



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Synthèse hydrogéologique concernant la rive droite de la plaine du Forez

Rapport final

BRGM/RP-72380-FR

Version 2 du 10 mars 2023

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

F. Crastes de Paulet, S. Leconte

Vérificateur :

Nom : S. Orofino

Fonction : Hydrogéologue / Chef de
projet

Date : 17/01/2023

Signature :

Approbateur :

Nom : S. Buschaert

Fonction : Directeur Auvergne Rhône
Alpes

Date : 10/03/2023

Signature :

S. BUSCHAERT

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

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Hydrogéologie, piézométrie, eau potable, eau minérale, eau thermale, eau thermominérale, agriculture, eau industrielle, St-Galmier, Montrond-les-Bains, Salt-en-Donzy, Civens, Cleppé, Marclopt, Mizérieux, Andrézieux-Bouthéon, Balbigny, Bellegarde-en-Forez, Boisset-lès-Montrond, Bonson, Chalain-le-Comtal, Chambéon, Chamboeuf, Craitilleux, Cuzieu, Epercieux-St-Paul, Feurs, La Fouillouse, Magneux-Haute-Rive, Pouilly-lès-Feurs, Rivas, St-Barthélemy-Lestra, St-Bonnet-les-Oules, St-Cyprien, St-Cyr-les-Vignes, St-Laurent-la-Conche, St-Just-St-Rambert, Salvizinet, Unias, Valeille, Veauche, Veauchette.

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

F. Crastes de Paulet, S. Leconte(2023) Synthèse hydrogéologique concernant la rive droite de la plaine du Forez. Rapport final V2. BRGM/RP-72380-FR, 104 p., 8 tab., 48 ill., 5 ann.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

En lien avec le programme d'actions du SAGE Loire en Rhône-Alpes et les objectifs du Département de la Loire, le présent projet d'étude vise à améliorer la connaissance des nappes de la plaine du Forez et à terme de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères et d'évaluer l'existence d'un véritable risque quantitatif. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une réflexion globale sur la gestion quantitative, en lien direct avec la révision du SAGE et l'élaboration d'un Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE), dont le socle de diagnostic sera constitué par une analyse dite Hydrologie Milieux Usages Climat (HMUC).

Le présent rapport correspond aux phases 1 et 2, orientées vers la synthèse des connaissances et l'étude des prélèvements en eaux souterraines, uniquement sur la partie orientale de la plaine du Forez entre Andrézieux-Bouthéon (au sud) et Balbigny (au nord).

Les eaux souterraines de la plaine du Forez ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques, autour de thématiques suivantes : la recherche, la compréhension et la protection d'un gisement pour le thermalisme (Montrond-les-Bains) et l'embouteillage (St-Galmier) ; l'exploitation de la ressource (au regard de contraintes industrielles) et la surveillance d'éventuels impacts ; la disponibilité de la ressource, l'amélioration des connaissances et la gestion d'une pollution en nitrate et produits phytosanitaires en lien avec la production d'eau potable ; la disponibilité et la qualité de la ressource pour les agriculteurs. Des données relatives à la géologie (logs de forages, levés géophysiques...), l'hydrologie (débit et hauteur des cours d'eau, données de jaugeages...) et l'hydrogéologie (inventaire des ouvrages, piézométrie, analyses chimiques et isotopiques, volumes prélevés...) sont disponibles mais ont peu fait l'objet d'une synthèse à l'échelle de la plaine du Forez, voire de la présente zone d'étude. Le dernier travail à cette échelle correspond à la thèse de Ré-Bahuaud [2012], régulièrement citée dans le présent rapport. Concernant les autres travaux disponibles, ceux réalisés pour les producteurs d'eau potable apportent des informations pertinentes et précises, mais localisées, au regard des objectifs de la présente étude.

Les eaux souterraines de la partie orientale de la plaine du Forez circulent à travers des formations d'âge et de nature différents, avec un gradient hydraulique régional orienté en direction de l'ouest : les alluvions quaternaires sont en contact avec les sédiments tertiaires (sables, argiles, etc), voire directement le socle (granites, schistes...). Ce dernier, cartographié de façon peu précise à ce jour, est fortement influencé par la présence de failles ; celles-ci sont d'ailleurs responsables de compartimentations au sein des formations sus-jacentes.

Les eaux souterraines circulant dans la partie « supérieure » (moins de 50 m de profondeur), composée essentiellement d'alluvions quaternaires et de la partie supérieure des sédiments tertiaires, sont alimentées par l'infiltration directe de la pluie (en lien avec la perméabilité des sols), les échanges avec les cours d'eau (Loire et affluents en rive droite), et les échanges avec la partie plus profonde (alimentée par le socle à la faveur de failles). Les écoulements se font le plus souvent en régime hydraulique libre, voire captif dans certains secteurs (en cas de recouvrement argileux). Les pressions sur la ressource, identifiées à travers les différentes études, ont trait à la qualité (pollutions d'origine anthropique en nitrate et produits phytosanitaires, pollutions d'origine naturelle en As, Fe...) et aux volumes prélevés avec des enjeux principalement relatifs à l'adduction d'eau potable et les usages agricoles (principalement irrigation). Le croisement des différentes bases de données relatives aux prélèvements en eaux souterraines s'est avéré un exercice difficile et a montré la nécessité d'efforts coordonnés concernant l'inventaire et le contrôle des usages. Il est important de souligner que la partie

« profonde » (plus de 50 m) de la plaine du Forez reste mal connue et nettement moins exploitée (en dehors des secteurs de Montrond-les-Bains et St-Galmier).

Au regard des éléments compilés dans le présent rapport, il apparaît que les informations disponibles sont insuffisantes pour proposer un schéma conceptuel abouti. Concernant la partie « superficielle », des lacunes restent à combler concernant la piézométrie (en dehors des zones exploitées pour l'AEP – bien décrites), les usages (inventaire, localisation et volume prélevé par les ouvrages) et les échanges nappe-rivière (déjà connus dans certains secteurs). Quant à la partie plus « profonde », les données sont moins nombreuses et nécessitent le déploiement d'outils plus poussés et spécifiques (chimie isotopique, géophysique, forages...) comme pour les campagnes réalisées par BADOIT/DANONE dans un passé récent vers St-Galmier.

Suite à une présentation de la synthèse des connaissances aux membres du COSUI et à des échanges avec eux, les trois actions jugées comme les plus importantes/prioritaires sont (par ordre décroissant) : l'installation de stations piézométriques dans la partie superficielle, l'installation de stations piézométriques dans la partie profonde, et la réalisation de campagnes piézométriques en hautes et basses eaux.

A l'issue de la finalisation des phases 1 et 2, l'opportunité de mettre en œuvre un programme scientifique, incluant les opérations et les acquisitions de terrain identifiées dans le plan d'investigation, sera évaluée, afin de répondre à l'objectif global du programme de recherche. Ce travail fera l'objet de discussions entre le Département de la Loire et les acteurs locaux dans le cadre de l'élaboration du PTGE et de la révision du SAGE courant 2023, avec un appui technique et scientifique du BRGM.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. Descriptif de l'étude.....	9
1.1.1. <i>Cadre</i>	9
1.1.2. <i>Objectif</i>	9
1.1.3. <i>Déroulement des phases 1 et 2</i>	9
1.2. Présentation de la zone d'étude	10
2. Synthèse des connaissances	13
2.1. Géologie.....	13
2.1.1. <i>Contextes géologiques régional et local</i>	13
2.1.2. <i>Description des terrains présents dans la zone d'étude</i>	18
2.1.3. <i>Données de forages</i>	25
2.2. Hydrogéologie	30
2.2.1. <i>Introduction et bilan hydrique</i>	30
2.2.2. <i>Piézométrie</i>	36
2.2.3. <i>Mélange et âges des eaux</i>	52
2.2.4. <i>Artésianisme</i>	52
2.2.5. <i>Productivité des ouvrages</i>	55
2.2.6. <i>Qualité de l'eau</i>	56
2.2.7. <i>Masses d'eau souterraine et entités BD LISA</i>	64
2.2.8. <i>Risque d'inondation par remontée de nappe</i>	65
2.3. Prélèvements	67
2.3.1. <i>BNPE</i>	67
2.3.2. <i>Redevances (AELB)</i>	69
2.3.3. <i>Production d'eau potable</i>	69
2.3.4. <i>Eaux thermales et minérales</i>	79
2.3.5. <i>Usage industriel</i>	86
2.3.6. <i>Forages domestiques</i>	87
2.3.7. <i>Arrêtés sécheresse</i>	87
2.4. Schéma conceptuel de fonctionnement des eaux souterraines	88
3. Comparaison entre bases de données	91
3.1. Introduction	91
3.2. Analyse	93
3.3. Essai de croisement avec la carte géologique harmonisée	93
4. Proposition d'investigations	95
4.1. Actions proposées par le BRGM avant le COSUI 2	95
4.2. Actions retenues suite au COSUI 2	102
5. Conclusions.....	103
6. Définition des acronymes utilisés.....	105
7. Bibliographie	107
8. Annexe 1 - Bibliographie complémentaire	111
9. Annexe 2 – Coupes de forages profonds.....	112
10. Annexe 3 – Débits des cours de la zone d'étude : Moyennes interannuelles (écoulements mensuels).....	117
11. Annexe 4 – Arrêtés sécheresse (Propluvia) de juin à août sur la période 2017-2022	123

12. Annexe 5 – Résultats du questionnaire concernant la priorisation des actions.....133

Liste des illustrations

Illustration 1 - Carte topographique de la zone d'étude à l'échelle 1/100000 (Source: IGN)	11
Illustration 2 - Extrait de la carte gravimétrique de France (BRGM) ; anomalie de Bouguer dans le système IGSN 71 (modifiée de Gal, 2005)	14
Illustration 3 – Principales failles reconnues au droit de la plaine du Forez (Source : Gal, 2005)	15
Illustration 4 – Relevé sismique, coupe géologique et coupes de forage dans le secteur de St-Galmier (Source: Dewandel et al.,2017)	16
Illustration 5 – a) Carte géologique simplifiée ; b) Carte de la profondeur du toit u socle et schéma structural simplifié dans le secteur de St-Galmier (Source: Dewandel et al., 2017)	17
Illustration 6 - Carte géologique harmonisée (Sources : BRGM, OSM)	19
Illustration 7 - Coupe schématique du remplissage tertiaire (Source: Le Greil, 1984).....	21
Illustration 8 - Coupe schématique du fossé du Forez faisant apparaître les remontées volcaniques (Source : Ré-Bahuaud, modifiée de Ech-Cherif El Khetani, 1996).....	22
Illustration 9 - Relation entre les pentes et les contours des formations géologiques superficielles (Ré-Bahuaud, 2012)	24
Illustration 10 - Coupe géologique schématique NO/SE des formations alluviales en rive droite de la Loire au niveau du trait de coupe de l'illustration précédente (Source : Ré-Bahuaud, 2012 ; inspirée de Le Greil, 1975).....	25
Illustration 11 - Répartition des ouvrages déclarés et enregistrés en BSS (Source: BRGM, Infoterre consultée le 14/11/2022).....	27
Illustration 12 - Graphique illustrant le nombre d'ouvrages par classe de profondeur (Source: BRGM, Infoterre).....	28
Illustration 13 - Localisation des ouvrages profonds mentionnés (Source: BRGM, Infoterre consultée le 14/11/2022).....	29
Illustration 14 – A : découpage climatique du département de la Loire (la plaine du Forez est en blanc) ; B : précipitations annuelles (les stations 4 et 8 représentent respectivement Feurs et Andrézieux-Bouthéon) [Gal, 2005]	31
Illustration 15 - Diagramme climatique présentant les précipitations et les températures moyennées sur la période 1995 – 2010 pour la station d'Andrézieux-Bouthéon (Source : Météo France) [Ré-Bahuaud, 2012].....	31
Illustration 16 - Synthèse hydrogéologique des alluvions de la plaine du Forez (Source : Ré-Bahuaud, 2012)	35
Illustration 17 - Localisation des ouvrages actuels et anciens du réseau piézométrique régional (Source : ADES)	37
Illustration 18 - Chronique piézométrique du point BSS001UNYH (07208X0197/F1C) à St-Galmier (Source: BRGM / ADES)	38

Illustration 19 - Chronique piézométrique du point BSS001UNAB (07204X0105/F) à St-André-le-Puy (Source: BRGM / ADES)	39
Illustration 20 - Carte piézométrique de la plaine du Forez (Source: Collin, 1973 ; BRGM/73-JAL-027).....	41
Illustration 21 - Carte piézométrique (asynchrone) en basses eaux de la plaine du Forez (Source : Ré-Bahuaud, 2012)	44
Illustration 22 – Localisation des stations de suivi hydrologique de la DREAL et découpage des bassins versants de la zone d'étude (Sources : DREAL, OSM).....	46
Illustration 23 - Moyennes interannuelles du débit de la Loire à Balbigny (Source: Hydro Portail)	47
Illustration 24 - Moyennes interannuelles du débit de la Toranche à St-Cyr-les-Vigne (Source: Hydro Portail)	48
Illustration 25 - Schéma d'une zone humide (Source: www.zones-humides.org)	49
Illustration 26 - Localisation des zones humides au droit de la zone d'étude (Source: Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes & CESAME, 2015).....	51
Illustration 27 - Localisation des principales sources d'eaux minérales et des forages profonds de la COGEMA au droit de la zone d'étude [Modifiée de : Ré-Bahuaud, 2012]	53
Illustration 28 - Localisation des sites BASIAS, BASOL et SIS (Source: Georisques).....	58
Illustration 29 - Répartition des points d'eau avec leur concentration moyenne en nitrate sur la période 1994-2022 (Source: ADES)	60
Illustration 30 - Répartition des points d'eau avec leur concentration moyenne en nitrate sur la période 1994-2022 (Source: ADES)	61
Illustration 31 - Chroniques de la concentration moyenne annuelle en nitrate de 12 points d'eau (Source: ADES).....	62
Illustration 32 - Périmètres de protection et aires d'alimentation des captages AEP et industriels de la zone d'étude (Source: ARS)	63
Illustration 33 - Risque d'inondation par remontée de nappe et fiabilité du risque (Source: BRGM)	66
Illustration 34 - Graphique représentant les volumes annuels et leur pourcentage respectif, classés par catégories d'usage: « AEP » en bleu, « irrigation » en vert, « industriel » en orange (Source: BNPE).....	67
Illustration 35 - Localisation des prélèvements en eaux souterraines et superficielles d'après la BNPE	68
Illustration 36 – Carte piézométrique de mars 2003 à proximité du captage AEP de La Merlée (Source : SAUNIER ENVIRONNEMENT, 2003).....	70
Illustration 37 – Schéma conceptuel des échanges hydriques entre Bellegarde-en-Forez et Montrond-les-Bains (Source : CPGF Horizons, 2021)	72
Illustration 38 – Carte piézométrique d'avril 2019 (moyennes eaux), non influencée par l'irrigation (Source : CPGF Horizons, 2021)	74
Illustration 39 – Carte de la concentration en nitrate dans les eaux souterraines sur le secteur du SIVAP en juin 2019 (Source : CPGF Horizons, 2021)	75
Illustration 40 - Localisation des prélèvements d'eau de surface et souterraine et résultats d'analyses des nitrates (en mg/l) (Source : TAUW, 2011).....	77

Illustration 41 - Carte piézométrique à proximité des 4 captages d'eau potable de Chassagny / Balbigny (Source: TAUW, 2011)	78
Illustration 42 – Localisation des sites d'eaux thermales et/ou minérales (Sources : BRGM, OSM)	80
Illustration 43 - Coupe géologique simplifiée illustrant les circulations d'eaux souterraines (modifiée de: Hydro Invest, 2009)	82
Illustration 44 - Schéma conceptuel du fonctionnement du site de St-Galmier, mettant en évidence le rôle des failles dans la circulation d'eaux souterraines profondes, respectivement riches en Na et Ca, et le mélange s'effectuant avec des eaux souterraines infiltrés plus récemment [Dewandel et al., 2017].....	84
Illustration 45 - Représentation schématique d'une section entre Montrond et Salt-en-Donzy (Source : Gal, 2005).....	85
Illustration 46 – Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement de l'hydrosystème dans la partie orientale de la plaine du Forez (modifié de Ré-Bahuaud [2012].....	88
Illustration 47 - Localisation des points de la base de données transmise par le SAGE LRA (Source: AELB, DDT 42).....	92
Illustration 48 - Proposition de réseau piézométrique complémentaire.....	96

Liste des tableaux

Tableau 1 - Extrait des caractéristiques d'une sélection parmi les 20 ouvrages les plus profonds, et répartis dans différents secteurs de la zone d'étude (Source: BRGM, Infoterre)	28
Tableau 2 - Répartition des pluies efficaces dans le département de la Loire entre 1998 et 2003 (Source : Gal, 2005).....	32
Tableau 3 - Récapitulatif du paramétrage de la Réserve Utile (RU) conditionnant la recharge d'origine superficielle (I_{eff}) moyenne annuelle (moyenne calculée entre 1995 et 2011) et le ratio infiltration efficace (I_{eff}) sur pluie moyenne annuelle (P) (Source : Ré-Bahuaud, 2012).....	32
Tableau 4 - Bilan hydrique mensuel moyen (moyenne sur 1995-2011) pour un sol dont la RU est de 40 mm de type Montrond. Les courbes de couleur rouge et verte correspondent respectivement à l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne mensuelle et l'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne mensuelle. Les histogrammes de couleur bleue et jaune correspondent respectivement à la pluie (P) moyenne mensuelle et l'infiltration efficace (I_{eff}) moyenne mensuelle. Les barres d'erreur correspondent à l'écart type des valeurs d'infiltration efficace pour les 7 années de considérées. (Source : Ré-Bahuaud, 2012)	33
Tableau 5 – Paramètres hydrodynamiques pour des ouvrages de la partie orientale de la plaine du Forez (Source : BRGM, CPGF, TAUW)	55
Tableau 6 – Tableau des activités les plus représentées parmi les 1180 références CASIAS identifiées à l'échelle de la zone d'étude (Source : BRGM)	56
Tableau 7 – Prélèvements en eaux souterraines pour les besoins industriels référencés dans la BNPE pour l'année 2020.....	86
Tableau 8 - Type d' "alimentation" identifié pour les points référencés "eaux souterraines" (Source: AELB, DDT 42).....	93

1. Introduction

1.1. DESCRIPTIF DE L'ETUDE

1.1.1. Cadre

Répondant à un besoin d'actions mentionné dans le SAGE Loire en Rhône-Alpes, le présent projet d'étude vise à améliorer la connaissance des nappes de la plaine du Forez et à terme de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères et d'évaluer l'existence d'un véritable risque quantitatif.

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une réflexion globale sur la gestion quantitative, en lien direct avec la révision du SAGE et l'élaboration d'un Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE), dont le socle de diagnostic sera constitué par une analyse dite Hydrologie Milieux Usages Climat (HMUC). Or cette dernière s'intéresse principalement aux eaux de surface. Ce projet vient donc compléter les connaissances préalables à l'élaboration d'une stratégie de gestion quantitative sur le territoire de la Loire en Rhône-Alpes, en intégrant la question de la ressource souterraine (effets de la succession des épisodes de sécheresse, potentialités de substitution pour l'usage agricole, etc.)

Remarque : Une définition des acronymes utilisés dans le présent rapport est disponible en fin de rapport (§6).

1.1.2. Objectif

L'objectif du projet est d'étudier les ressources en eaux souterraines des nappes de la plaine du Forez en Loire Amont. Les deux premières phases du projet sont orientées vers une meilleure compréhension du fonctionnement des aquifères, en particulier l'aspect quantitatif (niveau de nappe, schéma conceptuel de l'hydrosystème, usages de la ressource, etc.).

1.1.3. Déroulement des phases 1 et 2

a) Phase 1 : Synthèses des connaissances disponibles

- Tâche 1a : Synthèse bibliographique et échanges techniques

Cette tâche a consisté à faire un état de lieux des connaissances hydrogéologiques et a inclus des échanges/rencontres avec les acteurs locaux pour la récupération de documents. La liste des principaux contacts est : ARS 42, DDT 42, CA 42, SIVAP, commune de Balbigny et autres exploitants AEP, DREAL (suivi des ICPE), universitaires (ESME), carriers, la Société d'exploitation des eaux minérales Parot, ainsi que Danone (Badoit St-Galmier).

- Tache 1b : Action spécifique de recueil d'information concernant les prélèvements

La DDT 42 dispose d'un fichier concernant les prélèvements agricoles en eau superficielle et en eau souterraine. Des efforts de vérification ont été portés dans certains secteurs spécifiques (ex : St-Laurent la Conche). Une comparaison avec les données de la BNPE et de la BSS Eau a également été prévue. L'objectif est d'avoir une estimation plus précise du volume prélevé sur les eaux souterraines et superficielles. Au besoin, des corrections/créations de dossier BSS Eau (jusque 20 incluses dans l'offre) ont été prévues dans l'étude.

b) Phase 2 : Etablissement d'un rapport de synthèse incluant une proposition de plan d'investigation

Sur la base des résultats, le rapport propose: des cartes de localisation, un listing des ouvrages souterrains recensés... Outre la synthèse des connaissances hydrogéologiques disponibles, le rapport inclut un plan d'investigation révisant les propositions préliminaires esquissées pour la phase 3 (liste non définitive). Ce plan d'investigation a pour objectif de proposer une courte description et une première estimation financière pour chacune d'entre elles. Sont abordés également les objectifs et limites de chaque action. Avec l'aide des membres du COSUI, un travail de priorisation de ces actions a été mené.

Remarque : La convention prévoit des phases ultérieures, déjà pré-identifiées, qui devront faire l'objet d'échanges avec le SAGE LRA et le CD 42 suite à la remise du présent rapport.

1.2. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Située dans le département de la Loire (42), la zone d'étude correspond à une surface d'environ 210 km² (Illustration 1) ; sa forme est nettement allongée suivant un axe nord-sud (longueur approximative : 35 km ; largeur approximative : 5 km). Elle recoupe tout ou parties des territoires de 36 communes.

Les variations topographiques sont assez faibles à l'échelle de la zone d'étude : la rive droite de la Loire a une altitude de l'ordre de 370 m NGF dans sa partie amont (vers le sud, à proximité de St-Just sur Loire) et s'abaisse ensuite à 320 m NGF environ en aval (au nord, à hauteur de Balbigny). La pente est globalement orientée vers l'ouest (soit vers la Loire) et la bordure orientale de la plaine correspond grossièrement à la courbe d'iso-altitude 400 m NGF, celle-ci court d'Andrézieux-Bouthéon (au sud) jusqu'à Salt-en-Donzy (au nord-est). Le domaine situé plus à l'est correspond aux contreforts des Monts du Lyonnais.

Le paysage de la zone d'étude alterne majoritairement entre campagne et milieux naturels ; les zones les plus peuplées sont situées au droit des communes suivantes : Andrézieux-Bouthéon (9963 hab.), Veauche (8973 hab.) et Feurs (8302 hab.) [INSEE, 2019]. Les axes de circulation les plus importants de la zone d'étude sont : une courte portion de l'autoroute A72-E70, la route D1082 reliant Andrézieux-Bouthéon à Balbigny, la route D1089 entre Montrond-les-Bains et Bellegarde-en-Forez ; des voies ferrées sont parallèles à ces deux dernières et se croisent à hauteur de Montrond-les-Bains. D'importance relative moindre, la route D10 longe la limite orientale de la zone d'étude, au pied des monts du Lyonnais. L'aéroport de St-Etienne/Bouthéon se situe sur la commune d'Andrézieux-Bouthéon. Les zones artisanales et industrielles les plus importantes se situent à proximité de celui-ci, à proximité de l'échangeur autoroutier avec la D1082, sur les communes d'Andrézieux-Bouthéon et de Veauche.

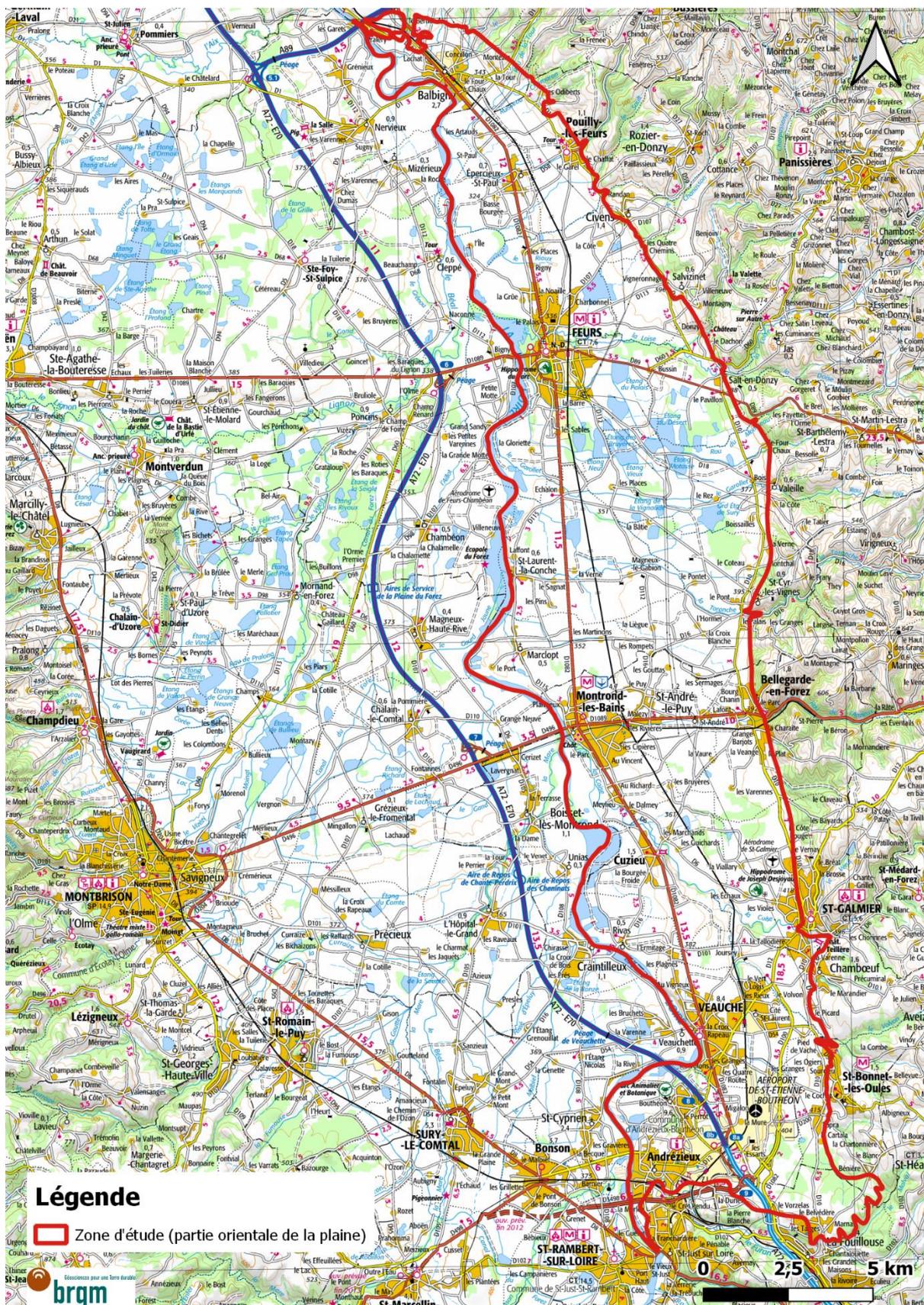


Illustration 1 - Carte topographique de la zone d'étude à l'échelle 1/100000 (Source: IGN)

2. Synthèse des connaissances

2.1. GEOLOGIE

2.1.1. Contextes géologiques régional et local

La partie orientale de la plaine du Forez s'inscrit dans un contexte géologique particulier. Son passé est fortement lié à l'orogénèse hercynienne¹, se traduisant ici par la présence des Monts du Lyonnais (à l'est) et du Forez (à l'ouest), et au développement du rift² ouest européen, ce dernier se manifestant à travers les formations de la plaine d'effondrement du Forez (objet de la présente étude) et du bassin de Roanne (au nord).

Le fossé d'effondrement, appelé aussi graben, du Forez fait partie du rift ouest européen, ouvert à l'Eocène (-56 à -35 Ma) et individualisé à l'Oligocène (-34 à -23 Ma), après la pénépléation (érosion des massifs) mésozoïque [Gerbe *et al.*, 1998]. Le fossé du Forez a la particularité d'être dissymétrique : il est plus profond dans sa partie orientale (plus de 700 m vers Montrond-les-Bains), comme le montrent les courbes isanomales³ de Bouguer (Illustration 2).

Deux méga-séquences sédimentaires, l'une Eocène supérieur – Oligocène inférieur, et l'autre Miocène de moindre puissance, sont distinguées [Gerbe *et al.*, 1998]. Le jeu majeur des failles normales du graben est rapporté à l'Oligocène (-34 à -23 Ma), avec la fin des épisodes sédimentaires importants au Miocène (vers -10 Ma). De façon simplifiée, on peut considérer que le fossé a été peu à peu comblé par des sédiments continentaux, fluviaux et lacustres (argile, sable, grès, etc).

¹ De façon simplifiée, la chaîne hercynienne (appelée aussi varisque) correspond à une « ancienne » chaîne de montagnes allant du Portugal à la Pologne (Massif ibérique, Massif central français, Massif armoricain et Cornouaille, Ardennes, Forêt noire, etc).

² Plaine d'effondrement liée à un processus de fracture/amincissement dans un processus d'extension de la croûte continentale.

³ Courbe joignant sur une carte les points d'égale anomalie

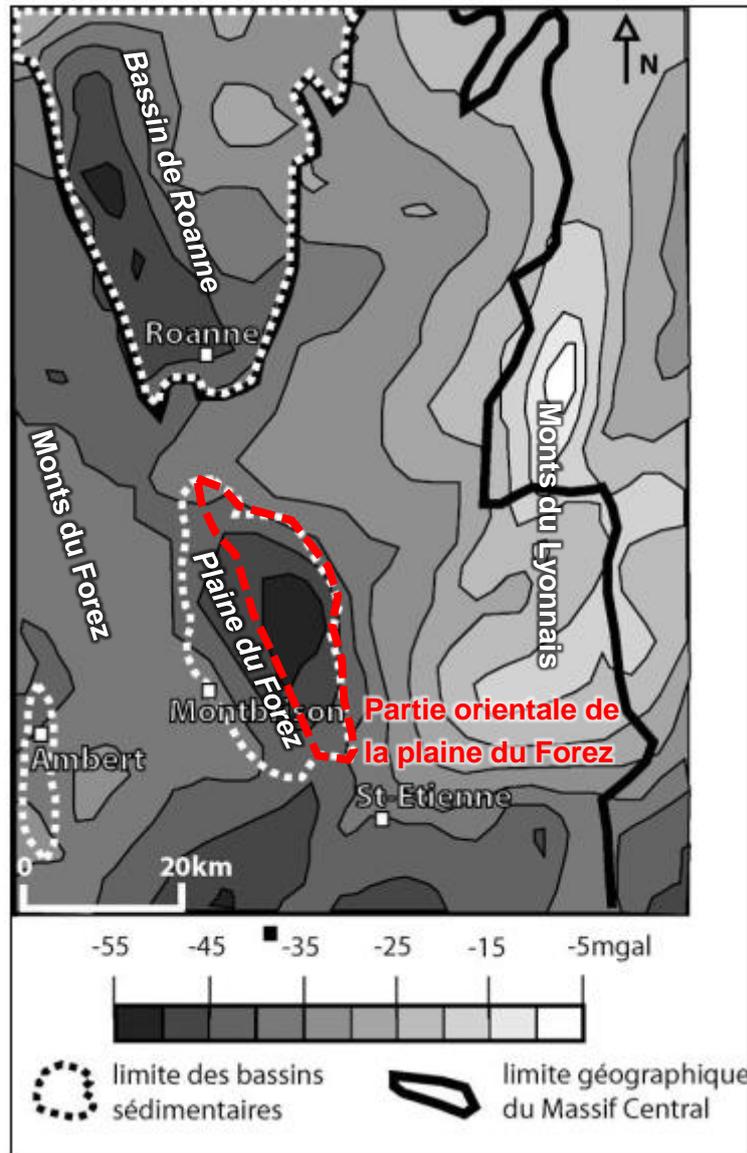


Illustration 2 - Extrait de la carte gravimétrique de France (BRGM) ; anomalie de Bouguer dans le système IGSN 71 (modifiée de Gal, 2005)

Très présent dans la partie occidentale de la plaine et les monts du Forez, le volcanisme est presque absent de la partie orientale de la plaine (exception : pépérite de Montrond-les-Bains).

La forme en graben du socle de la plaine du Forez est fortement liée à la présence de failles. Au droit de la zone d'étude, la plus importante d'entre elles est probablement la « grande faille bordière » située au pied des monts du Lyonnais (Illustration 3). Globalement orientée N-S, celle-ci peut changer légèrement d'orientation (ex : NNO-SSE à St Galmier, NO-SE vers Balbigny), voire former des panneaux intermédiaires comme St-Cyr-les-Vignes et St-Galmier. Lamotte & Vigouroux [2003, BRGM/RP-52058-FR] mentionnent que plusieurs indices géologiques laissent penser que le rejet de cette faille bordière est supérieur à 100 m.

D'autres failles ont été identifiées par les travaux de recherche de la COGEMA. Lamotte & Vigouroux [2003, BRGM/RP-52058-FR] indiquent : « A l'ouest de Bouthéon et de Cuzieu, une faille de direction nord-sud, totalement masquée par les alluvions de la Loire, relève les grès de Veauche. Elle pourrait se prolonger au nord de Cuzieu, passant entre Montrond et Saint-André-»

le-Puy. » D'après Ré-Bahuaud [2012], certaines failles pourraient n'affecter que les sédiments tertiaires.

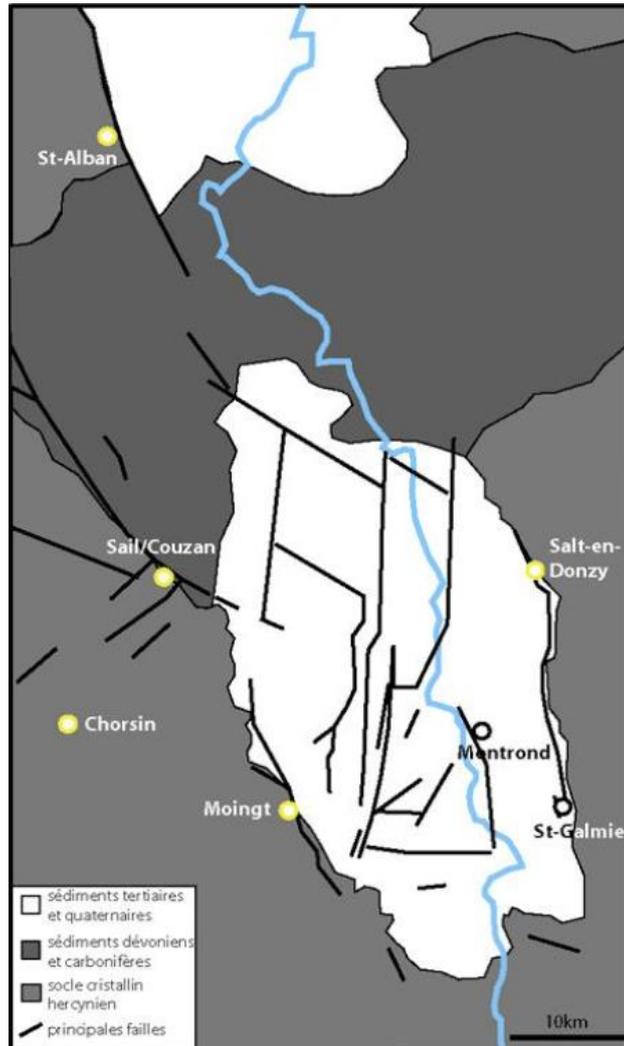


Illustration 3 – Principales failles reconnues au droit de la plaine du Forez (Source : Gal, 2005)

Seules les études récentes ayant fait appel à des méthodes géophysiques ont permis de préciser l'orientation et la profondeur des failles, tel qu'à St-Galmier où les différents familles de failles ont mis en évidence une compartimentation des formations géologiques (Illustration 4 et Illustration 5) [Dewandel *et al.*, 2017].

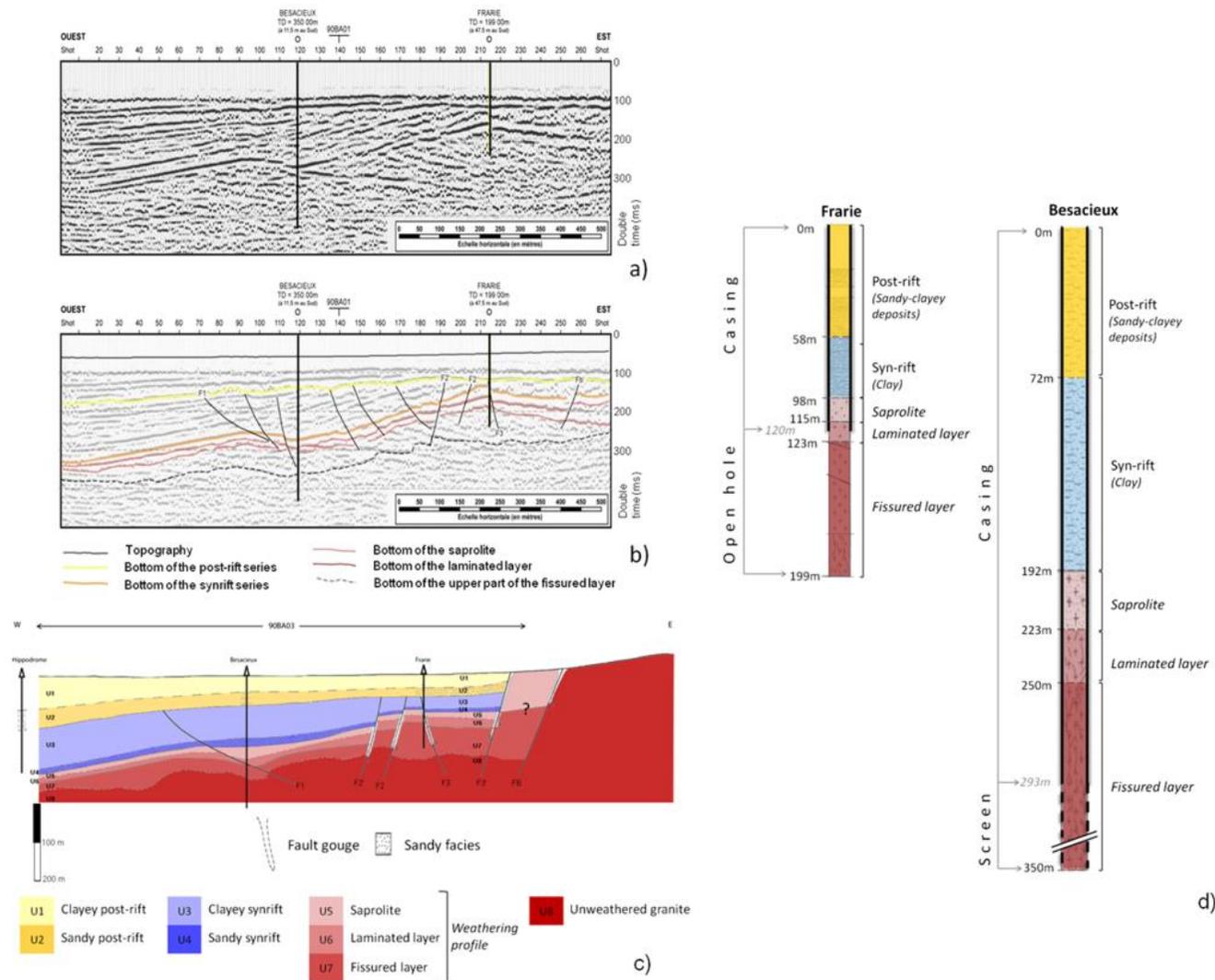


Fig. 3. a) Digitized raw data of the 90BA03 seismic profile (see location on Fig. 2); b) Line drawing (note the sealing of syn-rift normal faults by post-rift deposits); c) Geological cross section obtained by conversion from seismic times to depths and complementary borehole data d) Simplified technical and geological logs of Besacieux and Frarie boreholes.

Illustration 4 – Relevé sismique, coupe géologique et coupes de forage dans le secteur de St-Galmier (Source: Dewandel et al., 2017)

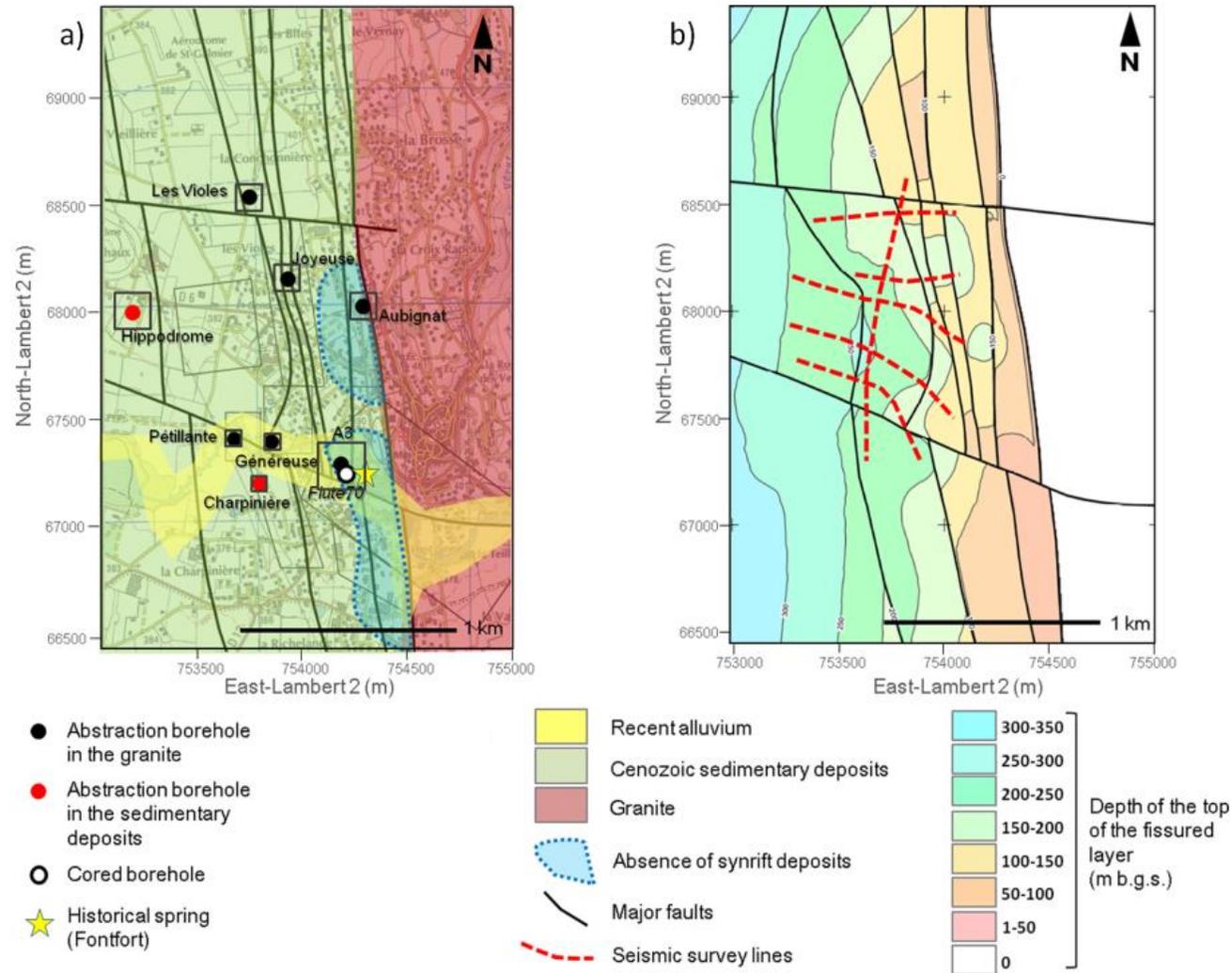


Fig. 4. a) Simplified geological and structural sketch (projected at the ground surface) of the narrow area deduced from the 3-D geological model. Location of the abstraction boreholes within the area and their mean pumping rates. Location of the historical spring (Fontfort) and the cored borehole (Flute 70); b) depth of the top of the granite' fractured layer and structural sketch at the top of the fractured layer. Location of the seismic survey lines. Scale in meters (Lambert 2 coordinate system).

Illustration 5 – a) Carte géologique simplifiée ; b) Carte de la profondeur du toit u socle et schéma structural simplifié dans le secteur de St-Galmier (Modifiée de : Dewandel et al., 2017)

2.1.2. Description des terrains présents dans la zone d'étude

Un extrait de la carte géologique harmonisée, à l'échelle 1/50 000, du département de la Loire [BRGM] est disponible en Illustration 6.

Les terrains du socle sont visibles sur :

- la limite orientale de la zone d'étude (monts du Lyonnais) avec la présence de terrains variés, allant de micro-granite et différentes formations détritiques (tufs anthracifères, conglomérats... datant du Viséen) au niveau de Balbigny, en passant par les granites porphyroïdes de Salt-en-Donzy et des monts du Lyonnais ou encore les amphibolites et leptynites présentes sur les affleurements de Bellegarde-en-Forez, pour aller jusqu'au granite alumino-potassique présent à St-Bonnet-les-Oules.
- une faible surface de la limite sud (communes d'Andrézieux et de St-Just), avec la présence d'un leucogranite à deux micas (dit « de Chambles ») ainsi que de micaschistes et paragneiss alumineux de la série du Pilat. Ces dernières ont d'ailleurs été entaillées par la Loire et le Furan.

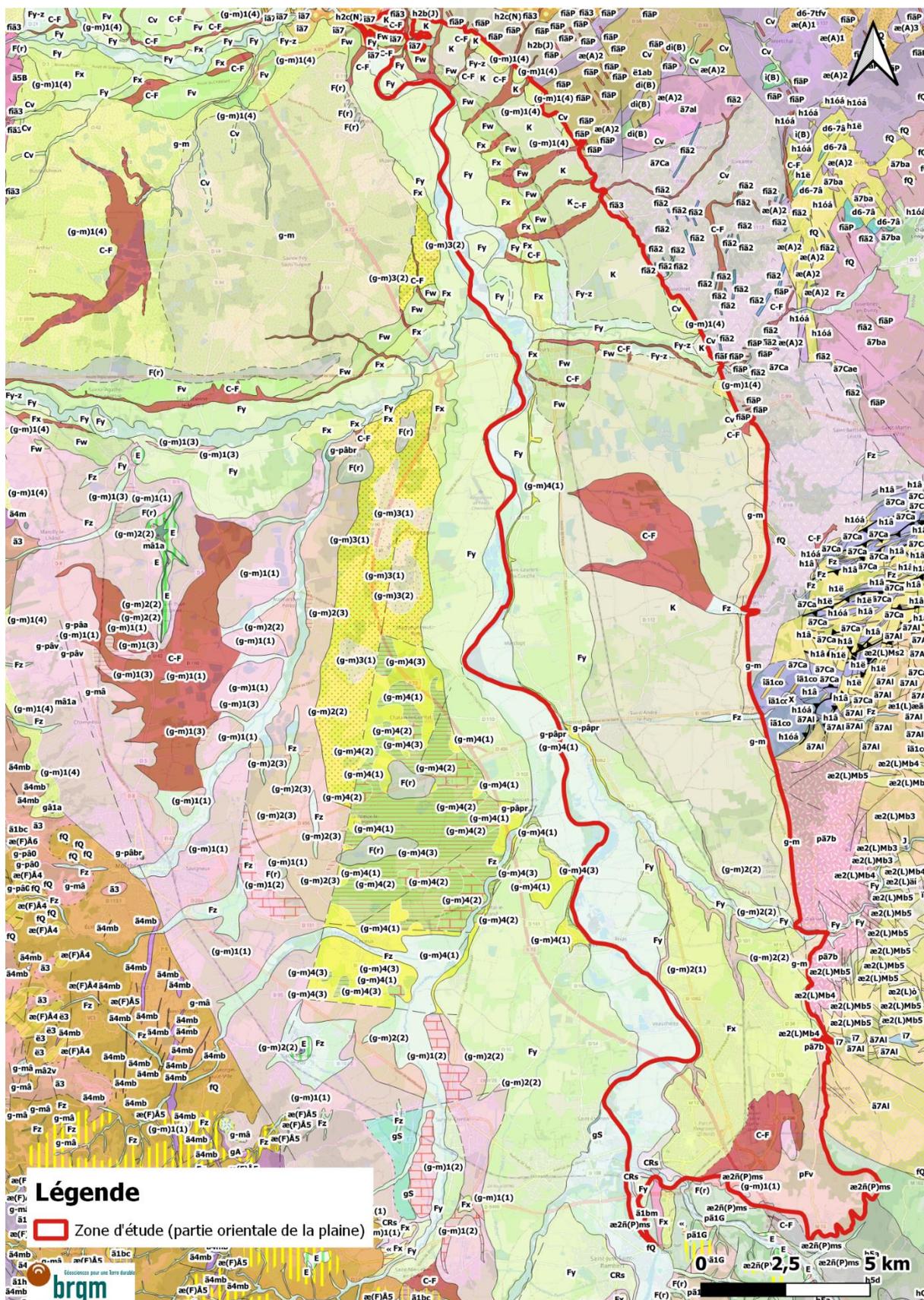


Illustration 6 - Carte géologique harmonisée (Sources : BRGM, OSM)

Légende

 Zone d'étude (partie orientale de la plaine)

Carte géologique harmonisée 1/50000, Loire (BRGM)

-  Cv, Colluvions indifférenciées des bas de versants et des fonds de vallons - 4
-  CRs, Formations résiduelles à matériaux siliceux ; formations de versant (remaniements quaternaire) sur substrat non observé - 5
-  C-F, Colluvions et alluvions indifférenciées - 7
-  F(r), Alluvions anciennes ; nappes très dégradées ou résiduelles : sables et graviers - 10
-  Fz, Alluvions actuelles et subactuelles : limons, sables, graviers et galets - 12
-  K, Complexe de formations superficielles et alluviales, essentiellement de sables et d'argiles tertiaires - 13
-  Gy, Moraines anciennes et récentes. - 16
-  Fy-z, Formations alluviales (sables et graviers) : alluvions actuelles et anciennes indifférenciées - 17
-  Fy, Formations alluviales (sables et graviers) : alluvions anciennes indifférenciées distinguées suivant des critères essentiellement altimétriques - 18
-  Fx, Formations alluviales (sables et graviers) : alluvions anciennes indifférenciées distinguées suivant des critères essentiellement altimétriques - 19
-  Fw, Formations alluviales (sables et graviers) : alluvions anciennes indifférenciées distinguées suivant des critères essentiellement altimétriques - 20
-  Fv, Alluvions anciennes (distinguées suivant des critères essentiellement altimétriques) - 21
-  pFv, Limons et cailloutis (Plio-Quaternaire) - 22
-  g-m, Formations de la bordure orientale, Sables et argiles de Sainte-Foy : argiles, sables et poudingues (Oligo-Miocène indifférencié) - 23
-  (g-m)4(1), 4ème étage "Marnes vertes" : argiles parfois sableuses (Oligo-Miocène) - 24
-  (g-m)4(2), 4ème étage "Marnes vertes" : marnes, calcaires et dolomies (Oligo-Miocène) - 25
-  (g-m)2(1), 2ème étage "Grès de Veauche" : grès et sables (Oligo-Miocène) - 29
-  (g-m)2(2), 2ème étage "Grès de Veauche" : argiles sableuses (Oligo-Miocène) - 30
-  (g-m)1(1), 1er étage "Sables feldspathiques" : sables et argiles sableuses (Oligo-Miocène) - 32
-  (g-m)1(4), 1er étage "Sables feldspathiques" : poudingues de la bordure occidentale du fossé de Montbrison (Oligo-Miocène) - 35
-  g-pâpr, Pépérites (Roches volcaniques et volcano-sédimentaires) - 40
-  ã1bm, Dôme migmatitique du Velay (300Ma Stéphien). Granite à deux micas, leucocrate à mésocrate, péri-Forez. Hercynien.(310-317 Ma) - 68
-  h5a, Assise de Rive de Gier, brèche de base de la Fouillouse (Stéphien inférieur) - 93
-  pã7b, Granite porphyroïde à biotite (Mons du Lyonnais) - 104
-  ã7ba, Monzogranite magnésio-potassique à calco-potassique à biotite et amphibole de St Laurent de Chamousset, de Sarcey et de Mayet-de-Montagne (granites namuro-westphaliens) - 105
-  ã7Ca, Monzogranite calco-alkalin à biotite de Salt en Donzy (Mons du Lyonnais) - 106
-  îã7, Microgranite en stock de Balbigny (Mons du Lyonnais) - 112
-  ã7Al, Granite alumino-potassiques intrusifs synclinématiques (Viséen inférieur - Mons du Lyonnais) - 118
-  h2c(N), Série des tufs anthracifères (Unité de Neaux) : tufs communs (Viséen supérieur) - 129
-  h2b(J), Unité de St-Marcel-l'Éclairé : alternances de siltite, grès et conglomérat (fréquemment à galets de calcaire) (Viséen moyen) - 140
-  h1â, Série volcano-sédimentaire de la Brévenne, magmatisme basique : métagabbros, métadolérites (Tournaisien - 350-360 Ma) - 151
-  é1ab, Série du Beaujolais : Unité de Saint Vérand : Trondhémite albitique de Chindo (Silurien possible à Dévonien probable) - 160
-  æ2(L)Mb4, Unités supérieures des gneiss : complexe métamorphique du Lyonnais : ensemble métasédimentaire basal ; métagrauwackes migmatitiques - 168
-  æ(A)2, Unités inférieures des gneiss : formations métamorphiques d'Affoux ; gneiss illé à rubané : méta-tonalité (socle anté-dévonien) - 191
-  fiãP, Roches filoniennes : Microgranite porphyrique (Viséen supérieur à post Viséen) - 225
-  fiã3, Roches filoniennes : Micro-alaskite porphyrique (Post Viséen) - 226

Remarque : Seules les couches identifiées au sein de la zone d'étude sont présentées dans la légende.

Concernant le remplissage d'âge tertiaire (-34 à -10 Ma), celui-ci est d'origine continentale, issu de l'érosion des reliefs bordant la plaine (monts du Forez à l'ouest, monts du Lyonnais à l'est), et est différent entre les moitiés occidentales et orientales (voir Illustration 7) :

- faciès majoritairement conglomératique et sableux sur les bordures actuelles et dans la partie nord, avec des faciès de piémont alimentés par les reliefs bordiers ;
- argilites et marnes dominantes dans les zones centrale et sud, avec des faciès de plaine d'inondation ou lacustres.

Comme l'indique Le Greil [1984] : « *La granulométrie des alluvions change sans cesse en fonction de l'organisation en lentille du dépôt ; [...] la taille moyenne des particules diminue de bas en haut. Un pavage de blocs, d'autant plus important que l'on se trouve le plus à l'amont de la plaine, marque la base des nappes. Des lentilles de galets emballés dans une lentille de graviers et de sables grossiers viennent ensuite ; elles sont entrecoupées de lentilles sableuses ; rares dans la partie inférieure puis de plus en plus nombreuses. L'ensemble est recouvert au niveau du lit majeur par une nappe d'alluvions extrêmement fines déposées par les crues actuelles : les chambons.* »

Concernant la partie sud, Gerbe *et al.* [1998] signalent une variabilité latérale des faciès : la bordure orientale présente des faciès sablo-conglomératiques de piémont, alors que des faciès fins palustres à lacustres sont plutôt observés sur la bordure orientale.

Il est à noter que la seule cartographie du mur des sédiments tertiaires, disponible dans la présente zone d'étude, correspond à une interprétation réalisée par CPGF, probablement réalisée suite à des reconnaissances géophysiques en 1976-1977, sur un secteur allant de Montrond-les-Bains à Chamboeuf [Ré-Bahuaud, 2012]. Un travail de réinterprétation de données géologiques a également été réalisée par l'EMSE en 1997 [Ré-Bahuaud, 2012] à l'ouest de Balbigny. Une surface réduite (au regard de la zone d'étude) du toit du socle a été plus récemment cartographiée par différentes méthodes géophysiques [Portal *et al.*, 2017 ; Dewandel *et al.*, 2017] et a permis de confirmer l'existence d'un horizon altéré dans la partie supérieure du socle, ainsi que la présence de failles.

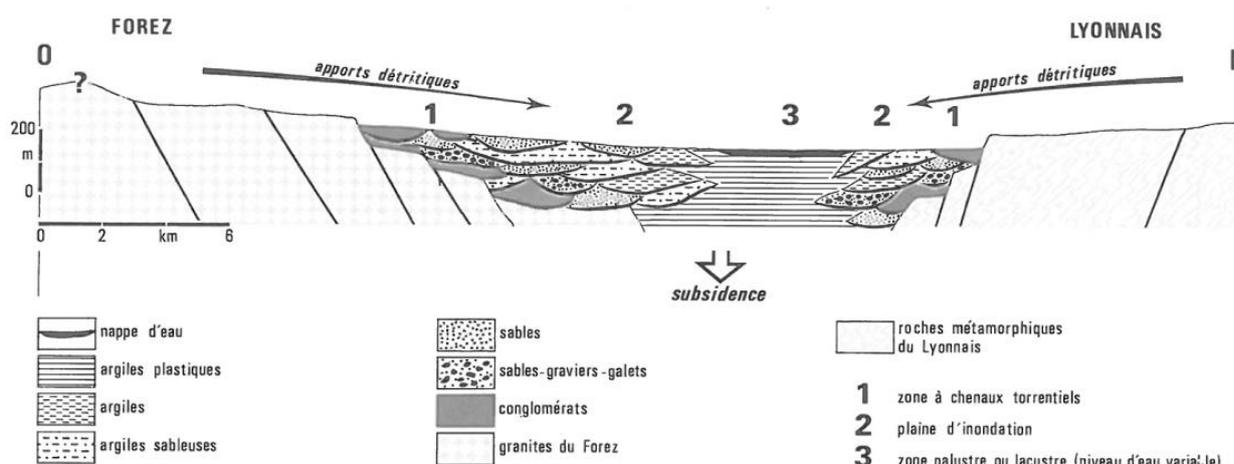


Illustration 7 - Coupe schématique du remplissage tertiaire (Source: Le Greil, 1984)

Bien plus présent dans la partie occidentale de la plaine (hors zone d'étude) que dans la partie orientale, le volcanisme reste difficile à dater selon la notice de la carte géologique [Dhellemmes *et al.*, 1974] : les éruptions auraient débuté à l'Oligocène (-33,9 à -23 Ma) et se seraient terminées au Pliocène (-5,3 à -2,6 Ma). Elles sont donc concomitantes du remplissage progressif du bassin du Forez (Illustration 8). Dans la partie orientale, le seul témoin de cet épisode correspond à un dyke (filon volcanique remontant à travers plusieurs formations géologiques) formé de pépérites à Montrond-les-Bains. La taille de l'édifice volcanique est assez réduite, et forme un cercle de moins de 100 m de diamètre, sur lequel se trouve un château. Le dyke est ici composé de roches pyroclastiques résultant d'un phréatomagmatisme (rencontre entre la lave et l'eau), qui se présentent sous la forme d'un mélange de débris de roche sédimentaire (marne, calcaire), de billes ou granules de verre basaltique (de couleur brune à noire, ressemblant à des grains de poivre – *peperino* signifiant *poivre* en italien) et de petits blocs de lave basaltique. Il semblerait qu'un autre affleurement pyroclastique soit présent en bord de Loire, 150 m vers l'ouest.

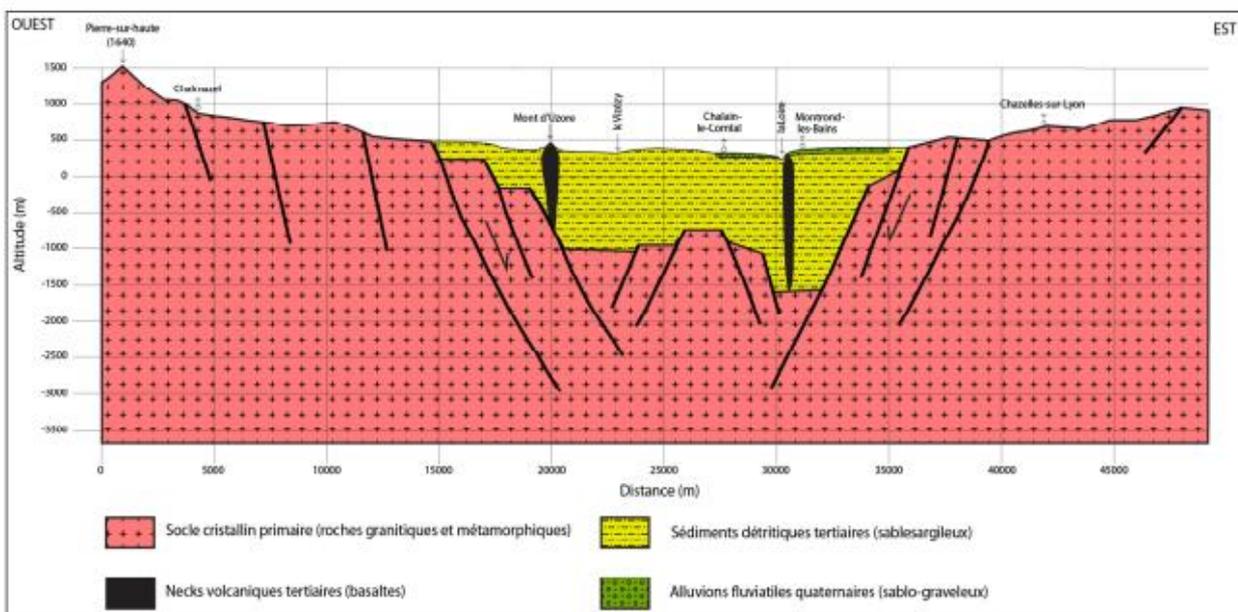


Illustration 8 - Coupe schématique du fossé du Forez faisant apparaître les remontées volcaniques (Source : Ré-Bahuaud, modifiée de Ech-Cherif El Khetani, 1996)

À une période plus récente (Quaternaire ; -2,6 Ma), l'alternance d'épisodes glaciaires a façonné la partie la plus superficielle des sédiments présents dans la zone d'étude. Ré-Bahuaud [2012] présente de façon synthétique les conséquences géomorphologiques et géologiques encore visibles sur le paysage actuel avec la formation de deux types de terrasses :

- Les terrasses sont dites « étagées » lorsque l'incision est suffisamment intense pour mettre à nu le substrat tertiaire entre deux périodes glaciaires (par exemple la limite entre les alluvions récentes et la terrasse de Feurs) ;
- Les terrasses sont dites « emboîtées » lorsque l'incision est moins importante et qu'il reste une certaine continuité entre deux dépôts successifs (par exemple la limite entre la terrasse de Montrond et la terrasse de Feurs).

Les différents auteurs [Couette, 2000 ; Le Griel, 1984] s'accordent sur l'existence de 6 terrasses (appelées aussi paliers), voire 7 en incluant une terrasse résiduelle au sud de Saint-Just-Saint-Rambert [Ré-Bahuaud, 2012]. Ces 6 terrasses représenteraient une puissance de creusement

de l'ordre de 75 m [Couette, 2000 ; Le Griel, 1984. Il est important de souligner qu'il n'y a pas de symétrie concernant ces terrasses entre la rives droite et gauche de la Loire (Illustration 9).

Bien que la granulométrie des alluvions varie dans l'espace, leur composition des éléments les plus grossiers (galets de 5 à 10 cm de grand axe) reste relativement constante : 55% de granite, 17% de roches métamorphiques, 15% de basalte (roche volcanique), 7% de phonolite (roche volcanique) et 6% de quartz [Le Greil, 1984].

En complément, concernant l'étude de la partie superficielle, une autre étude BRGM [Bertin, 2007 ; BRGM/RP-55068-FR] mentionne l'existence de nombreuses études géophysiques réalisées par CPGF entre 1968 et 1985 à l'échelle de la zone d'étude (Annexe 1 - Bibliographie complémentaire). Seules certaines d'entre elles ont pu être consultées dans le cadre de la présente étude. L'étude CPGF Horizon [2021] permet également de synthétiser les connaissances les plus récentes dans le secteur des captages de St-André-le-Puy.

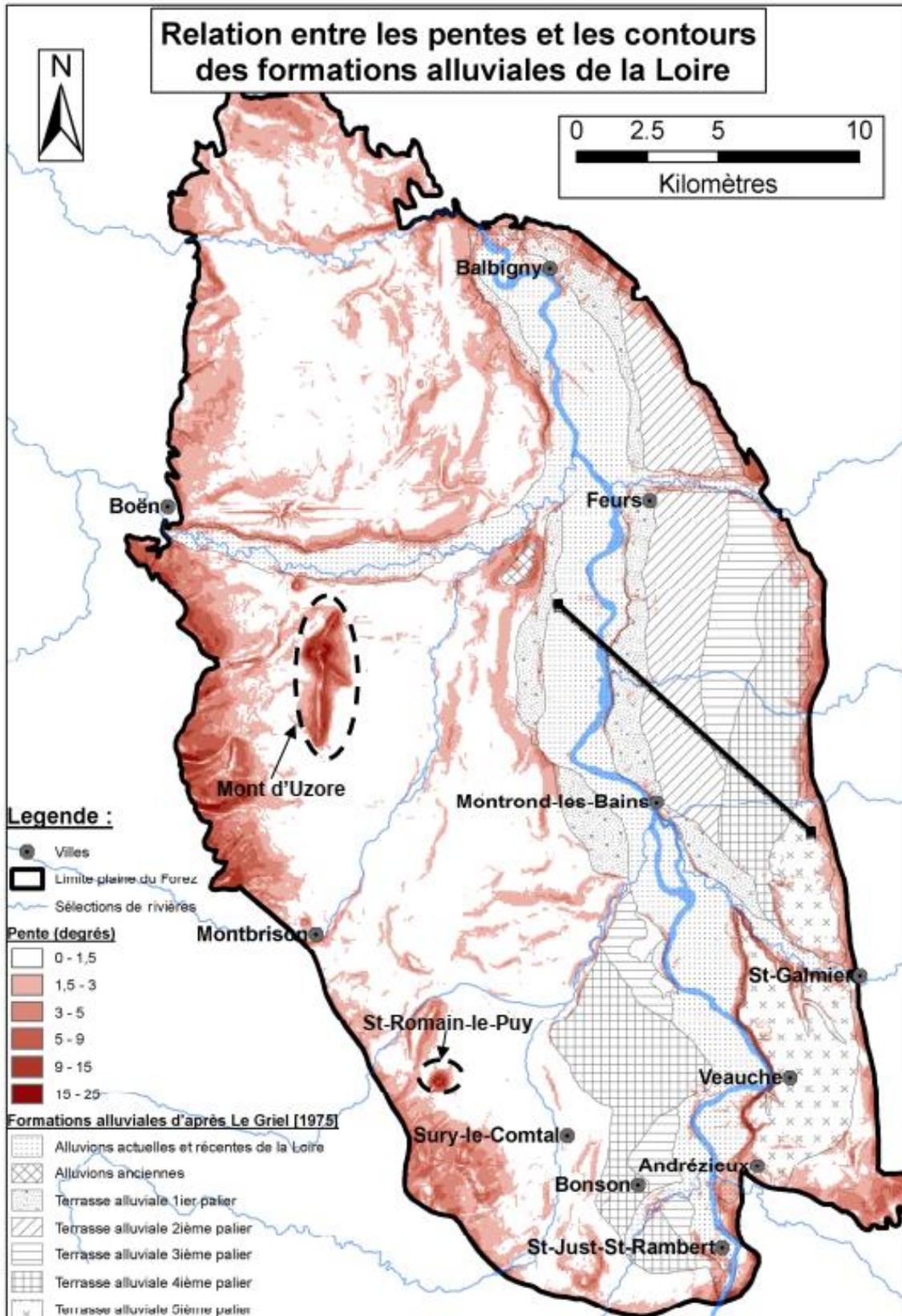


Illustration 9 - Relation entre les pentes et les contours des formations géologiques superficielles (Ré-Bahaud, 2012)

La coupe schématique suivante illustre bien la succession de terrasses pour la présente zone d'étude :

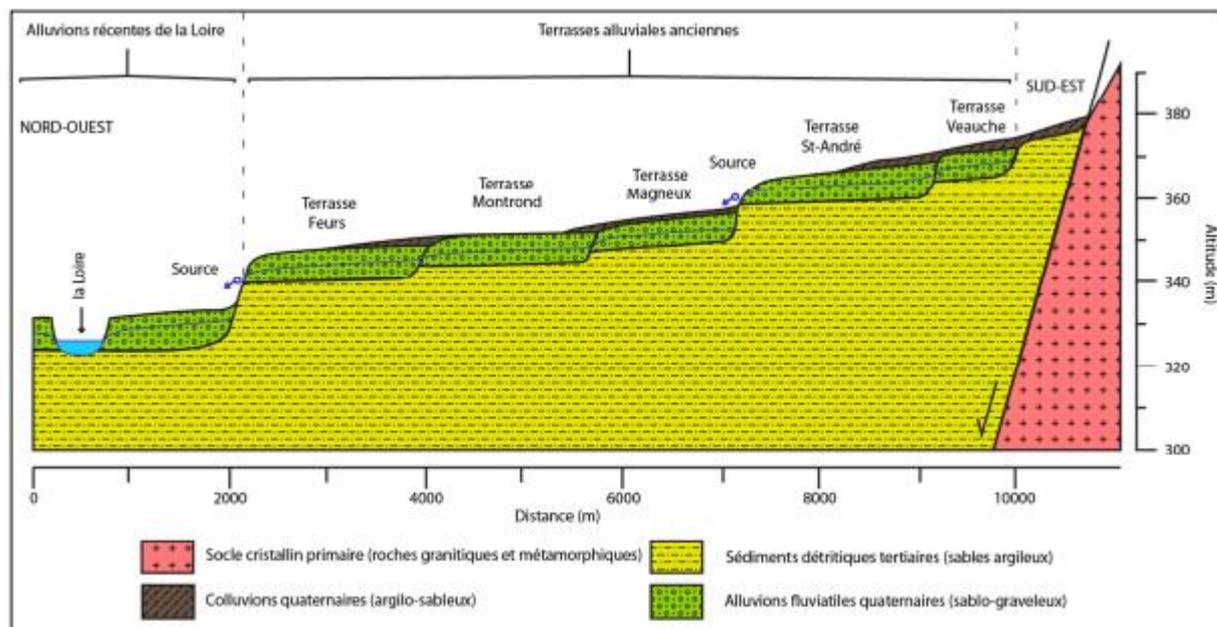


Illustration 10 - Coupe géologique schématique NO/SE des formations alluviales en rive droite de la Loire au niveau du trait de coupe de l'illustration précédente (Source : Ré-Bahuaud, 2012 ; inspirée de Le Greil, 1975)

2.1.3. Données de forages

Un export de la Banque du Sous-Sol (BSS) permet d'avoir une approche différente de la connaissance du sous-sol à l'échelle locale : 627⁴ ouvrages (puits, forage, sondage, etc.) sont disponibles sur [Infoterre](https://infoterre.brgm.fr/). La répartition des ouvrages est relativement homogène, à l'exception des secteurs plus denses de St-Galmier et Montrond-les-Bains (Illustration 11). Ces deux secteurs sont également ceux où les ouvrages les plus profonds sont les plus nombreux (> 100 m) car des travaux ont été réalisés pour prospector les eaux souterraines les plus profondes au cours des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles. (voir § 2.3.4). La grande majorité des ouvrages a une profondeur comprise entre 0 et 20 m (Illustration 12). L'étude des objectifs de certains forages met également en évidence la recherche d'uranium.

Il est à noter que, d'après l'inventaire tenu par la DDT 42 concernant les forages domestiques⁵, 16 % des communes du département de la Loire ont un compte sur la plateforme de déclaration des forages domestiques (declaration.forages-domestiques.gouv.fr). Cette proportion passe à 25 % pour les seules communes de la présente zone d'étude (§ 2.3.5).

⁴ Lors du COSUI 1, le chiffre de 584 ouvrages avait été indiqué. Cette augmentation est en partie due au travail réalisé par le BRGM, spécifiquement pour la présente étude. Plus de 60 ouvrages avaient ainsi été mis à jour et/ou créés durant l'été 2022 ; ce travail s'est poursuivi durant l'automne.

⁵ Un prélèvement domestique au sens de l'article R.214-5 du Code de l'Environnement correspond à un prélèvement inférieur à 1000 m³/an en cumulant tous les prélèvements du même pétitionnaire. La preuve que le prélèvement est inférieur à 1000 m³/an doit pouvoir être apportée par le pétitionnaire (pose d'un compteur). [Source : loire.gouv.fr]

Dans un passé récent, les études hydrogéologiques portées par les producteurs d'eau potable dans les secteurs de Balbigny et de St-André le Puy (ex : CPGF Horizon, 2021) ont inclus un recensement des ouvrages souterrains. Une partie d'entre eux ne figure pas dans la BSS (§ 2.3.3).

Les forages les plus profonds de la zone d'étude ne permettent pas facilement de réaliser des correspondances en étudiant leur coupe géologique respective : les faciès rencontrés sont très majoritairement argileux (avec des teintes variées) en alternance avec des horizons sableux, voire parfois avec des bancs indurés ([BSS001UNXK](#) à Bellegarde-en-Forez) gréseux ou calcaires ([BSS001TEST](#) à Feurs). Au-delà de l'alternance de terrains argileux et sableux (en lien avec un remplissage sédimentaire d'origine continentale précédemment décrit), l'étude de 6 forages répartis dans différents secteurs de la zone d'étude (Tableau 1 et Illustration 13) apportent les informations suivantes :

- L'existence de plusieurs bancs sablo-marneux plus ou moins indurés, souvent d'épaisseur sub-métrique, est mentionnée sur plusieurs coupes (« grès de Veauche » au [BSS001UNUZ](#), « calcaire marno-sableux » au [BSS001TEST](#))
- Rares sont les forages atteignant le socle au sein de la zone d'étude. Le forage [BSS001UNXK](#) (ancien code : 07208X0170/CERISE), appelé aussi « forage Ceriset » situé à Bellegarde-en-Forez et exploité par la SAEME / DANONE, atteint le socle (appelé aussi *substratum*), ici un granite, vers 377 m de profondeur (soit env. 11 m NGF), voire vers 353 m de profondeur si on considère l'horizon altéré sus-jacent (soit env. 32 m NGF). Or, ce forage se trouve seulement à une distance approximative de 700 m du bord oriental de la plaine, constitué par un granite à biotite. Situé non loin de la limite septentrionale de la zone d'étude, le forage BSS003RZKA atteint un granite gris dur vers 90 m de profondeur (soit 247 m NGF). Ce dernier est exploité pour un usage AEP (§ 2.3.3 b).
- Les arrivées d'eaux souterraines ne sont pas nécessairement qualifiées (niveau d'eau ou pression, débit, température, conductivité, etc) ;
- Certaines coupes permettent l'identification de milieux « réducteurs » ([BSS001UMYZ](#) à St-Laurent-la-Conche), non nécessairement reliée à la présence de H₂S et de pyrite ([BSS001TEST](#) à Feurs).

Remarque : Une sélection des coupes des ouvrages précédemment cités est disponible en 9 – Annexe 2.

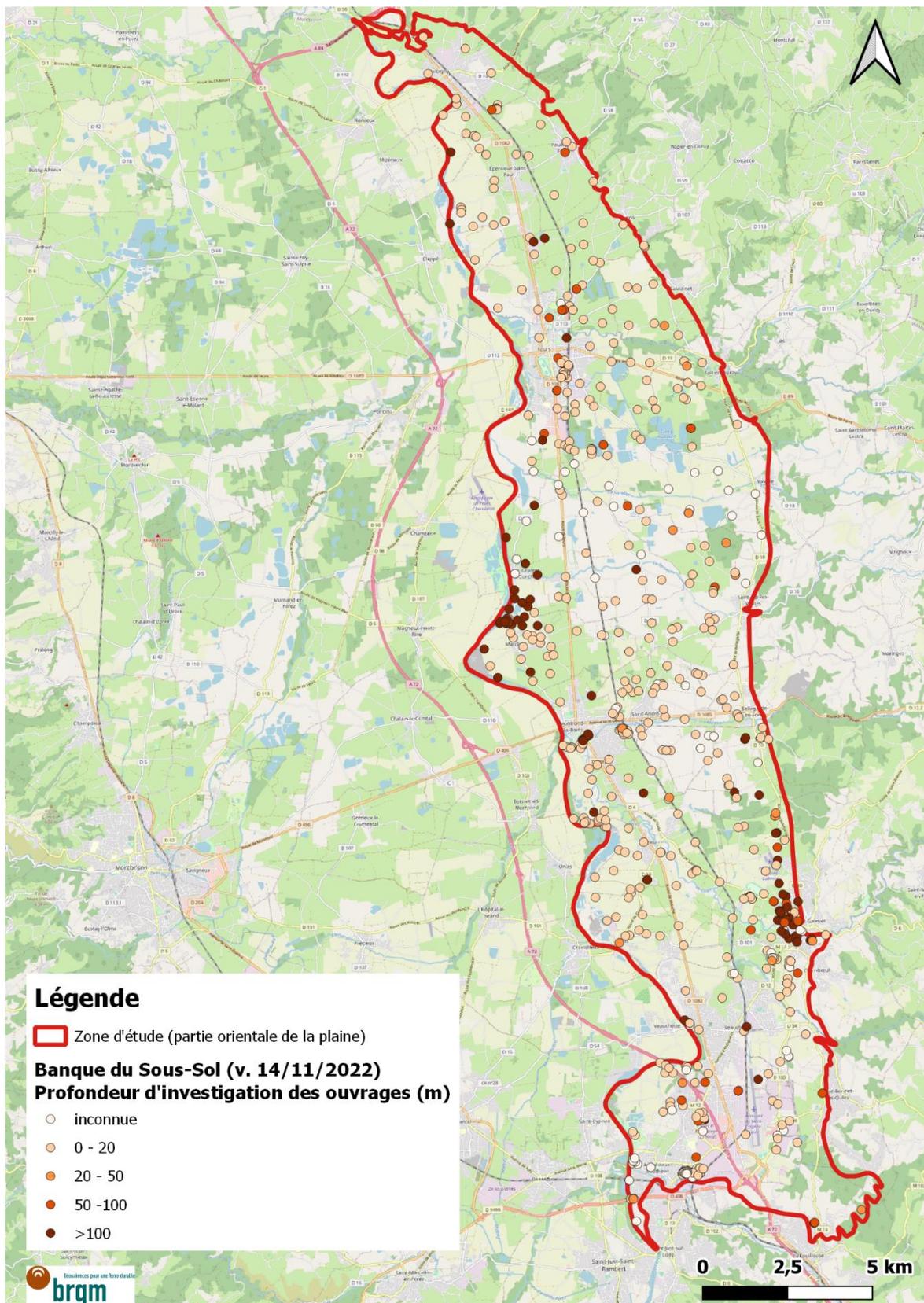


Illustration 11 - Répartition des ouvrages déclarés et enregistrés en BSS (Source: BRGM, Infoterre consultée le 14/11/2022)

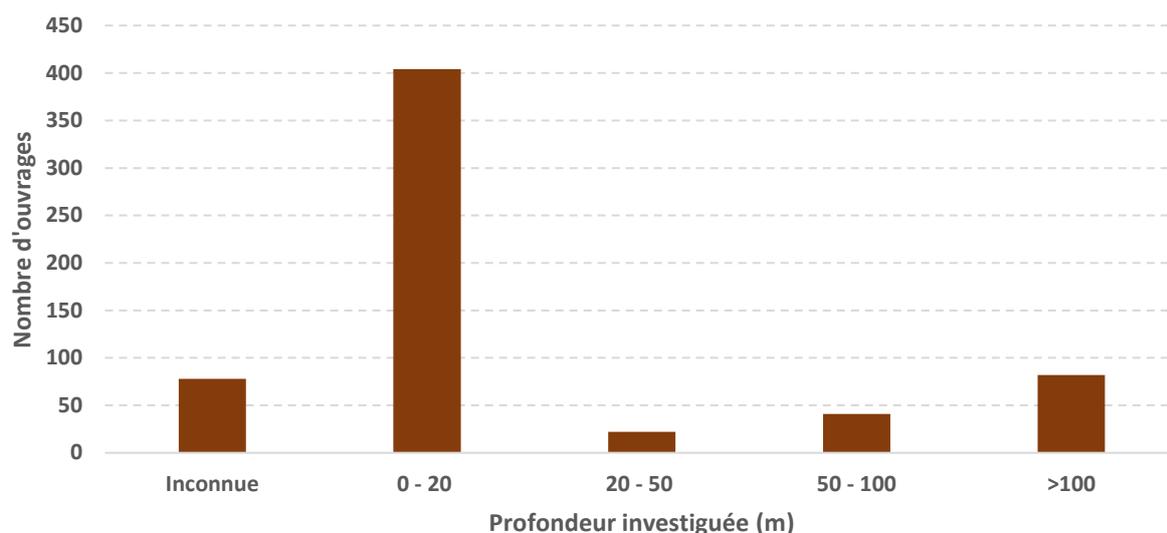


Illustration 12 - Graphique illustrant le nombre d'ouvrages par classe de profondeur (Source: BRGM, Infoterre)

Code BSS	Nom de la commune	Type	Prof. investiguée (m)	Usage ou Objet de la recherche
BSS001UMZA	Montrond-les-Bains	forage	559,5	Eau minérale
BSS001UNXK	Bellegarde-en-Forez	forage	448,25	Embouteillage
BSS001UNYB	Saint-Galmier	forage	381	Embouteillage
BSS001UNUZ	Veauche	forage	370	Eau
BSS001TEST	Feurs	forage	270	Eau
BSS001UMYZ	Saint-Laurent-la-Conche	sondage	251	Uranium

Tableau 1 - Extrait des caractéristiques d'une sélection parmi les 20 ouvrages les plus profonds, et répartis dans différents secteurs de la zone d'étude (Source: BRGM, Infoterre)

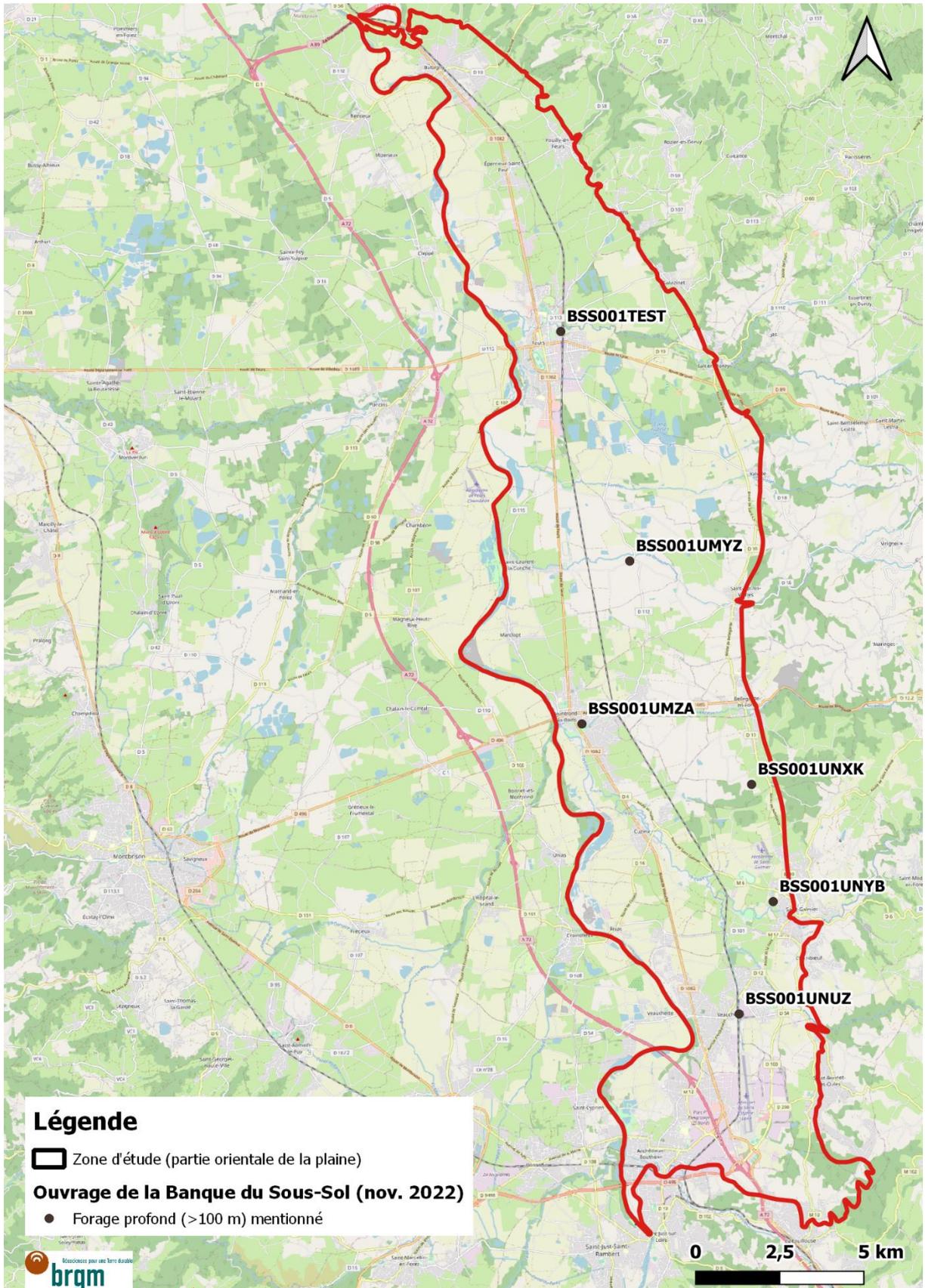


Illustration 13 - Localisation des ouvrages profonds mentionnés (Source: BRGM, Infoterre consultée le 14/11/2022)

Faute d'étude géophysique à l'échelle de la partie orientale de la plaine, le faible nombre de forages profonds et la non-atteinte du *substratum* expliquent clairement la difficulté d'obtenir des informations sur la géométrie (le « fonds ») de la plaine sédimentaire du Forez. Ceci a donc aussi un impact sur la compréhension des écoulements souterrains au sein des formations tertiaires (communication ou compartimentation entre les horizons sableux, ascendance des flux depuis le socle vers la surface, etc).

La thèse de Ré-Bahuaud [2012] résume correctement la difficulté que représentent le sous-sol du secteur d'étude : « *Malgré quelques divergences d'interprétations, les différents auteurs s'accordent sur les difficultés rencontrées, d'une part, pour dater précisément les dépôts tertiaires (peu ou pas de marqueurs chronostratigraphiques) et d'autre part, pour discriminer certains dépôts les uns vis-à-vis des autres du fait de la monotonie et du peu de contraste des formations continentales. [...] Ces difficultés ont notamment des répercussions sur la différenciation entre formations d'âges tertiaires entres elles mais aussi de la différenciation entre formations d'âges tertiaires et [...] quaternaires (alluvions et colluvions).* » Ces propos sont similaires à ceux de Le Greil [1984].

2.2. HYDROGEOLOGIE

2.2.1. Introduction et bilan hydrique

La zone d'étude est caractérisée par un climat continental : les hivers sont froids et secs et les étés chauds (Illustration 14 et Illustration 15). La plaine est, généralement, moins arrosée par les pluies (env. 700 mm/an) que les monts du Lyonnais (env. 900 mm/an) [Gal, 2005 ; Ré-Bahuaud, 2012]. En effet, la plaine du Forez est abritée des régimes océaniques par les Monts du Forez (à l'ouest), et protégée des flux de sud par le massif du Pilat [Ré-Bahuaud, 2012]. Il est à noter que les relevés de Météo France mettent en évidence une forte disparité entre années sèches et humides (ex: Bouthéon: 490 mm en 1997; 990 mm en 1977). Les pluies les plus importantes ont généralement lieu un peu avant l'été (mai-juin) et à l'automne (septembre à novembre).

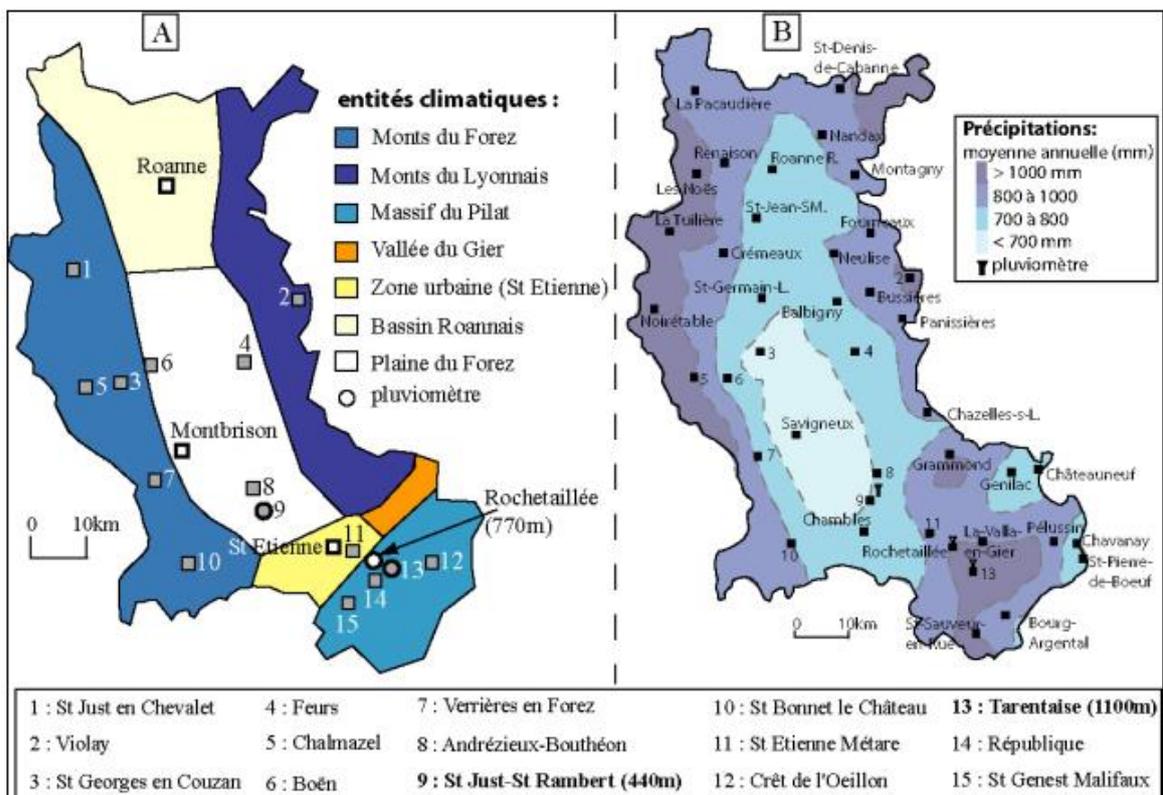


Illustration 14 – A : découpage climatique du département de la Loire (la plaine du Forez est en blanc) ; B : précipitations annuelles (les stations 4 et 8 représentent respectivement Feurs et Andrézieux-Bouthéon) [Gal, 2005]

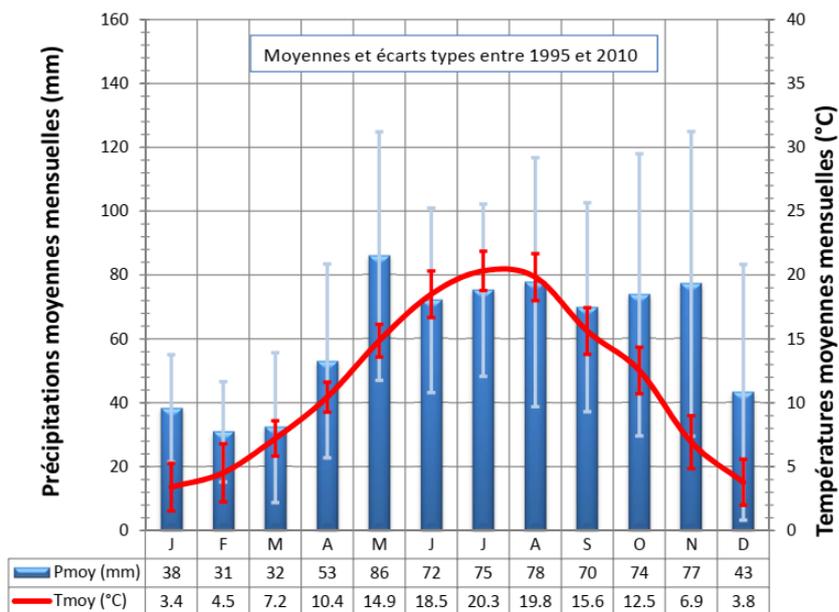


Illustration 15 - Diagramme climatique présentant les précipitations et les températures moyennées sur la période 1995 – 2010 pour la station d'Andrézieux-Bouthéon (Source : Météo France) [Ré-Bahuaud, 2012]

Une fois que la pluie atteint le sol, une partie de l'eau va ruisseler à la surface du sol et potentiellement rejoindre le réseau hydrographique ; l'autre partie va s'infiltrer au niveau du sol et éventuellement traverser le sous-sol (appelé aussi zone non saturée) avant de rejoindre la nappe phréatique. Une partie de l'eau infiltrée dans le sol repartira vers l'atmosphère par évaporation (la quantité sera déterminée par les conditions climatiques : température, ensoleillement, vent...) ou suite à une réutilisation puis transpiration par les végétaux. Ces deux derniers sont généralement considérés conjointement et mentionnés sous le terme d'évapotranspiration. En hydrologie et hydrogéologie, la « pluie efficace » correspond à la fraction d'eau précipitée qui ne repart pas vers l'atmosphère et contribue donc directement aux écoulements superficiels et souterraines à l'échelle d'un bassin versant.

Les étapes décrites précédemment correspondent à une présentation simplifiée du calcul d'un bilan hydrique. Cet exercice est souvent nécessaire en hydrogéologie, comme le montrent les travaux de Gal [2005] et Ré-Bahuaud [2012]. Le calcul de la pluie efficace permet donc d'approcher la quantité d'eau venant réellement recharger les eaux souterraines ; celle-ci variant en fonction du type de sols, des conditions climatiques, etc.

Gal [2005] pointe l'existence d'une forte variabilité de la pluie efficace à l'échelle interannuelle (Tableau 2). Ré-Bahuaud [2012] a utilisé des valeurs correspondant à des moyennes arrondies (Tableau 3), tout en reconnaissant que les hypothèses prises pouvaient entraîner des sous- et sur-estimations de la valeur de la pluie efficace, pour ses besoins en modélisation. Des résultats à l'échelle mensuelle sont également disponibles (Tableau 4).

Septembre à Août	Pluies efficaces / Normale pluviométrique (%)	Normale de référence
1998 – 1999	110 à 130%	1946 – 1999
1999 – 2000	env. 100%, soit une quantité de pluie efficace de : 50-200mm en plaine 400-800mm massifs	1946 – 2000
2000 – 2001	110 à 130%, soit une quantité de pluie efficace de : 100-200mm en plaine 400-800mm massifs	1946 – 2000
2001 – 2002	jusqu'à 10% en plaine, soit une quantité de pluie efficace de : 0-25mm en plaine 100-600mm massifs	1946 – 2001
2002 – 2003	150 à 200% en plaine 100 à 130% sur les massifs	1946 – 2002
2003 – 2004	env. 130% (sommets) > 200% (plaine)	1946 – 2003

Tableau 2 - Répartition des pluies efficaces dans le département de la Loire entre 1998 et 2003 (Source : Gal, 2005)

	Cleppé	Montrond	Chalain	Saint-Galmier
RU ajustée (mm)	30	40	200	300
I _{eff} moyenne annuelle (mm)	335	300	175	135
Ratio I _{eff} /P	0,45	0,42	0,24	0,19

Tableau 3 - Récapitulatif du paramétrage de la Réserve Utile (RU) conditionnant la recharge d'origine superficielle (I_{eff}) moyenne annuelle (moyenne calculée entre 1995 et 2011) et le ratio infiltration efficace (I_{eff}) sur pluie moyenne annuelle (P) (Source : Ré-Bahuaud, 2012)

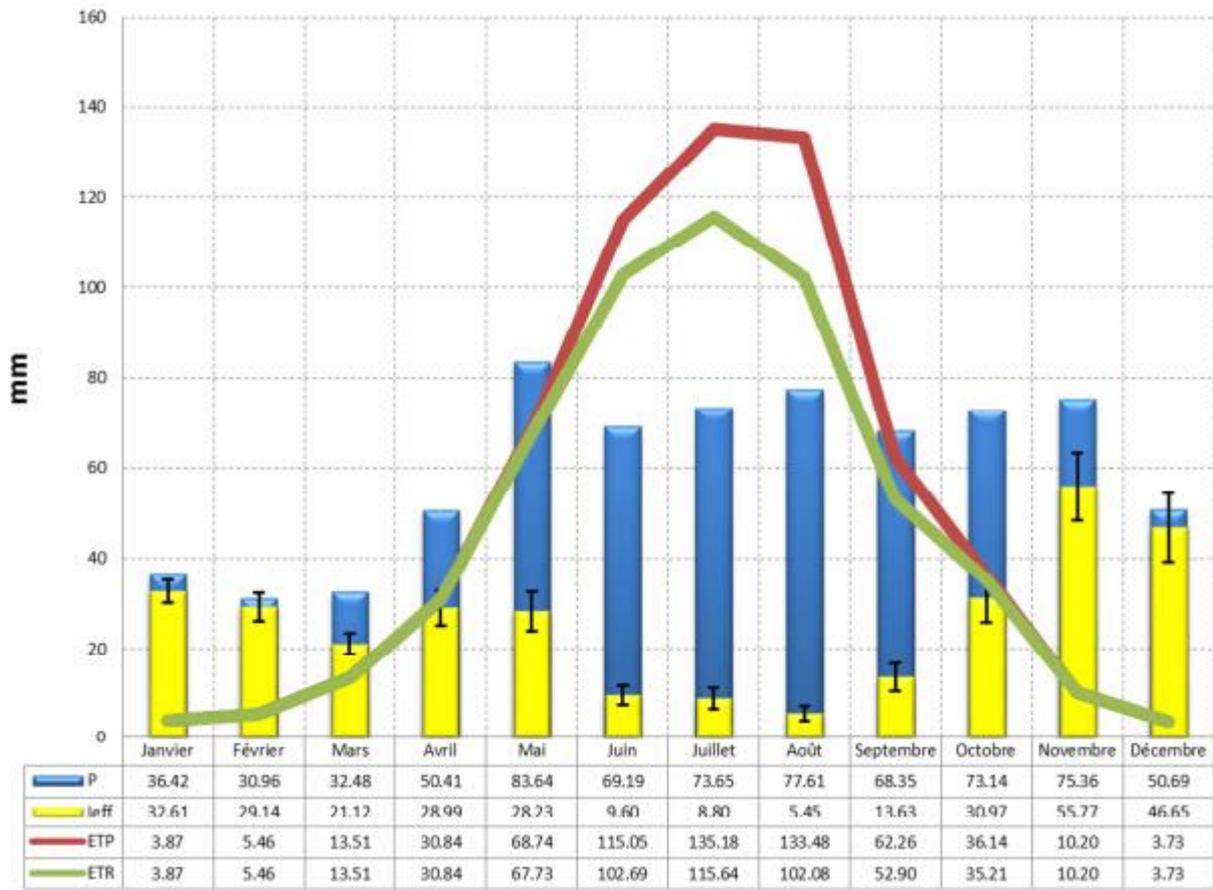


Tableau 4 - Bilan hydrique mensuel moyen (moyenne sur 1995-2011) pour un sol dont la RU est de 40 mm de type Montrond. Les courbes de couleur rouge et verte correspondent respectivement à l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne mensuelle et l'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne mensuelle. Les histogrammes de couleur bleue et jaune correspondent respectivement à la pluie (P) moyenne mensuelle et l'infiltration efficace (I_{eff}) moyenne mensuelle. Les barres d'erreur correspondent à l'écart type des valeurs d'infiltration efficace pour les 7 années de considérées. (Source : Ré-Bahuaud, 2012)

CPGF Horizon [2021] a calculé la pluie efficace dans le secteur du St-André-le-Puy ; la moyenne serait de 102 mm/an sur la période 2008-2017. En parallèle, la capacité de ruissellement a été estimée à 73 mm/an (soit une infiltration moyenne de 29 mm/an).

Pour le secteur de Balbigny (situé plus au nord), TAUW [2011] a calculé un cumul d'infiltration (à partir de moyennes mensuelles) de 188 mm/an. Le ruissellement a été estimé à environ 10% des précipitations totales

Il est important de noter que ces éléments sont nécessaires mais néanmoins insuffisants, pour réaliser un bilan hydrique à l'échelle de la présente zone d'étude, étant considéré que : les précipitations sont différentes en plaine et sur les reliefs (ces derniers contribuant à l'hydrosystème de la plaine par des apports depuis les cours d'eau et probablement des apports plus en profondeur), le type de sols varie à l'échelle de la plaine (augmentant ou diminuant l'infiltration, respectivement au détriment ou au profit du ruissellement), les échanges possibles avec les cours d'eau, les échanges entre aquifères, etc.

Ré-Bahuaud [2012] considère d'ailleurs que, sur la présente zone d'étude, il est possible d'identifier des secteurs où les écoulements souterrains au sein des formations alluviales peuvent

être classées en régime hydraulique avec une dominante : « libre » (permettant une infiltration directe des eaux météoriques), « pseudo-libre » (celle-ci est limitée par des horizons moins perméables) et « hydrologique » (influencé par un cours d'eau, et ce de façon temporaire ou permanente). L'illustration 16 montre ainsi que le secteur à dominante « libre » serait limité principalement aux 1^{er}, 2nd et 3^{ème} paliers des terrasses au nord de Montrond-les-Bains.

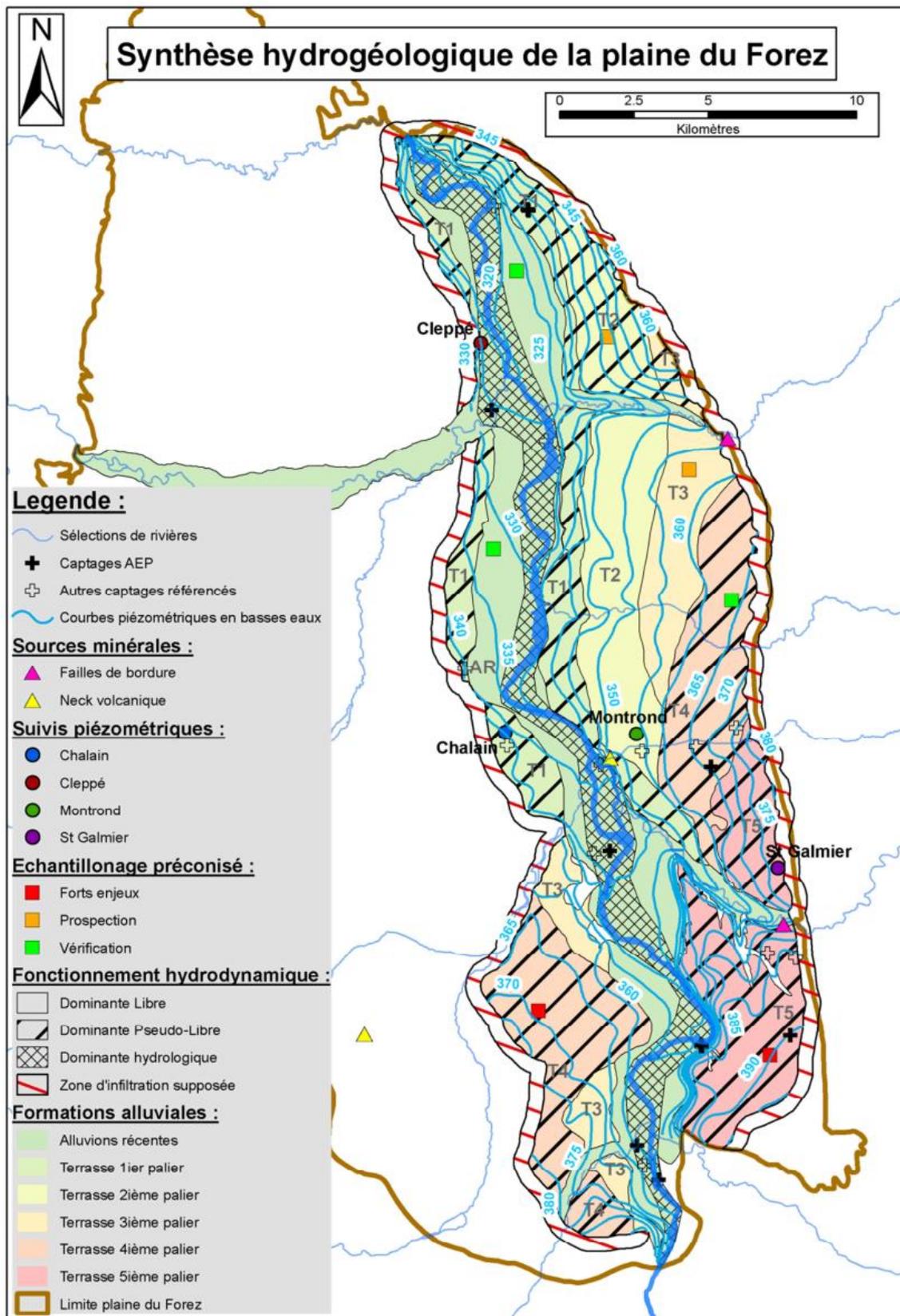


Illustration 16 - Synthèse hydrogéologique des alluvions de la plaine du Forez (Source : Ré-Bahuaud, 2012)

De même que pour la géologie de la zone d'étude (§ 2.1), la thèse de Ré-Bahuaud [2012] souligne la difficulté de délimiter les différents aquifères, et donc d'étudier leur fonctionnement respectif, à partir d'un faible nombre de forages et de la difficulté d'individualiser certaines formations situées en profondeur : « *les grandes hétérogénéités au sein des formations tertiaires rendent difficile la cartographie des zones d'intérêt hydrogéologique et peuvent induire des confusions entre formations d'âge tertiaire et quaternaire. Pour la même raison, il est encore plus difficile de cartographier les niveaux aquifères profonds.* »

2.2.2. Piézométrie

a) Chroniques piézométriques

Remarque : Les données présentées dans le présent sous-chapitre proviennent de la base de données ADES⁶.

Dans le cadre du réseau DCE de surveillance quantitative des eaux souterraines, plusieurs piézomètres sont suivis par le BRGM dans, et à proximité de, la zone présente zone d'étude (Illustration 17).

⁶ ADES est le portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines pour la France métropolitaine et les départements d'outre-mer. Il rassemble sur un site Internet public des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines.



Illustration 17 - Localisation des ouvrages actuels et anciens du réseau piézométrique régional (Source : ADES)

D'une profondeur de 15,3 m, le piézomètre [BSS001UNYH](#) (07208X0197/F1C) situé à St-Galmier serait représentatif de la 5^{ème} terrasse quaternaire [Ré-Bahuaud, 2012]. Les variations du niveau piézométrique sont assez faibles à l'échelle intra-annuelle (moins de 1 m) ; les périodes de basses et hautes eaux semblent peu marquées (Illustration 18). La principale information provenant de l'étude de cette chronique est une tendance à la baisse depuis 2010, de l'ordre de -0,2 m/an (estimation sur les 5 dernières années).

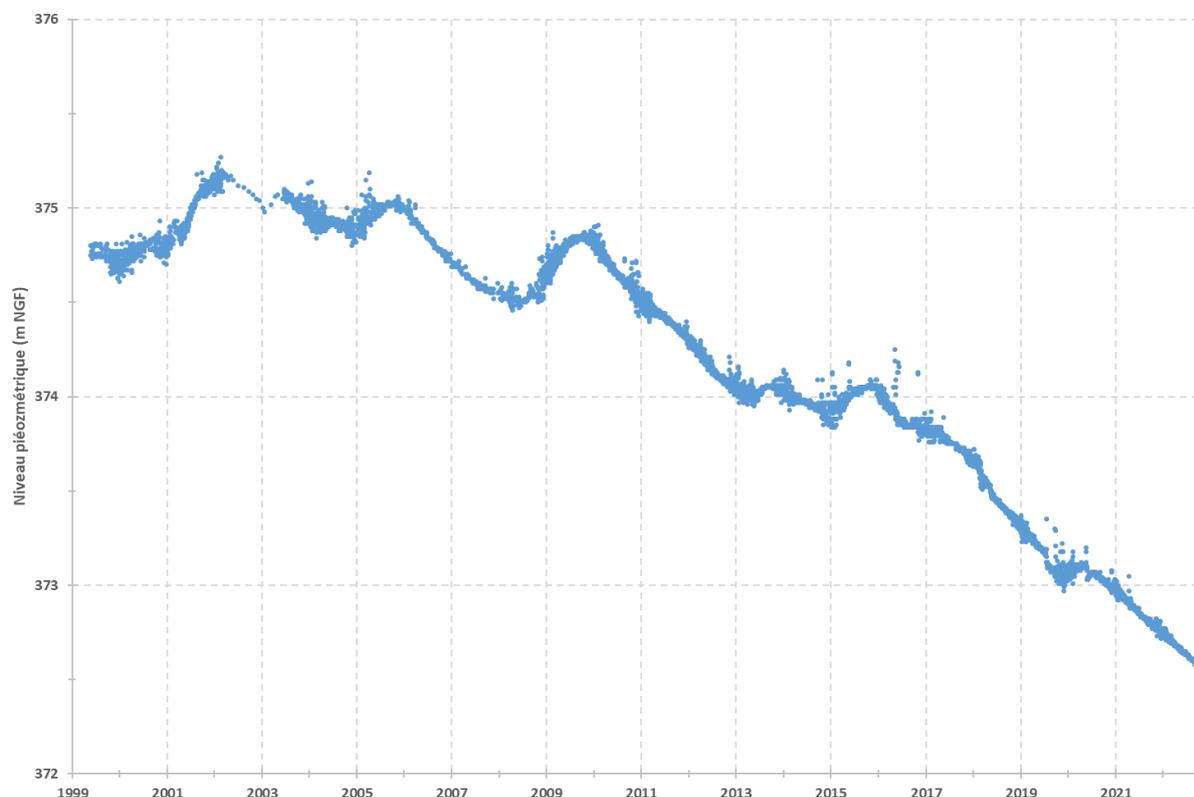


Illustration 18 - Chronique piézométrique du point BSS001UNYH (07208X0197/F1C) à St-Galmier
(Source: BRGM / [ADES](#))

Concernant les courtes hausses du niveau piézométrique, l'explication suivante est apportée par Ré-Bahuaud [2012] : « Il est important de noter que les oscillations rapides des chroniques de Saint-Galmier et de Chalain-le-Comtal ne correspondent pas à un signal de nappe mais constituent en réalité un artéfact lié à l'infiltration directe d'eaux superficielles dans l'ouvrage lors d'épisodes pluvieux intenses (Information issue de la DREAL Rhône-Alpes). »

L'ensemble de ces éléments amène à émettre l'hypothèse que l'aquifère mesuré par cet ouvrage subit un processus physique (relativement) lent entraînant l'effacement des variations rapides attendues lors de précipitations. Cela pourrait être le cas si l'ouvrage était alimenté latéralement (plutôt que par infiltration directe de la pluie), et/ou par un processus lent d'infiltration en raison de la présence d'un horizon faiblement perméable dans la zone non-saturée. Ces hypothèses ont également été proposées par Ré-Bahuaud [2012].

D'une profondeur plus faible (7,68 m) que celui de St-Galmier, le piézomètre [BSS001UNAB](#) (07204X0105/F) situé à St-André-le-Puy serait représentatif de la 2^{ème} terrasse quaternaire [Ré-Bahuaud, 2012]. Les variations du niveau piézométrique sont marquées mais variables à l'échelle intra-annuelle (ex : >2 m en 2009, <1 m en 2016) ; les périodes de basses eaux sont facilement identifiables en observant la chronique alors que les hautes eaux apparaissent souvent entre

décembre et mars, avec parfois un 2nd maximum apparaissant entre mai et juin (Illustration 19). Contrairement au piézomètre précédent, le niveau piézométrique semble relativement stable à l'échelle inter-annuelle (aucune tendance détectée visuellement).

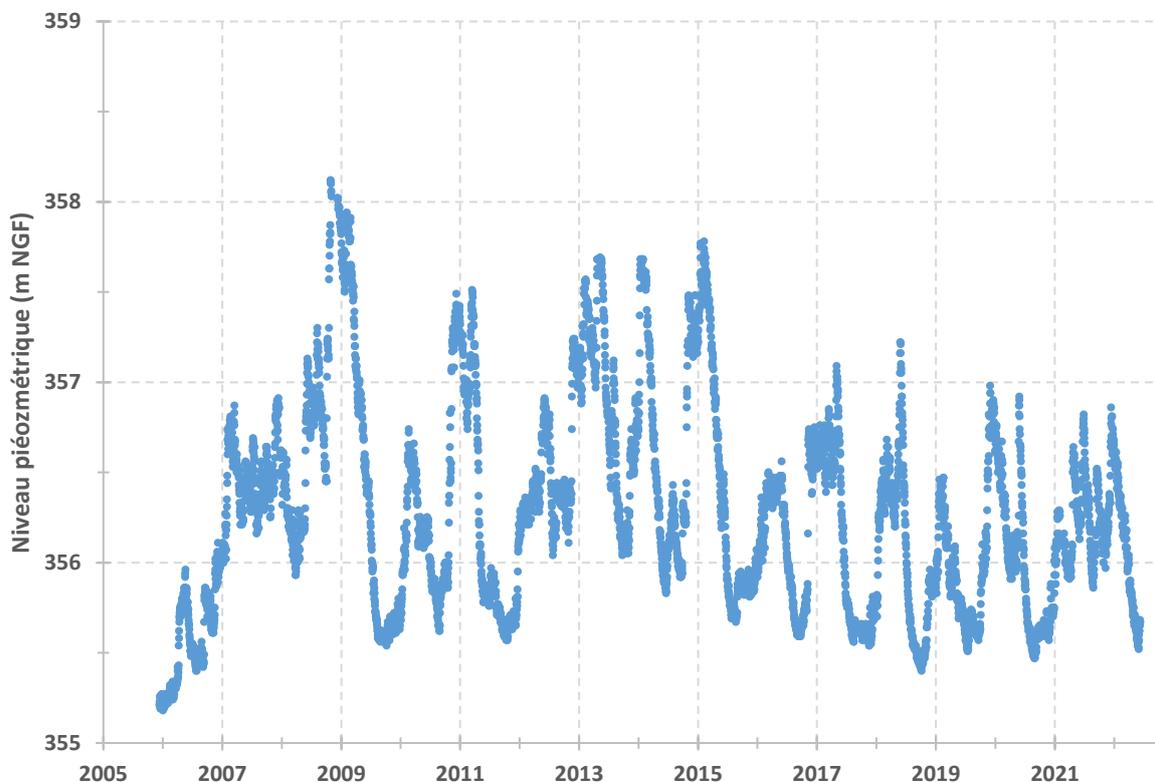


Illustration 19 - Chronique piézométrique du point BSS001UNAB (07204X0105/F) à St-André-le-Puy
(Source: BRGM / [ADES](#))

Ré-Bahuaud [2012] considère que les variations observées dans le piézomètre [BSS001UMZE](#) de Montrond-les-Bains (remplacé par le piézomètre BSS001UNAB précédemment décrit et situé à 50 m de celui-ci) sont « assez bien corrélées à certains épisodes pluvieux avec un certain décalage dans le temps ». Il pointe également la possibilité que la remontée du niveau observé en 2006 corresponde à une influence de l'arrêt d'exploitation d'un ouvrage proche (exploité par le SIVAP jusqu'en 2005).

Le piézomètre BSS001UNAB de St-André-le-Puy semble présenter des caractéristiques piézométriques d'un fonctionnement hydrodynamique en régime libre. La recharge issue des précipitations semble traverser facilement la zone non-saturée (synonyme d'une perméabilité des sols et du sous-sol) puis atteindre la partie saturée de l'aquifère. L'inertie de la réponse piézométrique semble donc plus faible que pour le piézomètre de St-Galmier.

En complément, la synthèse de ses travaux de modélisation des écoulements et d'analyses chimiques (isotopiques), réalisée par Ré-Bahuaud [2012] pour le piézomètre de Montrond-les-Bains, tendraient à démontrer que les eaux de ce piézomètre seraient composées, avec quelques incertitudes, de 1 à 2% d'eaux profondes (comparables à celles captées pour les besoins thermaux à Montrond-les-Bains) et de 98 à 99% d'eaux superficielles (infiltrées rapidement).

Deux autres piézomètres sont également suivis par le BRGM pour le compte de l'OFB, et ce en dehors de la présente zone d'étude : l'un à Chalain-le-Comtal ([BSS001UMVM](#)), l'autre à Cleppé ([BSS001TESR](#), en remplacement de [BSS001TEQZ](#)).

Le SIVAP dispose également de mesures en continu (fréquence : 15 minutes) dans les ouvrages exploités, mais le signal mesuré est influencé par les pompages. Un suivi mensuel sur d'autres ouvrages du même secteur a été réalisé en 1999 [CPGF Horizons, 2021].

En lien avec l'exploitation de gravières en bord de Loire, l'entreprise SAGRA a transmis des informations concernant le suivi réalisé sur 12 piézomètres : leurs données tendraient à montrer une baisse des niveaux piézométriques, de l'ordre de 1 m, depuis 2017, mais la fréquence de mesures transmises (semestrielle) limite la fiabilité de cette information.

Il est également très probable que d'autres industriels (ex : Chaîne Thermale du Soleil, Danone, Lactalis Nestlé Ultra Frais...) disposent d'un suivi piézométrique.

b) Cartes piézométriques

La 1^{ère} carte piézométrique du secteur d'étude date des travaux du BRGM [Collin, 1973 ; BRGM/73-JAL-027], : une carte a été réalisée à l'automne 1970 (correspondant à une période de basses eaux). Réalisée à partir de mesures dans 530 puits agricoles et 25 sondages, elle couvre toute la plaine du Forez (Illustration 20). Concernant la zone d'étude, les principales informations à retenir sont les suivantes :

- La Loire joue un rôle majeur en drainant l'ensemble de l'hydrosystème. Les écoulements se réalisent globalement d'est en ouest ;
- L'influence d'affluents de la Loire (ex : le Volvon, la Coise, la Toranche, le Garollet, la Loise) est conséquente à l'échelle locale (sur une distance de 0,5 à 1 km de part et d'autre du cours d'eau) : les écoulements pouvant se réorienter à la perpendiculaire de l'écoulement général initial. Cette influence est parfois réduite voire inexistante (sur la carte) pour certains d'entre eux (ex : l'Anzieux).



Illustration 20 - Carte piézométrique de la plaine du Forez (Source: Collin, 1973 ; BRGM/73-JAL-027)

La carte réalisée par Ré-Bahuaud [2012] est le résultat d'un travail de compilation de plusieurs sources de données asynchrones (Illustration 21), accompagnées de mesures manuelles en 2009 et 2010, et considère une continuité hydraulique entre chaque formation alluviale et entre les formations alluviales et les cours d'eau. Or, cette continuité n'est pas toujours présente au cours de l'année voire seulement à sens unique (ex : Anzieux, voir § 2.3.3 b)). Cette carte représente l'exercice le plus récent pour tracer des courbes piézométriques à l'échelle de la présente zone d'étude.

A la lecture de cette carte, les informations principales suivantes sont à retenir :

- Le gradient hydraulique est orienté d'est en ouest, plus prononcé en bordure des coteaux et dans la zone sud-est (2%) qu'en se rapprochant de la Loire (4‰) ;
- La Loire et sa nappe d'accompagnement ont une forte influence sur les isopièzes : la Loire constitue un des exutoires principaux (de la zone d'étude). Son écoulement est orienté vers le nord, avec une pente faible (1‰) en comparaison du gradient observé pour les eaux souterraines ;
- Les affluents de la Loire (ex : le Volvon, la Coise, la Toranche, le Garollet, la Loise) ont une influence sur les eaux souterraines à l'échelle locale (0,5 à 1 km de part et d'autre du cours d'eau). Cette influence semble parfois réduite voire inexistante pour certains d'entre eux (ex : l'Anzieux – ce qui va à l'encontre du constat fait dans le cadre d'une étude portée par le SIVAP).

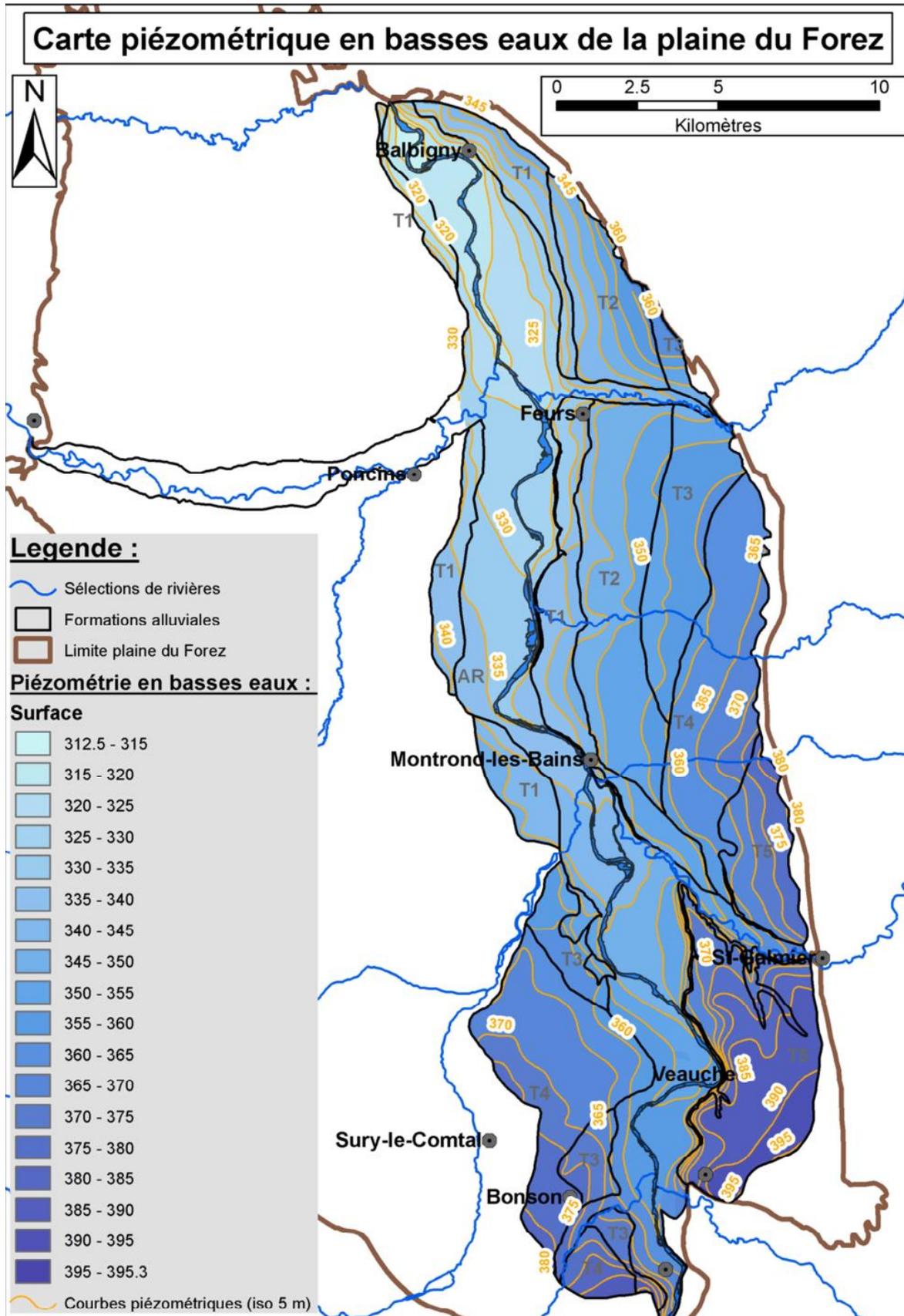


Illustration 21 - Carte piézométrique (asynchrone) en basses eaux de la plaine du Forez (Source : Ré-Bahaud, 2012)

En 2003, une carte piézométrique locale a été réalisée au droit du captage [BSS001VLEX](#) (appelée « La Merlée ») utilisée pour l'alimentation en eau potable [SAUNIER ENVIRONNEMENT, 2003] (§ 2.3.3 a). Elle montre que cet ouvrage AEP draine à la fois la Loire et les eaux souterraines provenant de sa rive droite.

Les producteurs d'eau potable dans les secteurs de Balbigny et de St-André-le-Puy (§ 2.3.3 b) et c)) disposent aussi de cartes piézométriques plus précises, plus récentes et sur des surfaces plus étendues. Ces dernières font référence dans les secteurs mentionnés.

En lien avec l'exploitation de gravières en bord de Loire, l'entreprise SAGRA dispose également d'une carte piézométrique pour les « hautes eaux de juin 2013 » dans le secteur de Rivas [document non référencé]. Réalisée à partir de douze piézomètres (non enregistrés en BSS), celle-ci montre clairement des écoulements en direction de la Loire, cette dernière jouant donc le rôle de drain.

c) *Fonctionnement et influence des cours d'eau sur la nappe*

Remarque : Comme indiqué précédemment (§1), une étude HMUC (Hydrologie Milieux Usages Climat) est actuellement portée par le SAGE LRA et devrait fournir des informations plus précises sur les eaux superficielles à l'échelle de la zone d'étude.

La zone d'étude est traversée par plusieurs cours d'eau, dont la majorité s'écoule d'est en ouest (ex : Loise) ou du sud vers le nord (ex : Loire). D'après la BD TOPAGE⁷, 10 bassins versants topographiques sont concernés (d'amont en aval vis-à-vis de la Loire ; soit du sud au nord) :

- Ceux de la Loire du barrage de Grangent au Furan, ainsi que du Furan et de ses affluents sont jugés négligeables en raison de la faible surface qu'ils représentent ;
- La Loire du Bonson à la Mare (seulement sa partie en rive droite ; proche de Bouthéon), ainsi que de la Coise au Gand (seulement en partie droite aussi ; proche de Montrond-les-Bains), puis du Gand à la Loise ;
- La Coise du Bilaise au bras entre Loire et Coise, puis du bras entre Loire et Coise jusqu'à la Loire
- La Loise et ses affluents ;
- La Loire du Lignon au Beal, puis du Beal à l'Aix.

Aucun de ces bassins versants n'est contenu intégralement dans le territoire de la zone d'étude (Illustration 22) ; le constat est identique en descendant à l'échelle d'affluents (ex : la Toranche, le Garrolet, etc). Pour une majorité d'entre eux, les têtes de bassin versant sont situées en dehors de la limite orientale, à proximité des monts du Lyonnais.

⁷ Le projet BD TOPAGE® vise à produire le nouveau référentiel hydrographique français, en remplacement du référentiel actuel, la BD CARTHAGE®.

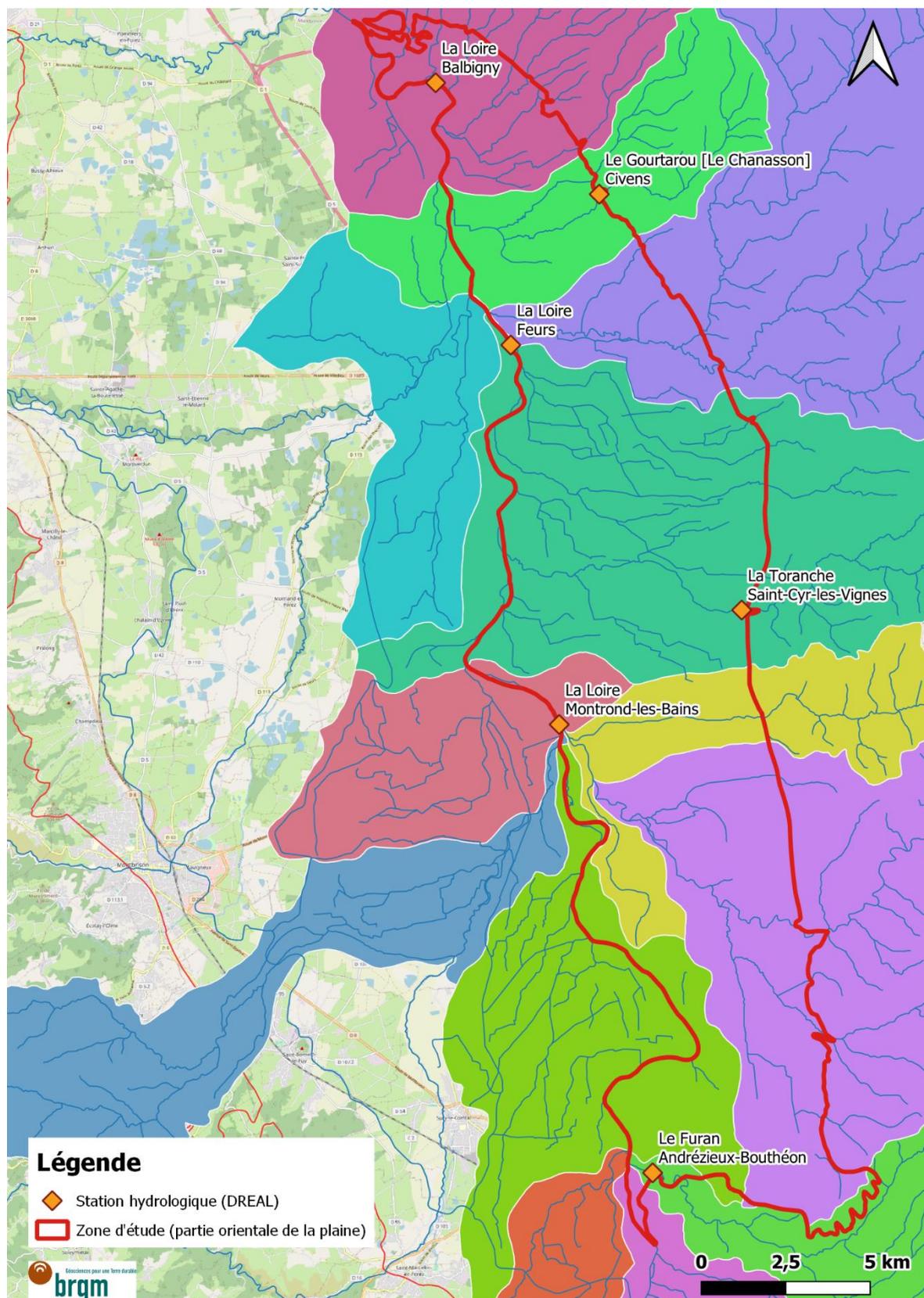


Illustration 22 – Localisation des stations de suivi hydrologique de la DREAL et découpage des bassins versants de la zone d'étude (Sources : DREAL, OSM)

Le Greil [1984] fait le constat que la Loire et la Coise n'ont pas pu développer des terrasses indépendantes de celles appartenant au système de la Loire (§ 2.1.1) : ces affluents, les plus importants dans la zone d'étude, n'ont que remanié une partie des matériaux sédimentaires existants. Cette absence de terrasses indépendantes serait liée au déport de la Loire vers l'est par rapport à l'axe central de la plaine du Forez.

Ré-Bahuaud [2012] souligne également le fait que « *La Loire est considérée comme l'un des derniers fleuves sauvages d'Europe, ce caractère sauvage n'est toutefois pas recevable au niveau de la plaine du Forez. En effet, bien que les conditions climatiques actuelles (période interglaciaire) favorisent naturellement l'incision du lit de la Loire, ce phénomène est largement amplifié par les extractions de granulats et la présence du barrage de Grangent en amont de la plaine du Forez.* »

Au sein de la zone d'étude, la DREAL Rhône Alpes dispose de plusieurs stations hydrométriques (Illustration 22) : 4 situées sur la Loire (Andrézieux-Bouthéon, Montrond-les-Bains, Feurs et Balbigny) ; 1 sise respectivement sur chacun des 4 affluents suivants : le Furan à Andrézieux-Bouthéon, la Toranche à St-Cyr-les-Vignes, la Loire à Salt-en-Donzy et le Goutarou (appelé aussi le Chanasson) à Civens.

Remarque : Des données ponctuelles sont également disponibles pour : la Loire à Salt-en-Donzy (station : [K071 4010](#)), la Toranche à St-Laurent-la-Conche ([K070 4511](#)), le Volvon ([K067 3312](#)) à et la Coise ([K067 3311](#)) à Chamboeuf. Ces dernières n'ont pas été analysées dans le cadre de la présente étude. Il n'a pas été possible de retrouver les données relatives au débit de la Loire à Andrézieux-Bouthéon (K063 0010).

La consultation des débits moyens mensuels des différentes stations hydrométriques montre un régime hydrologique de type pluvial, synonyme de crues hivernales et d'étiages en été. Ce constat est valable pour la Loire (ex : Illustration 23) et l'ensemble des affluents en rive droite (ex : Illustration 24), peut-être à l'exception du Furan à Andrézieux-Bouthéon dont la chronique affiche une courbe atypique (voir Annexe 3 – Débits des cours de la zone d'étude : Moyennes interannuelles (écoulements mensuels)).

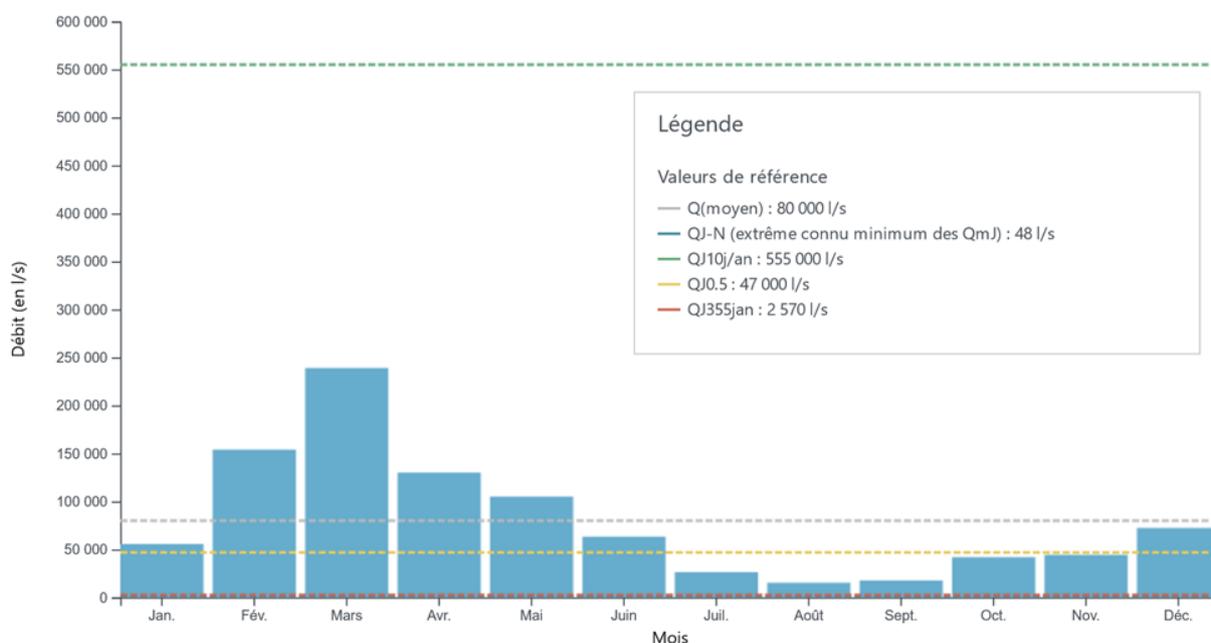


Illustration 23 - Moyennes interannuelles du débit de la Loire à Balbigny (Source: Hydro Portail)

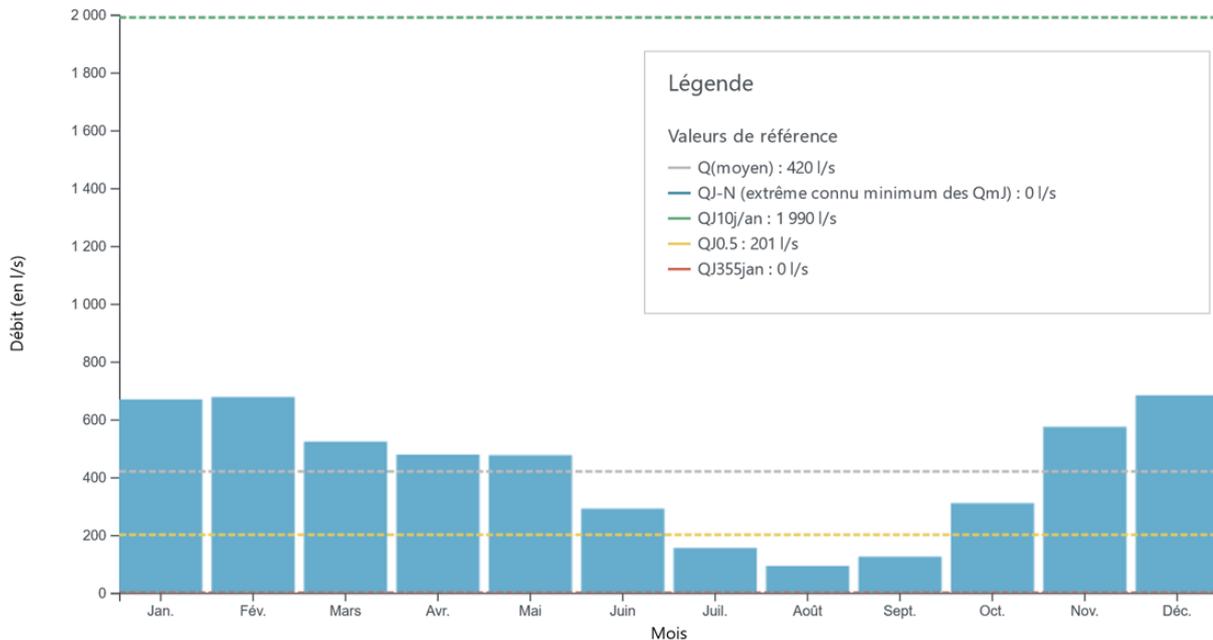


Illustration 24 - Moyennes interannuelles du débit de la Toranche à St-Cyr-les-Vigne (Source: Hydro Portail)

Le suivi des eaux superficielles est également réalisé par d'autres acteurs locaux. Le Département de la Loire pilote depuis 2002 un suivi de la qualité des eaux, à raison de 6 campagnes physico-chimiques et mesure de débit par an. Le [SMAELT](#) (Syndicat Mixte d'Aménagement et d'Entretien de la Loire et la Toranche) réalise des jaugeages sur la Loire, ainsi qu'un suivi de la qualité des eaux (6 campagnes par an). Un suivi est également réalisé par la [fédération départementale de la pêche](#), en particulier sur la qualité des eaux et le suivi piscicole depuis 2008, complété depuis 2009 par un suivi thermique. A cela s'ajoute un réseau de suivi des étiages sur la Loire, la Toranche, le Bernard et la Coise par la Fédé de pêche en lien avec les arrêtés cadre sécheresse. De façon irrégulière, des jaugeages sont aussi réalisés avec la fédération de pêche. En complément, le [SIMA COISE](#) (Syndicat Interdépartemental Mixte pour l'Aménagement de la Coise) suit les assecs estivaux sur la Coise et réalise des mesures irrégulières sur 7 seuils avec des échelles limnimétriques (relativement anciennes) sur le bassin versant de la Coise.

Ré-Bahuaud [2012] indique qu'étant donné que la Loire coule sur des horizons tertiaires (et non quaternaires) sur une majeure partie de son cours au droit de la zone d'étude, alors les alluvions récentes (quaternaires) sont largement drainées par le fleuve.

Dans le secteur des captages de Balbigny, TAUW [2010] indique : « *les ruisseaux de la Tour et des Odiberts ont été parcourus depuis les captages jusqu'en amont des failles situées en bordure de coteaux. L'objectif a été de vérifier l'existence ou non de zones d'infiltrations par la visualisation d'éventuelles modifications de débits (gains ou pertes). Ces investigations ont été réalisées [...] après des épisodes pluvieux relativement importants. Les débits des ruisseaux étaient relativement importants, aucune modification remarquable du débit des cours d'eau (apport ou pertes) n'a pu être mise en évidence le long du linéaire parcouru.*

De même, les débits élevés ne permettaient pas de visualiser de petites pertes ou de petits gains de débit. En tout état de cause, il est important de rester prudent quant à l'interprétation des variations de débits d'un cours d'eau le long de son parcours, surtout lorsque le débit est faible. Une modification de débit d'un cours d'eau n'est pas forcément liée à une infiltration jusqu'à la

nappe sous-jacente et une perte d'eau. Elle peut être seulement liée à une modification de l'épaisseur des matériaux poreux constitutifs du lit, aboutissant localement une diminution de la lame d'eau. »

Concernant la modélisation des flux souterrains, il est important de noter que 3 modèles numériques d'écoulement (en 2D) ont été construits dans 3 secteurs différents (St-Just-St-Rambert, Ecopôle du Forez, Balbigny) mais limités aux alluvions récentes. Une analyse plus détaillée est disponible dans la thèse de Ré-Bahuaud [2012]. A l'échelle de la présente étude, ces modèles n'apporteront pas d'éléments technique pertinents pour établir un schéma conceptuel et/ou une estimation des flux entre horizons aquifères.

d) Présence de zones humides

Selon le Code de l'Environnement ([Art. L.211-1](#)), les zones humides sont des « *terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, ou dont la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année.* »

Pour la France métropolitaine et la Corse, les critères de définition et de délimitation d'une zone humide (morphologie des sols, présence de végétation hygrophile, présence de communauté végétale ou d'habitats caractéristique, etc) ont été explicités afin de faciliter une appréciation partagée de ce qu'est une zone humide en vue de leur préservation par la réglementation (Illustration 25). Un critère alternatif pour caractériser une zone humide est la présence d'un niveau piézométrique à moins de 50 cm. Réciproquement, l'étude de la répartition des zones humides sur la zone d'étude pourrait indirectement permettre de détecter la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur.

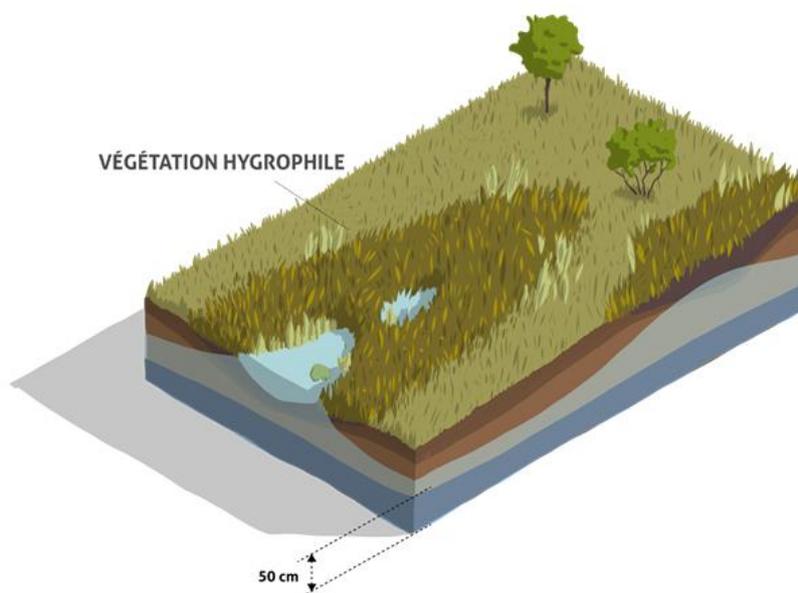


Illustration 25 - Schéma d'une zone humide (Source: www.zones-humides.org)

En 2015, un inventaire des zones humides, mené dans le cadre du SAGE Loire en Rhône-Alpes et du Schéma Départemental des Milieux Naturels, a été validé par la Commission Locale de l'Eau du SAGE. Ce travail s'est appuyée sur une étude réalisée conjointement par le Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes et le bureau d'étude CESAME (pour les campagnes d'inventaire de terrain). Le territoire inventorié englobe l'ensemble du département

et le périmètre du SAGE soit près de 400 communes (environ 5 400 km²), dont la présente zone d'étude.

À partir des fichiers relatifs à l'étude précédemment décrite [Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes & CESAME, 2015], 108 zones humides ayant une surface supérieure à 1 ha ont été identifiées sur le territoire de la zone d'étude.

Elles concernent en premier lieu la quasi-totalité de la rive orientale de la Loire, mais sur une largeur excédant rarement 100 m. Une cinquantaine de zones humides, composées majoritairement d'étangs de surface supérieure à 10 ha, sont également regroupées dans le secteur des communes de Feurs, Valeille, St-Laurent-la-Conche, Salt-en-Donzy, Salvizinet et Civens. Un dernier groupe de 6 zones humides, là aussi composées majoritairement d'étangs de surface proche de 5 ha, se situent à la jonction entre les communes de Montrond-les-Bains, Bellegarde-en-Forez, Cuzieu et St-Galmier. Cependant, il est important de noter que – comme l'a souligné la DDT lors de cette étude – cet inventaire prend en compte la surface des plans d'eau alors que celle-ci n'est pas une zone humide *stricto sensu* car elle ne dispose pas de sol ou de végétation (seulement sur ses rives).

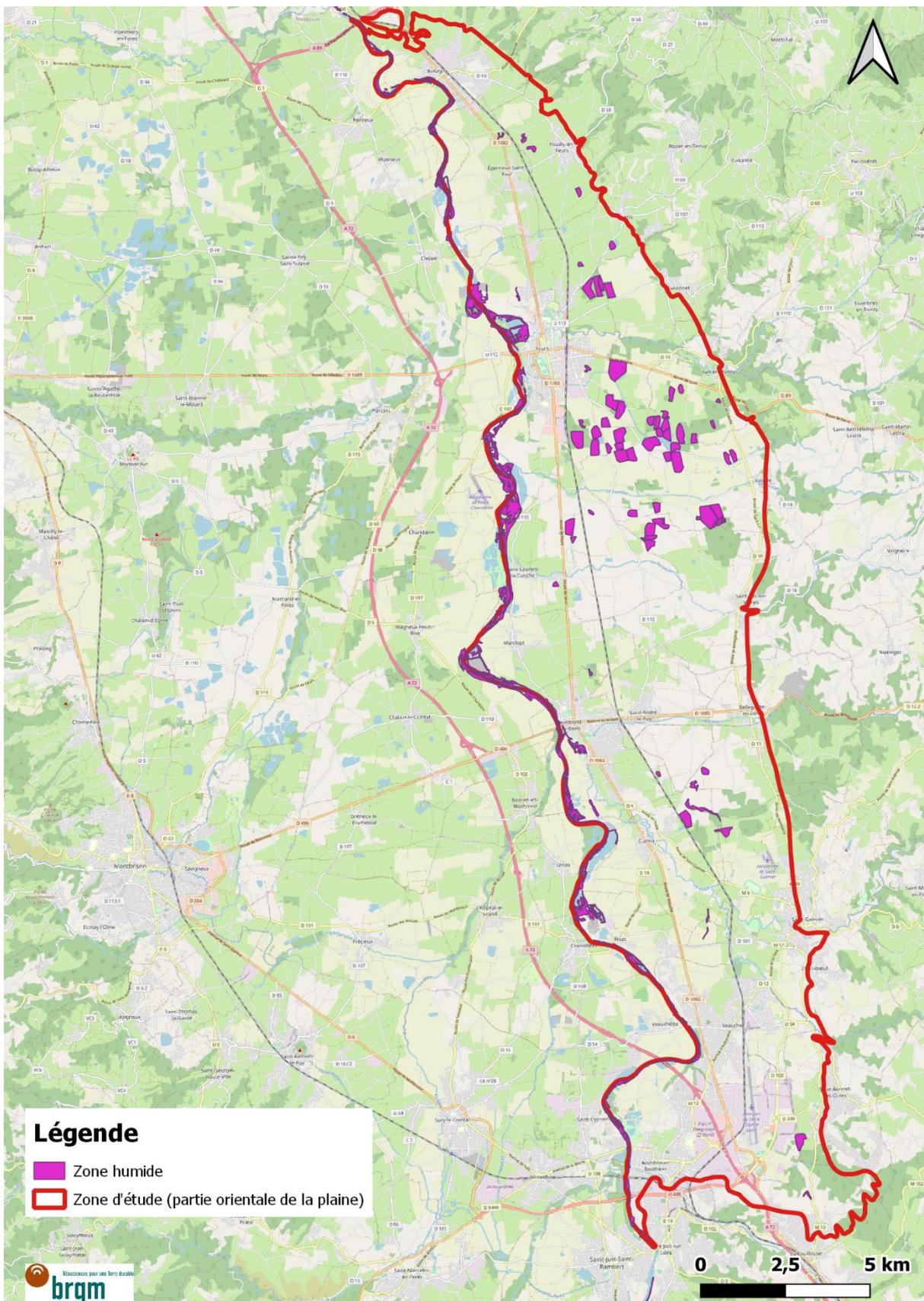


Illustration 26 - Localisation des zones humides au droit de la zone d'étude (Source: Conservatoire d'espaces naturels Rhône-Alpes & CESAME, 2015)

2.2.3. Mélange et âges des eaux

Les travaux de Ré-Bahuaud [2012] incluent des essais de détermination du degré de mélange entre des eaux superficielles et souterraines, pour 4 échantillons correspondant aux 4 piézomètres suivis par le BRGM (Cleppé, Chalain-le-Comtal, Montrond-les-Bains et St-Galmier). Pour les deux ouvrages concernés (Montrond-les-Bains et St-Galmier) par la présente zone d'étude, l'analyse du ^{14}C montre que les eaux souterraines sont « jeunes » (moins de 50 ans).

Concernant les ouvrages du SIVAP, les datations réalisées en analysant les CFC/SF₆ ont permis de calculer un âge moyen compris entre 30 et 40 ans.

Des travaux complémentaires sur les captages de Montrond-les-Bains [Renac *et al.*, 2010] avancent l'hypothèse que les eaux captées par le forage Détente correspondrait à un mélange entre des eaux vieilles infiltrées il y a 13 000 - 17 000 ans (circulant en profondeur dans le bassin) et des eaux provenant de circulations hydrothermales (135°C). En cela, le bassin du Forez serait similaire aux observations réalisées dans le bassin de la Limagne (§ 2.1).

2.2.4. Artésianisme

La thèse de Ré-Bahuaud [2012] inclut également un travail de réinterprétation et de synthèse des informations provenant des forages de prospection réalisés par la COGEMA (Compagnie générale des matières nucléaires), dits « MOB », et traversant une partie des sédiments tertiaires. Une quinzaine d'entre eux seraient artésiens sur le présent secteur d'étude (Illustration 27), ce qui tendrait à mettre en évidence une alimentation de ces sédiments tertiaires, en partie, à partir de circulations d'eaux provenant du socle.

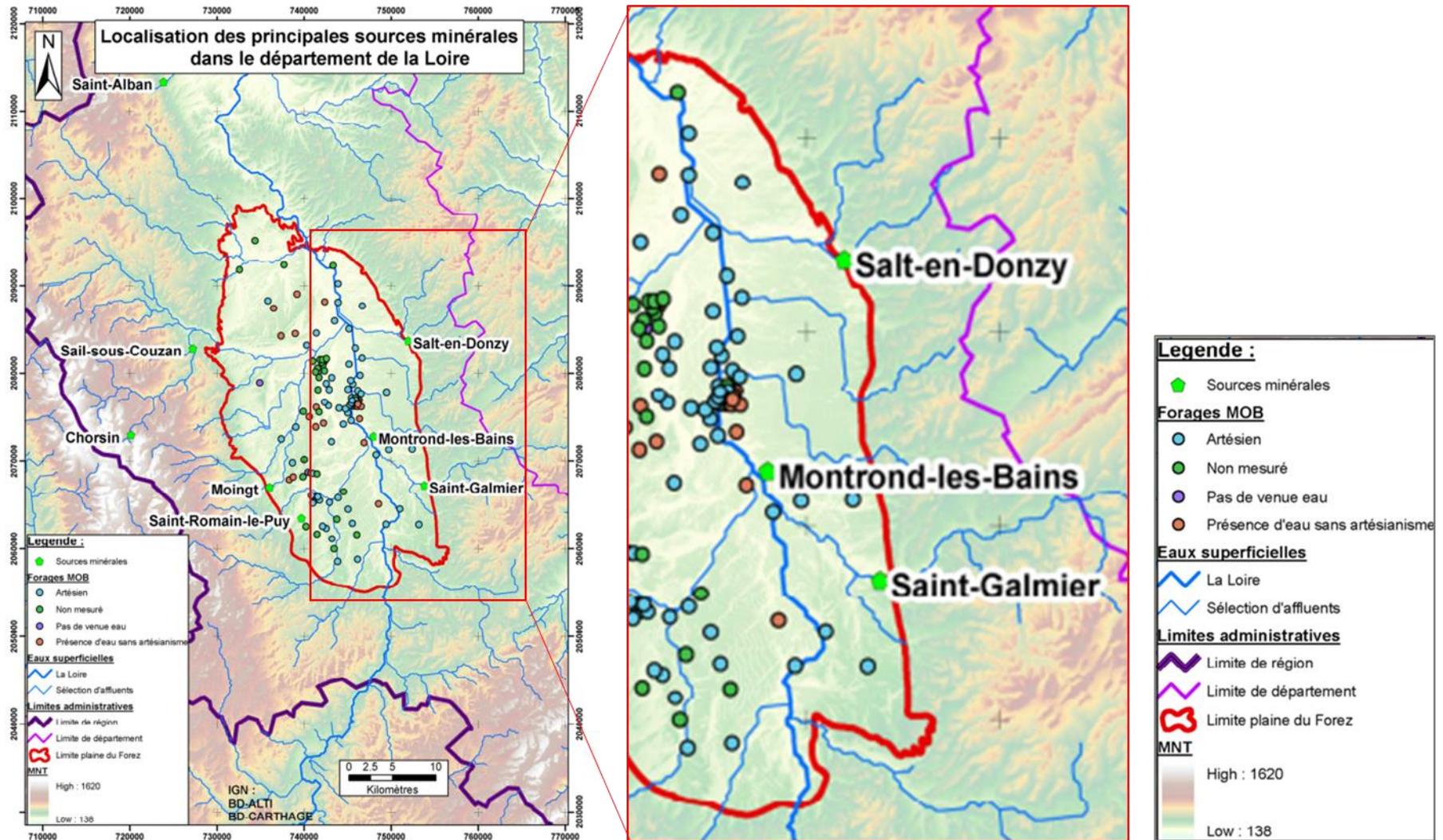


Illustration 27 - Localisation des principales sources d'eaux minérales et des forages profonds de la COGEMA au droit de la zone d'étude [Modifiée de : Ré-Bahuaud, 2012]

2.2.5. Productivité des ouvrages

Concernant la partie la plus superficielle des formations de la plaine du Forez, CPGF Horizon [2021] a mené des essais de Porchet (essais d'infiltration d'eau) : les perméabilités étaient de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-7} m/s. Il est nécessaire de garder en tête que ces essais concernent la partie non-saturée de l'aquifère.

Lié à des résultats d'essais de pompage et/ou d'injection (dans la partie saturée), le Tableau 5 suivant dresse un inventaire non exhaustif des données relatives aux paramètres hydrodynamiques dans la partie superficielle (sédiments quaternaires et tertiaires) :

ID	Code BSS	Débit ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Transmissivité ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	Perméabilité ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Coefficient d'emmagasinement (-)
F2	BSS001TESG	17,2 (1978, idem 2004)	-	-	-
P2	BSS001TESD	22,9 (1978, idem 2004)	$7,3 \cdot 10^{-3}$ à $11 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$ à $1,8 \cdot 10^{-3}$	3‰
P3	BSS001TESF	20,8 (1978), 38 (avec 2 pompes, 2004)	-	-	-
F1	?	-	-	$1,2 \cdot 10^{-3}$ à $1,5 \cdot 10^{-3}$	2‰
puits 1	BSS001UMXF	65	$2 \cdot 10^{-3}$ à $3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	-
puits 2	BSS001UMZD	40	$3 \cdot 10^{-3}$ à $4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$	-
puits 3	BSS001UMZC	50	$2 \cdot 10^{-3}$ à $4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	-
Les Princes	BSS001UMYE	45	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	-
F2	BSS001UMXE	9,3	$5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	-
F1	BSS001UMXD				-
S1	BSS001UNWU	45	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	-
S2	BSS001UNWV	17	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	-
F9	?	33	$2 \cdot 10^{-3}$ à $3 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	-
F6B	BSS001UNWT ?	20	$1,5 \cdot 10^{-3}$ à $2,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-4}$	-
F7	?	26	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-4}$ à $5 \cdot 10^{-4}$	-
-	BSS001TEUV	-	-	$1,2 \cdot 10^{-5}$ à $3,4 \cdot 10^{-5}$	-

Tableau 5 – Paramètres hydrodynamiques pour des ouvrages de la partie orientale de la plaine du Forez (Source : BRGM, CPGF, TAUW)

Les données relatives à la productivité des ouvrages et/ou de l'aquifère (débit, perméabilité, transmissivité...) pour les horizons plus profonds (étages tertiaires et socle) sont peu nombreuses : la transmissivité peut atteindre dans les horizons fissurés du socle, tels qu'à St-Galmier ($10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ [Dewandel *et al.*, 2015]) ;

2.2.6. Qualité de l'eau

a) Bases de données CASIAS et ex-BASOL

Venant récemment remplacer BASIAS⁸, la carte des anciens sites industriels et activités de services (CASIAS) recense les anciennes activités susceptibles d'être à l'origine d'une pollution des sols. Il peut s'agir d'anciennes activités industrielles (ex : industries lourdes, manufacturières, etc.) ou encore d'anciennes activités de services potentiellement polluantes (ex : blanchisseries, stations-services et garages, etc.). Cette base de données aide à retracer l'histoire industrielle d'un territoire depuis la fin du XIX^{ème} siècle.

Lors de la réalisation de la présente étude, le site internet de CASIAS était en cours de mise à jour. Les éléments relatifs à CASIAS et présentés dans le présent rapport proviennent d'une base de données ayant servi à alimenter BASIAS puis CASIAS, utilisée en interne par le BRGM DAT/LYO.

Le Tableau 6 suivant présente les 10 codes NAF⁹ les plus nombreux à l'échelle de la zone d'étude (total : 1180). Les activités les plus représentées ont trait : à l'utilisation d'hydrocarbures, de liquides inflammables et de solvants (sites présents dans les villes les plus importantes) ; à l'industrie extractive (principalement en bord de Loire) ; aux métaux. Il est nécessaire de prendre en compte le fait qu'un site artisanal ou industriel peut réaliser plusieurs activités (donc avoir plusieurs codes NAF). Ainsi, en faisant abstraction des sites sans raison sociale, le nombre de sociétés recensées atteint 495 sur la présente zone d'étude.

Code NAF	Activité	Nombre
G47.30Z	Commerce de gros, de détail, de desserte de carburants en magasin spécialisé (station-service de toute capacité de stockage)	293
V89.03Z	Dépôt de liquides inflammables (D.L.I.)	110
G45.21A	Garages, ateliers, mécanique et soudure	88
C25.61Z	Traitement et revêtement des métaux (traitement de surface, sablage et métallisation, traitement électrolytique, application de vernis et peintures)	83
B08.12Z	Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles et de kaolin	47
C25.50A	Forge, marteaux mécaniques, emboutissage, estampage, matriçage découpage ; métallurgie des poudres	46
C20.16Z	Fabrication, transformation et/ou dépôt de matières plastiques de base (PVC, polystyrène,...)	31
G45.21B	Carrosserie, peinture	31
E38.31Z	Démantèlement d'épaves, récupération de matières métalliques recyclables (ferrailleur, casse auto...)	27
V89.07Z	Dépôt ou stockage de gaz (hors fabrication cf. C20.11Z ou D35.2)	25

Tableau 6 – Tableau des activités les plus représentées parmi les 1180 références CASIAS identifiées à l'échelle de la zone d'étude (Source : BRGM)

Concernant la répartition géographique des sites, le pôle artisanal/industriel le plus important est celui situé entre Veauche, Veauchette et Andrézieux-Bouthéon (environ 25% des sites). Les deux

⁸ Base de données des anciens sites industriels et activités de services, utilisée de 1999 à 2021.

⁹ Nomenclature d'activité française. Code attribué par l'INSEE au moment de l'immatriculation d'une entreprise.

autres secteurs les plus denses en activités sont Montrond-les-Bains et ses environs, ainsi que Feurs et son voisinage direct.

La localisation des différents types d'activités anthropiques (Illustration 28) permet d'émettre des hypothèses quant aux types de pollution potentiellement rencontrées dans les sols et/ou les eaux souterraines. De façon anecdotique, la base CASIAS consultée mentionne un accident (non daté) sur une voie ferrée à proximité de St-Galmier (déversement d'acide nitrique à 60% provenant de l'usine ATOCHEM de St-Fons).

Avec des objectifs différents de CASIAS (ex-BASIAS), BASOL servait à recenser les sites et sols pollués (potentiellement) nécessitant une intervention des pouvoirs publics à titre préventif ou curatif. Lors de la réalisation de la présente étude, les données ont été téléchargées à partir du site [Georisques](#). Les 3 SIS (Secteurs d'Information sur les Sols) présents sur la zone d'étude correspondent à des sites BASOL situés à Bellegarde-en-Forez, Feurs et Veauche (Illustration 28).

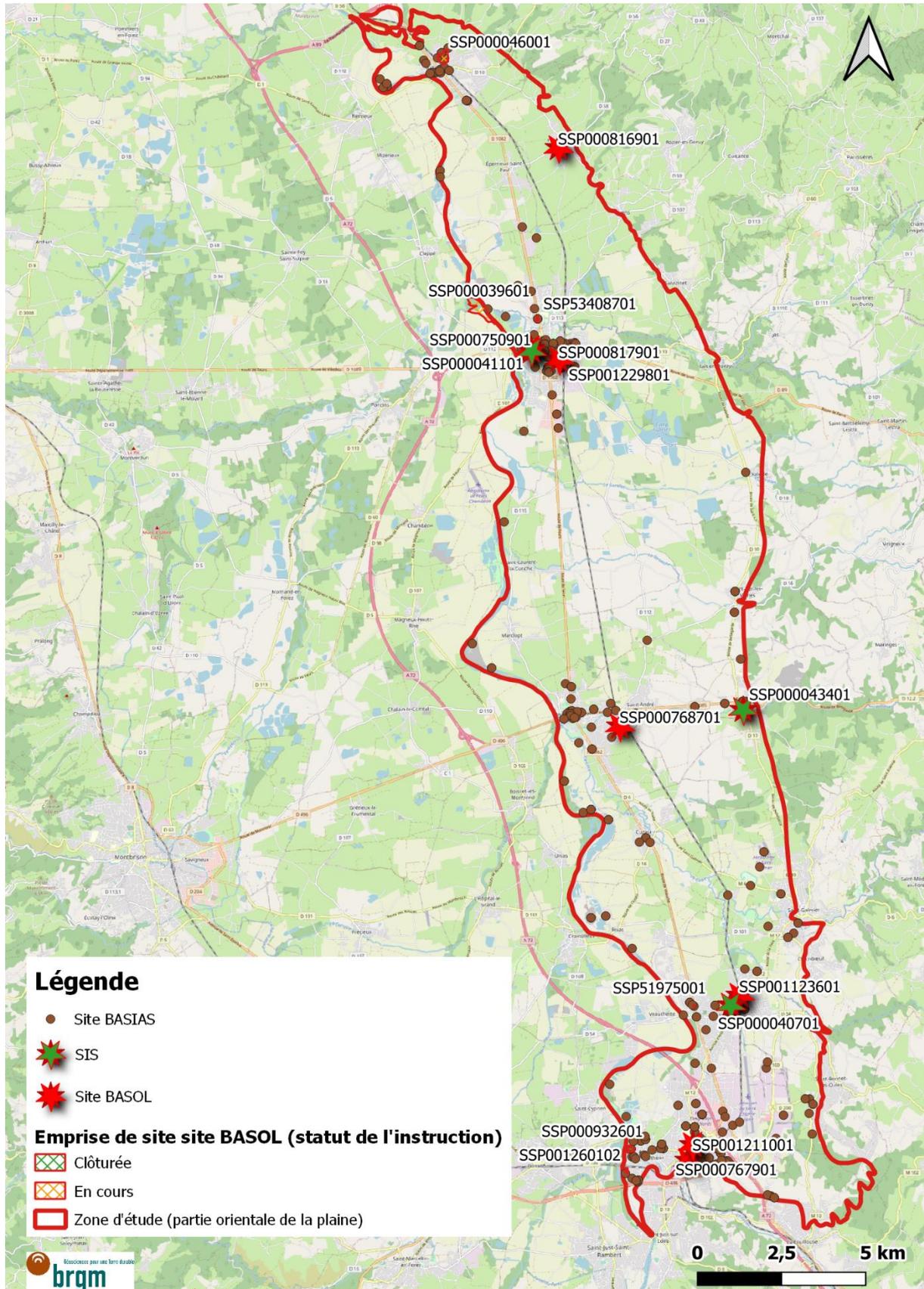


Illustration 28 - Localisation des sites BASIAS, BASOL et SIS (Source: Georisques)

b) Données ADES

Après extraction des données relatives à la qualité des eaux souterraines, il apparaît que seulement 12 points d'eau sont enregistrés dans la base ADES au droit de la présente zone d'étude. La grande majorité d'entre eux sont, ou étaient, des ouvrages dédiés à l'AEP (ex : Balbigny, St-Just-St-Rambert, St-André-le-Puy...).

Au niveau de la répartition géographique, ces données sont insuffisantes pour avoir une information pertinente quant à la pollution azotée et/ou en produits phytosanitaires à l'échelle de la zone d'étude (Illustration 29 et Illustration 30). Il est à noter que le SIVAP a réalisé des analyses récentes en nitrate et en pesticides sur une partie conséquente de la présente zone d'étude (§ 2.3.3 b)).

Les ouvrages les plus concernés par une pollution azotée sont les captages « Grenelle » du SIVAP et de Balbigny respectivement avec des concentrations supérieures à 50 mg/L¹⁰ et avec d'autres proches de 50 mg/L (moyennes calculées sur la période 1994-2022 et 2015-2022).

L'étude des chroniques disponibles pour chaque point ne permet pas non plus d'en déduire des tendances à l'échelle interannuelle (Illustration 31). Ce constat n'est pas synonyme d'une absence d'impact des mesures agro-environnementales déjà prises, mais plus probablement de l'existence de mécanismes complexes et lents (relatifs au cycle de l'azote) au niveau des sols et de la zone non-saturée. Il semble nécessaire d'avoir une approche au niveau de chaque champ captant (comme déjà réalisé dans le cadre du programme pour les captages « Grenelle » du SIVAP et de Balbigny), voire de l'ouvrage lui-même et de sa propre aire d'alimentation.

¹⁰ Pour rappel, l'arrêté du 11/01/2007 modifié relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine, fixant la limite de qualité pour les nitrates dans l'eau distribuée à 50 mg/L.

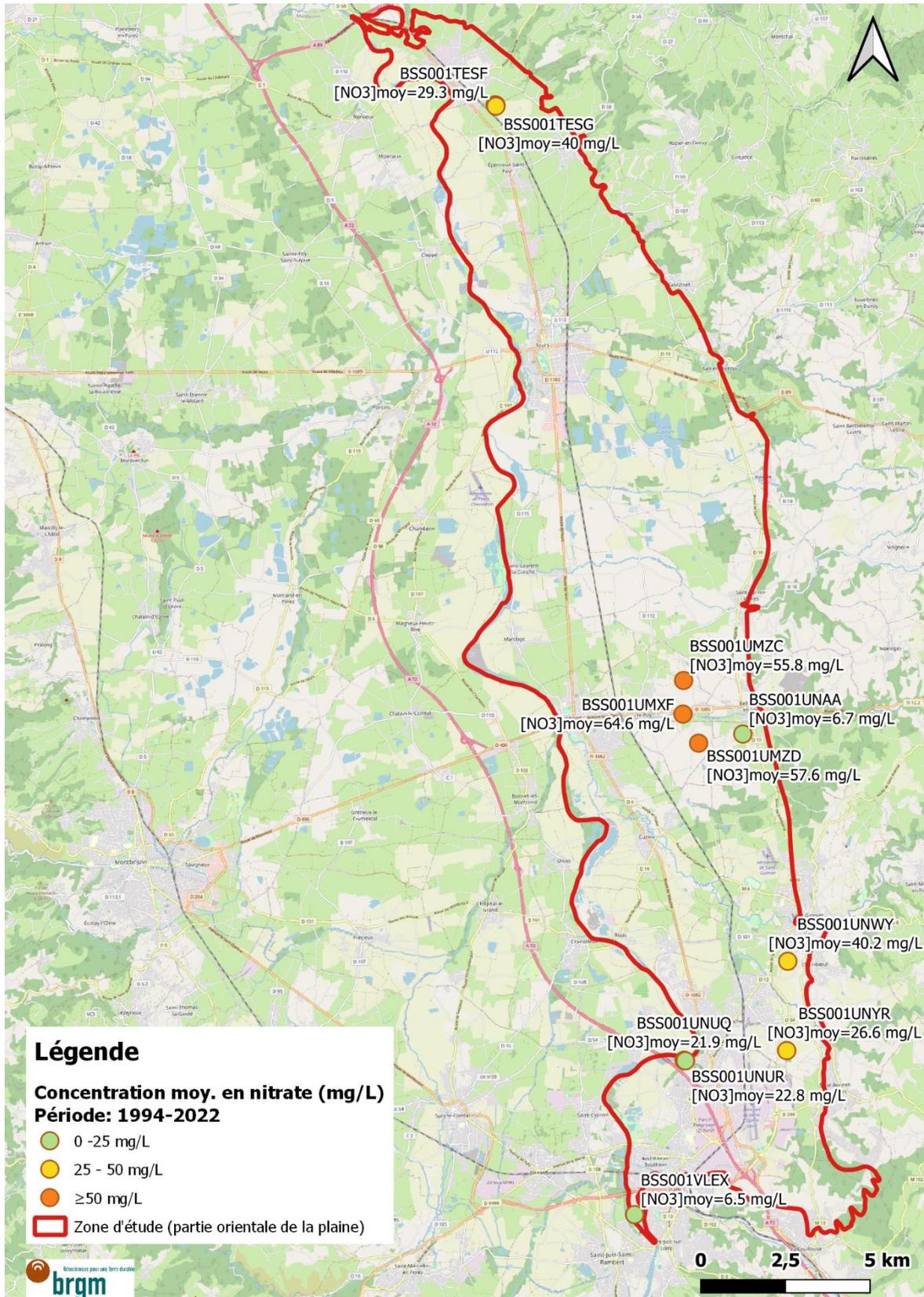


Illustration 29 - Répartition des points d'eau avec leur concentration moyenne en nitrate sur la période 1994-2022 (Source: ADES)

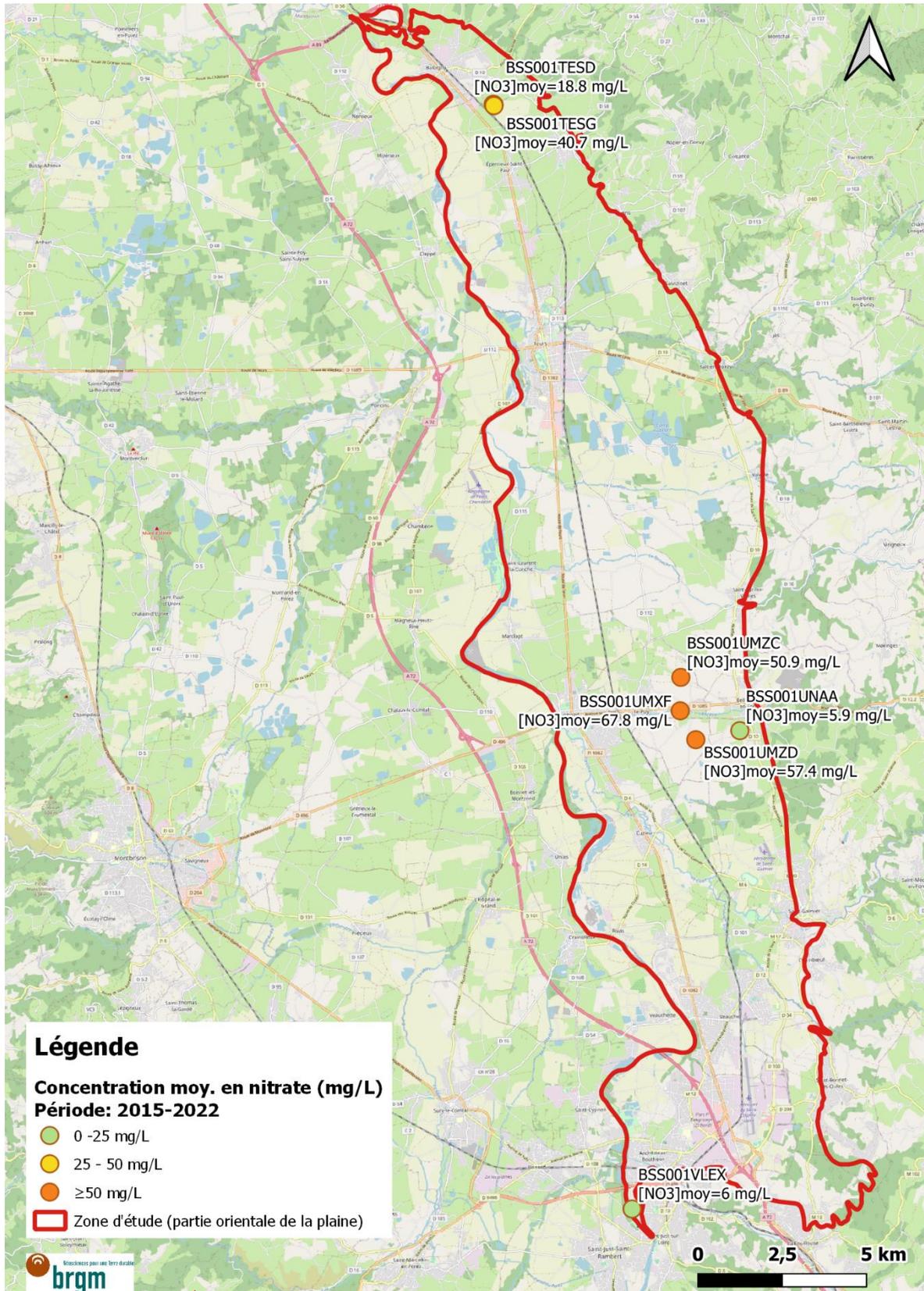


Illustration 30 - Répartition des points d'eau avec leur concentration moyenne en nitrate sur la période 2015-2022 (Source: ADES)

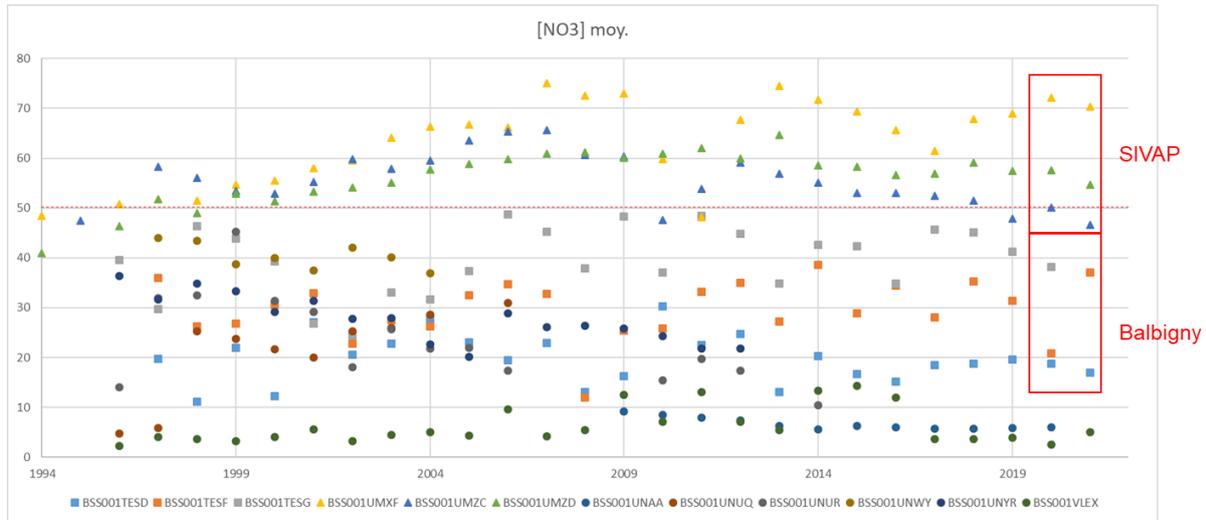


Illustration 31 - Chroniques de la concentration moyenne annuelle en nitrate de 12 points d'eau (Source: ADES)

c) Protection des ouvrages

Tous les captages liés à l'AEP disposent de périmètres de protection (obligatoires depuis 1992, cf. article L-1321-2 du Code de la Santé publique), tous orientés vers l'est (Illustration 32). Seul le champ captant de Balbigny dispose d'une zone de protection (87 ha) en lien avec une AAC¹¹ (1661 ha), située majoritairement en dehors de la zone d'étude. La plus grande zone bénéficiant d'une protection se situe entre Montrond-les-Bains, Bellegarde-en-Forez et St-Galmier.

Les périmètres de protection sont nettement plus réduits pour les forages de LNUF (3, Andrézieux-Bouthéon) que ceux de DANONE (9, St-Galmier), liés aux circulations plus spécifiques des eaux souterraines dans ces deux secteurs.

¹¹ Aire d'alimentation de captage

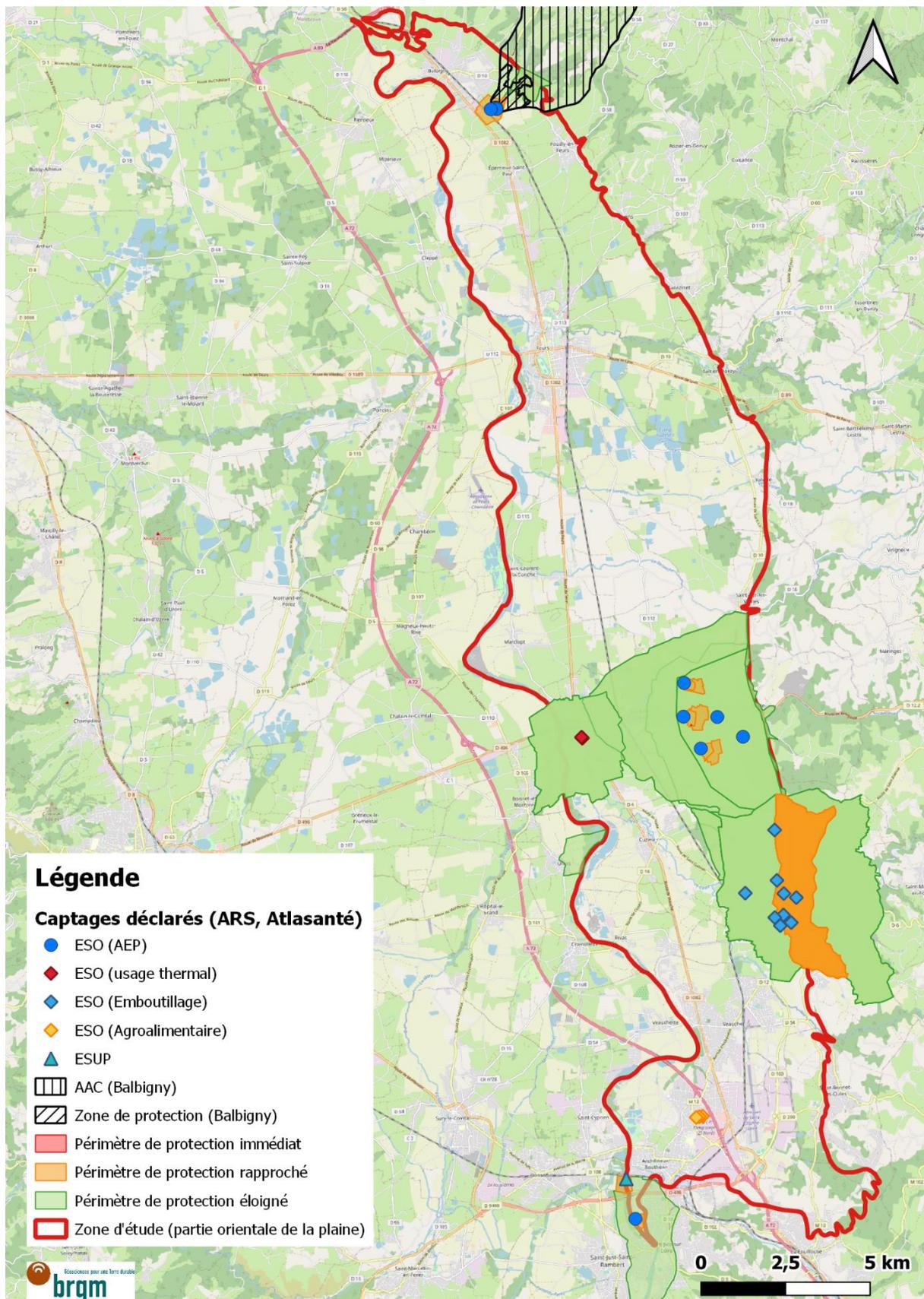


Illustration 32 - Périmètres de protection et aires d'alimentation des captages AEP et industriels de la zone d'étude (Source: ARS)

d) *Données ponctuelles*

Grâce à la coopération des industriels de la zone d'étude, il a été possible de confirmer que les eaux circulant dans les sédiments tertiaires sont susceptibles de présenter des concentrations plus élevées en substances naturellement présentes (ex : As, Fe...) que les eaux circulant dans les terrasses quaternaires. À titre d'exemples, le forage de l'entreprise NIGAY n'entre pas dans le processus de fabrication mais sert uniquement dans un système de refroidissement d'une double-enveloppe et pour certaines phases de prélavage, les 3 ouvrages de LNUF captent différents horizons géologiques (à différentes profondeurs) et un mélange est effectué afin de respecter les valeurs réglementaires.

2.2.7. Masses d'eau souterraine et entités BD LISA

Au droit de la zone d'étude considérée, il y a deux masses d'eau souterraine (MESO) :

- Les *Alluvions de la Loire du Massif Central* (FRGG047, aussi mentionné GG047 dans certains documents consultés) considéré comme en « bon état » respectivement sur le plan chimique et le plan quantitatif. Son fonctionnement est qualifié de régime hydraulique « libre » ;
- Les *Sables et marnes du bassin tertiaire de la Plaine du Forez libre* (FRGG091, aussi mentionné GG091 dans certains documents consultés) considéré comme en « bon état » respectivement sur le plan chimique et le plan quantitatif. Son fonctionnement est qualifié de régime hydraulique « majoritairement libre ».

La zone d'étude recoupe 5 entités BDLISA (Base de Données des Limites de Systèmes Aquifères), qui peuvent être regroupées de la façon suivante :

- Les *Alluvions de la Loire de sa source à l'Allier (Massif central)* correspondant à l'entité [930AB01](#). Elle est considérée comme un aquifère poreux, superficiel, d'origine alluviale. Cette entité correspond en partie à la limite occidentale de la zone d'étude ;
- Les *Formations des sables et argiles de type Limagne et calcaires lacustres de l'Eocène-Oligocène dans le bassin de la Loire de sa source au Rhins* représentant l'entité [113AL01](#). Elle correspond à l'alternance de matériaux sédimentaires, semi-perméable (en raison de la présence d'argiles) ;
- Le *Socle métamorphique dans le bassin versant de la Loire du Gand (non inclus) à l'Aix (non inclus) - rive droite de la Loire*, et le *Socle métamorphique dans le bassin versant de la Loire du barrage de Grangent au Gand (inclus)* correspondant respectivement aux entités [205AC03](#) et [205AC05](#). Ces deux entités sont représentatives d'un milieu semi-perméable, dont le caractère aquifère est surtout lié à la présence de fissures/fractures dans le socle. Elles correspondent à la limite sous-jacente (substratum) et à la bordure orientale de la zone d'étude ;
- Les *Conglomérats, grès, pélites, schistes et charbon du Carbonifère du bassin houiller stéphanois*, relatifs à l'entité [151AE01](#). Sa surface marginale (env. 0,05 km²) et sa position en limite sud de la zone d'étude permettent de ne pas considérer cette entité dans le cadre du présent travail.

2.2.8. Risque d'inondation par remontée de nappe

Remarque : Cette présente partie du rapport reprend de façon résumée un nombre important d'informations contenues dans l'étude nationale réalisée par le BRGM [Brugeron et al., 2017 ; BRGM/RP-65452-FR].

La carte proposée par le BRGM [Brugeron et al., 2017 ; BRGM/RP-65452-FR] permet de localiser les zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe. La qualité de l'information n'est toutefois pas homogène et varie suivant la géologie, le relief et le nombre de points disponibles lors de l'interpolation.

Concernant la zone d'étude, la carte (Illustration 33) permet de mettre en évidence plusieurs points :

- Les territoires les plus concernés par de potentielles inondations de cave et/ou débordement de nappe se trouvent le long du réseau hydrographique, en particulier la Loire, et à proximité des terrains les plus récents. Ce constat est plutôt cohérent avec les données bibliographiques concernant la piézométrie (§ 2.2.2) ;
- Le degré de fiabilité est fortement tributaire d'un faible nombre de points présents dans la plaine du Forez. Pour illustrer, des cercles en pointillé ont été tracés autour de 4 points d'eau (Illustration 33) ayant probablement servi au calcul de cet indice du risque de remontée de nappe. Le périmètre du cercle correspond à la limite à partir de laquelle la fiabilité passe de « forte » à « moyenne ». Il est même possible de tracer des cercles de plus grand diamètre lorsque celle-ci passe de « moyenne » à « faible ». Après vérification, les 4 points semblent correspondre aux 4 piézomètres de Cleppé, Chalain-le-Comtal, Montrond-les-Bains et St-Galmier (§ 2.2.2).

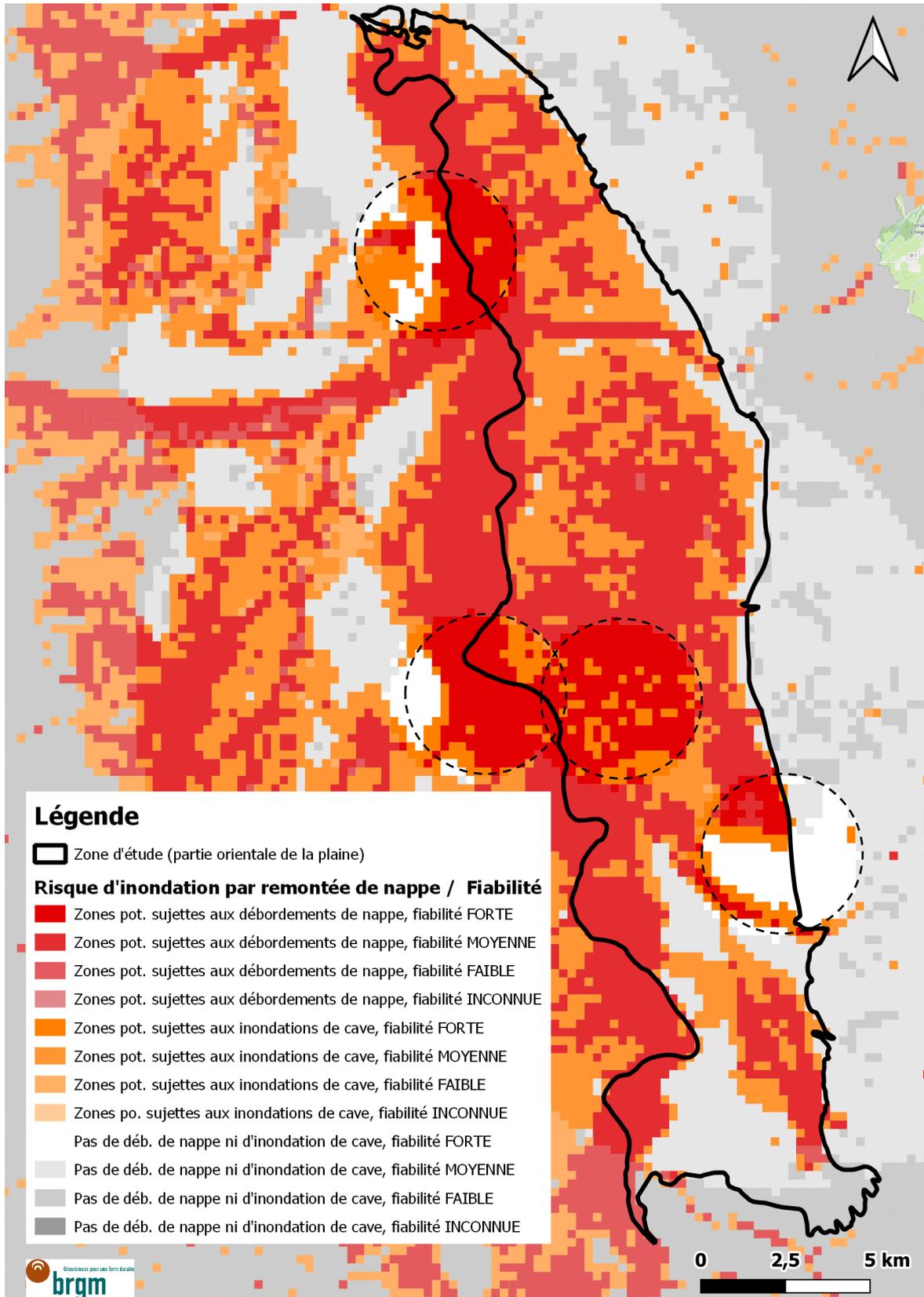


Illustration 33 - Risque d'inondation par remontée de nappe et fiabilité du risque (Source: BRGM)

2.3. PRELEVEMENTS

2.3.1. BNPE

La banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau ([BNPE](#)) est l'outil national dédié aux prélèvements sur la ressource en eau, pour la France métropolitaine et les départements d'outre-mer.

Les informations portent sur les volumes annuels directement prélevés sur la ressource en eau souterraine et/ou superficielle, et sont déclinées par localisation et catégorie d'usage de l'eau (ex : adduction d'eau potable, irrigation, abreuvement, etc). Les données de la BNPE sont mises à jour une fois par an.

Les données de prélèvements, fournis par l'AELB et compilés sur le site [BNPE](#), ont été extraites en août 2022. Une sélection cartographique a été réalisée à l'aide d'un logiciel SIG afin de sélectionner uniquement les prélèvements situés au sein de la zone d'étude.

La période de données disponible s'étend de 2008 à 2020 (Illustration 34). Les volumes varient de 1,79 à 2,96.10⁶ m³ et il semble difficile d'identifier visuellement une tendance (à la hausse ou à la baisse) à partir du cumul annuel des volumes prélevés. Concernant les usages : l'irrigation est clairement majoritaire (moyenne de l'ordre de 47% sur 2016-2020), viennent ensuite l'AEP (env. 29%) et les besoins industriels (env. 24%). La répartition à l'échelle de la zone d'étude n'est pas homogène selon les usages et les ressources captées (Illustration 35).

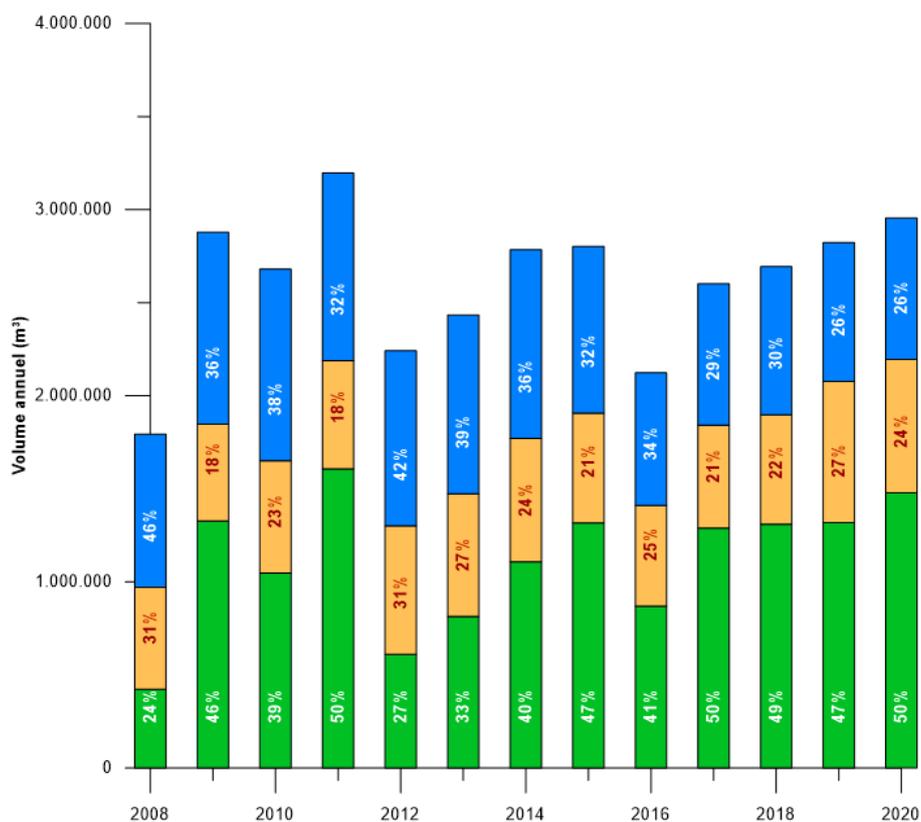


Illustration 34 - Graphique représentant les volumes annuels et leur pourcentage respectif, classés par catégories d'usage: « AEP » en bleu, « irrigation » en vert, « industriel » en orange (Source: BNPE)

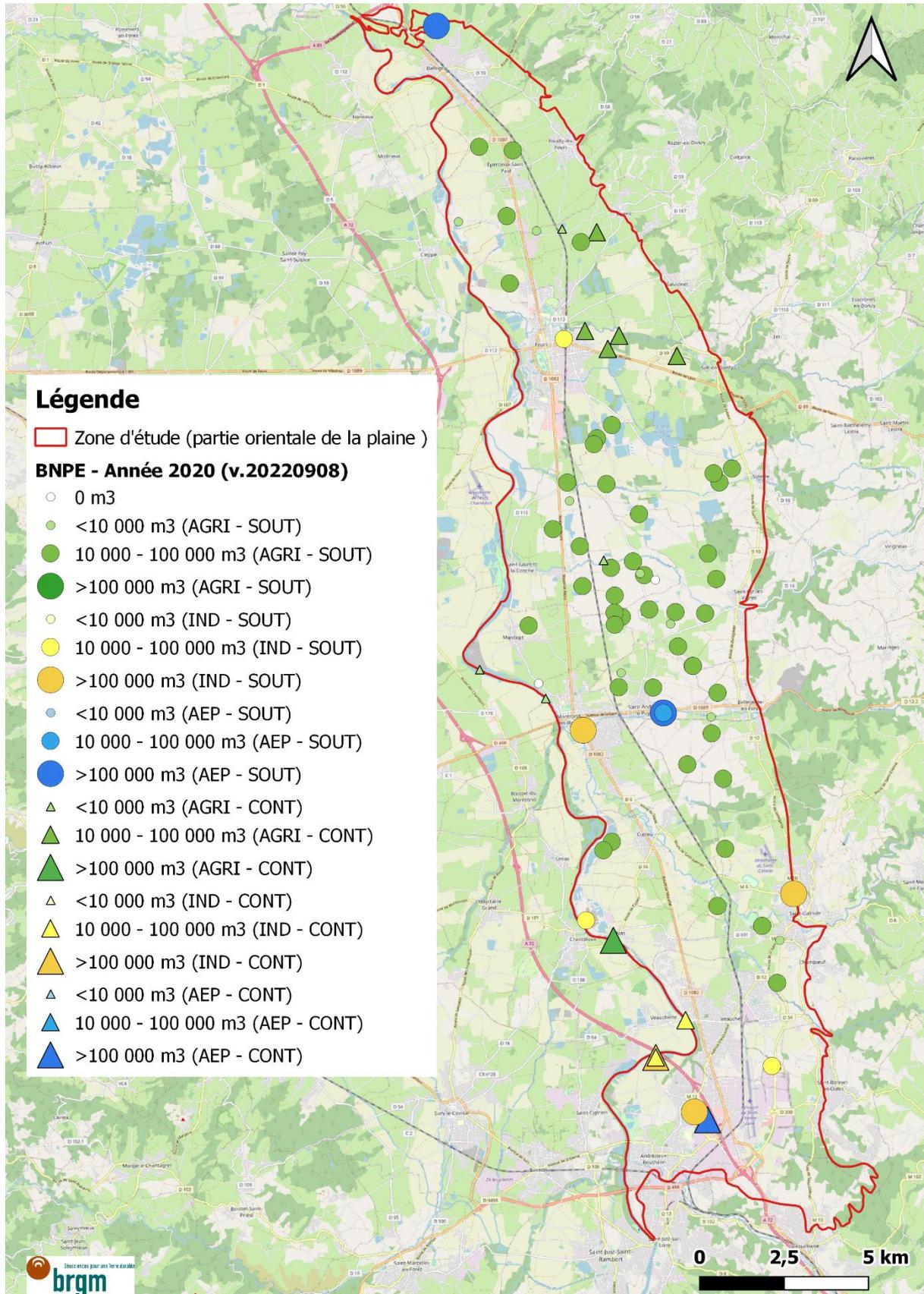


Illustration 35 - Localisation des prélèvements en eaux souterraines et superficielles d'après la BNPE

2.3.2. Redevances (AELB)

Remarque : Après un échange entre le BRGM et l'AELB (en lien avec une demande des membres du COSUI, exprimée lors du COSUI 1), l'AELB a rappelé qu'il était impossible de communiquer les données de prélèvements sous une autre forme que celles déjà proposées via la [BNPE](#) ou via [site Données/Documents de l'AELB](#). En effet, en application du RGPD, les données de redevances sont considérées comme des données fiscales et à caractère personnel, et ne peuvent donc être communiquées sans l'accord exprès des personnes physiques concernées. En l'occurrence, ces dernières correspondraient à l'ensemble des propriétaires des ouvrages présents (de la zone d'étude) dans les bases de données consultées. Cette tâche n'ayant pas été envisagée dans le cadre du montage de l'étude, le présent chapitre n'aborde que les données publiques mises à disposition par l'AELB.

En complément, le fichier de l'AELB permet une correspondance entre le « numéro ouvrage » de l'AELB et le code dans la BNPE. Celle-ci a été réalisée dans des délais très courts, sur la base des coordonnées X, Y et du numéro d'ouvrage du déclarant. Néanmoins, certains ouvrages de l'AELB n'ont pas toujours leur correspondance dans la BNPE ; il peut donc y avoir de légères différences entre les deux bases de données.

Après un échange complémentaire avec l'AELB, celle-ci a indiqué que le fichier initialement téléchargé contient également des données relatives aux eaux superficielles. Un tri a pu être réalisé à partir de la présence d'un code MESO dans le fichier de l'AELB.

Les données de prélèvements de l'AELB ont été extraites en octobre du [site Données/Documents de l'AELB](#) (date de mise à jour du fichier : 08/07/2022).

Concernant les eaux souterraines, le fichier de l'AELB contient 145 identifiants pour la zone d'étude : 39 n'ont pas de MESO ; 17 concernent la MESO GG047 ; 1 renvoie à la MESO GG 0048 ; 88 appartiennent à la MESO GG0091.

2.3.3. Production d'eau potable

a) St-Just-St-Rambert

Pour la production d'eau potable, Loire Forez Agglomération (LFA) exploite plusieurs ouvrages en bordure de la Loire, dont un est situé en rive droite et dans la présente zone d'étude : le puits au lieu-dit « La Merlée » ([BSS001VLEX](#), anciennement 07444X0043/CPT). Celui-ci est équipé de 4 drains rayonnants et d'une tranchée drainante parallèle à la Loire (dont les rives sont à moins de 100 m). Initialement, ce puits disposait seulement de 7 drains rayonnants. D'après Davoine [1978], les essais de pompage réalisés en 1975 ont montré que « l'alimentation directe des drains par l'eau de la Loire n'était pas nulle pour les débits les plus importants. Le colmatage des berges de la rive droite semble moins important que celui de la rive gauche [...]. Ultérieurement, l'exécution de la tranchée drainante a confirmé les caractéristiques des circuits hydrauliques du secteur. En effet, quelques grosses venues d'eau provenant de la Loire y ont été décelées, prouvant la discontinuité du colmatage des berges. » Cette interprétation est conforme à la carte piézométrique tracée en mars 2003 (Illustration 36).

Le débit autorisé varie (100, 130 ou 180 m³/h) en fonction du débit de la Loire (proche de 10 m³/s, entre 10 et 50 m³/s, plus de 50 m³/s). Un traitement (chlore gazeux, soude, chlorure de calcium) est réalisé au niveau du réservoir, l'un des objectifs étant d'obtenir un pH supérieur à 7,5 lors de la mise en distribution.

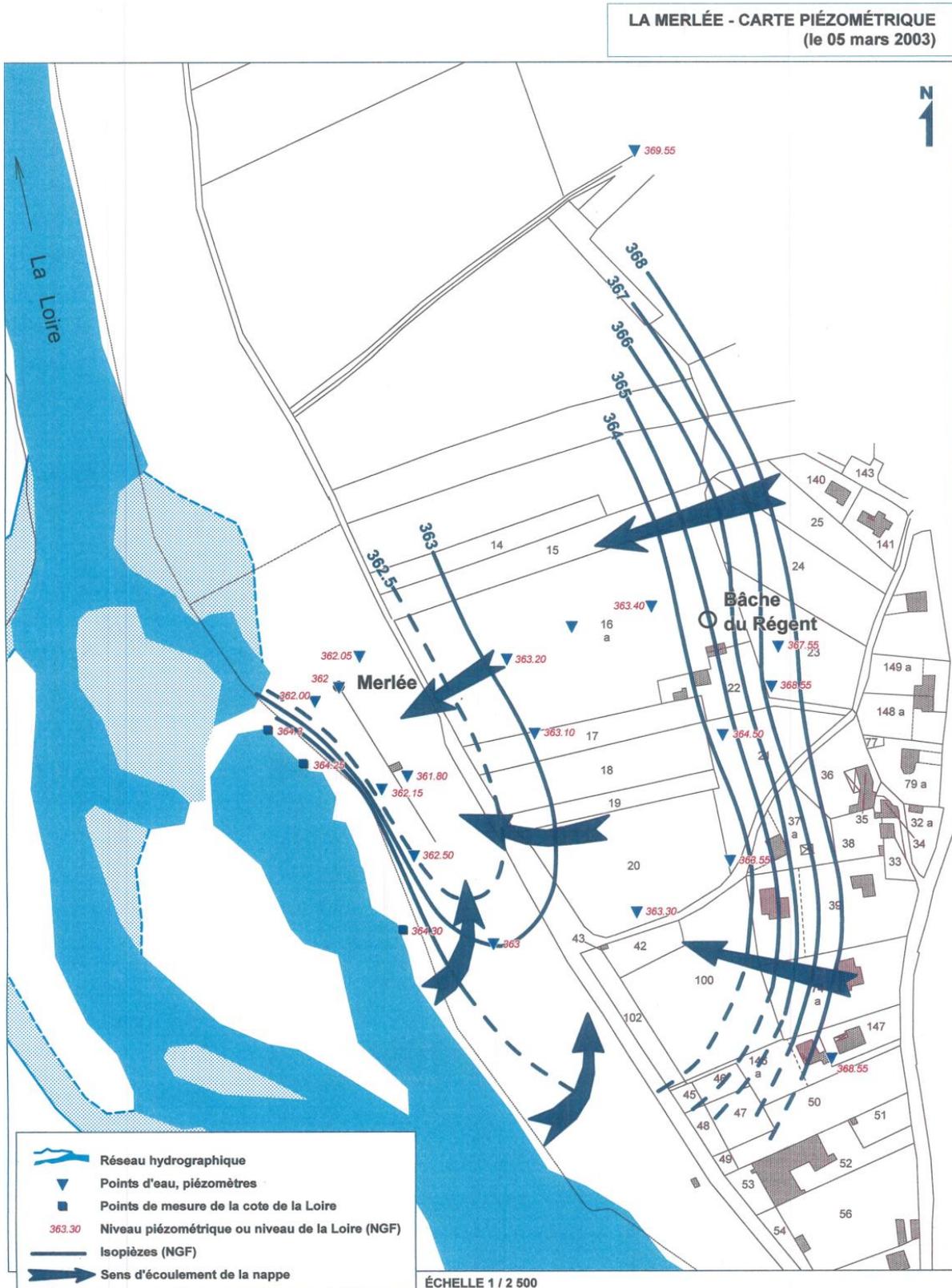


Illustration 36 – Carte piézométrique de mars 2003 à proximité du captage AEP de La Merlée (Source : SAUNIER ENVIRONNEMENT, 2003)

Remarque : Les rapports techniques ou scientifiques relatifs à ce captage n'ont pas pu être transmis par l'ARS et AQUALTER dans les délais de la présente étude.

a) SIVAP

Pour la production d'eau potable, le Syndicat Intercommunal du Val d'Anzieux Plancieux (SIVAP) exploite 5 ouvrages souterrains présents dans la zone d'étude :

- les puits de l'Anzieux ([BSS001UMXF](#), anciennement 07204X0033/FF3, nommé aussi P1), La Vaure ([BSS001UMZD](#), anciennement 07204X0083/CPT, nommé aussi P2) et les Vials ([BSS001UMZC](#), anciennement 07204X0082/CPT, nommé aussi P3), parfois regroupés sous le terme de « puits de Saint-André-le-Puy ». Les teneurs en nitrates de la nappe dans l'environnement proche des puits sont supérieures à 50 mg/L (valeur réglementaire concernant la potabilité d'une eau) ;
- les ouvrages de Grangeon (non enregistré en BSS, situé dans le périmètre rapproché du puits [BSS001UMXF](#)) et Véange (référéncé 2 fois en BSS : [BSS004DECT](#) et [BSS001UNAA](#), appelé aussi Véange 2, situé en bordure de la plaine à Bellegarde-en-Forez) captant un aquifère tertiaire (plus profond). Ces ouvrages sont nécessaires à l'obtention d'un mélange pour respecter les normes de distribution d'eau potable.

Lors de la révision du SDAGE 2016-2021, les 3 puits de Saint-André-le-Puy ont été référencés comme des « captages prioritaires »¹² pour lesquels des actions doivent être entreprises concernant la lutte contre les pollutions diffuses (nitrate, produits phytosanitaires, etc), notamment la délimitation d'une aire d'alimentation et la prescription de plans d'actions spécifiques. À ce titre, le SIVAP a confié ces travaux à CPGF Horizons dont la synthèse [CPGF Horizons, 2021] permet d'apprécier la diversité et la qualité des données disponibles : le schéma conceptuel du fonctionnement de l'hydrosystème réalisé met en évidence la complexité des échanges d'eaux souterraines et superficielles (Illustration 37).

¹² Ces captages sont considérés comme prioritaires au regard de plusieurs critères : [NO3]>40 mg/L, [pesticides]>0,05 µg/L, absence de ressource alternative, ampleur de la population desservie, etc. Des informations complémentaires concernant la démarche « Captages prioritaires » sont disponibles sur <https://aires-captages.fr> [Sources : OiEau, OFB]

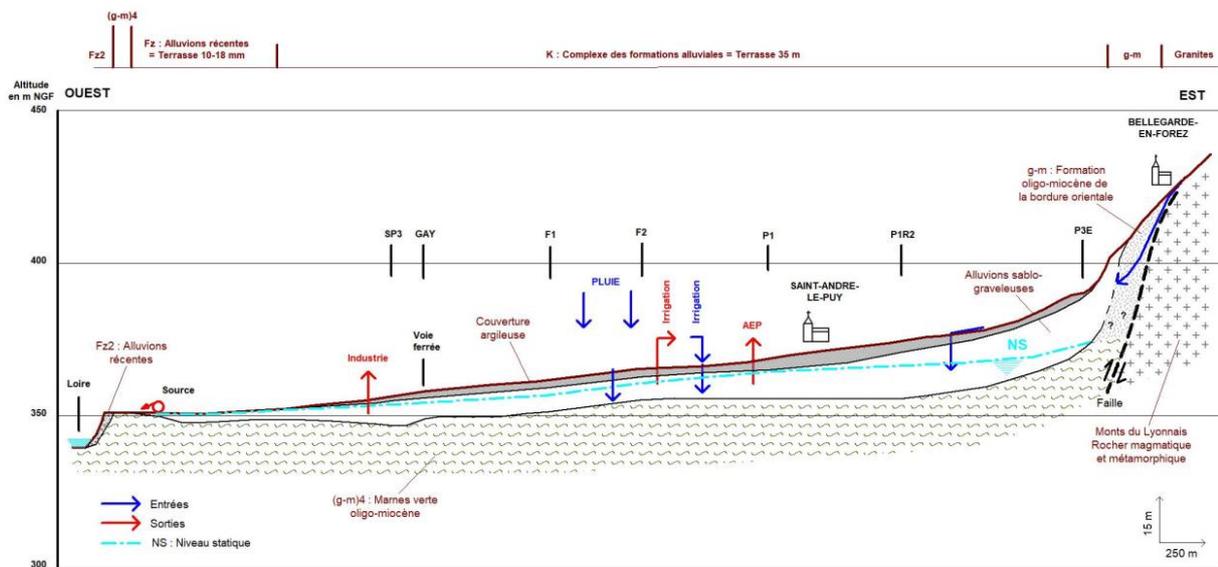


Illustration 37 – Schéma conceptuel des échanges hydriques entre Bellegarde-en-Forez et Montrond-les-Bains (Source : CPGF Horizons, 2021)

L'âge moyen des eaux captées est relativement jeune : moins de 30 ans (à partir d'analyse portant sur le tritium en 1982), 2 à 3 ans (à partir d'analyse isotopique sur l'¹⁸O en 1982), environ 30 ans (à partir d'analyse CFC/SF₆ en 2019) pour P1, P2 et P3.

Le secteur du SIVAP est également un des rares dans lequel les cartes piézométriques sont suffisamment nombreuses et précises pour noter des évolutions au cours du temps concernant la profondeur de la nappe et les directions d'écoulement.

La carte piézométrique dressée en avril 2019 (moyennes eaux) [CPGF Horizons, 2021] met clairement en évidence l'alimentation de la nappe par l'Anzieux (Illustration 38). Ce constat est confirmé par les pertes mises en évidence par des jaugeages sur l'Anzieux (de l'ordre de 18L/s en traversant toute la plaine) et la partie amont du ruisseau du Claveau (proche ; de l'ordre de 0,7 L/s).

Les campagnes d'échantillonnage du nitrate présent dans les eaux souterraines réalisées en juin (Illustration 39) et octobre 2019 mettent en évidence que la pollution azotée n'est pas centrée sur les ouvrages du SIVAP mais concerne toute la plaine (valeur maximale : 152,1 mg/L au point P136) [CPGF Horizons, 2021]. La répartition de la pollution en produits phytosanitaires (atrazine et ses dérivés) est sensiblement différente ; la présence d'autres produits (methabenzthiazuron, metolachlor, oxyfluorène, DEHP, 2,6-dichlorobenzamide, oxadiazon) a également été constatée sur certains ouvrages souterrains. En parallèle, des analyses sur l'Anzieux ont confirmé une pollution plus importante des eaux superficielles, en termes de nombre de substances (liste précédente, complétée par AMPA, diuron, DCPMU), mais la somme des pesticides reste proche de 0,2 µg/L.

Concernant la potabilisation, l'eau obtenue des ouvrages Grangeon et Véange 2 subit un traitement spécifique de démantérisation (oxydation, filtration, ajout de chlorure ferrique) et d'adsorption de l'arsenic

Il est important de noter que les ouvrages de Grangeon et Véange ont fait l'objet d'un protocole d'accord entre le SIVAP et la SAEME (BADOIT/DANONE) visant « à analyser l'eau issue de deux des forages exploités par le SIVAP afin de déterminer si cette eau présente les caractéristiques

d'une eau minérale naturelle. Si tel était le cas, des discussions pourraient alors s'ouvrir pour évaluer dans quelle mesure cette eau minérale naturelle captée en profondeur pourrait contribuer à l'approvisionnement de la source BADOIT tout en déterminant des solutions pour assurer la continuité de l'approvisionnement en eau potable de qualité pour les riverains. » [Source : [communiqué SIVAP – BADOIT, 2021](#)]. Des discussions sont en cours entre le SIVAP, le SIMA Coise et DANONE, notamment parce qu'une modification d'usage pourrait avoir un impact sur la protection de la ressource en eau potable (le périmètre de protection éloigné pour l'eau potable pourrait devenir une zone de protection pour l'eau minérale) [Source : CODERST, 08/03/2022]. Prévu pour 2022, les résultats de l'étude réalisée par DANONE ne sont pas encore connus.

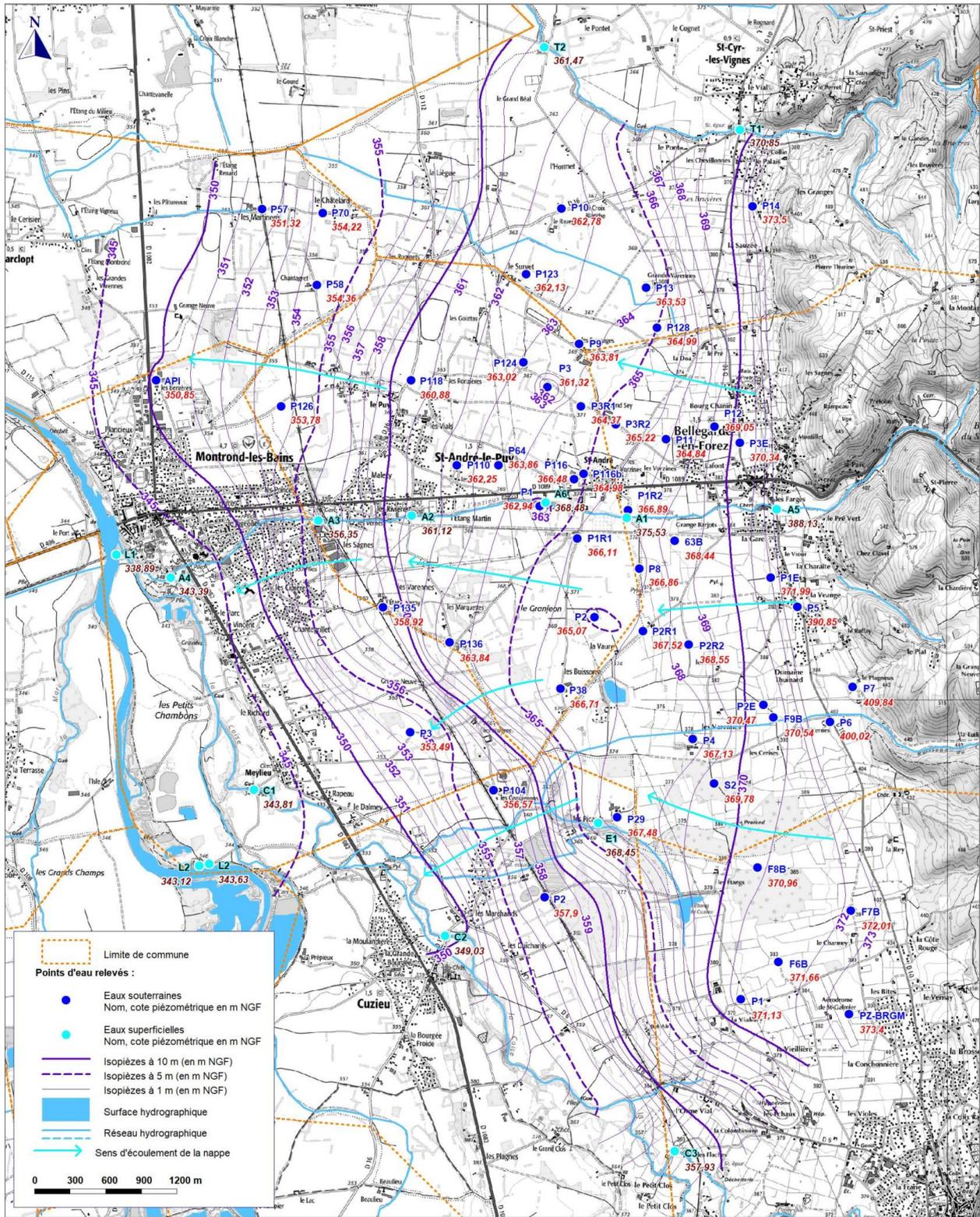


Illustration 38 – Carte piézométrique d'avril 2019 (moyennes eaux), non influencée par l'irrigation (Source : CPGF Horizons, 2021)

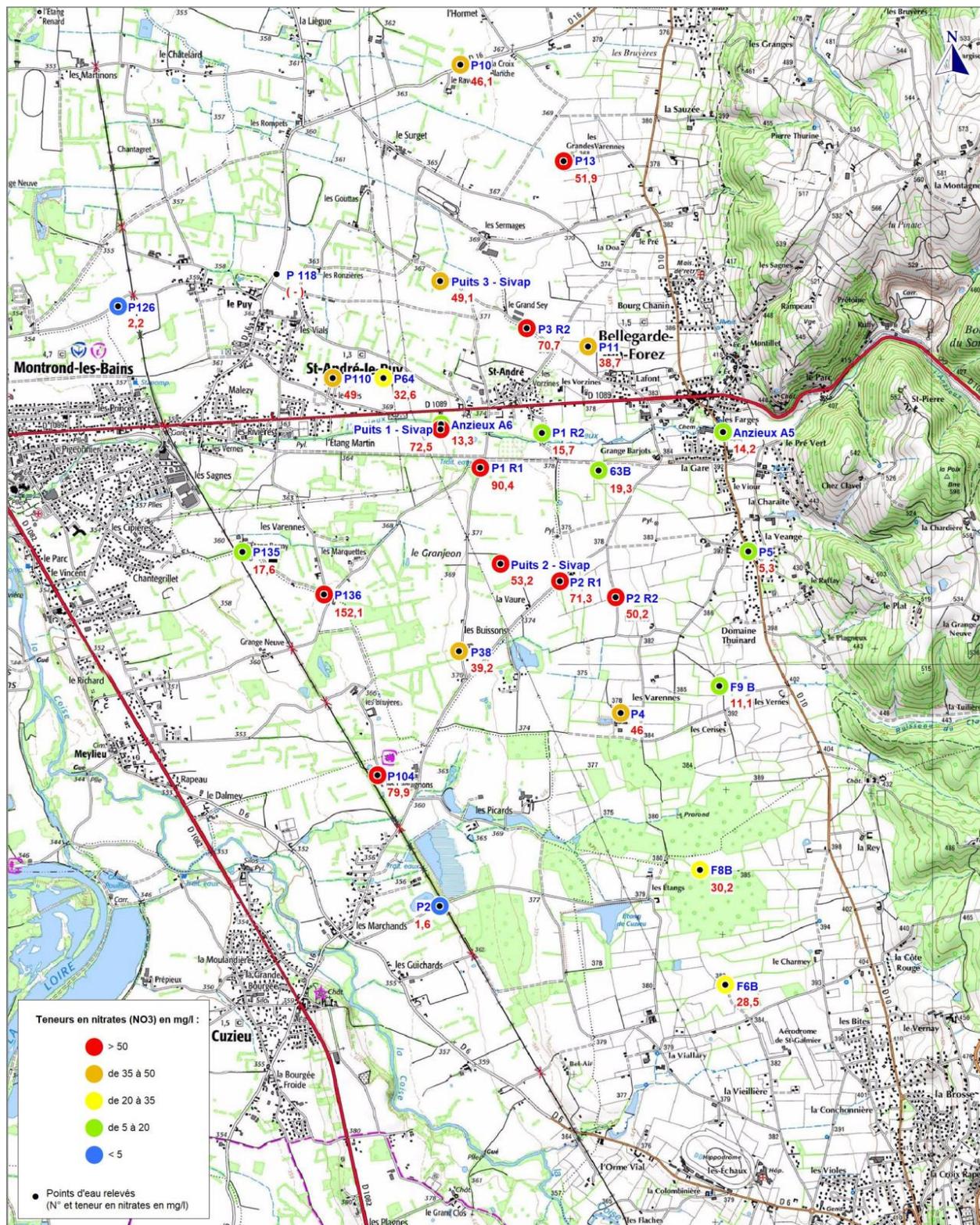


Illustration 39 – Carte de la concentration en nitrate dans les eaux souterraines sur le secteur du SIVAP en juin 2019 (Source : CPGF Horizons, 2021)

b) Balbigny

Remarque : le présent chapitre reprend une grande partie des informations contenues dans le rapport TAUW [2011].

Pour la production d'eau potable, la commune de Balbigny exploite 4 ouvrages souterrains présents dans la zone d'étude :

- Les puits nommés P2 ([BSS001TESD](#), anciennement 06967X0087/CPT) et P3 ([BSS001TESE](#), anciennement 06967X0090/CPT), situés sur la commune de Balbigny. Ces ouvrages captent la partie superficielle des terrains sédimentaires, cartographiés comme un complexe colluvial/alluvial ;
- Le puits F2 ([BSS001TESG](#), anciennement 06967X0091/CPT) et le forage F ([BSS003RZKA](#)) situés sur les communes de Pouilly-les-Feurs et de Balbigny. Le 1^{er} capte la partie superficielle du complexe alluvial/colluvial, majoritairement sableux (profondeur atteinte : env. 16 m) et a connu des problèmes de pollution azotée. Réalisé plus récemment (2006), le 2nd atteint le substratum identifié comme du granite¹³ (d'après la coupe géologique transmise) vers 92 m de profondeur et intercepte les eaux souterraines entre 40 et 90 m de profondeur. Initialement artésien (2,8 m³/h), il peut atteindre 24 m³/h grâce à une pompe. La présence d'arsenic dans les eaux du forage a obligé la mise en place d'un traitement pour la potabilisation.

Il est à noter que les 3 ouvrages plus anciens encore exploités ne sont pas les premiers ouvrages d'exploitation : ils ont remplacé antérieurement un puits, dont la productivité a été jugée comme médiocre, et une tranchée drainante proche de la Loire [TAUW, 2011]. Ce remplacement a été réalisé entre les années 1970 et 1980 mais le 1^{er} essai, réalisé au niveau de l'ouvrage F1, s'est d'abord révélé infructueux (débit de l'ordre de 750 m³/j pour un objectif de plus de 1000 m³/j). Ce 1^{er} ouvrage a été abandonné. Situé 40 m plus au sud, l'ouvrage F2 s'est révélé plus productif mais un rapport d'hydrogéologue agréé [ELMI, 1987 a] pointe également une protection insuffisante des eaux souterraines par la couche d'argile superficielle, cette dernière étant mise en évidence par une contamination d'origine anthropique (« détergents », fer, manganèse, nitrate, nitrite, aluminium). Cette contamination pourrait être à caractère « accidentel lié aux travaux » (de forage ?) [ELMI, 1978 b].

Les 3 ouvrages les plus anciens (P2, P3 et F2) font partie de la liste nationale de 507 captages dits « Grenelle » (établie en mai 2009) en raison d'une concentration trop élevée en nitrate (NO₃⁻). Il est important de souligner que des écarts conséquents concernant la concentration en nitrate dans les eaux souterraines ont pu être constatés. Le 4^{ème} forage permet d'ailleurs de réaliser un mélange afin d'obtenir des concentrations conformes aux valeurs réglementaires pour l'adduction d'eau potable.

La commune de Balbigny a également fait réaliser une carte piézométrique en 2010 [TAUW, 2011]. Au regard des données de la campagne piézométrique, le bureau d'études TAUW a fait le choix de considérer l'existence d'une continuité hydraulique entre une « nappe des coteaux » (dessinée de façon indicative) et la nappe des anciennes alluvions (Illustration 41). Le gradient

¹³ Etant donné le manque d'information sur la coupe géologique transmise, il est difficile de relier avec certitude le « granite gris dur » à la formation présente sur les reliefs les plus proches à savoir la *trondhjémite* (roche magmatique, parfois assimilée à un granite) *albitique de Chindo*. Une autre possibilité, quoique moins probable, serait la formation de gneiss chloriteux d'Affoux.

de la nappe au droit des captages, calculé à partir de cette carte piézométrique, est d'environ 8,7 ‰ et orienté vers le sud-ouest.

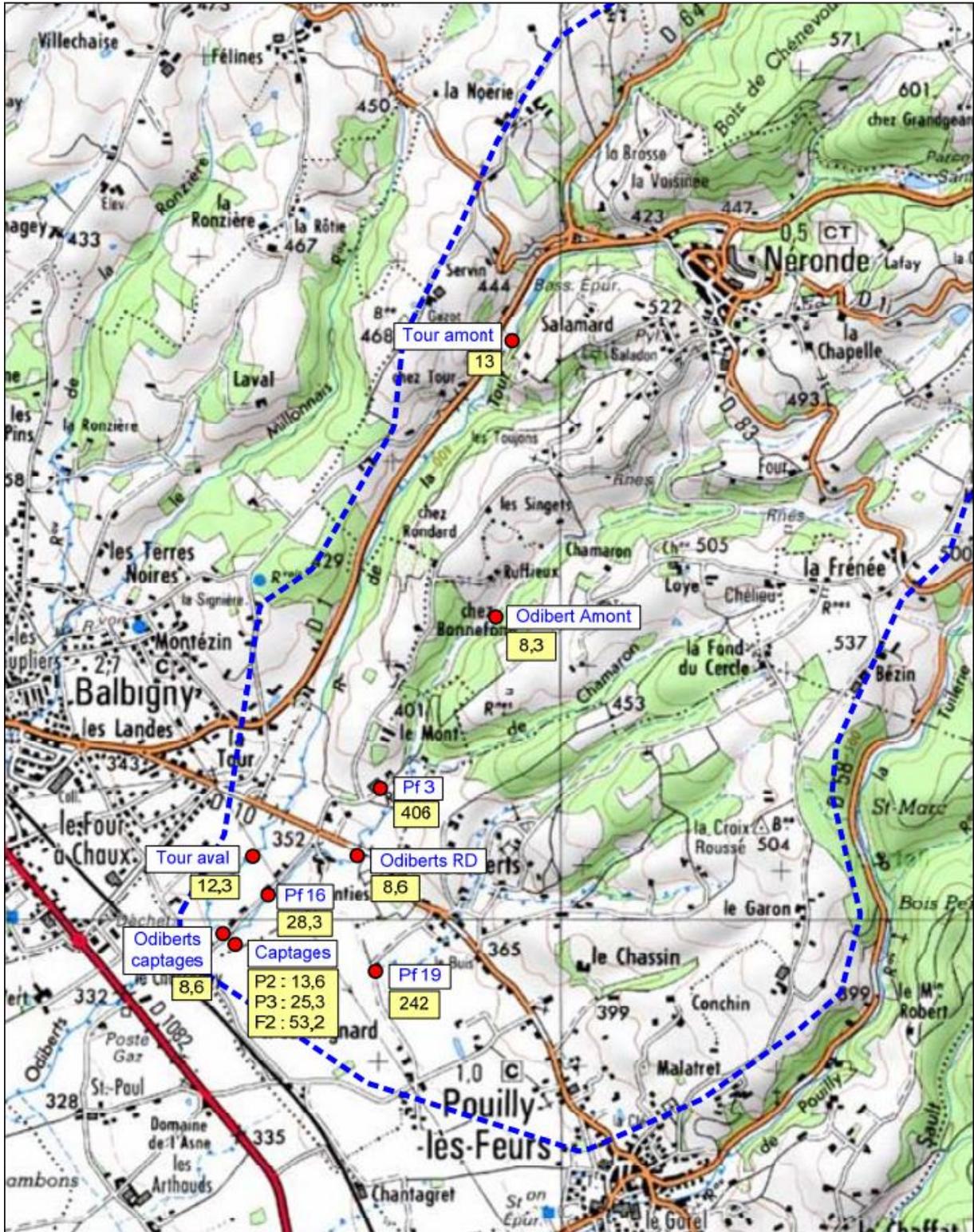


Illustration 40 - Localisation des prélèvements d'eau de surface et souterraine et résultats d'analyses des nitrates (en mg/l) (Source : TAUW, 2011)

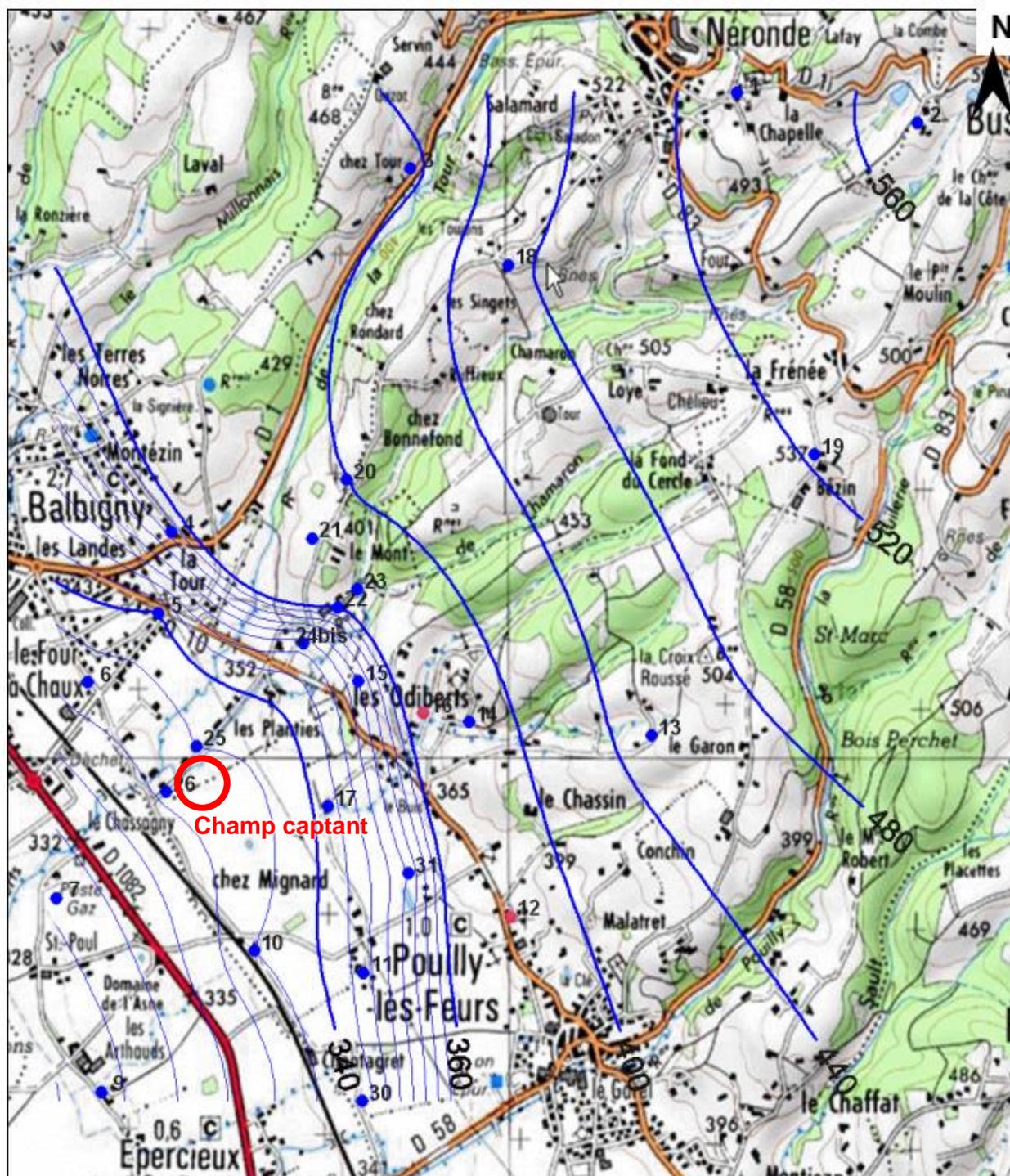


Illustration 41 - Carte piézométrique à proximité des 4 captages d'eau potable de Chassagny / Balbigny
(Source: TAUW, 2011)

Il est à noter qu'un nouveau contrat territorial a été signé entre Balbigny et LFA pour la période 2023-2025 : 10 actions, principalement orientées vers la profession agricole, ont été identifiées pour répondre aux besoins opérationnels du contrat territorial visant à une amélioration de la qualité de l'eau.

Remarque : En 2023, la commune de Balbigny prévoit de lancer une étude afin d'apporter des éléments complémentaires sur le fonctionnement des eaux souterraines, en particulier sur les variations de concentration en nitrate constatées dans les 3 ressources actuelles. La phase d'étude complémentaire pourrait comprendre plusieurs actions (ajout de piézomètres sur de nouvelles zones à prospecter sur les communes de Pouilly-les Feurs et Eperçieux St Paul, analyses chimiques et/ou isotopiques, etc). Au regard des suites potentielles de la présente étude menée conjointement par le SAGE LRA et le BRGM, une mutualisation des moyens pourrait être étudiée.

c) *Ouvrages abandonnés*

Il est à noter que la base de données [ATLASANTE](#) mise à disposition par l'ARS mentionne plusieurs captages d'eau potable abandonnés dans la moitié sud de la zone d'étude :

- deux ouvrages étaient situés à Veauche, et implantés dans les alluvions récentes de la Loire ([BSS001UNYS](#), anciennement 07208X0206/CPT, appelé aussi : P2 « Les Baumes » ; [BSS001UNUR](#), anciennement 07208X0078/FS5, appelé aussi : P1 « Veauche ») ;
- un autre ouvrage était situé à St-Bonnet-les-Oules ([BSS001UNYR](#), anciennement 07208X0205/CPT, appelé aussi « Les Brosses »), implanté dans les alluvions anciennes ;
- deux (trois d'après le site ATLASANTE) ouvrages étaient situés à Chamboeuf ([BSS001UNWY](#), anciennement 07208X0138/CPT, appelé aussi « Bécot 1 » ; [BSS001UNRP](#), anciennement 07208X0003/BECAU2, appelé aussi « Bécot 2 »), implantés dans les alluvions anciennes.

Remarque : Les rapports techniques ou scientifiques relatifs à la fermeture de ces captages n'ont pas pu être transmis par l'ARS dans les délais de la présente étude.

2.3.4. Eaux thermales et minérales

Les sites d'eaux thermales et minérales sont au nombre de 3 sur la zone d'étude (Illustration 42). Leur emplacement est largement contrôlé par le contexte géologique local, à savoir un graben affecté de plusieurs failles et comblé par des matériaux sédimentaires d'âges tertiaire et quaternaire, marqué localement par des intrusions magmatiques. Salt-en-Donzy et St-Galmier sont probablement reliés à des circulations et/ou des compartimentations d'eaux souterraines à proximité des failles bordières.

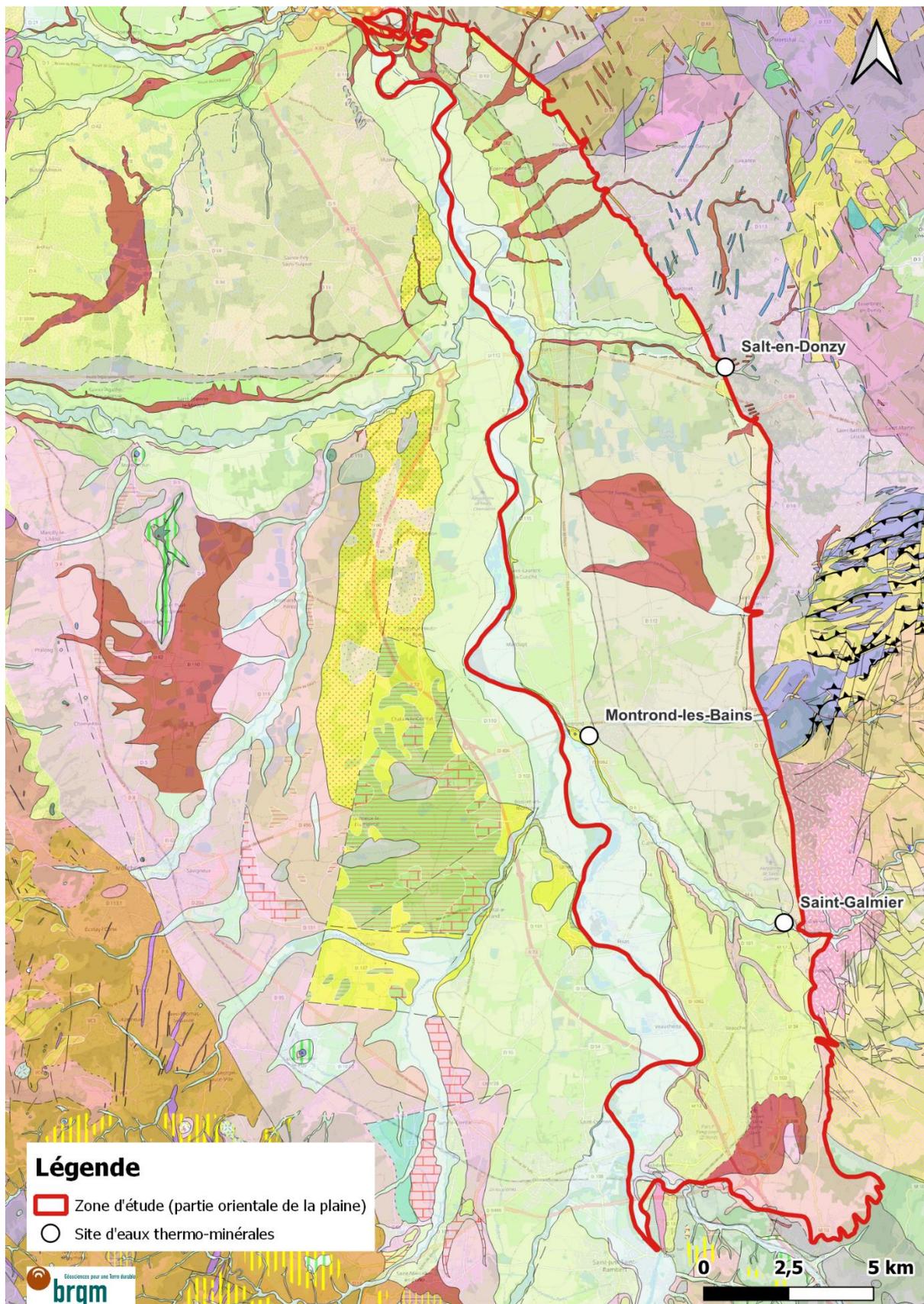


Illustration 42 – Localisation des sites d'eaux thermales et/ou minérales (Sources : BRGM, OSM)

a) Montrond-les-Bains

Remarque : le présent chapitre reprend une grande partie des informations contenues dans le rapport BRGM [Vigouroux et al., 2012, BRGM/RP-60748-FR].

La commune de Montrond-les-Bains (appelée Meylieu-Montrond jusqu'en 1937) est située au bord de la Loire, soit sur la limite occidentale de la zone d'étude. Son sous-sol, majoritairement composé de sédiments tertiaires et quaternaires, présente la particularité d'être traversé par un dyke volcanique (§ 2.1), formant ainsi une colline au sommet de laquelle a été implantée une fortification (mentionnée dès le XII^{ème} s.) puis un château. Entre 1879 et 1881, des travaux de terrassement puis de forage sont entrepris dans le cadre d'une recherche de gisement de charbon, et entraînent la découverte de 5 nappes artésiennes (jaillissantes) dont les 4 dernières correspondent à des eaux minérales. L'ouvrage, appelé Geyser IV en raison de la chimie proche de la source n°4 à Vals-les-Bains (Ardèche), a été équipé de façon à capter la nappe minérale à partir de 475 m de profondeur. La découverte de ce gisement a joué un rôle important dans le développement de la commune au cours du XX^{ème} s.

Le site dispose de plusieurs forages, dont seuls 3 sont encore en exploitation : MON 1 ([BSS001UMZH](#)), MON 2 ([BSS001UMZG](#)) et MON 3 ([BSS001UMZF](#)). Ces ouvrages sont plus récents et moins profonds que les forages Geyser IV (502 m ; [BSS001UMWC](#), anciennement 07204X0005/GEYS4) et Détente (529 m ; [BSS001UMZA](#), anciennement 07204X0079/FGYSDT). Il est d'ailleurs à noter que Détente ne capte pas le même horizon productif que ceux en exploitation [Vigouroux et al., 2012, BRGM/RP-60748-FR].

Fixé par l'arrêté préfectoral du 03/12/2009 (réf. 2009-566), le débit maximal d'exploitation pour la source (mélange) Geyser V est de 25 m³/h, réparti entre les ouvrages MON 1 (1 m³/h), 2 (15,4 m³/h) et 3 (8,6 m³/h). Cette exploitation est autorisée en tant qu'eau minérale naturelle. Les ouvrages sont situés en dehors des périmètres de protection éloignés des captages du SIVAP, mais le périmètre établi au titre de la DIP (datant de 1886) recouvre partiellement ce dernier.

Les eaux thermales captées sont carbogazeuses et présentent un profil hydrochimique de type bicarbonaté sodique marqué : les ions HCO₃⁻ et Na⁺ représentent plus de 90% [Vigouroux et al., 2012, BRGM/RP-60748-FR]. La température de l'eau est de 24°C et la conductivité est élevée (proche de 3800 µS/cm).

La composition particulière de cette eau lui confère des qualités digestives et sédatives, propres au traitement des pathologies liées à l'appareil digestif et des maladies métaboliques. Les troubles de la nutrition et la rhumatologie font également partie des orientations thérapeutiques de l'établissement thermal de Montrond-les-Bains. Il est à noter que Montrond-les-Bains est la seule station thermale en activité dans le département de la Loire. Entre 2012 et 2019, le site thermal était exploité par Opalia 2 (filiale commune de Vert Marine et de la Lyonnaise des eaux). Suite au rachat des parts de la mairie (soit environ 80% du total des parts) par la Chaîne thermale du Soleil en 2019 puis un placement en redressement judiciaire (ayant pris fin en 2021 [Source : [L'Essor](#)]), les thermes et le site aqualudique attendant ont repris leur activité en 2022.

Le gisement hydrothermal et les conditions de circulation du fluide thermal depuis la zone d'impluvium jusqu'à la zone d'émergence ne sont pas connus avec précision aux plans géologique, hydrogéologique et géochimique. L'étude BRGM [Vigouroux et al., 2012, BRGM/RP-60748-FR] fait l'hypothèse de l'existence de deux types de circulations (Illustration 43) :

- « *Un premier circuit concernant les formations tertiaires : L'aire d'alimentation de ce circuit est constituée par les affleurements quaternaires et tertiaires de la Plaine du Forez. La circulation s'effectue de façon descendante au sein*

des formations détritiques puis horizontalement au sein de chaque horizon sableux. Le temps de transit estimé pour les eaux circulant dans ces formations serait de l'ordre de 10 000 ans pour les horizons superficiels et de 20 000 ans pour les horizons les plus profonds [Hydro Invest, 2009].

- *Un second circuit profond concernant le socle :*
L'aire d'alimentation de ce circuit n'est pas connue avec précision. Cependant, il est probable qu'elle soit constituée par les formations de la base du Tertiaire et vraisemblablement par une partie du socle cristallin voisin des Monts du Lyonnais [à l'est de la présente zone d'étude]. La circulation de l'eau se fait principalement à la base des formations tertiaires au contact du socle. Au cours de ce transit, l'eau acquiert sa minéralisation lors d'échanges avec la roche encaissante. Elle s'enrichit en éléments minéraux, notamment en sodium et bicarbonates au contact des silicates. L'eau s'enrichit également en gaz carbonique grâce à des venues de CO₂ d'origine mantellique (zone magmatique profonde). En effet, la composition isotopique du carbone 13 du CO₂ libre est comparable à celle du carbone des gaz volcaniques libérés du magma [Lamotte & Vigouroux, 2003 ; BRGM/RP-52508-FR]. Le CO₂ compris dans ces eaux résulte donc de phénomènes géologiques profonds comme le dégazage du manteau. Ces eaux remontent à la faveur de failles normales (ouvertes) et d'accidents tectoniques et atteignent les formations plus superficielles où elles se mélangent avec les eaux des dépôts tertiaires. Le temps de transit des eaux de ce circuit hydrothermal reste inconnu. »

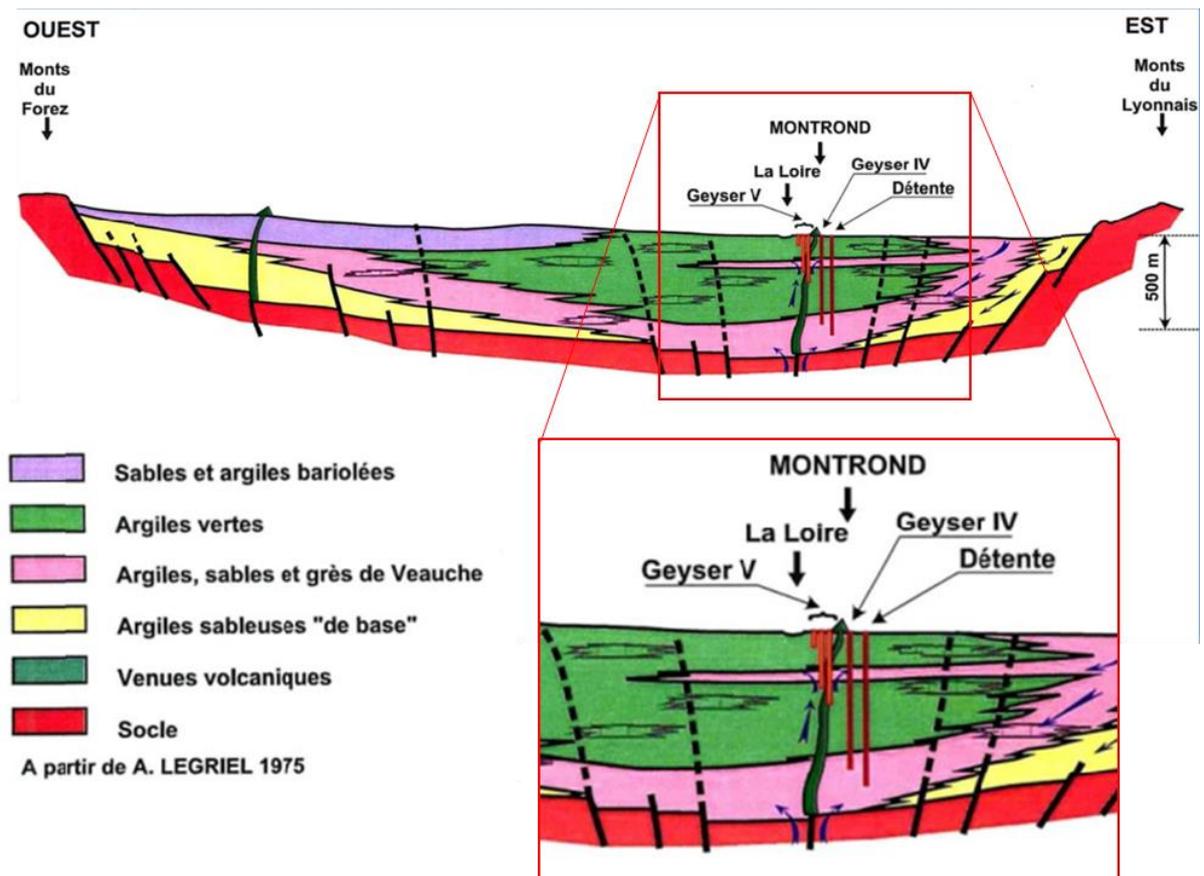


Illustration 43 - Coupe géologique simplifiée illustrant les circulations d'eaux souterraines (modifiée de: Hydro Invest, 2009)

Le site thermal bénéficie d'une protection assez notable de sa ressource par le fait que les activités anthropiques sont peu développées (en comparaison d'autres sites en France), par le fait que l'équipement de production au niveau de la source Geysers V est récent (moins susceptible d'être à l'origine de problème d'exploitation), et que le site dispose d'un périmètre de protection établi au titre d'une DIP¹⁴ (disposition administrative relativement rare). Le périmètre de la DIP (prévu initialement pour Geysers IV en 1886) a été mis à jour avec la demande d'autorisation d'exploiter pour Geysers V mais celui-ci mériterait d'être révisé après la réalisation d'études hydrogéologiques complémentaires permettant de préciser le schéma hydrothermal local (voir § précédent). Contrairement aux ouvrages précédents, Geysers V dispose d'un PSE (périmètre sanitaire d'urgence) de 1030 m².

b) St-Galmier

La commune de St-Galmier est située en bordure orientale de la plaine du Forez, soit sur la limite orientale de la zone d'étude. Elle est également à la limite entre deux domaines géologiques : celui de la plaine à l'ouest, majoritairement composée de sédiments tertiaires et quaternaires reposant sur un socle effondré, et celui du socle granitique à l'est (appelé « granite de St – Galmier ») fortement faillé, formant les vallées et monts du Lyonnais (§ 2.1). St-Galmier est traversée d'est en ouest par la Coise, offrant une des rares occasions d'observer une partie des formations tertiaires à l'affleurement, ou sous une faible épaisseur de sol.

L'histoire des sources dans le secteur de St-Galmier est documentée depuis l'occupation romaine (thermes redécouverts au XIX^{ème} s.). Actuellement, le mélange exploité à des fins d'embouteillage par la SAEME (Société Anonyme des Eaux minérales d'Evian), filiale du groupe DANONE (lui-même intégré au sein de d'Evian Volvic Water Sources), est composé d'eaux provenant de 10 ouvrages : Aubignat, Badoit Ouest (A3), Charmante, Charpinière, Côte rouge, Généreuse (SG1b), Hippodrome, Joyeuse et Violes. Fixé par arrêté préfectoral, le débit total maximal autorisé pour ces 10 ouvrages est de 40 m³/h [BADOIT, 2021].

Certains forages de St-Galmier sont aussi les seuls à atteindre le socle granitique (ex : 193 m au forage [BSS001UNXB](#)) car ce dernier est situé à une profondeur moindre que dans la partie centrale de la plaine (§ 2.1.1).

De nombreux travaux scientifiques (levés géophysiques, analyses chimiques et isotopiques, essais de pompage...), dont une partie portée par la SAEME / DANONE reste confidentielle, ont apporté des éléments mettant en évidence l'importance des circulations profondes à travers l'horizon fissuré de l'aquifère de socle, ainsi que du rôle joué par les failles (§ 2.1.1) ; certaines de ces dernières pouvant jouer le rôle de drains, d'autres celui de barrières [Dewandel *et al.*, 2015 ; Dewandel *et al.*, 2017].

Le schéma conceptuel de fonctionnement des eaux souterraines exploitées pour l'embouteillage dans le secteur de St-Galmier peut être illustré de la façon suivante :

¹⁴ Déclaration d'Intérêt Public

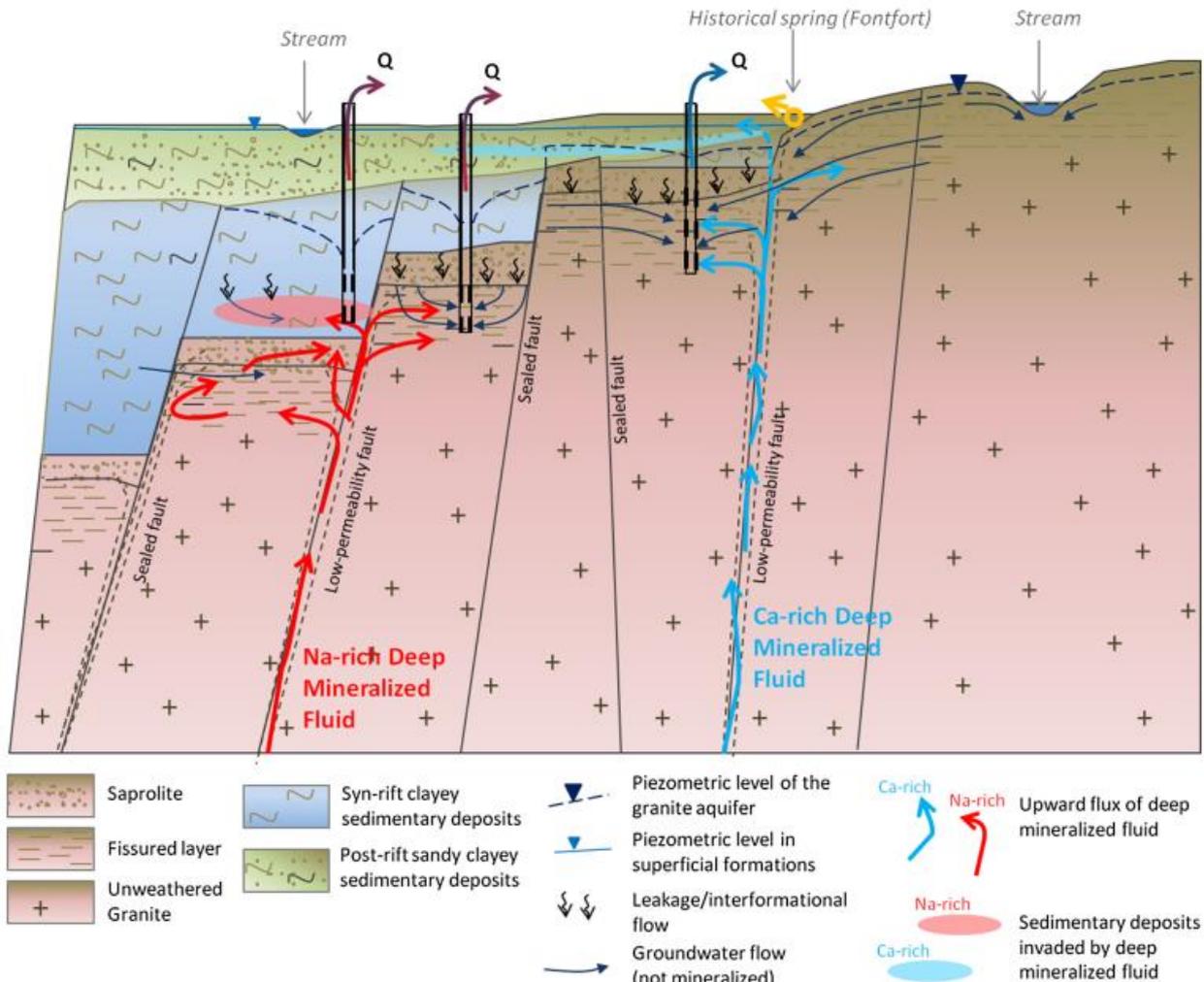


Illustration 44 - Schéma conceptuel du fonctionnement du site de St-Galmier, mettant en évidence le rôle des failles dans la circulation d'eaux souterraines profondes, respectivement riches en Na et Ca, et le mélange s'effectuant avec des eaux souterraines infiltrés plus récemment [Dewandel et al., 2017]

c) Salt-en-Donzy

Comme St-Galmier, Salt-en-Donzy est située le long de la limite orientale de la plaine, et donc la zone d'étude. De façon similaire, le sous-sol est partagé entre un domaine granitique à l'est (appelé « monzogranite de Salt-en-Donzy »), et le domaine sédimentaire à l'ouest (1^{er}, 2nd et 3^{ème} paliers des terrasses quaternaires, sus-jacentes aux formation tertiaires). La carte géologique recense moins de failles que dans le secteur de St-Galmier (peut-être en partie en raison du nombre réduit d'études dans ce secteur en comparaison des prospections réalisées pour les besoins d'embouteillage), mais de nombreux filons sont présents.

De façon atypique par rapport aux autres eaux thermo-minérales du département de la Loire, la source de Salt-en-Donzy est non carbogazeuse au niveau de son point d'émergence [Gal, 2005]. Rimaud [1874] mentionne le fait que « quelques bulles d'acide carbonique viennent crever en surface » alors que Guichard [1940] mesure, entre autres, moins de 2% de CO₂, environ 93% d'azote et plus de 2% de gaz rares (argon, hélium, krypton, xénon). Gal [2005] a montré que l'eau de cette source, au pH basique (proche de 8) et classée dans les eaux tièdes (température de

l'ordre de 30°C) pourrait être le résultat d'un mélange entre une source profonde (130°C ; environ 3 à 4 km de profondeur – ce qui signifierait une circulation depuis le socle) et une alimentation par infiltration depuis une terrasse tertiaire¹⁵. Son emplacement serait lié à la présence d'une faille sur un escarpement bordier de la limite orientale du graben forézien (Illustration 45). Le temps moyen de transit est estimé autour de 2 500-5 000 ans.

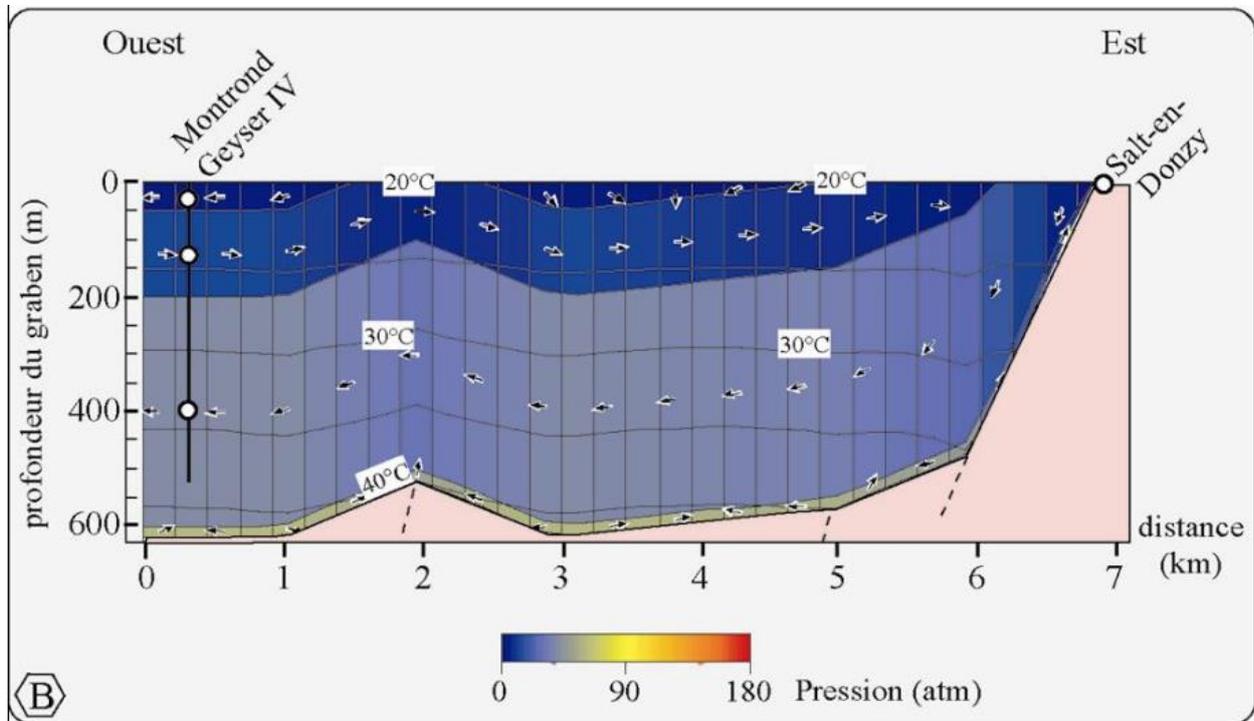


Illustration 45 - Représentation schématique d'une section entre Montrond et Salt-en-Donzy (Source : Gal, 2005)

Remarque : Le logiciel utilisé (Basin2 5.0 ; http://www.geology.uiuc.edu/~bethke/hydro_b2.htm) rend compte de la géométrie du bassin et de son remplissage (propriétés physiques et hydrologiques). Sont calculées l'évolution de la pression de fluide dans le bassin, la direction des écoulements des fluides et la température (contrôlée par le gradient géothermique).

D'après les documents consultés, cette source a probablement été exploitée comme ressource thermique durant la période romaine (voire avant), puis comme point d'eau pour laver le linge au XIX^{ème} siècle [Rimaud, 1874]. De plus, elle n'est pas référencée dans les différentes versions des *Annales des Mines* (1998 et 2000), consultées dans le cadre de la présente étude, ce qui aurait tendance à accréditer l'hypothèse d'absence de tout texte (décret, arrêté...) autorisant son exploitation à des fins thermales et/ou minérales.

¹⁵ Lors d'un échange téléphonique récent au sujet de cette source, M. Gal a précisé qu'il était nécessaire d'avoir une certaine réserve quant au schéma conceptuel proposé pour cette source. À titre d'exemples, la profondeur et la nature du substratum ne sont pas connues dans ce secteur ; une alimentation depuis une terrasse tertiaire (pole « récent » du mélange évoqué) pourrait être une infiltration en bordure des monts du Lyonnais, etc. Des analyses complémentaires pourraient être réalisées pour les gaz (non analysés en 2005).

Les seules fouilles archéologiques répertoriées sont liées aux travaux réalisés en 1935 [Guichard¹⁶, 1940] : une vaste zone pavée, des baignoires et un puits profond d'au moins 7 m ayant fourni un débit de 40 m³/h ont été répertoriés.

Non exploitée et située sur une parcelle privée, la source ne dispose pas d'identifiant dans la BSS et ne semble faire l'objet d'aucun suivi scientifique. Les derniers travaux scientifiques relatifs à cette source semblent donc être la thèse de Gal [2005].

d) Feurs

Encore moins documentée que les ressources souterraines précédentes, la source dite *de la Fanfare*, située au lieu-dit *Les Quatre* au sud-est de Feurs, donnerait une « eau froide peu abondante, sulfureuse et ferrugineuse » (selon la notice de la carte géologique de Feurs [Gagny *et al.*, 1989]).

2.3.5. Usage industriel

Au sein de la zone d'étude, la BNPE (§ 2.3.1) liste 9 industriels, dont seulement 6 prélèvent (ou ont prélevé - par le passé) des eaux souterraines pour leurs propres besoins. Ce chiffre inclut les activités de thermalisme (Chaîne thermale du Soleil) et d'embouteillage d'eau minérale (Danone/SAEME/Badoit) déjà mentionnés dans le présent rapport. Le tableau suivant présente les données de la BNPE pour l'année 2020 :

Année	Nom de l'ouvrage dans la BNPE	Commune	Volume (m3)
2020	EAUX MINERALES EVIAN SAS	Saint-Galmier	238 234
2020	LACTALIS NESTLE ULTRA FRAIS MARQUES SA	Andrézieux-Bouthéon	193 299
2020	OPALIA 2 SA	Montrond-les-Bains	180 067
2020	NESTLE PURINA PETCARE FRANCE SAS	Veauche	47 112
2020	NIGAY SA	Feurs	32 617
2020	SAGRA SA	Rivas	24 944

Tableau 7 – Prélèvements en eaux souterraines pour les besoins industriels référencés dans la BNPE pour l'année 2020

Il est important de garder en tête que la BNPE ne permet pas de connaître l'usage de l'eau prélevée pour chaque déclarant, en dehors des catégories « AEP », « irrigation » et « industriel ». Celle-ci peut, par exemple, entrer dans le circuit de refroidissement/chauffage d'une cuve sans pour autant être utilisée pour la fabrication de produits alimentaires pour laquelle une autre ressource, par exemple l'eau du réseau d'eau potable, est utilisée.

De même, certaines activités artisanales et industrielles n'apparaissent pas dans cette base car leurs besoins sont pris en charge par le réseau de distribution d'eau potable. Ainsi, à titre d'exemple, le nouvel ouvrage réalisé à Chassagny ([BSS003RZKA](#) ; voir § 2.3.3) est lié aux prévisions d'augmentation de la population (+0.8%/an) mais aussi motivé par le développement de la ZAC de ZAIN (consommation moyenne : 130 m³/j) et l'implantation de l'entreprise HUGOTAG (moyenne : 600 m³/j) [ARTELIA, 2021].

¹⁶ Le BRGM tient à remercier [La Diana \(Société historique et archéologique du Forez\)](#) pour son aide dans la recherche et la mise à disposition de cette référence bibliographique.

2.3.6. Forages domestiques

Le code de l'Environnement ([art. R214-5](#)) précise la définition de l'usage domestique d'un puits ou d'un forage (alimentation humaine, soins d'hygiène, lavage, productions végétales ou animales réservées à la consommation familiale) et un volume inférieure ou égale à 1000 m³/an. Le décret n°[2008-652](#) rend obligatoire la déclaration de ce type d'ouvrage en mairie, qu'il soit existant ou encore au stade de projet.

Comme indiqué précédemment (§2.1.3), seuls 25 % des communes de la zone d'étude disposent d'un compte sur la plateforme de déclaration des forages domestiques.

Une extraction de la base de données nationale par le BRGM, réalisée fin novembre 2022, permet de mettre en évidence le très faible nombre d'ouvrages déclarés : 5 sur St-André-le-Puy, 2 sur Marclopt, 1 sur Andrézieux-Bouthéon. Seuls 8% des communes (3 sur 36) disposent de données sur les ouvrages domestiques. Parmi les 8 sites identifiés, 2 pourraient correspondre aux ouvrages [BSS004DMYU](#) et [BSS004DRLK](#), en raison de leur localisation.

Au regard du nombre et des caractéristiques d'ouvrages déclarés, il apparaît non pertinent d'essayer d'estimer de façon réaliste la part des prélèvements domestiques sur la nappe superficielle. Concernant la part de prélèvements provenant de la nappe plus profonde, celle-ci est jugée négligeable (en raison de la faible profondeur des ouvrages déclarés).

2.3.7. Arrêtés sécheresse

L'Annexe 4 – Arrêtés sécheresse (Propluvia) de juin à août sur la période 2017-2022 présente les cartes départementales relatives aux arrêtés sécheresse pris au 1^{er} juin, 1^{er} juillet et 1^{er} août des six dernières années. Sur la période 2017-2022, l'été 2022 reste le plus problématique quant à la sévérité de la sécheresse.

2.4. SCHEMA CONCEPTUEL DE FONCTIONNEMENT DES EAUX SOUTERRAINES

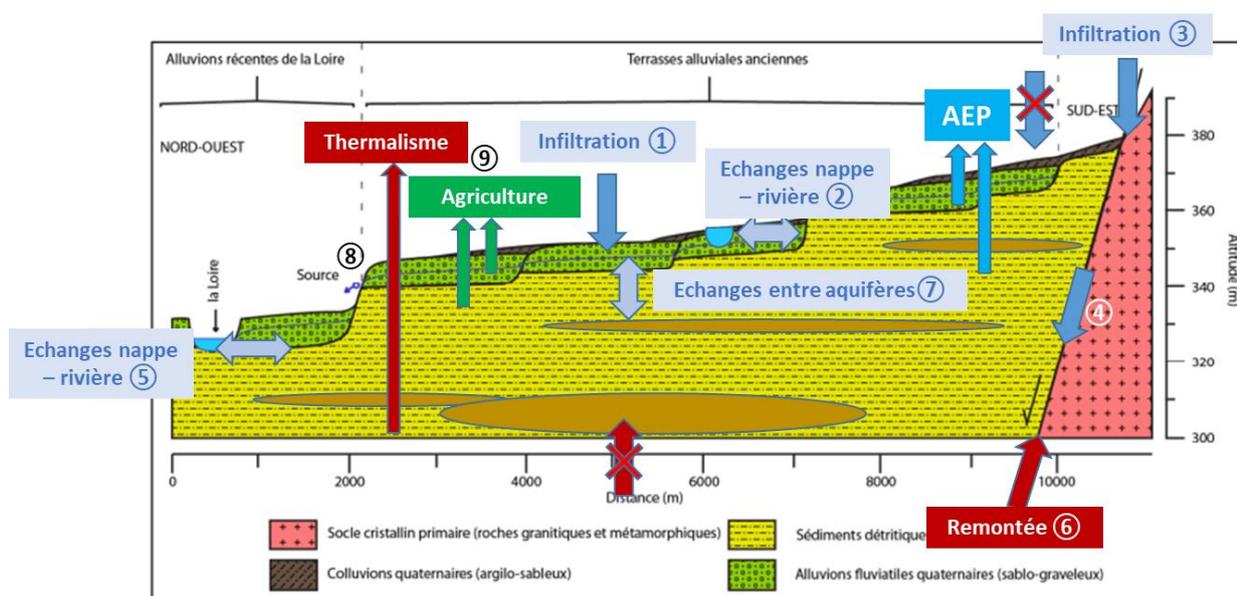


Illustration 46 – Schéma conceptuel simplifié du fonctionnement de l'hydrosystème dans la partie orientale de la plaine du Forez (modifié de Ré-Bahuaud [2012])

Concernant les « entrées » d'eau dans le schéma conceptuel de fonctionnement des eaux souterraines (Illustration 46), les études précédemment décrites dans le présent rapport montrent que celles-ci sont nombreuses et non systématiquement présentes sur l'ensemble du territoire de l'étude :

- L'infiltration directe des précipitations (① sur l'illustration 46) sur une partie du territoire est partiellement limitée sur certains secteurs par la présence d'horizons argileux (peu perméables) ;
- L'apport des cours d'eau peut s'effectuer de plusieurs façons (②) : 1) les cours d'eau recueillent le ruissellement sur la zone d'étude (en raison de la faible perméabilité des sols et/ou d'un relief faible) et une partie peut être transférée à la nappe ; 2) ils recueillent le ruissellement sur des surfaces conséquentes et situées en dehors de la présente zone d'étude ; la part apportée par les cours d'eau dépasse donc largement le ruissellement créé directement au droit de la zone d'étude.

La nature des sols et du sous-sol sur la bordure orientale (sur une largeur variable (ex : 250 à 1000m environ sur le territoire du SIVAP) permet d'envisager une infiltration rapide (③). Des jaugeages sur certains cours d'eau (ex : Anzieux) mettent clairement en évidence l'existence de pertes et donc une alimentation d'un aquifère superficiel.

En complément, l'existence de failles bordières dans le même secteur joue probablement un rôle important dans l'infiltration des eaux (infiltrées ou apportées par les cours d'eau ;④) dans les sédiments quaternaires voire également tertiaires.

- L'apport de la Loire et sa nappe d'accompagnement depuis l'amont de la zone d'étude (⑤) ;

- Les remontées de circulations d'eaux thermo-minérales à travers le socle (⑥), par l'intermédiaire de failles, puis la traversée à travers les sédiments tertiaires où ces eaux se mélangent avec des eaux plus récentes (moins de 50 ans). En dehors des volumes exploités à Montrond-les-Bains et St-Galmier, les données relatives aux autres sources sont anciennes voire obsolètes.

Au sujet des échanges entre les différentes formations sédimentaires (⑦), plusieurs auteurs ont souligné 1) la difficulté à réaliser des distinctions au sein de chacune des formations quaternaire et tertiaires, 2) l'existence de terrasses emboîtées ou non. Au sein de chacune des formations, la présence d'horizons plus argileux, d'épaisseur métrique voire au-delà, est avérée et constitue probablement un frein aux échanges verticaux (ascendant ou descendant). En cela, ces horizons favorisent également la mise en captivité des aquifères.

Concernant les « sorties » :

- Au regard des études consultées, en particulier les cartes piézométriques affichant un gradient hydraulique orienté vers l'ouest (⑧), il est possible de considérer la Loire comme un des exutoires, soit la principale « sortie » naturelle dans le schéma conceptuel.
- Pour les prélèvements (considérés comme une « sortie » ; ⑨), ils sont majoritairement réalisés dans la partie « superficielle » (par défaut : moins de 50 m de profondeur ; incluant ainsi les formations quaternaires et tertiaires), mais leur répartition géographique est inégale. Quant aux prélèvements profonds (ex : St-Galmier, Montrond-les-Bains), l'influence de ces derniers est compliquée à prendre en compte, notamment en raison du manque d'information sur les flux provenant du socle.

Concernant les échanges entre les différents compartiments, le résumé précédent peut être complété par les éléments suivants :

- BURGEAP [1955] considère le substratum granitique présent à proximité d'Andrézieux-Bouthéon comme imperméable, faisant office de mur¹⁷ pour l'aquifère contenu dans les terrasses alluviales sus-jacentes ;
- Dans le même secteur, CPGF Horizon [2021] considère les marnes vertes (Oligocène-Miocène) comme le mur de l'aquifère et note la présence de plusieurs surcreusements tertiaires (créés par la Loire) dont le plus important serait proche et parallèle de la limite orientale de la plaine selon les études géophysiques et les sondages mécaniques.

¹⁷ Le « toit » et le « mur » sont des termes utilisés pour désigner le sommet et la base d'une formation géologique. Par extension, en hydrogéologie, le « mur » correspond à un horizon imperméable (souvent argileux).

3. Comparaison entre bases de données

Rappel : Le cahier des charges de la présente étude prévoit la réalisation d'une comparaison entre les données de la BNPE, de la BSS Eau et de la DDT 42. L'objectif est d'avoir une estimation plus précise du volume prélevé sur les eaux souterraines et superficielles dans le secteur d'étude.

3.1. INTRODUCTION

La BSS-Eau est la base de données relative aux informations sur les eaux souterraines, utilisant le format SANDRE¹⁸ (données sur la qualité des eaux souterraines, niveaux d'eau, prélèvements, etc...), organisée et gérée par le BRGM. Cette base de données constitue le référentiel des points d'eau en France (métropole et DROM). L'ensemble des données "quantité" (ex : niveau piézométrique) et "qualité" (ex : analyse chimique) de ces points d'eau est accessible sur le portail d'accès aux données sur les eaux souterraines [ADES](#). Chaque élément de la BSS-Eau est identifié par un code unique, identique à celui présent dans la Banque du Sous-Sol ([BSS](#)). Des liens permettent d'ailleurs de relier les deux bases de données.

Concernant la BNPE, celle-ci a déjà été présentée dans le chapitre précédent (§ 2.3.1).

Le SAGE LRA a remis 4 fichiers SIG au BRGM : 3 d'entre eux correspondent à des informations sur les plans d'eau ; le 4^{ème} s'intéresse aux prélèvements. Ce dernier est un assemblage de données provenant des déclarations de redevance, gérées par l'AELB (§ 2.3.1 et 2.3.2), et d'une base de données de la DDT de la Loire. Cette dernière dispose d'une base de données relatives aux prélèvements, correspondant à une version améliorée de la base de données normalement rattachée au logiciel d'appui à l'instruction des dossiers de police de l'eau, dénommé CASCADE (Conception, Assistance, Suivi, Contrôle des Autorisations et Déclarations dans le domaine de l'Eau). Il est à noter que la DDT ne dispose pas des volumes indiqués par les déclarants.

Le fichier contient 304 entrées (Illustration 47), réparties de la façon suivante : 245 points liés aux eaux souterraines (« SOUT »), 36 relatives aux eaux superficielles (« CONT ») et 23 à des modes de stockage (« STOC » - indépendamment du type d'alimentation). Après une 1^{ère} analyse des données contenues dans le 4^{ème} fichier, le BRGM a pris attache avec la DDT de la Loire concernant des difficultés durant la vérification. À titre d'exemples : certains points relatifs aux eaux « continentales » sont aussi référencés comme des « retenues alimentées par un forage » (donc des eaux souterraines) ; un point classé à la fois comme « eau continentale » et avec une alimentation de type « nappe profonde »...

¹⁸ Langage commun français des données et référentiels sur l'eau pour le Système d'Information sur l'Eau (SIE) du Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau (SANDRE)

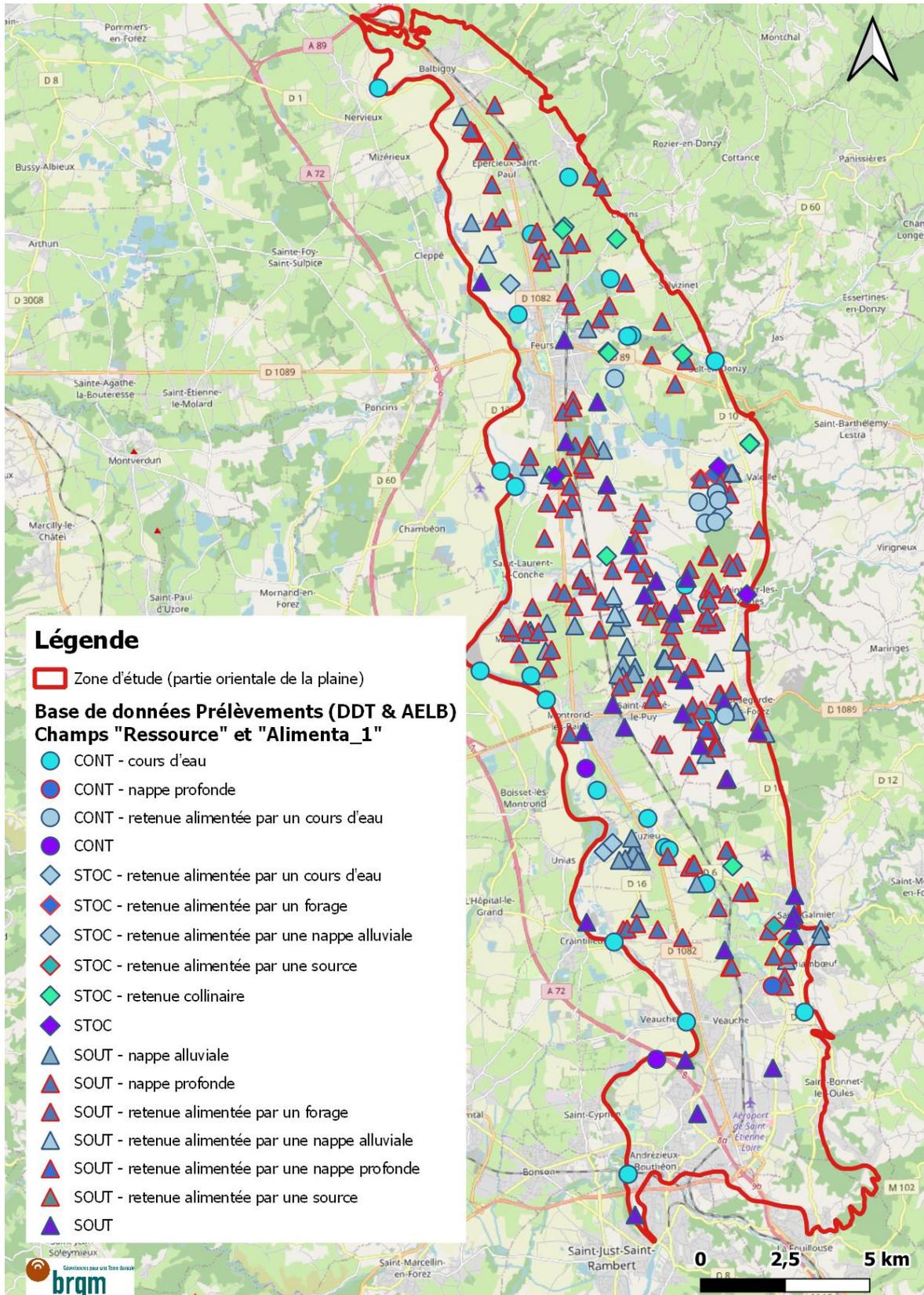


Illustration 47 - Localisation des points de la base de données transmise par le SAGE LRA (Source: AELB, DDT 42)

Légende : CONT= continentale ; STOC= stockage ; SOUT= souterraine

En novembre, il a été conjointement acté entre le BRGM et la DDT qu'au regard des objectifs de l'étude, il sera plus pertinent de limiter cette analyse aux points référencés comme « eaux souterraines » (champ : « Ressource » - provenant de l'AELB) et quel que soit le type d'alimentation (champ : « Alimenta_1 » - provenant de la DDT 42), soit 245 points (Tableau 8).

Alimentation	Nombre
Nappe alluviale	51
Nappe profonde	139
Retenue alimentée par un forage	10
Retenue alimentée par une nappe alluviale	5
Retenue alimentée par une nappe profonde	4
Retenue alimentée par une source	2
(vide)	34

Tableau 8 - Type d' "alimentation" identifié pour les points référencés "eaux souterraines" (Source: AELB, DDT 42)

3.2. ANALYSE

La BSS-Eau ne dispose que de 4 points dans la zone d'étude : 3 correspondent à des piézomètres suivis par le BRGM ([BSS001UMZE](#), [BSS001UNAB](#), [BSS001UNYH](#), ; voir §2.2.2), le dernier est un piézomètre ([BSS001TEUV](#)) pour lequel une valeur de perméabilité est disponible ($4,5 \cdot 10^{-3}$ m/s). Le travail de comparaison avec cette base de données n'est donc pas pertinent.

Comme indiqué (§ 2.3), le BRGM a réalisé un travail de bancarisation de nouveaux ouvrages, et de mise à jour d'ouvrages existants, à partir de la base de données de la DDT de la Loire. Plus de 60 ouvrages ont fait l'objet d'une modification ou d'une création dans la BSS (pour rappel, l'objectif était de 20 ouvrages).

Les divergences entre les deux bases de données peuvent être liées à plusieurs raisons (liste non exhaustive) :

- Difficulté de localisation avec précision de l'ouvrage (ex : utilisation d'un plan pour figurer approximativement la position, difficulté à utiliser certains outils numériques...)
- Existence de plusieurs ouvrages, utilisés de façon indépendante ou en fonction des besoins (ex : rotation de cultures, abreuvement, etc), pour une même exploitation agricole, ce qui rend complexe voire peut-être inadéquat le processus de déclaration ;
- Difficulté pour le/la déclarant(e) de faire la distinction entre une nappe alluviale et une nappe profonde (en l'absence de définition dans le formulaire de déclaration).

Consultés lors des comités de suivi, les acteurs locaux s'accordent sur le constat qu'une fraction des prélèvements, en particulier les usages domestiques et agricoles, n'est pas déclarée. Un inventaire plus exhaustif (en lien avec un contrôle des données existantes et d'un travail de terrain) semble être une des réponses techniques disponibles.

3.3. ESSAI DE CROISEMENT AVEC LA CARTE GEOLOGIQUE HARMONISEE

Suite à des échanges avec la DDT au sujet de la difficulté à identifier les ouvrages captant les horizons aquifères « alluvial » et/ou « profond », il a été proposé de partir de l'hypothèse que la carte géologique décrit correctement la nature et la géométrie des formations superficielles, et

d'essayer de faire un tri dans les ouvrages de la base de données relatives aux prélèvements (AELB et DDT).

Les formations superficielles (libellées de la façon suivante sur la carte géologique harmonisée : C-F', 'Cv', 'CRs', 'Cv', 'F(r)', 'Fw', 'Fx', 'Fy', 'Fy-z', 'Fz', 'K', 'pFv') ont donc été sélectionnées via une requête avec un logiciel SIG et comparées à la localisation des ouvrages (sans prendre en compte la profondeur de ces derniers). *In fine*, il ressort que 233 ouvrages (sur 245) sont implantés au droit de formations superficielles d'après la carte géologique harmonisée : ce mode de croisement n'était donc pas pertinent pour identifier les ouvrages exploitant les formations « alluviales ».

4. Proposition d'investigations

4.1. ACTIONS PROPOSEES PAR LE BRGM AVANT LE COSUI 2

Suite à la synthèse des données hydrogéologiques, le BRGM a proposé aux acteurs locaux de réfléchir à la pertinence de plusieurs actions d'investigation sur le territoire, et en amont du COSUI 2.

- **Action n°1 : Installation de stations piézométriques supplémentaires en rive droite :** Actuellement, seuls les ouvrages de St-André-le-Puy (chronique : 15 ans) et St-Galmier (20 ans) sont en fonctionnement en rive droite. Comme le pointe la thèse de Ré-Bahuaud [2012] reprenant l'étude CESAME [2010]), il pourrait être pertinent de faire un suivi complémentaire dans d'autres secteurs. Il est à noter qu'un effort avait été fait en ce sens par la DDT, sans aboutir en 2015, et avait permis d'identifier 3 agriculteurs ayant donné leur accord pour l'implantation de stations de mesure piézométrique dans des ouvrages superficiels (emplacements : nord et est de Feurs, sud de Veauche). Dans le cas présent, l'objectif serait de réaliser une 1^{ère} phase de suivi sur une durée de 1 voire 2 an(s), puis en fonction des résultats, le suivi pourrait être pérennisé et/ou prolongé sur plusieurs années (>10 ans ?) afin que les données piézométriques soient réutilisées pour la gestion de crise (sécheresse, inondation...) et/ou de la modélisation hydrodynamique.

À titre de comparaison, le SAGE de l'Est Lyonnais dispose d'un [réseau de 26 piézomètres](#), répartis sur 31 communes, pour le suivi de 2 aquifères (la molasse et les couloirs fluvio-glaciaires).

Le BRGM suggère un renforcement, au moins temporaire (durant un ou plusieurs cycles hydrologiques), à hauteur de 6 stations pour l'aquifère des alluvions anciennes et récentes. Visibles sur l'illustration 48, les 5 secteurs proposés par le BRGM sont :

- nord-ouest d'Andrézieux-Bouthéon (1 station) et Veauche / Andrézieux-Bouthéon (1 station) , en raison de la présence de plusieurs forages industriels. Le secteur de Veauche / Andrézieux avait déjà été identifié par Ré-Bahuaud [2012] puis la DDT en 2015 ;
- Cuzieu / Rivas (1 station) et St-Laurent-la-Conche / Feurs / Valeille (2 stations), en raison de la densité de forages agricoles et de la présence de cours d'eau (Coise pour l'un, Garollet et Loise pour l'autre) et d'étangs pouvant influencer les écoulements souterrains. Le secteur proche de Feurs avait déjà été identifié par Ré-Bahuaud [2012] puis la DDT en 2015 ;
- Balbigny / Pouilly-les-Feurs (1 station), en raison des enjeux liés à la production d'eau potable. Ce secteur avait déjà été identifié par Ré-Bahuaud [2012] mais non retenu par la DDT en 2015.

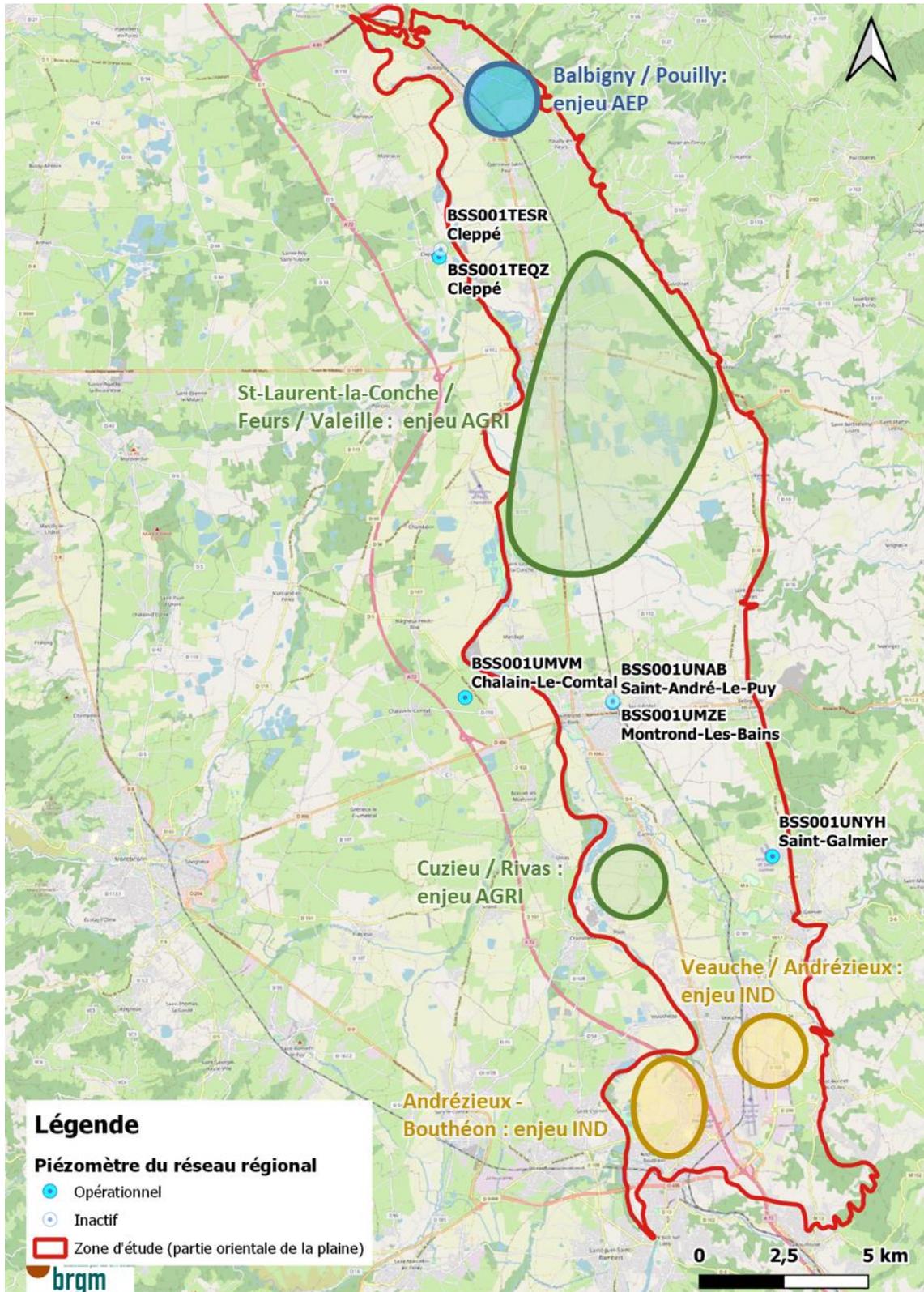


Illustration 48 - Proposition de réseau piézométrique complémentaire

Objectifs : Avoir une vision plus précise des fluctuations de certains paramètres (pression, température, en option : conductivité) de(s) l'aquifère(s) étudié(s), disposer de données

pour la gestion de la ressource (ex : seuils pour les arrêtés sécheresse, chronique piézométrique pour un outil de modélisation 3D...)

Durée : 3 à 12 mois, en fonction du nombre de stations piézométrique identifiées et de la difficulté à identifier des propriétaires d'ouvrages acceptant l'installation de capteurs. Suivi sur 1 an minimum.

Limites : Accord des propriétaires d'ouvrages, compatibilité des ouvrages avec le matériel de mesure, disponibilité d'un réseau télécom pour la transmission des données, dégâts matériels.

Coût : Variable en fonction du nombre de stations et du matériel choisi. Estimation proche de 20 k€ (incl. achat, pose et maintenance), impliquant la réutilisation d'ouvrages existants.

- **Action n°2 : Installation de stations piézométriques supplémentaires dans la partie profonde de l'aquifère tertiaire** : Actuellement, le nombre d'ouvrages atteignant la partie plus profonde (au-delà du 100 m – valeur par défaut) des sédiments tertiaires est restreint. La majorité des ouvrages se trouve à proximité des zones d'exploitation de Montrond-les-Bains et St-Galmier. Deux piézomètres pourraient être installés, respectivement dans les secteurs de Feurs / Salvizinet / Civens / Salt-en-Donzy / Valeille et de Veauche / St-Bonnet-les-Oules / Andrézioux-Bouthéon. Ces secteurs sont assez proche de ceux identifiés dans la thèse de Ré-Bahuaud [2012].

Objectifs : Améliorer les connaissances concernant la partie profonde de la plaine du Forez, voire les échanges entre aquifères.

Durée : 3 à 12 mois, en fonction du nombre de stations piézométrique identifiées et de la difficulté à identifier des propriétaires d'ouvrages acceptant l'installation de capteurs. Suivi sur 1 an minimum.

Limites : Accord des propriétaires d'ouvrages, compatibilité des ouvrages avec le matériel de mesure, disponibilité d'un réseau télécom pour la transmission des données, dégâts matériels.

Coût : Variable en fonction du nombre de stations et du matériel choisi. Estimation proche de 10 k€ (incl. achat, pose et maintenance), impliquant la réutilisation d'ouvrages existants.

- **Action n°3 : Inventaire des ouvrages souterrains** :
Le présent rapport a montré les limites de la synthèse de données relatives aux forages : les difficultés rencontrées (ex : absence de déclaration de forages domestiques, erreurs des déclarants pour les usages agricoles, manque de compatibilité entre certaines bases de données, informations sensibles quant à la pollution de forages vis-à-vis d'usages agro-alimentaires et AEP...) ne permettent pas d'avoir une vision précise des prélèvements, que ce soit par type de ressource (nappe « alluviale » / « profonde »), au cours de l'année ou à l'échelle de la zone d'étude (répartition géographique).

Ce type d'actions a été proposé/porté récemment par les SAGE de l'Est Lyonnais ([2019](#)) et du Bas Dauphiné Plaine de Valence ([PAGD 2019, action A5 « Plan d'Action Forage : Réaliser l'inventaire des forages domestiques en alluvions et molasse et collecter des données complémentaires sur les forages agricoles inventoriés »](#)). Dans la majorité des approches constatées, une 1^{ère} étape de synthèse et de constat des lacunes est réalisée ; le présent rapport peut être considéré comme cette étape. Les étapes suivantes sont : la création d'une base de données commune à tous les acteurs de la gestion des

eaux souterraines, une enquête à l'échelle communale¹⁹ (avec la possibilité de donner une priorité aux secteurs avec enjeux – ex : AEP), éventuellement en parallèle de contrôles pour les forages avec un volume supérieur à 1000 m³/an, un travail de synthèse / cartographie / anonymisation des informations récoltées.

Objectifs : Mieux connaître les usages concernant la ressource en eau souterraine (localisation, profondeur, volume, etc), préparer les actions ultérieures (réseau piézométrique, campagnes piézométriques, analyses chimiques...)

Durée estimée à : 1 (voire 2) an(s) - au regard des retours d'expérience sur 2 autres SAGE.

Limites : réticence des propriétaires concernant la déclaration d'ouvrages (retour d'expérience), difficultés liés au RGPD...

Coût : À définir (échelle de temps, précision attendue, implication d'un EPTB?). 50 k€ ?

- **Action n°4 : Campagnes piézométriques en hautes eaux et basses eaux (HE/BE) :** Plusieurs cartes piézométriques, y compris récentes, existent mais seulement pour une partie du secteur d'étude. La dernière carte disponible à l'échelle de la zone d'étude est celle de Ré-Bahaud [2012] qui est un assemblage de cartes plus anciennes. Or, il est probable que des évolutions (ex : baisse locale du niveau piézométrique) soient visibles entre cette carte et la période actuelle. Il pourra être envisagé de reprendre la liste des points déjà identifiés en rive droite (à partir des résultats de la phase 1), de la compléter dans certains secteurs (La Fouillouse, Veauche ou Chamboeuf, St-André-le-Puy) et de réaliser *a minima* deux campagnes (hautes et basses eaux).

Ce travail pourrait bénéficier de l'inventaire des ouvrages souterrains, mais cela retarderait sa réalisation.

Objectifs: Mieux comprendre l'évolution spatiale et temporelle de la nappe des alluvions récentes et anciennes, les relations nappe-rivière (et peut être disposer d'éléments de base pour une modélisation 3D?).

Limites : coopération et disponibilité de l'ensemble des propriétaires des ouvrages, distinction difficile entre les alluvions récentes, les alluvions récentes et les terrains tertiaires, densité de points (en lien avec le budget), hypothèses prises pour l'interpolation (ex : relation nappe-rivière)

Durée estimée : 18 mois si 2 campagnes

Coût : à déterminer en fonction de la précision attendue (nombre de points). À titre indicatif, une des cartes piézométriques [Collin, 1973 ; BRGM/73-JAL-027] avait utilisé 530 points pour toute la plaine du Forez ; la présente zone d'étude ne correspond qu'à 30 % environ de la plaine.

¹⁹ Contacté en novembre 2022, le SAGE Bas Dauphiné Plaine de Valence a indiqué qu'un 1^{er} test avec 5 communes (sur 135) allait être réalisé. Le recensement démarrera en 2023. La création et le cadrage nécessaire à la base de données, conforme aux dispositions du RGPD, semble avoir été chronophage. De son côté, le SAGE de l'Est Lyonnais s'est appuyé sur deux études antérieures (DDAF en 2009 et BURGEAP en 2011), un redécoupage par quartiers au sein de 4 communes-test puis une enquête de terrain (porte-à-porte), avant de réaliser un travail d'estimation des volumes prélevés à l'échelle communale. [GINGER BURGEAP, 2020]

- **Action n°5 : Elaboration d'indicateurs piézométriques pour la gestion quantitative de la ressource en eau souterraine et prévisions (MétéEau des nappes) :** La modélisation du fonctionnement hydrogéologique sera réalisée à l'aide de l'outil GARDENIA (©BRGM), et l'intégration des chroniques à partir des piézomètres suivis par le BRGM.

Objectifs: Disposer d'un outil de visualisation et d'aide à la décision, permettant de faire du suivi presque « en temps réel » et des prévisions du niveau de nappe (à partir de scénarios météo (ex: absence de pluie sur 1 mois)).

Ce travail nécessite d'identifier un piézomètre en lien avec une station météorologique et une station hydrologique, toutes deux représentatives, d'un secteur de l'actuelle zone d'étude. Il faut également disposer d'historique de données fiables sur une échelle de temps de plusieurs années (>15 ans). Actuellement, la chronique de Cleppé est trop courte (7 ans depuis la rénovation) mais l'opération apparaît faisable pour St-André-le-Puy. Quant à celui de St-Galmier, le fonctionnement de l'aquifère (régime semi-captif et apport d'eaux anciennes à hauteur de 10%) et la tendance à la baisse pourraient être des freins au déploiement ; une vérification de la faisabilité semble nécessaire.

Limites : Travail particulièrement dépendant de la disponibilité et la qualité des données (pluie, débit et piézométrie).

Durée estimée : 3 mois pour la création du modèle et son intégration dans [MétéEau des nappes](#), variable en fonction de l'usage

Coût pour modélisation GARDENIA et MétéEau des nappes : 25k€ par site + coût de fonctionnement annuel (en attente d'actualisation)

- **Action n°6 : Pompages d'essai** : réalisation ou reprise d'essais sur les captages AEP afin de connaître l'état du captage et/ou le débit critique. Il serait intéressant de coupler cette tâche avec un suivi piézométrique local et/ou des analyses chimiques.

Objectifs : Connaître l'état du captage et/ou le débit critique, étudier la zone d'alimentation (mise en évidence de limites de charge et/ou de flux, échange avec un autre aquifère, etc), et/ou la possibilité d'augmenter le volume prélevable.

Déroulement: Préparation, installation du matériel, essais (pallier + longue durée) durant 5 jours, démontage, interprétation des données. Intéressant de coupler cette tâche avec un suivi piézométrique local et/ou des analyses chimiques.

Après sollicitation des producteurs d'eau potable, le BRGM n'a pas identifié d'acteur(s) ayant exprimé ce besoin.

Limites: Configurations des ouvrages, de l'alimentation électrique, du réseau pour l'exhaure, etc.

Durée : 2 mois

Coût : non chiffré

- **Action n°7 : Analyses chimiques et isotopiques** : des analyses isotopiques (^{14}C , ^{13}C , ^{18}O , ^2H) ont déjà été réalisées dans les 4 piézomètres suivis par le BRGM et certains forages dans le cadre de la thèse de M. RE-BAHUAUD [2012]. De même, quelques analyses ont été réalisées dans des captages du SIVAP (datation CFC+SF₆ en 2019, ^3H en 1982). Il serait pertinent de compléter et comparer ces données avec de nouvelles

analyses faites à partir des captages AEP et/ou d'ouvrages situés dans des formations superficielles ou plus profondes.

Objectifs : Mieux cerner l'(les) origine(s) des eaux, mieux comprendre le fonctionnement de l'aquifère exploité, disposer d'informations pour une meilleure gestion de la production et/ou une meilleure qualité de l'eau.

Déroulement: réutilisation de données antérieures, 1 (voire 2) campagne(s) ponctuelle avec échantillonnage d'eaux souterraines et superficielles, analyse, interprétation.

Limites: Inhérentes aux outils isotopiques sélectionnés.

Durée : Minimum 1 an (campagnes en hautes et basses eaux)

Coût : Non chiffré.

Après sollicitation des producteurs d'eau potable, le BRGM n'a pas identifié d'acteur(s) ayant exprimé ce besoin. Le sujet reste pertinent en termes de connaissances des aquifères pour la zone d'étude.

- **Action n°8 : Suivi des eaux superficielles**: Installation de sondes de niveau et réalisation de jaugeages sur des cours d'eau identifiés comme étant en lien avec les eaux souterraines. Le BRGM propose que 12 stations soit installées de la façon suivante :
 - Tronçons complets (2 stations / cours d'eau): Volvon, Coise, Anzieux, Garollet, Loise.
 - Proximité de l'exutoire (1 station/ cours d'eau): Toranche, Chanasson.

Objectifs : Etudier les relations nappe-rivière (ex: pertes?), préciser le bilan hydrique à l'échelle de la zone d'étude, disposer d'informations hydrogéologiques pour une modélisation...

Limites: configurations des cours d'eau, conditions de jaugeage en hautes eaux, présence d'embâcles au niveau des tronçons choisis, dégradation de matériel...

Durée : 3 à 6 mois, en fonction du nombre de stations identifiées. Suivi sur 1 an minimum.

Coût : non chiffré.

Remarque : L'étude HMUC mentionnée (§ 2.2.2 c)) inclut la mise en œuvre d'un programme de bilan quantitatif complémentaire des eaux superficielles pour l'année 2023.

- **Action n°9 : Compréhension de la pollution en nitrate et/ou produits phytosanitaires au niveau des captages « Grenelle » (SIVAP et/ou Balbigny) : programme à déterminer au cas-par-cas.**

À titre d'exemple : à Balbigny, les transferts de polluants (nitrate et produits phytosanitaires) sont très hétérogènes d'un puits à l'autre, pourtant situés au sein d'un périmètre réduit. Les études CPGF ont permis de préciser l'âge moyen des eaux mais n'ont actuellement pas suffi à identifier avec certitude l'origine et les mécanismes en jeu. Il pourrait être intéressant de reprendre l'ensemble des éléments techniques afin d'étudier la pertinence d'un plan de mesures complémentaires, notamment au niveau de la ZNS. LFA sera accompagné en 2023 par un hydrogéologue pour cette problématique (voir § 2.3.3 c)).

Objectifs : Mieux comprendre les mécanismes liés à la pollution des captages (zone non-saturée, zone saturée, apports des cours d'eau, etc.).

Déroulement / durée : programme à déterminer après une analyse plus poussée (installation de capteurs, analyses chimiques et isotopiques, pompages...)

Limites : non définies

Coût : non chiffré

Il est nécessaire de rappeler que plusieurs actions peuvent être inter-dépendantes. L'inventaire des ouvrages souterrains permettra d'améliorer et/ou de faciliter les campagnes piézométriques en hautes/basses eaux, ainsi que l'installation des réseaux de suivi piézométrique. La réalisation concomitante de jaugeages sur les cours d'eau, complémentaire au suivi hydrogéologique sur une durée minimale d'un an, renforcera le tracé des cartes piézométriques et l'établissement d'un bilan hydrique à l'échelle de la zone d'étude. *A contrario*, certaines actions comme les essais de pompage et/ou la compréhension de la pollution azotée à l'échelle d'un champ captant sont indépendants et n'apporteront d'informations qu'à l'échelle locale, et non à celle de la zone d'étude. L'interprétation d'analyses chimiques et isotopiques alimentera les réflexions sur le schéma conceptuel concernant le fonctionnement de l'hydrosystème (ex : échanges entre les différents compartiments), mais n'apportera pas, ou peu, d'informations sur les volumes échangés. De plus, des actions non listées précédemment (suivi météorologique, réalisation de levés géophysiques, construction d'un modèle géologique puis hydrodynamique en 3D...), réalisées en lien ou non avec l'étude HMUC portée par le SAGE LRA, sont également susceptibles de modifier la sélection et/ou l'ordre de priorité des actions défini par les membres du COSUI (§ 4.2).

Le dimensionnement budgétaire et calendaire de l'ensemble de ces actions reste à finaliser sur la base du futur programme effectivement validé par les acteurs locaux. Cette phase de dimensionnement, non prévu dans le cadre de la présente étude, pourrait démarrer à partir de 2023 et une partie des actions (ex : surveillance piézométrique) pourrait potentiellement être mise en œuvre durant les années 2023-2024.

4.2. ACTIONS RETENUES SUITE AU COSUI 2

Les actions listées ci-dessus ont été mises à jour suite à la tenue du COSUI 2 afin de prendre en compte les avis exprimés. Le BRGM a sollicité les membres du COSUI 2 par l'intermédiaire d'un formulaire disponible sur internet (Google Form). [Lors de la consultation, les membres du COSUI ne disposaient pas du présent rapport ; le support disponible était la présentation faite lors du COSUI 2.]

Sur 25 acteurs sollicités, 7 réponses ont été reçues. **Les 3 actions jugées comme les plus importantes/prioritaires sont (par ordre décroissant) : l'installation de stations piézométriques dans la partie superficielle, l'installation de stations piézométriques dans la partie profonde, et la réalisation de campagnes piézométriques en hautes et basses eaux.**

Pour le reste du classement, il est plus difficile d'identifier un ordre de priorité entre les actions relatives à l'outil MétEau des nappes, aux analyses chimiques et isotopiques, ainsi que le suivi quantitatif des eaux superficielles. La réalisation de pompages d'essai est jugée par les différents acteurs comme l'action la moins pertinente/prioritaire.

L'action relative à la compréhension de la pollution azotée au droit des captages « Grenelle » est la plus clivante car les votes se sont portés sur des valeurs extrêmes (« action la plus prioritaire » *versus* « action la moins prioritaire »).

Les résultats sont disponibles en Annexe 5 – Résultats du questionnaire concernant la priorisation des actions.

5. Conclusions

Les eaux souterraines de la plaine du Forez ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques, principalement motivées par les objectifs propres à chaque type d'utilisateurs de la ressource. Celles-ci s'articulent autour de thématiques souvent communes mais parfois différentes : la recherche, la compréhension et la protection d'un gisement pour le thermalisme (Montrond-les-Bains) et l'embouteillage (St-Galmier) ; l'exploitation de la ressource (au regard de contraintes industrielles) et la surveillance d'éventuels impacts ; la disponibilité de la ressource, l'amélioration des connaissances et la gestion d'une pollution en nitrate et produits phytosanitaires en lien avec la production d'eau potable ; la disponibilité et la qualité de la ressource pour les agriculteurs. Des données relatives à la géologie (logs de forages, levés géophysiques...), l'hydrologie (débit et hauteur des cours d'eau, données de jaugeages...) et l'hydrogéologie (inventaire des ouvrages, piézométrie, analyses chimiques et isotopiques, volumes prélevés...) sont disponibles mais ont peu fait l'objet d'une synthèse à l'échelle de la plaine du Forez, voire de la présente zone d'étude. Le dernier travail à cette échelle correspond à la thèse de Ré-Bahuaud [2012], régulièrement citée dans le présent rapport. Concernant les autres travaux disponibles, ceux réalisés pour les producteurs d'eau potable apportent des informations pertinentes et précises, mais localisées, au regard des objectifs de la présente étude.

Les eaux souterraines circulent à travers des formations d'âge et de nature différents, avec un gradient hydraulique régional orienté en direction de l'ouest : les alluvions quaternaires sont en contact avec les sédiments tertiaires (sables, argiles, etc), voire directement le socle (granites, schistes...). Ce dernier, cartographié de façon peu précise à ce jour, est fortement influencé par la présence de failles ; celles-ci sont d'ailleurs responsables de compartimentations au sein des formations sus-jacentes.

Les eaux souterraines de la partie orientale de la plaine du Forez circulant dans la partie « supérieure » (moins de 50 m de profondeur), composée essentiellement d'alluvions quaternaires et de la partie supérieure des sédiments tertiaires, sont alimentées par l'infiltration directe de la pluie (en lien avec la perméabilité des sols), les échanges avec les cours d'eau (Loire et affluents en rive droite), et les échanges avec la partie plus profonde (alimentée par le socle à la faveur de failles). Les écoulements se font le plus souvent en régime hydraulique libre, voire captif dans certains secteurs (en cas de recouvrement argileux). Les pressions sur la ressource, identifiées à travers les différentes études, ont trait à la qualité (pollutions d'origine anthropique en nitrate et produits phytosanitaires, teneurs d'origine naturelle en As, Fe...) et aux volumes prélevés avec des enjeux principalement relatifs à l'adduction d'eau potable et les usages agricoles (principalement irrigation). Le croisement des différentes bases de données relatives aux prélèvements en eaux souterraines s'est avéré un exercice difficile et a montré la nécessité d'efforts coordonnés concernant l'inventaire et le contrôle des usages. Il est important de souligner que la partie « profonde » (plus de 50 m) de la plaine du Forez reste mal connue et nettement moins exploitée (en dehors des secteurs de Montrond-les-Bains et St-Galmier).

Au regard des éléments compilés dans le présent rapport, il apparaît que les informations disponibles sont insuffisantes pour proposer un schéma conceptuel abouti. Concernant la partie « superficielle », des lacunes restent à combler concernant la piézométrie (en dehors des zones exploitées pour l'AEP – bien décrites), les usages (inventaire, localisation et volume prélevé par les ouvrages), les échanges nappe-rivière (déjà connus dans certains secteurs). Quant à la partie plus « profonde », les données sont moins nombreuses et nécessitent le déploiement d'outils plus poussés et spécifiques (chimie isotopique, géophysique, forages...) comme pour les campagnes réalisées dans un passé récent vers St-Galmier.

Suite à une présentation de la synthèse des connaissances aux membre du COSUI et à des échanges avec eux, les trois actions jugées comme les plus importantes/prioritaires sont (par ordre décroissant) : l'installation de stations piézométriques dans la partie superficielle, l'installation de stations piézométriques dans la partie profonde, et la réalisation de campagnes piézométriques en hautes et basses eaux.

A l'issue de la finalisation des phases 1 et 2, l'opportunité de mettre en œuvre un programme scientifique, incluant les opérations et les acquisitions de terrain identifiées dans le plan d'investigation, sera évaluée, afin de répondre à l'objectif global du programme de recherche. Ce travail fera l'objet de discussions entre le Département de la Loire et les acteurs locaux dans le cadre de l'élaboration du PTGE et de la révision du SAGE courant 2023, avec un appui technique et scientifique du BRGM..

6. Définition des acronymes utilisés

AAC : Aire d'alimentation de captage
AELB : Agence de l'eau Loire-Bretagne
AEP : Adduction d'eau potable
AELB : Agence de l'eau Loire Bretagne
AERMC : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse
ARS : Agence Régionale de Santé
BASIAS : Base de données des anciens sites industriels et activités de services
BASOL : BAsol de données des sites et SOLs pollués (ou potentiellement pollués) par les activités industrielles appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif
BDLISA : Base de Données des Limites de Systèmes Aquifères
BNPE : Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BSS : Banque du Sous-Sol
CA : Chambre d'Agriculture
CASCADE : Conception, Assistance, Suivi, Contrôle des Autorisations et Déclarations dans le domaine de l'Eau
CASIAS : Carte des Anciens Sites Industriels et Activités de Services
COGEMA : Compagnie générale des matières nucléaires
COSUI : Comité de suivi
DDT : Direction Départementale des Territoires
DIP : Déclaration d'Intérêt Public
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EMSE : Ecole des Mines de St-Etienne
LFA : Loire Foire Agglomération
MESO : Masse d'eau souterraine
OFB : Office Français de la Biodiversité
PSE : Périmètre Sanitaire d'Emergence
RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données
SAEME : Société Anonyme des Eaux Minérales d'Evian
SAGE LRA : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau Loire en Rhône Alpes
SANDRE : Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau
SIG : Système d'Information Géographique
SIS : Secteurs d'Information sur les Sols
SIVAP : Syndicat Intercommunal du Val d'Anzieux et de Plancieux

7. Bibliographie

ARTELIA (2021) Réalisation des travaux d'alimentation en eau potable. Dossier de déclaration au titre de la Loi sur l'Eau. Réf : 4152559. 70 p., 6 ann.

BADOIT (2021) Dossier de demande de reconnaissance d'antériorité des forages exploités pour l'embouteillage d'eau minérale naturelle de la source Badoit - Saint-Galmier (42). 24 p.

BERTIN C. (2007) Etude préalable à l'actualisation de la synthèse hydrogéologique du département de la Loire. Rapport final. BRGM/RP-55068-FR, 24 p. 1 ill.

BESSON J.-C. (2009) Avis hydrogéologique pour la définition des périmètres sanitaires de l'émergence Geysier V. SAEM « Le Parc Thermal », Montrond-les-Bains (Loire). **Non consulté**

BRUGERON A., BESSIERE H., BOURGINE B., STOLLSTEINER P. (2017) Etude méthodologique pour l'amélioration de la cartographie de sensibilité aux remontées de nappes et réalisation d'une carte nationale - BRGM/RP-65452-FR

BURGEAP (1955) Etude de l'alimentation en eau de la région de St-Just – Andrézieux – bouthéon (Loire). Ministère de la Reconstruction et du Logement. BURGEAP – R.192 – Août 1955. 16 p., 2 pl.

COLLIN J.-J. (1973) Plaine du Forez (Loire) Carte piézométrique de la nappe phréatique. NOTE/73-JAL-027, 5.p.

CONSERVATOIRE D'ESPACES NATURELS RHONE-ALPES, CESAME (2015) Inventaire des zones humides à l'échelle du SAGE Loire en Rhône-Alpes et du département de la Loire. Réf : 1586/TD/Abe, 09/2015. 185 p.

COUETTE F. (2000) Etude cartographique et structurale des régions situées entre Loire et Furan (St Rambert – barrage de Grangent), mémoire de maîtrise Université Claude Bernard – Lyon I, 75 p. **Non consulté**

CPGF HORIZON (2021) Etude de délimitation du bassin d'alimentation des captages de Saint-André-le-Puy. Rapport de synthèse. Rapport n°18-093/42, v1. Auteur(s) : E. Brouilloux. 126 p., 10 ann.

DAVOINE P. (1978) Rapport géologique relatif à la définition des périmètres de protection des puits et tranchées drainantes de Saint Just – Saint Rambert sur Loire. 3 p.

DEWANDEL B., BAILLY-COMTE V., LANINI S., LADOUICHE B., MARECHAL J.-C., COUËFFE R., GRATALOUP S., WYNS R., LACHASSAGNE P., BARBET C. (2015) Aquifères de socle sous couverture sédimentaire : quelles sont les propriétés hydrodynamiques du profil d'altération ? Exemple du granite de Saint Galmier (France). Conférence Internationale Aquifères de socle : le point sur les concepts et les applications opérationnelles. La-Roche-sur-Yon (France). Poster.

DEWANDEL B., ALAZARD M., LACHASSAGNE P., BAILLY-COMTE V., COUËFFE R., GRATALOUP S., WYNS R. (2017) Respective roles of the weathering profile and the tectonic fractures in the structure and functioning of crystalline thermo-mineral carbo-gaseous aquifers. Vol. 547, April 2017, p. 690-707

DHELLEMMES R., HERNANDEZ J., LORENCHET de MONTJAMONT M., CARROUE J-P., BARAS L., BOUILLER R., VOGT J. (1974) Notice de la carte géologique de la France à 1/50000. N°720, Montbrison. Ed. BRGM. 24 p.

ECH-CHERIF EI KHETANI D. (1996) Géologie du fossé du Forez: essai de synthèse et comparaisons avec les autres bassins tertiaires du Massif central français. Thèse de Doctorat, Univ. J. Monnet, Saint-Etienne, 372 p.

ELMI (1987 a) Rapport géologique sur la protection du puits du Chassagny. Cmmune de Balbigny (Loire). Changement d'emplacement du puits et nouvelle protection. 5 p., 1 ann.

ELMI (1987 b) Courrier du 08/10/1987. Protection du puits de « Chassagny ». Commune de Balbigny. 1 p.

GAGNY C., LEISTEL J-M., SIDER H., BOURRIER R, KERRIEN H. (1989) Notice de la carte géologique de la France à 1/50000. N°696, Feurs. Ed. BRGM. 57 p.

GAL F. (2011) Etude géochimique et isotopique des eaux superficielles du bassin versant du Furan et des eaux minérales du graben du Forez, Est du Massif Central Français. 210 p., 93 fig., 25 tab., ann.

GERBE M.C., GONORD H., ARNAUD N. (1998) Age miocène des formations de bordure du fossé du Forez (Massif Central), Géologie de la France, n°2, 47-53.

GINGER BURGEAP (2020) METROPOLE DE LYON - Nappe de l'Est lyonnais. Recensement des forages domestiques. Réf : CEAUCE191462 / REAUCE04149-03, AG / ATR / ATR, 09/07/2020, 36 p.

HYDRO INVEST (2009) Demande d'autorisation d'exploiter au titre des eaux minérales naturelles la source Geysier 5. Dossier SAEM « Le Parc Thermal », Montrond-les-Bains. **Non consulté**

LAMOTTE C., VIGOUROUX P. (2003) Ressource en eau thermale de la station de Montrond-les-Bains. Rapport BRGM RP/-52508-FR. 75 p.

LE GRIEL A. (1984) Géologie et relief de la plaine du Forez, in « Paysages et milieux naturels de la plaine du Forez », Centre d'Etudes Foréziennes. p. 139-188

PORTAL A., BELLE P., MATHIEU F., LACHASSAGNE P., BRISSET N. (2017) Identification et caractérisation du profil d'altération en domaine de socle par imagerie électrique (ERT). Journées scientifiques AGAP, 67-70 p.

RE-BAHUAUD J. (2012) Apports d'une approche couplée physique et géochimie des eaux souterraines pour caractériser les fonctionnements hydrodynamiques transitoires. Cas de la plaine alluviale du Forez. Sciences de la Terre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. 364 p.

RENAC C., GAL F., MENOT R.-P., SQUARCIONI P., PERRACHE C. (2010) Mean recharge times and chemical modelling transfers from shallow groundwater to mineralized thermal waters at Montrond-les-Bains, Eastern Massif Central, France. Journal of Hydrology 376 (2009) 1-15

RIMAUD (1874) Annales de la Société Impériale d'Agriculture. Industrie, Sciences, Arts et Belles-lettres du département de la Loire. Salt-en-Donzy, ses eaux thermales et ses ruines. pp. 68-77

TAUW (2011) Commune de Balbigny. Etude hydrogéologique préliminaire de définition de l'aire d'alimentation des captages de Balbigny (Phases 1 à 3). Rapport d'étude – R/ 6054593-V03. 61 p.

VIGOUROUX P., GIRONDE C., LECONTE S. (2012) Projet PRESCRIRE- Préserver et protéger la ressource - Le site de Montrond-Les-Bains (42) Rapport final. BRGM/RP-60748-FR, 72 p., 5 ann.

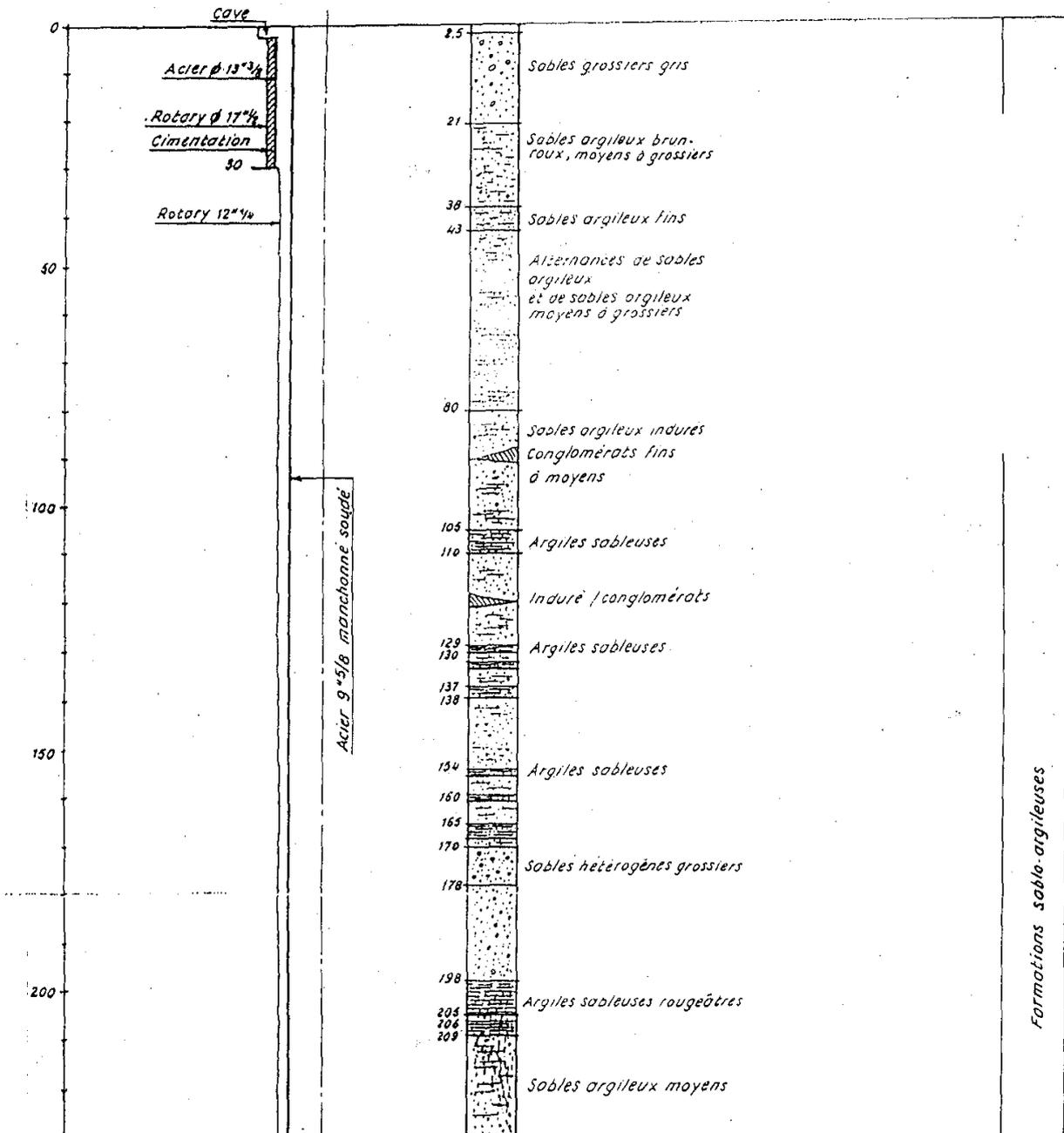
8. Annexe 1 - Bibliographie complémentaire

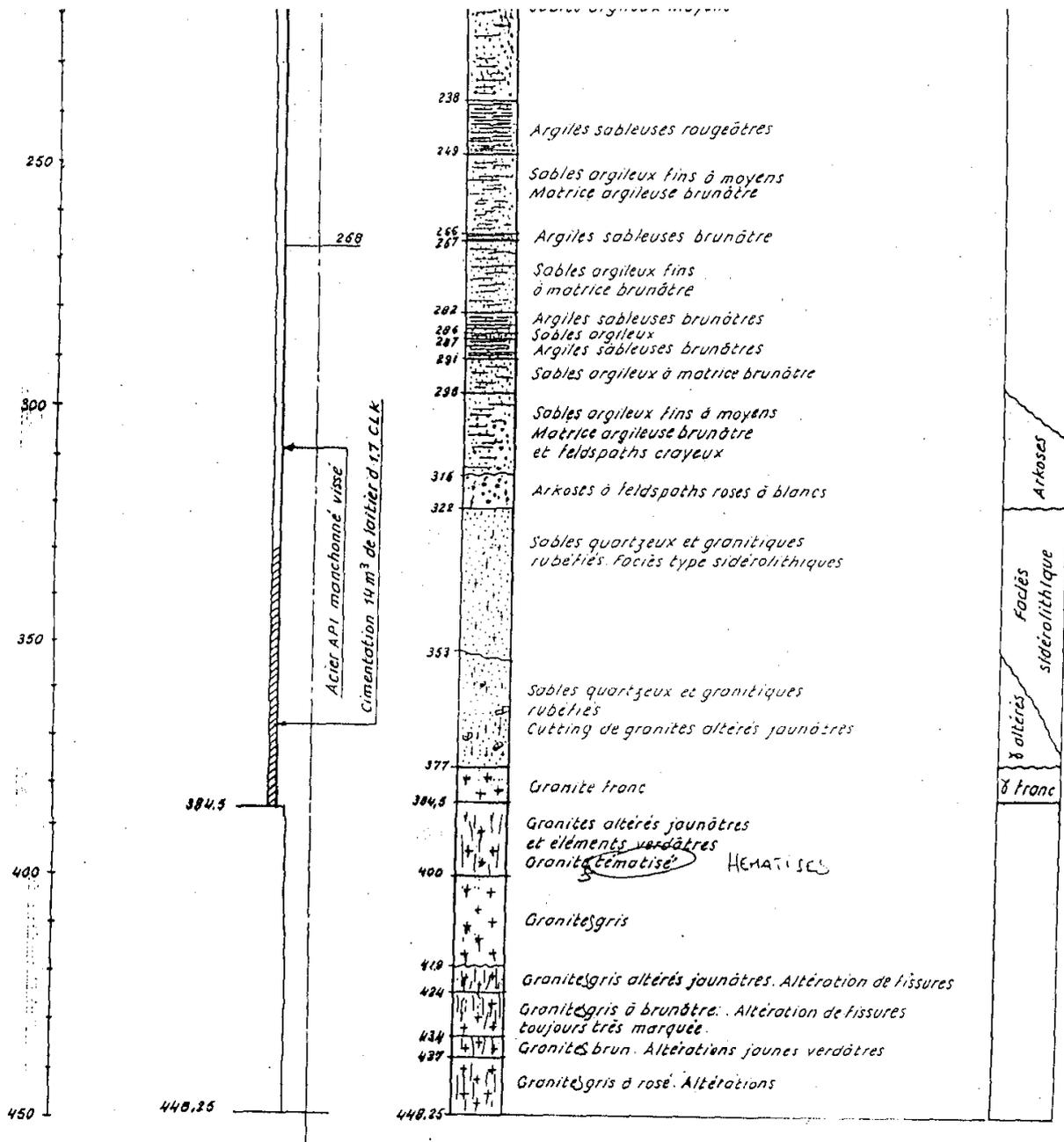
Extrait du rapport BRGM/RP-55068-FR [Bertin, 2007]

3 - Alluvions anciennes rive droite de la Loire dans la plaine du Forez	1968. C.P.G.F. Etude géophysique dans la région de St André Le Puy.
	1968. C.P.G.F. Etude géophysique dans la région de Marclopt
	1971. C.P.G.F. Etude géophysique dans la région de St-Galmier
	1974. C.P.G.F. Prospection électrique entre Balbigny et la Toranche.
	1976. C.P.G.F. Communes de St-Bonnet-des Oules. Etudes hydrogéologique et géophysique.
	1977. C.P.G.F. Etude hydrogéologique des alluvions anciennes. Rive droite de la Loire entre la Toranche et Balbigny. Complément d'étude.
	1977. C.P.G.F. Etude hydrogéologique des alluvions anciennes de la
3 - Alluvions anciennes rive droite de la Loire dans la plaine du Forez (suite)	Loire. Rive droite entre St-Bonnet-Des-Oules et St-Galmier.
	1977. C.P.G.F. Etude hydrogéologique des alluvions anciennes. Rive droite de la Loire entre St-Galmier et St-André-Le-Puy.
	1983. C.P.G.F. Etude hydrogéologique. Zone de St-Galmier - Chamboeuf
	1985. C.P.G.F. Note technique. Essais de débit sur le F 4b de Chamboeuf.
	1985. C.P.G.F. Forage et essais de pompage. Zone de St-Galmier Nord-Ouest
	1985. C.P.G.F. Etude géophysique à Saint-André-Le-Puy.
	2000. HORIZONS Centre-Est. Etude hydrogéologique des captages de St-André-le-Puy (42). Syndicat des eaux du val d'Anzieux.

9. Annexe 2 – Coupes de forages profonds

BSS001UNXK (07208X0170/CERISE)

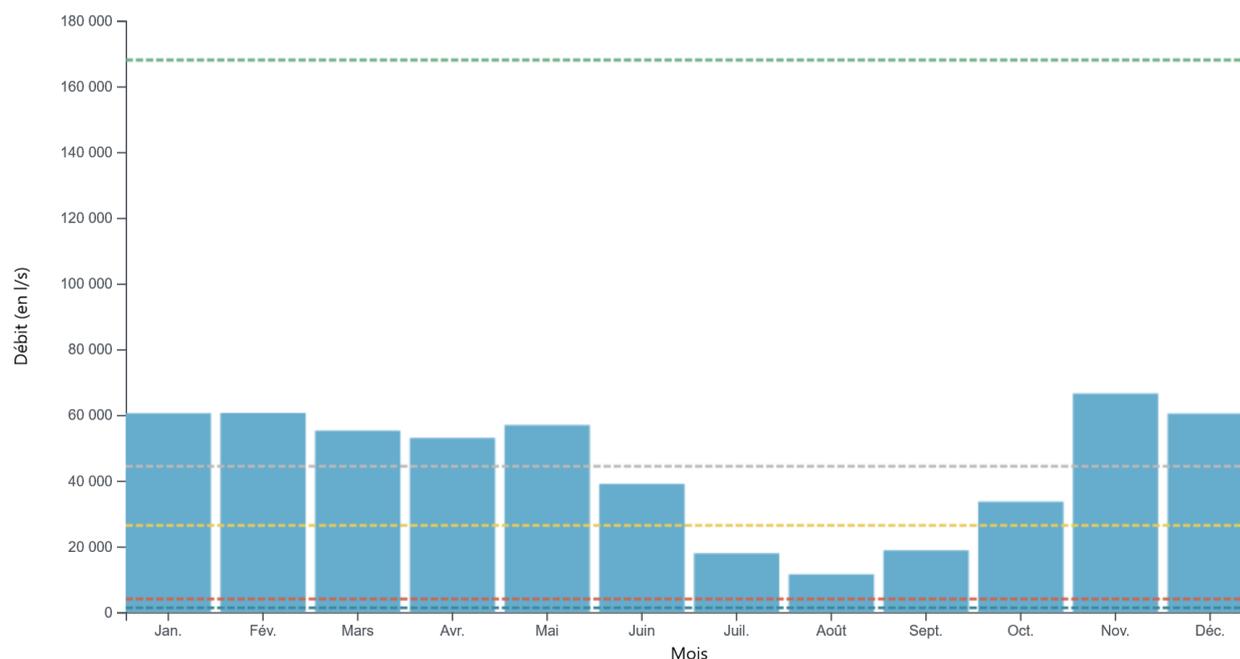




10. Annexe 3 – Débits des cours de la zone d'étude : Moyennes interannuelles (écoulements mensuels)

Source : <https://hydro.eaufrance.fr>

K069 0010 : La Loire à Montrond-les-Bains

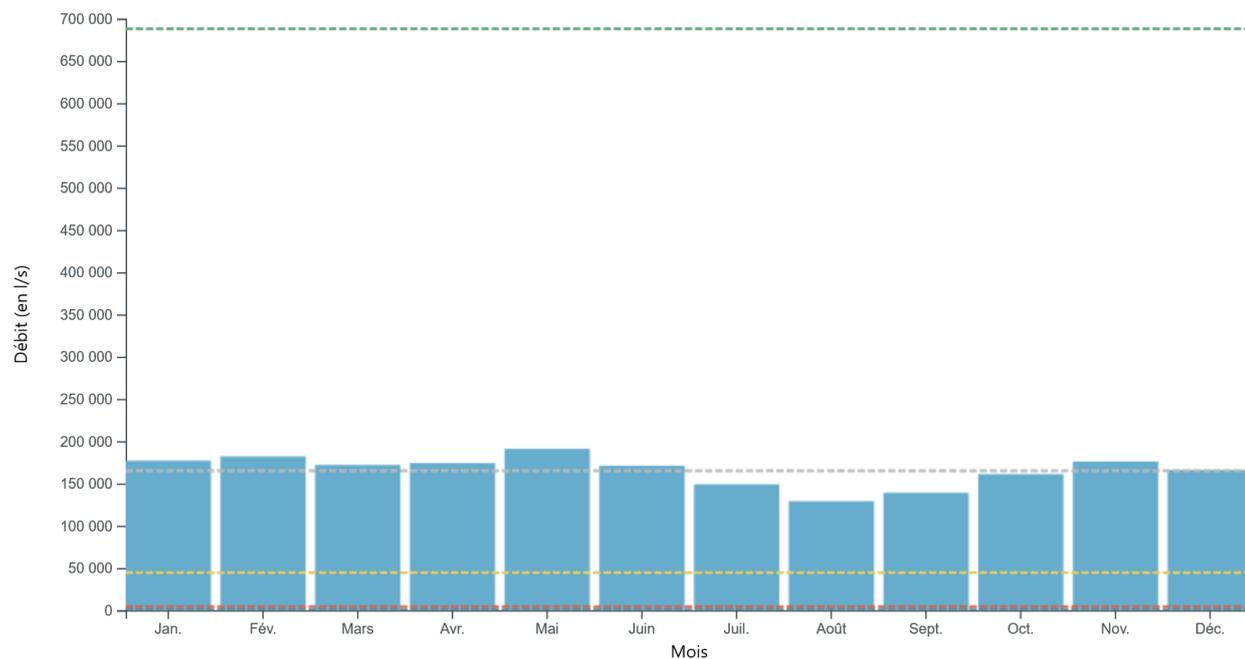


Légende

Valeurs de référence

- Q(moyen) : 44 400 l/s
- QJ-N (extrême connu minimum des QmJ) : 1 340 l/s
- QJ10j/an : 168 000 l/s
- QJ0.5 : 26 400 l/s
- QJ355jan : 4 010 l/s

K070 0010 : La Loire à Feurs

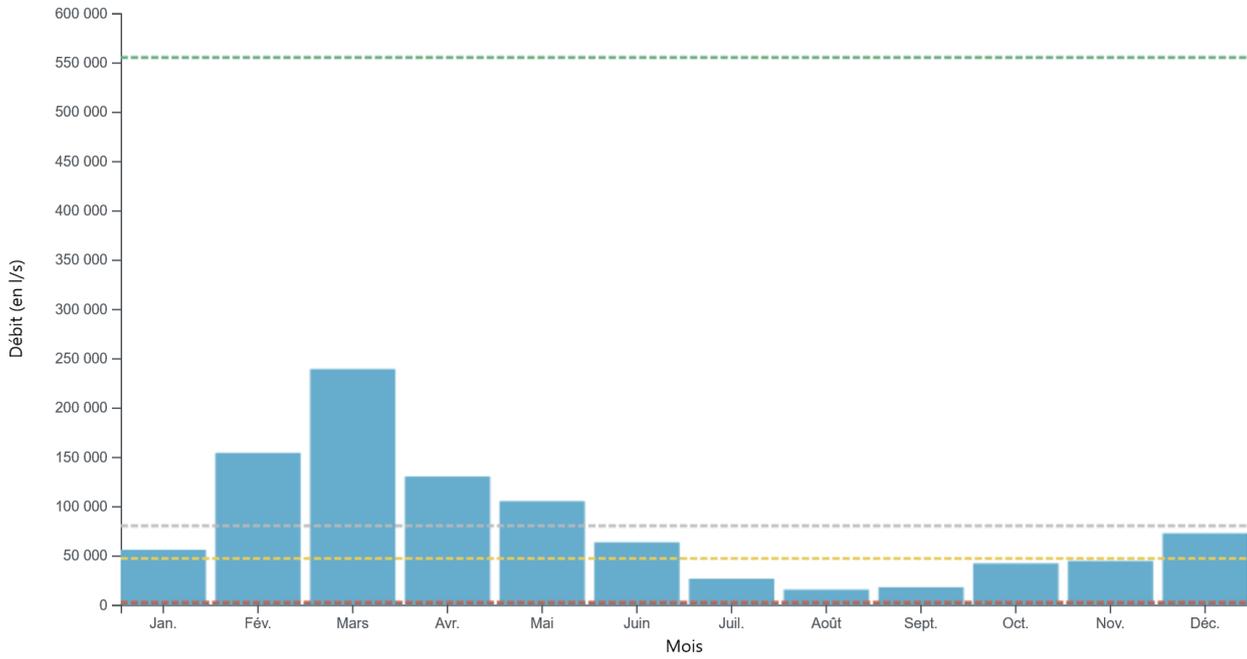


Légende

Valeurs de référence

- Q(moyen) : 165 000 l/s
- QJ-N (extrême connu minimum des QmJ) : 190 l/s
- QJ10j/an : 688 000 l/s
- QJ0.5 : 44 500 l/s
- QJ355jan : 4 060 l/s

K079 0010 : La Loire à Balbigny

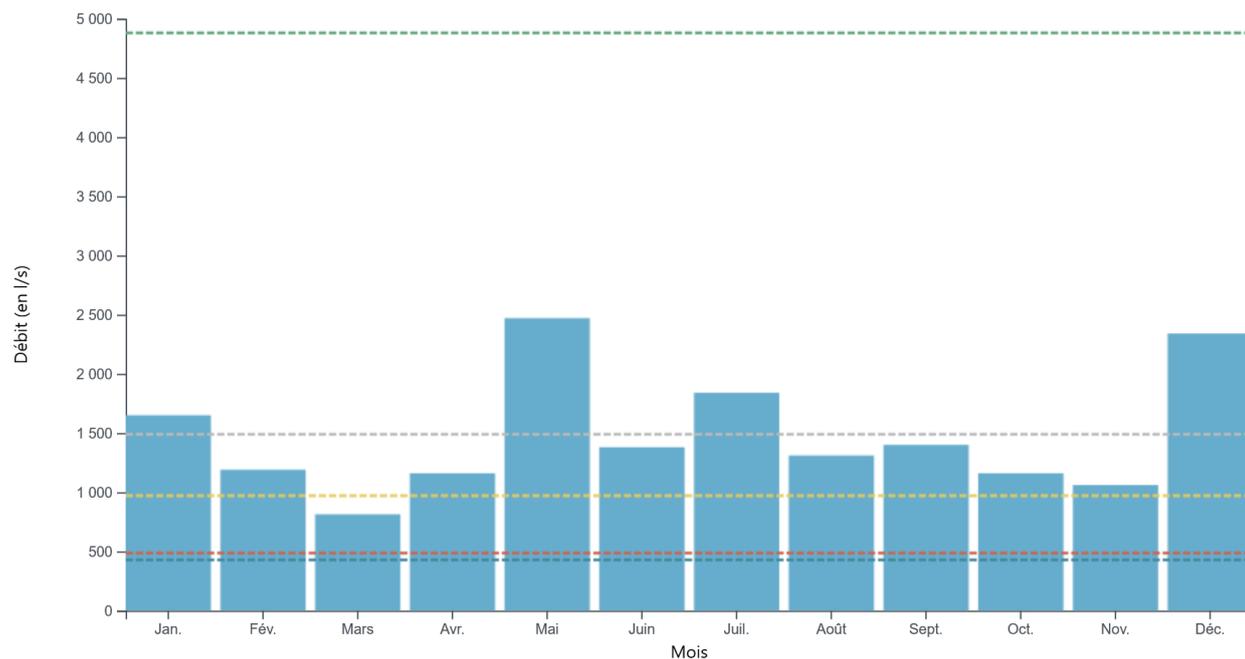


Légende

Valeurs de référence

- Q(moyen) : 80 000 l/s
- QJ-N (extrême connu minimum des QmJ) : 48 l/s
- QJ10j/an : 555 000 l/s
- QJ0.5 : 47 000 l/s
- QJ355jan : 2 570 l/s

K061 4010 : Le Furan à Andrézieux-Bouthéon

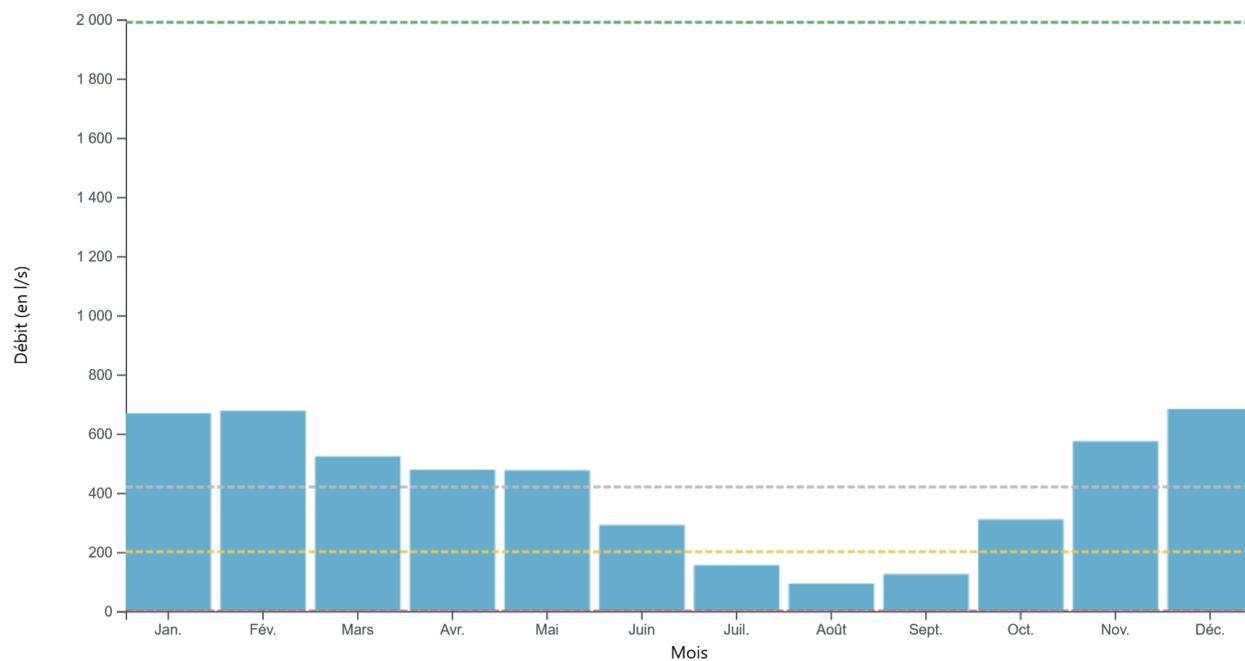


Légende

Valeurs de référence

- Q(moyen) : 1 490 l/s
- QJ-N (extrême connu minimum des QmJ) : 429 l/s
- QJ10j/an : 4 880 l/s
- QJ0.5 : 971 l/s
- QJ355jan : 486 l/s

K070 4510 : La Toranche à Saint-Cyr-les-Vignes

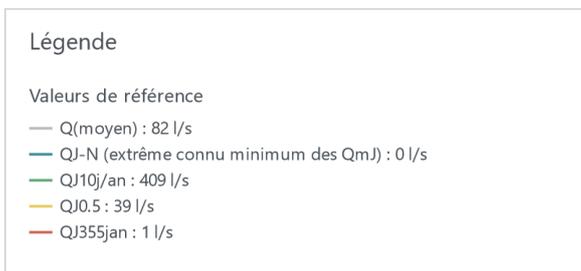
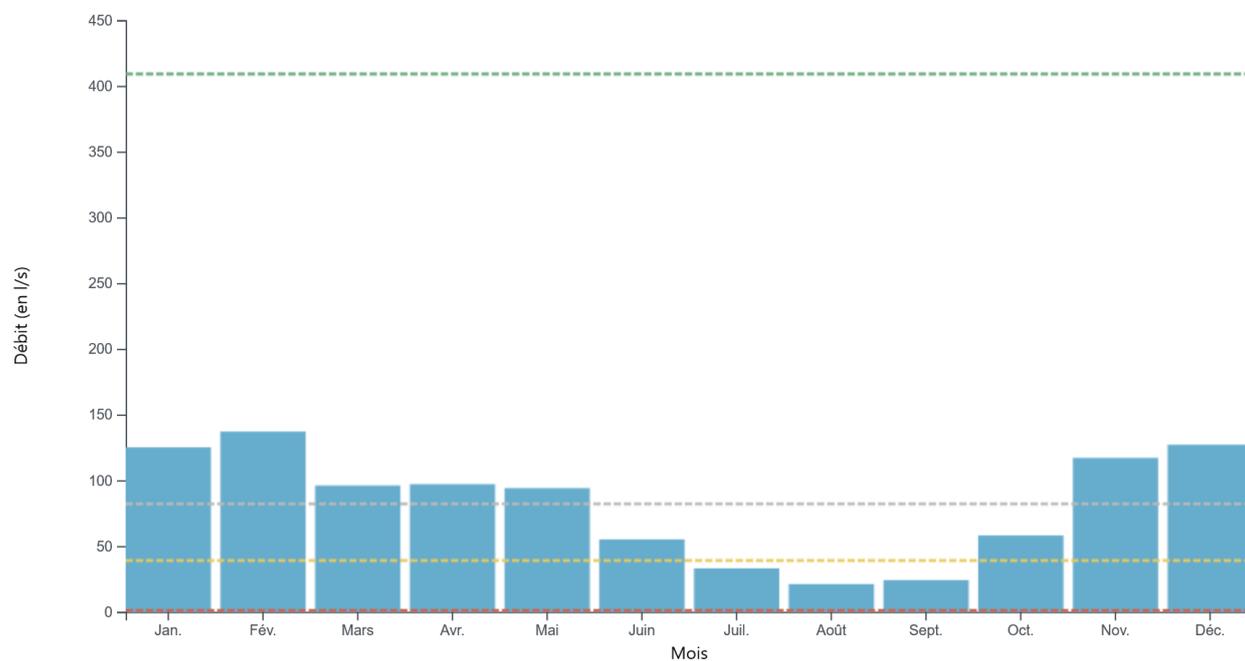


Légende

Valeurs de référence

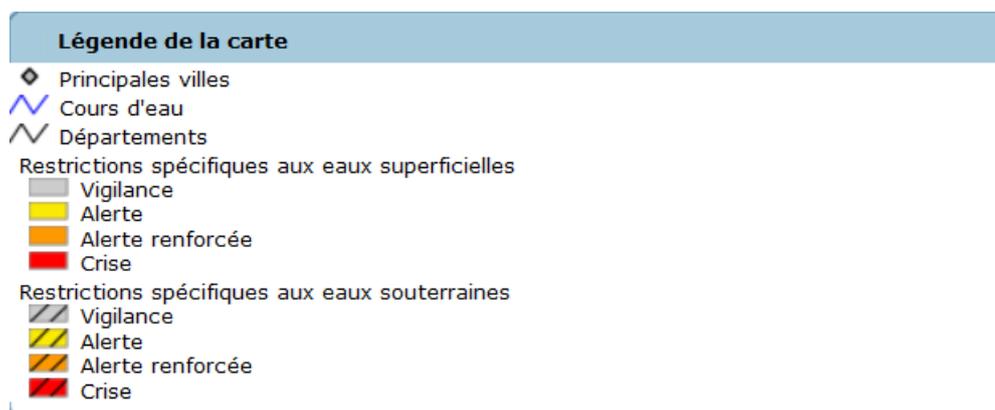
- Q(moyen) : 420 l/s
- QJ-N (extrême connu minimum des QmJ) : 0 l/s
- QJ10j/an : 1 990 l/s
- QJ0.5 : 201 l/s
- QJ355jan : 0 l/s

K072 4510 : Le Gourtarou [Chanasson] à Civens [La rivière]

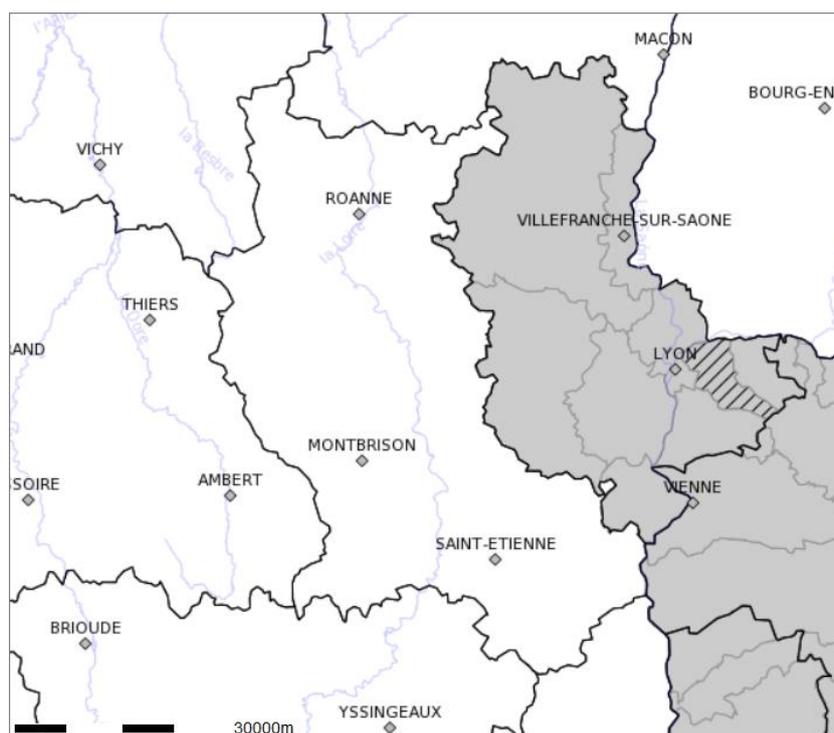


11. Annexe 4 – Arrêtés sécheresse (Propluvia) de juin à août sur la période 2017-2022

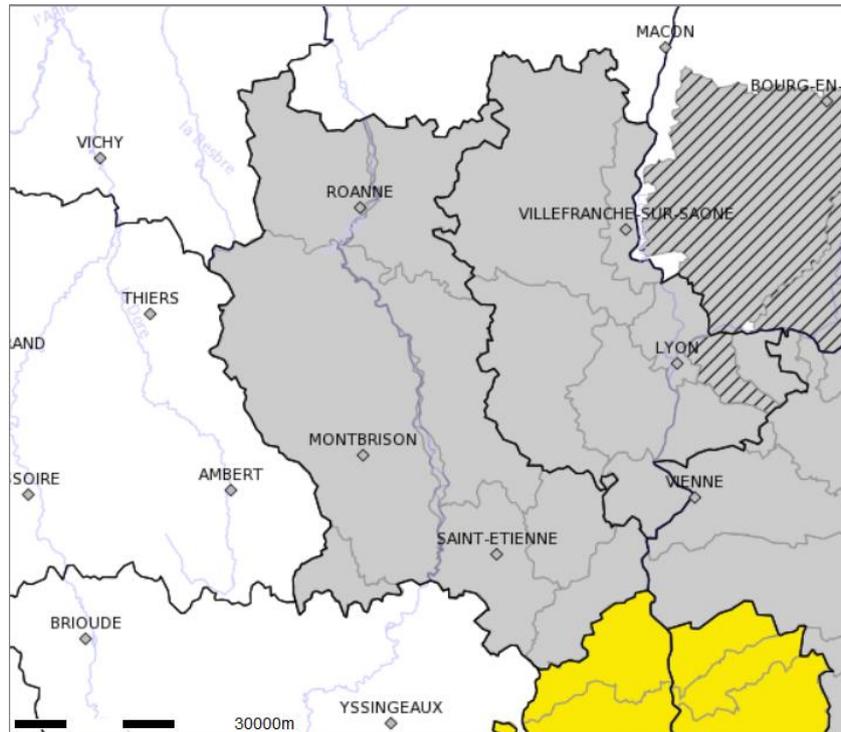
Légende des cartes :



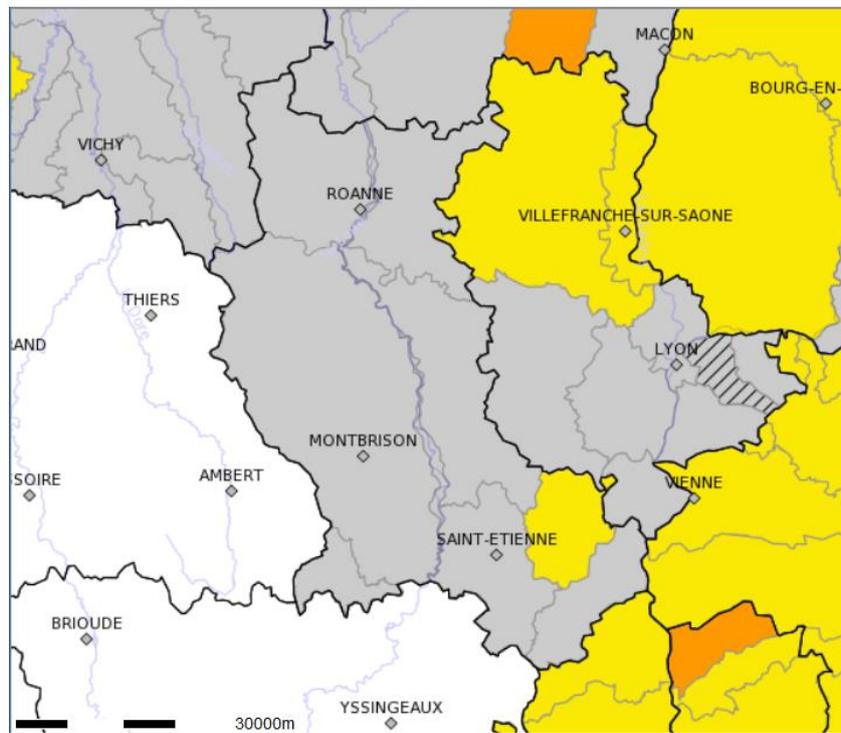
Juin 2017



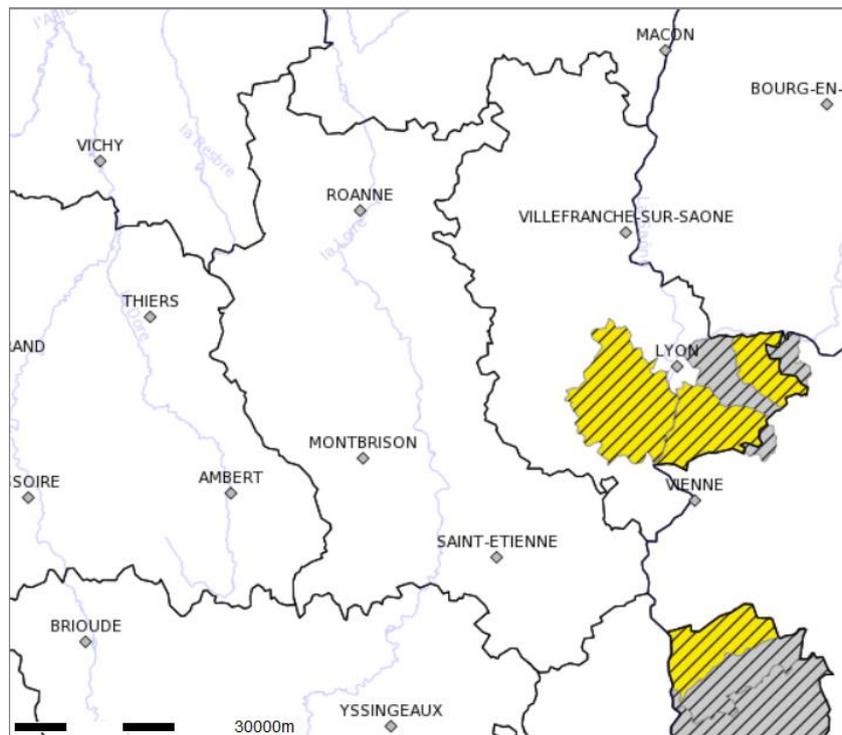
Juillet 2017



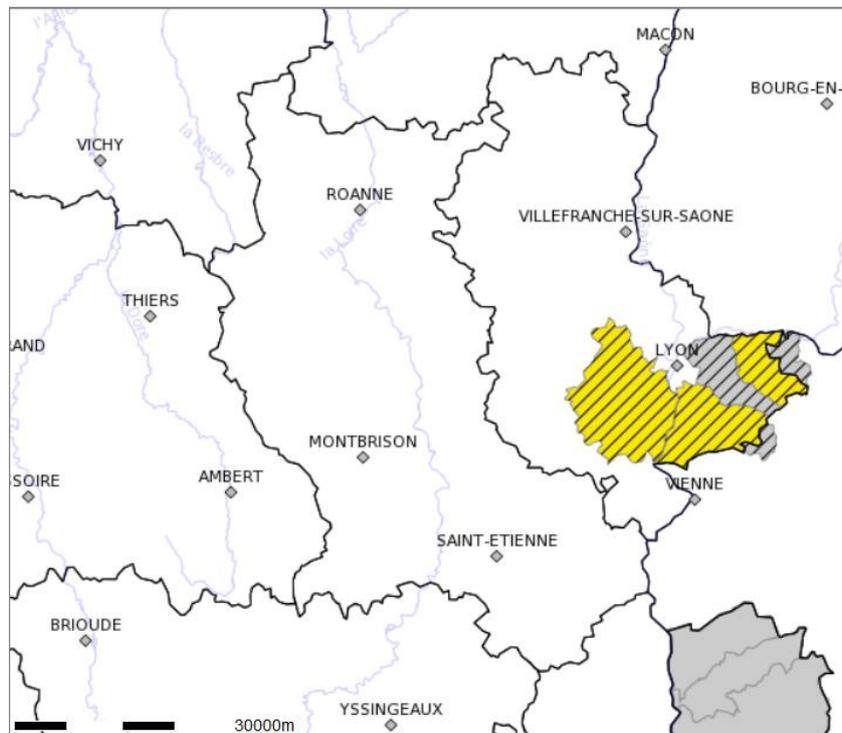
Août 2017



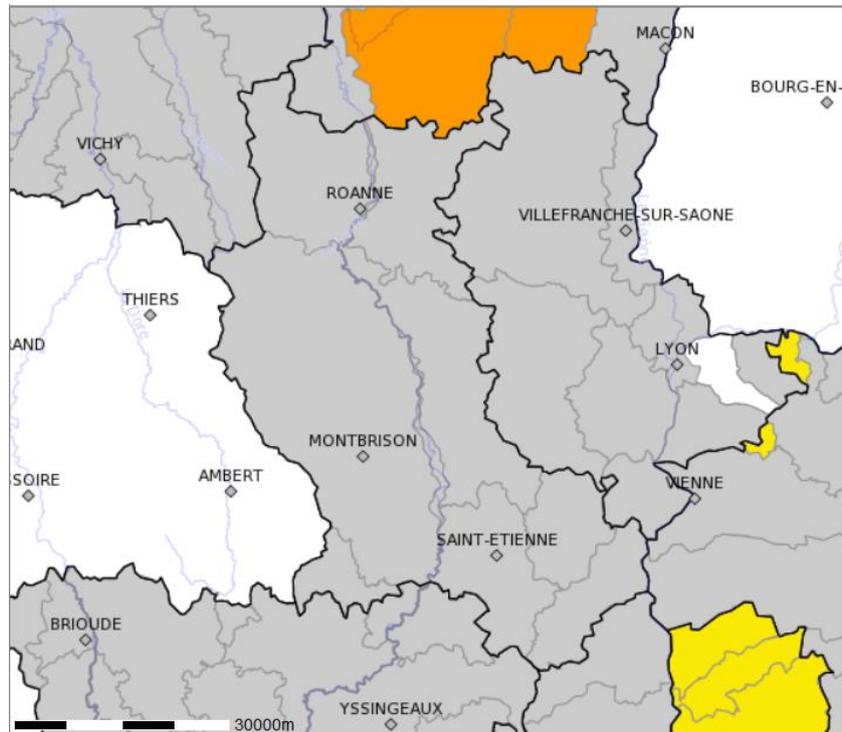
Juin 2018



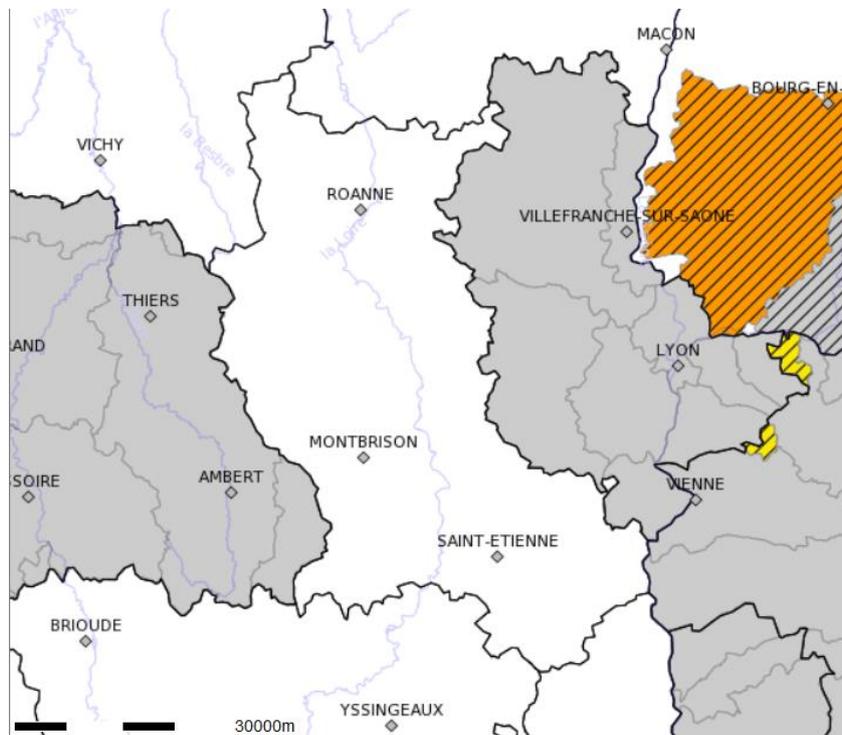
Juillet 2018



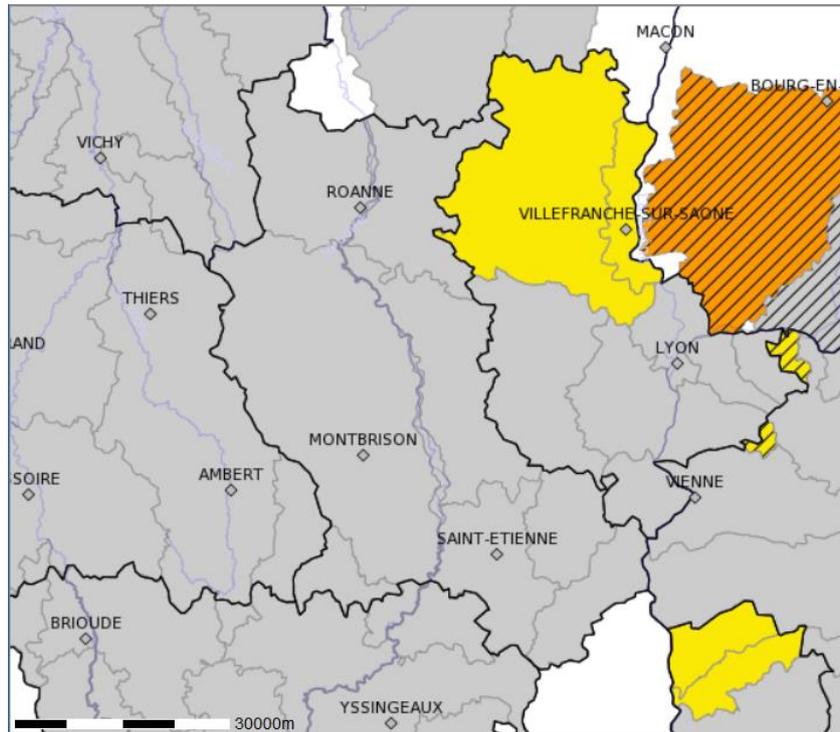
Août 2018



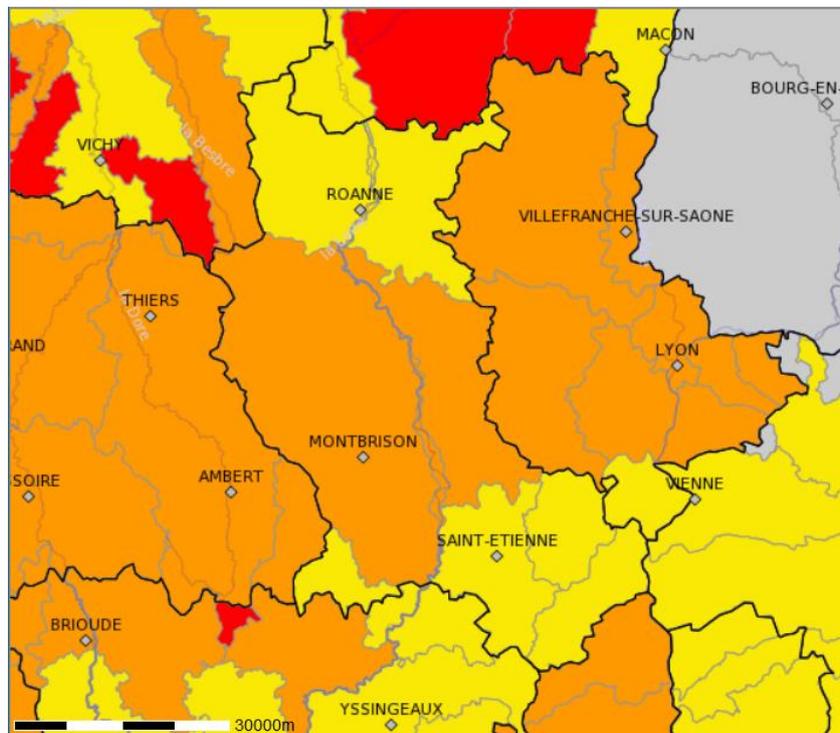
Juin 2019



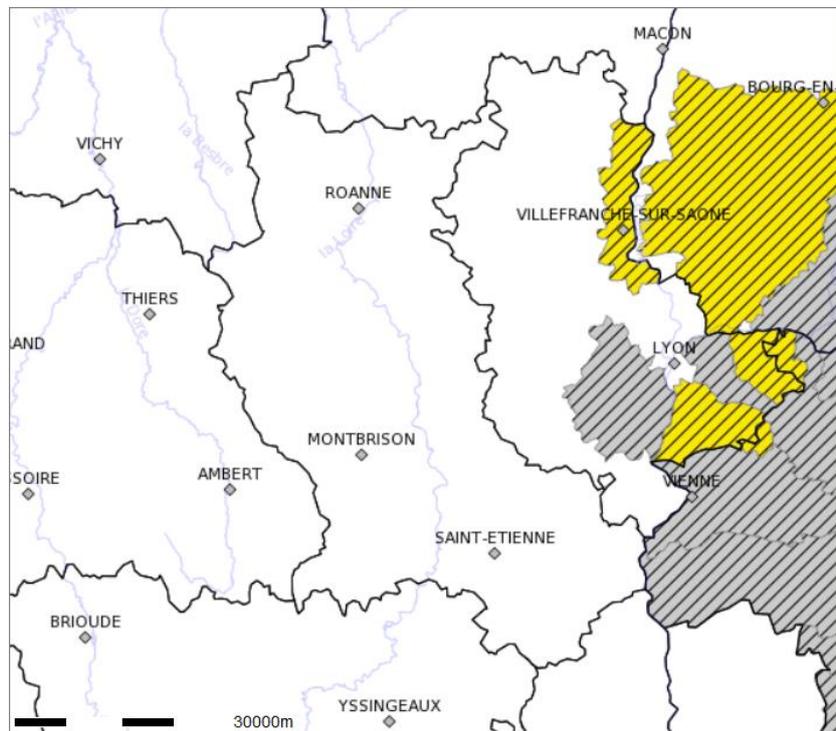
Juillet 2019



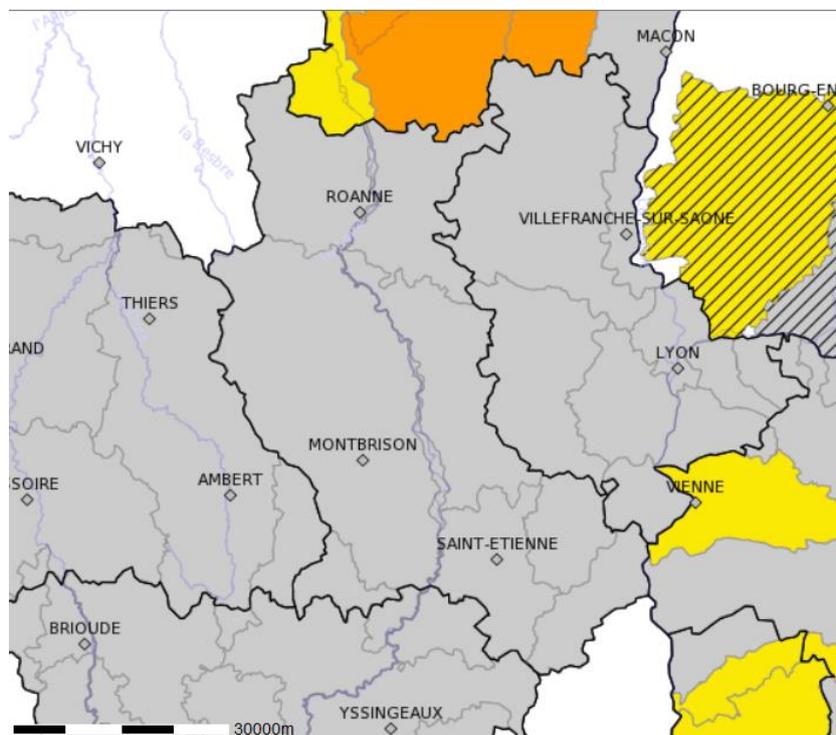
Août 2019



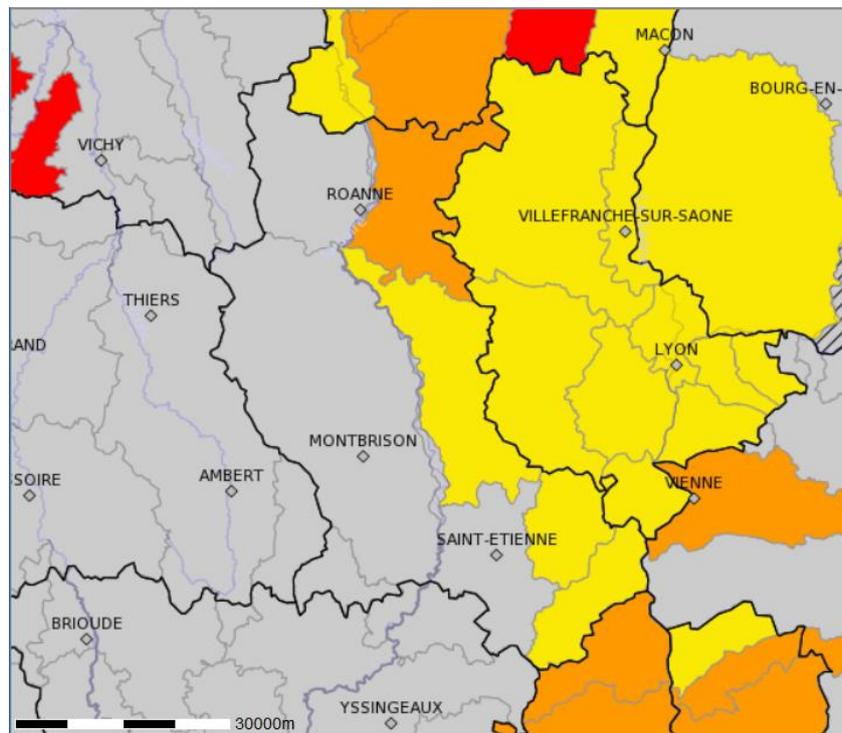
Juin 2020



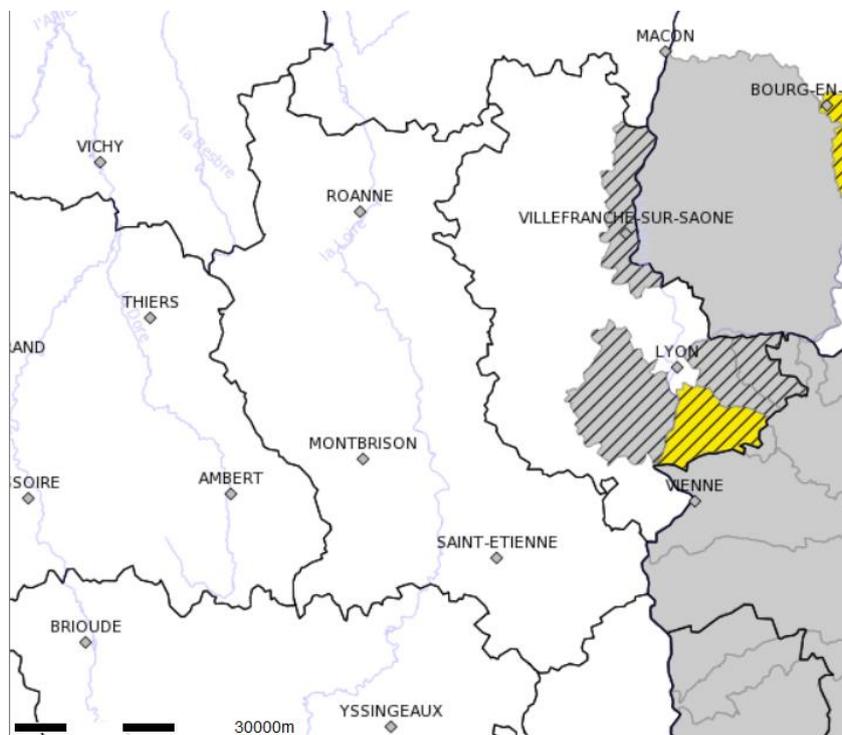
Juillet 2020



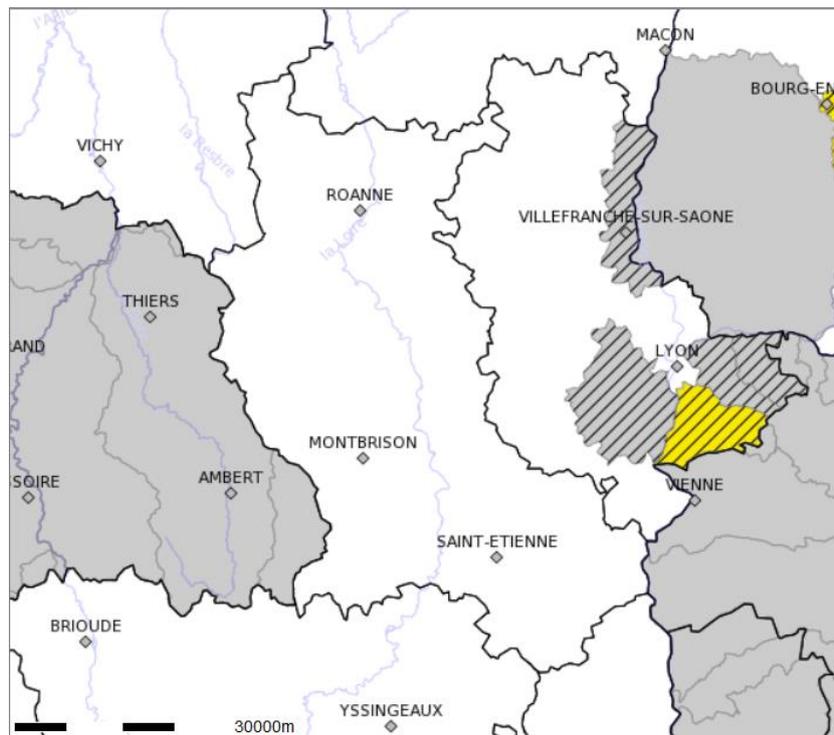
Août 2020



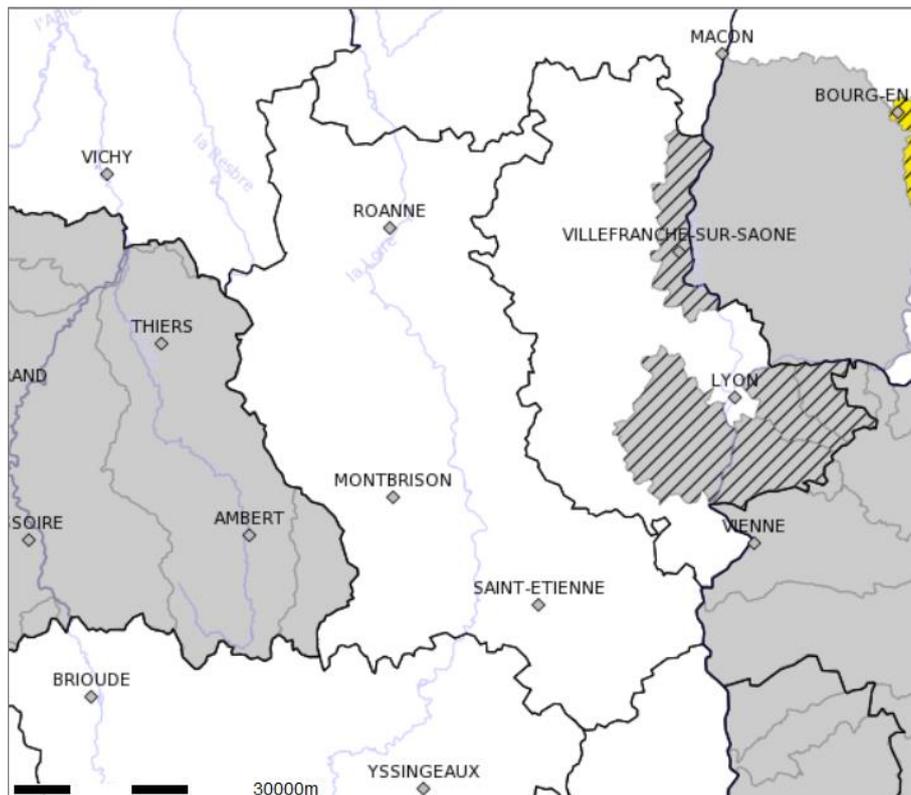
Juin 2021



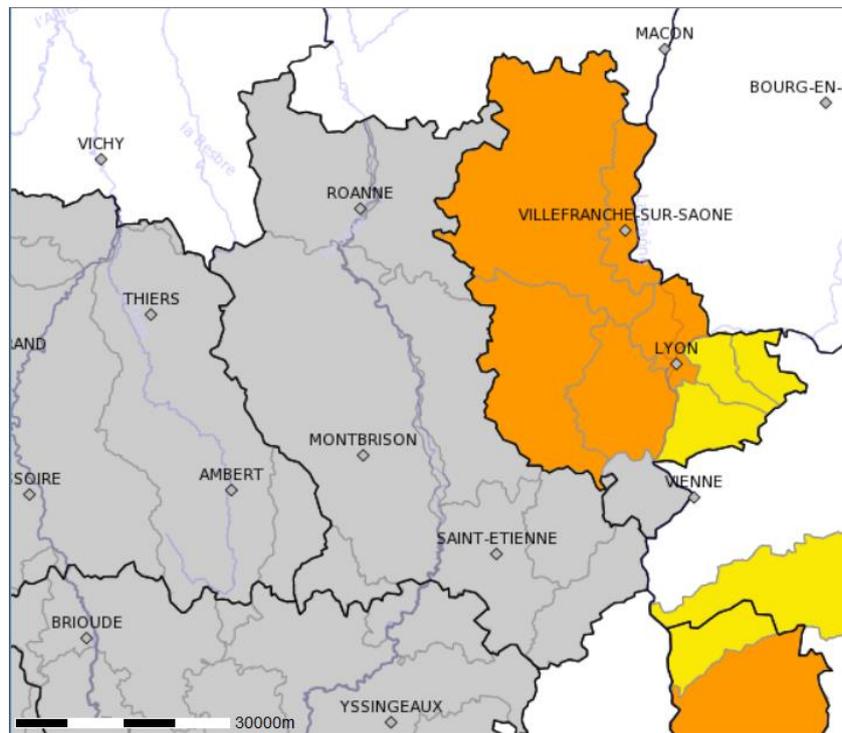
Juillet 2021



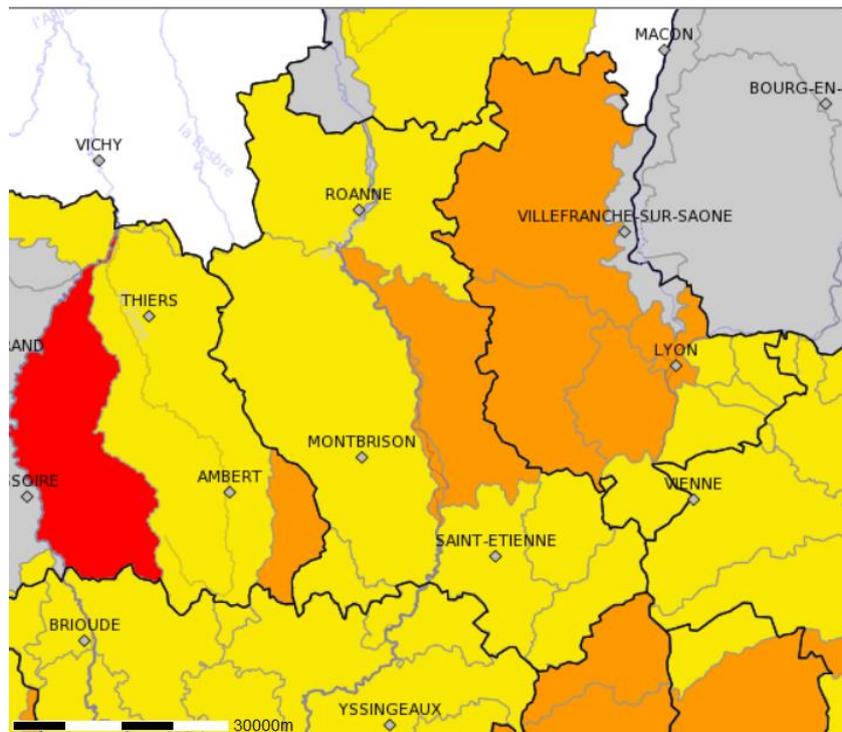
Août 2021



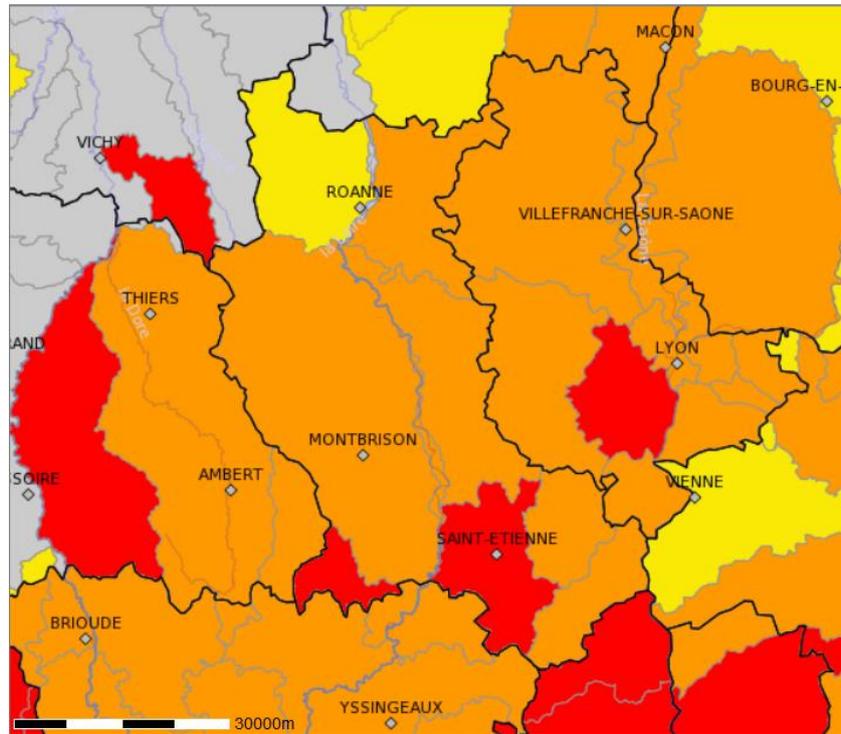
Juin 2022



Juillet 2022



Août 2022



12. Annexe 5 – Résultats du questionnaire concernant la priorisation des actions



Questionnaire - Priorisation des actions (Forez)

Comme indiqué lors du COSUI 2 de l'étude portée par le SAGE LRA, le CD 42 et le BRGM, plusieurs actions ont été identifiées comme potentiellement pertinentes pour la zone d'étude.

Etant donné que peu d'avis ont été exprimés en réunion, merci de prendre le temps d'indiquer votre ordre de priorité pour les actions proposées. Pour cela, **renseignez simplement un chiffre allant de 1 à 9 pour classer les actions par ordre de priorité (1 = la + prioritaire; 9 = la - prioritaire).**

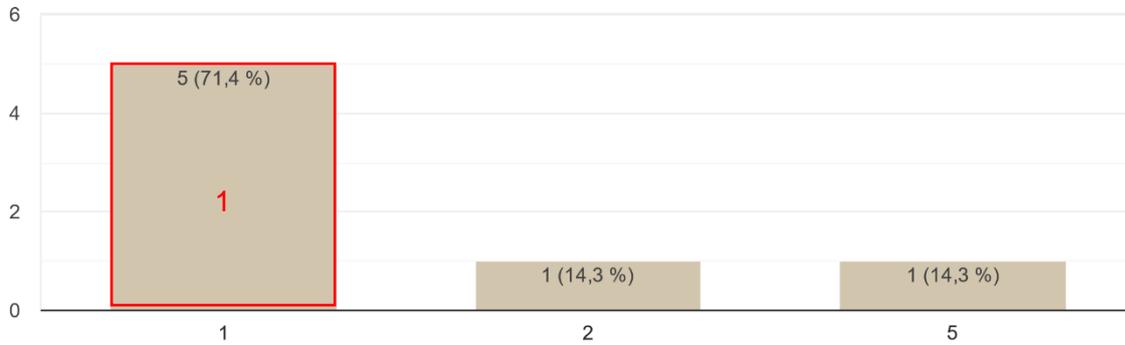
La dernière question est en texte libre afin que vous puissiez évoquer d'autre(s) action(s) non identifiée(s) ou discutée(s) lors du COSUI2. Vous pouvez également le faire directement par email.

La synthèse des réponses sera intégrée au compte-rendu de la réunion.

Rappel: La réponse à ce questionnaire constitue un simple avis technique.

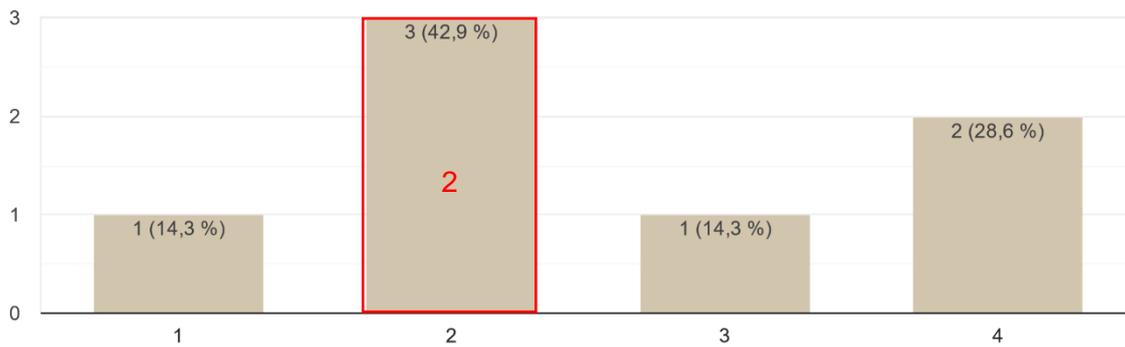
Installation de 6 stations piézométriques supplémentaires dans la partie superficielle

7 réponses



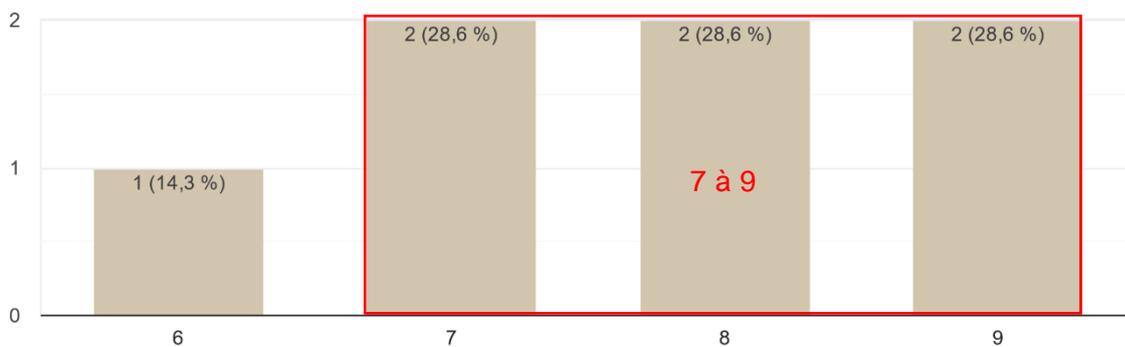
Installation de 2 stations piézométriques supplémentaires dans la partie profonde

7 réponses



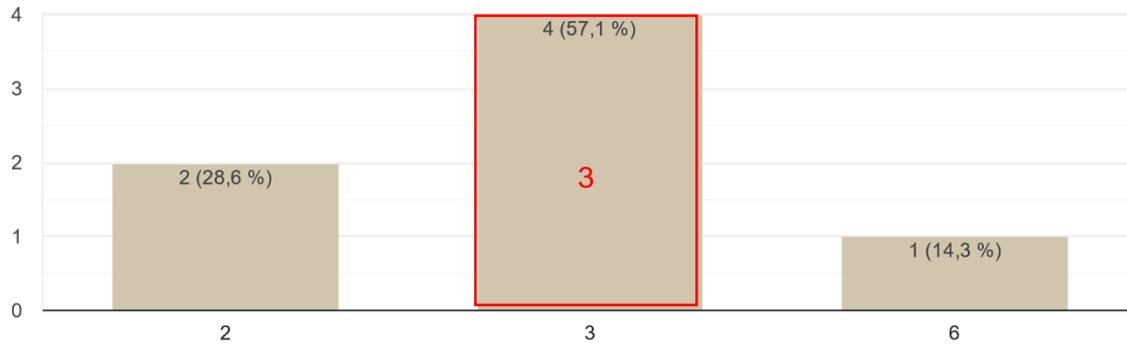
Inventaire des ouvrages souterrains domestiques

7 réponses



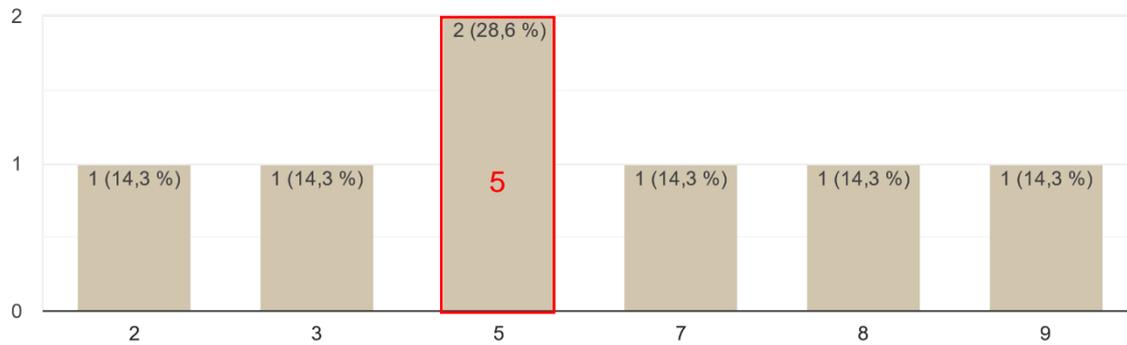
Campagnes piézométriques en hautes et basses eaux

7 réponses



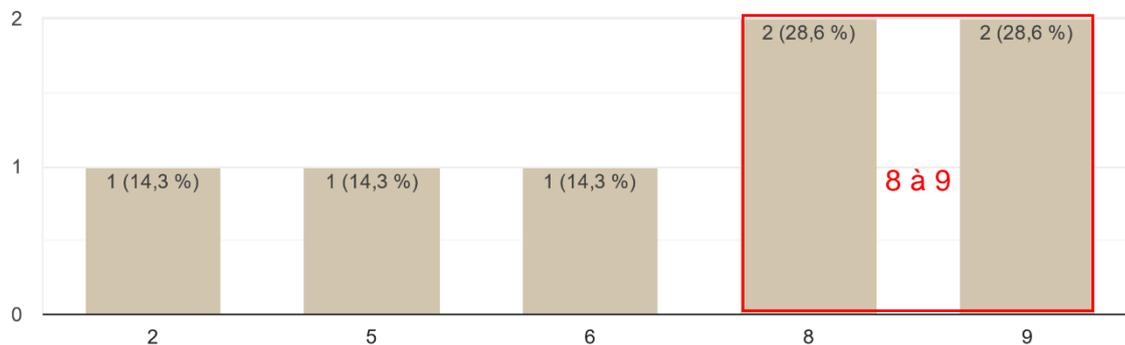
MétéEau des nappes: Élaboration d'indicateurs piézométriques pour la gestion quantitative et prévisions

7 réponses



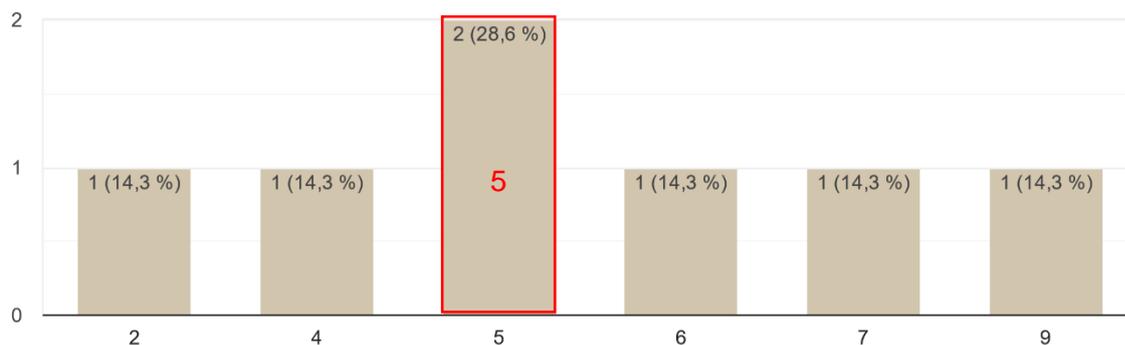
Pompages d'essai

7 réponses



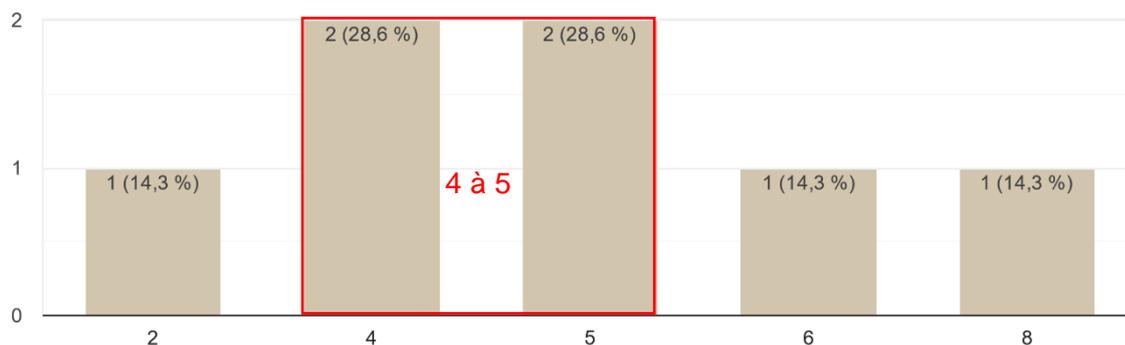
Analyses chimiques et isotopiques des eaux à l'échelle de la zone d'étude

7 réponses



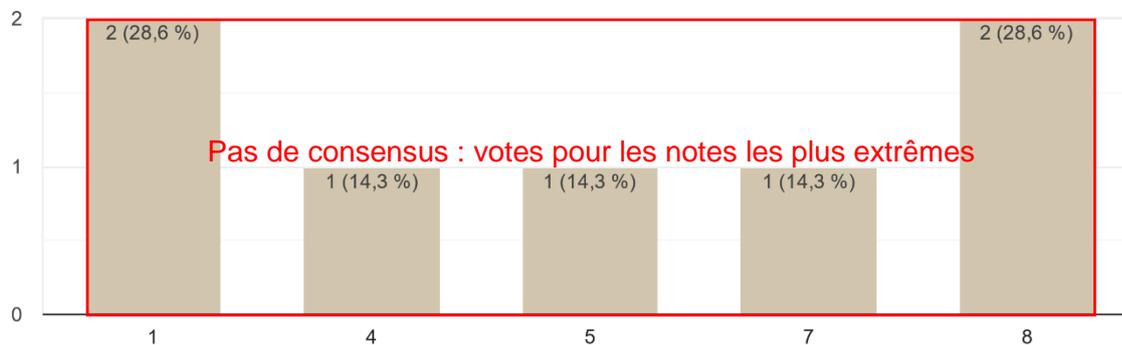
Suivi quantitatif des eaux superficielles

7 réponses



Compréhension de la pollution azotée au niveau des captages "Grenelle"

7 réponses



Autre(s) action(s) possible(s) selon vous? (texte libre)

4 réponses

Evaluation théorique des évolutions de conditions de recharge (observées et à venir) sur la zone sur la base des données disponibles, en particulier météo.

il conviendrait de s'intéresser aux nappes profondes. Elles semblent avoir des gradients, donc des circulations, donc des exutoires. Elles sont chaudes (gradients géothermiques 6-7°C/100m). Les eaux sont chargées en Na mais on dessale bien de l'eau de mer.

Des données récentes de pompage dans la nappe profonde existent dans le secteur du SIVAP, me semble t il. Je ne sais pas si elles correspondent aux objectifs recherchés et si elles sont disponibles.

Définition des zones les plus contributives à l'alimentation des captages prioritaires afin de prioriser la localisation des actions fortes de changements de pratiques à favoriser.

Datation des eaux



Direction régionale Auvergne Rhône Alpes
Campus LyonTech-la Doua
58 Bld Niels Bohr (Bât. CEI-4)
CS 52132
69603 Villeurbanne
Tél. : 04 72 82 11 50

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr