atrazine déisopropyl déséthyl et l'atrazine déséthyl), de la simazine, de l'hexazinone et de l'ESA métolachlore (métabolite du métolachlore et/ou du S-métolachlore). Toutes ces substances actives sont utilisées comme herbicides. L'atrazine fut historiquement utilisée comme désherbant général puis employée exclusivement sur les cultures de maïs jusqu'en 2003. Le (S)-métolachlore est actuellement utilisé comme herbicide pour les cultures du maïs ou du tournesol par exemple.

Aucune des 59 quantifications réalisées sur l'ensemble de ces 6 substances ne dépasse le seuil de qualité pour l'eau potable fixé à $0,1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

A l'exception du S-métolachlore, toujours autorisé, il est important de noter que les 5 autres molécules quantifiées, appartenant toute à la famille des triazines, pour lesquelles les substances actives n'ont plus d'usage autorisé depuis 2003 et 2007 pour l'hexazinone.

L'atrazine déséthyl et l'atrazine sont les 2 molécules les plus couramment quantifiées, avec respectivement 33 et 14 quantifications sur les 37 campagnes d'analyses. La Figure 8 représente l'évolution entre 2004 et 2018 des teneurs en atrazine et ses métabolites quantifiées (atrazine désisopropyl déséthyl et atrazine déséthyl) mesurées au captage, sachant que les mesures de l'atrazine désisopropyl déséthyl ne sont effectuées que depuis 2013.

Sous réserve d'une utilisation ancienne de l'atrazine comme désherbant général, la quantification de ces molécules dans les eaux de la source témoigne d'une activité agricole passée sur son bassin d'alimentation (antérieure à 2003). Leur présence résulte de leur remobilisation depuis le sol ou la zone non saturée où elles sont temporairement fixées (Baran, 2014). Du fait de l'absence de nouveaux apports de molécules mères, une diminution globale de l'atrazine et de l'atrazine déséthyl est observée depuis 2004 même si des fluctuations intra-annuelles des teneurs sont toujours observées.

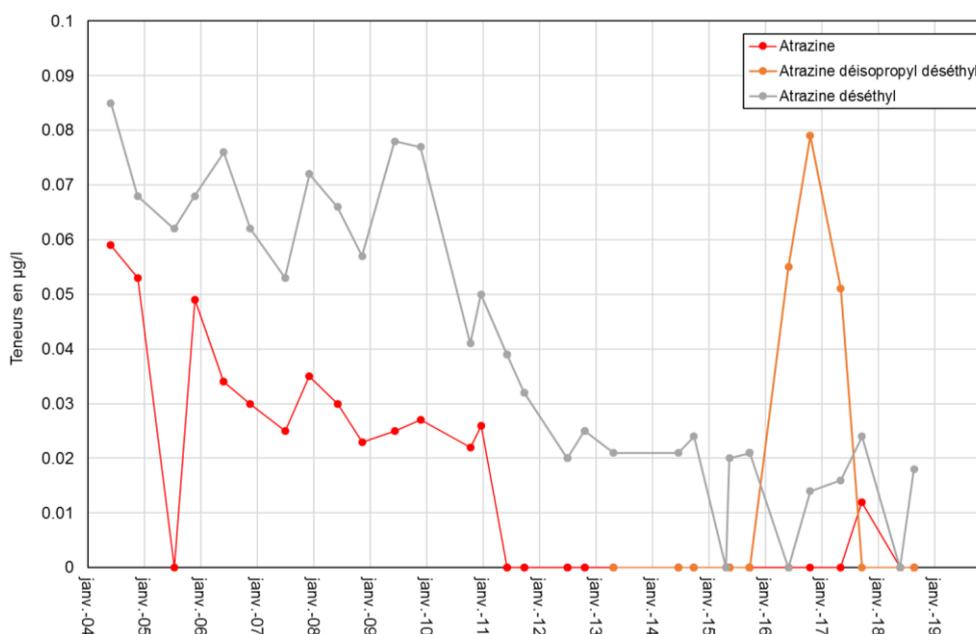


Figure 8 – Evolution entre 2004 et 2018 des teneurs en atrazine et ses métabolites quantifiés au captage de la source de Fourès (par convention, les analyses inférieures à la limite de quantification sont représentées comme égales à 0)

Sur les 15 campagnes d'analyses, l'ESA métolachlore a été quantifié une seule fois, fin août 2018, à une faible teneur ($0,054 \mu\text{g.L}^{-1}$). La molécule mère n'a quant à elle jamais été quantifiée sur les 37 campagnes d'analyse réalisées.

4.2.3. Molécules spécifiques des eaux usées

Des molécules typiques des eaux usées (benzotriazole, bisphenol A, carbamazepine, etc.) ont été recherchées en 2016, 2017 et 2018. Sur les 6 campagnes d'analyses réalisées (deux campagnes par année), ces molécules n'ont jamais été quantifiées. La non quantification de ces substances ne permet cependant pas d'exclure les apports liés aux eaux usées dans le bassin d'alimentation, en raison principalement du caractère non conservatif de ces molécules et de la dilution qui s'opère lors de leur transfert.

5. Travaux réalisés et résultats

En préambule à la présentation des travaux réalisés et des résultats obtenus, il est important de noter que les termes de molasse, de formations molassiques ou de niveaux molassiques employés dans le présent chapitre ne désignent pas l'entité de la masse d'eaux souterraines FRFG089 des molasses du bassin du Tarn mais la formation géologique.

Une molasse désigne un ensemble de roches sédimentaires essentiellement détritiques et post-orogéniques, s'accumulant sur de grande épaisseur dans des bassins d'avant-pays comme dans le cas présent le bassin d'Aquitaine. Ainsi sur cette vaste étendue, ce sont déposés de l'Eocène au Miocène (de 56 à 5,3 Ma (Millions d'années)), des terrains formés par la superposition et l'alternance de couches de marne et d'argiles plus ou moins sableuses et de niveaux individualisés ou diffus, généralement lenticulaires de grès, de calcaires et de poudingues.

5.1. RECONNAISSANCES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES COMPLEMENTAIRES

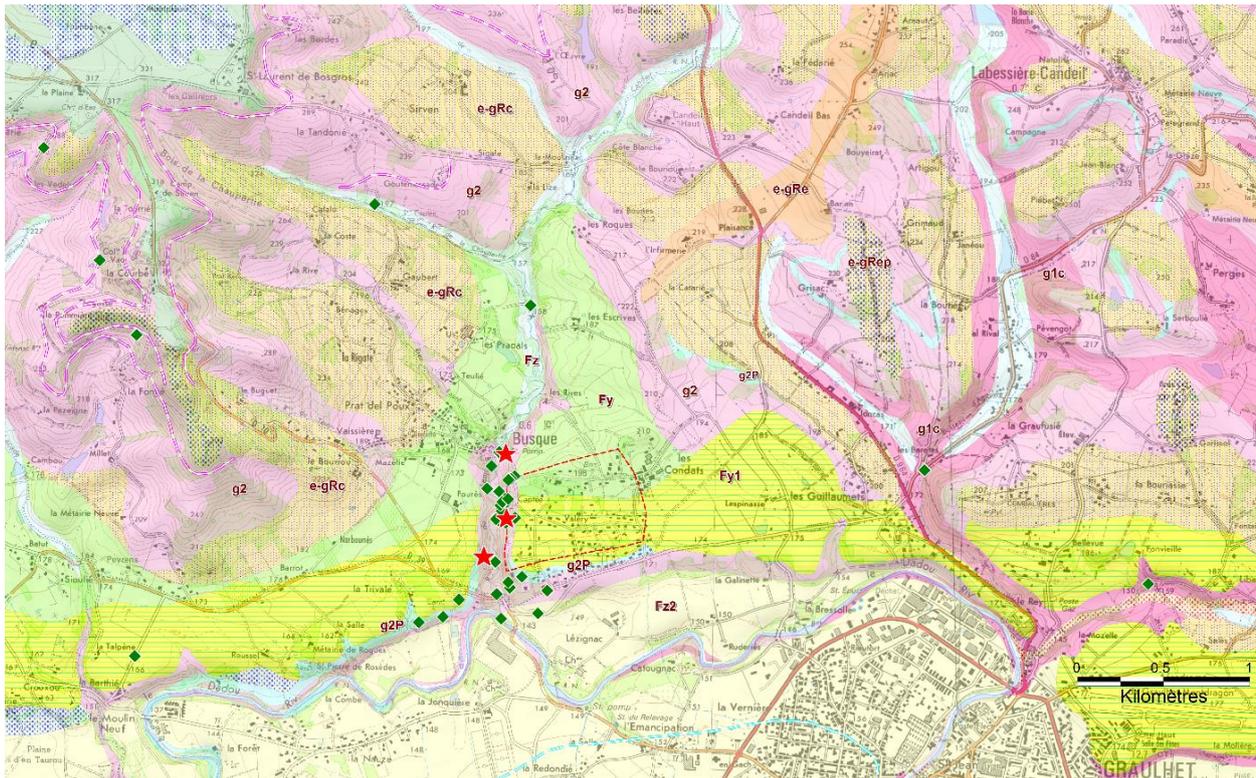
La zone d'étude se situe sur la carte géologique à 1/50 000 de la feuille de Gaillac (Cavaillé, 1971) qui, d'après les observations de terrain réalisées dans le cadre de la présente étude, représente dans l'ensemble de façon précise pour cette échelle la disposition des terrains ainsi que leur âge. En revanche, la cartographie des différentes lithologies composant la molasse demande à être précisée pour comprendre l'implantation des captages de Fourès sur les rives du Lenjou. Les travaux de terrain se sont donc principalement attachés à décrire l'organisation des différentes lithologies composant la molasse dans cette vallée.

5.1.1. Contexte géologique

Les reconnaissances de terrain effectuées dans le secteur de Busque ont permis d'affiner les contours et la description des formations géologiques par rapport à la carte originale de la feuille de Gaillac. La carte de la Figure 9 présente l'organisation générale des terrains.

Les niveaux molassiques les plus anciens cartographiés sur la feuille de Gaillac dans le secteur de Busque affleurent dans le lit du Dadou en aval de Graulhet. Il s'agit des niveaux du Calcaire d'Albi, notés g1C, représentés par un calcaire marneux blanc, dur, à cassure poudreuse, de 8 à 10 mètres de puissance et datés du Sannoisien supérieur (correspondant au Rupélien moyen). D'après la notice de la carte, ces calcaires passent vers l'ouest sous la molasse marneuse ou gréseuse du Rupélien supérieur (Stampien), mais il y a aussi sans doute des passages latéraux du calcaire détritique à la molasse sableuse franche (Cavaillé, 1971).

Les niveaux les plus bas de la molasse stampienne (notés g2), et donc les plus vieux, se rencontrent dans le lit du Dadou à la confluence avec le Lenjou. La molasse se compose ici de grès à grains grossiers à moyens cimentés par un ciment carbonaté sur une épaisseur d'au moins 3 mètres. Par-dessus, viennent des marnes argileuses et des marnes sableuses dans lesquelles sont intercalés des bancs de poudingues, cartographiés comme « niveau repère lithologique » ou g2P sur la Figure 9, et des lentilles de grès ou des niveaux à galets non cartographiés. Cette succession se répète en plusieurs séquences empilées les unes sur les autres qui rajeunissent vers le haut et donc vers le nord. La formation molassique stampienne est datée du Rupélien, soit 33,9 - 28,4 Ma (Millions d'années), à partir de fossiles de mammifères (Cavaillé 1971).



LEGENDE :

<ul style="list-style-type: none"> g1C : Calcaires d'Albi (Rupélien moy.) g2 : Molasses sableuses à marneuses, avec intercalations de poudingues (Rupélien) g2P : Bancs de poudingues dans la molasse (Rupélien) e-gRc : Eboulis et solifluxions issus des dépôts tertiaires e-gRep : Faciès caillouteux des formations précédentes e-gRe : Formations superficielles sur dépôts tertiaires 	<ul style="list-style-type: none"> Fy : Alluvions des basses terrasses des petites vallées Fy1 : Alluvions des basses terrasses du Dadou Fz : Alluvions des petites rivières et ruisseaux Fz2 : Alluvions des basses plaines du Tarn et du Dadou Niveau repère lithologique Bancs de poudingues dans la molasse Limite du talus alluvial 	<ul style="list-style-type: none"> Zone d'alimentation des captages de Fourès (ZAC) Points d'observations géologiques Coupes lithologiques
---	--	---

Figure 9 - Localisation des points d'observations géologiques sur le secteur de Busque de la carte géologique de Gaillac (1958) d'après Cavallé (1971)

Les molasses sont recouvertes par des formations superficielles attribuées au Quaternaire (soit 2 - 0 Ma). Il s'agit des :

- formations superficielles issues de l'altération des molasses (e-gRe, e-gRep, e-gRc), composées de colluvions, de solifluxions et d'éboulis, à faciès plus ou moins caillouteux. Elles recouvrent à la fois les plateaux mais également les pentes, le long desquelles elles se sont écoulées jusqu'au bas des versants (Cavallé, 1971). Elles sont principalement argileuses mais deviennent majoritairement caillouteuses au contact ou en aval des bancs de poudingues molassiques. Leur épaisseur varie entre 2 et 8 mètres.
- alluvions des basses terrasses des petites vallées comme le Lenjou (Fy) composées d'argiles limoneuses à grains de sables et cailloux de quartz. Elles peuvent également être plus grossières, composées de galets, au niveau des ruptures de pente des versants des petites vallées où elles étalent les terrains soliflués et éboulis de pentes formant ainsi des terrasses qui se raccordent topographiquement aux coulées (Cavallé, 1971). Leur épaisseur est difficilement quantifiable.
- alluvions des basses terrasses du Dadou (Fy1), présentes en rive droite et qui dominent le cours d'eau de 30 mètres. Elles sont composées en surface de limons argileux à cailloux de quartz, qui surmontent un niveau de graviers (Cavallé, 1971). L'épaisseur de ces alluvions bien que difficile à estimer est évaluée à 7 m au maximum.

- alluvions des basses terrasses du Dadou (Fz2), graveleuses et sableuses, d'une puissance de 3 à 4 mètres (Cavaillé, 1971). Elles dominent la vallée du Lenjou depuis le captage de Fourès jusqu'à la confluence avec le Dadou.

5.1.2. Description détaillée des molasses du Lenjou

Afin d'étudier en détail la nature des différentes roches constituant la molasse rupélienne et leur organisation spatiale, trois coupes lithologiques ont été réalisées dans la vallée du Lenjou entre la station de pompage située en amont, en contrebas du village de Busque et la confluence avec le Dadou (Figure 10). Ces coupes ont été réalisées dans les parties de la vallée où les affleurements de roches en place sont visibles, l'essentiel étant recouvert par des colluvions et des terrains ayant glissé le long des fortes pentes.

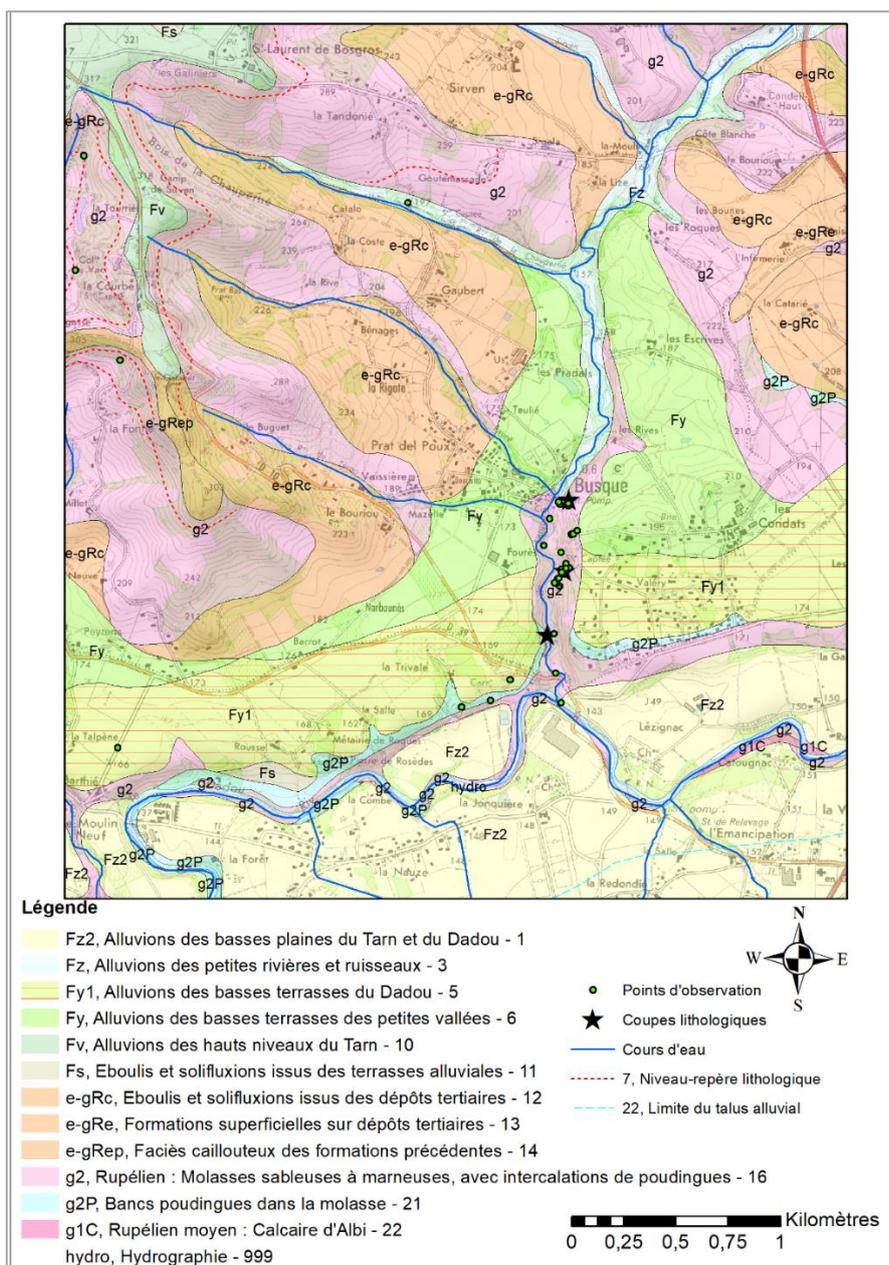


Figure 10 – Carte géologique du secteur de Busque d'après Cavaillé (1971) modifiée à partir des nouvelles observations de terrain sur les versants du Lenjou

La composition lithologique des différentes familles de roches affleurantes dans la vallée du Lenjou (marnes, sables, poudingues) est homogène, les différences concernent l'épaisseur et l'ordre de succession. Les descriptions seront donc plus détaillées pour la première coupe que pour les suivantes.

a) Coupe de la station de pompage

Au niveau de la station de pompage située en amont, en contrebas du village de Busque, le Lenjou s'écoule à 151 mètres NGF sur des marnes sableuses grises à beiges dans lesquelles affleurent une lentille de grès fins à matrice carbonatée. Un banc de poudingues à matrice sableuse et ciment carbonaté surmonte les marnes. Puis, un niveau de sables blancs (associés à une matrice carbonatée) de 2,5 mètres d'épaisseur est observé. Enfin, un banc de poudingues de 2 mètres d'épaisseur est à nouveau distingué (Figure 11). Au sommet des quelques 15 mètres de la coupe, affleurent les alluvions Fy dont la base se situe à 164 mètres NGF.

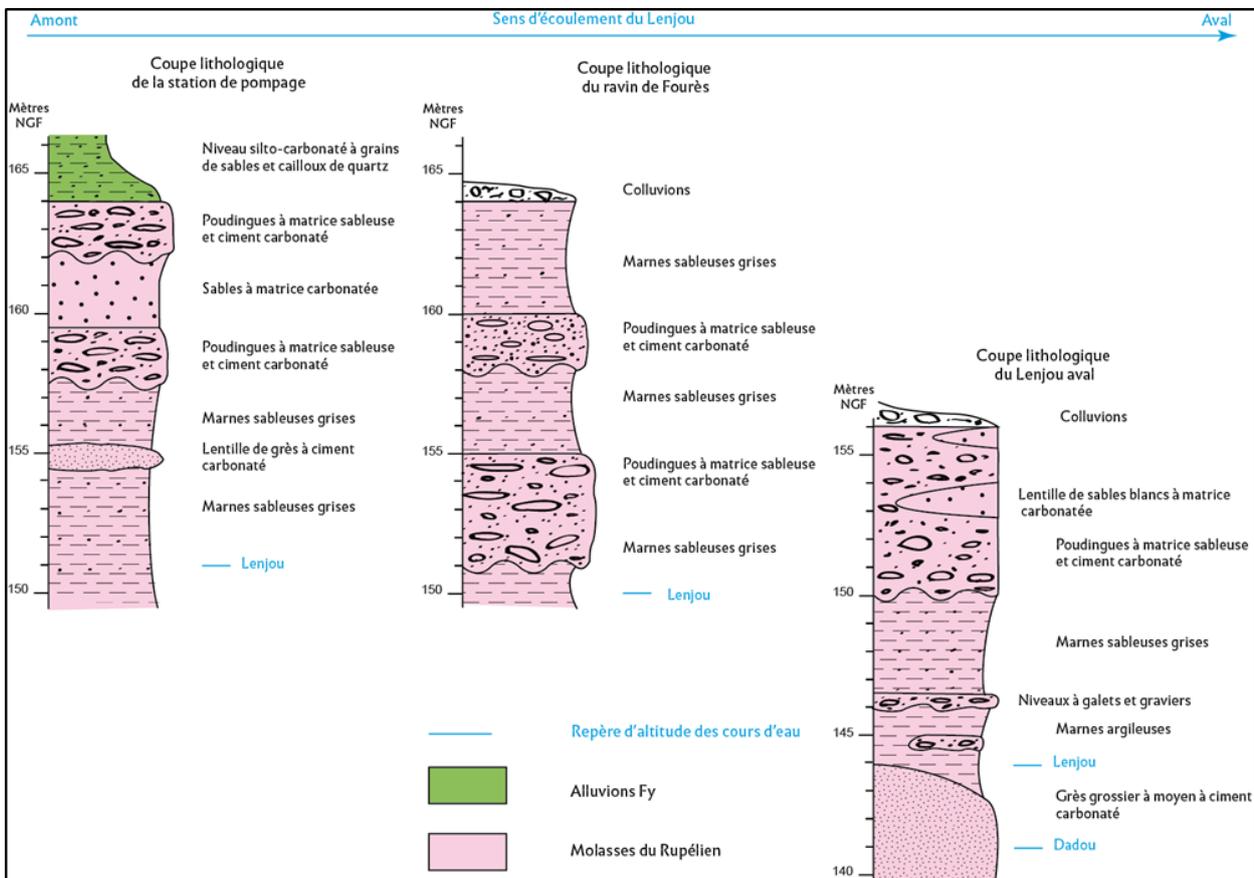


Figure 11 – Coupes lithologiques détaillant la succession et la nature des terrains molassiques du Rupélien dans la vallée du Lenjou. Position des coupes sur la Figure 10.

Les poudingues sont composés à :

- 90% de galets décimétriques à centimétriques contenant du quartz, des quartzites, des grès, des calcaires et des argiles carbonatées rosées,
- 9% de sables,
- 1% de ciment carbonaté responsable de la dureté des poudingues.

Cette composition lithologique correspond à celle des poudingues de Puylaurens (Mouline, 1989).

b) Coupe du ravin de Fourès

Dans le cours du Lenjou, à quelques dizaines de mètres en aval de la passerelle permettant de relier le versant des captages de Fourès et celui de la station de pompage de Fourès, s'ouvre en direction de l'est un ravin. A 151 mètres NGF se trouve la base d'un banc de poudingues de 4 mètres d'épaisseur (Figure 11). Des marnes sableuses le surmontent sur 2 mètres d'épaisseur par-dessus lesquelles repose un banc de poudingues de 2 mètres d'épaisseur, également lui-même recouvert par 4 mètres de marnes sableuses. Des colluvions sont représentées sur le sommet de la coupe.

c) Coupe du Lenjou aval

A la confluence avec le Lenjou, le Dadou s'écoule à 140 mètres NGF sur des grès à ciment carbonaté, présentés au 5.1.1, d'une épaisseur minimale de 3 mètres. Par-dessus, reposent environ 6 mètres de marnes sableuses dans lesquelles s'intercalent 2 niveaux de galets et graviers d'environ 1 mètre d'épaisseur entre 143 et 146 mètres NGF (Figure 11). Le sommet des marnes est recouvert par des poudingues sur au moins 6 mètres d'épaisseur, dans lesquels s'intercalent des lentilles de sables blancs à matrice carbonatée. Cet épais banc de poudingues, cartographié sur la carte avec la notation g2P (Figure 10), est responsable des pentes abruptes entre les affleurements de molasses de la basse plaine du Dadou (Fz2) et les alluvions de la basse terrasse (Fy1).

d) Synthèse

Entre le village de Busque et le Dadou, le Lenjou s'écoule aujourd'hui sur le faciès de marnes sableuses de la molasse rupélienne. L'incision du ruisseau dévoile, entre le bas de la vallée et le sommet des versants, la présence de bancs de poudingues épais de 2 à plus de 6 mètres intercalés dans les marnes. Les conditions d'affleurement ne permettent pas d'observer une continuité entre les bancs de poudingues. Entre les trois coupes décrites, on observe en effet des différences d'altitude de sommet des bancs ainsi que des différences d'épaisseur de ces bancs. Connaissant les modalités de dépôts de ces bancs de poudingues molassiques, ils ont probablement été créés dans des chenaux séparés les uns des autres, comme c'est le cas dans l'ensemble du bassin d'Aquitaine (Crouzel, 1957 ; Mouline, 1989). Les bancs de poudingues s'organiseraient donc en lentilles pluri-décamétriques intercalées dans les marnes.

5.1.3. Analyse géomorphologique de la rive gauche du Lenjou au niveau du captage de Fourès

Une analyse géomorphologique du versant en rive gauche du Lenjou, où sont localisés les captages de Fourès, permet de proposer une interprétation de leur implantation (Figure 12).

La faible pente du haut du versant depuis le chemin des fouilles, à la côte de 177 mètres NGF, correspond à la bordure de la basse terrasse alluviale du Dadou (Fy1) qui passe latéralement à des colluvions issues des alluvions de cette terrasse. Une première rupture de pente en amont du captage n°1 (captage haut) correspond à une ancienne loupe de glissement qui semble se terminer au niveau d'un banc de sables observé en aval (Figure 12). Le captage n°1 est donc implanté dans des colluvions impliquées dans un glissement ancien.

Le banc de sable a été mis à l’affleurement en raison d’un glissement des colluvions de faible ampleur qui l’a découvert. En suivant la pente, ce glissement s’arrête au niveau de colluvions grossières, composées principalement de galets et de blocs issus de la terrasse et de galets semblables à ceux affleurant dans les bancs de poudingue (Figure 12). L’origine de ces galets et blocs reste donc incertaine (accumulation d’éléments de la terrasse alluviale et/ou altération d’un banc de poudingue non affleurant). Les colluvions redeviennent plus fines vers l’aval où sont implantés les captages bas n°2 et n°3, eux-mêmes situés dans une zone ayant glissée. A l’aval de ces 2 captages, les terrains fluent, ou ont flué, le long de la pente jusqu’au niveau d’un banc de poudingues en place.

Le banc de poudingues et les marnes sableuses sous-jacentes affleurent au niveau d’une loupe de glissement. Les terrains impliqués glissent jusqu’au niveau du Lenjou où affleurent des marnes sableuses (Figure 12).

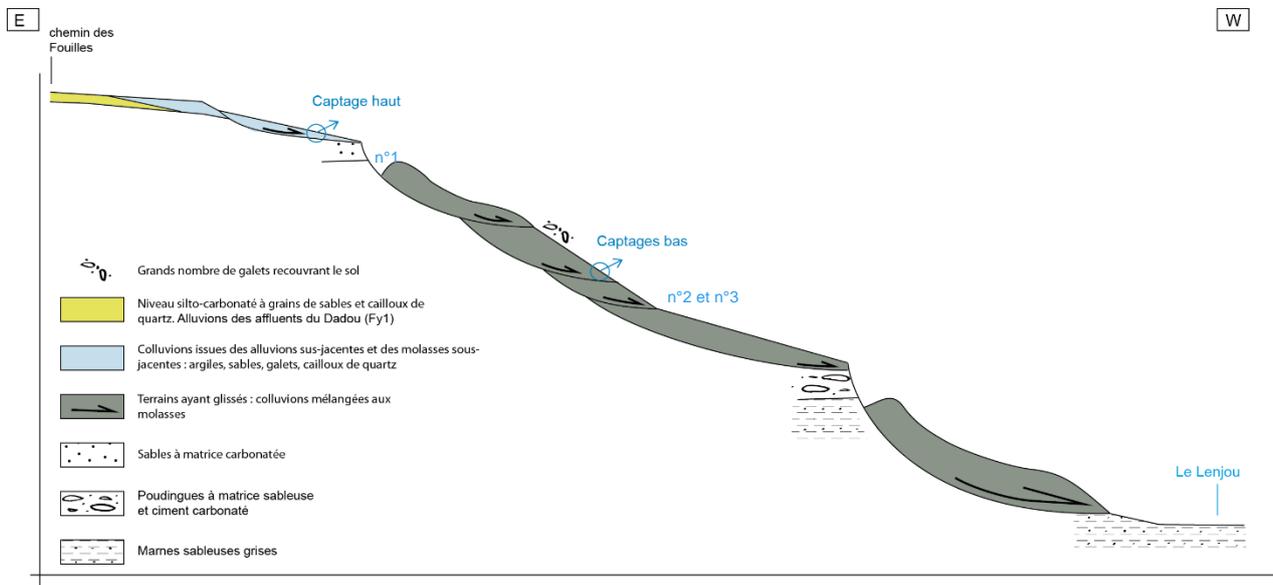


Figure 12 – Profil géomorphologique schématisé du versant de la rive gauche du Lenjou au niveau des captages de Fourès (captage haut = captage n°1 et captages bas = captages n°2 et n°3)

En conclusion, le versant est presque entièrement recouvert de colluvions qui fluent le long de la pente. L’organisation du fluage se fait par le biais de plusieurs glissements plus ou moins anciens d’une longueur pouvant atteindre dix mètres. Les affleurements de molasse en place sont observables en tête de glissement, au niveau des loupes d’arrachement.

5.1.4. Coupe lithologique synthétique du secteur des captages de Fourès

Les descriptions des différentes lithologies composant la molasse d’après les observations effectuées dans le cours du Lenjou permettent de réinterpréter la description du sondage Pz13 réalisé en 2016 lors des investigations de terrain de la phase 2 du rapport A81875/B et dont la localisation est indiquée dans la Figure 6. Les différences majeures par rapport à l’interprétation proposée dans les rapports fournis lors de l’expertise d’appui aux administrations du BRGM (avril 2019) concernent l’absence de lithologies marno-calcaires (proposée à la cote NGF de 163 m) et des calcaires (proposée à la cote NGF de 151 m), jamais rencontrés sur le terrain à ces altitudes.

La synthèse des données disponibles et des observations de terrain permet de proposer une coupe lithologique synthétique entre l'altitude du chemin des fouilles au niveau du sondage Pz13 et le niveau du Lenjou en contrebas des captages de Fourès (Figure 13). Les données de forage du sondage Pz13 apportent des contraintes sur les 15 premiers mètres de la coupe lithologique synthétique qui est ensuite complétée principalement à partir des observations de terrain entre 15 et 35 mètres de profondeur.

Cette coupe montre ainsi des alternances de marnes sableuses carbonatées et de poudingues à ciment carbonaté composant la molasse rupélienne dans la vallée du Lenjou du secteur de Busque.

5.1.5. Interprétations hydrogéologiques

En termes de caractérisation hydrogéologique, les formations géologiques représentées sur le territoire élargi de Busque sont interprétées de la façon suivante :

- ❖ Les alluvions des basses terrasses du Dadou (Fy1), cartographiées sur le plateau de Valéry – Les Condats en amont des captages de Fourès, sont formées de limons argileux à textures diverses peu perméables. Cet ensemble limono-argileux surmonte un niveau de graviers dont l'épaisseur serait comprise entre 1,5 et 2 mètres (Cavaillé, 1971) jouant vraisemblablement le rôle de drain principal vis-à-vis de ces alluvions limono-argileuses.
- ❖ Sur la bordure septentrionale du plateau, les alluvions des basses terrasses des petites vallées (Fy) sont composées d'argiles limoneuses indiquées caillouteuses autour de Busque (Cavaillé, 1971). Ces alluvions présentent un caractère plus argileux en comparaison de celles notées Fy1 et sont donc peu perméables.
- ❖ Les molasses du Rupélien du secteur de Busque sont considérées peu perméables dans leur ensemble. Localement, à la faveur de bancs de poudingues altérés associés aux sables fins, ces niveaux plus grossiers et plus perméables favorisent des écoulements diffus, de très faibles débits, avec des vitesses de transfert très lentes.
- ❖ Les matériaux flués et remaniés indiqués au niveau des loupes de glissement dans le schéma géomorphologique du versant des captages de Fourès présentent des perméabilités sensiblement plus élevées en comparaison de celles du substratum molassique en place. Ils jouent un double rôle hydrogéologique en favorisant un transfert rapide des écoulements sub-superficiels issus du plateau, et en assurant localement un rôle de drain vis-à-vis des écoulements diffus issus des niveaux des molasses rupéliennes encaissantes en place, ces écoulements restant cependant dans de très faibles débits.

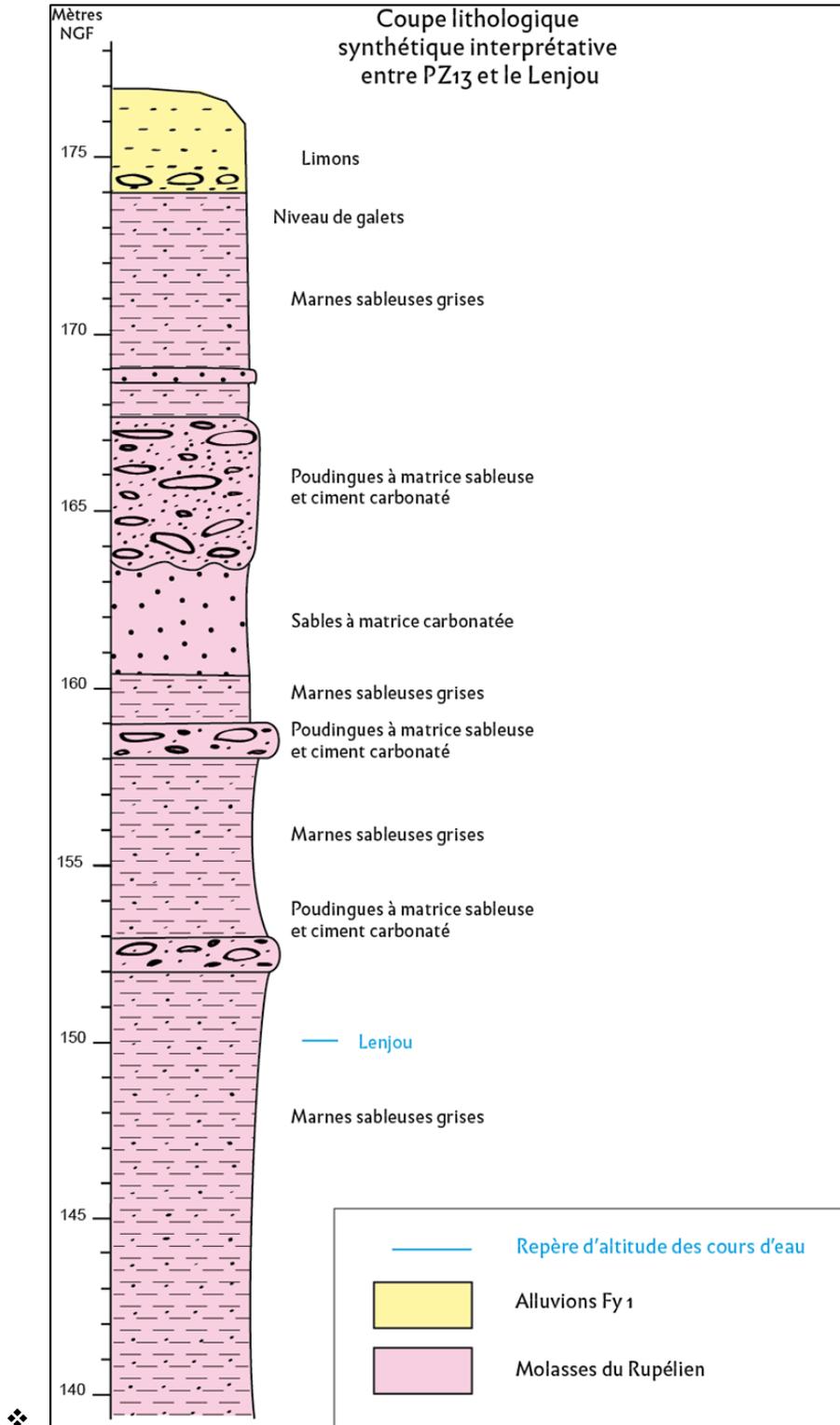


Figure 13 – Coupe lithologique interprétative entre Pz13 et le Lenjou synthétisant les données disponibles et observations de terrain

5.2. CARACTERISATION DES CONDITIONS D'EMERGENCE DES CAPTAGES DE FOURES ET SUIVI HYDROGEOLOGIQUE ASSOCIE

5.2.1. Diagnostics du fonctionnement et de l'état des captages de Fourès

a) Compréhension générale de l'adduction en eau des captages de Fourès

Les diagnostics sur site et les échanges effectués avec les agents techniques de la mairie de Busque font ressortir le schéma général présenté ci-dessous de localisation et de fonctionnement des différents captages, les uns par rapport aux autres et par rapport à la station de pompage de Fourès (Figure 14).

Trois captages de sources sont ainsi dénombrés en rive gauche de la rivière Lenjou (la description détaillée de chacun d'eux étant indiquée ci-après). Un premier ouvrage bétonné, en descendant dans la pente depuis le plateau de Valéry, capte une source dont l'eau est amenée par un tuyau semi-rigide non enterré directement dans le troisième captage. A une vingtaine de mètres de distance, les 2 autres ouvrages sont situés plus bas dans la pente (différence altitudinale de l'ordre d'une dizaine de mètres). Le deuxième ouvrage bétonné capte une seconde source dont l'eau est également évacuée dans le troisième captage juxtaposé. Outre les arrivées des 2 autres captages, ce dernier dispose de son propre drain. Depuis le troisième captage, collectant l'ensemble des eaux des différents ouvrages, une conduite non enterrée achemine l'eau par gravité vers la station de pompage de Fourès, située en rive droite du Lenjou.

L'eau du réservoir de la station de pompage de Fourès est pompée et refoulée vers le plateau de Valéry via une conduite d'abord non enterrée remontant en direction du captage n°3 puis devenant enterrée en bifurquant vers la route du chemin des Fouilles. Cette eau est ensuite acheminée vers le village de Busque pour un usage d'arrosage des espaces verts communaux.

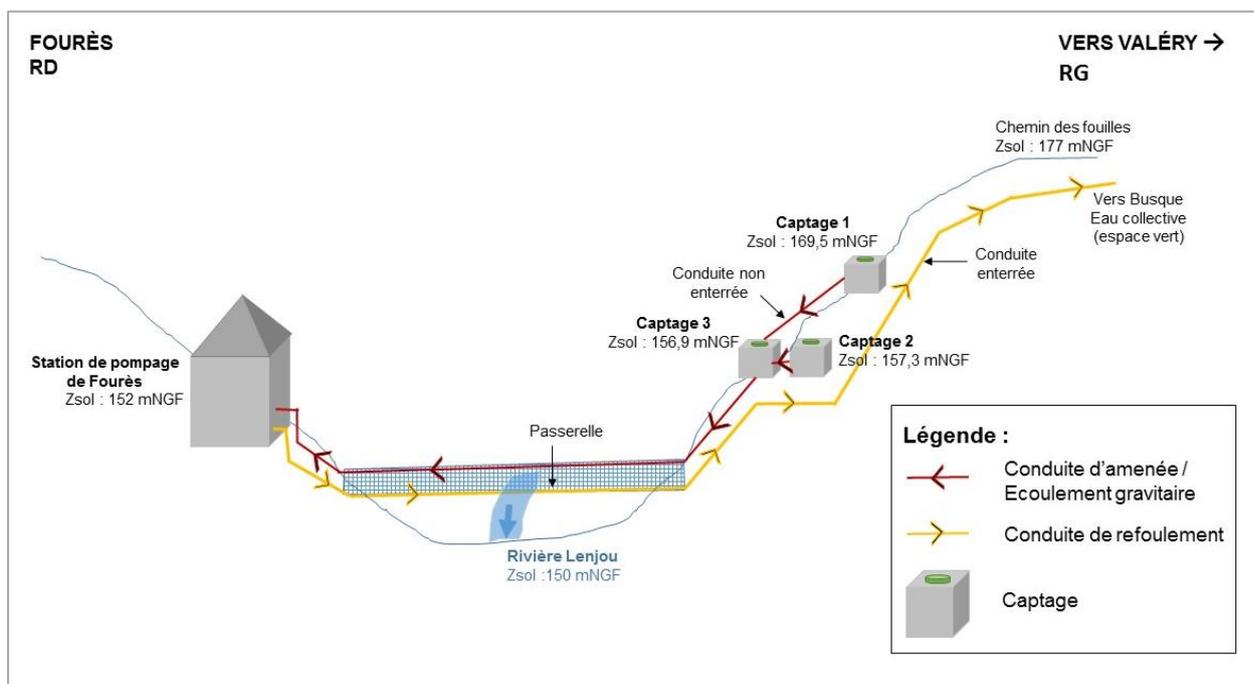


Figure 14 - Coupe schématique de localisation des captages et de la station de pompage de Fourès sur les rives de la rivière Lenjou

b) Constat et première inspection des captages

Dans le but de caractériser les conditions d'émergence des sources de Fourès, un diagnostic du fonctionnement et de l'état de chacun des 3 captages a été entrepris. Toutefois, après ouverture des 3 ouvrages, les bacs de décantation de ces derniers sont apparus fortement ensasés par plusieurs dizaines de centimètres de limons sableux, empêchant toutes mesures représentatives de débit ou de paramètres physico-chimiques en sortie directe des drains en présence.

Cet ensablement concerne particulièrement les captages n°2 et n°3 et dans une moindre mesure le captage n°1. Une distinction de texture du matériel ensasant les captages est observée, de nature plus argileuse et plus riche en matière organique pour le captage n°1, probablement en relation avec la nature des colluvions fluées sur les pentes.

Une importante opération de curage des captages a donc été nécessaire afin de faciliter l'accès permettant de réaliser correctement leur dimensionnement et d'effectuer les mesures appropriées (Figure 15).

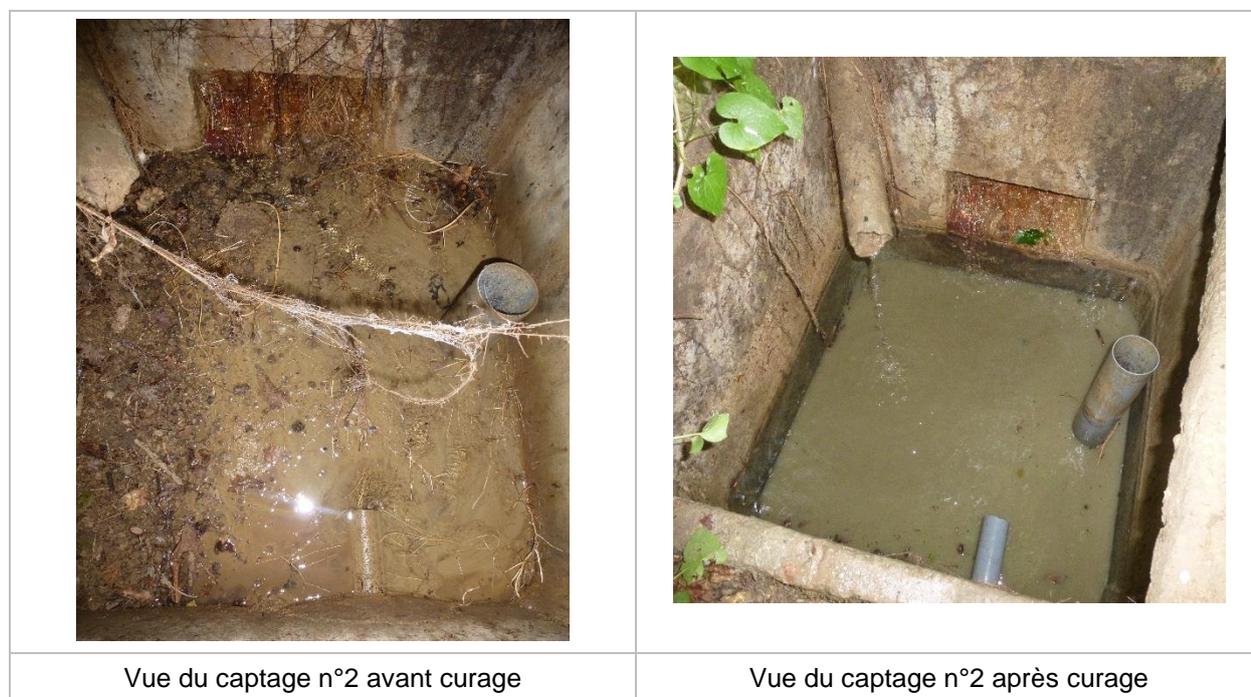


Figure 15 – Photographies du captage n°2 avant et après l'opération de curage

Ces trois captages de sources sont observés en mauvais état et surtout non étanches. Ce constat est particulièrement évident pour le captage n°2 présentant plusieurs fissures du béton et une ouverture de sa dalle de béton armé brisée sur son côté droit.

De nombreuses racines, présentes aussi bien à l'intérieur des drains d'arrivées d'eau que des bassins de décantation, associées à des débris végétaux, voire de la terre végétale dans le captage n°2 et à la présence d'insectes envahissent ces captages et témoignent de leur absence d'étanchéité.

Ces différents constats mettent en évidence l'extrême vulnérabilité de ces captages aux contaminations directes de surface.

c) Nivellement des captages

L'expertise réalisée par le BRGM en avril 2019 fait état d'une incertitude particulière sur les valeurs de cote altitudinale des sources de Fourès. Cette information est primordiale dans la caractérisation de l'origine des ressources captées. Les mesures de coordonnées précises associées aux cotes altitudinales ont été obtenues le 10 juillet 2019 pour chacun des 3 captages à partir d'un GPS de la marque Leica VIVA® composé d'une antenne GNSS (Global Navigation Satellite System) GS12 connecté par Bluetooth à un carnet de terrain numérique CS15. Cette technologie est basée sur un système de positionnement par satellite utilisant différentes constellations de satellites (GPS américain, GLONASS russe et GALILEO européen). Les résultats obtenus avec une précision centimétrique sont récapitulés dans le tableau de la Figure 16.

Indice National	Appellation	Commune	Date	X L93 (m)	Y L93 (m)	Altitude Sol (m NGF)	Altitude RM (m NGF)	Prof. Drain / RM (m)	Altitude Drain (m NGF)
BSS002ENEF	Captage Fourès 1A (Drain supérieur)	BUSQUE	10/07/2019	616 398.61	6 298 307.56	169.54	171.38	1.54	169.84
	Captage Fourès 1A b, c, d, e (Drains inférieurs)	BUSQUE	10/07/2019	616 398.61	6 298 307.56	169.54	171.38	1.84	169.54
BSS003LOAC	Captage Fourès 2	BUSQUE	10/07/2019	616 382.16	6 298 323.78	157.30	157.92	0.60	157.33
BSS003LOAG	Captage Fourès 3	BUSQUE	10/07/2019	616 382.34	6 298 324.49	156.92	157.71	0.895	156.81

Figure 16 – Coordonnées et cotes altitudinales des captages mesurées par GPS GNSS (repère de mesure noté RM dans le tableau)

d) Dimensionnement des captages

Le captage de l'eau des sources est assuré dans chacun des 3 ouvrages par des drains construits à partir de briques creuses. Aucun plan, schéma ou compte rendu des travaux de construction des captages n'a été conservé à la mairie de Busque. Toutefois, selon les témoignages recueillis et les observations réalisées, il semble probable que ces drains soient de faibles longueurs (quelques dizaines de centimètres) et en relation directe avec un massif de galets et de graviers accolé aux ouvrages (observation de plusieurs galets roulés à l'intérieur des briques des différents ouvrages).

Les dimensions et configurations de fonctionnement relevées lors des diagnostics réalisés dans chacun des 3 captages sont les suivantes :

❖ Captage n°1

Le captage n°1 est situé à une cote altitudinale de 169,5 mètres NGF. Les schémas de la Figure 17 indiquent l'agencement du captage et l'ensemble des dimensions relevées.

Le curage et la vidange complète du bac de décantation a permis de mettre en évidence la présence de 5 briques creuses assurant la fonction de drains, de dimension 22,5 x 11 cm, incrustées dans les parois du captage (Figure 18). Le repère de mesure (RM) nivelé (171,38 m NGF) correspond à la margelle intérieure du capot de fermeture du captage.

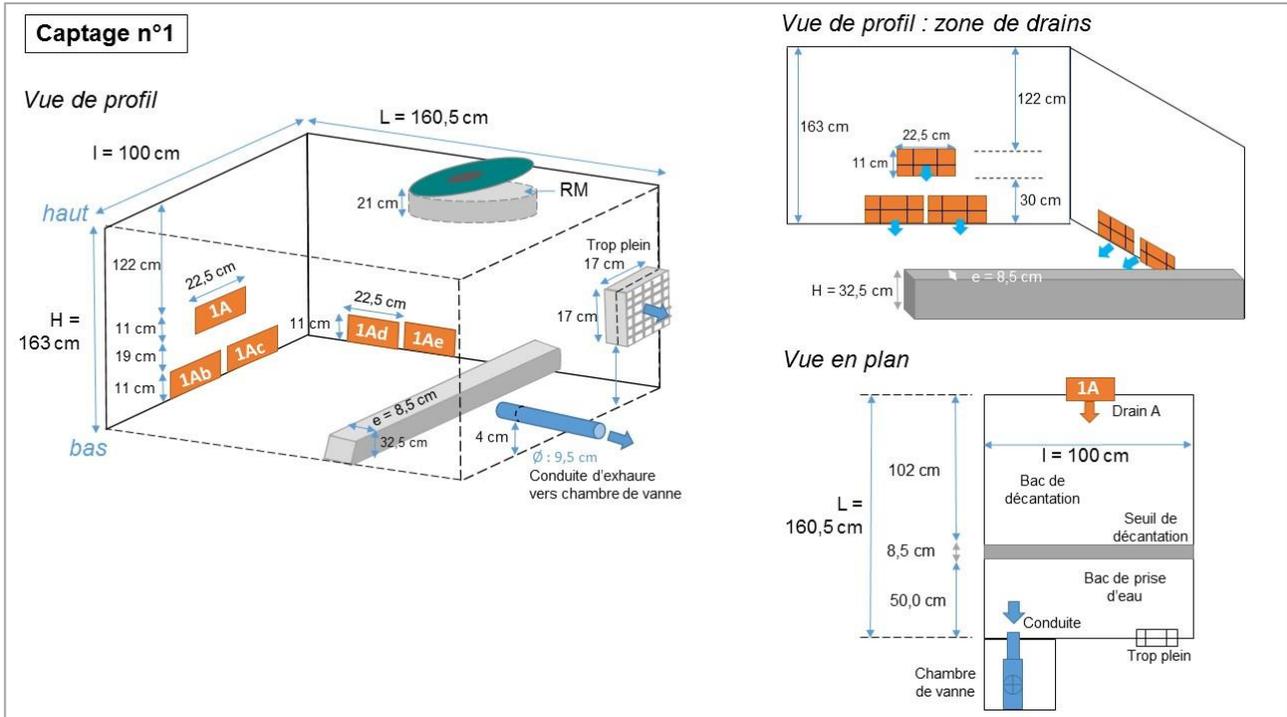


Figure 17 – Dimensionnement du captage n°1

Les 5 drains sont référencés 1A (drain supérieur) et 1A b à e (drains inférieurs situés à la base du captage) dans les différents tableaux de mesures de la présente étude.

Le drain supérieur 1A et les drains inférieurs (1Ab, 1Ac, 1Ad et 1Ae) sont respectivement mesurés aux cotes 169,84 m NGF et 169,54 m NGF. L'exhaure des eaux du captage s'effectue par une conduite via une chambre de vanne, aujourd'hui hors service.

Comme mentionné précédemment un tuyau semi-rigide en PVC non enterré fait la liaison par écoulement gravitaire entre la chambre de vanne et le captage n°3 situé en contrebas. Les différentes mesures réalisées à ce tuyau portent la notation 1B. Elles correspondent au cumul des arrivées d'eau des 5 drains du captage n°1.



Figure 18 – Vues et représentations schématiques du captage n°1

❖ Captage n°2

Le captage n°2 est situé à une cote altitudinale de 157,3 mètres NGF. Les schémas de la Figure 19 indiquent l'agencement du captage et l'ensemble des dimensions relevées. Une brique creuse incrustée dans la paroi du captage, de dimension 40 x 20 cm assure le rôle de drain. Le repère de mesure (RM) nivelé (157,9 m NGF) correspond à l'intérieur du rebord bétonné du captage. Le drain noté 2A est mesuré à la cote 157,3 m NGF.

Une canalisation en amiante ciment à l'extrémité cassée, notée 2B dans les différents suivis réalisés, pénètre dans le captage n°2. Un faible écoulement d'eau issue de cette dernière a été mesuré à deux reprises, le 03 et le 10 juillet 2019. L'origine de cette conduite reste inconnue, même des employés communaux interrogés.

Le captage est constitué d'une unique chambre faisant office de décantation. Comme indiqué précédemment, ce captage était particulièrement envasé de limons sableux mais aussi de terre végétale, de débris végétaux et de nombreuses racines, témoignant d'une absence d'étanchéité et de sa grande vulnérabilité. La fermeture de ce captage est assurée par une lourde dalle de béton armé brisé sur son côté droit.

L'exhaure des eaux du captage n°2 s'effectue par une conduite communiquant directement et se déversant dans le bassin de décantation du captage n°3 accolé.

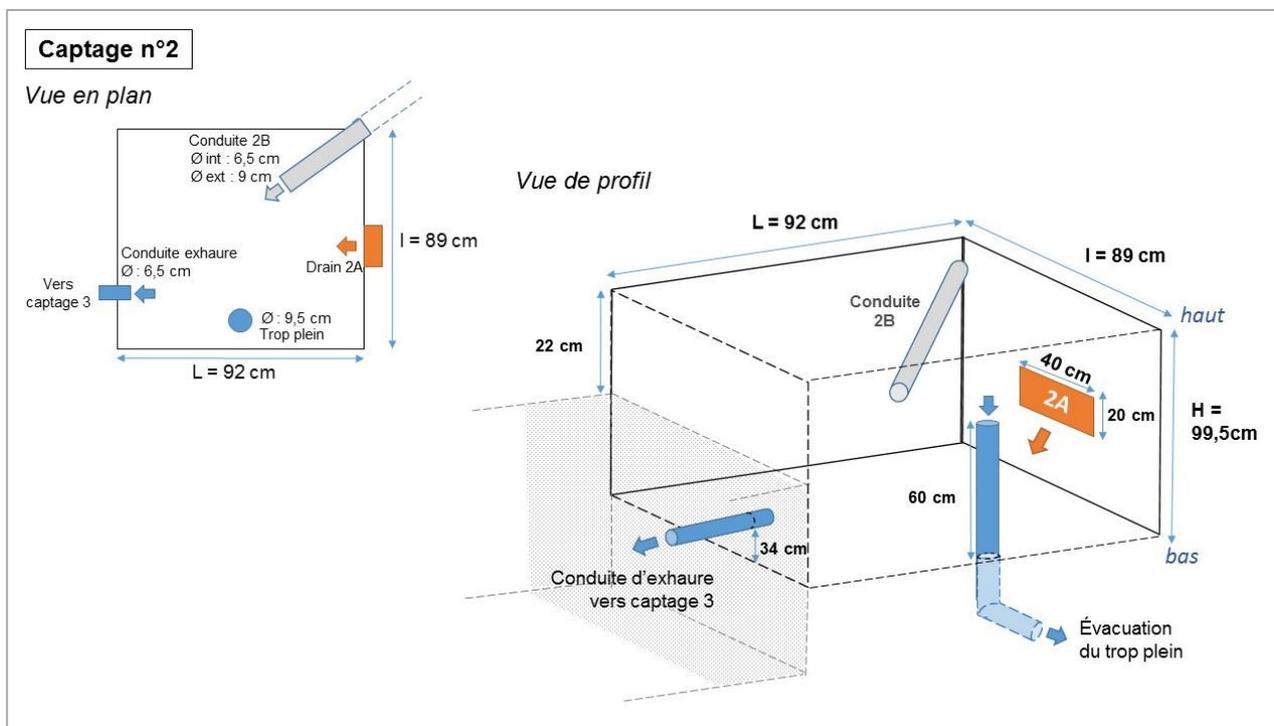


Figure 19 - Dimensionnement du captage n°2

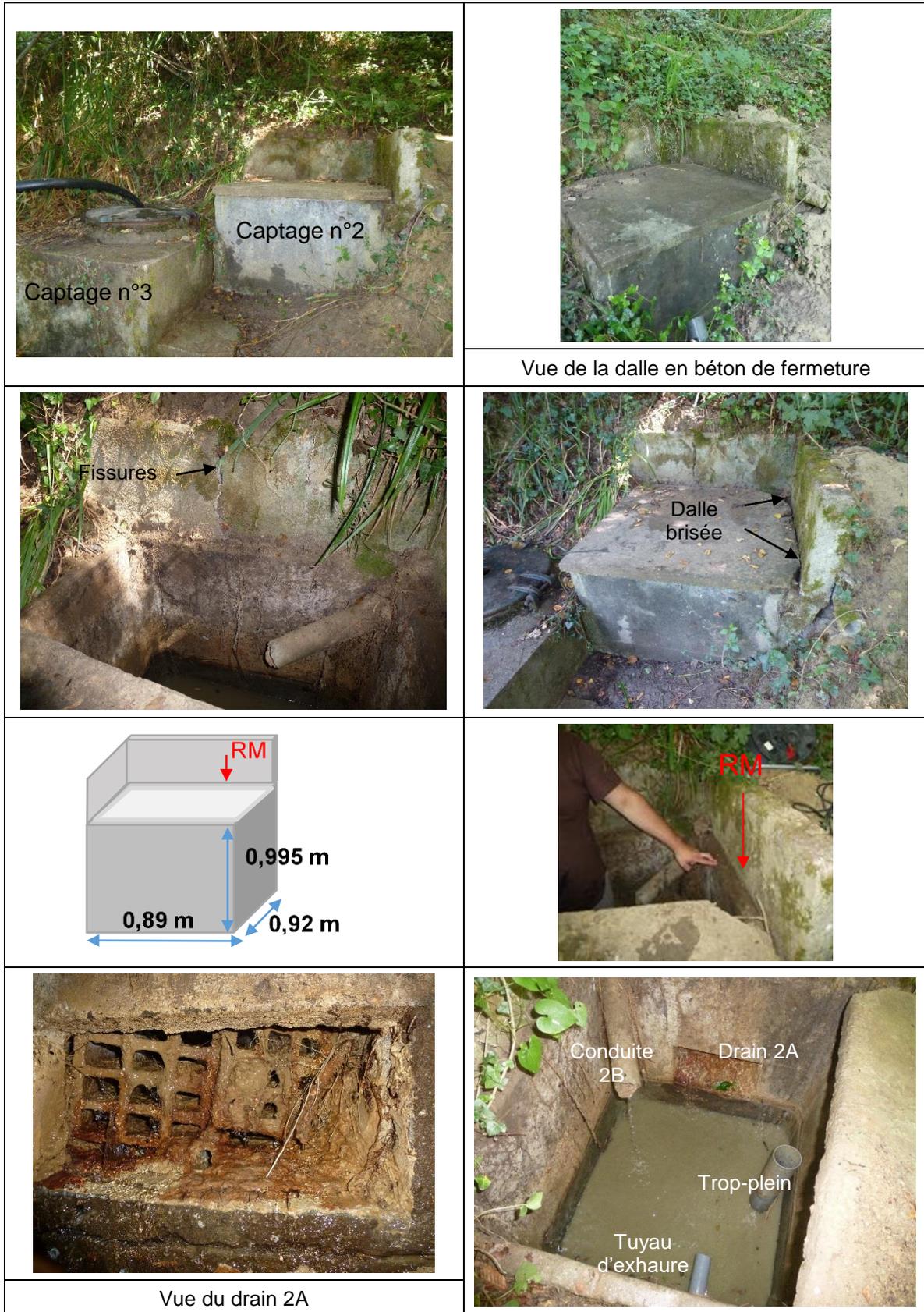


Figure 20 – Vues et représentations schématiques du captage n°2

❖ Captage n°3

Le captage n°3 accolé au captage n°2 est situé légèrement en contrebas de ce dernier à une cote altitudinale de 156,9 mètres NGF. Les schémas de la Figure 21 indiquent l'agencement du captage et l'ensemble des dimensions relevées. Une brique creuse incrustée dans la paroi du captage, de dimension 54 x 13 cm assure le rôle de drain. Le repère de mesure (RM) nivelé (157,7 m NGF) correspond à la margelle intérieure du capot de fermeture du captage. Le drain noté 3 est mesuré à la cote 156,8 m NGF.

Comme mentionné précédemment le tuyau semi-rigide en PVC du captage n°1 se déverse directement dans le captage n°3 via une ouverture dans le capot de fermeture de ce dernier. A cela s'ajoute les eaux de la conduite d'exhaure du captage n°2 se déversant dans le bassin de décantation du captage n°3.

Comme le captage n°2, le bassin de décantation du captage n°3 était fortement envasé de limons sableux et d'un chevelu racinaire, par ailleurs également présents à l'intérieur du drain.

L'exhaure de l'ensemble des eaux du captage n°3 s'effectue par une conduite via une chambre de vanne. Cette conduite, non enterrée, est dirigée dans la pente du talweg vers la station de pompage de Fourès située en rive droite du Lenjou.

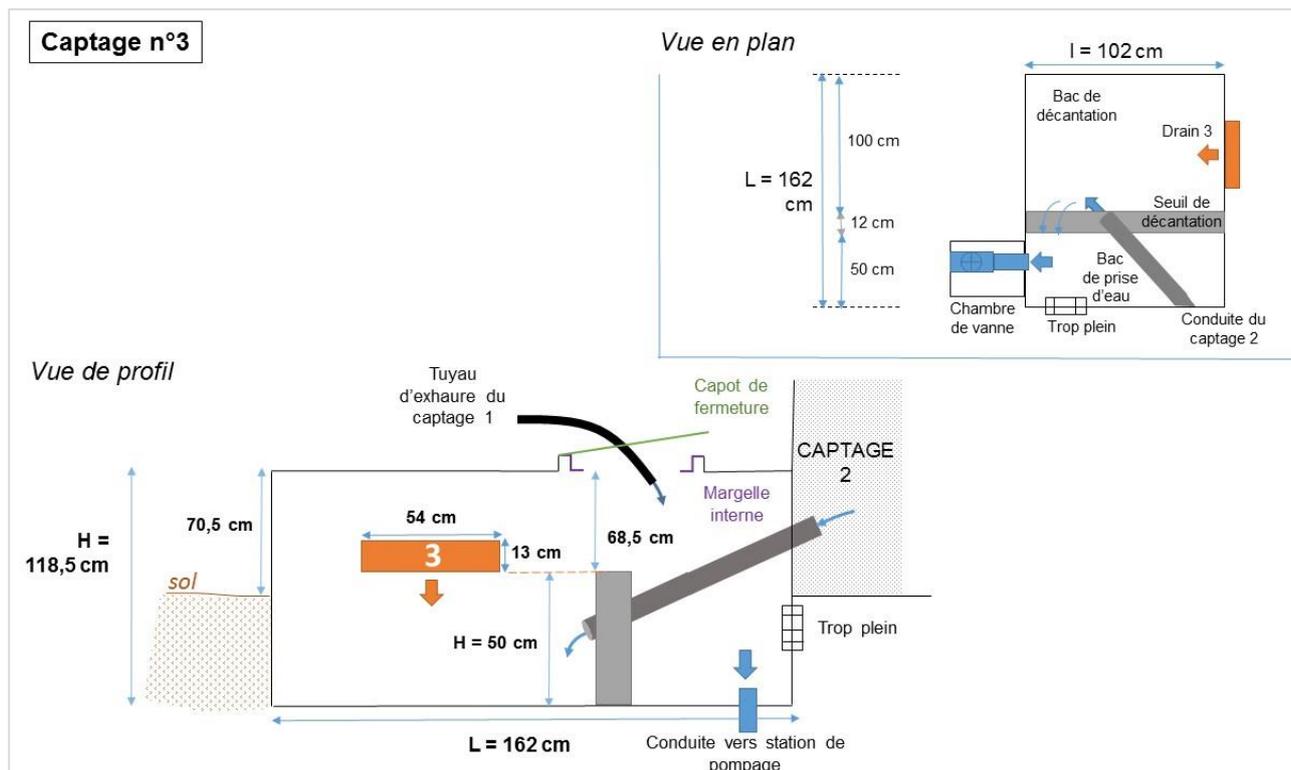


Figure 21 - Dimensionnement du captage n°3



Figure 22 – Vues et représentations schématiques du captage n°3

5.2.2. Informations collectées auprès de la mairie de Busque

En complément du diagnostic technique des captages de Fourès réalisé dans la présente étude, et afin de disposer d'un maximum de renseignements, une enquête et un recueil d'informations ont été entrepris auprès de la mairie de Busque. Cette démarche a été effectuée en s'appuyant sur des documents recensés dans les archives communales et à partir de témoignages oraux de personnes travaillant à la mairie, ou retraités ayant la mémoire de l'aménagement du secteur et ayant connu par le passé ces ouvrages du temps de leur fonctionnement.

Ces différentes démarches permettent d'apporter les informations suivantes :

- Un avis favorable au projet d'alimentation en eau potable de la population de la commune de Busque par la source de Fourès est formulé en janvier 1962 par P. Souquet sous la forme d'un rapport d'expertise géologique.
- L'année de réalisation des captages est incertaine, *a priori* entre 1967 et 1968 selon les souvenirs des personnes rencontrées. Toutefois, aucun plan, schéma ou comptes rendus des travaux de construction des captages n'a été conservé.
- Un examen des conditions de protection de la source captée a été réalisé en septembre 1971 par P. Souquet stipulant l'établissement des 3 périmètres de protection réglementaires selon les conditions suivantes :
 - un périmètre de protection immédiat (PPI) de 25 m de rayon où toute activité est interdite,
 - un périmètre de protection rapproché (PPR) parallèle au PPI de 100 m de rayon où sont interdites les constructions, toute activité et tout dépôt susceptibles de nuire à la qualité des eaux,
 - un périmètre de protection éloigné (PPE) étendu à tout le plateau de Valéry jusqu'au méridien des Condats où devaient être respectées les servitudes relatives à l'assainissement, au creusement de puits et à l'exploitation de matériaux du sous-sol.
- Les résultats d'analyses collectés pour les eaux distribuées à Busque concluent pour certaines dès 1991 à des eaux non conformes aux normes de potabilité avec des taux de nitrates élevés et la présence de bactéries (coliformes et streptocoques fécaux).
- La commune de Busque approvisionnée en eau potable par les sources de Fourès (BSS002ENEF) et de La Bouriette (BSS002ENEG) est contrainte par les services d'hygiène de l'ARS de ne plus utiliser ces 2 ressources à compter du **01 janvier 1995**.
- A partir de 1995, la commune adhère au syndicat intercommunal d'adduction d'eau potable de la Moyenne Vallée du Tarn. Ce dernier alimente en eau potable le château d'eau « Bouriou » desservant la commune.
- Suite à l'abandon des sources pour l'AEP, l'irrigation du terrain de sport et l'arrosage des espaces verts de la commune sont réalisées à partir de l'eau de la station de pompage de Fourès.
- Une convention de connexion du réseau d'assainissement de Busque à la station d'épuration de Graulhet est signée en 1996 par la commune de Busque.

- Suite aux intempéries de 2013, la passerelle au-dessus du ruisseau Lenjou permettant le passage des conduites d'eau des captages de Fourès à la station de pompage est détruite, provoquant également de gros dégâts au niveau des conduites. Ce type de dégradations avait déjà été subi par le passé au niveau des aménagements en place.

5.2.3. Mesures hebdomadaires des débits et des paramètres physico-chimiques

Un suivi régulier de chacun des drains d'arrivées d'eau de ces 3 ouvrages a été mis en place à une fréquence hebdomadaire à partir de mesures de débits et de paramètres physico-chimiques non conservatifs associés à des mesures de teneurs en nitrates à l'aide d'une sonde multi-paramètre munie d'un capteur ISE (électrode sélective d'ions). En raison de la minéralisation des eaux de ces captages, l'utilisation du capteur ISE s'est révélée inadaptée pour ce type d'eau (interférence entre les ions nitrates et d'autres ions de même nature). Les suivis de teneur en nitrates ont donc été effectués à l'aide d'un spectrophotomètre NOVA 60[®] fournissant des résultats plus fiables mais avec une fréquence moins dense que celle prévue initialement.

L'objectif de ces différents suivis était d'analyser la réactivité du système en fonction des événements climatiques. Toutefois, contraintes par les délais inhérents aux enjeux de l'étude, ces suivis se sont déroulés sur une courte durée de deux mois et demi, entre juillet et septembre 2019. Cette période, particulièrement marquée par une pluviométrie déficitaire, n'a donc pas été propice à la mise en évidence d'un potentiel fonctionnement hydrogéologique contrasté lors de variations notables des précipitations. En effet, les premières chroniques de débits mesurés en 2015 lors de la seconde phase de l'étude « Stratégie de surveillance des masses d'eau de type molasses » indiquaient des variations de débits d'un facteur 13 entre les plus bas et les plus hauts débits mesurés.

En préalable à la mise en œuvre de ces suivis, des aménagements de l'intérieur des captages ont été nécessaires afin de fiabiliser la représentativité des mesures. En effet, comme indiqué précédemment, la conception des captages associée à un important envasement des bassins provoquaient la quasi submersion des drains et ainsi l'impossibilité d'effectuer les suivis de débit et de paramètres physico-chimiques indépendamment des eaux collectées dans les bassins. Les travaux entrepris ont donc consisté dans un premier temps à réaliser un curage des bassins puis à entailler le mur (en dessous des drains) sous la forme d'une fente suffisamment profonde pour y insérer une plaque en inox permettant de collecter l'eau des drains (Figure 23).

Le captage n°1 présente la particularité de disposer de drains à différentes hauteurs, espacés de 30 cm (Figure 17). Toutefois, les drains inférieurs étant positionnés à la base du captage, les suivis indépendants de leurs paramètres physico-chimiques n'étaient pas réalisables. Les suivis ont donc été effectués au niveau du drain supérieur (noté 1A) et à partir du tuyau PVC (noté 1B) arrivant dans le captage n°3 et qui correspond au cumul des eaux de l'ensemble des drains de ce captage. La différence de débits entre les deux mesures (1A et 1B) correspond donc à la valeur de débits des drains inférieurs, ces dernières étant nettement supérieures à celles du drain supérieur 1A durant tout le suivi réalisé. Ainsi, à partir du 07 août 2019 le drain supérieur (1A) s'est même tari.

Les différents suivis ont débuté à la date du 03 juillet 2019 et se sont poursuivis jusqu'au 19 septembre 2019 avec une fréquence hebdomadaire, soit un total de 12 campagnes de mesures.



Figure 23 – Photographies des aménagements réalisés pour les suivis des drains des 3 captages

a) Suivi de l'évolution des débits

Les données de débits mesurés dans les différents drains de chacun des 3 captages ont été confrontées avec les cumuls journaliers de précipitations mesurés à la station météorologique de Busque (code station 81043001), acquis auprès de MétéoFrance. Ces données ont été récupérées pour les mois de juin, juillet et août 2019. En effet, s'agissant d'une station à relevés manuels les données quotidiennes sont disponibles au plus tard 21 jours après la fin du mois traité.

Le graphique en Figure 24 indique que les débits du captage n°1 sont les plus élevés en comparaison des 2 autres ouvrages sur la période de mesures de juillet à mi-septembre, avec en moyenne une valeur mesurée de 0,23 l/s. Présentant une tendance générale au tarissement, cet ouvrage se caractérise également par des variations de débits plus marquées (en comparaison des 2 autres ouvrages), réagissant aux quelques variations ponctuelles de précipitations.

L'évolution générale des débits du captage n°2 indique également une tendance au tarissement, avec des débits légèrement soutenus par les précipitations enregistrées sur cette période (Figure 24). Les débits de ce captage, de l'ordre de 0,18 l/s, sont en moyenne légèrement inférieurs à ceux du captage n°1.

Enfin, le captage n°3 présente des débits nettement inférieurs à ceux des deux autres captages, en moyenne de l'ordre de 0,03 l/s, soit 10 fois moins élevés que ces derniers. En terme d'évolution, les quelques précipitations ponctuelles enregistrées à partir de fin juillet ont maintenu son débit durant cette période sèche (Figure 24).

Le cumul des débits mesurés au niveau des différents drains des 3 captages varie de 0,7 l/s en début de suivi à environ 0,3 l/s. Ces ouvrages présentent donc de faibles débits mais ne se sont pas taris pour autant, malgré les faibles précipitations enregistrées durant ces mois d'été.

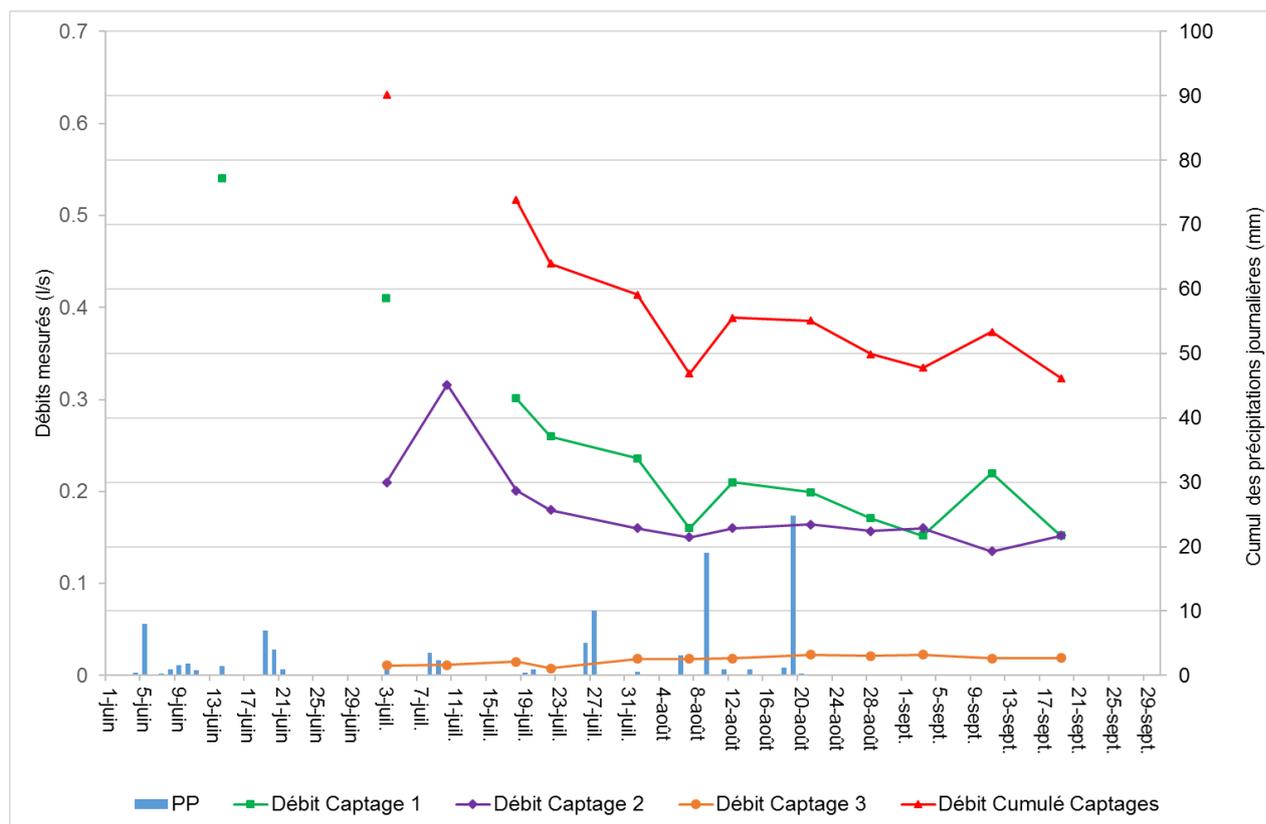


Figure 24 – Evolution des débits mesurés dans les drains des captages de Fourès

b) Suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques

Le graphique de la Figure 25 regroupe les différentes évolutions observées de paramètres physico-chimiques non conservatifs de terrain (température, pH, conductivité électrique, oxygène dissous et potentiel d'oxydo-réduction) mesurés au niveau des différents drains de chacun des trois captages.

❖ Température (T°C)

Les températures mesurées au niveau des arrivées d'eau des trois captages sont très homogènes sur la période des suivis et entre les différents ouvrages. Ces valeurs sont relativement élevées, respectivement en moyenne de 14,8°C / 14,9°C et 15,1°C pour les eaux des captages n°1, n°2 et n°3.

❖ Potentiel d'hydrogène (pH)

Les mesures de pH, rendant compte de l'acidité de l'eau, présentent de légères différences selon les captages. Elles attestent d'une eau à caractère neutre pour les captages n°1 et n°3, respectivement en moyenne de 6,9 et 7,2 et d'une eau à tendance plus basique pour le captage n°2 avec en moyenne une valeur relevée à 7,6. Ce caractère plus basique est classiquement témoin de circulations d'eau dans des formations carbonatées.

Les captages n°2 et n°3 sont ceux présentant les plus grandes évolutions de pH au cours du suivi, avec dans les deux cas, une variation d'un point de pH évoluant d'une eau à caractère neutre à une eau plus basique.

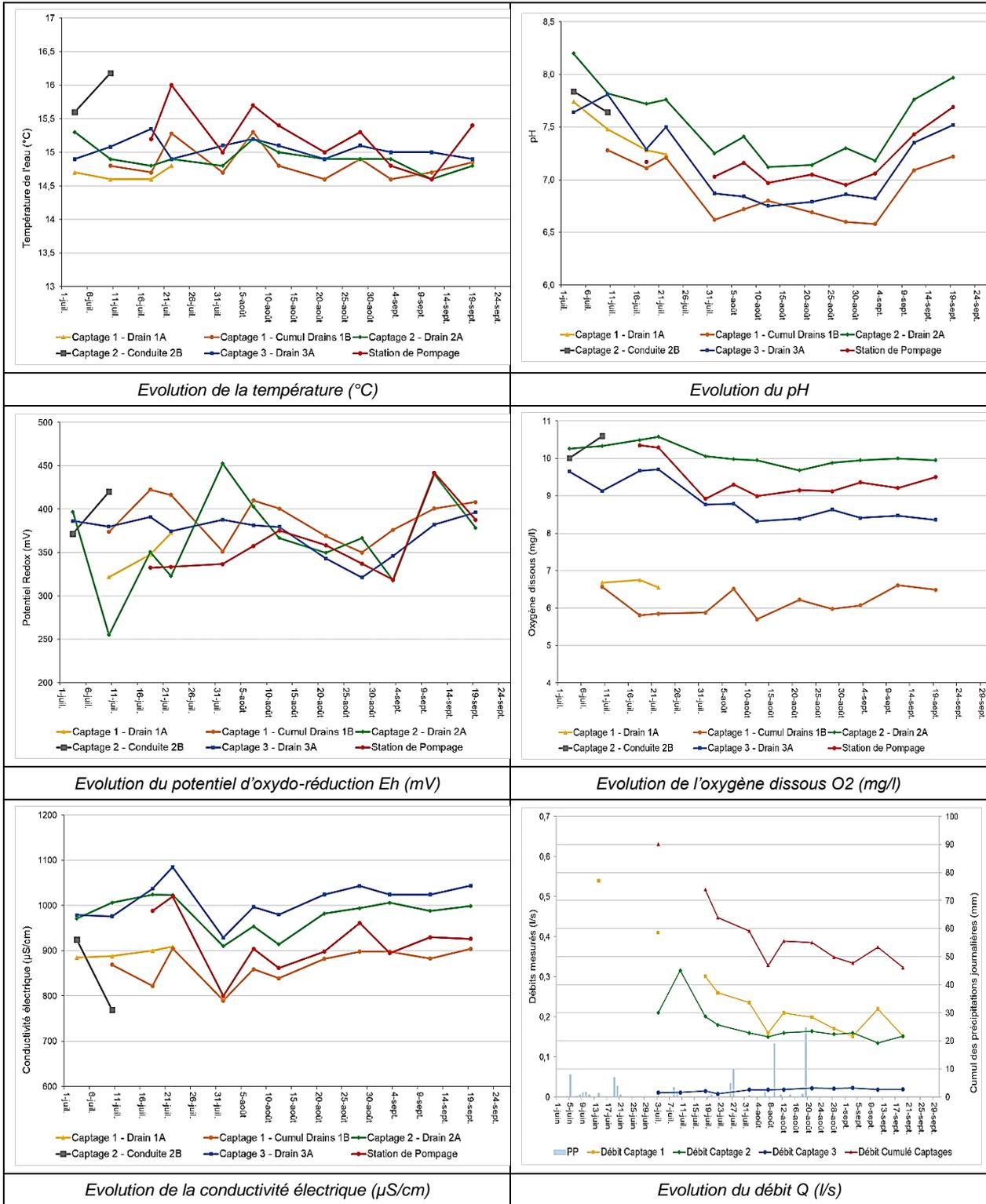


Figure 25 – Evolution des paramètres physico-chimiques non conservatifs de terrain mesurés dans les drains des captages de Fourès

❖ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique caractérise la minéralisation globale des eaux. Dans les cas présents, le captage n°1 présente les eaux les moins minéralisées en comparaison de celles des captages n°2 et n°3 avec en moyenne une valeur de l'ordre de 870 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les eaux des captages n°2 et n°3 sont particulièrement minéralisées, respectivement en moyenne de l'ordre de 980 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et de 1010 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces différences de valeurs de conductivité électrique peuvent s'expliquer par l'hétérogénéité lithologique des colluvions (proportion de matériaux plus ou moins siliceux ou plus ou moins carbonatés) et/ou par une influence des dépôts molassiques sous-jacents.

❖ Potentiel redox (Eh)

La mesure du potentiel d'oxydo-réduction (ou potentiel redox) permet d'évaluer si le milieu est oxydant ou réducteur. Dans le cas présent, les trois captages présentent des valeurs similaires, (en moyenne de l'ordre de 370 mV) caractérisant des conditions de milieu sub-oxydant.

❖ Oxygène dissous (O_2 dissous)

Les teneurs en oxygène dissous sont relativement distinctes selon les captages. Les eaux du captage n°1 présentent les plus faibles valeurs, en moyenne de l'ordre de 60% alors que les eaux du captage n°2 sont saturées (valeurs moyennes de plus de 100%), les eaux du captage n°3 en contiennent des quantités proches de la saturation, de l'ordre de 90%.

c) Suivi de l'évolution des teneurs en nitrates

Le graphique de la Figure 26 indique les évolutions des teneurs en nitrates mesurées au niveau des différents drains de chacun des trois captages en fonction des débits.

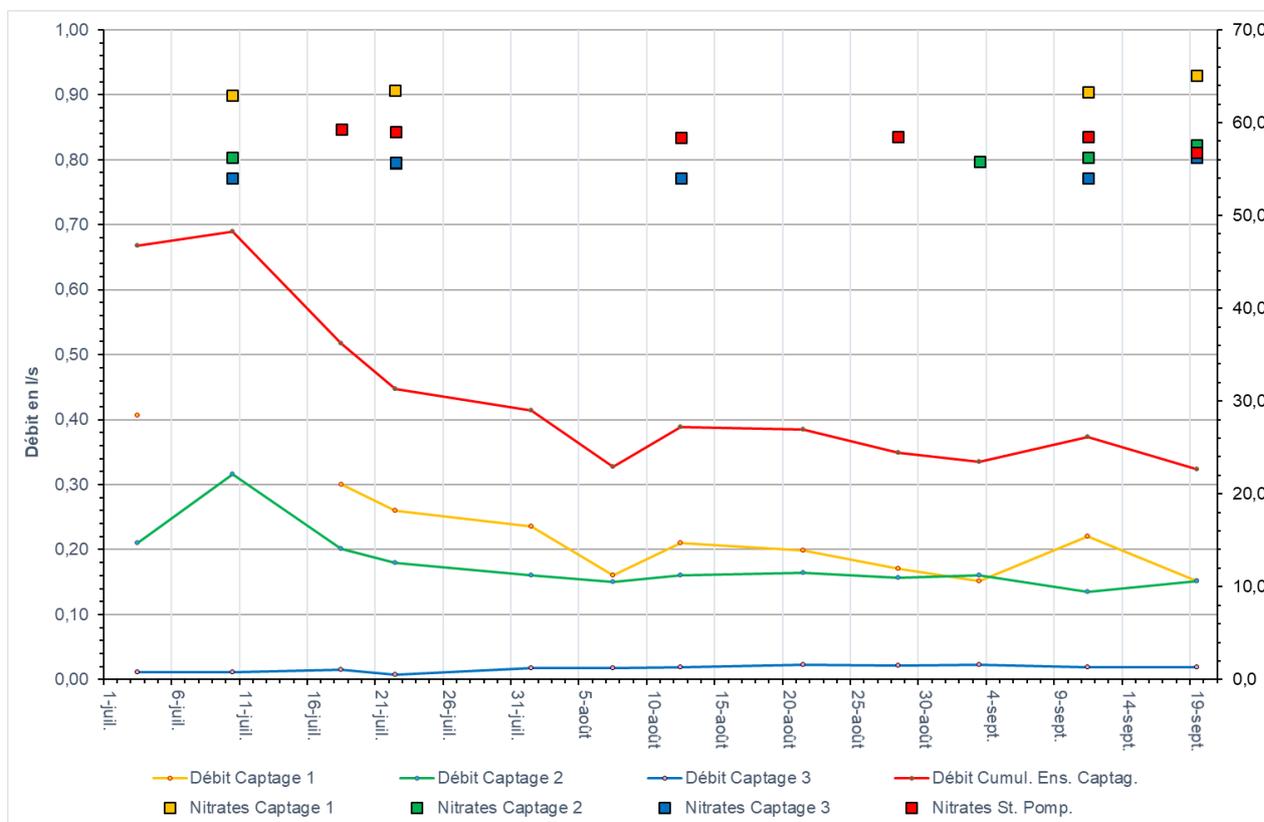


Figure 26 – Evolution des teneurs en nitrates mesurées dans les drains des captages de Fourès

Malgré une fréquence de mesures moins dense que celle prévue initialement (suivi hebdomadaire de chacun des drains), ce graphique met en évidence la constance des teneurs en nitrates enregistrées dans chacun des trois captages, les variations mesurées étant de seulement quelques mg/l. Pour autant l'absence d'événements pluvieux importants et la courte durée du suivi réalisée ne permet pas de caractériser finement les fluctuations potentielles des teneurs en nitrates en fonction des fortes et ponctuelles variations de débits.

Les teneurs en nitrates les plus élevées sont mesurées dans les eaux du captage n°1. Elles sont observées entre 62 et 65 mg/l. Celles des captages n°2 et n°3 sont relativement similaires, et plus faibles, de l'ordre de 55 mg/l.

Les teneurs en nitrates enregistrées à la station de pompage sont donc intermédiaires entre celles du captage n°1 et celles des captages n°2 et n°3, de l'ordre de 58 mg/l.

5.3. EVALUATION DES TENEURS EN NITRATES EN PRESENCE DANS LE RUISSEAU DU LENJOU ET SES AFFLUENTS

Le programme initial prévoyait d'effectuer, si possible en contexte climatique contrasté, des mesures physico-chimiques et de teneurs en nitrates en différents points sur le ruisseau de Lenjou et sur ses affluents principaux.

L'objectif de ces reconnaissances était d'estimer les variations des teneurs en nitrates dans le bassin versant du Lenjou, soit un secteur concerné par un contexte molassique où le ruissellement des eaux est majoritaire.

Toutefois, dès juillet 2019, le ruisseau Lenjou et ses affluents se sont révélés secs, rendant impossible la réalisation de cette action.



Figure 27 – Vue du ruisseau Lenjou en contrebas des captages de Fourès en septembre 2019

5.4. CARACTERISATION GEOCHIMIQUE DES AQUIFERES EN PRESENCE

5.4.1. Inventaire et diagnostic de points d'eau (puits et sources)

Sur la base de la première prise de connaissance du site réalisée le 28 février 2019 dans le cadre de la mission d'Appui aux Administrations rappelée précédemment, plusieurs reconnaissances de terrain ont été entreprises afin de recenser et diagnostiquer des points d'eau représentatifs des différentes formations géologiques susceptibles de contribuer aux écoulements des captages de Fourès. Outre la zone d'alimentation de ces derniers, le secteur de recherche a concerné un territoire s'étendant sur environ 10 km au nord de la commune de Busque, où les différentes formations molassiques sont largement représentées. Ces recherches d'ouvrages ont été facilitées grâce au concours des agriculteurs du secteur et en présence de la Chambre d'Agriculture du Tarn.

Ainsi, 22 points d'eau comprenant 8 sources et 14 puits ont fait l'objet de diagnostics hydrogéologiques destinés à caractériser dans la mesure du possible les niveaux aquifères captés (Figure 28). A cette occasion, toutes les données utiles ont été collectées et concernent en particulier les mesures de profondeur, de niveaux d'eau, de débits, de paramètres physico-chimiques et d'enquêtes auprès des propriétaires sur la productivité des ouvrages. Une description de l'environnement proche de ces points d'eau a également été réalisée en complément (à partir des bases de données existantes [Corine Land Cover, RPG, Images satellites...] et d'observations de terrain).

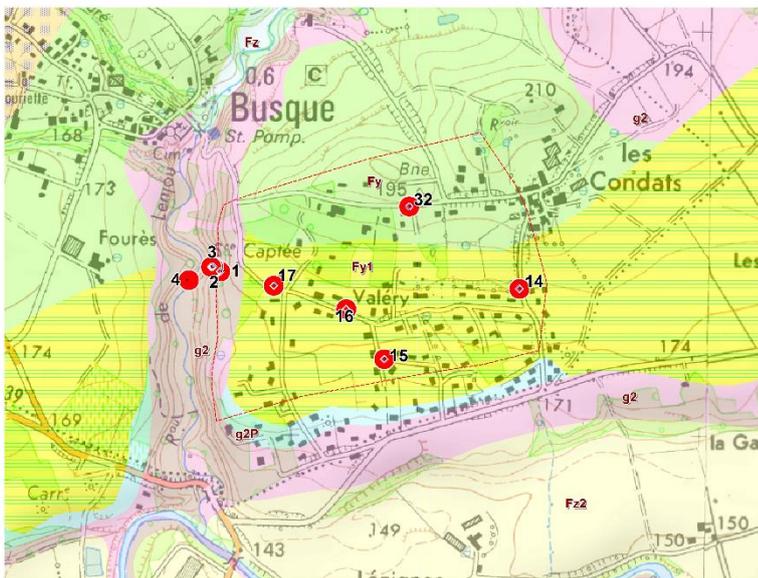
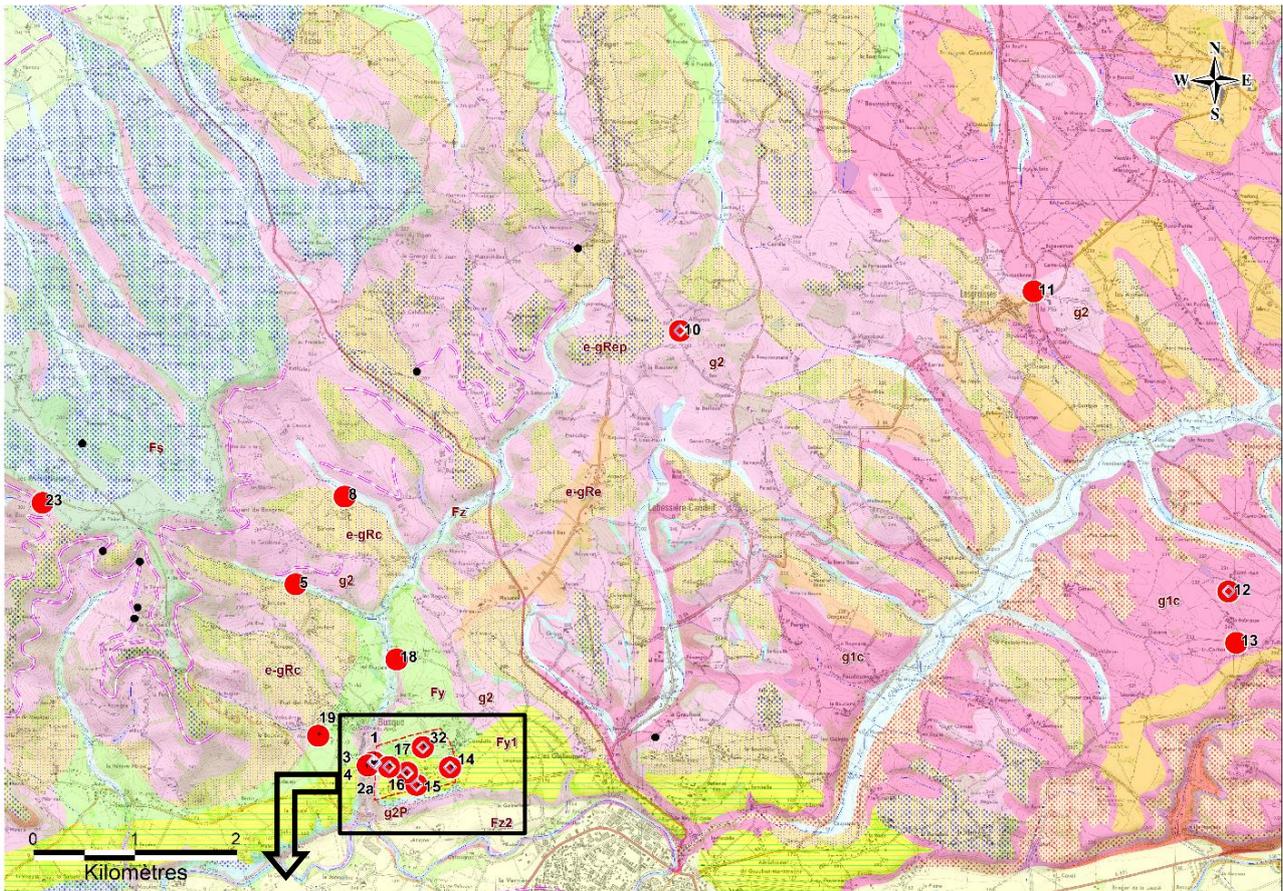
Les mesures de coordonnées précises associées aux cotes altitudinales ont été obtenues à partir de la même technologie de GPS (Leica VIVA®) mentionnée dans le chapitre précédent. Ces données sont en effet essentielles dans l'optique de caractériser au mieux le compartiment aquifère mesuré (niveaux piézométriques comme données géochimiques).

N'étant pas recensés dans la Banque de données du Sous-Sol, l'instruction des dossiers et l'attribution d'indices nationaux à ces 22 points d'eau ont été effectuées.

Parmi les 22 points d'eau diagnostiqués et en complément des 4 sites d'échantillonnage de Fourès (les 3 captages de sources et le tuyau de collecte se déversant dans le réservoir de la station de pompage), 14 d'entre eux ont été sélectionnés pour la mise en œuvre de la campagne de mesures hydrochimiques et hydrogéologiques (Figure 28).

Les critères de sélection de ces 14 ouvrages ont plus particulièrement porté sur leur représentativité géologique vis-à-vis des formations géologiques (alluviales ou molassiques ou en mélange) susceptibles de contribuer aux écoulements des captages de Fourès. Les échantillons d'eau prélevés dans ces points sont destinés à être comparés analytiquement avec les eaux issues des sources de Fourès.

Il est toutefois important d'indiquer ici que l'absence de coupes géologiques des puits sélectionnés, et en particulier pour l'ensemble des ouvrages implantés sur le plateau de Valéry où les formations molassiques ne sont pas affleurantes (sous recouvrement de dépôts quaternaires superficiels ou alluviaux), impose d'émettre des hypothèses sur les niveaux captés.



- LEGENDE :
- Carte Géologique à 1/50 000 de Gaillac (958)
- g1c : Calcaires d'Albi (Sannoisien sup.)
 - g2 : Marnes et Molasses (Rupélien)
 - g2P : Bancs de poudingues dans la molasse (Rupélien)
 - e-gRc : Eboulis et solifluxions issus des dépôts tertiaires
 - e-gRep : Faciès caillouteux des formations précédentes
 - e-gRe : Formations superficielles sur dépôts tertiaires
 - Fs : Eboulis et solifluxions issus des terrasses alluviales
 - Fy : Alluvions des basses terrasses des petites vallées
 - Fy1 : Alluvions des basses terrasses du Dadou
 - Fz : Alluvions des petites rivières et ruisseaux
 - Fz2 : Alluvions des basses plaines du Tarn et du Dadou
 - Niveau repère lithologique
 - Bancs de poudingues dans la molasse

- LEGENDE :
- Zone d'alimentation Captages de Fourès (ZAC)
 - Ouvrages diagnostiqués
 - Ouvrages sélectionnés pour la campagne d'analyses
 - Ouvrages sélectionnés pour analyses des CFC / SF6

Figure 28 - Carte de localisation des échantillons prélevés pour analyse chimique (fond de carte géologique de Gaillac 1/50 000)

Pour ces 18 points d'eau sélectionnés pour la campagne de mesures, les critères de sélection et l'ensemble des données acquises sont reportés dans le tableau de l'annexe 1.

5.4.2. Campagne de mesures hydrochimiques et hydrogéologiques

a) Protocole d'échantillonnage

La campagne d'échantillonnage d'eau a été réalisée entre le 22 et le 25 juillet 2019 dans des conditions climatiques stables (temps sec avec des chaleurs caniculaires). Cette période correspond à un contexte hydrogéologique de basses eaux.

Afin de répondre aux trois objectifs de représentativité du milieu, de caractérisation des phénomènes et de limitation des transformations, les modes opératoires de prélèvement, d'échantillonnage et de conservation suivants ont été appliqués :

- Mesure du niveau piézométrique dans les puits avant pompage,
- Purge de l'ouvrage par pompage à débit moyen (environ 2 m³/h) jusqu'à stabilisation des mesures de pH et de conductivité électrique (pour l'ensemble des ouvrages un temps moyen de pompage de l'ordre de 45 à 60 min),
- Relevé des paramètres physico-chimiques déterminés sur le terrain par des méthodes potentiométriques (température, pH, conductivité électrique, potentiel d'oxydo-réduction et oxygène dissous),
- Prélèvements des échantillons d'eau en appliquant le protocole suivant en fonction des éléments chimiques à analyser :
 - Pour le **dosage des anions** : rinçage des flacons de 125 ml en polyéthylène par une eau filtrée puis échantillonnage de 125 ml d'eau filtrée *in situ* à l'aide d'une seringue munie d'un filtre à 0,45 µm préalablement rincé.
 - Pour le **dosage des cations** : rinçage des flacons de 50 ml en polyéthylène par une eau filtrée puis échantillonnage de 125 ml d'eau filtrée *in situ* à l'aide d'une seringue munie d'un filtre à 0,45 µm préalablement rincé. Acidification de l'eau par de l'acide nitrique (HNO₃) jusqu'à obtention d'un pH inférieur à 2.
 - Pour le **dosage de l'ammonium (NH₄⁺) et des nitrites (NO₂⁻)** : rinçage des flacons de 50 ml en polyéthylène par une eau filtrée puis échantillonnage de 125 ml d'eau filtrée *in situ* à l'aide d'une seringue munie d'un filtre à 0,45 µm préalablement rincé.
 - Pour le **dosage de l'azote Kjeldahl (NKJ)** : rinçage des flacons de 150 ml en polyéthylène par une eau brute puis échantillonnage de 150 ml d'eau brute *in situ*. Acidification de l'eau par de l'acide sulfurique (H₂SO₄) jusqu'à obtention d'un pH inférieur à 2.
 - Pour l'**analyse des isotopes du strontium (Sr)** : rinçage des flacons de 125 ml en polyéthylène par une eau filtrée puis échantillonnage de 125 ml d'eau filtrée *in situ* à l'aide d'une seringue munie d'un filtre à 0,45 µm préalablement rincé. Acidification de l'eau par de l'acide nitrique (HNO₃) jusqu'à obtention d'un pH inférieur à 2.
- Conservation à 4°C et expédition au laboratoire du BRGM.

L'échantillonnage pour l'analyse des CFC_s et SF₆ mais aussi de l'argon (Ar) et du diazote (N₂) nécessite d'appliquer une procédure spécifique en raison du risque de contamination de l'échantillon au contact de l'atmosphère. La mise en œuvre de ces prélèvements a été effectuée en suivant le protocole développé par Oster et al. (1996).

L'eau a été collectée dans des bouteilles en verre de 500 ml, elles-mêmes placées dans des récipients métalliques ou cartonnés. La particularité de ce protocole de prélèvement est qu'il doit être réalisé en permanence sous l'eau de façon à éviter les échanges avec l'air ambiant.

Par ailleurs, des échantillons d'eau ont été prélevés, dans le même respect des protocoles en vigueur, pour une éventuelle analyse ultérieure de pesticides, de polluants émergents et de traceurs urbains (à savoir des isotopes du bore). Ces échantillons ont été expédiés au laboratoire du BRGM et sont conservés selon les préconisations pour une potentielle analyse future et ce pour d'une durée de 6 mois renouvelable une fois.

b) Analyses mises en œuvre

Toutes les analyses sont effectuées au laboratoire du BRGM à l'exception des analyses des CFC et SF₆ et des gaz argon (Ar) et diazote (N₂) réalisées par chromatographie gazeuse par le laboratoire Spurenstofflabor (Allemagne) et des analyses de l'azote kjeldhal réalisées par le laboratoire SYPAC selon la norme NF EN 25663.

Les concentrations des espèces majeures sont déterminées par des méthodes standard :

- Chromatographie ionique (Dionex) selon NF EN ISO 10304-1 (juillet 2009) pour les nitrates (NO₃), les sulfates (SO₄), les chlorures (Cl), et le fluor (F),
- Analyse colorimétrique sur un système d'analyse discrète suivant la norme NF ISO 15923 - 1 pour les nitrites (NO₂), l'ammonium (NH₄), le phosphate (PO₄),
- Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1 pour les bicarbonates (HCO₃) et les carbonates (CO₃), CO₃/HCO₃ calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO₃, HCO₃),
- ICP-spectrométrie d'émission pour le calcium (Ca), le potassium (K), le sodium (Na), le fer (Fe), le magnésium (Mg) et la silice (SiO₂).

Les éléments traces sont analysés par ICP-MS suivant NF EN ISO 17294-2 d'avril 2005.

Les isotopes du strontium (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) sont mesurés par spectrométrie de masse par thermoionisation à source solide (TIMS) sur un Finnigan MAT 262 après séparation chimique du Sr sur colonne échangeuse d'ions. L'analyse se fait sur mono-filament au W, les mesures sont comparées au standard NBS 987 (valeur certifiée de 0,710240). L'incertitude est de $\pm 1.10^{-5}$ (2 σ).

5.4.3. Résultats et interprétation des données géochimiques

Les paramètres physico-chimiques, les résultats des analyses des éléments majeurs, traces ainsi que les rapports isotopiques du strontium sont respectivement présentés dans les Figure 29, Figure 30, Figure 31 et Figure 32.

REF	NOM	Date	Temp.	pH	Eh Corr.	O ₂ diss.	Cond.25°
			°C		mV	% sat.	µS/cm
Sources de Fourès							
1	Captage Fourès 1	22/07/2019	15,3	7,2	417	59,4	905
2	Captage Fourès 2	22/07/2019	14,9	7,8	323	106,2	1023
3	Captage Fourès 3	22/07/2019	15,4	7,3	391	98,1	1037
4	Sta. Pomp. Fourès	23/07/2019	16,0	7,2	334	106,1	1020
Points d'eau hors Zone d'alimentation du captage							
5	Chauptié	24/07/2019	22,2	7,4	45	3,2	903
8	Sirven	24/07/2019	14,9	6,9	296	15,7	894
10	Les Affignes	24/07/2019	14,6	7,3	254	0,0	733
11	Le Plô	25/07/2019	15,7	6,7	389	62,0	1014
12	Conté Haut	24/07/2019	13,3	7,1	352	71,2	840
13	Bouriasses - Le Carbonier	25/07/2019	14,4	7,6	339	50,3	787
18	Les Escrives	23/07/2019	15,6	7,9	283	46,5	1067
19	Mazélie	24/07/2019	15,1	6,6	384	10,7	1014
23	Rives Hautes - La Brande	24/07/2019	14,8	6,4	434	61,5	393
Points d'eau dans la Zone d'alimentation du captage							
14	Valéry 4	23/07/2019	15,3	7,6	295	30,6	1331
15	Valéry 3	23/07/2019	16,1	7,8	15	19,1	166
16	Valéry 2	23/07/2019	16,3	7,3	336	55,6	815
17	Valéry 1	23/07/2019	15,8	6,8	306	48,9	1045
32	Les Condats	23/07/2019	16,4	7,6	126	12,6	634

Figure 29 - Paramètres physico-chimiques mesurés dans les points d'eau de la campagne d'analyse

REF	NOM	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl-	SO ₄	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NKJ	PO ₄	SiO ₂
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	Limite de Quantification	0.5	0.5	0.5	0.5	10	10	0.5	0.5	0.5	0.05	0.01	1	0.05	0.5
Sources de Fourès															
1	Captage Fourès 1	115,3	10,2	16,6	0,9	<LQ	312	25,0	29,6	63,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,1
2	Captage Fourès 2	140,4	11,7	18,5	0,8	<LQ	383	35,6	35,6	55,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,5
3	Captage Fourès 3	150,3	12,6	18,9	0,7	<LQ	415	36,8	36,2	55,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,6
4	Sta. Pomp. Fourès	129,4	11,1	17,6	0,8	<LQ	349	30,5	32,9	59,0	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,3
Points d'eau hors Zone d'alimentation du captage															
5	Chauptié	136,8	11,0	21,7	1,3	<LQ	458	29,1	23,5	<LQ	1,95	0,02	1,8	0,2	16,3
8	Sirven	118,4	13,5	29,3	1,1	<LQ	380	42,7	40,4	43,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,4
10	Les Affignes	92,5	13,5	11,2	28,2	<LQ	373	8,4	35,8	3,3	<LQ	0,05	<LQ	0,5	14,6
11	Le Plô	139,7	22,9	14,3	17,2	<LQ	458	21,4	68,2	44,6	<LQ	<LQ	<LQ	0,2	13,4
12	Conté Haut	125,4	18,1	4,9	<LQ	<LQ	371	10,7	30,3	62	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9,2
13	Bouriasses - Le Carbonier	106,0	24,5	7,8	0,9	<LQ	327	16,1	61,8	50	<LQ	0,01	<LQ	0,2	12
18	Les Escrives	127,1	22,2	13,5	2,4	<LQ	398	30,5	47,5	42,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	9,3
19	Mazélie	140,4	16,5	22,1	12,4	<LQ	358	45,0	94,8	42,9	0,08	0,04	<LQ	0,4	18,8
23	Rives Hautes - La Brande	54,9	2,7	11,6	1,2	<LQ	134	12,3	12,9	46,8	<LQ	<LQ	<LQ	0,1	10,3
Points d'eau dans la Zone d'alimentation du captage															
14	Valéry 4	171,3	13,3	26,7	0,9	<LQ	384	92,3	57,8	53,3	<LQ	0,03	<LQ	0,1	12,6
15	Valéry 3	19,0	0,5	1,0	0,9	<LQ	67	1,7	2,3	<LQ	0,91	<LQ	<LQ	0,1	1,9
16	Valéry 2	94,1	9,1	14,7	0,6	<LQ	248	16,7	24,5	76,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	11,6
17	Valéry 1	132,6	10,9	19,5	0,9	<LQ	361	36,2	33,9	58,7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	12,7
32	Les Condats	84,7	6,0	4,3	0,8	<LQ	261	5,5	31,1	9,4	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	8,2

Figure 30 - Résultats des analyses chimiques (composés majeurs) obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse

REF	NOM	Fe	F-	Ag	Al	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mn	Ni	Pb	Zn	
		mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
	<i>Limite de Quantification</i>	0.02	0.1	0.01	0.5	0.05	0.5	0.05	0.01	0.01	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.5	
Sources de Fourès																			
1	Captage Fourès 1	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,19	16,8	71,0	0,01	<LQ	<LQ	0,3	0,3	4,9	0,3	0,4	<LQ	0,7	
2	Captage Fourès 2	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,16	17,3	85,5	<LQ	<LQ	<LQ	0,4	0,4	5,6	0,1	0,4	<LQ	0,7	
3	Captage Fourès 3	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,18	17,3	87,7	0,02	0,01	<LQ	0,4	0,8	5,8	0,3	0,6	<LQ	120,6	
4	Sta. Pomp. Fourès	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,18	17,4	78,1	0,01	<LQ	<LQ	0,3	0,7	5,1	1	0,4	<LQ	1,3	
Points d'eau hors Zone d'alimentation du captage																			
5	Chauptié	<LQ	0,1	<LQ	1,9	0,71	6,3	90,4	<LQ	<LQ	0,08	0,2	0,3	4,3	78,7	0,4	<LQ	0,8	
8	Sirven	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,19	9,6	89,5	0,02	<LQ	<LQ	0,4	0,5	15,1	11,5	0,4	<LQ	1,5	
10	Les Affignes	<LQ	0,3	<LQ	1,4	3,58	43,4	107,7	<LQ	0,01	0,06	0,4	11,2	7,6	6,6	0,8	0,1	7,9	
11	Le Plô	<LQ	0,2	<LQ	<LQ	2,59	47,6	201,3	<LQ	0,01	0,17	0,4	16,6	4,5	0,8	2,8	0,05	11,4	
12	Conté Haut	<LQ	0,3	<LQ	<LQ	0,32	18,2	114,1	<LQ	<LQ	<LQ	0,3	0,8	1,6	<LQ	0,4	<LQ	0,9	
13	Bouriasses - Le Carbonier	<LQ	0,5	<LQ	0,8	3,31	9,5	84,3	<LQ	<LQ	0,07	0,4	1,9	3,4	0,1	0,4	<LQ	5,3	
18	Les Escrives	<LQ	0,2	<LQ	<LQ	0,2	30,4	158,5	0,01	<LQ	<LQ	0,4	0,7	9,1	0,7	0,4	<LQ	1,3	
19	Mazélie	<LQ	0,1	<LQ	2	1,64	33,5	140,0	<LQ	0,1	0,1	0,4	6,3	4,8	1,8	0,8	0,09	27,6	
23	Rives Hautes - La Brande	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,32	3,5	79,5	0,1	0,03	<LQ	0,8	3,7	2,1	<LQ	1,3	0,05	2,9	
Points d'eau dans la Zone d'alimentation du captage																			
14	Valéry 4	<LQ	0,1	<LQ	0,7	0,22	34,2	86,0	<LQ	0,01	0,06	0,4	5,4	5,6	8,8	0,6	<LQ	12	
15	Valéry 3	0,12	<LQ	<LQ	38	0,72	8,3	9,0	<LQ	<LQ	0,07	0,4	0,8	4,7	25,1	0,7	0,08	2,6	
16	Valéry 2	<LQ	0,1	<LQ	0,5	0,17	17,8	57,0	<LQ	<LQ	<LQ	0,6	0,7	3,6	0,7	0,8	<LQ	2,3	
17	Valéry 1	<LQ	0,1	<LQ	<LQ	0,2	23,1	78,5	<LQ	0,01	<LQ	0,3	0,4	5,4	31,2	0,4	<LQ	2,4	
32	Les Condats	0,06	0,2	<LQ	3,5	1,24	7,4	35,7	<LQ	0,01	<LQ	0,5	2	3	44,5	0,4	<LQ	65,5	

Figure 31 - Résultats des analyses chimiques (composés mineurs et traces) obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse

REF	NOM	Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
		µg/L	± 1.10 ⁻⁵
<i>Limite de Quantification</i>		0.1	
Sources de Fourès			
1	Captage Fourès 1	208	0,71079
2	Captage Fourès 2	255	0,71057
3	Captage Fourès 3	267	0,71049
4	Sta. Pomp. Fourès	234	n.m.
Points d'eau hors Zone d'alimentation du captage			
5	Chauptié	232	n.m
8	Sirven	301	n.m
10	Les Affignes	183	0,71027
11	Le Plô	255	n.m
12	Conté Haut	221	0,70941
13	Bouriasses - Le Carbonier	329	n.m
18	Les Escrives	530	n.m
19	Mazélie	280	n.m
23	Rives Hautes - La Brande	51	n.m
Points d'eau dans la Zone d'alimentation du captage			
14	Valéry 4	245	0,71059
15	Valéry 3	44	0,70908
16	Valéry 2	187	0,71099
17	Valéry 1	234	0,71055
32	Les Condats	166	0,71069

Figure 32 - Résultats des analyses chimiques du strontium et des rapports isotopiques du strontium obtenus dans les points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse. (n.m. : non mesuré)

5.4.4. Les paramètres physico-chimiques

Le diagramme binaire température (T) versus Conductivité électrique (EC)¹ est représenté sur la Figure 33 avec trois symboles différenciant les points d'eau échantillonnés, à savoir un groupe de points correspondant aux captages et station de pompage de Fourès (losange bleu), un autre ensemble regroupant les puits situés dans la zone d'alimentation des captages de Fourès (carré vert) et un troisième groupe comprenant l'ensemble des points d'eau situés à l'extérieur de la zone d'alimentation des captages (rond rose).

La température des eaux souterraines échantillonnées (Figure 33) varie entre 13,3 et 22,2°C. Cette valeur élevée s'explique par le contexte d'émergence particulier de la source au sein d'une vasque où ont été réalisés les mesures et les prélèvements d'échantillons du point n°5. Les températures des autres points de mesures sont majoritairement comprises entre 14 et 16°C et sont très homogènes pour les puits situés dans la zone d'alimentation des captages de Fourès, compris entre 14,9 et 16,4°C.

La conductivité électrique (EC) mesurée pour l'ensemble des eaux échantillonnées (Figure 33) varie entre 166 à 1331 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le puits n°15, le plus faiblement minéralisé avec une valeur relevée à 166 $\mu\text{S}/\text{cm}$, s'avère non représentatif des eaux souterraines. En effet, après vérification, cet ouvrage, situé chez un particulier, collecte pour partie les eaux de pluie ruisselant sur la toiture de la maison.

Les valeurs de conductivité électrique mesurées dans les puits de la zone d'alimentation sont hétérogènes, allant du simple au double. Comme observé lors des suivis hebdomadaires (Figure 25), le captage n°1 de la source de Fourès est légèrement moins minéralisé que les captages n°2 et n°3 et que le mélange de ces captages (point 4).

Les 9 autres points d'eau, situés en dehors du plateau de Valéry et caractérisant les formations molassiques et/ou les formations alluviales présentent globalement des valeurs de conductivité électrique élevées (compris entre 733 et 1067 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Seule la source n°23 caractérisant *a priori* des écoulements diffus au niveau des bancs de poudingues de la molasse est associée à une eau moins minéralisée, d'environ 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

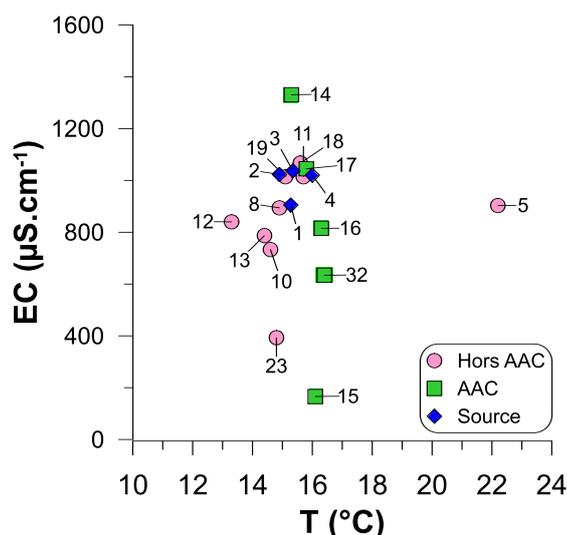


Figure 33 - Représentation de la Conductivité Electrique en fonction de la température des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude

¹ Il ne s'agit pas ici de rechercher une corrélation entre ces 2 paramètres mais de réduire le nombre de figures.

Le pH des eaux souterraines échantillonnées est compris entre 6,4 et 7,9.

Le diagramme binaire potentiel redox (Eh) versus Oxygène dissous (O₂) représenté sur la Figure 34 permet de distinguer deux groupes de points échantillonnés : un groupe de points en milieu oxydant avec des valeurs de Eh supérieures à 300 mV et un groupe de points en milieu à tendance réductrice. Parmi ce dernier groupe, deux échantillons ont été prélevés dans des puits situés dans la zone d'alimentation des captages de Fourès (points 32 et 15), ces échantillons présentant conjointement des teneurs en oxygène dissous (O₂) inférieures à 20%. Ces conditions à tendance réductrice pourront avoir un impact sur les teneurs en nitrate (perte potentielle) et sur les teneurs des gaz dissous sensibles à la dégradation en milieu réducteur.

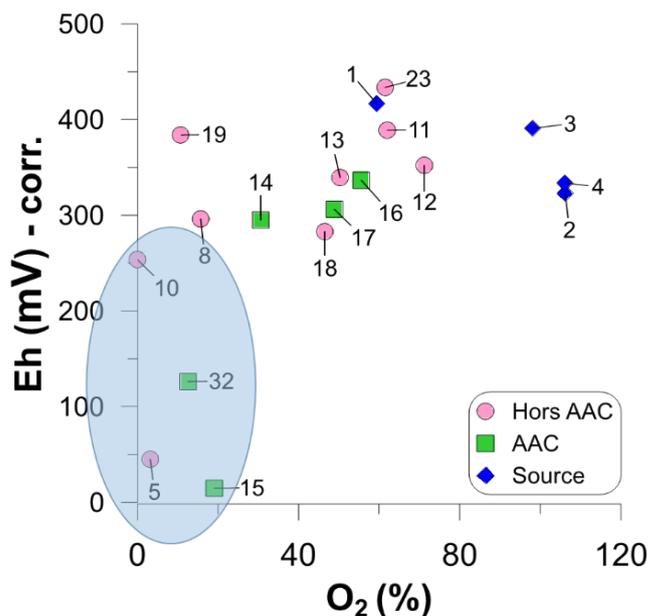


Figure 34 : Représentation du potentiel redox (mV) en fonction de la teneur en oxygène dissous (% sat.) des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude

5.4.5. La chimie des éléments majeurs

L'analyse globale du faciès chimique des eaux échantillonnées sur le secteur d'étude est réalisée à partir du diagramme de Piper représenté à la Figure 35. L'ensemble des eaux analysées est de type bicarbonaté-calcique, en cohérence avec les lithologies drainées.

Le calcium représente généralement plus de 70% des cations (exprimés en meq/L), le magnésium est généralement inférieur à 20% des cations, le sodium plus le potassium n'atteignent pas les 20% de la somme des cations. Les bicarbonates représentent *a minima* 60% de la somme des anions, les sulfates atteignent au maximum 20% des anions, la somme des chlorures et nitrates ne dépasse pas 30%, hormis pour l'échantillon du puits n°14 de la zone d'alimentation des captages.

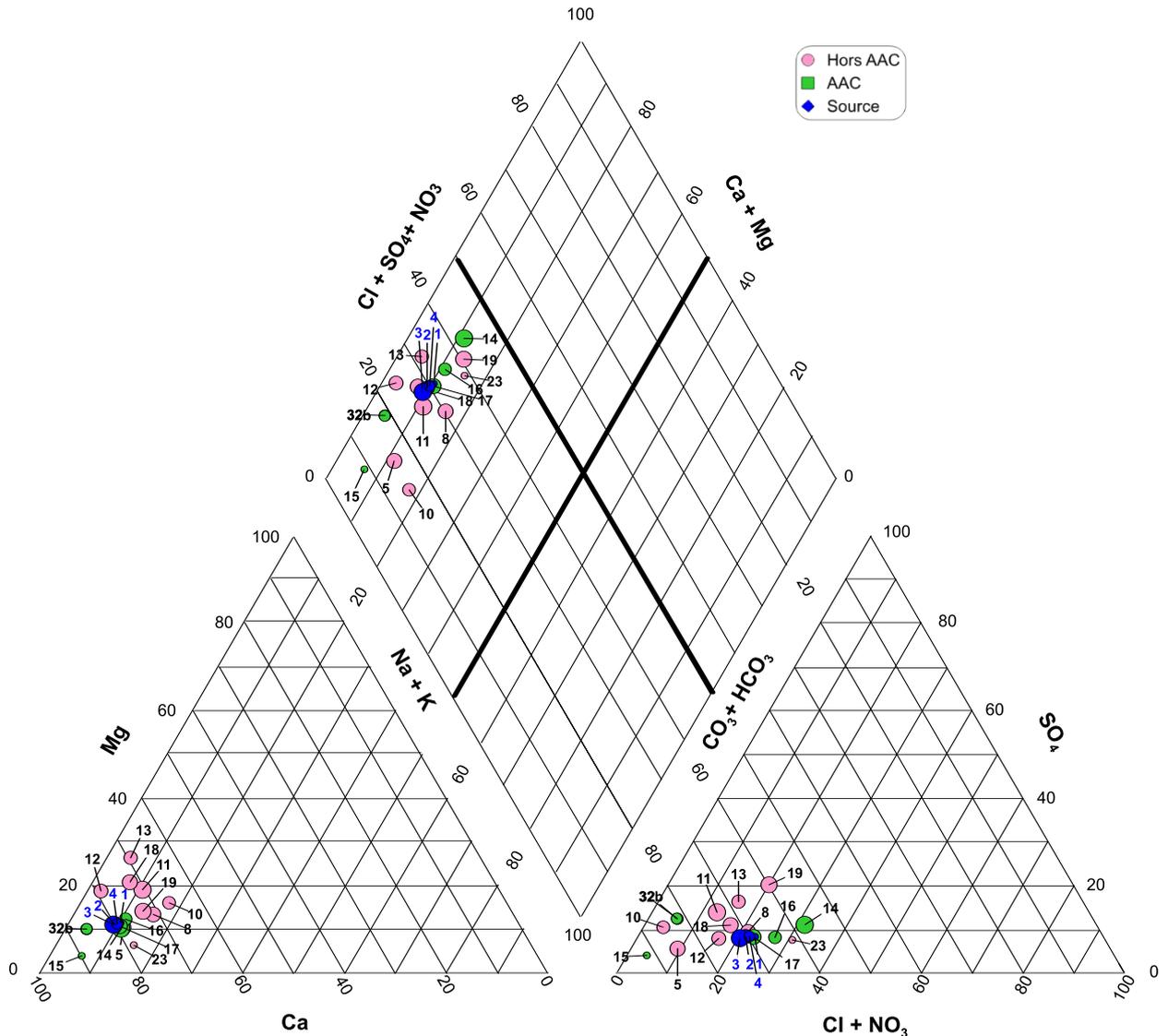


Figure 35 - Diagramme de Piper des trois groupes de points d'eau échantillonnés dans le secteur d'étude (taille du point proportionnelle à la concentration totale des substances dissoutes, TDS)

La plupart des échantillons sont à l'équilibre vis-à-vis de la calcite et de l'aragonite (indice de saturation – IS – entre -0.5 et 0.5), voire en légère sur-saturation, à l'exception des échantillons les moins minéralisés (points 23 et 15) qui sont sous-saturés (Figure 36). Ces valeurs sont en accord avec le type d'eau bicarbonaté calcique.

Tous les échantillons d'eau prélevés sont sous-saturés vis-à-vis des minéraux sulfatés (gypse et anhydrite). En particulier, les sulfates représentent seulement 10% de la somme des anions pour les échantillons des 3 captages de Fourès. Ces éléments permettent d'écarter l'hypothèse émise en 2016 dans les rapports fournis d'une influence de niveaux évaporitiques potentiellement présents au sein de la molasse dans la chimie des eaux du point de suivi de Fourès, sachant de plus, qu'aucun indice de minéraux sulfatés ou chlorurés a été observé lors des reconnaissances géologiques.

REF	NOM	IS calcite	IS aragonite	IS dolomite	IS gypse	IS anhydrite
Sources de Fourès						
1	Captage Fourès 1	0,16	0	-0,53	-1,79	-2,04
2	Captage Fourès 2	0,86	0,7	0,84	-1,65	-1,9
3	Captage Fourès 3	0,45	0,3	0,04	-1,62	-1,87
4	Sta. Pomp. Fourès	0,22	0,07	-0,41	-1,71	-1,95
Points d'eau hors Zone d'alimentation du captage						
5	Chauptié	0,71	0,57	0,65	-1,83	-2,06
8	Sirven	-0,08	-0,23	-0,89	-1,66	-1,91
10	Les Affignes	0,26	0,11	-0,11	-1,8	-2,05
11	Le Plô	-0,17	-0,32	-0,9	-1,39	-1,63
12	Conté Haut	0,09	-0,06	-0,47	-1,76	-2,01
13	Bouriasses - Le Carbonier	0,5	0,34	0,55	-1,52	-1,77
18	Les Escrives	1,01	0,86	1,48	-1,57	-1,82
19	Mazélie	-0,34	-0,49	-1,4	-1,24	-1,49
23	Rives Hautes - La Brande	-1,33	-1,48	-3,76	-2,39	-2,64
Points d'eau dans la Zone d'alimentation du captage						
14	Valéry 4	0,77	0,62	0,64	-1,38	-1,63
15	Valéry 3	-0,61	-0,76	-2,58	-3,51	-3,76
16	Valéry 2	0,09	-0,06	-0,6	-1,94	-2,19
17	Valéry 1	-0,14	-0,29	-1,13	-1,69	-1,94
32	Les Condats	0,35	0,2	-0,21	-1,86	-2,11

Figure 36 - Indices de saturation des eaux vis-à-vis de la calcite, aragonite, dolomite, gypse et anhydrite. Calculs réalisés avec le logiciel Diagrammes (SIMLER, 2017, Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon). Gras noir : à l'équilibre, bleu : sous-saturé, rouge : sur-saturé.

Le diagramme binaire sodium (Na) versus chlorure (Cl) de la Figure 37 indique que la plupart des échantillons se situent le long de la droite de dilution de l'eau mer. Le chlorure est un élément conservatif, et en l'absence de dépôts évaporitiques dans les niveaux lithologiques drainés, il a pour origine naturelle les apports par les pluies (avec un rapport Na/Cl identique à celui de l'eau de mer), ces apports pouvant être reconcentrés par évaporation avant infiltration vers les eaux souterraines. Ainsi, un excès de chlorure par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer marque un apport anthropique de chlorure. Cette configuration est typiquement représentée par l'échantillon d'eau prélevé dans le puits n°14 situé dans la zone d'alimentation des captages. Ce puits est localisé en contrebas d'une parcelle agricole en prairie, avec la présence d'une stabulation de bovins en contrehaut de cette même parcelle en prairie, potentielle source de contamination organique.

Les données historiques en chlorure et en sodium du point de suivi de Fourès (correspondant au mélange des eaux des 3 captages à la station de pompage) acquises depuis 2004 sont représentées dans le contexte actuel du diagramme de la Figure 37. Ainsi, certaines de ces valeurs présentent un léger excès en chlorure pouvant représenté un apport anthropique.

A contrario, un excès de sodium par rapport à la droite de dilution de l'eau de mer est observé dans les eaux du captage n°1 et dans les échantillons d'eau des points n°5, 8, 10, 11, 16 et 23. Cet excès de sodium aura tendance à marquer des interactions avec l'encaissant libérant du sodium en solution par interaction eau-roche, ce qui peut traduire des natures lithologiques plus silicatées et/ou des temps d'interactions avec la roche plus longs.

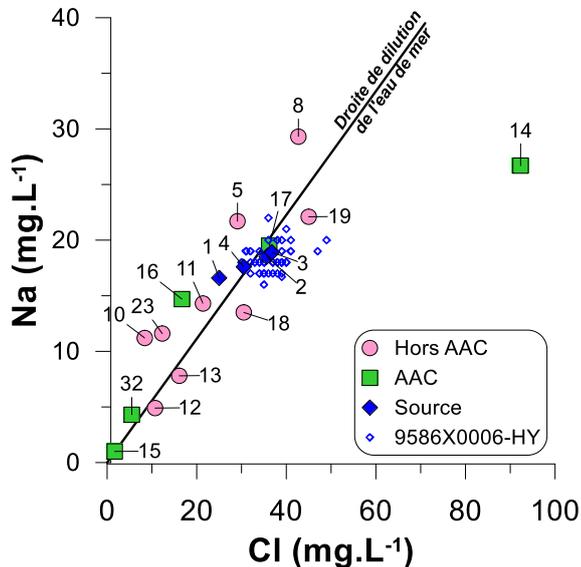


Figure 37 - Représentation de la teneur en sodium en fonction de la teneur en chlorure des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude complété par le suivi historique de la « source de Fourès »

Le **diagramme binaire nitrate (NO₃) versus chlorure (Cl)** de la Figure 38 représente les valeurs analysées lors de la campagne de juillet 2019 pour les 3 groupes d'eaux du secteur d'étude (captages de Fourès, puits de la ZAC et points d'eau de référence des différentes formations géologiques en présence) auxquelles sont associées les teneurs en nitrates et chlorures analysées depuis 2004 au point de suivi de Fourès.

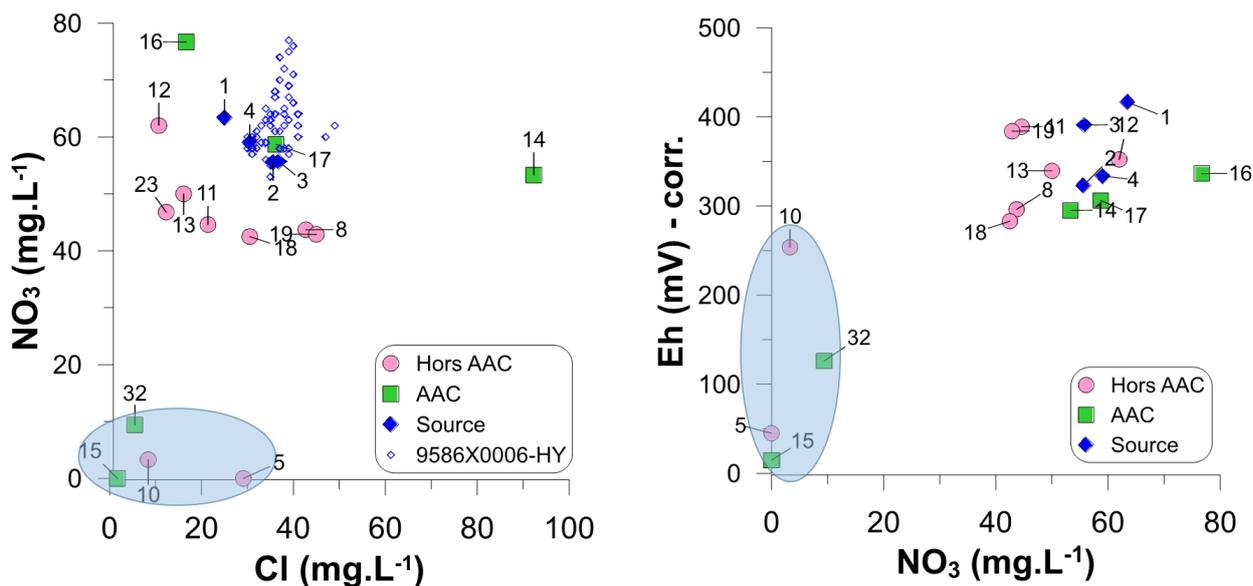


Figure 38 - Représentation de la teneur en nitrate en fonction de la teneur en chlorure (gauche) et représentation du potentiel rédox en fonction de la teneur en nitrate (droite) des trois groupes de points échantillonnés dans le secteur d'étude. Les données historiques du point de suivi de Fourès ont été ajoutées dans le diagramme NO₃ vs. Cl.

La Figure 39 représente la répartition des teneurs en nitrates mesurées dans les différents points d'eau sélectionnés pour la campagne d'analyse. Il est important de rappeler ici que les critères de sélection ont spécifiquement porté sur leur représentativité géologique vis-à-vis des formations géologiques susceptibles de contribuer aux écoulements des captages de Fourès. La majorité de ces ouvrages appartient à des particuliers et peuvent donc être soumis à des pollutions ponctuelles non représentatives. Aussi, les données présentées ci-dessous sont seulement fournies à titre indicatif.

Les teneurs en nitrate des captages de Fourès (points n°1 à n°4) mesurées en juillet 2019 se situent dans la gamme basse des mesures historiques du point de suivi de Fourès. Comme observé lors des suivis hebdomadaires (Figure 26), le captage n°1 présente une teneur en nitrate plus élevée que celles mesurées dans les captages n°2 et n°3. Celles-ci sont identiques et très similaires à la valeur mesurée dans le puits n°17, situé sur le plateau en amont des captages (Figure 39). Le point de mélange des 3 captages (point n°4) présente une teneur en nitrate intermédiaire entre les captages n°1 et n°2-3, il se situe sur une droite de mélange entre ces pôles dans le diagramme NO₃ vs. Cl.

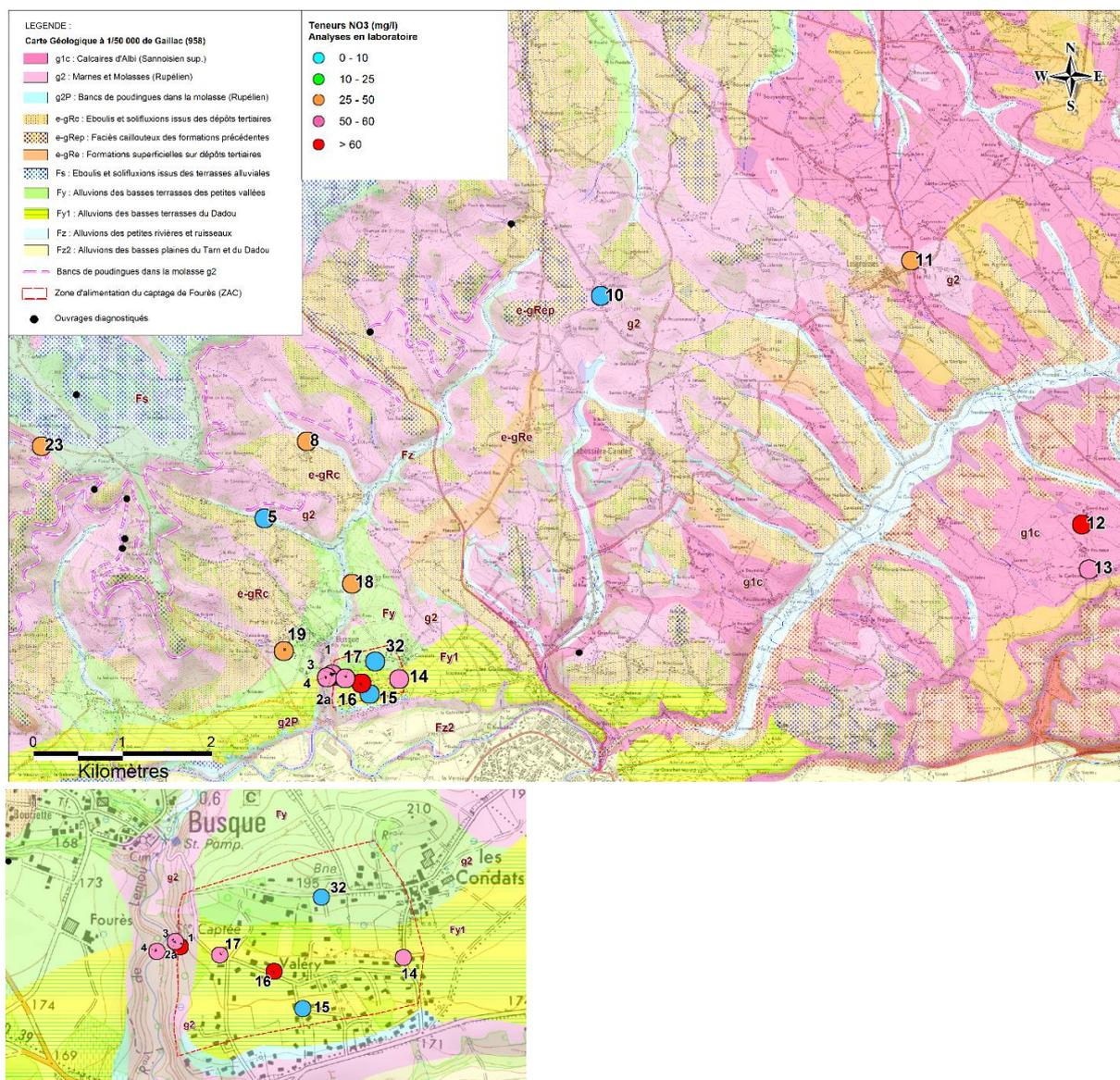


Figure 39 – Répartition des teneurs en nitrates mesurées dans les différents points d'eau de la campagne d'analyse de juillet 2019

Les puits échantillonnés au sein de la zone d'alimentation des captages présentent des teneurs en nitrate très variables de moins de 0,5 mg/L (inférieure à la limite de quantification) à 76,7 mg/L (Figure 39). La valeur maximale a été mesurée dans le puits n°16 situé sur le plateau de Valéry dans le jardin d'un particulier. Plus en amont sur le plateau, le puits n°14, situé en contrebas d'une parcelle agricole en prairie et d'une stabulation de bovins, présente une teneur en nitrate de 53 mg/L conjointement à une forte teneur en chlorure de 92,3 mg/L (Figure 37 et Figure 38).

En dehors de la zone d'alimentation des captages, les teneurs en nitrate mesurées sont également variables, comprises entre moins de 0,5 mg/L (inférieure à la limite de quantification) et 62 mg/L. Cette valeur élevée concerne un ouvrage (puits n°12) captant la formation des calcaires d'Albi, est toutefois situé dans un jardin potager où un apport local et ponctuel de nitrate ne peut être exclu. Les teneurs en nitrates de la majorité des points échantillonnés en dehors de l'AAC des sources de Fourès (soit 6 des 9 mesurés) sont comprises entre 40 et 50 mg/L.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, les quatre points d'eau (n°5, n°10, n°15 et 32) présentant les teneurs en nitrate les plus faibles, en deçà des teneurs du fond géochimique naturel (pouvant atteindre 10 mg/L), concernent des ouvrages où les eaux ont une forte tendance réductrice (Figure 38, droite). Ces conditions particulières peuvent conduire à des pertes de nitrates par dénitrification ou bien à favoriser la présence d'espèces réduites de l'azote.

La Figure 40 présente les différentes formes de l'azote mesurées (exprimées en mg/L de N) dans chacune des eaux échantillonnées. On remarque que dans la plupart de ces eaux, l'azote est présent très majoritairement voire exclusivement sous forme de nitrate ce qui est en cohérence avec un milieu oxydant. Parmi les points en milieu à tendance réductrice, les points n°10 et n°32, présente de l'azote exclusivement sous forme de nitrates mais à des teneurs faibles (<10 mg/L), les points n°5 et n°15 (avec des Eh<50 mV), n'ont pas (plus) de nitrate, l'azote est présent sous forme d'ammonium (NH₄) dans l'échantillon n°15, et sous forme de NH₄ et d'azote organique dans l'échantillon n°5.

La présence de fer et de manganèse est à noter dans les échantillons les plus réduits (Figure 41).

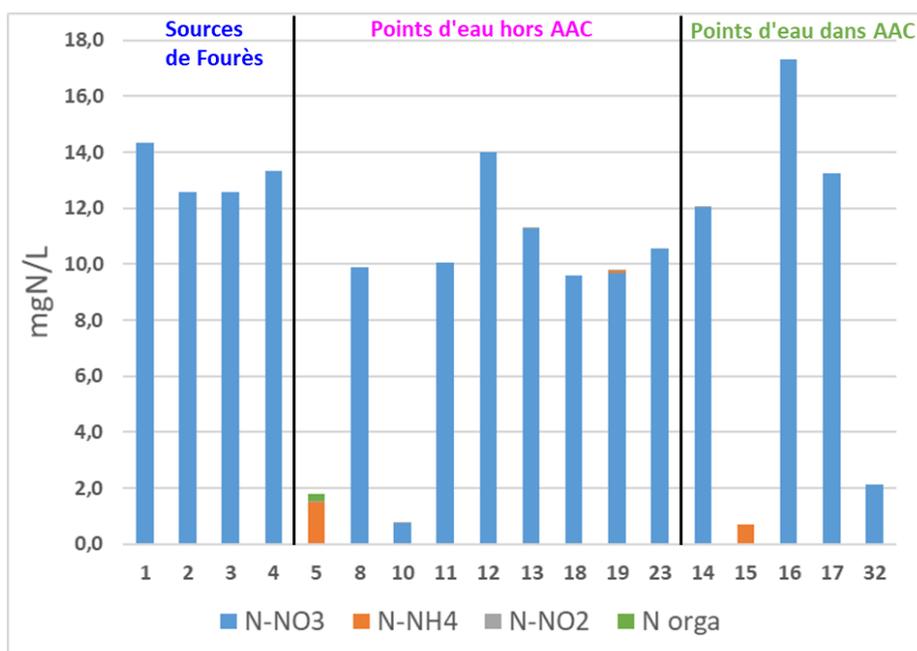


Figure 40 - Répartition des différentes formes de l'azote dans chacune des eaux du secteur d'étude

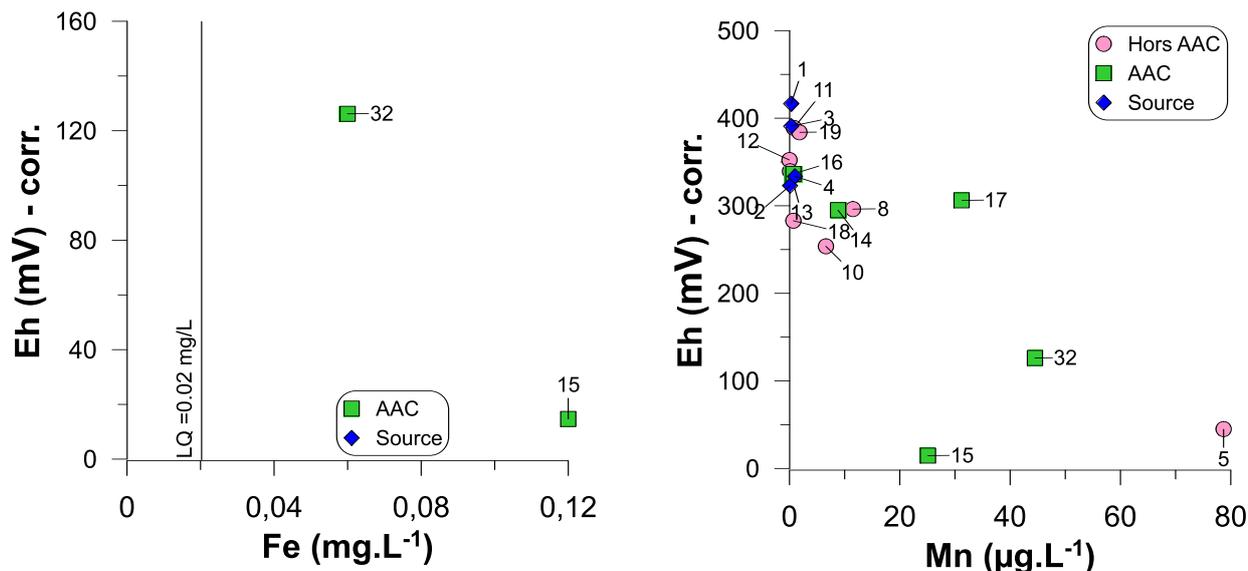


Figure 41 - Concentrations en fer (Fe) et manganèse (Mn) en fonction du potentiel rédox (Eh) dans les échantillons d'eau souterraine du secteur d'étude.

5.4.6. Les isotopes du strontium (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)

Les isotopes du strontium (Sr) constituent un traceur fiable des sources du strontium dissous dans l'eau. Ainsi, les isotopes du strontium sont **un marqueur des interactions entre l'eau et son encaissant**, le rapport isotopique ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr d'une eau étant directement relié à celui du minéral ou des associations minéralogiques avec lesquels l'eau a interagi (altération d'une roche silicatée ou carbonatée par exemple). Les variations isotopiques observées dans les eaux peuvent aussi résulter du mélange de Sr de compositions isotopiques différentes provenant de différentes origines. Dans le cas simple où deux origines de strontium dissous ayant des rapports isotopiques distincts sont présentes, **la composition du mélange peut être déterminée**.

Les variations du rapport isotopique du strontium dans un hydrosystème donnent ainsi des informations sur (1) la nature et l'intensité des processus d'interaction roche-eau liés notamment à l'altération et à l'érosion, et (2) l'origine et les proportions de mélange des différents composants fluides.

Comme mentionné précédemment, les points d'eaux souterraines (puits et sources) sélectionnés pour la mise en œuvre de la campagne de mesures hydrochimiques et hydrogéologiques répondent à des critères de représentativité géologique vis-à-vis des formations géologiques (alluviales ou molassiques ou en mélange) susceptibles de contribuer aux écoulements des captages de Fourès. Les échantillons d'eau prélevés dans ces points sont destinés à être comparés analytiquement avec les eaux issues des sources de Fourès (points n°1, 2 et 3).

La Figure 42 représente les rapports isotopiques en strontium (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) en fonction des concentration en strontium de chacun des points d'eau retenus pour les analyses isotopiques (et pour l'évaluation des temps de résidence des eaux). Les rapports isotopiques en Sr mesurés varient entre ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0,70908 et 0,71099. Le point n°15 présente la signature isotopique la plus faible (0,70908) mais aussi la teneur en Sr la plus faible avec 44 µg/L, ces caractéristiques confirment la singularité de cet ouvrage mentionnée plus haut et semblent confirmer l'hypothèse d'un apport de type eau de pluie (collecte des pluies de toitures), il ne peut donc pas être considéré comme représentatif des eaux souterraines de la zone d'alimentation des captages.

Deux puits situés entre 5 et 10 km au nord de la zone d'alimentation des captages ont été retenus pour caractériser les eaux transitant au sein des formations molassiques rupéliennes. Le point n°10 est un puits captant les eaux circulant au sein des niveaux carbonatés de la série molassique du Rupélien (g2). Le point n°12 est un ouvrage captant les eaux issues de la formation des calcaires d'Albi du Rupélien moyen (g1c). Ce puits n°12 présente la signature isotopique la plus faible parmi celles mesurées dans le secteur d'étude, elle est typique de l'interaction avec des formations carbonatées. Cette signature est très distincte de celles mesurées dans les puits du plateau de Valéry – Les Condats (ZAC), ainsi que celle des eaux des sources de Fourès.

Les eaux captées dans les puits de la zone d'alimentation des captages présentent aussi toutes (sauf le point n°15 non représentatif) des signatures isotopiques en Sr supérieures à celle du point n°10 caractérisant les eaux de la molasse rupélienne (g2). Les eaux de ces puits ont donc interagi avec des formations géologiques libérant du Sr de rapport isotopique plus élevé, pouvant correspondre aux formations alluviales surmontant la molasse.

En résumé, sur la base des 10 échantillons d'eau collectés, les isotopes du Sr permettent d'écarter l'hypothèse d'une contribution majoritaire d'eau ayant circulée dans les faciès calcaires de la molasse rupélienne dans les écoulements des sources de Fourès et dans les puits du plateau de la zone d'alimentation de ces sources.

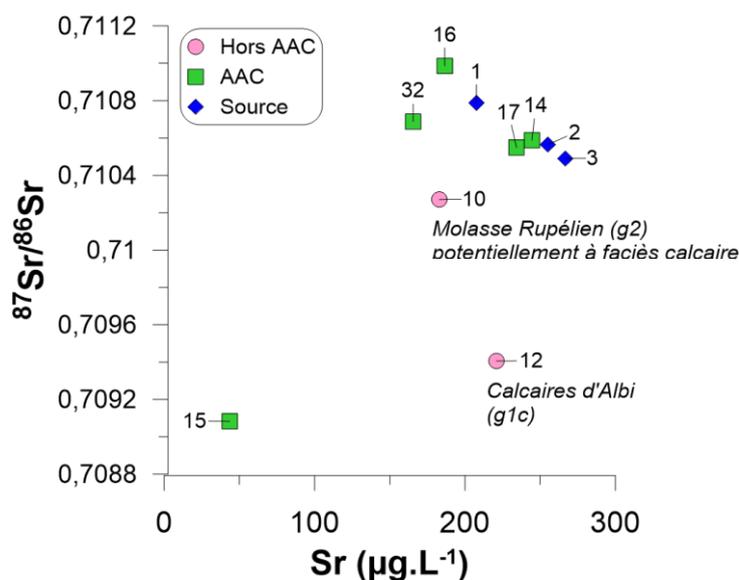


Figure 42 - Rapport isotopique du strontium dissous ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en fonction de la concentration en Sr dissous dans les échantillons d'eau souterraine du secteur d'étude. L'expression du rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ est donné avec une précision à la 5^{ème} décimale, la barre d'erreur de chaque point de mesure est ainsi incluse dans la taille du symbole.

Les 3 sources captées de Fourès présentent des signatures isotopiques distinctes.

Les captages n°2 et n°3 ont des signatures isotopiques et des teneurs en Sr similaires entre eux, comme cela avait été déjà noté pour leur composition chimique. Ces deux sources semblent bien drainer des formations géologiques similaires. Les signatures de ces deux captages (2 et 3) sont très similaires à celles du puits n°17 (situé en contrehaut des captages, sur le plateau) et du puits n°14 implanté à l'extrémité orientale de la zone d'alimentation des captages.

Le captage n°1 implanté au sein des matériaux flués issus des terrasses alluvionnaires et/ou des colluvions provenant du plateau présente une signature isotopique en Sr bien distincte de celles des captages n°2 et n°3, plus élevée et proche des signatures des puits n°16 et n°32.

5.4.7. Estimation des temps de résidence moyens des eaux

a) Méthodologie de la datation par les CFCs et le SF6

Généralement connus sous le nom de Fréons, les chlorofluorocarbures ou CFCs sont des gaz de synthèse utilisés dès les années 1930 dans les applications de réfrigération (CFC-12), comme agents gonflants et dans les aérosols (CFC-11) et comme solvants pour le dégraissage (CFC-113). Après une évolution plutôt lente dans les années 50, les concentrations atmosphériques ont augmenté rapidement. A partir de 1990, avec l'application du protocole de Montréal, les concentrations atmosphériques des CFCs ont commencé à stagner, puis diminuer. Ces gaz se sont répandus à l'échelle de la planète, ils se dissolvent dans les eaux d'infiltration et sont ensuite isolés de l'atmosphère dans les nappes. A l'instar des CFCs, l'hexafluorure de soufre (SF₆) est un gaz industriel, plus persistant que les CFCs et moins soumis à des contaminations locales et dont la courbe d'introduction dans l'atmosphère ne fléchit pas encore (Figure 43).

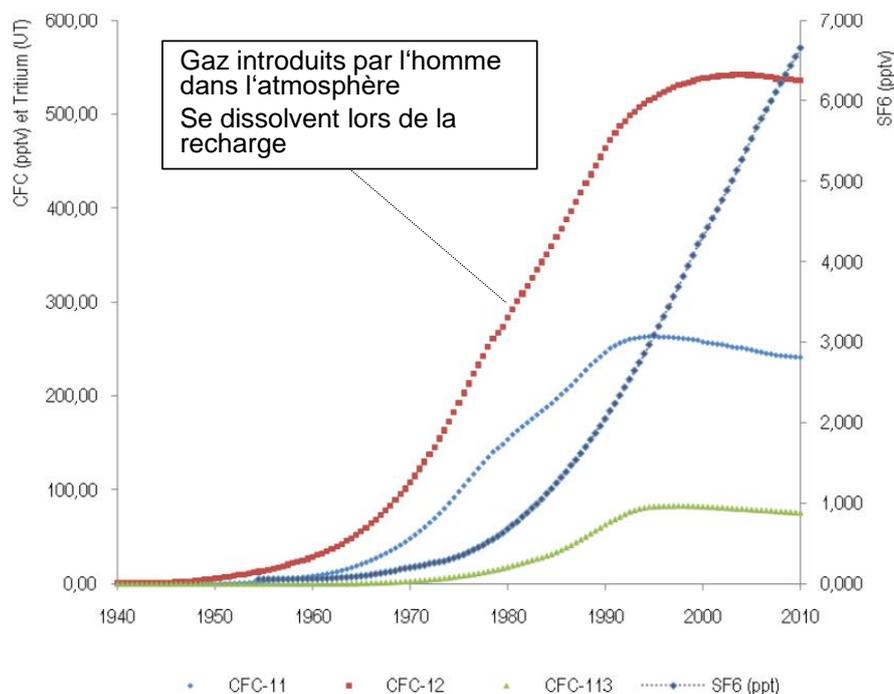


Figure 43 - Courbes des concentrations atmosphériques des gaz synthétiques depuis leur première émission par l'homme

Connaissant les fonctions de l'introduction de ces gaz dans l'atmosphère, ainsi que leur solubilité dans l'eau, les concentrations mesurées dans une eau souterraine peuvent permettre de remonter, à l'aide de modèles analytiques (Figure 44), à l'instant où l'eau de recharge a atteint la nappe et ainsi estimer le temps de résidence moyen de l'eau dans la nappe (Figure 45). Ces estimations peuvent être perturbées par divers phénomènes, notamment la contamination par des sources locales ainsi que la biodégradation des traceurs mais ces effets sont facilement identifiables en combinant plusieurs traceurs (Figure 44).

Les modèles de calcul « d'âge » choisis doivent être adaptés au mode de recharge de la nappe. A titre d'exemple, une nappe libre avec une recharge homogène sur toute sa surface conduit à un mélange « d'âges » à un point de prélèvement (Figure 45). Ces « âges » représentent les temps de transfert de l'eau entre le point de recharge et le point de prélèvement sur une multitude de chemins. Un volume prélevé contient donc des molécules d'eau qui ont parcouru des distances très différentes et « l'âge » calculé est en fait un **temps de résidence moyen de l'eau dans la nappe en amont du point de prélèvement**.

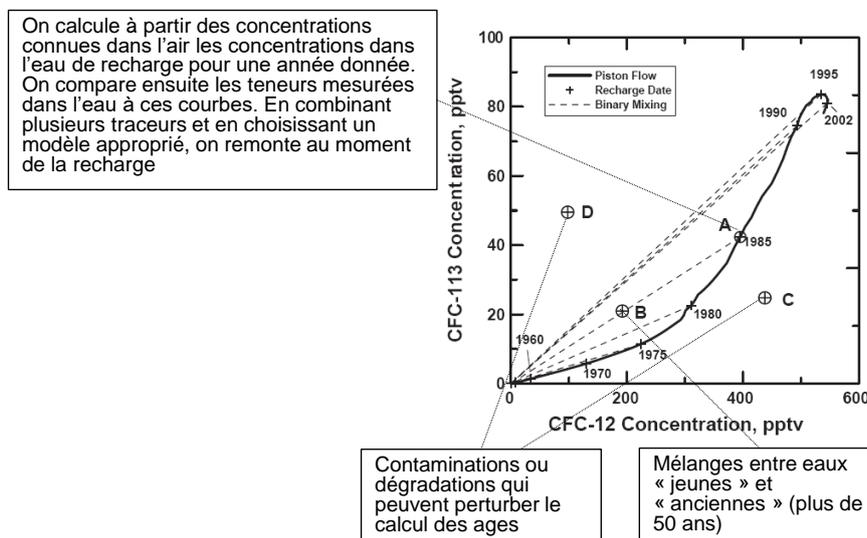


Figure 44 - Principe de l'estimation du temps de résidence à partir des teneurs en gaz atmosphériques (CFCs et SF₆)

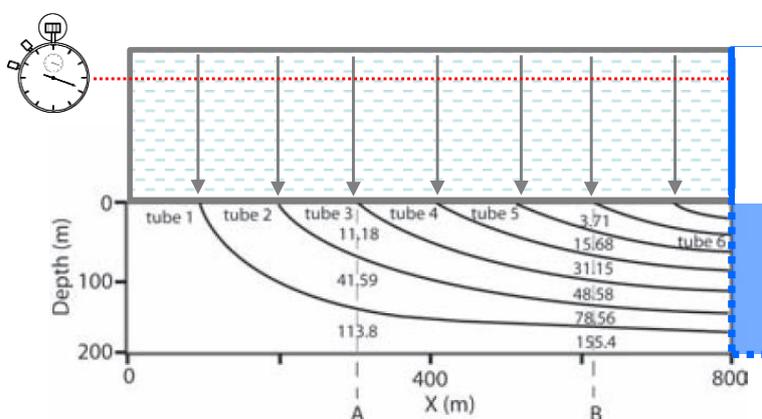


Figure 45 - Schéma d'un modèle de recharge : Recharge à travers une zone non saturée épaisse puis transfert sur des cheminements plus ou moins longs jusqu'à l'ouvrage prélevé. Le « déclenchement du chronomètre » correspond au moment où l'eau d'infiltration est isolée de l'atmosphère.

b) Interprétation des teneurs en gaz (Ar, N₂, CFCs, SF₆) des points investigués et estimation des temps de résidence moyens

Comme souligné ci-dessus dans la méthodologie, les outils de « datation » par les concentrations en CFCs et en SF₆ permettent d'estimer le temps de résidence moyen (TRM) dans l'aquifère, selon des modèles types (flux piston, mélange exponentiel, mélange entre composante vieille et jeune) sous certaines conditions. D'abord, l'eau doit être isolée de l'atmosphère ce qui limite la méthode aux eaux souterraines et exclut les eaux de surface. Ensuite, les apports en CFCs et SF₆ doivent être exclusivement d'origine atmosphérique globale, toute contamination industrielle

locale ou ponctuelle interdisant une datation par le traceur concerné. Et finalement, toute (bio-) dégradation d'un traceur dans la nappe induit des pertes de ce traceur, et donc des erreurs sur la datation. La comparaison du comportement de plusieurs traceurs permet, en général, d'identifier très facilement d'éventuelles contaminations ou pertes de traceurs.

❑ **Excès d'air et dénitrification**

Comme le montre la Figure 46, la plupart des points d'eau échantillonnés se situent proche de l'équilibre entre les gaz du sol et l'eau de recharge, à des températures qui sont proches de la moyenne annuelle régionale (14°C à Albi).

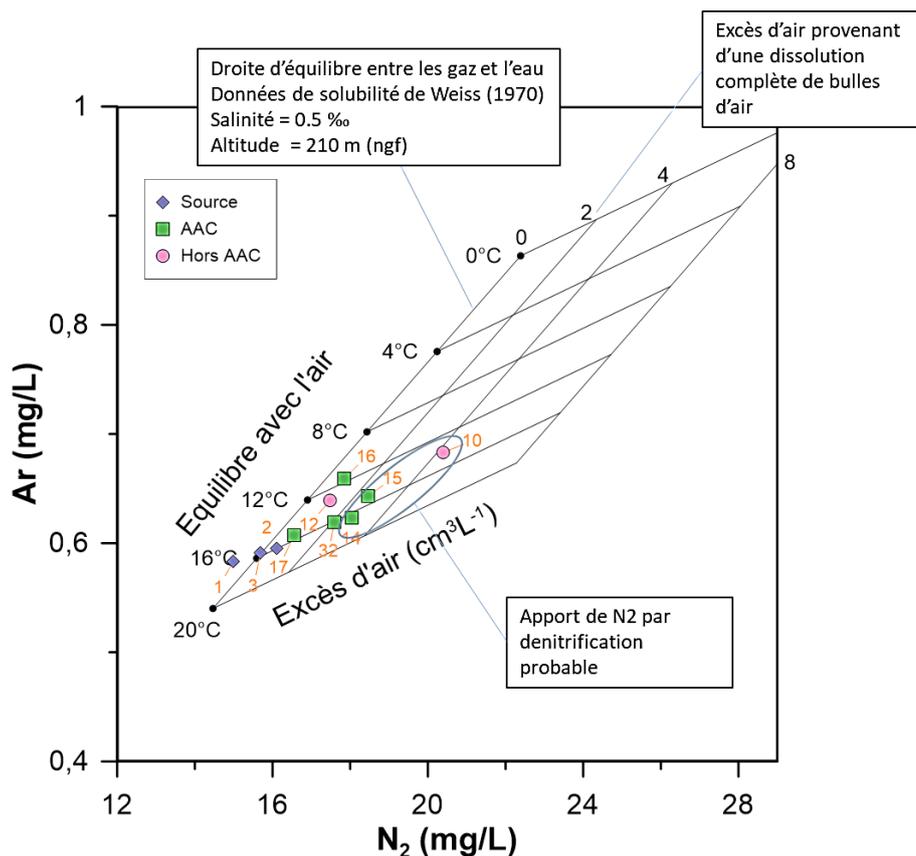


Figure 46 - Teneurs en argon et azote gazeux dissous dans les eaux souterraines des points échantillonnés

Pour un groupe de points, incluant les ouvrages n°10, n°14 et, éventuellement n°32, des excès en azote sont observés qui pourraient être signe de processus de dénitrification lors de la recharge ou dans la nappe. Ces processus ne se déroulent qu'en milieu réducteur. En effet, ces points présentent des teneurs basses en oxygène, en dessous de 40% (Figure 34) et, pour les points n°10 et n°32, des teneurs en nitrates inférieures à 10 mg/l et un potentiel d'oxydo-réduction inférieur aux autres points. Ces observations convergent vers l'existence de processus de dénitrification dans certaines parties des nappes en présence susceptibles de diminuer les teneurs en nitrates par des processus naturels en les transformant en espèces azotés gazeux (N_2 , N_2O).

L'excès d'air est important pour les calculs menant à une datation des eaux puisqu'il induit des concentrations supérieures à l'équilibre. Cet effet est négligeable pour les CFC_s mais peut être significatif pour le SF₆. Une correction a donc été effectuée pour ce composant, en se basant sur les températures mesurées lors du prélèvement et sur les concentrations en argon pour ne pas tenir compte de l'influence de la dénitrification.

Ces processus ne semblent pas concerner les sources de Fourès (points 1, 2, 3) qui sont proches de l'équilibre avec l'atmosphère pour le diazote N_2 et également pour l'oxygène avec des teneurs proches de 100%. Le point 1 qui se situe à gauche de la droite d'équilibre semble même montrer un léger dégazage, qui peut être induit par le type de captage (faible profondeur des drains) ou être provoqué lors du prélèvement. L'effet potentiel de ce dégazage sur la mesure du SF_6 reste faible (inférieur à l'incertitude analytique) et n'a donc pas été corrigé puisqu'une telle correction mènerait systématiquement à des concentrations en SF_6 supérieures à l'équilibre avec l'atmosphère.

❑ Dégradation ou contamination des CFCs

La plupart des points montrent soit une contamination soit une dégradation pour le CFC-11. Ce composant est en effet particulièrement sensible aux processus d'oxydo-réduction. La Figure 47 montre que pour les points, pour lesquels une dénitrification a été constaté (points 10, 14, 15), les teneurs en CFC-11 sont bien en deçà des concentrations à l'équilibre. Ceci semble cohérent puisque le CFC-11 est susceptible de se dégrader en milieu réducteur. Cette réduction affecte également le CFC-113 pour les points 10, 14 et 15 (Figure 48).

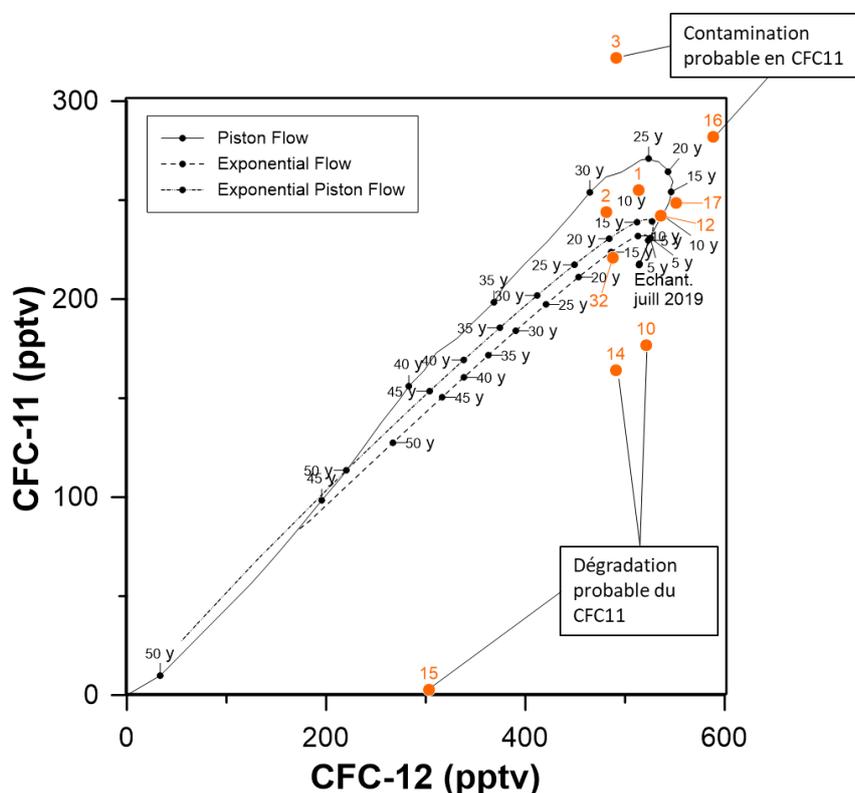


Figure 47 - Concentrations calculées du CFC-11 et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés.

Un très légère contamination par des sources autre que l'atmosphère peut être observée pour les points n°3 et n°16 en CFC-11 (Figure 47) et pour le point n°16 en CFC-12 (Figure 48).

Pour le point n°15, dont la nature bien particulière a été discutée amplement ci-dessus, aucun des traceurs n'est utilisable pour la datation à part le SF_6 , soit une base trop faible pour une datation fiable.

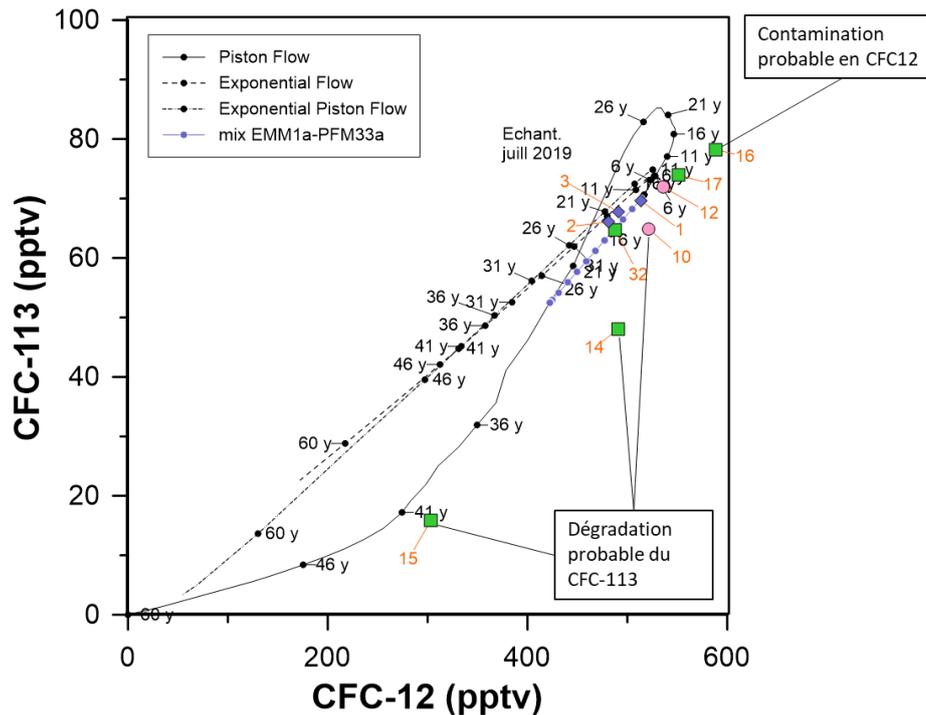


Figure 48 - Concentrations calculées du CFC-113 et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10^{-12}) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques plus perméables, d'épaisseur limitée.

c) Calcul des temps de résidence moyens de l'eau

Compte-tenu de la nature des terrains (alluvions, colluvions et molasse), les formations superficielles et/ou peu profondes en présence sont susceptibles d'être rechargées sur l'ensemble de leur surface. Dans ce cas, le modèle de datation le plus adapté est le modèle exponentiel (Exponential Mixing Model EMM, voir Figure 45). Ce modèle est applicable pour les points n°1, n°10, n°12, n°14, n°16, n°17 avec au moins deux traceurs (systématiquement SF₆ combiné avec CFC-12 et/ou CFC-113).

Dans les diagrammes SF₆ vs. CFC-113 et CFC-12, quatre points sont dans une position indiquant un mélange entre de l'eau jeune et plus ancienne (Figure 49 et Figure 50). Ceci est notamment le cas pour les trois sources de Fourès (points 1, 2, 3) qui s'alignent sur une droite de mélange (en bleu dans les figures). Compte-tenu du contexte géomorphologique (Figure 12), hydrogéologique et hydrochimique des captages, le pôle jeune est assimilé aux écoulements provenant des formations superficielles (colluvions de différentes natures lithologiques) et le pôle plus ancien à des apports d'eau attribués aux formations molassiques en place. De ce fait, un modèle de mélange, exponentiel EMM (pôle jeune) - piston flow PFM (pôle ancien) a donc été appliqué pour les 3 captages.

Pour chacun des 3 captages de Fourès (points 1, 2, 3), 3 traceurs ont pu être utilisés (CFC-113, CFC-12 et SF₆) et ont fourni des résultats convergents quant au temps de résidence calculé, garantissant ainsi leurs robustesses.

Le captage n°1 est pratiquement concerné que par de l'eau très jeune (temps de résidence évalué à un an). Pour les captages n°2 et n°3 se rajoute une composante ancienne avec un temps de résidence évalué à 33 ans.

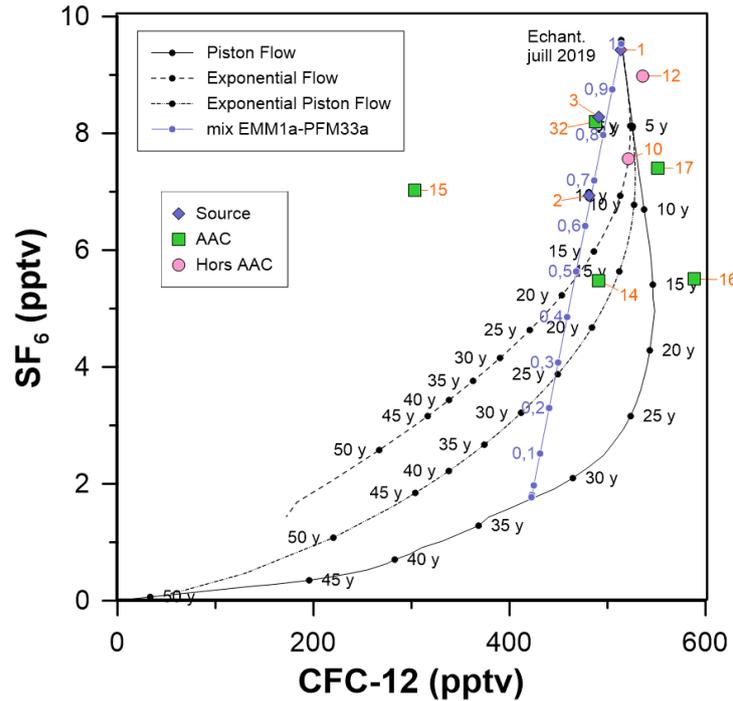


Figure 49 - Concentrations calculées du SF₆ et du CFC-12 (en parts par billion volumiques, 10⁻¹²) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques perméables, d'épaisseur limitée.

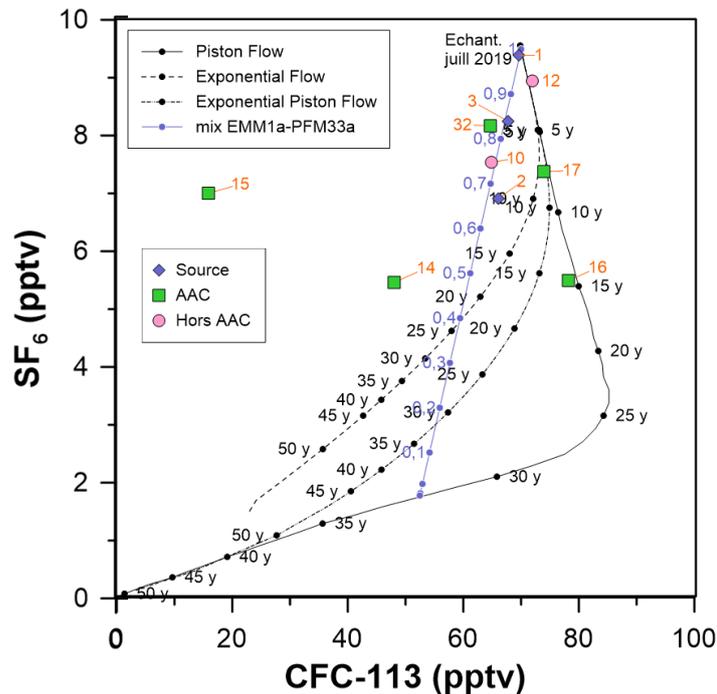


Figure 50 - Concentrations calculées du SF₆ et du CFC-113 (en parts par billion volumiques, 10⁻¹²) dans la phase gazeuse en équilibre avec les échantillons analysés. La droite bleue correspond à un modèle de mélange entre deux pôles, une eau jeune (1an), rechargée en surface et une eau ancienne (33 ans) transitant par des niveaux molassiques perméables, d'épaisseur limitée.

La composante jeune (1 à 3 ans de temps de résidence) prédomine pour les trois captages (à 99% pour le captage n°1, à 86% pour le captage n°3 et à 72% pour le captage n°2). Une partie significative de l'eau des captages serait issue des formations superficielles (colluvions et/ou alluvions) et une partie inférieure à 30% concernerait des apports en eau de la molasse rupélienne *sensu stricto*. Ces informations semblent indiquer que les eaux transitant au sein des formations superficielles issues du plateau seraient plus contaminées en nitrates que celles provenant des niveaux molassiques en place, le captage n°1 révélant les concentrations en nitrate les plus élevées. Une tendance de mélange se dessine également pour un certain nombre d'autres paramètres (comme les chlorures, les sulfates, le strontium et les isotopes du strontium, voir discussion ci-dessus).

La situation est similaire pour le puits n°32 du plateau de Valéry, également uniquement compatible avec un modèle de mélange d'un pôle jeune et d'un pôle ancien d'âges comparables (respectivement évalué à moins d'un an et de 35 ans) à ceux contribuant à l'alimentation des captages.

Le temps de résidence des eaux captées par les puits situés à l'intérieur de la zone d'alimentation des captages (points n°14, n°16 et n°17) s'échelonne entre 9 et 19 ans (modèle exponentiel), témoignant de la faible perméabilité des alluvions du plateau. Pour les points situés plus au nord du territoire de Busque caractérisant le faciès plus calcaire des séries molassiques (10 et 12), le même modèle exponentiel restitue des âges moyens de 3 et 8 ans, cohérents pour ce type de formations.

Rappelons que le temps de résidence de l'eau ne peut pas être comparé au temps de transfert des nitrates. En effet, une eau jeune est capable de véhiculer des nitrates issus de pratiques anciennes, stockés dans le sol ou dans la zone non saturée. La compréhension de ces transferts nécessite alors de prendre en compte notamment le cycle de l'azote.

6. Conclusion

L'ensemble des investigations réalisées pour la présente étude entre juillet et septembre 2019 a permis d'une part, de lever plusieurs des incertitudes identifiées lors de l'expertise d'appui aux administrations transmise par le BRGM en avril 2019 et d'autre part, de fournir un schéma de fonctionnement hydrogéologique des captages de source de Fourès. Cet aspect est un préalable indispensable pour la compréhension des teneurs en nitrates actuellement mesurées par le point de surveillance de la qualité des eaux souterraines de Fourès.

❖ Du point de vue de la connaissance des ouvrages existants sur le site

Sous l'appellation « Source de Fourès » sont désignés trois ouvrages captant trois sources indépendantes les unes des autres. Les cotes altitudinales d'émergence de ces sources ont pu être précisées avec une incertitude de quelques cm à partir d'un GPS différentiel GNSS. Elles constituent une information importante pour la caractérisation de l'origine des ressources en eau captées par ces ouvrages.

Ces trois captages de sources sont observés en mauvais état et surtout non étanches. Ces ouvrages sont donc extrêmement vulnérables aux contaminations directes de surface.

Les prélèvements d'eau réalisés pour les différents réseaux de contrôle de la qualité des eaux souterraines sont effectués au niveau de la conduite se déversant dans le réservoir de la station de pompage de Fourès. Il s'agit donc d'une caractérisation de la qualité des eaux correspondant à un mélange d'eaux issues des 3 captages de sources.

❖ Concernant la caractérisation géologique des formations du secteur de Busque

Les formations molassiques du Rupélien sont observées sous la forme de marnes sableuses dans lesquelles s'intercalent des bancs de poudingues à matrice sableuse et ciment carbonaté parfois associés à des lentilles de sables fins à matrice carbonatée. Cet ensemble de composition lithologique observée homogène en plusieurs points de la vallée du Lenjou présente des variations d'épaisseur et d'organisation dans la succession des différents niveaux.

Des différences d'interprétation géologique sont à noter avec l'étude portant sur « la définition d'une stratégie de surveillance des masses d'eau de type molasses » (ANTEA et al. pour le compte de l'AEAG, 2016). Elles concernent en particulier l'absence sur ce secteur d'une part, de lithologie marno-calcaires dans les séries molassiques du Rupélien (indiquée dans l'étude de 2016 à une cote altitudinale de 163 m NGF) et d'autre part, de calcaires à passage marneux (formation des Calcaires d'Albi) attribués au Rupélien moyen (indiquée à une cote altitudinale de 151 m NGF dans cette même étude). Les observations géologiques effectuées dans le cadre du présent programme montrent que le ruisseau du Lenjou s'écoule sur les marnes sableuses du Rupélien.

Les résultats fournis par l'interprétation des isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) confirment ces observations de terrain. Les signatures mesurées pour les eaux de puits issues de séries molassiques rupéliennes à faciès calcaire (point n°10 et n°12) sont nettement distinctes (rapports isotopiques plus faibles) des eaux des captages de Fourès et des puits situés dans leurs zones d'alimentation.

❖ Concernant le fonctionnement hydrogéologique des formations sur le secteur

Les molasses du Rupélien du secteur de Busque sont considérées peu perméables dans leur ensemble. Localement, à la faveur de bancs de poudingues altérés associés aux sables fins, ces niveaux plus grossiers et plus perméables favorisent des écoulements diffus, de très faibles débits, avec des vitesses de transfert très lentes.

Sur le plateau de Valéry – Les Condats où est délimitée la zone d'alimentation des sources de Fourès, les terrains molassiques sont recouverts par des formations alluvionnaires du Quaternaire. Les alluvions des basses terrasses² du Dadou, cartographiées sur le plateau en amont des captages de Fourès, sont formées de limons argileux peu perméables surmontant un niveau de graviers jouant vraisemblablement le rôle de drain principal vis-à-vis de ces formations. Sur la bordure septentrionale du plateau, les alluvions des basses terrasses des petites vallées présentent un caractère plus argileux.

Le schéma géomorphologique de la rive gauche du Lenjou au niveau des captages de Fourès révèle des éléments d'observations d'importance dans la compréhension des écoulements captés par ces ouvrages. En effet, le versant est presque entièrement recouvert de colluvions³ qui fluent sur des pentes abruptes. L'organisation de ce fluage se fait par le biais de plusieurs glissements successifs plus ou moins anciens.

Les captages de Fourès se situent au sein de ces matériaux flués au niveau des loupes de glissement observées sur le versant. Selon les cotes altitudinales des captages, les matériaux en présence correspondent à des colluvions issues de terrains différents :

- au niveau du captage n°1 (169,5 m NGF en sortie de drains), les colluvions correspondent aux terrains alluvionnaires et/ou aux formations superficielles remaniées issues du plateau ;
- au niveau des captages n°2 et n°3 (respectivement 157,3 m NGF et 156,9 m NGF en sortie de drains), les colluvions correspondent à des formations molassiques fluées sur les pentes, plus ou moins remaniées avec des formations superficielles issues des pentes supérieures.

Ces matériaux flués et remaniés présentent des perméabilités sensiblement plus élevées en comparaison de celles du substratum molassique en place. Ils jouent un double rôle hydrogéologique en favorisant un transfert rapide des écoulements sub-superficiels issus du plateau, et en assurant localement un rôle de drain vis-à-vis des écoulements diffus issus des niveaux des molasses encaissantes, ces écoulements restant cependant dans de très faibles débits.

² Terrasse alluvionnaire : Replat situé sur un versant de vallée (celle du Dadou et ses affluents ici) à une altitude supérieure à celle du cours d'eau (Le Dadou et ses affluents) et qui représente le reste d'un lit ancien dans lequel le cours d'eau s'est enfoncé (Foucault et al, 2014)

³ Colluvion : Dépôts de pente, relativement fins et dont les éléments ont subi un faible transport à la différence des alluvions (Foucault et al, 2014)

❖ Concernant l'apport de la caractérisation hydrochimique

Les résultats apportés par les différentes analyses chimiques des eaux prélevées (hydrochimie, isotopie et datation) sont concordants avec les schémas de fonctionnement hydrogéologique révélés par les observations géologiques et hydrogéologiques de terrain. En particulier, les conditions d'émergence des sources de Fourès sont contrastées, notamment entre le captage n°1 d'une part, et les captages n°2 et 3 d'autre part. Les différences suivantes sont mises en évidence :

- ❑ Le **captage n°1** présente, sur la période de mesures (juillet à mi-septembre), les débits les plus élevés et des variations plus marquées, les teneurs en nitrates les plus importantes (de l'ordre de 60 à 65 mg/l) tout en ayant les eaux les moins minéralisées et avec le pH le plus faible. L'interprétation des isotopes du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) indique également une différence de signature isotopique entre les eaux des captages n°2 et n°3 et celle du captage n°1, ces dernières ayant tendance à retranscrire un drainage plus important au sein d'un matériel plus argileux. L'interprétation de l'analyse des gaz dissous (CFC_s / SF_6) indique un apport d'eau récente (en moyenne datée d'une année) quasi exclusif (à 99%). Ces éléments témoignent d'écoulements à transfert rapide provenant essentiellement des formations de recouvrement localisées sur le plateau (colluvions, alluvions).
- ❑ Les **captages n°2 et n°3** présentent de nombreuses similitudes physico-chimiques, avec des eaux plus minéralisées que celle du captage n°1 et des conditions de milieu sub-oxydant, fortement oxygéné. Toutefois, la plus grande distinction concerne les débits mesurés, le captage n°3 présentant des débits nettement inférieurs à ceux du captage n°2 (en moyenne 10 fois moins élevés). Par ailleurs, les signatures isotopiques du strontium mesurées pour les eaux de ces 2 ouvrages sont similaires, révélant des circulations au sein d'un réservoir de même nature lithologique. L'interprétation de l'analyse des gaz dissous (CFC_s / SF_6) indique comme pour le captage n°1, un apport d'eau récente (en moyenne datée de 3 ans pour le captage n°2 et en moyenne de 1,5 ans pour le captage n°3) très majoritaire (70 à 90%) provenant des formations superficielles issues du plateau associées aux colluvions des glissements. A la différence du captage n°1, des apports d'eaux anciennes (évaluées en moyenne à 33 ans) contribuent aux écoulements des captages n°2 et n°3 dans une moindre proportion (entre 10 et 30%). Ces apports d'eaux anciennes sont attribués aux formations molassiques en place qui sont drainées au niveau des loupes de glissement.

Concernant l'origine des nitrates mesurés par le point de suivi de Fourès

La composante jeune (1 à 3 ans de temps de résidence) prédomine pour les trois captages (à 99% pour le captage n°1, à 86% pour le captage n°3 et à 72% pour le captage n°2). Une part significative de l'eau des captages serait issue des formations superficielles (colluvions et/ou alluvions) et une partie inférieure à 30% concernerait des apports en eau de la molasse rupélienne sensu stricto. Ces informations semblent indiquer que les eaux transitant au sein des formations superficielles issues du plateau seraient plus contaminées en nitrates que celles provenant des niveaux molassiques en place, le captage n°1 révélant les concentrations en nitrate les plus élevées.

Hors contexte particulier (lié à un milieu à tendance réductrice), les teneurs en nitrates mesurées sur le plateau de Valéry dans les différents puits de la zone d'alimentation des sources de Fourès sont élevées (supérieures à 50 mg/L), laissant sous-entendre la présence d'un stock de nitrates dans ces formations alluvionnaires.

Comme indiqué précédemment le temps de résidence de l'eau ne peut être comparé au temps de transfert des nitrates. Ainsi, cet apport majoritaire d'écoulements à transfert rapide identifié dans les 3 captages de sources de Fourès est susceptible de véhiculer des nitrates issus de pratiques anciennes, stockés dans le sol ou dans la zone non saturée du plateau.

La détermination précise de l'origine des nitrates mesurés dans les sources de Fourès impliquerait d'engager une évaluation des stocks de nitrates en présence à différentes profondeurs au sein des terrains de la zone d'alimentation du point de suivi de Fourès. Cette approche permettrait de mettre en évidence une éventuelle origine des nitrates en relation avec des activités agricoles passées. La difficulté serait alors d'implanter au plus juste les sondages à réaliser au vue de l'hétérogénéités de perméabilités des formations en présence sur le plateau.

L'estimation de la vitesse moyenne de transfert des nitrates pourrait être réalisée dans le cas présent en évaluant l'époque de modifications de l'occupation de sol sur le secteur (de terrains agricoles à zones urbaines).

❖ **Avis technique sur la représentativité du point de suivi de Fourès et recommandations**

L'application des règles de délimitation des masse d'eau de type imperméable localement aquifère induit que le point de suivi de Fourès appartient à la masse d'eau souterraine « des molasses du bassin du Tarn (FRFG089) ».

Pour autant, l'étude réalisée a mis en évidence que le suivi actuel réalisé à la station de pompage de Fourès correspond à un mélange des eaux des 3 captages jugés vulnérables aux contaminations directes de surface, car non étanches, et dont les arrivées d'eau sont identifiées très majoritairement sub-superficielles. A ce titre, ce point ne peut être considéré comme un point représentatif pour le suivi de la qualité des eaux souterraines, et notamment des teneurs en nitrates, de la molasse rupélienne.

Dans cette configuration, et partant de ce constat de dégradation des ouvrages du point de suivi de Fourès ne permettant pas de s'affranchir d'un risque de contaminations directes et ponctuelles de leurs eaux à partir de celles gravitant dans leur environnement immédiat, il est recommandé, en première priorité, de procéder au remplacement du point de suivi actuel de Fourès par un ou plusieurs points à identifier sur la masse d'eau considérée. A défaut, il s'agira de procéder à la parfaite remise en état de l'ensemble des ouvrages du point de suivi de Fourès pour fiabiliser les mesures de la qualité des eaux captées et de considérer les limites décrites ci-dessous.

Par ailleurs, la qualité mesurée au point de suivi de Fourès est représentative d'une superficie extrêmement restreinte du territoire, correspondant à celle de sa zone d'alimentation, établie à 0,4 km², et pour des écoulements s'opérant majoritairement au sein des formations superficielles de la masse d'eau concernée.

Ces problèmes de représentativité locale soulignent l'importance qu'une réflexion méthodologique puisse être menée pour améliorer les suivis de la qualité de ces unités aquifères peu profondes représentées au sein de ces masses d'eau molassiques caractérisée « imperméables localement aquifères », et particulièrement pour ce qui concerne le suivi des pollutions diffuses.

Le caractère majoritairement ruisselant des formations molassiques et superficielles représentées à l'affleurement des masses d'eaux souterraines concernées et la quasi absence d'aquifères d'envergure dans ces domaines, incitent à privilégier un suivi de la qualité de ces vastes étendues molassiques à partir de stations de mesures sur les eaux de surface. Ce type de suivi est plus intégrateur de la globalité des écoulements (eaux de ruissellement et écoulements sub-superficiels comme ceux représentés par le point de suivi de Fourès), et de fait plus représentatif des effets anthropogéniques sur la qualité des eaux à l'échelle du bassin versant.

7. Bibliographie

Antea Group., 2017. Révision du zonage des zones vulnérables du département du Tarn. Fonctionnement hydrogéologique des 3 points de suivi qualitatif. Rapport A91837_VB

Berner E.K., Berner R.A. (1987) - The Global water cycle. Geochemistry and environment - Prentice-Hall. 397 p.

BRGM., 2003. MEDD. Direction de l'eau. Mise en œuvre de la DCE. Identification et délimitation des masses d'eau souterraine. Guide méthodologique.

Brenot A., Baran N., Petelet-Giraud E. *et al.* (2008) - Interaction between different water bodies in a small catchment in the Paris basin (Bréville, France): Tracing of multiple Sr sources through Sr isotopes coupled with Mg/Sr and Ca/Sr ratio. *Applied Geochemistry* 23, 58-75.

Cavaillé A., 1971. Carte géol. France (1/50 000), feuille Gaillac (958). Orléans : BRGM.

Crouzel F., 1957. Le Miocène continental du bassin d'Aquitaine. Thèse d'Etat, Univ. Toulouse. Bulletin du service de la carte géologique de France, t. 54, n°248, 264 p.

Goody D. C., Darling W. G., Abesser C., Lapworth D. J. (2006) Using chlorofluorocarbons (CFCs) and sulphur hexafluoride (SF6) to characterise groundwater movement and residence time in a lowland Chalk catchment. *Journal of Hydrology*, **330**, 44-52.

Groupement Antea Group – Ginger CEBTP – CALLIGEE., 2015. Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses. Phase 1 : Collecte des données, bilan des connaissances, choix des captages et propositions d'investigations. Rapport A76940/C

Groupement Antea Group – Ginger CEBTP – CALLIGEE., 2016. Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses. Phase 2 : Investigations de terrain, interprétations des données et proposition d'une méthodologie pour les zones d'alimentation. Rapport A81875/B

Groupement Antea Group – Ginger CEBTP – CALLIGEE. Extrait du Définition d'une stratégie de surveillance de certaines masses d'eau de type molasses. Phase 3 : Définition des zones d'alimentation et programme de surveillance. Rapport A83721/A

Meybeck M. (1986) - Composition chimique des ruisseaux non pollués de France. *Sciences Géologiques Bulletin* 39, 3-77.

Mouline M-P., 1989. Sédimentation continentale en zone cratonique. Le Castrais et l'Albigeois au Tertiaire. Thèse Univ. Bordeaux III, 1989, 878 p. et CLVIII p.

Oster H., Sonntag C., Münnich K. O. (1996) Groundwater age dating with chlorofluorocarbons. *Water Resour. Res.*, **32**, 2989-3001.

Petelet-Giraud E. Négrel, P., Casanova J. (2003) - [Variability of Sr-87/Sr-86 in water draining granite revealed after a double correction for atmospheric and anthropogenic inputs](#). *Hydrological Sciences Journal*, 48:5, 729-742

Petelet-Giraud, E., Négrel, Ph. et Widory, D. (2006) - Caractérisation des circulations au sein d'une nappe alluviale à l'aide des isotopes du strontium : Champ captant de l'Île du Chambon (Allier). La Houille Blanche, 1, 82-90.

Saplaïroles M., 2019. Rapport d'expertise. Diagnostic hydrogéologique vis-à-vis de la contamination en nitrates des eaux du captage de Fourès (Busque, 81). BRGM/RP-68926-FR

Semhi, K., Clauer, N., Probst, J.L. (2000) - Strontium isotope compositions of river waters as records of lithology-dependent mass transfers: the Garonne River and its tributaries (SW France). Chemical Geology 168, 173-193.

Souquet P., 1962. Commune de Busque (Tarn). Rapport d'expertise géologique concernant le projet d'adduction d'eau potable.

Souquet P., 1971. Commune de Busque (Tarn). Rapport d'expertise géologique concernant la protection de la source captée à Valéry pour l'alimentation en eau potable de la commune.

Annexe 1 - Tableau de synthèse de l'ensemble des données acquises et des critères de sélection des 18 points d'eau échantillonnés pour analyses chimiques

Num. Projet	Indice National	Appellation	Commune	Lat WGS 84	Long WGS 84	X L93 (m)	Y L93 (m)	Altitude Sol (m NGF)	Nature	Hteur RM (m)	Prof / RM (m)	Prof (m NGF)	Date	Niv. Eau initial / RM (m)	NP (m NGF)	Q (l/s)	Prof. Pompe (m)	Niv. Eau / RM Fin Pompage	Rabattements (m)	Condition Météo	Turbidité	Temp. (°C)	pH	Eh (mV)	O2 (%)	Cond (µS/cm)
1	BSS002ENEF	Captage Fourès 1	BUSQUE	43,77895	1,96167	616 398,61	6 298 307,56	169,54	Source	/	1,84	167,70	22/07/2019	/	169,54	0,025	/	/	/	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,3	7,2	416,59	59,4	905
2	BSS003LOAC	Captage Fourès 2	BUSQUE	43,77900	1,96145	616 382,16	6 298 323,78	157,30	Source	/	0,995	157,30	22/07/2019	/	157,7	0,18	/	/	/	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	14,9	7,8	322,99	106,2	1023
3	BSS003LOAG	Captage Fourès 3	BUSQUE	43,77904	1,96139	616 382,34	6 298 324,49	157,30	Source	/	1,385	157,11	22/07/2019	/	157,61	0,015	/	/	/	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,4	7,3	390,89	98,1	1037
4	/	Sta. Pomp. Fourès	BUSQUE	43,77869	1,96072	616 322,10	6 298 292,00	152,00	Station Pompage	/	/	/	23/07/2019	/	/	0,326	/	/	/	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	16,0	7,2	333,59	106,1	1020
5	BSS003LOAW	Chauptié	PEYROLE	43,79479	1,95160	615 620,04	6 300 092,01	201,42	Source	/	/	/	24/07/2019	/	/	/	0,40	/	/	Soleil Forte chaleur	Légèrement turbide. Filtration très difficile	22,2	7,4	44,98	3,2	903
8	BSS003LNYW	Sirven	CADALEN	43,80276	1,95747	616 096,26	6 300 965,95	191,47	Puits	0,90	4,60	187,71	24/07/2019	2,01	190,37	/	4,00	2,52	0,52	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	14,9	6,9	296,19	15,7	894
10	BSS003LOBQ	Les Affignes	LABESSIERE-CANDEIL	43,81791	1,99827	619 401,01	6 302 612,17	253,87	Puits	0,77	14,75	239,89	24/07/2019	7,87	246,77	/	14,00	9,26	1,39	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	14,6	7,3	253,69	0,0	733
11	BSS003LOBU	Le Plô	LASGRAISSES	43,82185	2,04157	622 888,39	6 303 010,46	217,43	Puits	0,10	2,99	214,55	25/07/2019	0,95	216,57	/	2,50	1,60	0,65	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,7	6,7	388,89	62,0	1014
12	BSS003LOBY	Conté Haut	LABESSIERE-CANDEIL	43,79523	2,06587	624 808,87	6 300 023,32	226,38	Puits	0,43	7,19	219,62	24/07/2019	4,42	222,39	/	6,50	4,62	0,20	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	13,3	7,1	352,19	71,2	840
13	BSS003LNYA	Bouriasses - Le Carbonier	LABESSIERE-CANDEIL	43,79065	2,06690	624 886,28	6 299 514,10	250,32	Puits	0,40	7,16	243,11	25/07/2019	4,14	246,58	/	6,50	5,05	0,91	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	14,4	7,6	339,39	50,3	787
14	BSS003LOCK	Valéry 4	BUSQUE	43,77859	1,97081	617 133,03	6 298 271,08	179,04	Puits	0,85	10,80	169,00	23/07/2019	9,71	170,19	/	10,50	10,40	0,70	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,3	7,6	294,99	30,6	1331
15	BSS003LODE	Valéry 3	BUSQUE	43,77704	1,96671	616 801,97	6 298 102,28	173,48	Puits	0,50	6,55	167,42	23/07/2019	5,20	168,78	/	6,00	5,88	0,68	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Quelques particules	16,1	7,8	14,69	19,1	166
16	BSS003LODI	Valéry 2	BUSQUE	43,77814	1,96553	616 707,64	6 298 225,44	177,91	Puits	0,45	12,30	165,92	23/07/2019	10,75	167,60	/	11,50	11,33	0,57	Soleil Forte chaleur	Légèrement turbide. Filtration difficile	16,3	7,3	336,39	55,6	815
17	BSS003LOCO	Valéry 1	BUSQUE	43,77861	1,96331	616 528,58	6 298 280,16	176,75	Puits	0,41	11,95	165,21	23/07/2019	10,87	166,30	/	11,50	10,93	0,06	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,8	6,8	306,19	48,9	1045
18	BSS003LODY	Les Escrives	BUSQUE	43,78826	1,96409	616 603,16	6 299 352,13	171,99	Puits	1,67	4,25	169,41	23/07/2019	2,17	171,48	/	3,75	3,01	0,84	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	15,6	7,9	282,89	46,5	1067
19	BSS003LOCS	Mazélie	BUSQUE	43,78133	1,95460	615 837,14	6 298 590,16	181,54	Puits	0,25	10,46	171,33	24/07/2019	9,21	172,57	/	10,00	9,88	0,66	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration difficile	15,1	6,6	383,89	10,7	1014
23	BSS003LOEC	Rives Hautes - La Brande	PEYROLE	43,80183	1,92042	613 115,18	6 300 910,36	292,38	Source	0,63	2,45	291,12	24/07/2019	0,68	292,89	/	/	/	/	Soleil Forte chaleur	Eau claire. Filtration facile	14,8	6,4	433,59	61,5	393
32	BSS003LOES	Les Condats	BUSQUE	43,78037	1,96741	616 863,27	6 298 471,19	192,64	Puits	0,00	5,70	186,94	23/07/2019	3,03	189,61	/	5,25	5,11	2,08	Soleil Forte chaleur	Eau claire Plus turbide en fin de pompage	16,4	7,6	126,19	12,6	634

Num. Projet	Indice National	Appellation	Commune	Aquifère capté supposé	Intérêt de la sélection
1	BSS002ENEF	Captage Fourès 1	BUSQUE	Hypothèse d'une alimentation du captage par des circulations d'eau au sein des colluvions issues des alluvions sus-jacentes et des molasses sous-jacentes	Objectif de l'étude
2	BSS003LOAC	Captage Fourès 2	BUSQUE	Hypothèse d'une alimentation du captage par des circulations d'eau au sein des colluvions issues des alluvions sus-jacentes et des molasses sous-jacentes. Observations de nombreux glissements de terrains sur le versant du talweg concerné par les captages : colluvions mélangées aux molasses	Objectif de l'étude
3	BSS003LOAG	Captage Fourès 3	BUSQUE	Hypothèse d'une alimentation du captage par des circulations d'eau au sein des colluvions issues des alluvions sus-jacentes et des molasses sous-jacentes. Observations de nombreux glissements de terrains sur le versant du talweg concerné par les captages : colluvions mélangées aux molasses	Objectif de l'étude
4	/	Sta. Pomp. Fourès	BUSQUE	Mélange de l'ensemble des captages de Fourès	Point de prélèvement actuel du réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines (ss MO AEAG)
5	BSS003LOAW	Chauptié	PEYROLE	Source sourdant en pied d'affleurement molassique du Rupélien (g2) à faciès gréseux sous la forme d'une vasque d'eau. Présence d'un affleurement de niveau de poudingues altérés en contrehaut de la source	Source a priori d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues des niveaux gréseux de la série molassique du Rupélien
8	BSS003LNYW	Sirven	CADALEN	Puits implanté au sein de formations superficielles solifluées (provenant des molasses) ayant a priori reconnu un niveau calcaire molassique du Rupélien (g2).	Puits d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues des niveaux carbonatés de la série molassique du Rupélien
10	BSS003LOBQ	Les Affignes	LABESSIERE-CANDEIL	Puits ancien profond de 14 m implanté dans les formations molassiques du Rupélien (g2) potentiellement à faciès calcaire. Puits situé en position altimétrique haute	Puits d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues des niveaux carbonatés de la série molassique du Rupélien
11	BSS003LOBU	Le Piô	LASGRAISSES	Puits de faible profondeur implanté dans les formations molassiques du Rupélien (g2) potentiellement à faciès calcaire (présence de blocs de calcaires dans la parcelle cultivée située à proximité immédiate). Formations des calcaires d'Albi (g1c) cartographiées à proximité (environ 50 m)	Puits d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues des niveaux carbonatés de la série molassique du Rupélien
12	BSS003LOBY	Conté Haut	LABESSIERE-CANDEIL	Puits implanté dans les formations des calcaires d'Albi (g1c). Présence d'affleurements de niveaux calcaires durs cristallisés sur le chemin d'accès	Puits d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues de la formation des calcaires d'Albi du Rupélien moy.
13	BSS003LNYA	Bouriasses - Le Carbonier	LABESSIERE-CANDEIL	Puits implanté dans les formations des calcaires d'Albi (g1c)	Puits d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues de la formation des calcaires d'Albi du Rupélien moy.
14	BSS003LOCK	Valéry 4	BUSQUE	Puits ancien profond de 10 m implanté dans les alluvions des basses terrasses du Dadou	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux de la zone d'alimentation actuellement définie des captages de Fourès
15	BSS003LODE	Valéry 3	BUSQUE	Puits profond d'environ 6 m implanté dans les alluvions des basses terrasses du Dadou	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux de la zone d'alimentation actuellement définie des captages de Fourès
16	BSS003LODI	Valéry 2	BUSQUE	Puits profond d'environ 12 m implanté dans les alluvions des basses terrasses du Dadou	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux de la zone d'alimentation actuellement définie des captages de Fourès
17	BSS003LOCO	Valéry 1	BUSQUE	Puits profond d'environ 11,5 m implanté dans les alluvions des basses terrasses du Dadou	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux de la zone d'alimentation actuellement définie des captages de Fourès
18	BSS003LODY	Les Escrives	BUSQUE	Puits de faible profondeur implanté dans les alluvions des basses terrasses des petites vallées au contact des formations molassiques du Rupélien (g2) cartographiées en contrebas	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux des alluvions des basses terrasses des petites vallées
19	BSS003LOCS	Mazélie	BUSQUE	Puits profond d'environ 10 m implanté dans les alluvions des basses terrasses des petites vallées en rive droite du Lenjou	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux des alluvions des basses terrasses des petites vallées en rive droite du Lenjou
23	BSS003LOEC	Rives Hautes - La Brande	PEYROLE	Source captée par une buse en ciment, située sur le flanc droit d'un talweg au sein des formations molassiques du Rupélien (g2). Niveau de poudingues cartographié à proximité	Source a priori d'intérêt pour disposer d'une signature chimique des eaux issues des bancs de poudingues de la série molassique du Rupélien
32	BSS003LOES	Les Condats	BUSQUE	Puits profond d'environ 6 m implanté dans les alluvions des basses terrasses des petites vallées	Puits d'intérêt pour caractériser la signature chimique des eaux de la zone d'alimentation actuellement définie des captages de Fourès



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Occitanie – site de Toulouse

3, rue Marie Curie
Bât. Aruba / BP 49

31327 – Ramonville-Saint-Agne – France

Tél. : 05 62 24 14 50