

# Projet EMILI – Site de Beauvoir Commune d’Echassières (03)

## Evaluation de l’impact de la galerie exploratoire sur les eaux souterraines et superficielles

PFS-C9110-HH-REP-009\_06



Rapport n°A118391/version F – 14 mai 2024

## Fiche signalétique

### Projet EMILI – Site de Beauvoir Communes d’Echassières (03)

Evaluation de l’impact de la galerie exploratoire sur les eaux  
souterraines et superficielles

CLIENT	SITE
IMERYS Ceramics France	Echassières (03)
43 quai de Grenelle 75015 Paris	Kaolins de Beauvoir 03330 Echassières
Fabrice FREBOURG Environnement Project Manager Fabrice.frebourg@imerys.com	

### Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d’annexes	Objet des modifications
A	décembre 2023			Etablissement du rapport
B	8 janvier 2024			Corrections à la suite des commentaires d’IMERYS
C	12 février 2024			Ajustement des réponses aux remarques d’IMERYS
D	6 mars 2024			Modifications pour rendre le document plus pédagogique
E	12 avril 2024	31	1	Intégration d’éléments et annexe pour rendre le rapport autonome
F	14 mai 2024	31	1	Corrections à la suite des commentaires d’IMERYS

# Sommaire

1. Contexte et objectifs de l’étude .....	5
2. Approche développée.....	8
3. Elaboration d’un modèle conceptuel .....	10
3.1. Introduction .....	10
3.2. Types d’écoulements à prendre en compte et choix du code de calcul pour la modélisation...10	
3.3. Régime d’écoulement.....	11
3.4. Extension du domaine modélisé.....	11
3.4.1. Extension latérale .....	11
3.4.2. Extension verticale.....	12
3.5. Formations géologiques prises en compte et leurs caractéristiques hydrodynamiques.....13	
3.6. Conditions hydrauliques prévalant aux limites de la zone modélisée .....	14
3.6.1. Conditions limites latérales .....	15
3.6.2. Conditions limites verticales.....	16
3.7. Points de contrôle du calage du modèle .....	16
4. Construction du modèle numérique.....	20
5. Calage du modèle .....	23
6. Evaluation de l’impact de la galerie exploratoire sur les débits des cours d’eau et sur la nappe .27	
6.1. Prise en compte de galerie exploratoire dans le modèle .....	27
6.2. Evaluation de l’impact de la galerie exploratoire .....	28
7. Conclusion .....	31
8. Annexe 1 : Synthèse des données géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques (juillet 2022)	
32	

## Table des figures

Figure 1. Démarche continue d’évaluation des impacts de la future mine.....	7
Figure 2. Ecoulement d’eau souterraine au sein d’un milieu poreux (arènes granitiques par exemple) (source : N. Gerdes).....	8
Figure 3. Ecoulement d’eau souterraine au sein d’un milieu fissuré (granite non altéré par exemple). ....	8
Figure 4. Extension initiale de la zone modélisée.....	12
Figure 5. Limite inférieure du modèle (la localisation de la coupe est indiquée sur la figure précédente) sur une coupe issue de Belkessa, 1981 .....	13
Figure 6. Zone altérée sus-jacente au granite sain (sur la coupe issue de Belkessa, 1981).....	13
Figure 7. Conditions limites latérales et extension de la zone modélisée .....	15
Figure 8. Carte piézométrique avril 2023 (Antea Group) .....	17
Figure 9. Bassin versant de la Bouble à la station hydrométrique et partie du bassin versant se trouvant sur la zone modélisée .....	18
Figure 10. Bassin versant de la Bouble à la station hydrométrique et partie du bassin versant se trouvant sur la zone modélisée .....	18
Figure 11. Débits mesurés à la station hydrométrique de la Bouble et débits mesurés corrigés de la surface du bassin versant se trouvant sur la zone modélisée (la courbe orange représente 32.5% de la courbe bleue) .....	19
Figure 12. Maillage du modèle .....	20
Figure 13. Détail du maillage au niveau de la carrière et des anciens travaux miniers.....	21
Figure 14. Détail du maillage au niveau de la future galerie exploratoire .....	21
Figure 15 : Couches numériques du modèle .....	22
Figure 16. Piézométrie simulée et piézométrie observée (avril 2023).....	24
Figure 17. Débit d’été simulé par le modèle et débit mesuré de la Bouble ajusté en fonction de la surface du bassin versant se situant sur l’emprise du modèle sur l’année 2023. ....	25
Figure 18 : Perméabilités de la couche 2.....	26
Figure 19. Vues 3D de la galerie exploratoire située dans les granites sains et prise en compte dans le modèle – couleur orange vif. Les parties en transparence correspondent à des parties considérées comme étanchée dans le modèle. ....	28
Figure 20. Maillage au niveau de la partie basse de la galerie exploratoire.....	28
Figure 21. Rabattement de la nappe (m) induit par la galerie (coupe verticale).....	29
Figure 22. Rabattement de la nappe (m) induit par la galerie exploratoire .....	29
Figure 23 : Comparaison entre débit simulé – état initial (en vert) et débit simulé en prenant en compte la galerie (en orange) – la courbe bleue présente les débits observés .....	30

# 1. Contexte et objectifs de l’étude

La société IMERYS Ceramics France (ICF) est titulaire d’un Permis Exclusif de Recherches (PER) de Mines de lithium, tantale, tungstène, béryllium et substances connexes, dit « Permis de Beauvoir », octroyé par l’Arrêté Ministériel du 15 mai 2015 pour une durée de 5 ans, et prolongé jusqu’au 23 mai 2025 par l’Arrêté Ministériel du 11 mai 2021. Ce PER concerne une partie du territoire des communes d’Echassières, Lalizolle et Nades dans le département de l’Allier (03), et de Servant dans le département du Puy-de-Dôme (63).

ICF exploite actuellement une carrière de kaolin, dite carrière de Beauvoir, sur le territoire des communes d’Echassières et Lalizolle (03), ainsi que l’usine de valorisation associée, sur le territoire de la commune d’Echassières. Ces Installations Classées pour la Protection de l’Environnement (ICPE), incluses dans le périmètre du Permis de Beauvoir, sont respectivement autorisées par les Arrêtés Préfectoraux n°2541/2021 du 8 novembre 2021 pour la carrière et n° 2013 / 2019 du 9 août 2019 pour l’usine.

Dans le cadre du Permis Exclusif de Recherche (PER) de Beauvoir, ICF souhaite étudier la possibilité d’exploiter le lithium contenu dans le granite de Beauvoir, présent au droit de la carrière kaolin du même nom (projet EMILI). Dans un premier temps il est envisagé la réalisation d’une galerie de reconnaissance<sup>1</sup> du gisement de granite de Beauvoir, depuis la fosse de la carrière existante. Cette galerie permettra d’extraire différentes qualités du granite, et d’obtenir un premier retour sur les modalités envisageables pour l’exploitation minière souterraine (comportement géotechnique réel des roches notamment).

Dans le cadre du projet EMILI, ICF a lancé une consultation pour la réalisation d’une étude hydraulique et hydrogéologique dont les objectifs étaient de :

- Etablir un état des lieux bibliographique (cf. Annexe 1) et identification des points de suivi des eaux de surface et des eaux souterraines ;
- Réaliser un état des lieux des eaux de surfaces et eaux souterraines ;
- Evaluer les impacts des différentes opérations d’exploration minière (sondages, galerie d’exploration), puis d’exploitation minière souterraine sur les eaux de surfaces et les eaux souterraines ;
- Le cas échéant, proposer des mesures d’évitement, de réduction, voire de compensation des impacts hydrauliques et hydrogéologiques.

ICF a mandaté Antea Group pour réaliser cette étude.

La première phase de l’étude a consisté à réaliser des investigations de façon à mieux connaître le milieu physique du site.

Ces investigations ont été les suivantes :

- Réalisation de campagnes de relevé des niveaux piézométriques et de jaugeages en hautes et basses eaux (campagne piézométrique s.l.) : en novembre 2022, avril 2023 et octobre 2023. Une prochaine campagne est prévue en avril 2024 ;
- Prélèvements d’eau (eau souterraine et eau de surface) et analyses de la qualité de l’eau aux mêmes périodes que les campagnes piézométriques ;
- Suivi en continu du niveau de certains piézomètres ;

---

<sup>1</sup> Nommée de façon indifférente dans le présent rapport ‘galerie de reconnaissance’ ou ‘galerie exploratoire’

- Réalisation de nouveaux piézomètres (permettant également de reconnaître les couches géologiques rencontrées lors de la foration).

Ces données ont permis notamment de réaliser des cartes piézométriques (Cf. Figure 8 la carte piézométrique d’avril 2023).

Les données acquises au cours des différentes campagnes ont fait l’objet des rapports suivants :

- Campagne mai 2022 (cf. §5 et Annexe 1)
- PFS-C9110-HH-REP-004\_03 – Campagne novembre 2022
- PFS-C9110-HH-REP-005\_02 – Campagne avril 2023
- PFS-C9110-HH-REP-008\_02 – Campagne octobre 2023

Ces campagnes de suivis de terrain vont être poursuivies afin de renforcer l’état de référence et l’efficacité du modèle.

A partir de ces données, une modélisation de l’impact de la galerie de reconnaissance a été réalisée. Le présent rapport rend compte de l’évaluation de l’impact de la galerie exploratoire sur les eaux de surfaces et les eaux souterraines.

Il est à noter que la démarche d’évaluation des impacts du projet minier est une démarche continue. L’évaluation des impacts évolue en fonction à la fois, de l’amélioration de la connaissance du milieu naturel, et de l’élaboration de plans miniers plus précis<sup>2</sup>. Dans ce cadre, un programme de réalisation de piézomètres profonds et d’essais hydrauliques est en cours de réalisation.

Cette démarche est illustrée à la Figure 1.

---

<sup>2</sup> Le plan de la future mine évoluant notamment en fonction de l’amélioration de la connaissance de répartition du lithium dans les couches géologiques

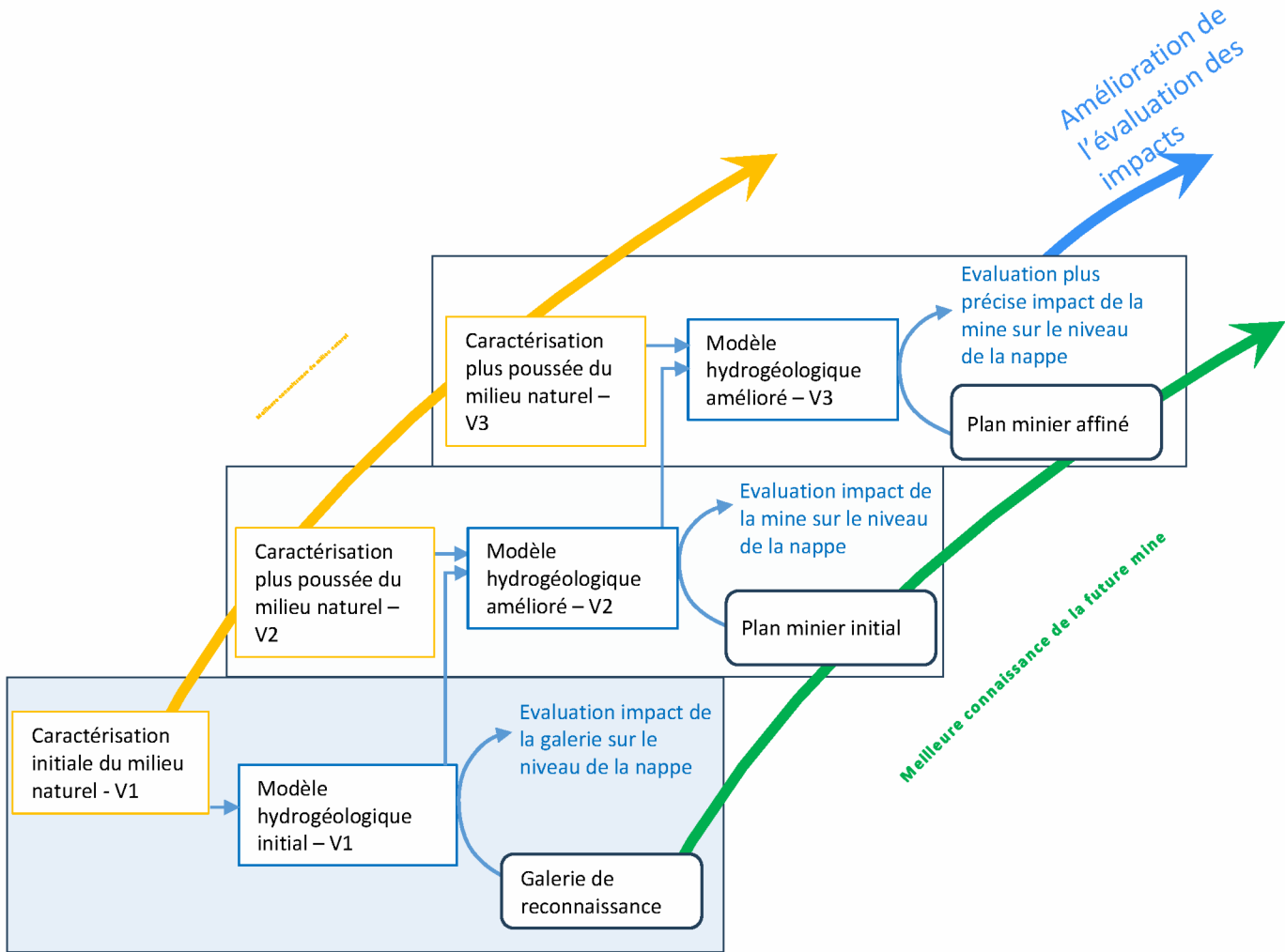


Figure 1. Démarche continue d'évaluation des impacts de la future mine

Le présent rapport porte sur l'évaluation de l'incidence potentielle de la galerie exploratoire sur les eaux souterraines et superficielles (rectangle bleu de la Figure 1) ; le plan de la future mine n'est pas encore aboutit et devra faire l'objet d'une évaluation ultérieure.

Il peut être souligné également que chaque étape d'évaluation contribue à orienter les investigations les plus pertinentes devant être réalisées, de façon à obtenir ensuite une évaluation la plus précise possible des impacts.

## 2. Approche développée

L’excavation de la galerie exploratoire pourrait induire, en l’absence de mesures adaptées, un drainage des eaux contenues dans les formations géologiques traversées. Dans ce cas, les eaux drainées vont s’écouler gravitairement sur le ‘plancher’ de la galerie jusqu’au point le plus bas de celle-ci. Ces eaux (dont le débit doit être déterminé) seraient ensuite pompées pour permettre le travail ‘à sec’ au fond de la galerie. Ainsi, en l’absence de mesures adaptées, la réalisation de la galerie exploratoire peut être assimilée à un pompage dans les formations géologiques rencontrées.

Ce pompage peut induire une baisse de la ‘nappe’ plus ou moins importante à proximité de la galerie, voire à une certaine distance de celle-ci.

La notion de nappe est précisée ici. Elle dépend notamment de la nature des formations géologiques dans lesquelles circule l’eau souterraine.

Dans le cas d’un milieu relativement perméable, l’eau souterraine ‘imbibe’ la formation géologique. L’eau souterraine s’écoule en contournant les éléments solides de la formation (Cf. Figure 2).

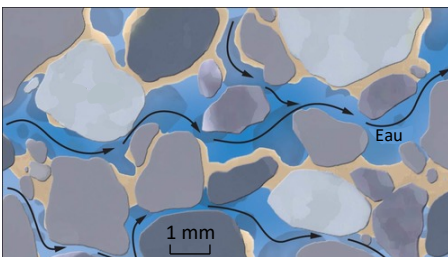


Figure 2. Ecoulement d’eau souterraine au sein d’un milieu poreux (arènes granitiques par exemple) (source : N. Gerdes)

A l’inverse, le granite non altéré est un milieu très peu perméable, ‘compact’ et dans lequel des fissures peuvent être présentes. L’eau souterraine circule uniquement par les fissures<sup>3</sup>. C’est un milieu où les écoulements sont très faibles (des écoulements n’ont lieu que si les fissures sont interconnectées – Cf. Figure 3).

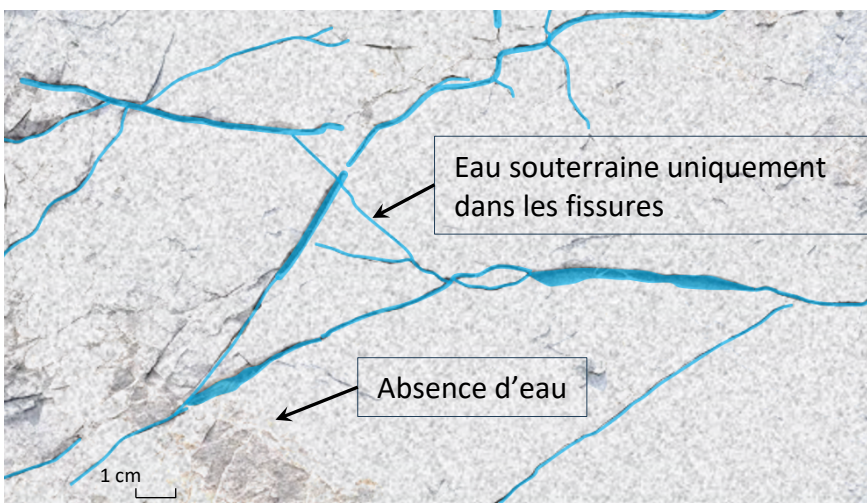


Figure 3. Ecoulement d’eau souterraine au sein d’un milieu fissuré (granite non altéré par exemple).

<sup>3</sup> Et via les failles si celles-ci sont présentes et perméables



Dans le cas du projet EMILI, des formations altérées (micaschistes altérés, arènes granitiques, ...) surmontent un massif granitique non altéré (granite ‘sain’), et il y a une continuité hydraulique entre l’eau souterraine présente dans le granite non altéré et les formations sus-jacentes. D’un point de vue hydrodynamique, le terme de nappe ne sera utilisé que dans le cas des formations sus-jacentes au granite sain. En effet, une nappe correspond à l’eau souterraine contenue dans une formation géologique suffisamment perméable pour qu’il soit possible d’extraire des débits significatifs (ce qui n’est pas le cas des granites sains).

L’éventuelle baisse du niveau de la nappe qui serait induite par la réalisation de la galerie exploratoire pourrait potentiellement avoir des incidences sur les zones proches. Par ailleurs, les débits d’étéage des cours d’eau à proximité (Bouble et Sioule) pourraient être impactés dans la mesure où c’est l’alimentation du cours d’eau par la nappe qui constitue l’essentiel du débit d’étéage<sup>4</sup>, et que la nappe présenterait un niveau piézométrique plus bas à proximité des cours d’eau.

Pour évaluer les impacts de la galerie exploratoire sur la nappe et les eaux de surface en période d’étéage une approche par modélisation combinée des écoulements souterrains et de surface a été adoptée.

Cette approche consiste dans un premier temps à élaborer un modèle conceptuel (§3).

Un modèle conceptuel correspond à une schématisation des phénomènes d’écoulements de telle façon qu’il soit possible de modéliser ensuite leur comportement.

Dans un second temps, un modèle numérique (§4), basé sur le modèle conceptuel, est élaboré. La représentativité de ce modèle est appréciée par sa capacité à reproduire de façon satisfaisante les niveaux observés de la nappe et/ou les débits d’étéage des cours d’eau (Phase de calage - §5).

Enfin, le modèle est alors utilisé en mode prédictif en introduisant la géométrie de la galerie exploratoire, et en simulant les effets induits sur la nappe et les eaux de surface associées (§6).

Ces différentes étapes de l’évaluation des impacts sont présentées dans les chapitres suivants.

---

<sup>4</sup> La nappe est en connexion hydraulique avec les cours d’eau. Lorsque le niveau de la nappe est supérieur à celui du cours d’eau, l’eau s’écoule gravitairement de la nappe vers le cours d’eau. La nappe contribue ainsi au débit du cours d’eau. Lorsqu’il ne pleut pas, il n’y a pas de ruissèlement, et c’est le seul l’écoulement de la nappe vers le cours d’eau qui constitue le débit du cours d’eau (débit d’étéage).

## 3. Elaboration d’un modèle conceptuel

### 3.1. Introduction

Un modèle conceptuel est une schématisation du fonctionnement d’un système aquifère tel qu’elle peut être déduite des données disponibles (bibliographie, investigations de terrain, etc.). La robustesse du modèle conceptuel dépend directement de l’exhaustivité et de la précision de ces données.

Un modèle conceptuel est défini par les éléments suivants :

- Les types d’écoulements pris en compte ;
- L’extension du domaine modélisé (extension latérale et verticale) ;
- Les caractéristiques hydrodynamiques (c’est-à-dire vis-à-vis des écoulements) des formations géologiques de la zone modélisée ;
- Les conditions hydrauliques prévalant aux limites du domaine modélisé.

L’élaboration d’un modèle conceptuel résulte de la recherche d’un compromis satisfaisant entre ces points. En effet, s’il peut paraître souhaitable d’étendre le domaine jusqu’à des zones où les conditions hydrauliques peuvent être établies avec un minimum d’incertitude, l’augmentation du domaine peut impliquer l’introduction d’incertitudes significatives en termes de caractéristiques hydrodynamiques des terrains modélisés. Ainsi, préalablement à l’élaboration d’un modèle numérique, plusieurs modèles conceptuels peuvent être envisagés. Le choix d’un modèle repose alors sur la cohérence des éléments qui le constituent et sur la caractérisation détaillée de ces éléments à partir des données disponibles.

Enfin, le modèle conceptuel est élaboré et choisi au regard des objectifs attendus des différentes simulations, tout en tenant compte de la durée prévisionnelle de l’étude.

Le modèle conceptuel doit également inclure les observations permettant de vérifier la pertinence du modèle numérique développé, de façon à simuler correctement les phénomènes observés.

Il est précisé qu’un modèle conceptuel est évolutif et peut être amené à être modifié au cours de la construction du modèle numérique.

Le modèle conceptuel proposé pour la modélisation de la galerie exploratoire est présenté ci-après.

### 3.2. Types d’écoulements à prendre en compte et choix du code de calcul pour la modélisation

Les écoulements pris en compte sont les écoulements souterrains au sein de la zone saturée des formations géologiques. La zone saturée est la zone où l’eau occupe complètement les vides des formations géologiques<sup>5</sup>.

Par ailleurs, comme cela a été vu précédemment, la baisse du niveau de la nappe pourrait potentiellement induire une baisse des débits d’étéage des cours d’eau. Il est alors pertinent de considérer également les échanges hydriques nappe/cours d’eau, et les impacts sur les débits des cours d’eau.

---

<sup>5</sup> A l’inverse la zone non saturée est la zone où les vides des formations géologiques sont remplis d’eau et d’air. Cette zone est située entre le niveau de la nappe et le niveau du sol.

Les écoulements à prendre en compte sont alors les écoulements souterrains et les écoulements au sein des cours d’eau.

Le code de calcul qui permet de prendre en compte ces deux types d’écoulement et leurs interactions est le code MODFLOW. Dans le cadre de la présente étude, c’est l’interface MODEL MUSE<sup>6</sup> qui a été utilisée. De plus, le module RIV permet de prendre en compte les écoulements dans les cours d’eau.

Le code MODFLOW est un standard international et est couramment utilisé pour évaluer l’impact sur la nappe de projets miniers.

### 3.3. Régime d’écoulement

Du fait des relatives faibles variations des niveaux piézométriques (au maximum 1.5 à 2 m)<sup>7</sup> et du peu de disponibilité des chroniques piézométriques locales, les écoulements pris en compte seront des écoulements en régime permanent, c’est-à-dire, qu’ils sont considérés constants dans le temps<sup>8</sup>.

Les interactions avec les cours d’eau correspondront à une situation d’étéage (alimentation des cours d’eau uniquement par la nappe).

### 3.4. Extension du domaine modélisé

#### 3.4.1. Extension latérale

La zone modélisée doit inclure la zone de la galerie exploratoire et les zones sensibles pouvant être impactées par la galerie.

Dans la mesure où l’influence éventuelle de la nappe pourrait impacter les débits d’étéage de la Boule et de la Sioule, il est pertinent d’étendre la zone modélisée jusqu’à ces cours d’eau (au nord et au sud).

Des affluents de la Boule et de la Sioule constituent la limite ouest de la zone modélisée.

A l’est, une limite assez éloignée du site minier est adoptée.

L’emprise globale de la zone modélisée est présentée à la Figure 4 (les zones Natura 2000 sont localisées sur cette carte à titre indicatif, sans préjuger des secteurs sensibles à une baisse du niveau de la nappe).

---

<sup>6</sup> MODFLOW et MODEL MUSE sont des codes développés par l’USGS (United State Geological Survey)

<sup>7</sup> Campagnes de terrain effectuées en novembre 2022, avril 2023 et octobre 2023, Cf. rapports PFS-C9110-HH-REP-004\_01A et PFS-C9110-HH-REP-005\_01A

<sup>8</sup> L’acquisition régulière de données sur le terrain permettra ensuite de réaliser des simulations en régime transitoire, c’est-à-dire en prenant en compte les fluctuations du niveau de la nappe en fonction du temps

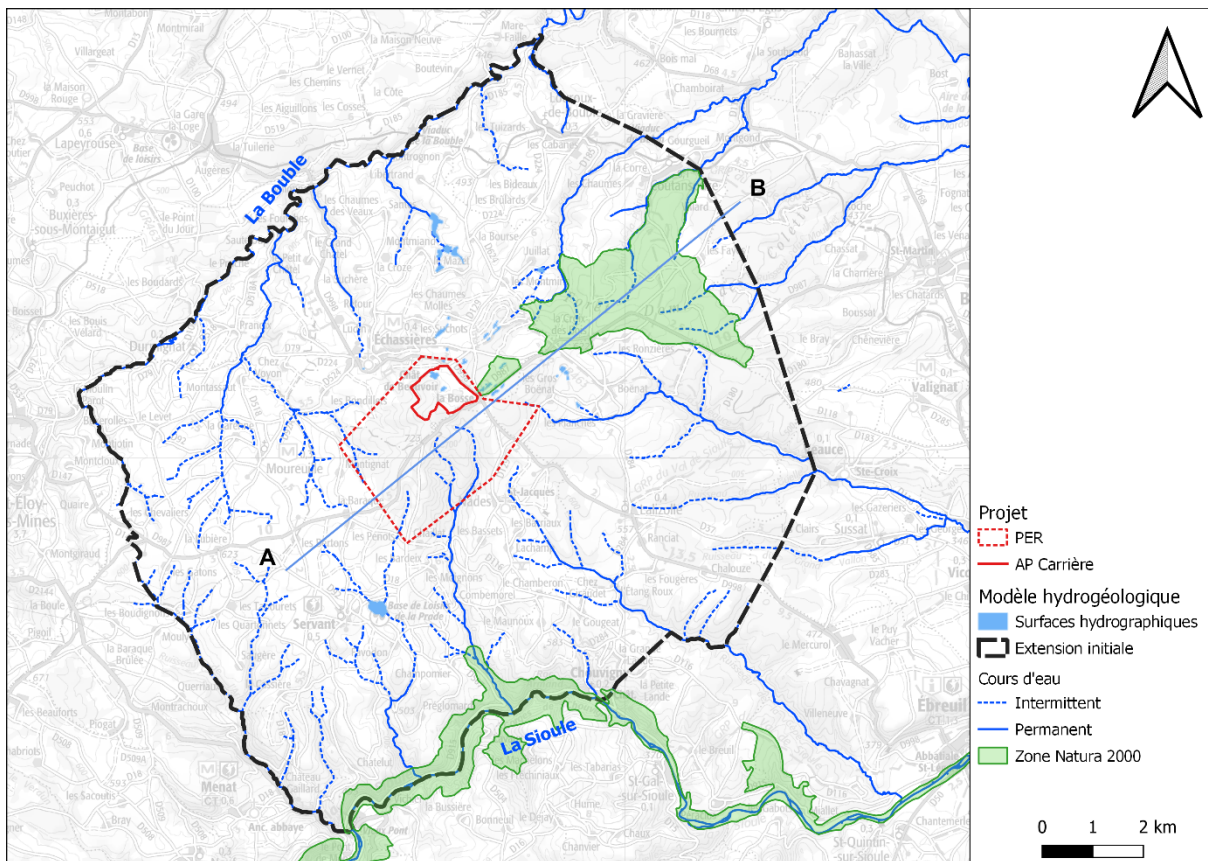


Figure 4. Extension initiale de la zone modélisée

Cette emprise globale de la zone à modéliser sera affinée au moment de définir les conditions hydrauliques prévalant aux limites du modèle (Cf. §3.6.1).

### 3.4.2. Extension verticale

La limite supérieure du modèle correspond à la topographie issue du LIDAR et de la BD TOPO issue de l’IGN.

La limite inférieure doit être définie de telle façon que les écoulements souterrains atteignant la galerie exploratoire soient correctement pris en compte et en particulier, les écoulements souterrains ascendant verticaux pouvant atteindre la base de la galerie.

Le point le plus bas de la galerie exploratoire étant situé à la cote 585 m NGF, la base de la zone modélisée a été étendue à une cote significativement plus basse (cote 300 m NGF), pour s’affranchir des effets de bord<sup>9</sup> (Cf. Figure 5).

<sup>9</sup> Au niveau de la limite inférieure, il est considéré qu’il n’y a pas de flux d’eau souterraine ascendant. Cette hypothèse est réaliste mais reste une approximation dans la mesure où il n’y a pas d’investigation de terrain permettant de le vérifier. Dans le cas où, contrairement à l’hypothèse prise, il y aurait un flux ascendant (faible), l’impact de l’incertitude de la condition hydraulique à la limite inférieure du modèle (flux ascendant faible ou nul) sur les résultats de la modélisation est d’autant plus faible que la limite où l’approximation est faite (base du modèle) est éloignée de la zone d’intérêt (i.e. la galerie de reconnaissance).

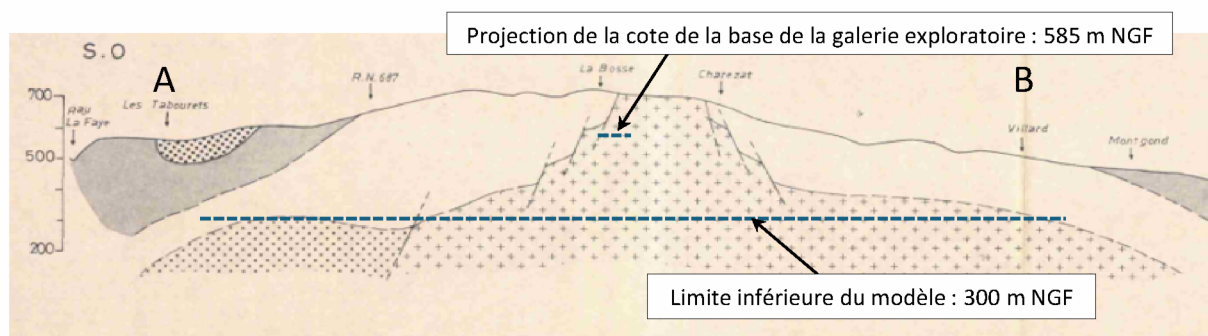


Figure 5. Limite inférieure du modèle (la localisation de la coupe est indiquée sur la figure précédente) sur une coupe issue de Belkessa, 1981

### 3.5. Formations géologiques prises en compte et leurs caractéristiques hydrodynamiques

#### Les formations géologiques prises en compte

Des travaux relativement anciens ont permis de déterminer les grandes lignes du contexte géologique régional (Cf. Annexe 1 : Synthèse des données géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques (juillet 2022)). Les campagnes de sondages réalisées ces dernières années permettent de mieux connaître le contexte géologique local et les travaux plus récents permettront de préciser ce contexte et, en particulier de dresser la cartographie de la géologie structurale rapprochée au niveau de l’emprise de la future mine.

Dans le cadre de l’étude actuelle, ce sont les travaux (de référence pour le contexte global) de Belkessa (1981) qui ont été pris en compte, avec des ajustements au niveau de l’emprise minière basés sur les sondages réalisés.

En effet, par rapport aux travaux de Belkessa qui a délimité l’extension (latérale et en profondeur) des différentes formations géologiques sur le secteur d’étude, les travaux de forages récents ont montré qu’il y avait une zone altérée sus-jacente au granite sain (qui pouvait localement atteindre une quarantaine de mètres) (Cf. figure ci-après).

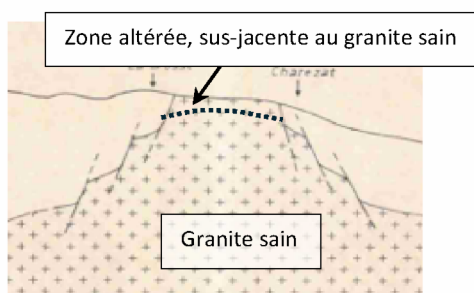


Figure 6. Zone altérée sus-jacente au granite sain (sur la coupe issue de Belkessa, 1981)

Cette zone altérée peut correspondre à des arènes granitiques, des zones kaolinisées ou encore à des micaschistes altérés sans que les données disponibles au démarrage de l’étude ne permettent de déterminer une zonation précise à l’échelle du domaine modélisé.

**Du point de vue de la modélisation des écoulements souterrains, il importe surtout de retenir qu’il y a deux grands types de formations : les granites sains (très peu perméables) et les formations sus-jacentes de perméabilité plus élevée.**

Il a également été pris en compte une couche superficielle de faible épaisseur (quelques mètres) correspondant à la partie superficielle des formations géologiques affleurantes.

#### Les caractéristiques hydrodynamiques des formations géologiques prises en compte

Des essais de pompage sont prévus dans les piézomètres en cours de réalisation pour estimer la perméabilité des formations géologiques. Ils permettront de confirmer les caractéristiques retenues ou de faire évoluer le modèle. Il n’y a actuellement pas de données issues du terrain pour estimer ce paramètre.

Outre les données bibliographiques, les investigations de terrain (sondages et analyse de carottes) permettent de considérer le granite sain comme globalement peu perméable. Au niveau de cette formation, des failles sont cartographiées mais leur extension en profondeur n’est pas connue sur l’ensemble de la zone modélisée, et leurs caractéristiques hydrodynamiques ne sont pas connues (ces failles peuvent être colmatées ou perméables). In fine, au vu de la connaissance actuelle de la géologie du site, c’est la perméabilité ‘en grand’ des granites qui a été considérée.

La perméabilité du granite<sup>10</sup> a ainsi été prise égale à  $1.10^{-9}$  m/s (en cohérence avec les données issues de la littérature).

Les perméabilités de l’horizon sus-jacent au granite sain ainsi que les perméabilités de la couche très superficielle seront ajustées par calage à la piézométrie observée, tout en s’assurant que les valeurs considérées soient cohérentes avec la littérature.

#### Les anciens travaux miniers

Sur le site de la carrière actuelle, des anciens travaux miniers existent (principalement des galeries subhorizontales et des puits de ventilation dans les micaschistes). Ils contribuent à accroître la transmissivité<sup>11</sup> globale des formations géologiques dans lesquelles ils se situent. La transmissivité sera ajustée lors du calage du modèle.

### **3.6. Conditions hydrauliques prévalant aux limites de la zone modélisée**

Pour déterminer les écoulements au sein de la zone modélisée, il est nécessaire de définir les conditions hydrauliques prévalant aux limites de la zone modélisée. Ces conditions (dites ‘conditions limites’) régissent les échanges hydriques entre la zone modélisée et l’extérieur du modèle.

Ces conditions limites sont présentées ci-après.

---

<sup>10</sup> Il s’agit d’une perméabilité ‘en grand’, c’est-à-dire une perméabilité moyenne d’un volume de roche assez grand qui inclut à la fois des zones totalement imperméables et des fissures de faible extension ayant une perméabilité faible (Cf. Figure 3). Par la suite implicitement, même si le terme perméabilité des granites sains est utilisé, il s’agira d’une perméabilité ‘en grand’ des granites sains.

<sup>11</sup> La transmissivité d’une formation d’une certaine épaisseur est égale au produit de la perméabilité par l’épaisseur en eau de la formation.

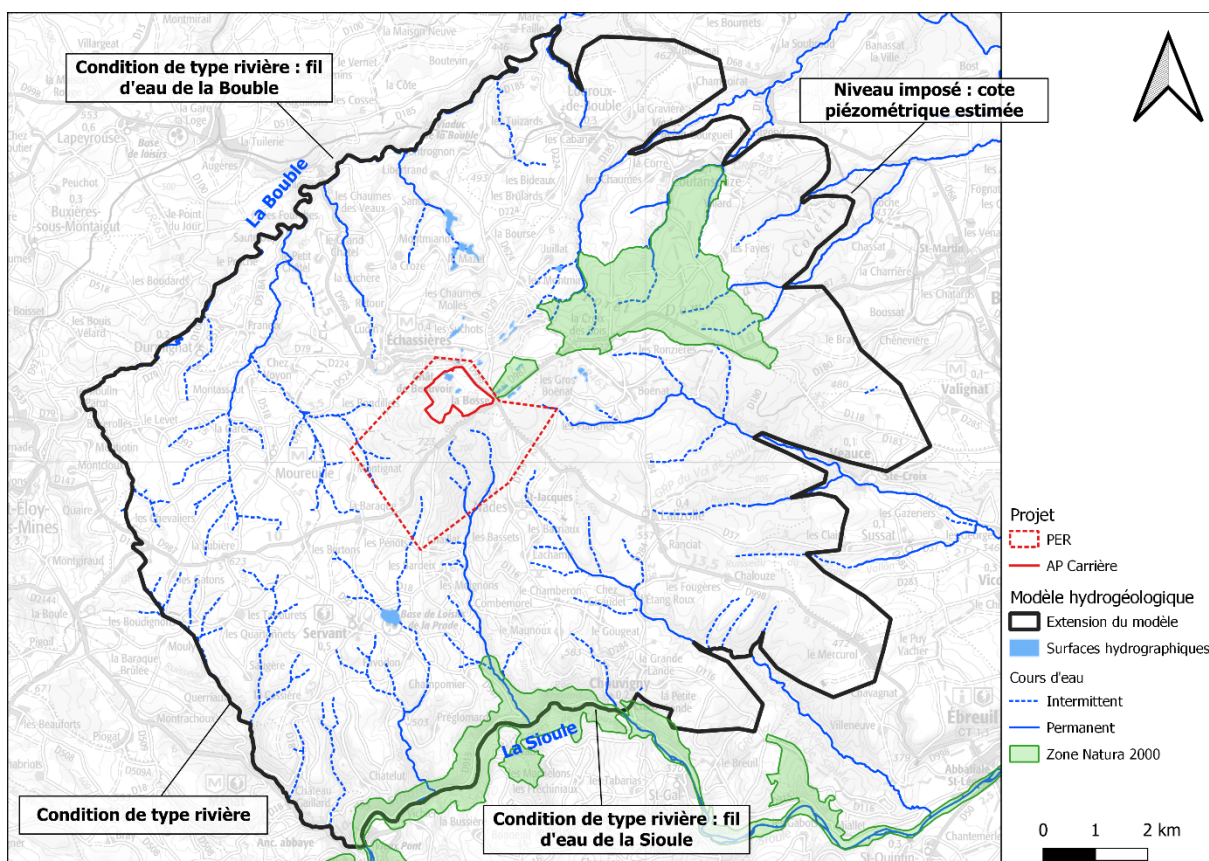
### 3.6.1. Conditions limites latérales

Au nord de la zone modélisée, c’est le niveau de la Bouble (condition de type rivière avec niveau imposé et conductance) qui est pris comme condition limite (la Bouble va drainer les écoulements de la nappe puisque le niveau de la rivière est plus bas que celui de la nappe). Il en est de même au niveau de la Sioule au sud.

A l’ouest, les affluents de la Bouble et de la Sioule sont des cours d’eau intermittents. Une condition de type ‘rivière’ a également été prise en compte.

A l’est du modèle, très peu d’informations sont disponibles pour définir une condition hydraulique. L’approche suivie a été d’estimer les niveaux piézométriques dans ce secteur (par analogie avec d’autres secteurs où des données piézométriques étaient disponibles). La limite est du modèle a été placée de façon suffisamment éloignée du secteur de la galerie de reconnaissance de façon à éviter les effets de bord. Cette limite a été ajustée ensuite pour suivre des courbes de niveau piézométrique supposées (courbes dites isopièzes). Ces niveaux ont été considérés comme condition limite (niveau imposé).

Les conditions aux limites et l’extension du modèle sont présentées à la figure suivante.



### 3.6.2. Conditions limites verticales

La partie supérieure du modèle correspond au niveau de la nappe. La condition limite correspond alors à la recharge de la nappe par les précipitations. C’est ce flux d’eau qui alimente la nappe.

Celui-ci a été estimé à 165 mm/an à partir des données météorologiques locales (Cf. Annexe 1 : Synthèse des données géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques (juillet 2022)).

La base du modèle est considérée comme imperméable, c’est-à-dire qu’il n’y a pas d’écoulement qui vont de zones profondes en dehors du domaine modélisé vers les formations géologiques modélisées.

### 3.7. Points de contrôle du calage du modèle

Pour apprécier la représentativité du modèle, il importe de comparer les mesures effectuées sur le terrain et ce qui est simulé par le modèle.

Il s’agit ainsi ici de comparer :

- Les niveaux piézométriques mesurés et ceux simulés par le modèle ;
- Le débit d’étéage de la Bouble mesuré<sup>12</sup> et celui simulé par le modèle.

La carte piézométrique de référence prise en compte est celle qui correspond à la campagne piézométrique réalisée en avril 2023 (Cf. Figure 8).

Dans la mesure où les données piézométriques disponibles, issues des campagnes de terrain de novembre 2022 et avril 2023, montrent en dehors de la carrière peu de variations piézométriques dans le temps (au maximum 1.5 à 2 m), la carte piézométrique d’avril 2023 est pertinente pour comparer les niveaux piézométriques observés avec les niveaux piézométriques qui seront simulés par le modèle en régime permanent<sup>13</sup>.

---

<sup>12</sup> Il y a uniquement une station de jaugeage sur l’emprise de la zone modélisée pour la Bouble (pas de station sur la Sioule sur le secteur modélisé)

<sup>13</sup> De plus la situation de hautes eaux – avril 2023 – est plus pénalisante en termes de contribution de la nappe au débit des cours d’eau



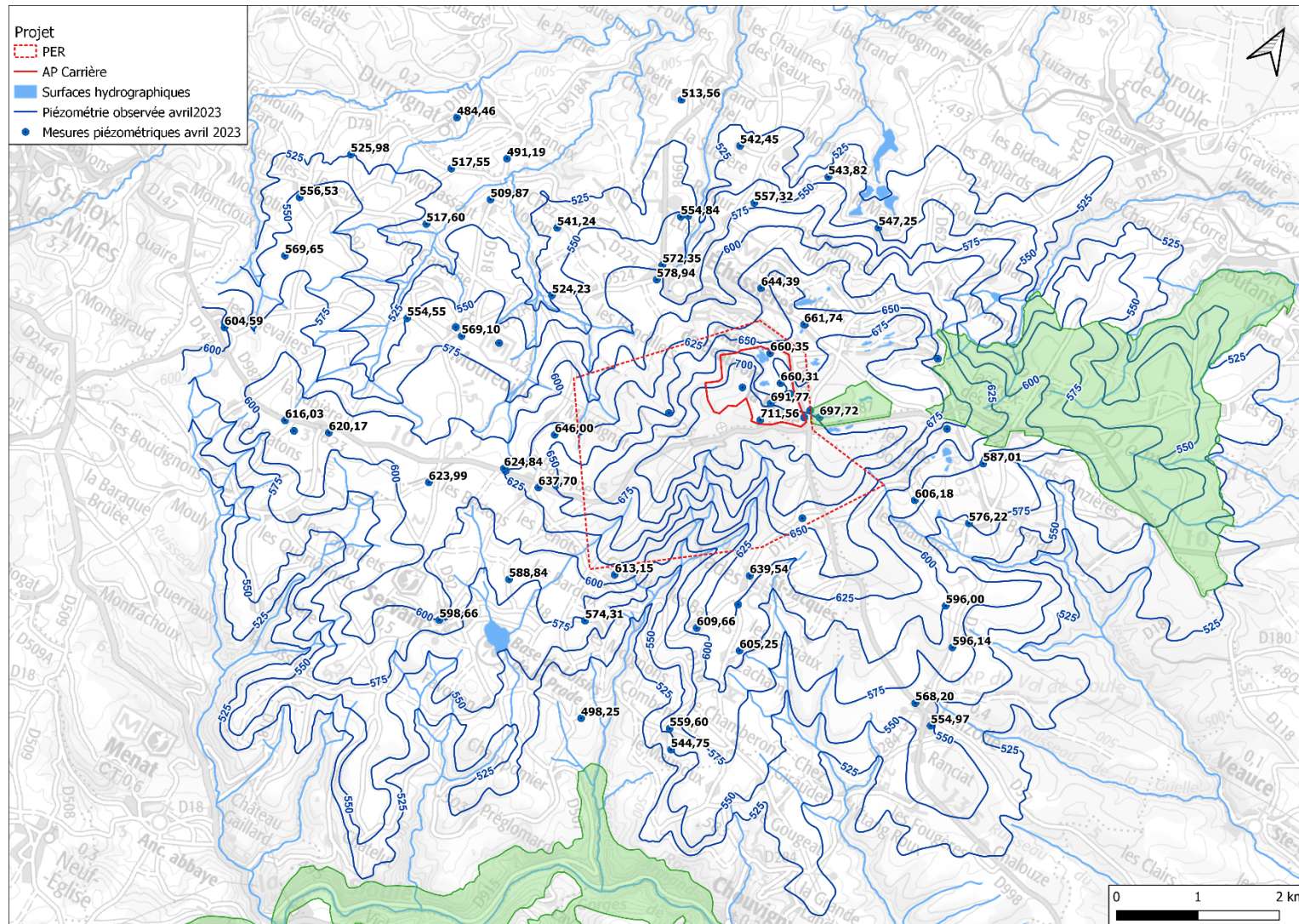
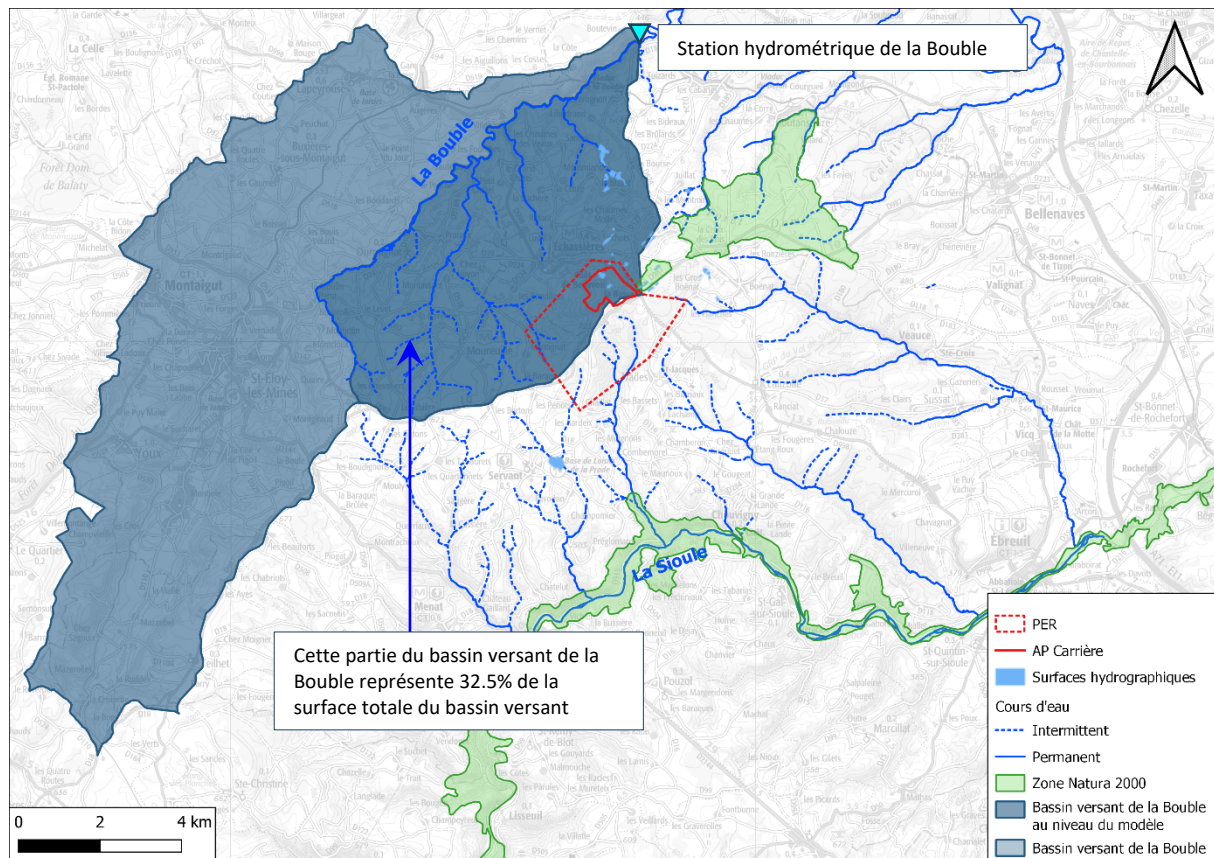


Figure 8. Carte piézométrique avril 2023 (Antea Group)

La représentativité du modèle sera alors évaluée par la comparaison piézométrie simulée/observée relative :

- Aux directions d’écoulement ;
- Aux gradients (‘pente’) piézométriques ;
- A l’ordre de grandeur des cotes piézométriques (surtout dans les zones les plus sensibles) ;
- A sa capacité à reproduire l’ordre de grandeur du débit d’étiage mesuré à la station hydrométrique de la Boule.

Pour ce dernier point, il est à noter que la station hydrométrique sur la Boule mesure le débit correspondant à l’ensemble du bassin versant de ce cours d’eau (zones bleu clair et bleu foncé de la Figure 9). Or le modèle ne ‘couvre’ qu’une partie de ce bassin versant (zone bleu foncé de la Figure 9). Il importe alors de comparer le débit simulé par le modèle (débit provenant de la nappe au niveau de la zone bleu foncé) et la partie du débit mesuré à la station hydrométrique correspondant uniquement à la zone bleu foncé de la Figure 9. Cette partie du débit de la Boule est considérée comme égale au débit total observé multiplié par le ratio ‘partie bleu foncé du bassin versant/ensemble du bassin versant’, soit 32.5%.



**Figure 10. Bassin versant de la Boule à la station hydrométrique et partie du bassin versant se trouvant sur la zone modélisée**

Les débits mesurés (et corrigés des surfaces des bassins versants) sont présentés à la figure ci-après.

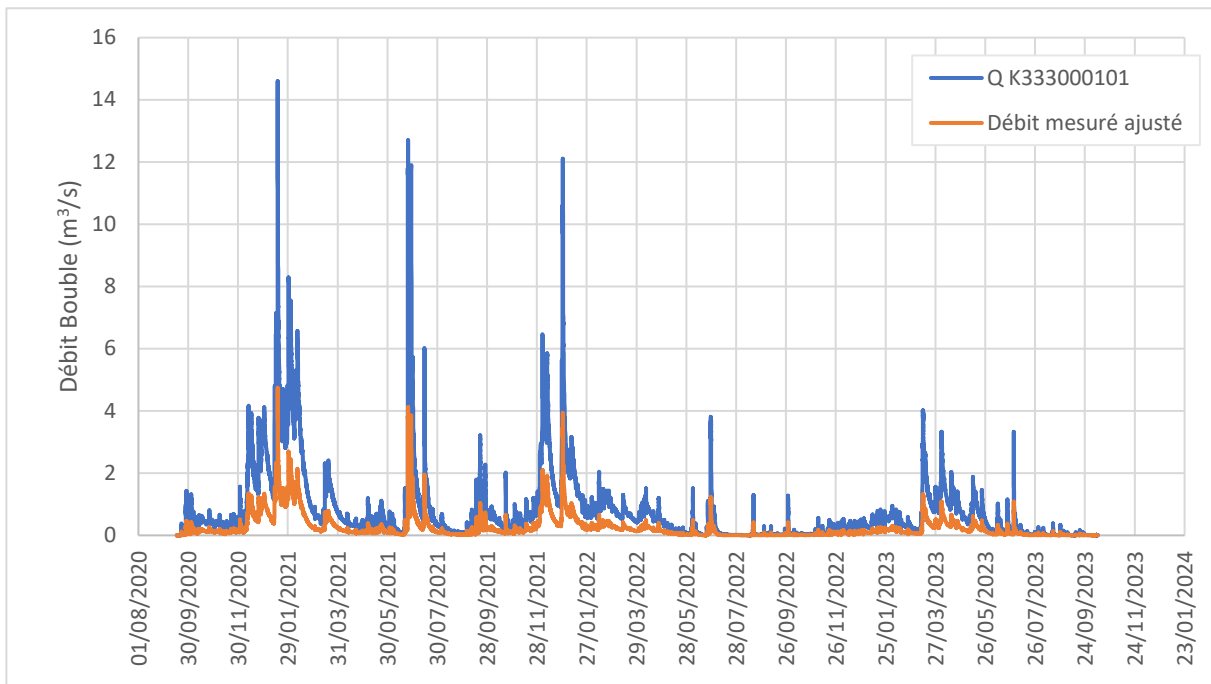


Figure 11. Débits mesurés à la station hydrométrique de la Bouble et débits mesurés corrigés de la surface du bassin versant se trouvant sur la zone modélisée (la courbe orange représente 32.5% de la courbe bleue)

## 4. Construction du modèle numérique

La construction du modèle numérique consiste à définir, sur l’ensemble de la zone modélisée, des mailles dont les caractéristiques sont issues des paramètres issus du modèle conceptuel. Au sein d’une maille tous les paramètres issus du modèle conceptuel sont constants.

Cette ‘discrétisation’ de la zone modélisée permet ensuite de résoudre les équations décrivant les phénomènes d’écoulement. Le résultat de ces calculs (via le code de calcul utilisé) est notamment, l’obtention au niveau de toutes les mailles du modèle, de niveaux piézométriques de la nappe correspondant aux éléments du modèle conceptuel. Ces niveaux constituent la piézométrie simulée par le modèle.

Le maillage ainsi créé comporte 137 678 mailles.

**Des mailles plus fines ont été prises en compte à proximité de la galerie de reconnaissance et des anciennes galeries minières.**

Les figures suivantes présentent un aperçu du maillage du modèle.

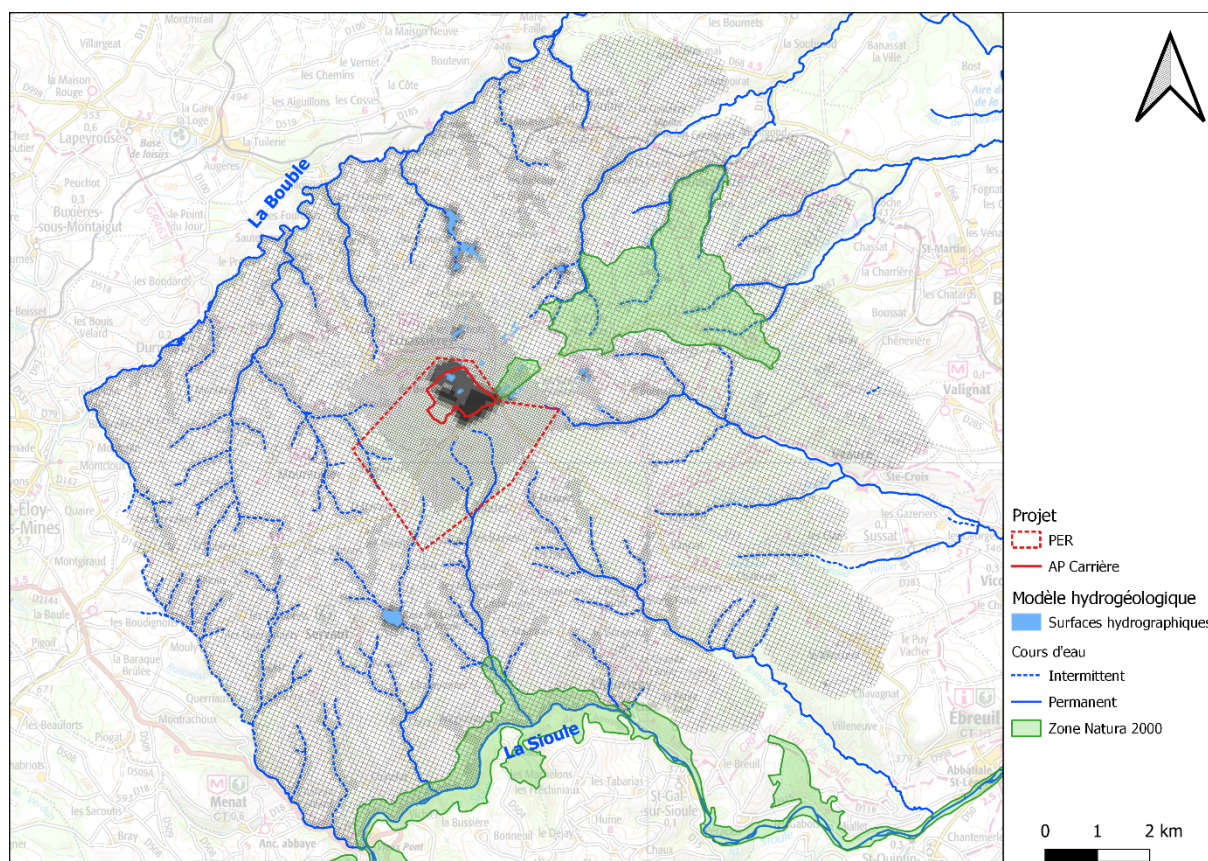


Figure 12. Maillage du modèle

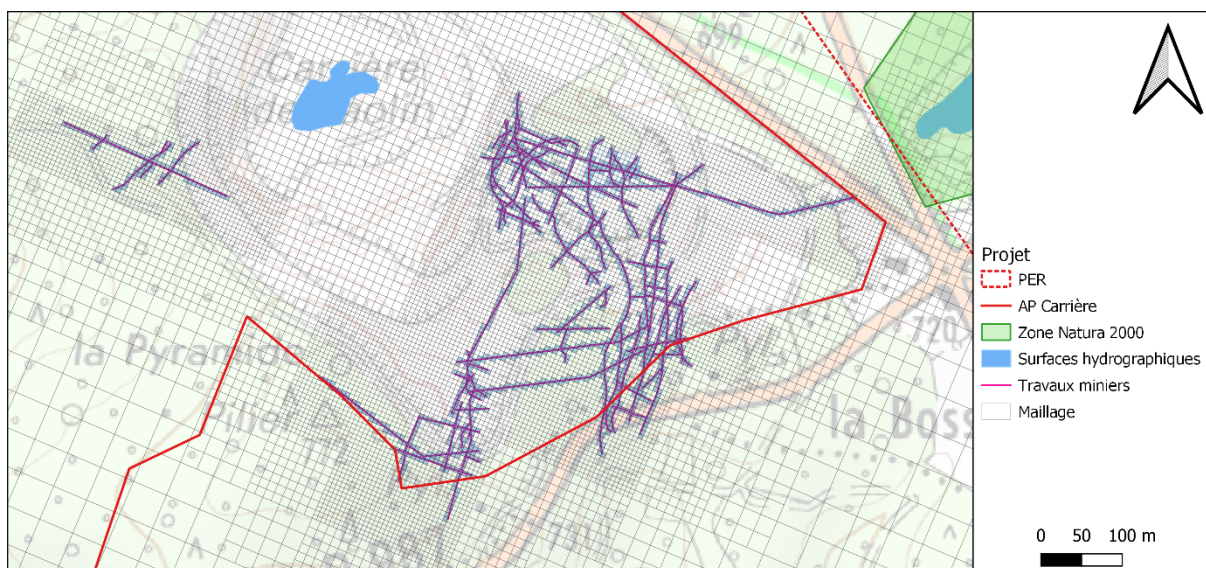


Figure 13. Détail du maillage au niveau de la carrière et des anciens travaux miniers

De façon anticipée, l’emprise de la galerie exploratoire a été prise en compte dans le maillage (de façon à modéliser ultérieurement plus facilement son impact).

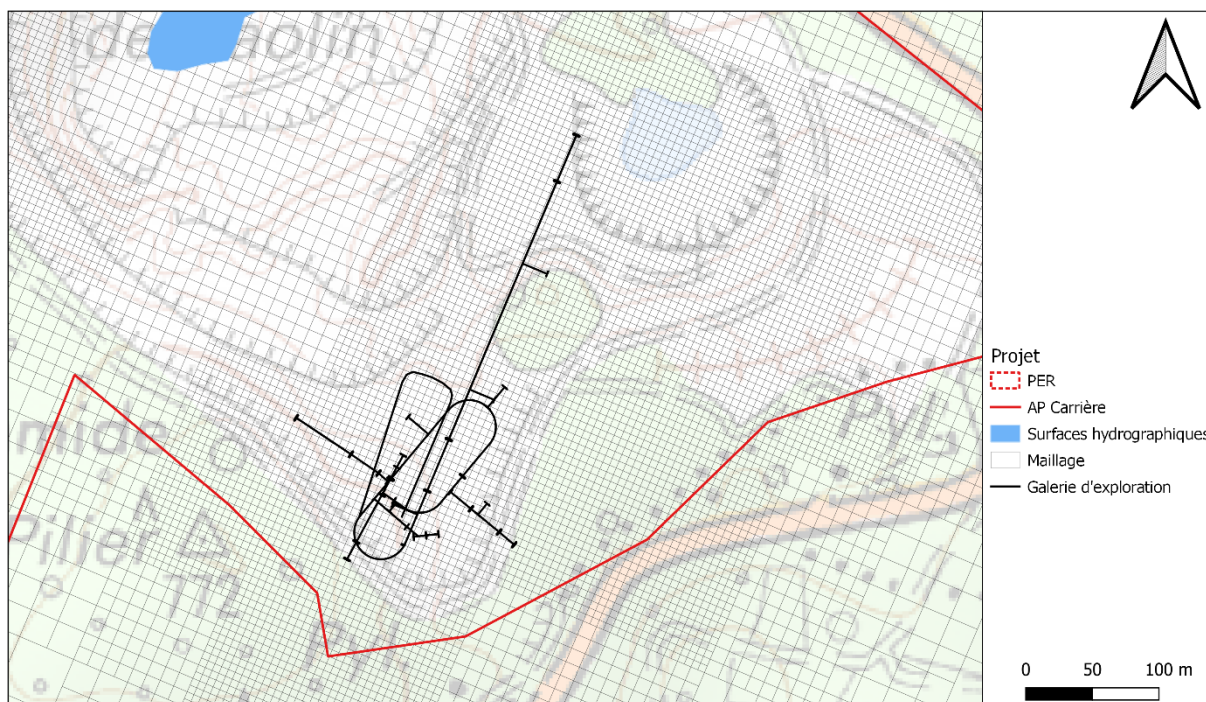


Figure 14. Détail du maillage au niveau de la future galerie exploratoire

Au niveau de la future galerie exploratoire, la largeur des mailles est de 5,5 m (identique à la largeur de la future galerie).

Verticalement, le modèle numérique prend bien en compte les granites sains avec une partie altérée sus-jacente à ceux-ci (cf. Figure 15).

Le modèle est ainsi découpé en trois couches (Cf. Figure 15 – coupe selon l’axe de la galerie de reconnaissance) :

- Couche 1 : Formations superficielles (alluvions, partie superficielles – quelques mètres – des micaschistes, granites ou gneiss altérés) ;
- Couche 2 : Formations plus ou moins altérées (micaschistes, gneiss) situées au-dessus des granites sains ;
- Couche 3 : Granites sains.

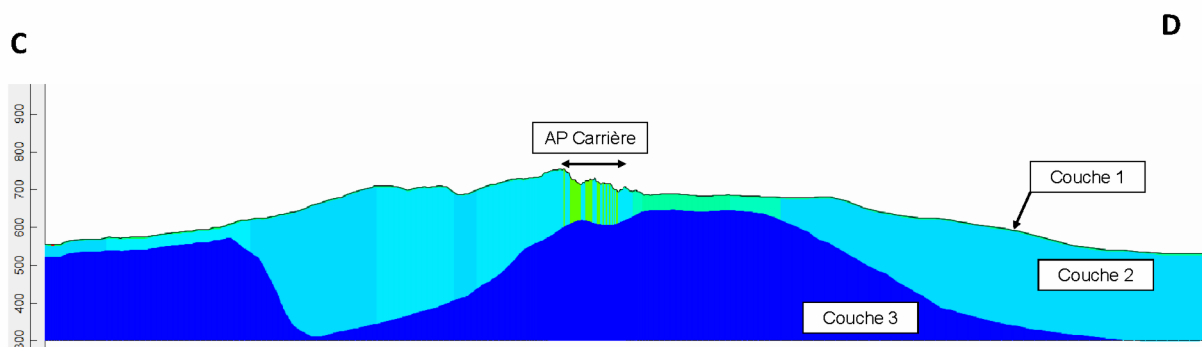
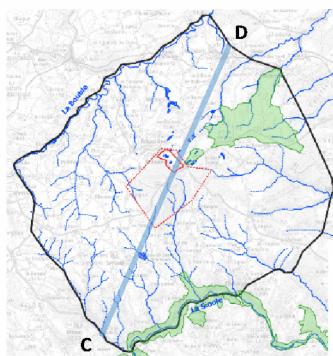


Figure 15 : Couches numériques du modèle

## 5. Calage du modèle

Le calage consiste à ajuster les paramètres les moins bien connus (tout en restant dans des gammes réalistes) de façon à reproduire de façon satisfaisante les variables d’intérêt (ici la piézométrie de la nappe et l’ordre de grandeur du débit d’étiage de la Bouble).

Le calage a été fait en régime permanent dans la mesure où la piézométrie mesurée présente un faible marnage en dehors de la carrière (Cf. §3.3), que les paramètres hydrodynamiques de certaines formations géologiques sont peu connus (e.g. perméabilité des granites sains issues de la bibliographie) et que l’objectif visé était d’obtenir des ordres de grandeur de l’impact de la galerie de reconnaissance sur la nappe et les cours d’eau adjacents.

Dans le cas de la présente étude, ce sont surtout les valeurs de perméabilité des niveaux sus-jacents au granite sain qui seront ajustées par calage.

La piézométrie issue du calage est présentée à la figure suivante avec en superposition la piézométrie observée.

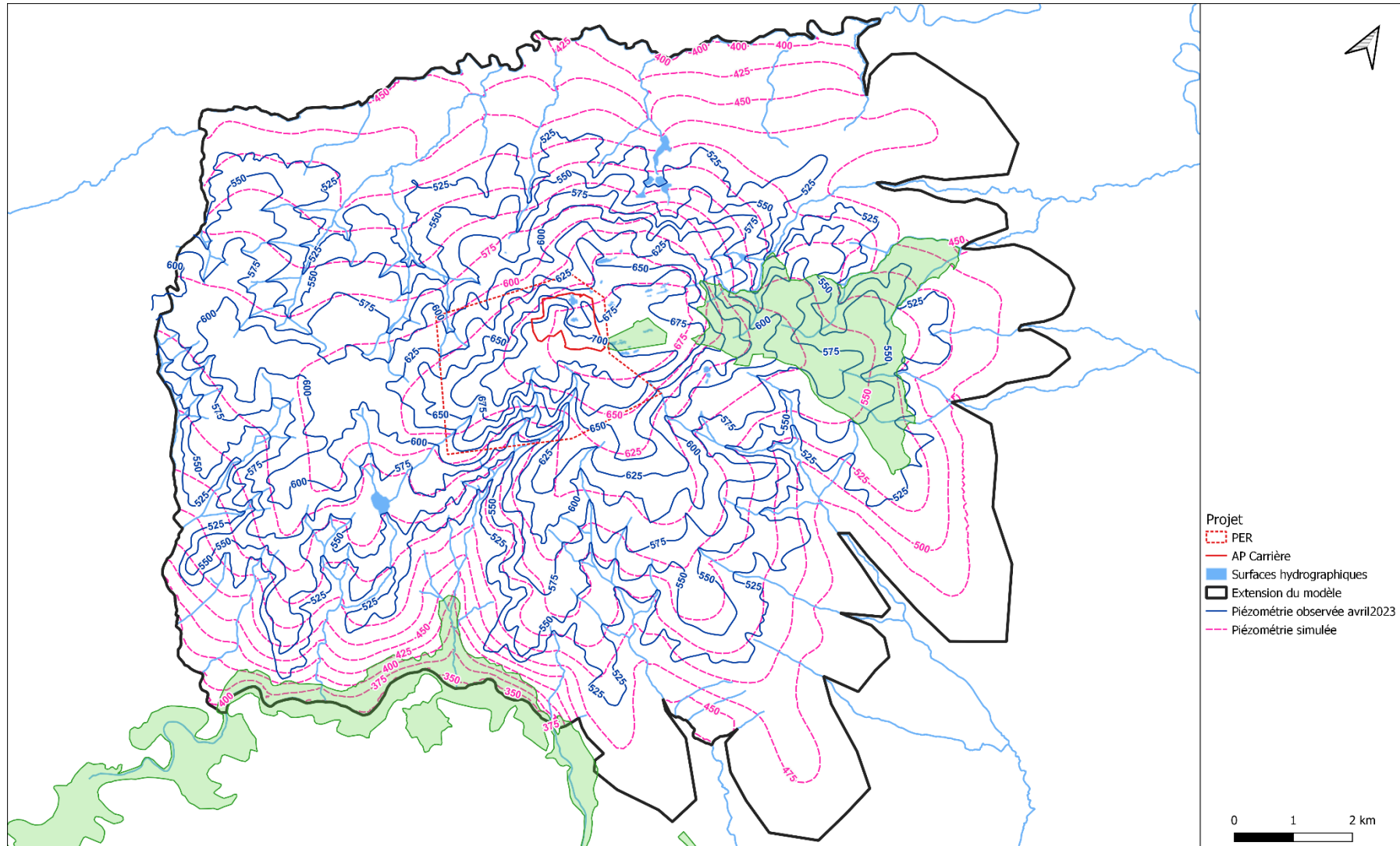


Figure 16. Piézométrie simulée et piézométrie observée (avril 2023)



Globalement, le comportement de la nappe (simulé en régime permanent) est correctement reproduit à l'échelle régionale, même si la piézométrie ne reproduit pas toutes les 'indentations' de la piézométrie observée (du fait notamment de la taille des mailles qui n'est pas à même de reproduire le détail de l'influence de certains talwegs). Les ordres de grandeurs des gradients piézométriques dans les zones d'intérêts sont correctement simulés (notamment au vu des données disponibles). Cet ajustement est améliorable mais ce sont surtout les résultats des investigations en cours de réalisation (dont la réalisation de piézomètres profonds avec mesure de la perméabilité des granites sains) qui permettront de développer un outil de modélisation plus à même de reproduire finement la piézométrie observée à proximité du site.

Le débit simulé par le modèle est indiqué à la figure ci-après (trait vert) et comparé aux débits d'étiage de la Bouble (proratisé en fonction de la surface du bassin versant située sur l'emprise du modèle).

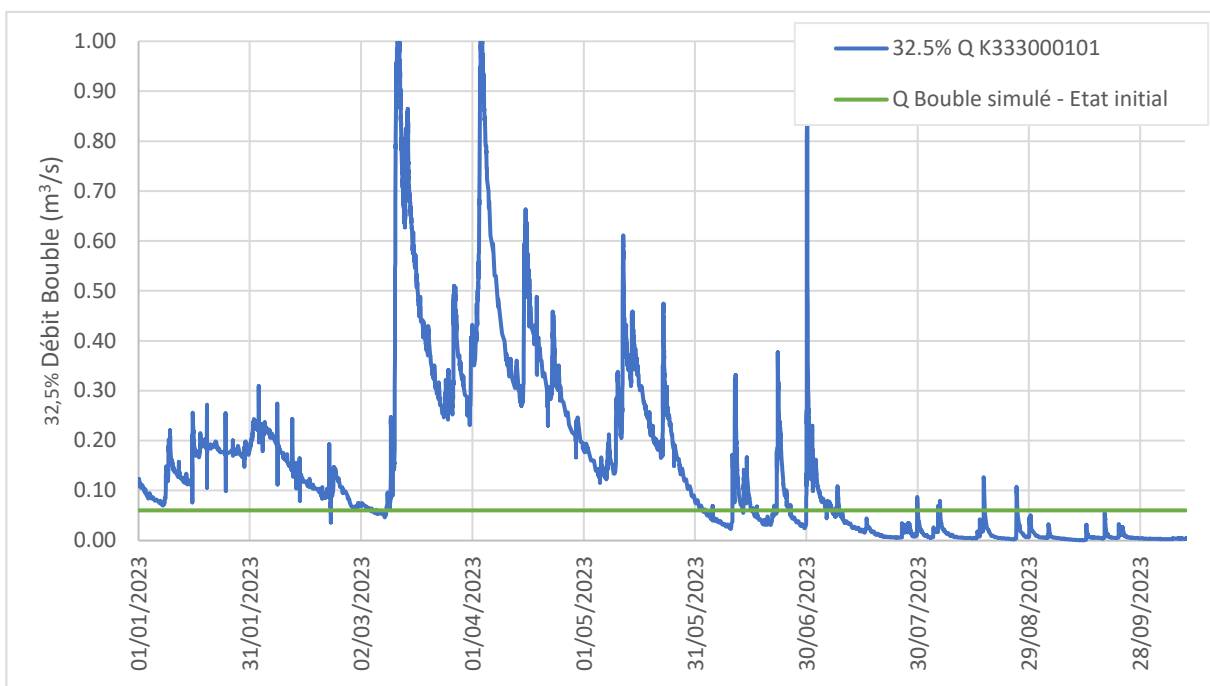


Figure 17. Débit d'étiage simulé par le modèle et débit mesuré de la Bouble ajusté en fonction de la surface du bassin versant se situant sur l'emprise du modèle sur l'année 2023.

Le modèle reproduit correctement l'ordre de grandeur du débit d'étiage de la Bouble<sup>14</sup>

Au vu des données disponibles, il est considéré que le modèle reproduit correctement les écoulements de la nappe et leur contribution au débit de la Bouble (débit d'étiage).

**Le modèle peut donc être utilisé pour évaluer l'ordre de grandeur des impacts des travaux (galerie exploratoire) pouvant potentiellement modifier les écoulements souterrains.**

La répartition des perméabilités des formations sus-jacentes au granite sain correspondant au calage est indiquée à la Figure 18.

<sup>14</sup> C'est-à-dire que le débit simulé est dans la gamme 0-0.1 m³/s soit la même gamme que les débits observés

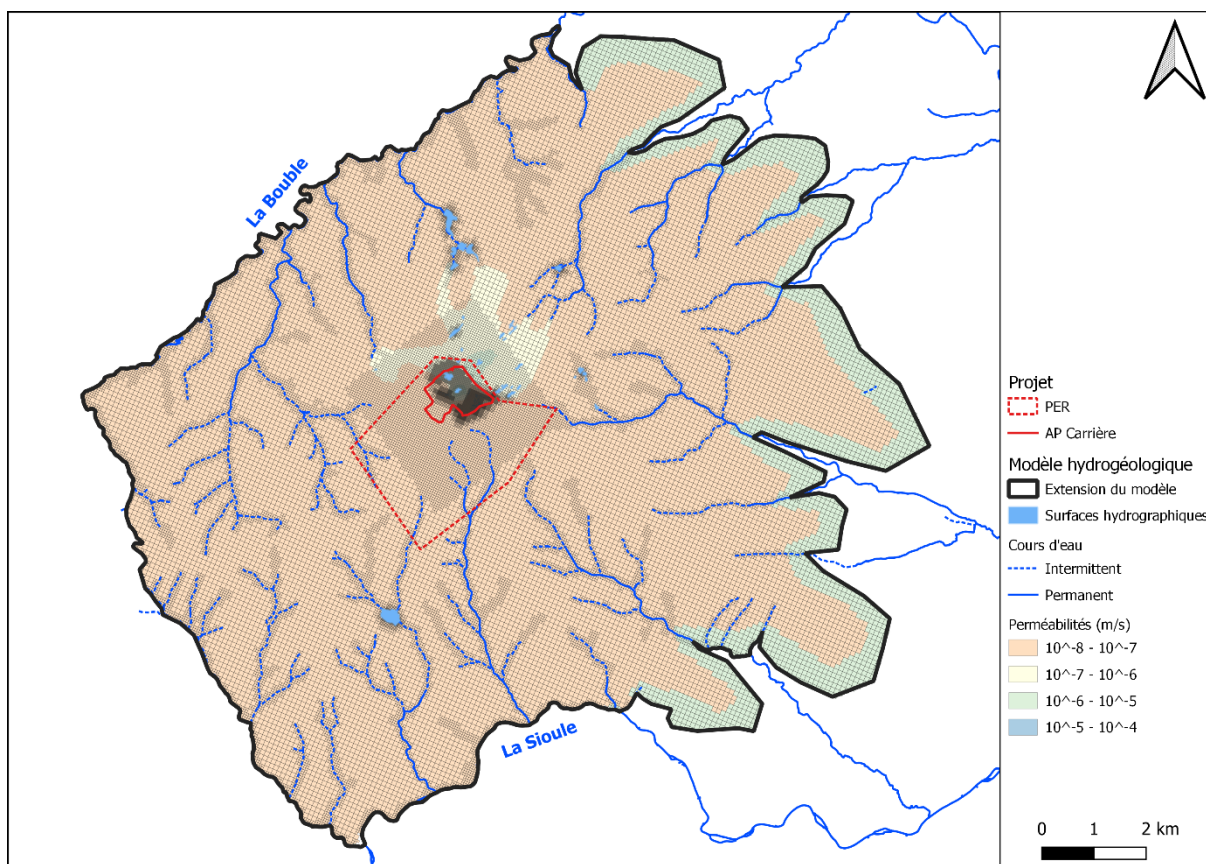


Figure 18 : Perméabilités de la couche 2

Les paramètres hydrodynamiques retenus à la suite du calage sont synthétisés au tableau suivant.

Tableau 1 : Synthèse des paramètres hydrodynamiques retenus à la suite de la phase de calage

Formation	Unité	Alluvions et formation superficielles	Kaolin	Micaschistes altéré	Micaschistes sains	Granite altéré	Granite sain
Epaisseur	m	5	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
Perméabilité	m/s	$5 \cdot 10^{-6}$ à $5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$ à $2 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-6}$ à $2,2 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-9}$

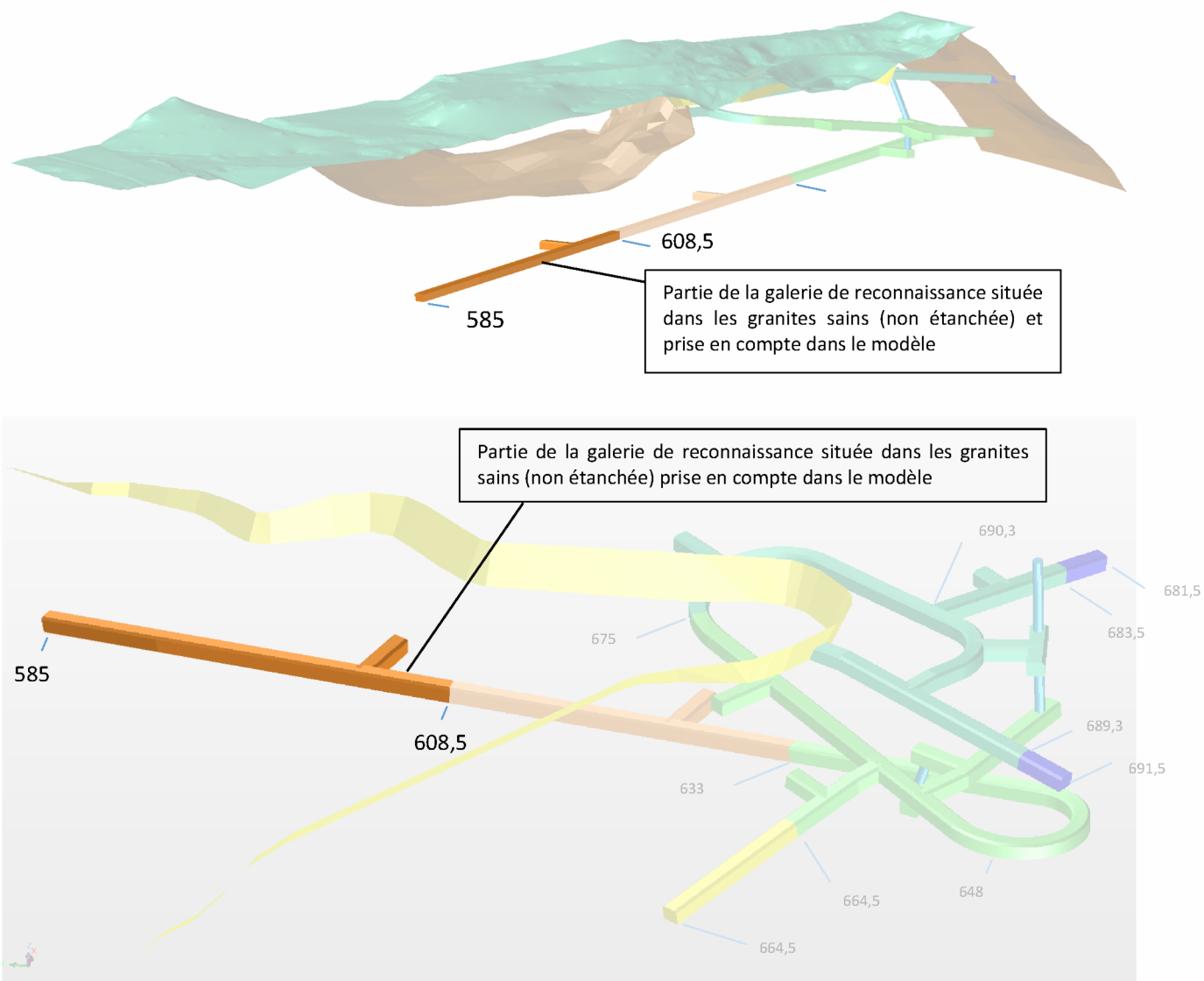
La transmissivité des anciens travaux miniers varie de  $4 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s à  $10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

## 6. Evaluation de l'impact de la galerie exploratoire sur les débits des cours d'eau et sur la nappe

### 6.1. Prise en compte de galerie exploratoire dans le modèle

Le principe de réalisation de la galerie exploratoire est d'étancher la galerie dans toutes les formations géologiques traversées avant d'atteindre les granites sains. L'étanchéification de la galerie se fera au fur et à mesure de sa mise en œuvre. Il n'est pas envisagé d'étancher la galerie dans les granites sains car ceux-ci sont considérés comme très peu perméables et ne nécessitant donc pas d'étanchéification (partie orange vif de la Figure 19) ; c'est donc cette hypothèse qui est considérée pour l'étude des impacts potentiels.

La géométrie de la galerie exploratoire prise en compte dans le modèle est présentée ci-après.



**Figure 19. Vues 3D de la galerie exploratoire située dans les granites sains et prise en compte dans le modèle – couleur orange vif. Les parties en transparence correspondent à des parties considérées comme étanchées dans le modèle.**

La galerie a une largeur de 5.5 m. La partie la plus basse atteint la cote de 585 m NGF (Cf. Figure 19).

Le maillage a été adapté (dès le modèle initial sans galerie) pour pouvoir prendre en compte la géométrie de la partie basse de la galerie. La géométrie du maillage au niveau de la partie basse de la galerie est présentée à la Figure 20.



**Figure 20. Maillage au niveau de la partie basse de la galerie exploratoire**

Le parti pris de la modélisation a été de considérer, pour décrire les différentes formations géologiques, la seule étude géologique régionale dont l'étendue couvre l'extension de la zone modélisée, c'est-à-dire, l'étude de Belkessa (1981).

## 6.2. Evaluation de l'impact de la galerie exploratoire

Dans le scénario considéré, l'eau souterraine située dans les granites sains peut s'infiltrer librement dans la galerie par le réseau de fissures et fractures potentielles.

Le rabattement induit par la galerie est présenté dans les deux figures suivantes.

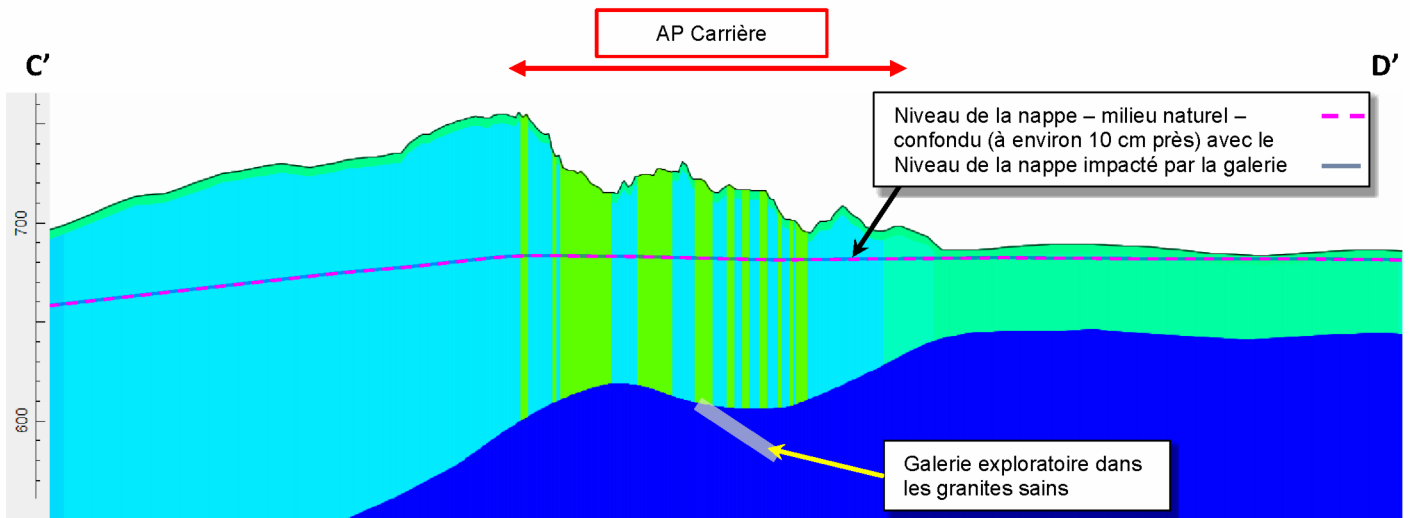


Figure 21. Rabattement de la nappe (m) induit par la galerie (coupe verticale)

Les niveaux de la nappe (milieu naturel et niveau impacté par la galerie de reconnaissance) sont très proches. La figure suivante permet de mieux apprécier ces écarts et leur extension spatiale.

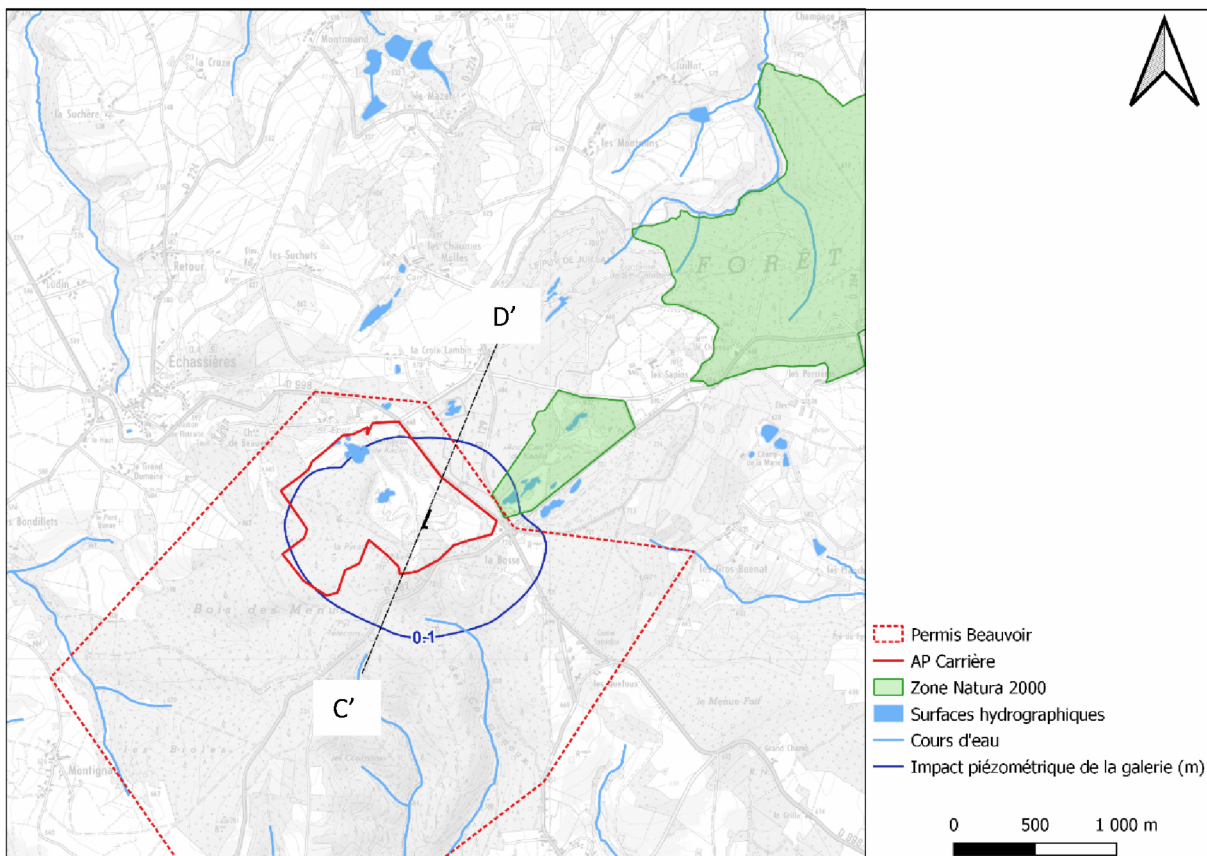
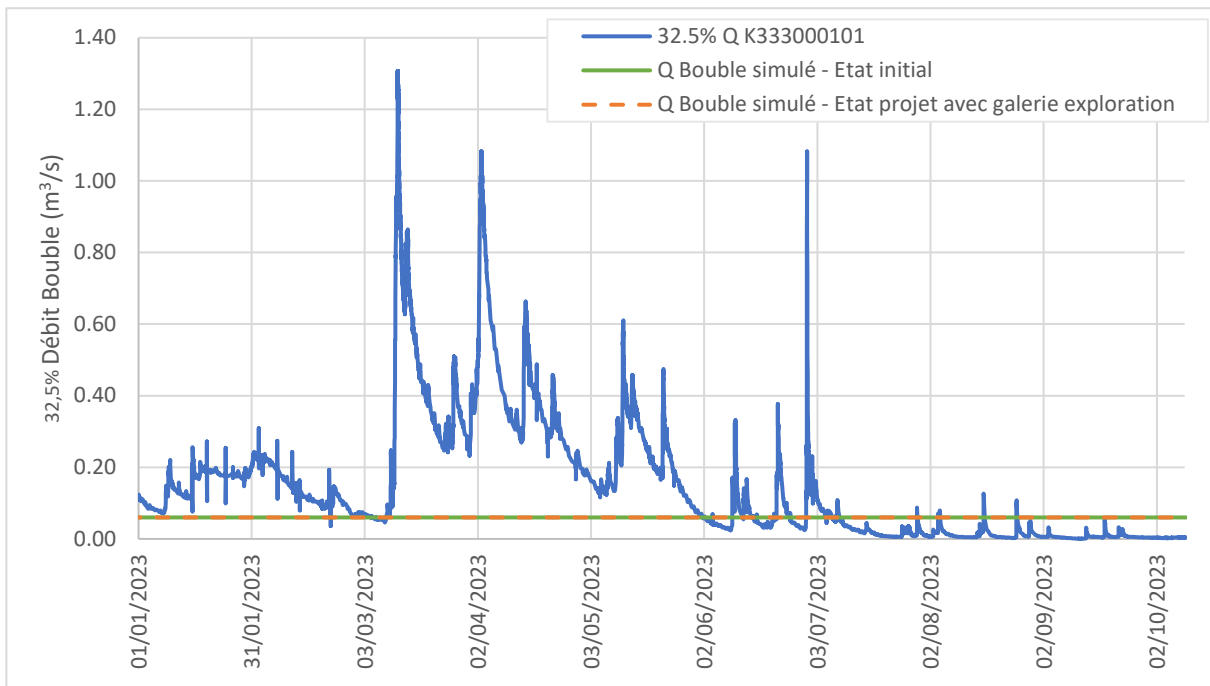


Figure 22. Rabattement de la nappe (m) induit par la galerie exploratoire

Le rabattement est très faible du fait de la perméabilité très faible prise en compte pour le granite sain ( $10^{-9}$  m/s). Il conviendra, dans l'évolution du modèle hydrogéologique de

caractériser la perméabilité du granite sain avec des mesures de terrain (essais hydrauliques, qui auront lieu une fois les piézomètres profonds achevés.

Par ailleurs, l'impact de la galerie sur les débits d'étiage des cours d'eau a été évalué. Il n'y a aucun impact sur les débits d'étiage (du fait d'une modification très locale des niveaux de la nappe dans une zone éloignée des berges du cours d'eau). Le gradient de la nappe à proximité du cours d'eau – moteur des écoulements souterrains de la nappe vers les cours d'eau – est inchangé. L'impact calculé sur les débits d'étiage des cours d'eau est nul (Figure 23).



**Figure 23 : Comparaison entre débit simulé – état initial (en vert) et débit simulé en prenant en compte la galerie (en orange) – la courbe bleue présente les débits observés<sup>15</sup>**

<sup>15</sup> Avec des débits d'étiages du même ordre de grandeur de ce qui est simulé par le modèle (Cf. §5).

## 7. Conclusion

La galerie exploratoire sera étanchée dans toutes les formations géologiques traversées avant d'atteindre les granites sains. Les granites sains sont considérés comme suffisamment peu perméables pour ne pas nécessiter, a priori, une étanchéification de cette partie de la galerie.

Cependant, le creusement de la galerie dans les granites sains pourtant peu perméables, va induire un écoulement résiduel des eaux souterraines vers cette galerie, à partir des espaces de fissuration pouvant exister dans ce granite sain

La modélisation effectuée permet d'évaluer, proportionnellement au projet de galerie, l'impact de ces écoulements sur la modification du niveau de la nappe. Cette modélisation a été réalisée en fonction des données disponibles et dans certains cas, en se basant sur des données issues de la littérature (c'est le cas, par exemple, de la perméabilité des granites sains).

L'impact sur la nappe de la galerie exploratoire correspondrait ainsi à un rabattement de la nappe de l'ordre de 10 cm, dans un rayon d'environ 750 m autour de la galerie.

La dynamique globale d'évaluation des impacts mise en œuvre, au-delà de la présente étude, est d'aboutir à une évaluation des impacts de plus en plus robuste.

Les étapes suivantes consistent alors à :

- Réaliser des piézomètres profonds et évaluer la perméabilité des granites sains (mi-2024) ;
- Développer un modèle plus précis (code FeFlow) en prenant en compte les mesures de perméabilité in situ, mais également les fluctuations saisonnières de la nappe (fin 2024) ;
- Affiner l'évaluation de l'impact de la galerie exploratoire et simuler l'impact du développement de la future mine (2025).

## 8. Annexe 1 : Synthèse des données géologiques, hydrogéologiques et hydrologiques (juillet 2022)



## Observations sur l'utilisation du rapport

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

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

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

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

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

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

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



## Sommaire

1.	Contexte géologique .....	4
1.1.	Contexte régional .....	4
1.2.	Contexte local .....	4
1.3.	Formations géologiques en présence .....	9
1.3.1.	Les formations encaissantes .....	9
1.3.2.	Le complexe granitique d'Echassières .....	11
1.4.	Contexte structural .....	13
1.4.1.	Les apports de la géophysique .....	13
1.4.2.	La fracturation .....	21
1.4.3.	Les sondages de reconnaissances .....	21
2.	Contexte hydrogéologique .....	28
2.1.	Définition des aquifères .....	28
2.1.1.	Généralités .....	28
2.1.2.	Les granites de Colettes et de Beauvoir .....	28
2.1.3.	Les micaschistes .....	29
2.1.4.	Les anciennes exploitations minières .....	30
2.2.	Paramètres hydrodynamiques .....	30
2.3.	Productivité des aquifères .....	33
2.3.1.	Les granites des Colettes et de Beauvoir .....	33
2.3.2.	Les micaschistes .....	40
2.4.	Inventaire des points d'eau et piézométrie .....	41
2.4.1.	Campagne de 1980 .....	41
2.4.2.	Réseau piézométrique de la carrière de Beauvoir .....	44
2.4.3.	Données ADES .....	51
2.5.	Qualité des eaux souterraines .....	52
3.	Contexte hydrologique .....	54
3.1.	Cours d'eau .....	54
3.2.	Débit spécifique des bassins versants .....	56
4.	Bilan hydroclimatique .....	59
4.1.	Données météorologiques .....	59
4.2.	Estimation du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite .....	59
4.2.1.	Rappel méthodologique .....	59

4.2.2. Estimation de la pluie efficace et du bilan hydrique.....	61
4.3. Estimation de la capacité de ruissellement et recharge de l'aquifère.....	62
4.4. Débit potentiel des bassins versants .....	63
<b>5. Résultats des investigations de terrain (Juillet 2022) .....</b>	<b>64</b>
5.1. Les eaux souterraines .....	64
5.1.1. Piézométrie .....	64
5.2. Les eaux superficielles .....	66
5.2.1. Jaugeages.....	66
<b>6. Bibliographie .....</b>	<b>68</b>

## Table des figures

Figure 1 : Cadre géologique général (Cuney et Autran, 1987) .....	5
Figure 2 : Carte géologique du complexe d'Echassières (Cuney et Autran, 1987) .....	6
Figure 3 : Coupes interprétatives du complexe granitique d'Echassières (haut) et du granite de Beauvoir (bas) (Cuney et Autran, 1987) .....	8
Figure 4 : Carte géologique n°645 "Gannat" au 1/50 000 <sup>ème</sup> (BRGM) .....	10
Figure 5 : Carte d'interprétation des corps magnétiques sur le granite d'Echassières d'après la carte magnétique volée à 1200 m et la carte du gradient vertical (Vignerresse, 1987).....	13
Figure 6 : Carte gravimétrique de l'anomalie de Bouguer (Vignerresse, 1987).....	14
Figure 7 : Profondeur du plancher du granite (en km) après inversion des données gravimétriques et coupe selon un axe SO/NE (Vignerresse, 1985).....	15
Figure 8 : Carte résiduelle de l'anomalie de Bouguer sur la région du massif de Beauvoir (Vignerresse, 1987) .....	16
Figure 9 : Carte géologique simplifiée et isohypses du toit du granite (Belkessa, 1981) .....	17
Figure 10 : Coupes géologiques A et B du massif d'Echassières d'après Belkessa (1981).....	18
Figure 11 : Coupes géologiques 1 et 2 du massif d'Echassières d'après Belkessa (1981) .....	19
Figure 12 : Carte du toit du granite déterminé par trainés électriques d'après Lallier 1977, Favin et Million 1983 et Ezanno et Poinclou 1984 .....	20
Figure 13 : Implantation des sondages exploités et coupes géologiques .....	21
Figure 14 : Coupe géologique N°1 .....	22
Figure 15 : Coupe géologique N°2 .....	23
Figure 16 : Coupe géologique N°3 .....	24
Figure 17 : Carte des isohypses de la base des formations altérées au droit de la carrière IMERYS ....	26
Figure 18 : Schéma structural de la zone d'étude .....	27
Figure 19 : Extrait du plan des concessions minières (GEODERIS) .....	31
Figure 20 : Densité et porosité des carottes du forage GPF (Vignerresse & Cannat, 1987) .....	32
Figure 21 : Localisation des anciennes exploitations minières.....	37
Figure 22 : Débits de rejets moyens et instantanés de la carrière de Beauvoir en fonction de la pluviométrie à Echassières.....	39
Figure 23 : Volumes annuels rejetés à la carrière de Beauvoir en fonction de la pluviométrie à Echassières .....	40
Figure 24 : Débit des sources mesurées entre mars et juin 1980 (Belkessa, 1980) .....	42
Figure 25 : Esquisse piézométrique à partir des relevés de 1980 .....	43
Figure 26 : Chroniques piézométriques entre le 29/08/16 et le 25/09/17 .....	49

Figure 27 : Carte piézométrique d'avril 2017 (MICA Environnement) .....	50
Figure 28 : Chronique piézométrique du puits Chez Parret (Servant) – Source ADES.....	51
Figure 29 : Carte de répartition des concentrations en lithium (RENAUD, 2014) .....	52
Figure 30 : Diagramme de Piper (RENAUD, 2014).....	53
Figure 31 : Débit moyen mensuel de la Sioule à Ebreuil sur la période 1972-2022 .....	55
Figure 32 : Débit moyen mensuel de la Bouble à Chareil-Cintrat sur la période 1967-2022 .....	56
Figure 33 : Localisation des bassins versants et des stations de jaugeage de l'étude du BRGM.....	58
Figure 34 : Evolution de la pluviométrie, de l'ETR et des écoulements.....	61
Figure 35 : Mesures piézométriques du 09/05/2022 .....	64
Figure 36 : Suivi du piézomètre Pz4 du 09/05 au 09/06/22 .....	65
Figure 37 : Localisation des jaugeages réalisés en mai 2022.....	67

## Table des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des indices hydrogéologiques des anciennes mines dans les granites (Belkessa, 1981) .....	36
Tableau 2 : Données piézométriques disponibles sur le réseau de surveillance IMERYS .....	45
Tableau 3 : Débits des bassins versants de l'étude du BGRM de 1981 .....	57
Tableau 4 : Bilan hydrique moyen de 2012-2021.....	61
Tableau 5 : Estimation de la recharge mensuelle des nappes pour une année moyenne sur la période 2012-2021 .....	62
Tableau 6 : Estimation de la recharge potentielle des nappes par sous-bassin versant pour une année hydrologique moyenne sur la période 2012-2021 .....	63
Tableau 7 : Résultats de la campagne de jaugeages des 10 et 11 mai 2022 .....	66

# 1. Contexte géologique

## 1.1. Contexte régional

Le complexe granitique d'Echassières affleure au centre d'une fenêtre ouverte dans les nappes de la série gneissique et migmatitique de la Sioule dont le gradient de métamorphisme est inverse (Grolier, 1971). Le complexe est intrusif dans les micaschistes qui représentent les termes les moins métamorphiques de la région.

La série cristallophyllienne de la vallée de la Sioule est limitée (Cf. Figure 1) :

- À l'ouest par le sillon Houiller marqué par un grand accident majeur orienté NE/SO ;
- À l'est par le fossé d'effondrement de la Limagne Bourbonnaise ;
- Au nord et au Sud par des massifs granitiques.

La série métamorphique inverse de la Sioule est composée essentiellement de gneiss et de micaschistes dans une disposition anormale, les micaschistes reposant sous les gneiss. Elle constitue l'encaissant du complexe granitique d'Echassières.

Le complexe granitique d'Echassières se serait mis en place au Carbonifère supérieur (Gagny et al, 1984 et Feybesse 1985) en même temps qu'une phase de forte compression subméridienne responsable de l'antiforme de la Bosse (Grolier, 1971). Situé au cœur d'une terminaison périantclinale, le complexe granitique d'Echassières a profité d'une fracturation antérieure N20°E et N160°. L'intrusion de la masse granitique n'aurait pu se réaliser que sous l'effet d'un cisaillement régional senestre à N60°E qui aurait ouvert une structure en « pull-apart » avec la direction N20°E (Gagny et Jacquot, 1987). Le complexe granitique d'Echassières ne correspondrait donc pas à un modèle de mise en place de type diapir mais il serait associé à une tectonique régionale.

## 1.2. Contexte local

Le complexe granitique d'Echassières affleure sur environ 6 km<sup>2</sup> et d'après les données géophysiques, il s'étendrait sur environ 25<sup>1</sup> km<sup>2</sup> sous une faible épaisseur de micaschistes (0 à 300 m) (Cuney et Autran, 1987).

Le massif granitique serait dissymétrique puisqu'il s'étend en direction du nord et de l'est, alors qu'il plonge rapidement sous les micaschistes au sud et à l'ouest (Cf. Figure 2), ce qui est marqué par les failles N20° au contact granite micaschistes au nord, absentes dans la partie sud (Cuney et Autran, 1987). L'épaisseur du complexe granitique serait d'environ 3 à 4 km, avec des racines se prolongeant jusqu'à 6 km de profondeur. L'épaisseur du granite serait plus faible au nord (Cuney et Autran, 1987).

---

<sup>1</sup> L'article de Cuney et Autran de 1987 indique que l'extension du complexe d'Echassières déduite de la prospection gravimétrique serait de l'ordre de 40 km<sup>2</sup>. Après vérification, nous sommes plutôt sur une extension de l'ordre de 25 km<sup>2</sup>.

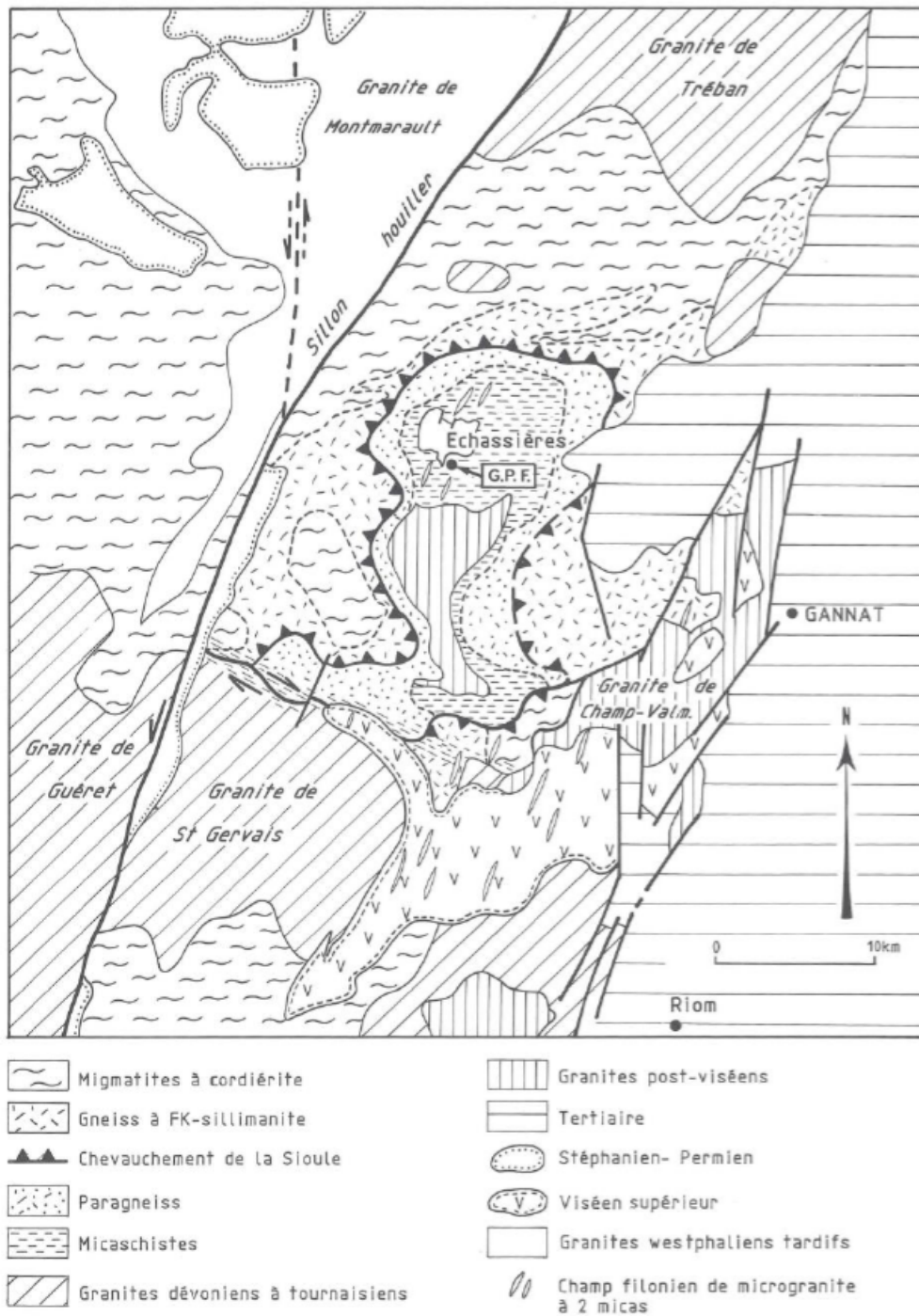


Figure 1 : Cadre géologique général (Cuney et Autran, 1987)

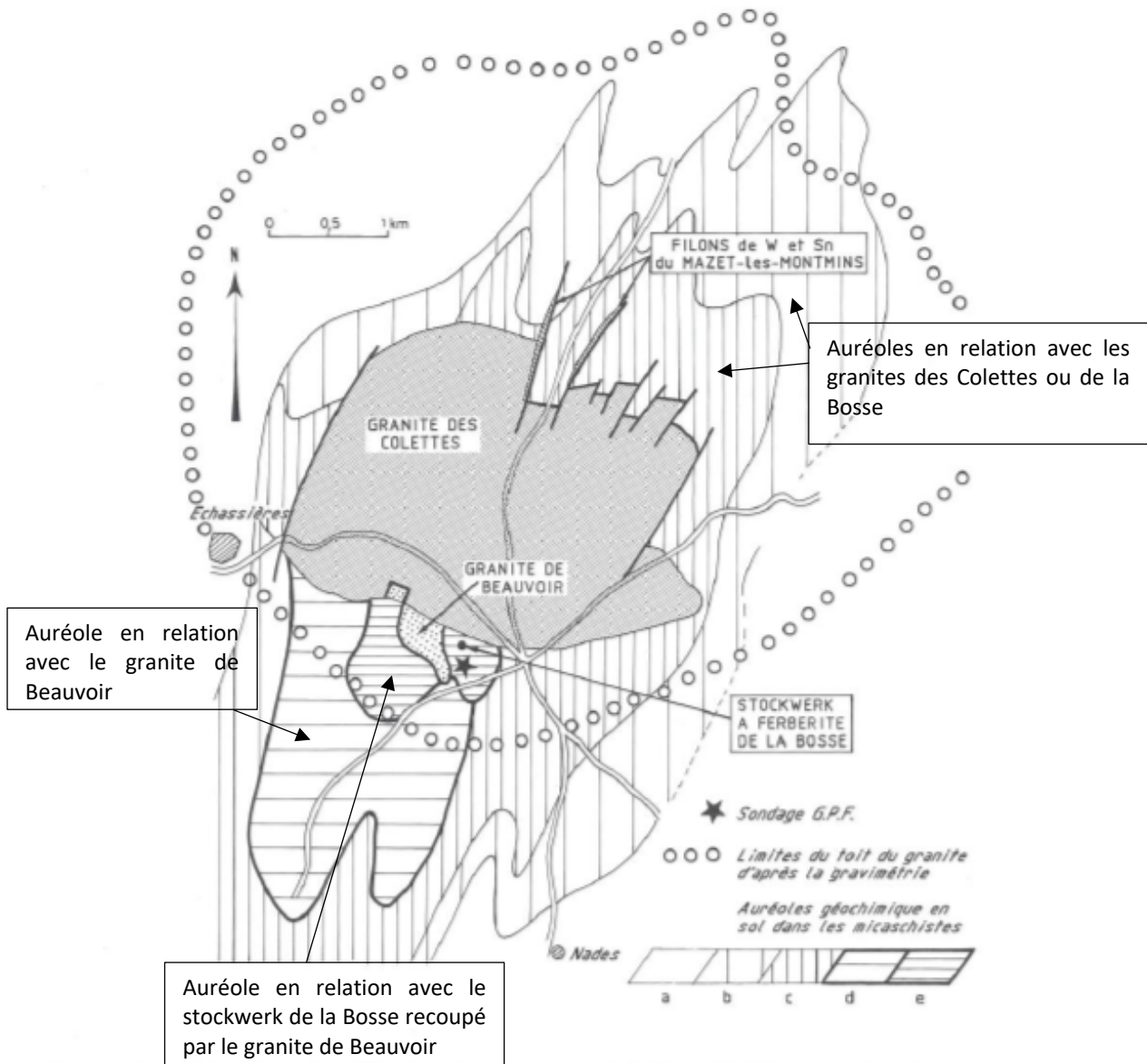


Figure 2 : Carte géologique du complexe d'Echassières (Cuney et Autran, 1987)



Le complexe granitique d'Echassières serait composé de trois unités magmatiques (Cf. Figure 3) :

- Le granite de La Bosse qui se serait mis en place en premier. Il serait présent en profondeur. L'existence de ce dernier n'a pas été prouvée mais il est nécessaire pour expliquer la présence de stockwerk à ferberite de la Bosse, bréchifié par le granite des Colettes et les auréoles géochimiques ;
- Le granite des Colettes. Les faibles pendages aux contacts granites-micaschistes suggèrent que la zone d'affleurement correspond au sommet du granite. La morphologie des contacts du granite avec les micaschistes est en « marches d'escaliers » avec la présence de blocs basculés au sein du magma ;
- Le granite de Beauvoir se serait mis en place en dernier, localisé à la bordure Centre-Sud du granite des Colettes. Il représenterait une surface d'intrusion très faible (14 ha) et il serait morcelé en plusieurs unités. Il existerait également des blocs de micaschistes effondrés au sein de ce dernier. Les anomalies géochimiques suggèrent une extension du granite de Beauvoir vers le nord en profondeur sous le granite des Colettes (non mis en évidence par la géophysique), alors que son extension vers le sud-est est mise en évidence par la gravimétrie.

La mise en place de ces granites a affecté l'encaissant par des fractures et des filons dans lesquelles des fluides hydrothermaux ont circulé et sont à l'origine de nombreux métaux rares que l'on retrouve notamment dans le granite de Beauvoir et le stockwerk. De nombreux filons de quartz orientés NNE/SSO sont des témoignages de circulations thermales en surface. De plus, la mise en place peu profonde des granites a favorisé le développement des minéraux conférant au secteur, une minéralogie très riche.

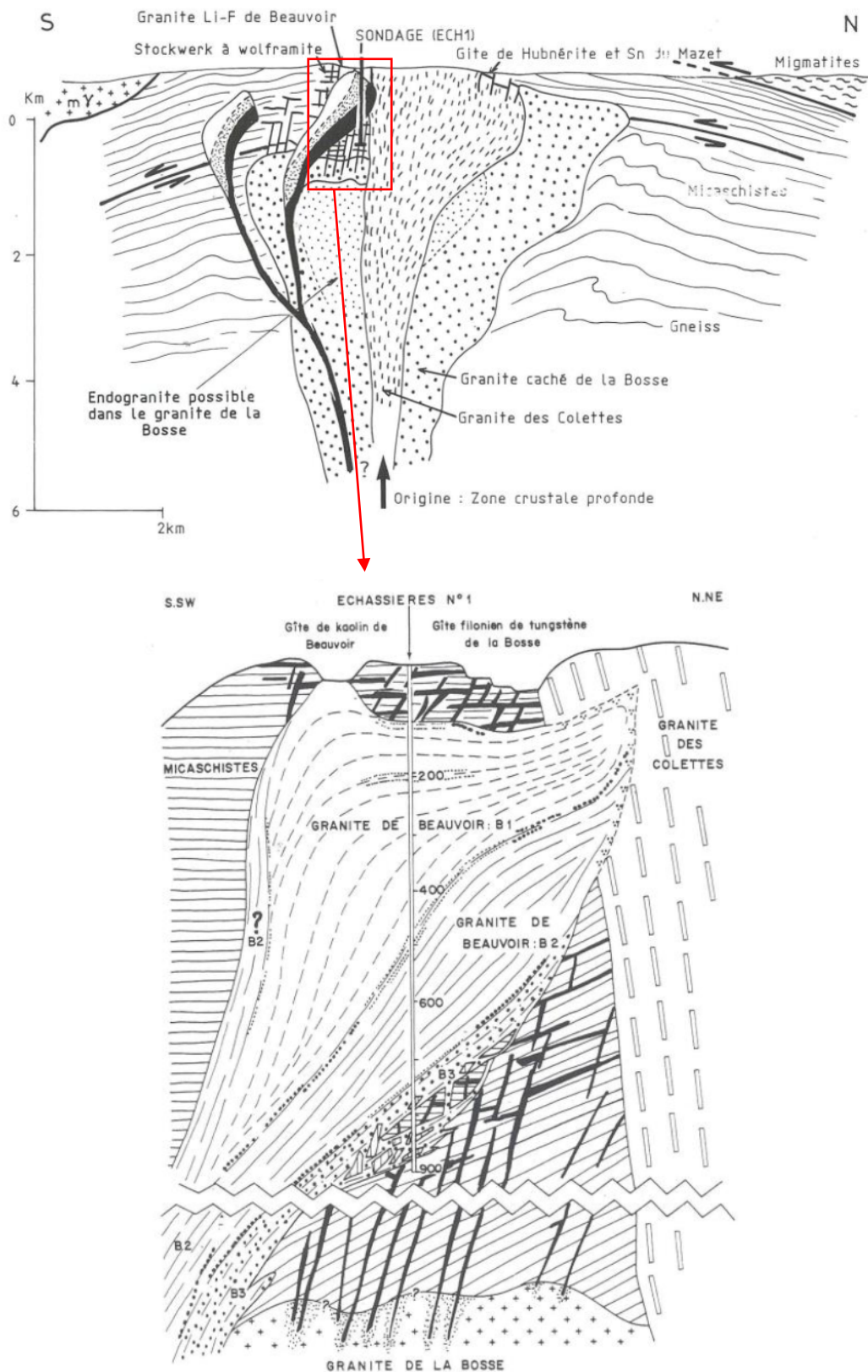


Figure 3 : Coupes interprétatives du complexe granitique d'Echassières (haut) et du granite de Beauvoir (bas) (Cuney et Autran, 1987)

## 1.3. Formations géologiques en présence

### 1.3.1. Les formations encaissantes

#### 1.3.1.1. Les micaschistes

La zone de micaschistes dessine une forme grossièrement circulaire et elle circonscrit le massif d'Echassières (Cf. Figure 4). A l'ouest, les micaschistes disparaissent rapidement sous les gneiss.

Initialement ce sont des roches d'origine péritique qui ont été transformées par un métamorphisme régional en un ensemble de micaschistes et gneiss. Deux types de micaschistes sont présents dans la zone d'étude, à savoir :

- Les micaschistes à deux micas : ils sont composés de quartz, de muscovite et de biotite. Des grenats et des chlorites sont observables à taille microscopique. Cette formation d'aspect argenté englobe entièrement le massif d'Echassières ;
- Les micaschistes à staurotides : la muscovite et les chlorites sont présentes en abondance. L'alignement des staurotides et des feuilletés micacés induisent des linéations dans la roche. Cette formation est retrouvée au sud et à l'est du massif d'Echassières.

Lors de l'intrusion du granite des Colettes et du granite de Beauvoir, les micaschistes ont subi un métamorphisme de contact (Cf. Figure 2). L'auréole de métamorphisme créée par le granite de Colettes est caractérisée par la présence d'andalousite et, secondairement par de la biotite et de la cordiérite. Les micaschistes sont plus sombres et plus compacts. L'auréole est irrégulière, allant à plusieurs centaines de mètres au sud du massif (carrière de la Bosse), à seulement quelques mètres au nord.

Ce sont des roches très feuilletées qui sont généralement fortement altérées en surface où elles se transforment en une argile micacée de couleur rouille. L'altération des micaschistes est généralement établie sur une faible profondeur comparée à celle des granites. Elle est plus développée dans les zones filoniennes et/ou dans l'ouverture des plans de schistosité qui est liée à la fracturation de la roche.

#### 1.3.1.2. Les gneiss

Ceinturant les micaschistes, les gneiss ont une extension relativement plus importante à l'ouest qu'à l'est (Cf. Figure 4). La bande des gneiss, large de moins d'un kilomètre à l'est, s'étale plus largement à l'ouest où elle approche de très près la coupole granitique. Ce sont généralement des roches assez finement litées et riches en quartz.

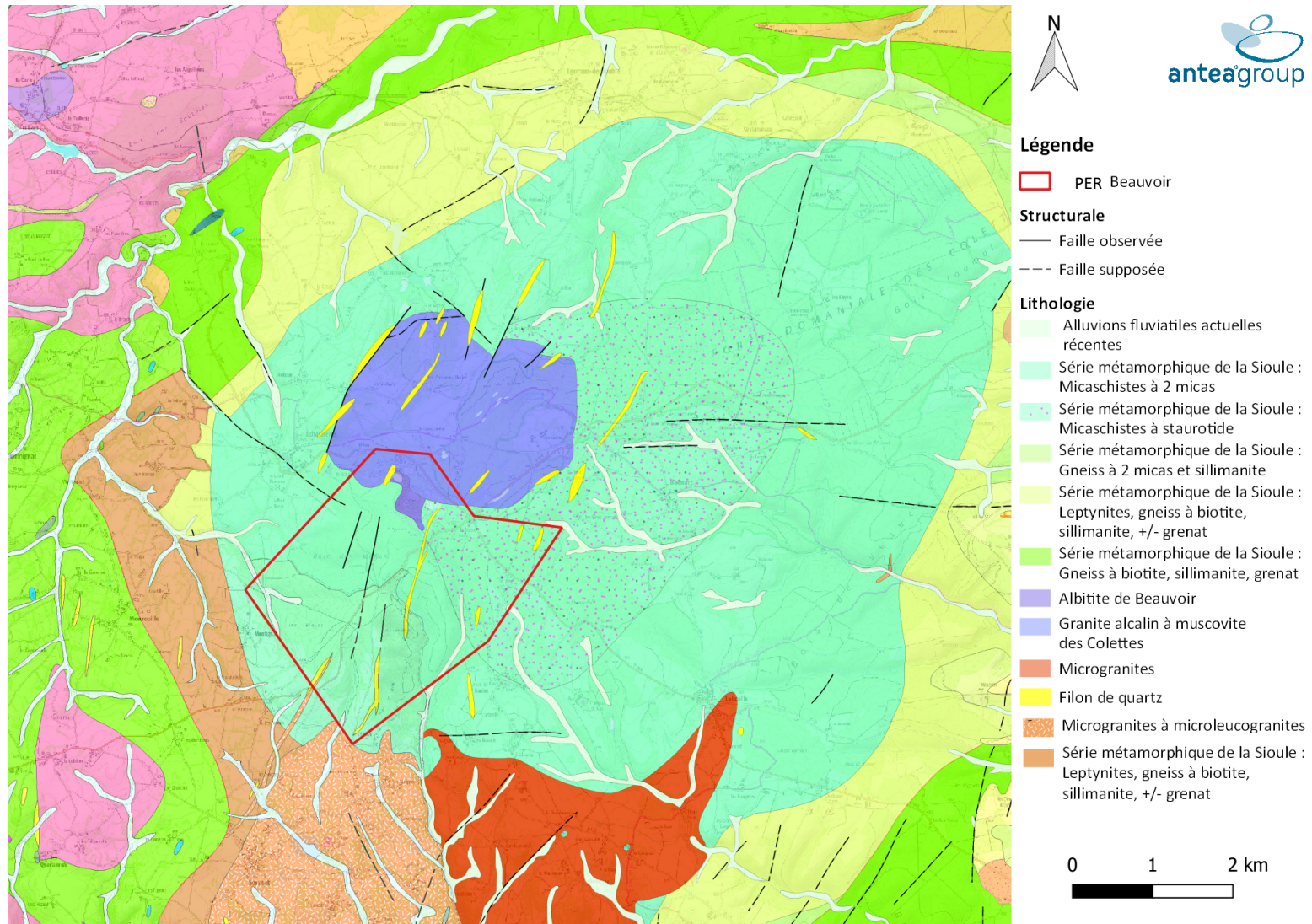


Figure 4 : Carte géologique n°645 "Gannat" au 1/50 000<sup>ème</sup> (BRGM)

### 1.3.2. Le complexe granitique d'Echassières

#### 1.3.2.1. Le granite de la Bosse

Le granite de la Bosse n'est pas affleurant mais, comme vu précédemment, il est nécessaire pour expliquer la présence du stockwerk à ferbélite (Cuney et Autran, 1987) que l'on retrouve au sud du granite des Colettes (Cf. Figure 2). Le stockwerk est constitué d'un réseau filonien composé de quartz et de wolframite pauvre en niobium. Lors de l'intrusion du granite de Beauvoir, des fluides riches en éléments (Na, K, Li, F, Cl, Nb) ont dissous le quartz du stockwerk pour le remplacer avec de la topaze et des micas blancs enrichis en niobium et wolframite.

#### 1.3.2.2. Le granite des Colettes

Le granite des Colettes occupe la quasi-totalité de la surface du massif (environ 5,8 km<sup>2</sup>), il affleure au milieu des micaschistes (Cf. Figure 4). Le métamorphisme de contact avec les micaschistes (l'encaissant) est caractérisé par une auréole d'andalousite, de la biotite et de la cordiérite. Des failles et des fractures moins importantes associées ou non avec des filons de quartz sont présentes au niveau du contact granite-micaschistes.

Le granite des Colettes aurait une profondeur de mise en place de l'ordre de 3,7 à 4,5 km (Cuney et Autran, 1987).

Le granite des Colettes correspond à un granite porphyroïde à deux micas que l'on retrouve suivant trois faciès :

- Le faciès Nigon qui est un granite rose lié à la colorisation des feldspaths ;
- Le faciès Mazet qui est un granite gris qui se distingue par la non-coloration des feldspaths et une plus grande proportion de micas noirs ;
- Le faciès Croix-Lambin qui est de couleur variable, gris ou beige rosé. Il a une texture plus fine que les deux premiers. D'après Aubert, ce faciès « a tendance à s'aligner en zones allongées selon des axes transversaux dont la direction N30 à 40E ne s'écarte guère de la direction structurale du massif ».

Le granite des Colettes montre deux types de faciès altérés :

- Une altération typique des granites (arénisation), d'origine météoritique avec la présence de boules d'altération limitées aux zones superficielles ;
- Les zones kaolinisées qui affectent les trois faciès du granite des Colettes. Les zones kaolinisées dans le granite des Colettes couvrent des superficies allant d'un à plusieurs hectares. Elles sont généralement allongées et alignées selon une direction N20 à N40E qui s'accorde avec celle de la fracturation générale du massif (Aubert, 1966). La présence de filons de quartz associés à ces zones kaolinisées n'est pas systématique. Au sein du faciès kaolinisé, il peut subsister des boules de granites qui peuvent atteindre de grandes dimensions (carrière du Maroc et des Colettes), rappelant le phénomène de l'altération en boule par les phénomènes superficiels (précipitations).

Les anciennes carrières de kaolin sont généralement occupées par des étangs.

### 1.3.2.3. Le granite de Beauvoir

Le granite de Beauvoir est situé au sud du granite des Colettes (Cf. Figure 4) avec lequel il présente en surface un contact tangentiel alors que dans toutes les autres directions, il est en contact avec les micaschistes. Ces limites coïncident avec la carrière de Beauvoir dont une partie saillante s'étend au sud-est jusqu'au centre de l'ancienne carrière du Suquet. L'affleurement s'étendrait de 300 à 350 m dans toutes les directions.

Le granite de Beauvoir serait plus superficiel avec une profondeur de mise en place de l'ordre de 3 km (Cuney et Autran, 1987).

Le granite de Beauvoir correspond à un granite à albite-lépidolite composé principalement de quartz, albite, feldspath potassique, lépidolite et topaze. La roche finement grenue est hololeucocrate blanche ou blanche rosé. Le granite de Beauvoir possède des teneurs élevées en Sn, F, Li, Ta, Nb. Les auteurs différencient plusieurs sous-unités (B1, B2, B3) en fonction de la minéralogie, de la géochimie, de la géologie structurale et de la pétrophysique. Toutefois les limites ne sont pas similaires suivant la méthode retenue (Cf. Figure 3).

Le granite de Beauvoir renferme également des greisens, dont l'importance paraît grande en affleurement en raison de l'altération et du lessivage du faciès kaolinisé alors qu'en réalité d'après les coupes des sondages, ce faciès représenterait 5 à 10% de la partie reconnue du massif (Aubert, 1966). Aubert a défini 3 catégories de greisens :

- Les greisens de bordure : composés principalement de quartz, lépidolite et topaze. La puissance de la formation de ces greisens est hétérogène ;
- Les greisens associés aux filons de quartz ou à la fissuration de la roche : ils sont développés au niveau des épontes des filons. Ces greisens quartzo-micacés peuvent être présents sur plusieurs mètres de puissances ;
- Les greisens sans localisation contrôlée apparente : ils sont plus rares et correspondent à des greisens gris, quartzeux ou micacés de taille centimétriques à décimétriques.

Les greisens associés aux filons de quartz et plus généralement à la fracturation du massif peuvent jouer un rôle dans le drainage des eaux souterraines.

Comme le granite des Colettes, le granite de Beauvoir est largement affecté par le phénomène de kaolinisation lorsqu'il n'est pas greisé. Le granite de Beauvoir kaolinisé se caractérise par sa blancheur et la finesse de son grain. D'après Aubert (1966) :

- Le phénomène de kaolinisation des deux granites (Colettes et Beauvoir) se serait accompli essentiellement à partir des affleurements (per descensum). L'altération aurait été favorisée le long des zones de fracturation aux niveaux desquelles, il est possible que la rencontre des eaux superficielles et d'eaux thermales ascendantes ait pu jouer un rôle. Le granite ne serait pas kaolinisé lorsqu'il est recouvert de quelques dizaines de mètres de micaschistes ;
- Son extension en profondeur serait de l'ordre de 30 à 50 m à partir de la surface, sauf à proximité de quelques filons de quartz et de brèche quartzreuse, le long desquels la kaolinisation a pu se poursuivre plus profondément avant de disparaître complètement ;
- L'hypothèse d'une origine pneumatolytique (en lien avec des circulations de vapeurs lors de la phase de cristallisation du magma) de la kaolinisation semble devoir être rejetée, car aucun lien n'a été mis en évidence avec les éléments ou les minéraux dits pneumatolytiques (bore, fluor, chlore).

Il est donc vraisemblable que l'épaisseur du faciès altéré en kaolin soit plus importante au droit des filons et fractures orientés N20 à N40°E qui ont drainé préférentiellement les circulations hydrothermales profondes.

## 1.4. Contexte structural

L'objectif de ce paragraphe est de cerner la géométrie du massif d'Echassières afin de définir un schéma conceptuel nécessaire à la construction du modèle hydrogéologique.

Dans cet objectif, nous présentons ci-après les enseignements des prospections géophysiques, ainsi que les résultats des sondages mécaniques.

### 1.4.1. Les apports de la géophysique

Il est fait mention de plusieurs prospections géophysiques dans les articles Vignerresse (1987), Cuney et Auran (1987), et dans le rapport de Belkessa (BRGM, 1981). Le secteur a également fait l'objet d'une prospection électromagnétique aéroportée en juillet 2022. Les résultats de cette investigation seront transmis dès qu'ils seront disponibles.

#### 1.4.1.1. Prospection magnétique

Le Massif central a fait l'objet d'une prospection aéroportée à 1200 m. L'interprétation qui en est faite par Vignerresse et al (1984), au droit du massif granitique, est un découpage en 3 panneaux suivant des failles orientées N20.

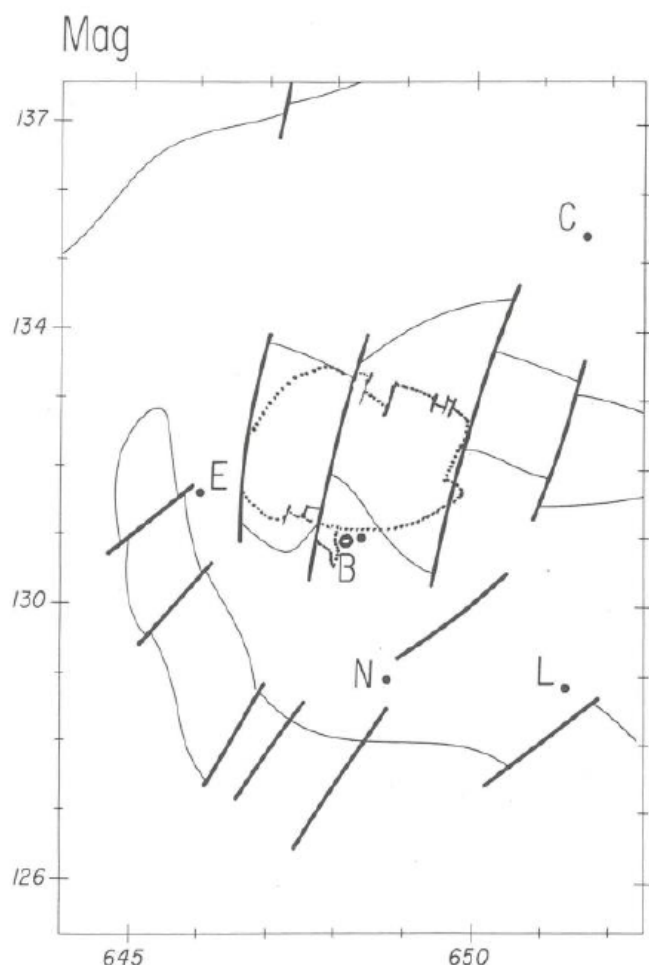
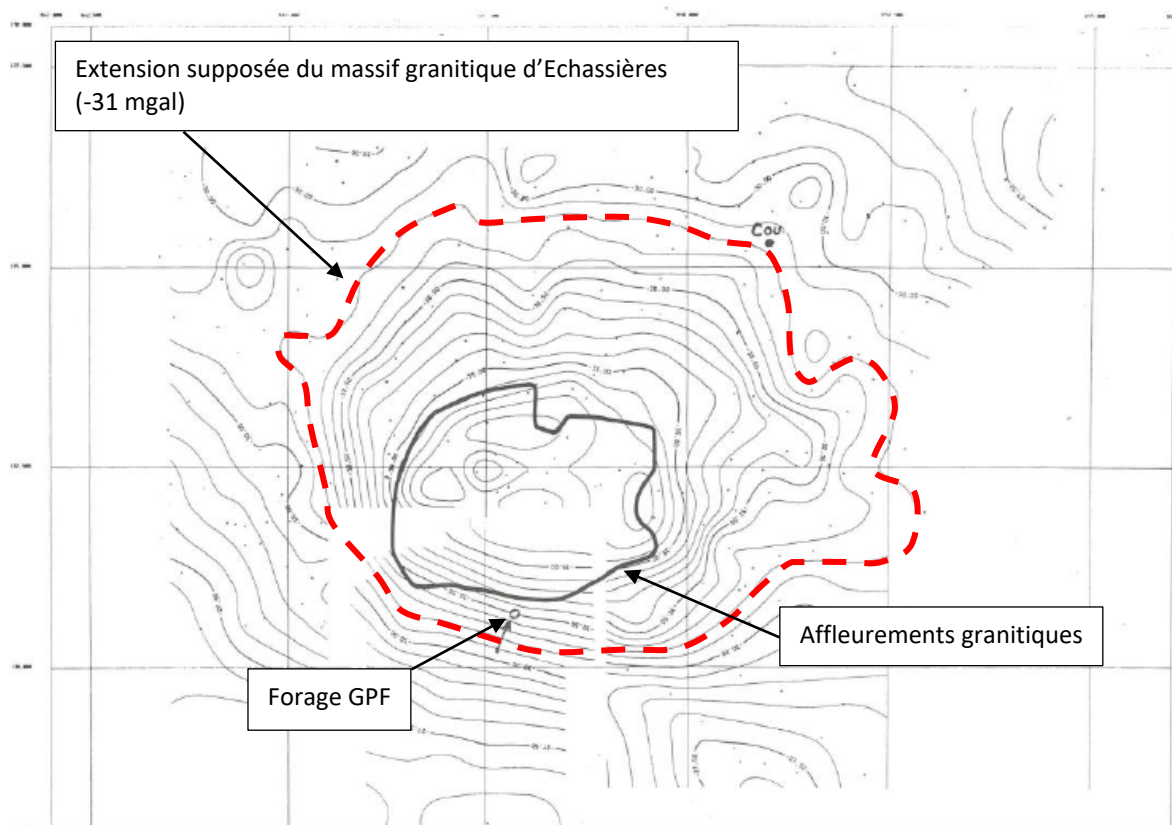


Figure 5 : Carte d'interprétation des corps magnétiques sur le granite d'Echassières d'après la carte magnétique volée à 1200 m et la carte du gradient vertical (Vignerresse, 1987)

### 1.4.1.2. Prospection gravimétrique

Plusieurs campagnes gravimétriques (3) ont également été réalisées sur le secteur. La carte de l'anomalie résiduelle de Bouguer montre que le massif d'Echassières est circonscrit par l'anomalie résiduelle -31 mgal.



**Figure 6 : Carte gravimétrique de l'anomalie de Bouguer (Vignerresse, 1987)**

Nous constatons que :

- Le massif s'étend de façon quasi circulaire avec un rayon d'environ 6 à 7 km (environ 40 km<sup>2</sup>) ;
- Le fort gradient au sud marque un pendage raide du massif accentué par le contraste de densité entre le granite, son encaissant et le microgranite de Pouzol Servant plus au sud ;
- L'extension de la partie nord, à gradient faible, indique que le massif plonge doucement sous la couverture des micaschistes ;
- Les anomalies débordent le contact à l'affleurement également dans la partie est, indiquant une légère asymétrie de forme en profondeur du corps.

Les résultats ont été modélisés de façon à reproduire par inversion mathématique la forme du massif d'Echassières. La forme obtenue ressemble « à une poire inversée », s'enracinant à environ 5 km de profondeur (Cf. Figure 7). La forme de la structure ressemble à celle de la Figure 3.



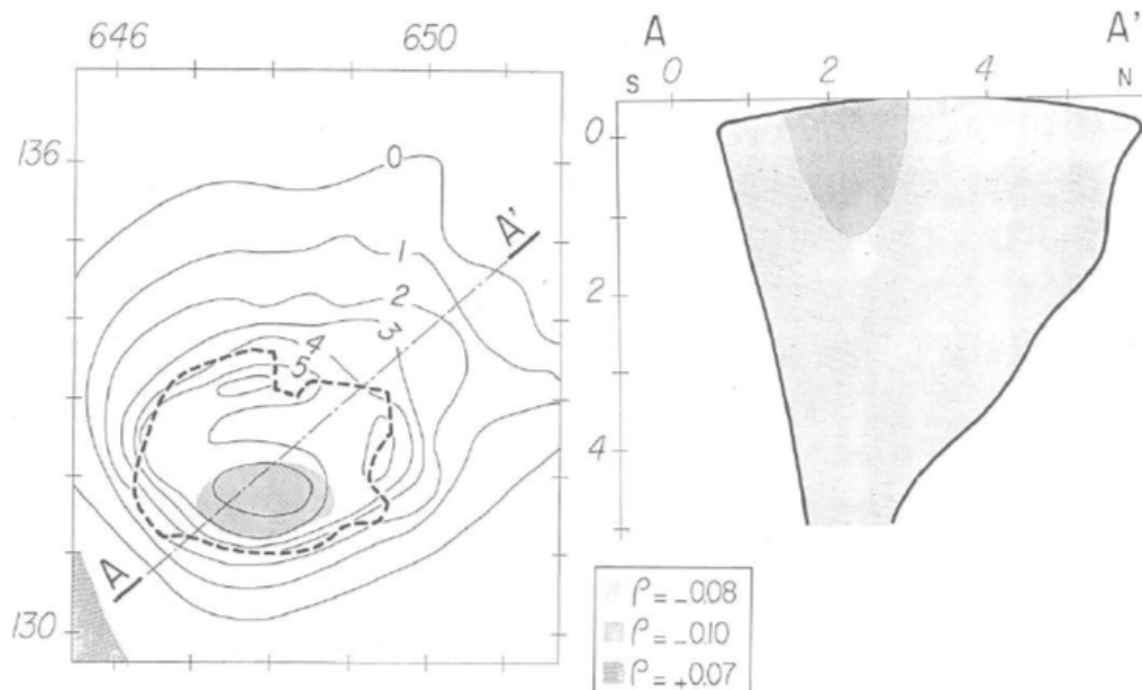


Figure 7 : Profondeur du plancher du granite (en km) après inversion des données gravimétriques et coupe selon un axe SO/NE (Vignerresse, 1985)

La plus forte densité des mesures dans la partie sud a permis d'estimer l'enracinement en profondeur du granite de Beauvoir, qui correspondrait à une forte anomalie résiduelle d'orientation générale N110, et d'environ 200 m de largeur (Cf. Figure 8). Toutefois, l'auteur invite à la prudence quant à l'interprétation des résultats et l'orientation des anomalies qui dépendent fortement de quelques points de mesures.

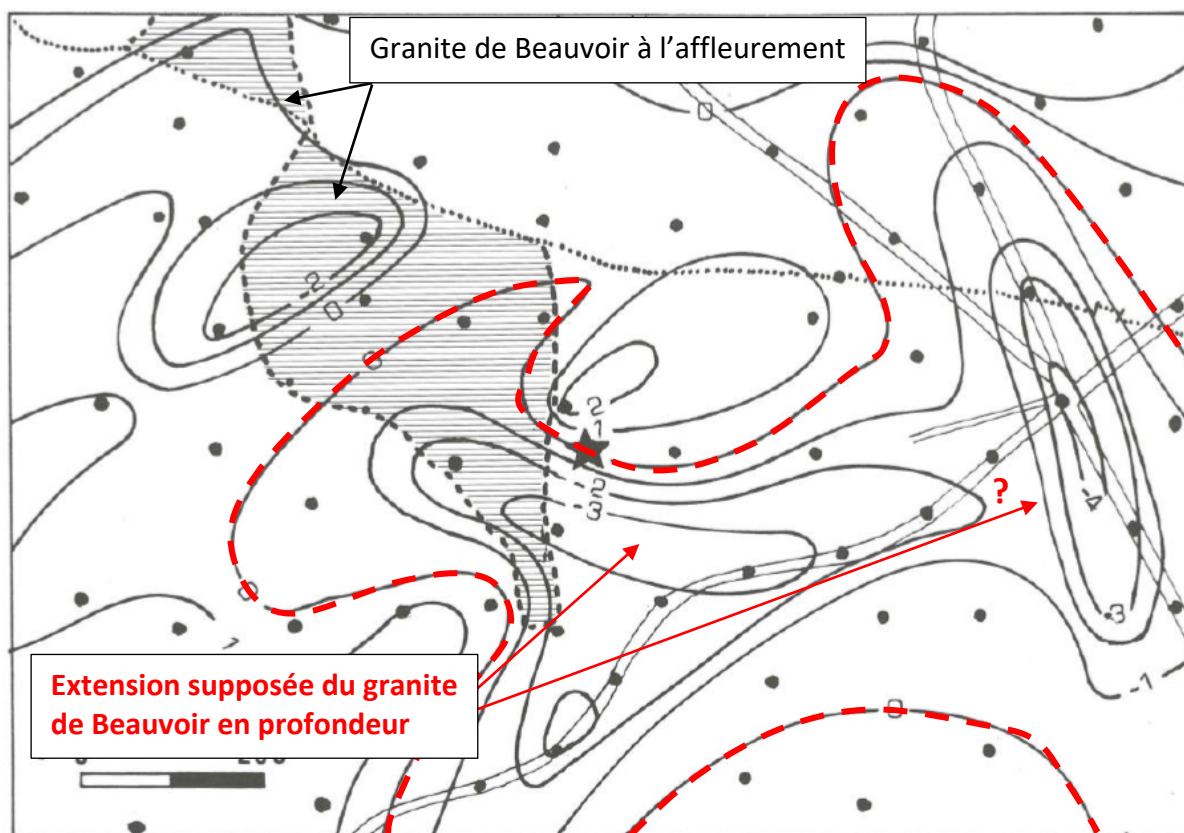


Figure 8 : Carte résiduelle de l'anomalie de Bouguer sur la région du massif de Beauvoir (Vignerresse, 1987)

### 1.4.1.3. Prospection électrique

#### 1.4.1.3.1. Données de 1981

Belkessa (BRGM, 1981) a réalisé plusieurs coupes géologiques d'après les données de prospections géophysiques (Cf. Figure 9, Figure 10 et Figure 11). A l'époque, le forage de reconnaissance du programme "Géologie profonde de la France" (GPF) n'avait pas été réalisé.

Les coupes montrent :

- Le contact abrupt par faille avec l'encaissant côté ouest (failles du Château de Beauvoir N5 à N10E et faille des Suchots N50E) sur la coupe B ;
- La structure en gradins successifs du granite (coupes A et B) ;
- Le faible plongement du massif sous les micaschistes en direction du nord-est ;
- Qu'il existerait un prolongement du granite au sud sous une couverture de micaschistes de 100 à 300 m d'épaisseurs (coupes 1 et 2).

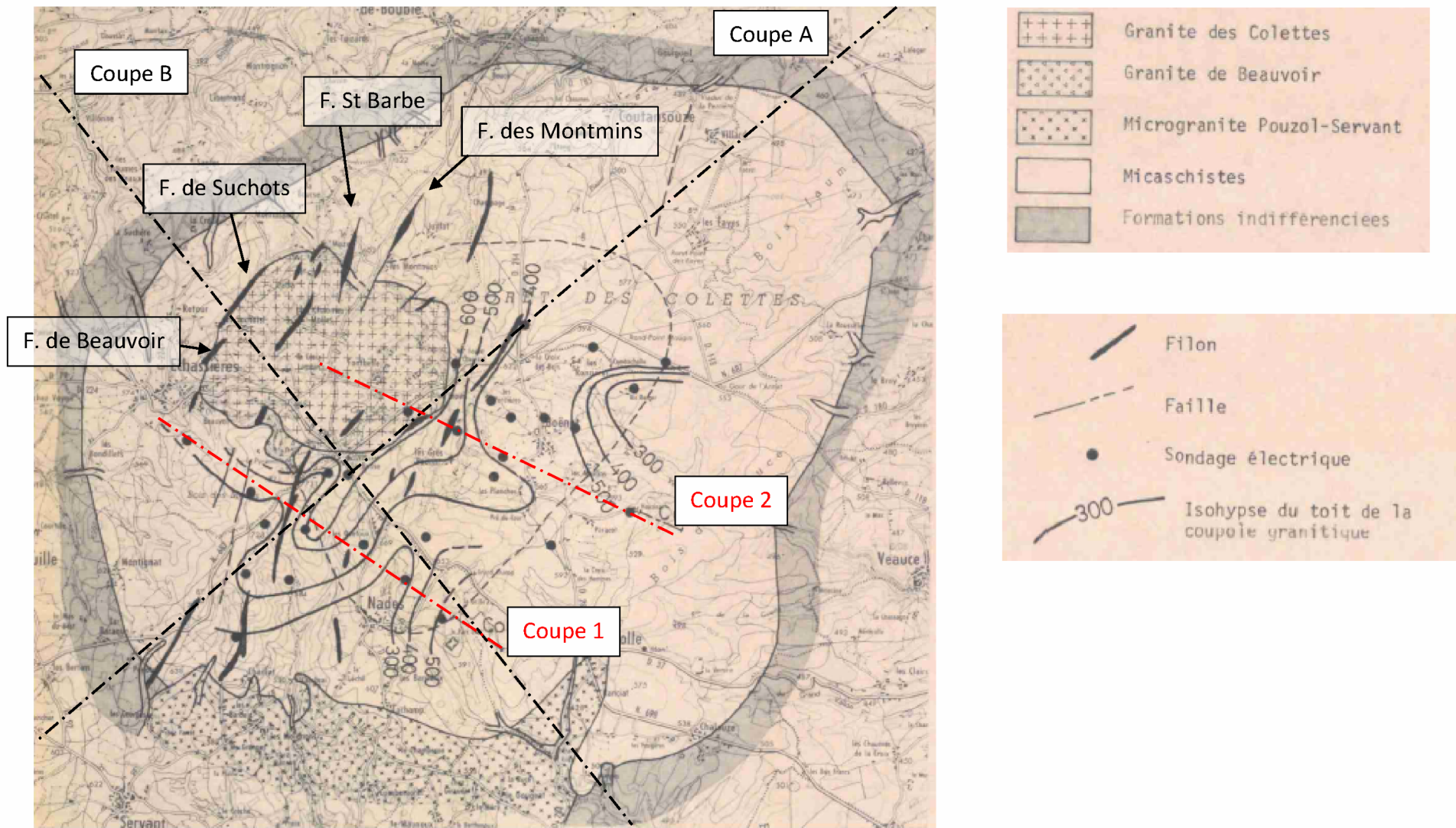


Figure 9 : Carte géologique simplifiée et isohypses du toit du granite (Belkessa, 1981)

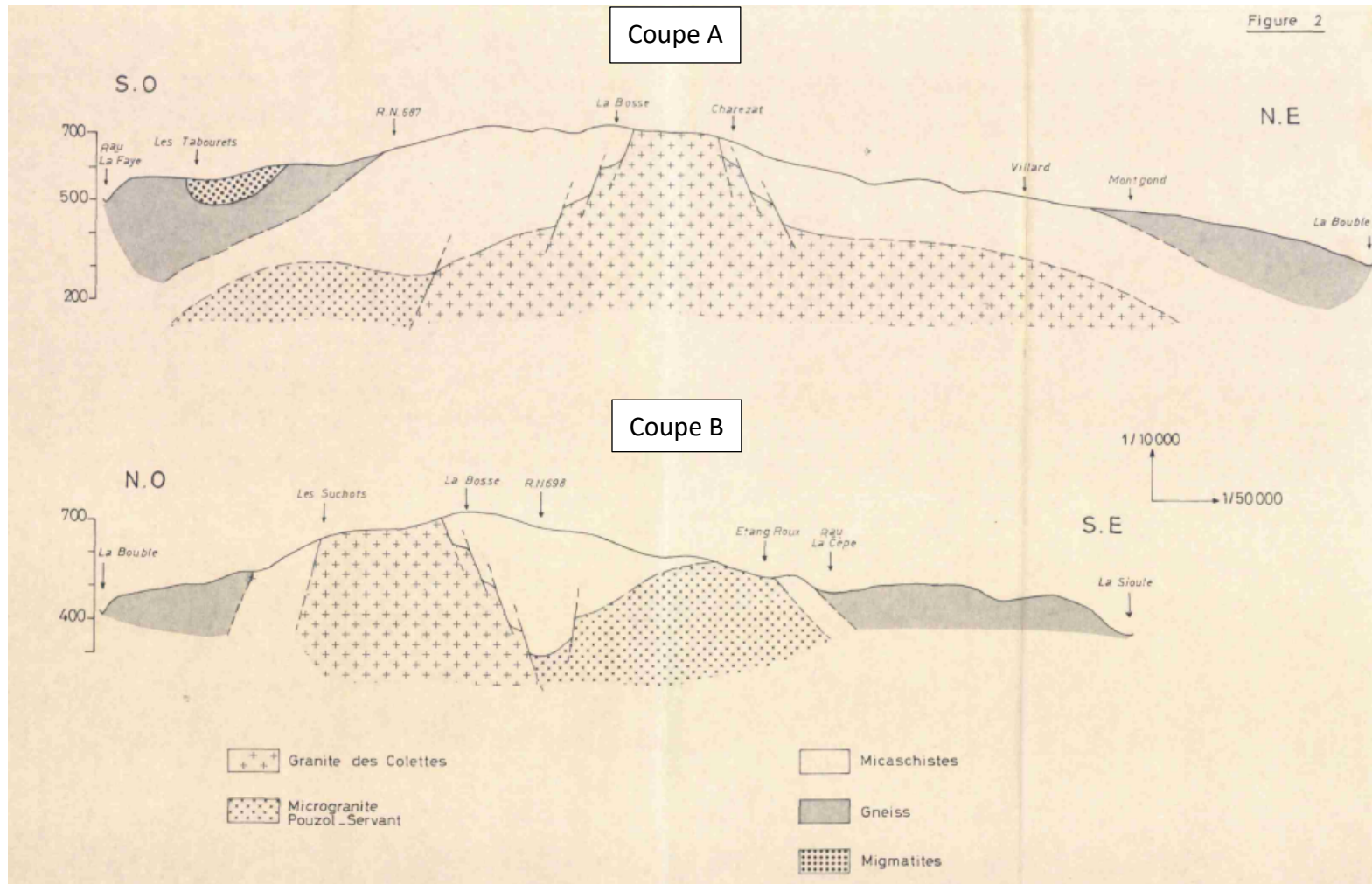


Figure 10 : Coupes géologiques A et B du massif d'Echassières d'après Belkessa (1981)

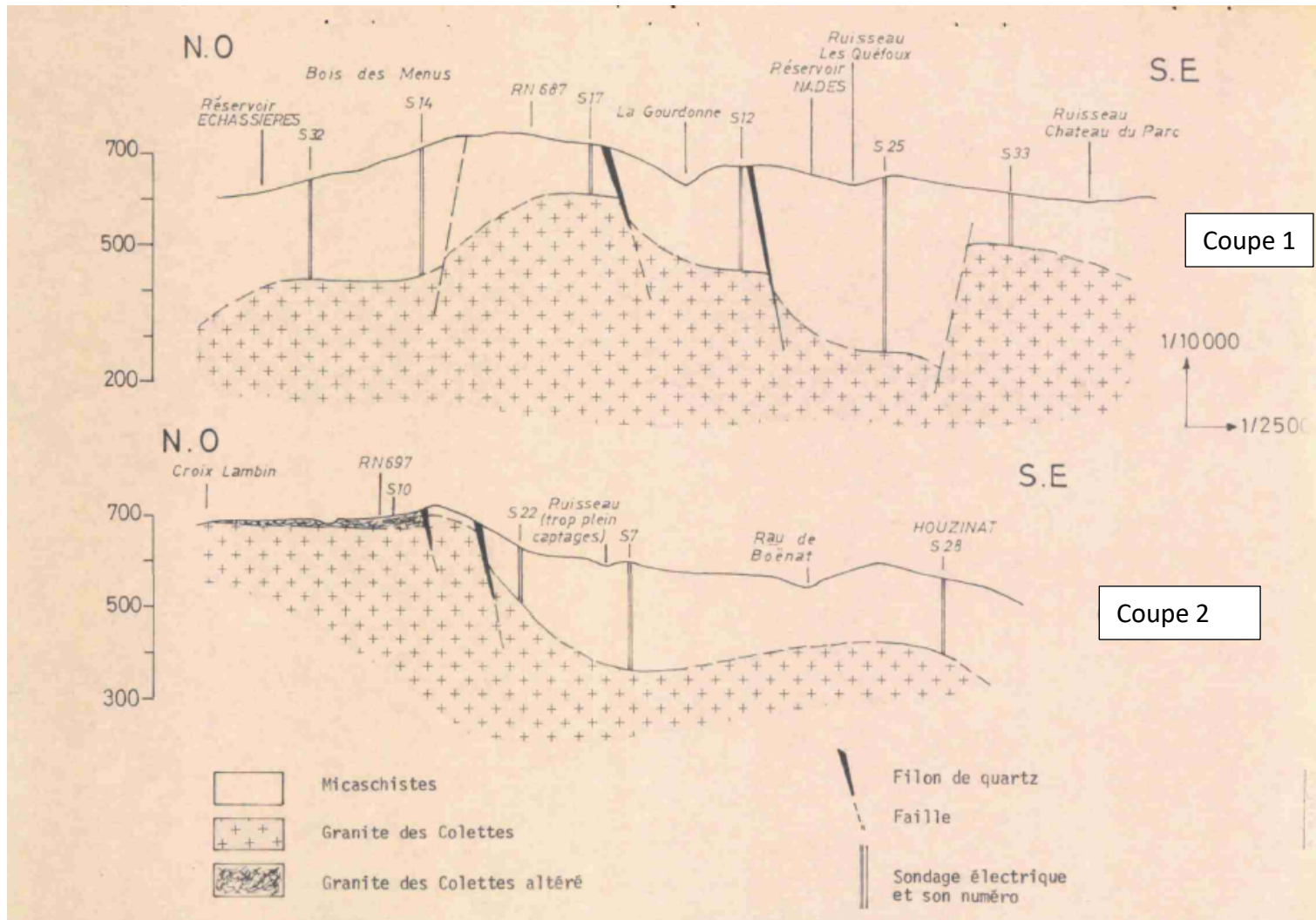


Figure 11 : Coupes géologiques 1 et 2 du massif d'Echassières d'après Belkessa (1981)

### 1.4.1.3.2. Données réinterprétées en 1987

Vignerresse signale qu'une prospection électrique (trainé électrique) a été mise en œuvre dans le secteur de Boënat, puis étendue à l'ensemble du massif. Le contraste des résistivités entre le granite et les micaschistes est relativement fort. Vignerresse a retracé la carte des isohypses du toit des granites (Cf. Figure 12). Cette carte met en évidence :

- Un faible plongement du toit du massif au nord et à l'est. Par rapport à Belkessa, il semble que le toit du granite plonge plus faiblement en direction de l'est ;
- Un fort plongement du côté ouest et au sud, confirmant le contact par faille côté ouest ;
- Le prolongement du massif au sud et à l'est sous la couverture est confirmé, ce qui est cohérent avec la gravimétrie.

Vignerresse signale que le contexte n'est malgré tout pas favorable à la méthode électrique en raison de la forte anisotropie des micaschistes, des nombreux filons et de la présence de circulations hydrothermales.

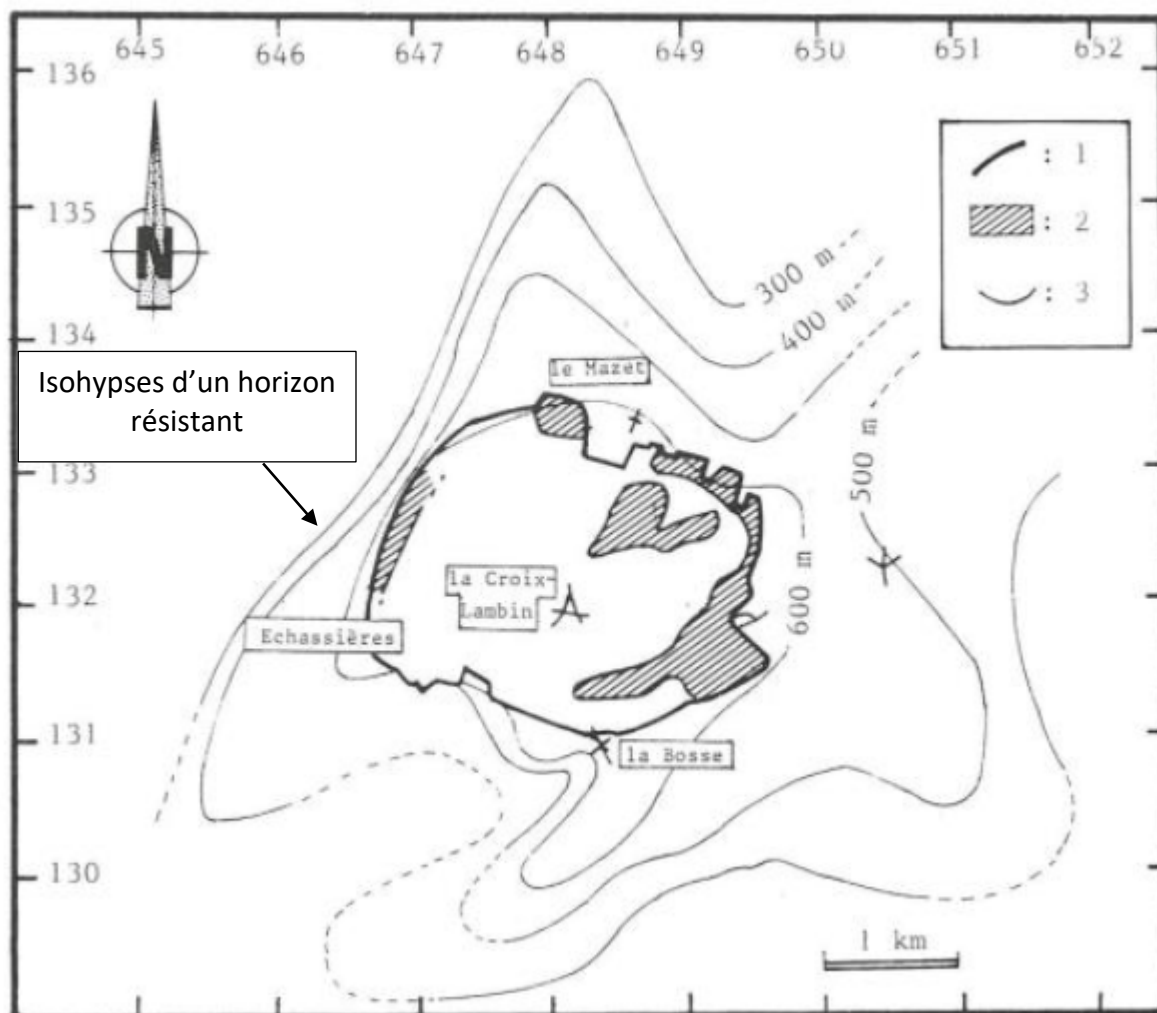


Figure 12 : Carte du toit du granite déterminé par trainés électriques d'après Lallier 1977, Favin et Million 1983 et Ezanno et Poinclou 1984

### 1.4.2. La fracturation

Les études réalisées par Gagny et Jacquot en 1987 sur la pétrologie structurale ont permis de démontrer, que la mise en place du massif granitique d'Echassières était liée à un accident tectonique régional de type cisaillement senestre N60E, à la faveur d'une fracturation antérieure orientée N20E et N160E. L'ouverture en extension de ces failles a permis l'ascension des différents magmas.

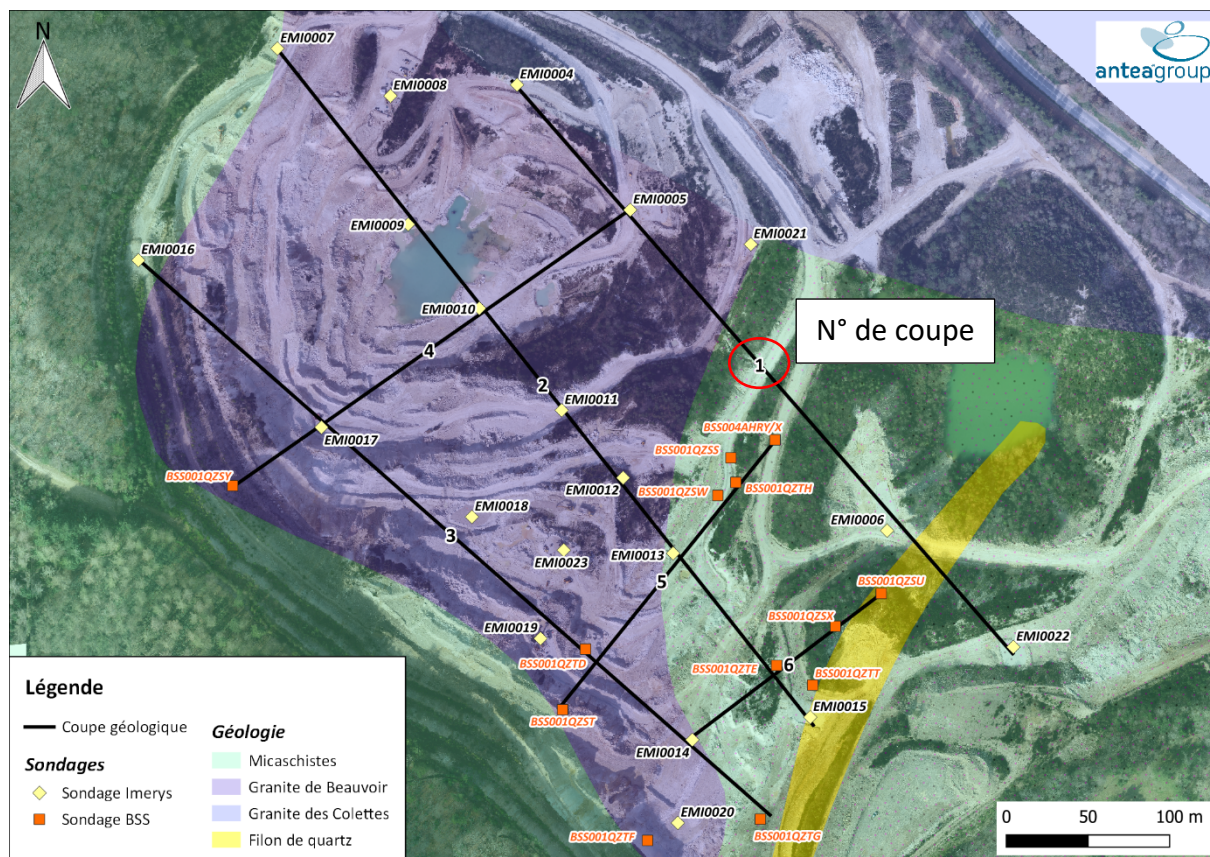
A l'échelle de notre étude, il est important de noter que le contact entre le granite et les micaschistes est marqué par des axes de fracturation décrochant, principalement orientés N20E (N10 à N50E). Les orientations N160 ou N100 sont plus rares.

Ces fractures peuvent se poursuivre à l'intérieur ou à l'extérieur du massif. Les filons de quartz et les zones kaolinisées s'alignent plus ou moins sur cette même direction. Ils peuvent jouer le rôle de drains des eaux souterraines sur de grandes distances. Il s'agirait de failles subverticales, mais nous n'avons pas d'information sur leur prolongement en profondeur.

### 1.4.3. Les sondages de reconnaissances

Nous avons exploité les données issues des logs des forages :

- Les logs lithologiques disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol. 10 sondages ont pu être exploités ;
- Ainsi que les logs de la campagne de sondages IMERYS déjà réalisés à la date du 03 juin 2022. Nous avons exploité les coupes de 20 sondages (EM10004 à EM10023).



**Figure 13 : Implantation des sondages exploités et coupes géologiques**

Les données ont été intégrées à une base de données de façon à mettre en évidence les différentes interfaces entre les micaschistes / le granite de Beauvoir altéré (faciès stone et kaolinisé) / le granite de Beauvoir sain. Les passées de greisens et les filons de quartz ont également été reportés dans la base de données. Ils ne sont toutefois pas reportés sur les coupes qui restent à ce stade des documents de travail. Pour le calcul des côtes, nous avons tenu compte de l'inclinaison des sondages. Les profondeurs annoncées ci-après sont prises par rapport à la verticale.

### Coupe N°1

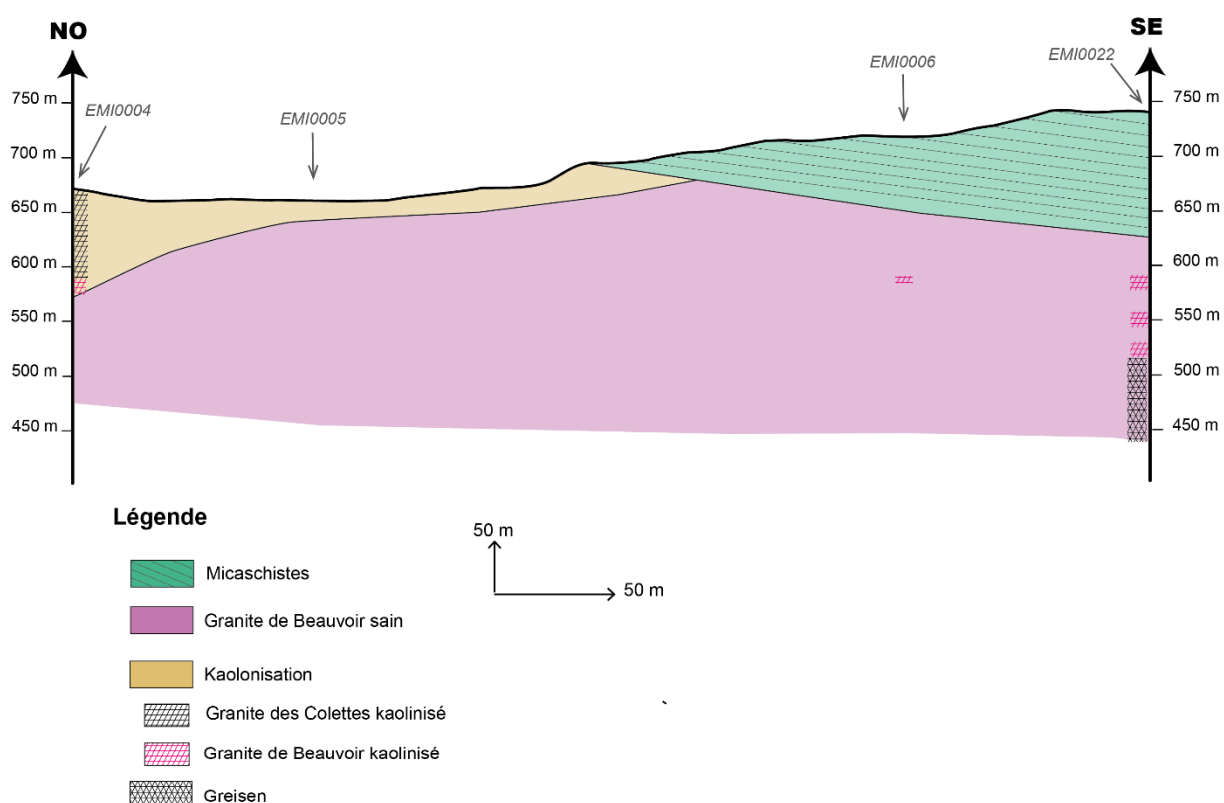


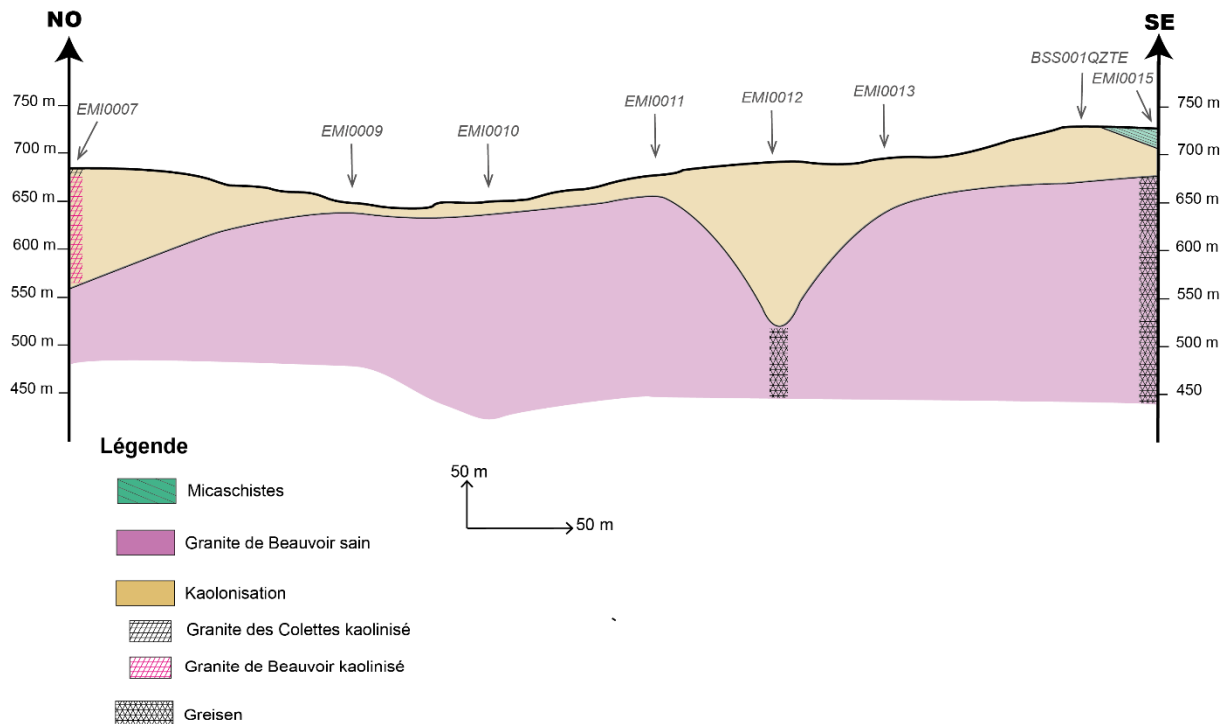
Figure 14 : Coupe géologique N°1

Nous constatons :

- La présence du granite des Colettes kaolinisé jusqu'à 74 m de profondeur sur le sondage EMI0004 ;
- Sur le sondage EMI0005, nous relevons 19 m de kaolin de Beauvoir puis le granite sain jusqu'à 131 m de profondeur ;
- Sur la partie sud-est de la coupe, les sondages ont recoupé la couverture de micaschistes au Sud-Est sur une épaisseur de 65 m (EMI0006) et 104 m (EMI0022). Sous la couverture, nous constatons la présence du granite de Beauvoir sain, puis en dessous des alternances de faciès kaolinisé et sain. Le faciès kaolinisé est parfois associé à des greisens, et les greisens à des filons de quartz. Les niveaux altérés font entre 10 et 15 m d'épaisseur.



### Coupe N°2

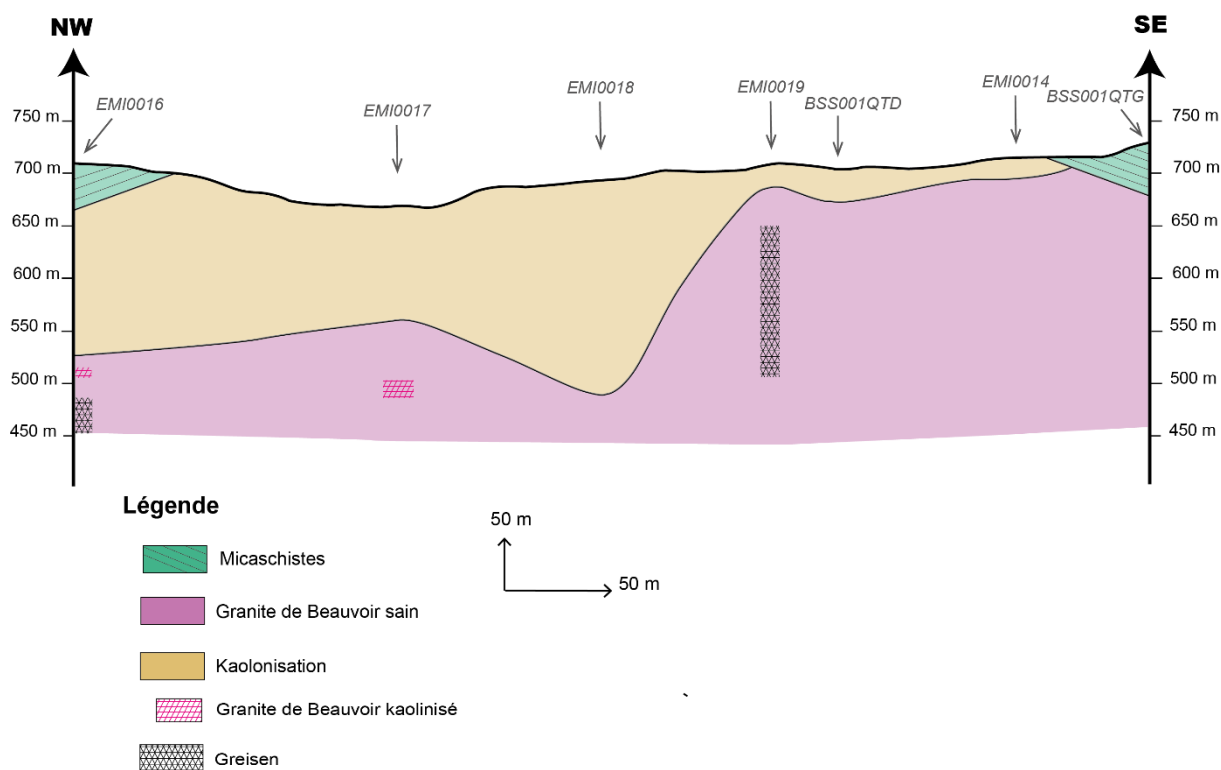


**Figure 15 : Coupe géologique N°2**

Nous constatons :

- Sondage EMI0007, la présence du granite des Colettes kaolinisé jusqu'à 6 m de profondeur qui passe ensuite au granite kaolinisé de Beauvoir (faciès stone puis kaolin). L'épaisseur totale de la couche d'altération atteint 121 m ;
- Au droit des sondages EMI0009 à 11, la couche de kaolin est peu épaisse (respectivement 5 m, 9 m et 16 m) car on est dans le fond de la carrière. Les sondages sont ensuite restés dans le granite sain. Une couche de greisen a été reconnue sur le sondage EMI0011 à 110 m de profondeur sur 13 m d'épaisseur ;
- Le sondage EMI0012 se caractérise quant à lui par une forte épaisseur de kaolin (170 m) qui contraste avec le sondage EMI0013 (55 m). Cette forte épaisseur est peut-être liée à une zone de circulations profondes car le sondage a rencontré une alternance de granite sain et de greisen jusqu'à 246 m de profondeur ;
- On retrouve un lambeau de micaschistes (19 m) à l'extrémité de la coupe puis, dessous, des alternances de granite sain et altéré associées aux greisens.

### Coupe N°3



**Figure 16 : Coupe géologique N°3**

Le fait marquant est ici une forte épaisseur de kaolin du granite de Beauvoir dans la partie nord-ouest, qui s'amincit en direction du sud-est. L'épaisseur de kaolin atteint environ 142 m d'épaisseur (cote 525 m NGF) dessous 42 mètres de micaschistes. Il n'est pas aisé d'identifier l'interface entre le granite altéré et le granite sain car on retrouve, en profondeur, des alternances de granite sain et altéré d'une dizaine de mètres d'épaisseur.

Toutefois, on constate un plongement vers le nord-ouest et le sud-ouest du granite sain de Beauvoir.

A partir de ces éléments, nous avons construit une carte de l'interface entre les terrains altérés et les formations dites saines (Cf. Figure 17).

- Généralement, on retrouve le granite de Beauvoir sain sous la couverture de micaschistes, ce qui confirmerait les observations de Aubert. On relève toutefois une exception sur le sondage BSS001QZTD qui a recoupé 57 m de kaolin sous les micaschistes. De plus, nous avons considéré que l'alternance de granite sain et altéré observée en profondeur était incluse à la partie saine ;
- La carte montre bien le plongement du granite sain de Beauvoir vers les nord-ouest et le sud-ouest ;
- Les plus fortes épaisseurs de kaolin de Beauvoir sont observées sur les sondages EMI0018 (201 m), EMI0012 (170 m), EMI0017 (106 m) et EMI0016 (142 m). Ces observations vont bien au-delà des 30 à 50 m annoncés dans la thèse de Aubert ;
- A noter également la particularité du sondage EMI0008 qui semble correspondre à une zone de transition entre les granites de Colettes et de Beauvoir.

L'ensemble des données disponibles (géologie, structurale et géophysique) a été synthétisé sur le schéma structural en Figure 18.

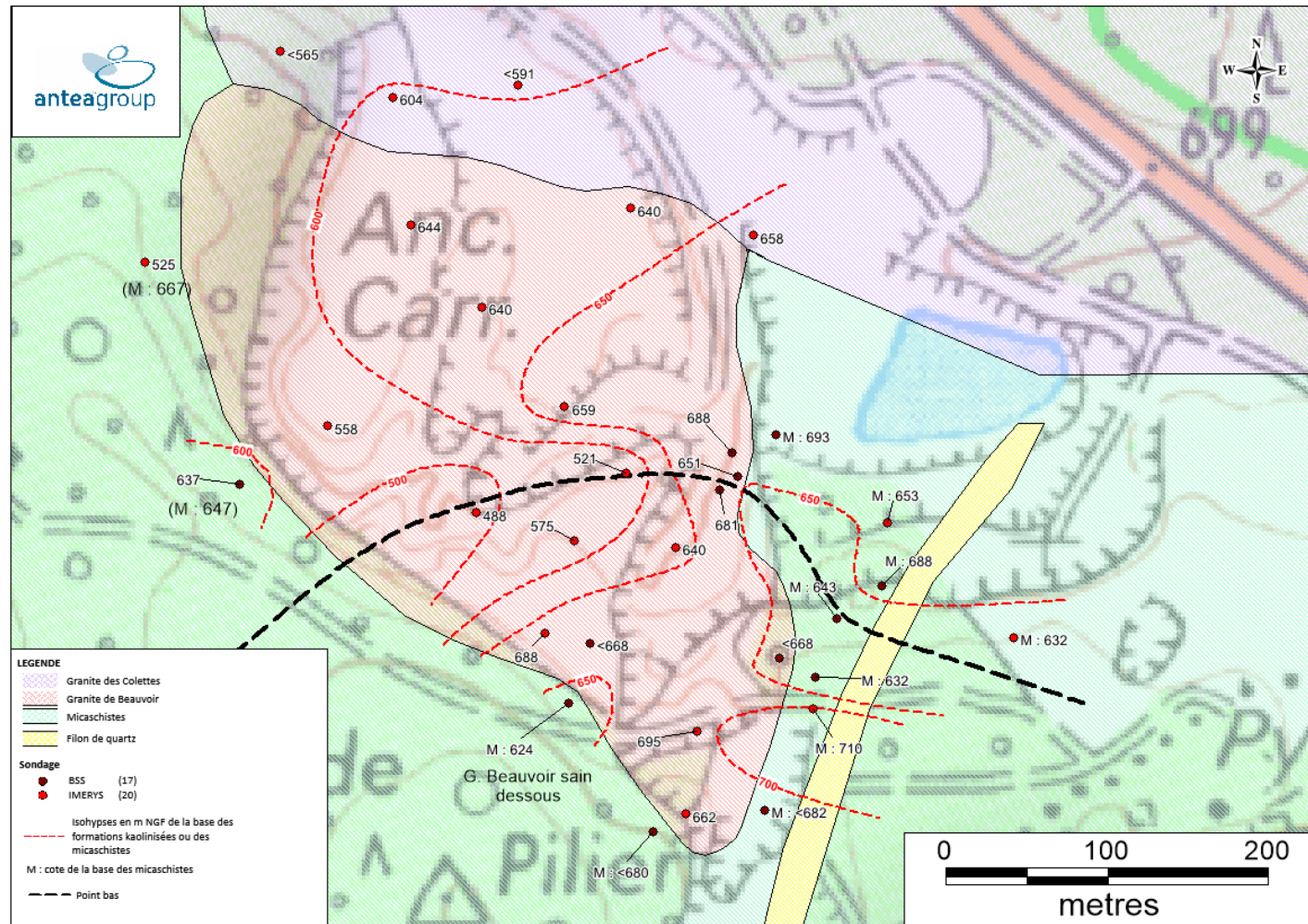


Figure 17 : Carte des isohypses de la base des formations altérées au droit de la carrière IMERYS

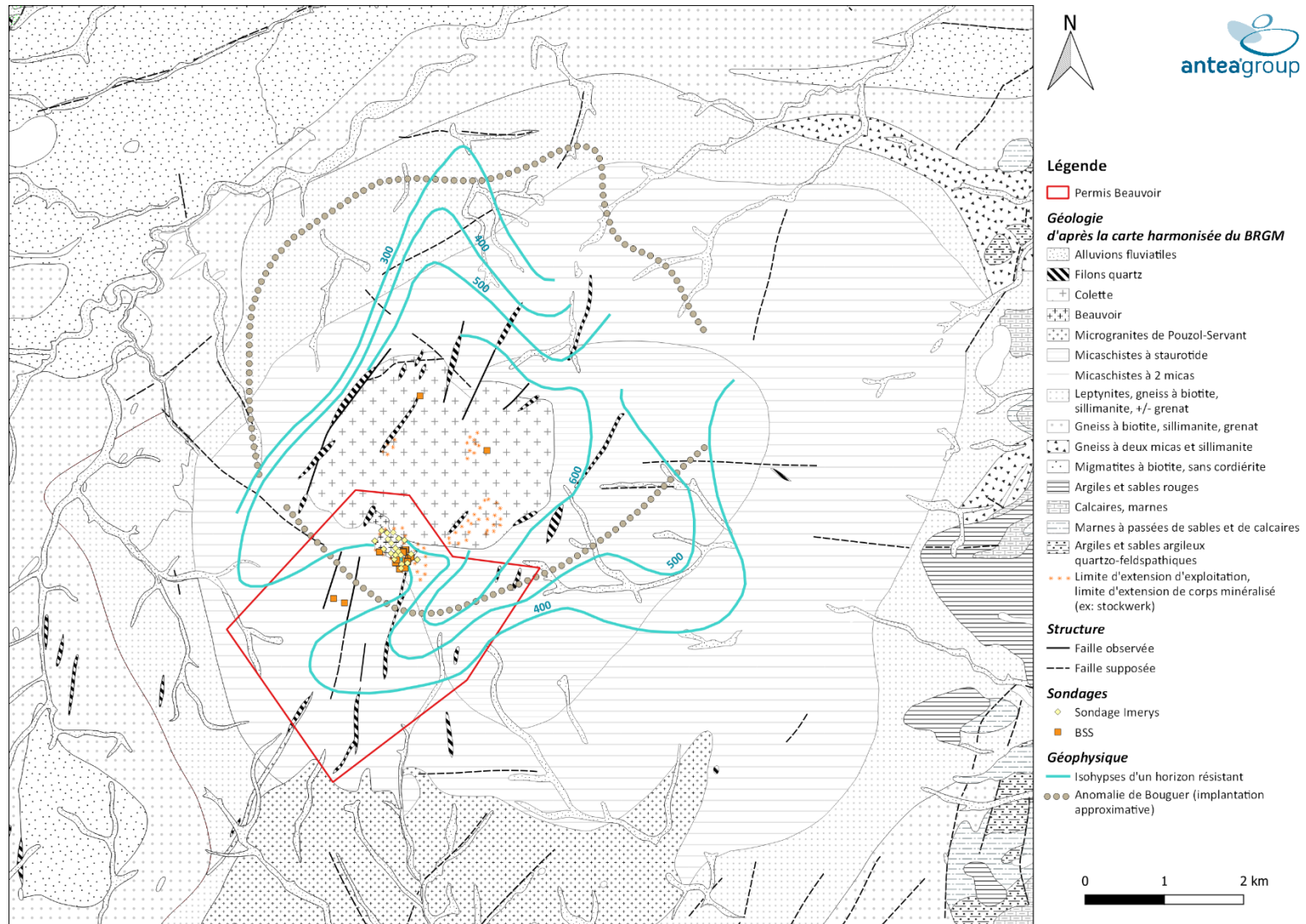


Figure 18 : Schéma structural de la zone d'étude

## 2. Contexte hydrogéologique

On dispose de très peu de données bibliographiques sur l'hydrogéologie de la zone d'étude. Les principales informations proviennent de l'étude hydrogéologique réalisée par Belkessa en 1981.

### 2.1. Définition des aquifères

#### 2.1.1. Généralités

Les formations géologiques en présence (granites et micaschistes) sont des formations que l'on peut qualifier de peu perméables, qui acquièrent une certaine porosité ou capacité de stockage à la faveur de l'altération météorologique. Dans ce contexte, on va retrouver deux types de formations aquifères :

- Des aquifères superficiels au sein des couches d'altération (arène, kaolinisation) qui vont développer une perméabilité d'interstices. Selon la minéralogie et la texture initiale, ces arènes seront tantôt sableuses, tantôt argileuses. D'une manière générale, plus le matériel original sera siliceux et à gros grains, plus les perméabilités et les capacités de stockage de ces arènes seront accrues ;
- Des aquifères profonds au sein des fractures non colmatées et filons à perméabilité de fissures.

Dans la plupart des cas, ces deux aquifères sont en relation hydraulique :

- L'aquifère superficiel est alimenté principalement par les précipitations, et la productivité de la nappe va dépendre, entre autres, de la superficie du bassin versant, de la nature et de l'épaisseur de l'arène. Plus rarement, il peut exister une alimentation par l'aquifère profond. Les sources que l'on observe sont des exutoires naturels qui émergent, soit à la faveur d'une rupture de pente (source de surverse), soit à la faveur d'une hétérogénéité de l'arène plus argileuse par exemple (source de débordement). Sauf cas exceptionnel, les nappes sont peu puissantes, leurs limites correspondent aux bassins versants topographiques et les sens d'écoulements se font suivant les lignes de plus grande pente.
- L'aquifère de fractures, plus profond, est généralement alimenté par soutirage de l'arène sus jacente et/ou directement par les précipitations.

#### 2.1.2. Les granites de Colettes et de Beauvoir

Nous avons vu précédemment que les granites des Colettes et de Beauvoir étaient affectés tous les deux par les phénomènes de la kaolinisation, conférant à ces formations une perméabilité d'interstices donc un certain effet capacitif. C'est le principal aquifère de ces formations qui va se développer :

- Principalement à l'affleurement au niveau de la coupole granitique. L'extension de la zone kaolinisée n'est pas connue avec précision. Elle est a priori moins développée dans la partie nord de la coupole (peu développée dans la zone Croix-Lambin-Fontbelle, quasi absente au Puy de Juillat et isolée aux Chaumes-Molles (Belkessa, 1981). Dans les secteurs où la kaolinisation est absente, on retrouvera le phénomène d'arénisation sur quelques mètres (cas des granites des Colettes). Dans le secteur du granite de Beauvoir, l'épaisseur de kaolin peut atteindre plusieurs centaines de mètres et la nappe peut être potentiellement puissante. Les eaux souterraines seront drainées vers les points bas comme celui identifié au droit du sondage EMI000012 (Cf. Figure 15). Les filons de greisens et de quartz, qui correspondent à d'an

ciennes zones de circulations thermales, peuvent faire office de drains préférentiels des eaux souterraines. Plus leur extension géographique est grande, et plus ils peuvent drainer les eaux souterraines sur de grandes distances ;

- Le granite sain sous-jacent à la couche d'altération est considéré comme le substratum moins perméable soutenant la nappe superficielle. La campagne de sondages a montré l'existence d'alternance de passées de granites sains / granites kaolinisés / filons de quartz et de greisens. Ces alternances confèrent une certaine perméabilité de fractures, voire de porosité au « granite sain », qui peuvent drainer les eaux souterraines notamment, lorsqu'elles sont en contact avec la couche de kaolin comme au droit du sondage EMI0012. Nous n'avons pas d'information complète sur les extensions horizontales et verticales de ces structures. Les relevés des carottes et les faibles indices de venues d'eau relevées lors des sondages suggèrent que, statistiquement, il y a peu de circulations des eaux souterraines en profondeur, sans qu'il soit possible de totalement l'exclure.

Remarque : un indice de niveau d'eau a été relevé sur le sondage EMI0011 avec un niveau d'eau noté à 5,7 m de profondeur. Le sondage était à 36 m de profondeur dans le granite de Beauvoir sain. Par ailleurs, il y a également eu d'autres indices de niveau d'eau au droit du sondage EMI0010 en fond de fosse (léger artésianisme) et du sondage EMI0017 sur le flanc est de la carrière.

### 2.1.3. Les micaschistes

Les micaschistes présentent généralement un bon effet capacitif en raison de la combinaison de l'altération et de la fracturation :

- L'altération : l'épaisseur de l'altération en surface atteint généralement 3 à 4 m. Elle est plus développée dans les zones filoniennes et au contact du granite (auréole métamorphique). D'après Belkessa, les micaschistes seraient plus intensément fracturés à l'est et au sud de la coupole granitique ;
- Fissures subhorizontales : ouverture du plan de schistosité des roches due à des contraintes que les micaschistes ont subies ;
- Fissures subverticales en profondeur : correspond généralement à des failles. La conjugaison des fissures subhorizontales et horizontales favorise l'infiltration et la circulation des eaux souterraines.

L'importance de l'aquifère des micaschistes sera donc fonction de l'épaisseur altérée, de l'état de fracturation du massif et du rôle joué par les grandes fractures et/ou filons qui affectent la couverture, et qui peuvent drainer les eaux souterraines sur de grandes distances. Les terrains en profondeur vont se « resserrer » et former le substratum peu perméable. Nous n'avons aucune donnée sur la géométrie de la couche potentiellement aquifère en surface des micaschistes.

Dans les secteurs où la couverture de micaschistes est relativement faible, des écoulements verticaux peuvent avoir lieu vers les granites. Ces transferts verticaux sont probablement faibles à l'exception des zones fracturées et de filons qui pourraient affecter les micaschistes et les granites sur de grandes profondeurs.

A noter que de nombreux cours d'eau non pérennes (tariement en été) prennent leur source au sein des granites sur le pourtour de la coupole granitique.

#### 2.1.4. Les anciennes exploitations minières

Un dernier aquifère de nature anthropique est également à considérer ; il s'agit des anciennes galeries de mines qui vont jouer le rôle de drains préférentiels des eaux souterraines.

Nous avons récupéré auprès de GEODERIS les plans scannés de ces anciennes galeries. Un extrait du plan des concessions est donné en Figure 19.

Les anciennes exploitations susceptibles d'interférer sur le projet sont principalement les travaux de l'Épéron, de la Bosse (puits St Jean) et du Suquet.

## 2.2. Paramètres hydrodynamiques

**La réalisation de piézomètre dans les différentes formations permettra de collecter ces informations. A la rédaction de ce rapport (juillet 2022), nous ne disposons que des valeurs de transmissivités<sup>2</sup> et de perméabilités<sup>3</sup> des différentes formations en présence issues de la bibliographie (cf. §2.3). L'acquisition de ces données par des mesures in-situ est nécessaire à la construction du modèle hydrogéologique, ainsi que la connaissance de l'épaisseur de l'aquifère (valeur qui régit la transmissivité).**

Les valeurs de perméabilités dans les micaschistes et les granites sont généralement faibles, hétérogènes (influence de l'altération et de la fracturation) et diminuent en profondeur du fait de l'augmentation de la contrainte des terrains.

Vignerresse & Cannat (1987) ont cherché à mettre en évidence des corrélations entre la variation de la densité des terrains et la variation de la porosité. Les mesures ont été réalisées sur les carottes du sondage GPF jusqu'à 900 m de profondeur (Cf. Figure 20) :

- Les valeurs de porosité sont variables jusqu'à 400 m : elles passent de 1,5% en surface, à 0,4% à 280 m ;
- Une augmentation régulière s'observe ensuite, qui serait liée à une zone fracturée aux alentours de 450 m ;
- La porosité devient ensuite remarquablement faible et constante à environ 0,3% jusqu'à 800 m.

Ces éléments montrent que, s'il est vraisemblable que les perméabilités soient faibles et diminuent avec la profondeur, il est possible de recouper en profondeur des zones fracturées potentiellement plus perméables, favorables au drainage des eaux souterraines dans la mesure où celles-ci sont bien-sûr alimentées.

---

<sup>2</sup> Transmissivité (T) : produit de la perméabilité (K) par l'épaisseur de la nappe, il régit le débit d'eau qui s'écoule perpendiculairement à l'écoulement par unité de largeur de la zone saturée de l'aquifère et par unité de gradient hydraulique.

<sup>3</sup> Perméabilité (K) : Caractérise la fonction conductrice (c'est une caractéristique dynamique de l'aquifère exprimant son aptitude à se laisser traverser plus ou moins facilement par un fluide lorsqu'il est soumis à un gradient hydraulique).



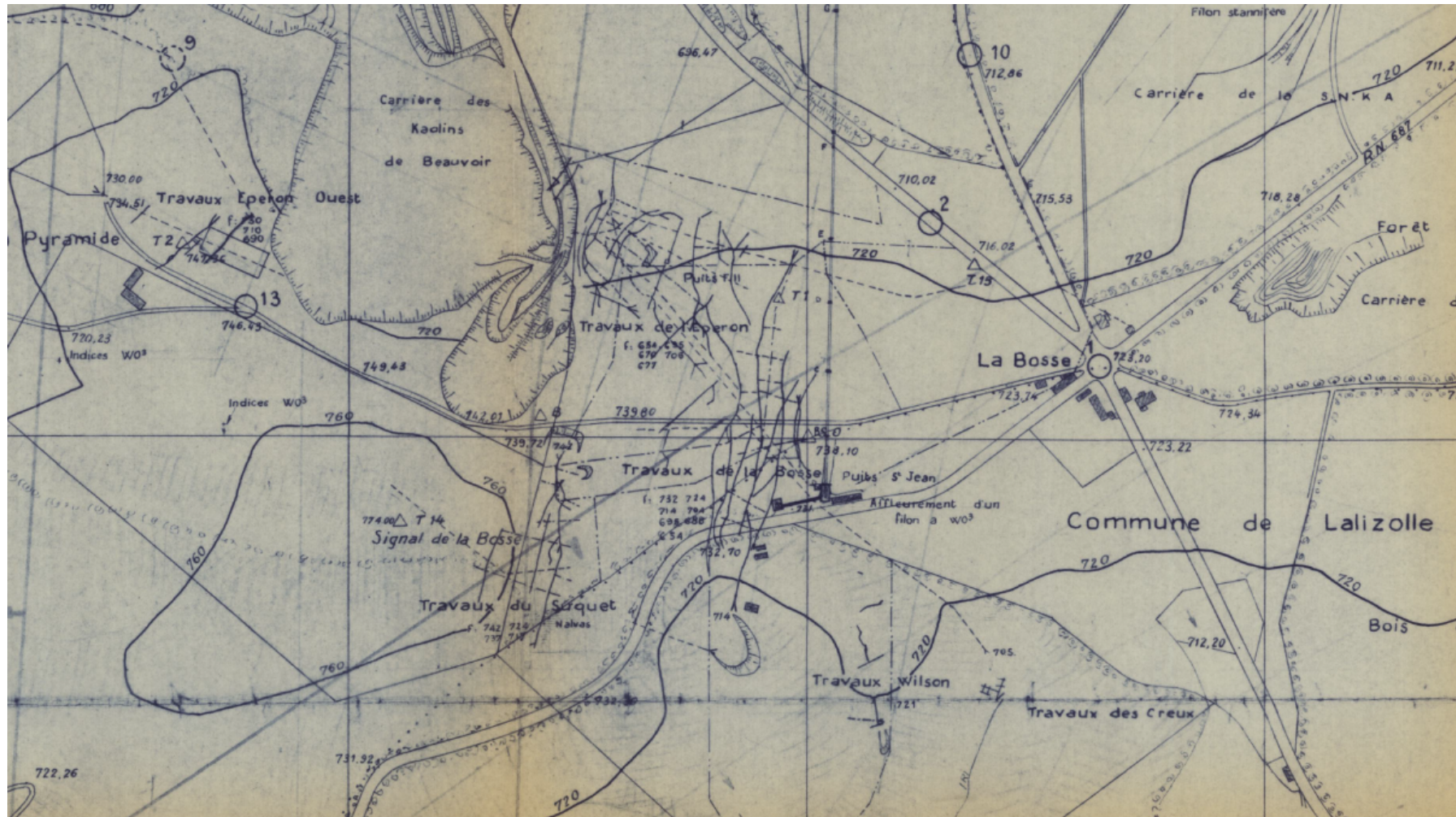


Figure 19 : Extrait du plan des concessions minières (GEODERIS)

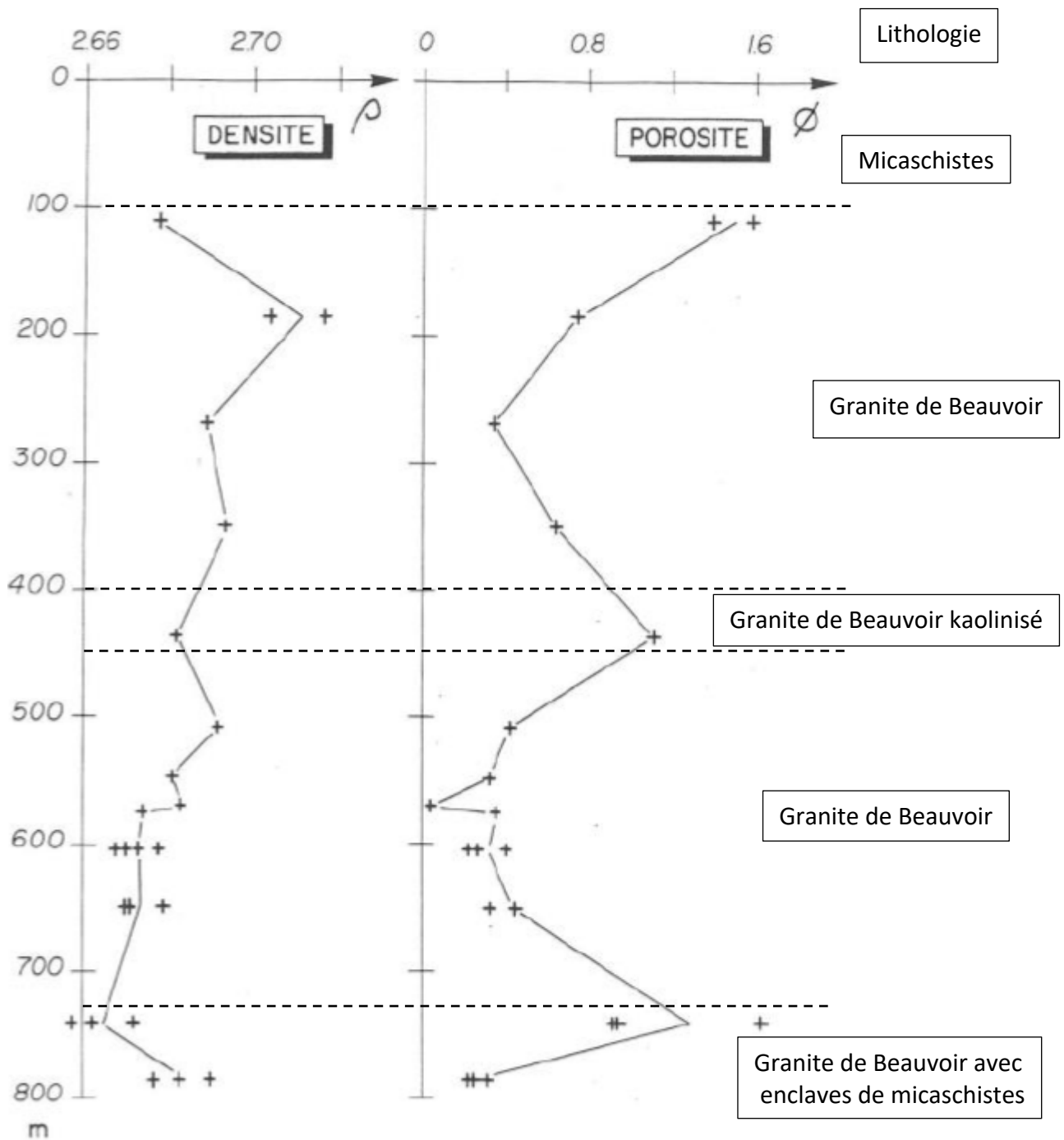


Figure 20 : Densité et porosité des carottes du forage GPF (Vignerresse & Cannat, 1987)

## 2.3. Productivité des aquifères

Nous disposons des éléments synthétisés par Belkessa en 1981 sur les anciennes exploitations de carrières et de mines. La localisation des anciennes exploitations est reportée sur la Figure 21.

### 2.3.1. Les granites des Colettes et de Beauvoir

#### 2.3.1.1. Données historiques

Les informations recueillies par Belkessa en 1981 concernant les exploitations de carrières et de mines au sein des granites des Colettes et de Beauvoir sont données dans le Tableau 1.

Ce que l'on peut retenir de ces éléments :

- La présence d'eau de nappe au sein des granites altérés est systématique à l'exception du granite des Colettes (G8), où il est indiqué « peu de niveaux aquifères rencontrés » ;
- La nappe était située à faible profondeur (1 à 3 m) sur les secteurs de :
  - Puy Juillat (G1),
  - Fond Moulin (G2 et G3),
  - Croix Lambin (G4),
- La nappe était plus profonde (5 à 15 m) sur les secteurs de :
  - Fontbelle (G5 et G6),
  - Les Colettes (G7),
  - Chaumes (G9),
- Les débits sont compris entre 1,8 et 18 m<sup>3</sup>/h :
  - Fond Moulin (G2) : 14 m<sup>3</sup>/h au trop-plein de l'étang de novembre à juin, baisse importante en étiage,
  - Croix Lambin (G4) : 1,8 m<sup>3</sup>/h, débit maximum observé aux épontes de filons,
  - Fontbelle (G6) : 18 m<sup>3</sup>/h au trop-plein de l'étang,
  - Les Colettes (G7) : venues d'eau importantes provenant des filons (débit ?),
  - Chaumes (G9) : potentiel de l'aquifère estimé à 15 m<sup>3</sup>/h (pompage de rabattement d'un lac).

A l'époque, la carrière de Beauvoir exploitait la source de Fond Moulin. IMERYS ne dispose plus de ce droit d'eau.

LOCALISATION TRAVAUX (indice carte fig. n° 6)	1. GEOLOGIE 2. EPAISSEUR ALTERATION	HYDROGEOLOGIE	1. OBSERVATIONS 2. ETAT ACTUEL
<p><u>PUY DE JUILLAT G1</u> Sondages - puits - tranchées - galeries.</p>	<p>1. Granite des Colettes faciès microgrenu. 2. Le plus souvent 4 à 5 m reposant sur granite souvent blanchi et non décomposé. Exceptionnellement 10 à 15 m. Nombreux filonnets de quartz.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 3 et 5 m. Des venues d'eau "importantes" sont notées aux épontes des filonnets de quartz.</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). Exploitation arrêtée. 2. Etangs de pêche ; pas d'écoulement visible par trop-plein. Réserve d'eau estimée à 50.000 m<sup>3</sup> (pour 3 étangs) utilisée en période sèche par la laverie du Mazet.</p>
<p><u>FOND MOULIN G2</u> Sondages - puits - galeries</p>	<p>1. Granite des Colettes faciès grenu. 2. Le plus souvent 4 à 6 m reposant sur granite non décomposé. Exceptionnellement 15 à 20 m. A tous les niveaux, présence de boules de granite. Peu de filons.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 1 et 3 m de profondeur.</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). 2. Etang. Ecoulement trop-plein 4 l/s en moyenne de nov. à juin, puis baisse importante. Utilisé par la laverie des kaolins de Beauvoir (par pompage en période sèche).</p>
<p><u>FOND MOULIN G3</u> Vallon en amont de l'étang - puits.</p>	<p>1. Granite des Colettes. Eluvions 4 à 5 m reposant sur arène.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère vers 3 m de profondeur.</p>	<p>1. Synthèse travaux mine de Montmins (archives). 2. Fouilles visibles. Zone très sourceuse.</p>

LOCALISATION TRAVAUX (indice carte fig. n° 6)	1. GEOLOGIE 2. EPAISSEUR ALTERATION	HYDROGEOLOGIE	1. OBSERVATIONS 2. ETAT ACTUEL
<p><u>CROIX LAMBIN</u> G4 (en direction puy de Juillat). Sondages - puits.</p>	<p>1. Granite des Colettes. Faciès microgrenu. 2. Généralement 5 à 6 m reposant sur granite non décomposé. Nombreux filonnets de quartz.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 3 et 5 m. Venues d'eau aux épontes des filons ; débit max. observé 0,5 l/s.</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives).</p>
<p><u>FONTBELLE</u> G5 Grande tranchée - sondages - puits - galeries.</p>	<p>1. Granite des Colettes. Faciès grenu. 2. Le plus souvent 10 à 15 m reposant sur granite non décomposé. Exceptionnellement 20 à 25 m.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 5 et 10 m de profondeur</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). 2. Remblayé ?</p>
<p><u>FONTBELLE</u> G6 Bassin ou Grande Machine - puits - galeries</p>	<p>1. Granite des Colettes. Faciès grenu. 2. Le plus souvent 15 à 20 m (granite sain non atteint)</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 10 et 15 m de profondeur.</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). 2. Etang de pêche. Ecoulement trop-plein 5 l/s en moyenne.</p>
<p><u>LES COLETTES</u> G7 Tranchée du rose - sondages - galeries</p>	<p>1. Granite des Colettes. Faciès grenu. 2. Le plus souvent 15 à 20 m (granite sain non atteint). Filons de quartz.</p>	<p>Présence constante d'un niveau aquifère entre 5 et 10 m de profondeur. Venues d'eau importantes provenant des filons.</p>	<p>1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). 2. Etang de pêche. Pas d'écoulement visible par trop-plein. Baisse du niveau de l'eau de 0,40 m à la sécheresse de 1976.</p>

LOCALISATION TRAVAUX (indice carte fig. n° 6)	1. GEOLOGIE 2. EPAISSEUR ALTERATION	HYDROGEOLOGIE	1. OBSERVATIONS 2. ETAT ACTUEL
<u>LES COLETTES</u> G8 Maroc - puits - galeries.	1. Granite des Colettes. Faciès grenu. 2. Le plus souvent 10 à 15 m. (granite sain non atteint).	Peu de niveaux aquifères rencontrés.	1. Synthèse travaux kaolins des Colettes (archives). 2. Etang de pêche. Pas d'écoulement visible. Baisse du niveau de l'eau de 0,40 m à la sécheresse 1976.
<u>CHAUMES</u> G9 Molles - carrières	1. Granite des Colettes. Faciès microgrenu. 2. 20 à 30 m reconnue au niveau de la carrière. Nombreux filons de quartz.	Présence constante d'un niveau aquifère vers 10 m. Pompages pour baisser le niveau du lac : on a pu calculer que le débit de l'aquifère est de l'ordre de 15 m <sup>3</sup> /h.	1. Renseignements Kaolins James (exploitation arrêtée). 2. Lac. Pas d'écoulement visible par trop-plein. Amplitude de la fluctuation du niveau de l'eau 0,40 à 0,60 m.
<u>BEAUVOIR</u> G10 Carrière de La Bosse	1. Granite de Beauvoir. 2. 30 à 40 m reconnue au niveau de la carrière. Nombreux filons de quartz greisen.	Présence constante d'un niveau aquifère mais à un niveau variable suivant les fosses d'exploitation de kaolin. Venues d'eau souvent importantes depuis le fond des fosses (niveau d'eau artésien).	1. Renseignements Kaolins de Beauvoir. 2. Lac de La Bosse. Ecoulement trop-plein de mars à juin ou juillet au débit de 4 l/s env. Pompages dans les fosses d'exploitation. Eau utilisée par la laverie.
<u>BEAUVOIR</u> G11 Grand réservoir.	1. Granite des Colettes. Faciès microgrenu. 2. Ancienne exploitation de kaolin ?	Ecoulement permanent par trop-plein variant entre 2 et 15 l/s.	2. Petit étang, berges surélevées. Origine de l'écoulement mal définie.

Tableau 1 : Synthèse des indices hydrogéologiques des anciennes mines dans les granites (Belkessa, 1981)

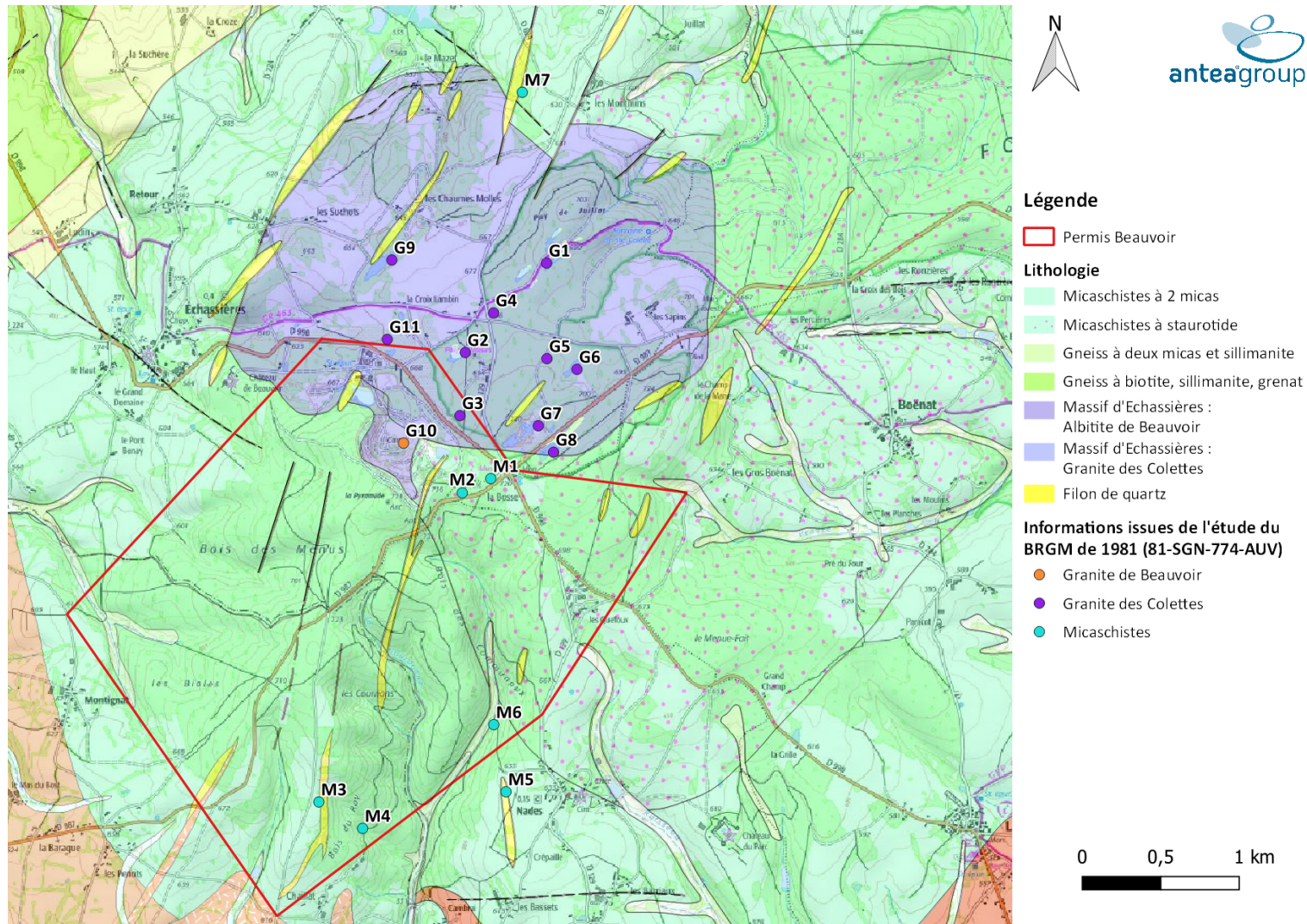


Figure 21 : Localisation des anciennes exploitations minières

### 2.3.1.2. Données actuelles de la carrière de Beauvoir

Il existe actuellement deux plans d'eau sur le site de la carrière :

- Le plan d'eau des Montmins <sup>4</sup> (anciennement appelé lac de l'Eperon) qui s'écoule en trop plein vers le plan d'eau de Beauvoir. Ce dernier est alimenté par les eaux de ruissellement, des sources (3 identifiées en 1980), et potentiellement par les anciennes galeries d'exploitation de wolframite (puits St Jean). Les sources n'ont pas été identifiées lors des investigations de 2022, mais l'alimentation du bassin reste effective puisque ce dernier ne se tarit pas ;
- Le plan d'eau de Beauvoir qui réceptionne le trop plein du bassin des Montmins, les eaux d'exhaure de la carrière ainsi que les eaux de la plateforme de stockage. Le trop-plein se déverse dans un fossé qui alimente des lagunes de décantation avant le rejet en dehors du site.

Au centre de la carrière, le fond de la fosse draine les eaux souterraines et les eaux de ruissellement du front de taille exploité. Ce plan d'eau permet également une décantation des eaux. L'eau est reprise par pompage pour être refoulée dans le plan d'eau de Beauvoir.

Le débit en sortie de site est mesuré à l'aide d'un canal Venturi avant rejet dans le milieu naturel au niveau du vallon de la Croix Lambin. La mesure de débit intègre également le débit intercepté par le fossé qui longe la RD998. Nous disposons du suivi des rejets depuis 1995, à la fréquence hebdomadaire (valeur moyenne par semaine et une valeur instantanée). Nous présentons pour exemple les années 2018 à 2020 sur la Figure 22 :

- Nous constatons qu'il n'y pas de corrélation entre les débits rejetés et la pluviométrie. Ce constat s'explique par le fait que les eaux rejetées dans le plan d'eau de Beauvoir sont en partie repompées pour les besoins d'eau de procédé ;
- Les débits instantanés rejetés sont très variables sur une année et suivant les années ;
- Ce constat est également illustré par la grande variabilité des volumes annuels rejetés (105 000 à 750 000 m<sup>3</sup>/an), Cf. Figure 23.

Les débits rejetés en sortie de la carrière ne sont pas représentatifs des débits souterrains interceptés par la carrière.

---

<sup>4</sup> Depuis la rédaction de ce rapport en juillet 2022, ce bassin a été déplacé dans le cadre de l'autorisation d'extension de la carrière kaolins, pour créer le bassin "Montmins 2"



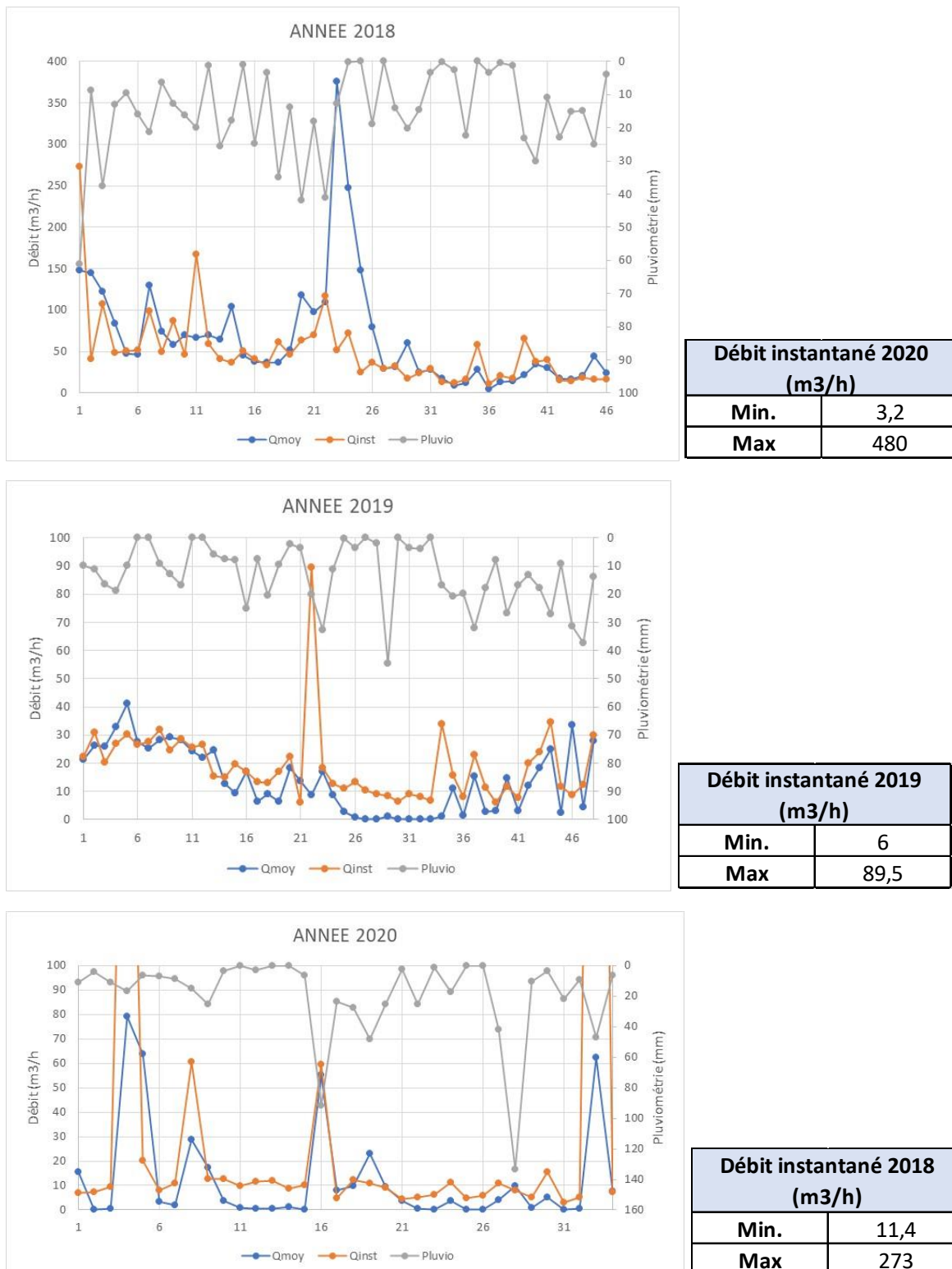


Figure 22 : Débits de rejets moyens et instantanés de la carrière de Beauvoir en fonction de la pluviométrie à Echassières

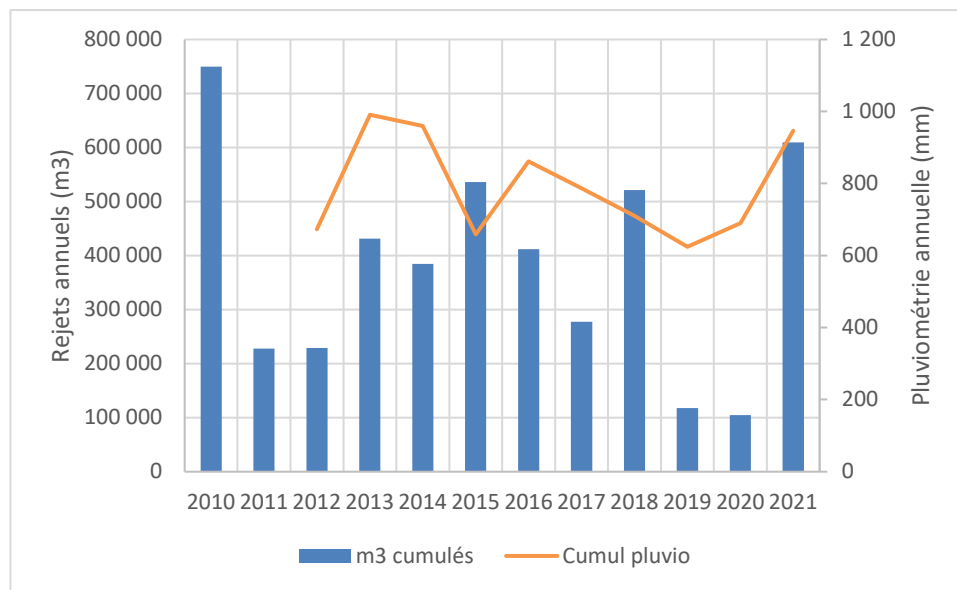


Figure 23 : Volumes annuels rejetés à la carrière de Beauvoir en fonction de la pluviométrie à Echassières

### 2.3.2. Les micaschistes

Les anciens travaux miniers renseignent sur la productivité de l'aquifère des micaschistes.

#### **Secteur de La Bosse (M1 et M2)**

Dans ce secteur, nous disposons également d'un pompage d'essai réalisé en 1980 par le BRGM, dont l'objectif était d'évaluer la productivité du puits St Jean pour une éventuelle utilisation en eau potable.

- Le puits St Jean, créé dans les années 60, mesure 82 m de profondeur, sa base est à la cote 654 m NGF dans les micaschistes ;
- Les premières venues d'eau ont été rencontrées à 35 m de profondeur. L'aquifère correspond aux micaschistes fracturés ;
- Il s'agit d'un puits rectangulaire équipé d'un coffrage et de cadre en bois. Le mauvais état de l'ouvrage en 1980 a nécessité la pose d'un tubage PVC, crépiné sur les 30 derniers mètres. La pompe a été positionnée à 70 m de profondeur ;
- L'essai a été perturbé en raison du recyclage de l'eau pompée. Il a fallu rejeter l'eau directement dans le ruisseau au sud, ce qui suggère l'existence d'une forte densité / interconnectivité des réseaux miniers ;
- Un pompage à 90 m<sup>3</sup>/h pendant 16 jours a montré un rabattement des niveaux d'eau de 2,36 m dans le puits, et 1,94 m sur le plan d'eau des Montmins (Eperon). Le débit d'exploitation recommandé était de 20 à 30 m<sup>3</sup>/h sans mettre en péril le lac. L'eau pompée était très faiblement minéralisée.

Ces éléments montrent que le puits St Jean était connecté avec le plan d'eau des Montmins et que ce dernier est probablement connecté aux nombreuses galeries minières du secteur qui jouent à la fois le rôle de drains et de stockage des eaux souterraines.

### **Secteur de Chaillats (M3 et M4)**

- Exploitation (M3) : des venues d'eau importantes ont été trouvées à 15 m de profondeur à l'épente d'un filon profond.
- Exploitation (M4) : Un écoulement permanent avec un débit moyen de 15 m<sup>3</sup>/h a été constaté dans une galerie située à proximité d'une zone très fracturée.

### **Secteur de Nades (M5 et M6)**

- Exploitation (M5) : des venues d'eau abondantes ont été observées dans un gisement filonien au niveau du puits St Paul, à 22 m de profondeur ;
- Exploitation (M6) : galerie d'écoulement de 140 m de longueur jusqu'au vallon de la Gourdonne. Un écoulement permanent d'environ 11 m<sup>3</sup>/h a été observé (galerie éboulée).

### **Secteur Le Mazet (7)**

- Des écoulements compris entre 11 et 15 m<sup>3</sup>/h ont été mesurés dans un complexe filonien au contact du granite des Colettes et des micaschistes. De nombreuses failles ont été également observées avec des circulations d'eau vers 30 m de profondeur.

## **2.4. Inventaire des points d'eau et piézométrie**

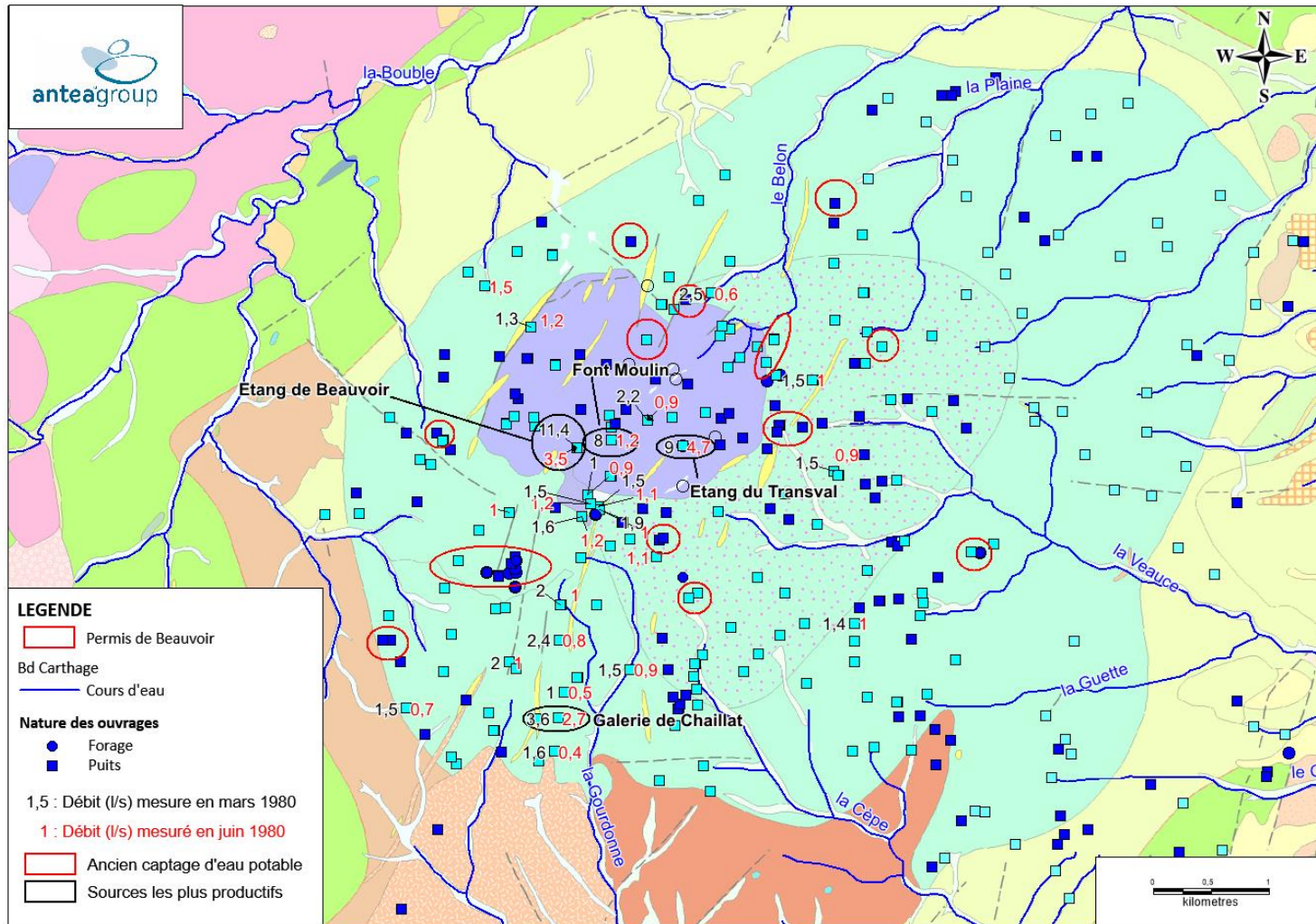
### **2.4.1. Campagne de 1980**

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique réalisée par Belkessa entre mars et juin 1980, ce dernier a recensé dans le secteur d'étude près de 218 points d'eau dont :

- 131 sources,
- 80 puits,
- 7 forages.

Nous disposons du débit de 30 sources (Cf. Figure 24). Nous avons également identifié les anciens captages d'eau potable :

- Les sources recensées captent, soit la partie altérée et fracturée des micaschistes, soit la partie altérée des granites ;
- Les débits sont globalement faibles, compris entre 1 et 11 l/s en moyennes eaux, et 0,4 et 4,7 l/s en basses eaux ;
- Les sources les plus productives sont liées à d'anciennes exploitations minières :
  - Dans les granites des Colettes, les anciennes sources exploitées par la carrière de Beauvoir (Grand réservoir et Font Moulin) et l'étang de Transval (carrière de Fontbelle G5) ;
  - Dans les micaschistes, la galerie de la carrière de Chaillat (M4).



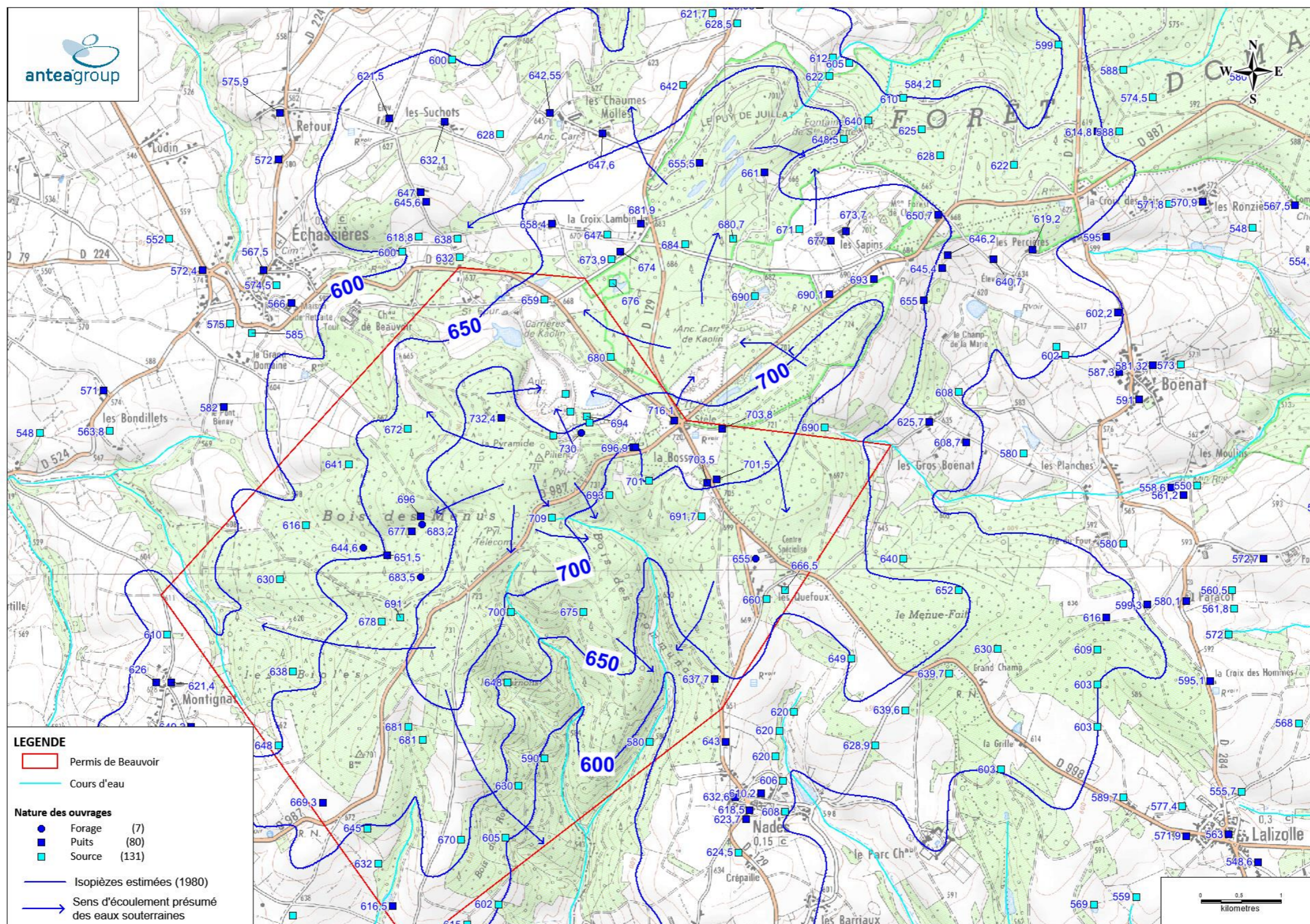


Figure 25 : Esquisse piézométrique à partir des relevés de 1980

Nous avons également essayé d'exploiter les données piézométriques. Cette carte est à prendre avec beaucoup de précautions car l'altimétrie des points repère est probablement très approximative, les mesures ne sont pas toujours synchrones et pour les sources, en l'absence de mesure, nous avons considéré que la cote correspondait à celle de la résurgence.

Les éléments intéressants sont :

- Les niveaux d'eau mesurés dans les puits sont généralement peu profonds ; sur les 79 ouvrages (puits ou forages) pour lesquels on dispose d'une mesure, la valeur médiane est de 3,5 m, et 90% des mesures sont à moins de 10 m de profondeur. Les niveaux d'eau les plus profonds ont été mesurés sur le puits St Jean (40,9 m), et au lieu-dit Les Quefoux (30 m) au Sud de la Bosse (forage de 120 m) ;
- Le tracé des isopièzes reflète les écoulements de la nappe contenue dans les premiers mètres altérés des micaschistes et des granites. Il s'agit d'une nappe de versant, a priori continue, qui suit globalement les lignes de plus grandes pentes de la topographie ;
- Le point haut correspond au relief de la Bosse. Les eaux sont drainées de part et d'autre de ce relief, et viennent alimenter les cours d'eau en fond de talweg ;
- La carrière de Beauvoir vient drainer le versant septentrional de La Bosse.

#### 2.4.2. Réseau piézométrique de la carrière de Beauvoir

Il existe sur le site de la carrière de Beauvoir un réseau piézométrique composé (Cf. Figure 27) :

- De 6 piézomètres, d'une profondeur comprise entre 16 et 33 m, crépinés sur toute leur hauteur. Pz1 a été créé dans les micaschistes, Pz2 et Pz3 dans le granite de Beauvoir et Pz4, Pz5 et Pz6 dans le granite des Colettes ;
- Le puits Marion, d'une profondeur de 4,2 m implanté au droit des micaschistes, est également suivi.

Les piézomètres sont suivis manuellement. Nous disposons de mesures entre le 29/08/16 et le 02/10/17, ainsi que d'une campagne piézométrique réalisée par Mica Environnement en avril 2017 (étude réalisée dans le cadre de l'extension de la carrière).

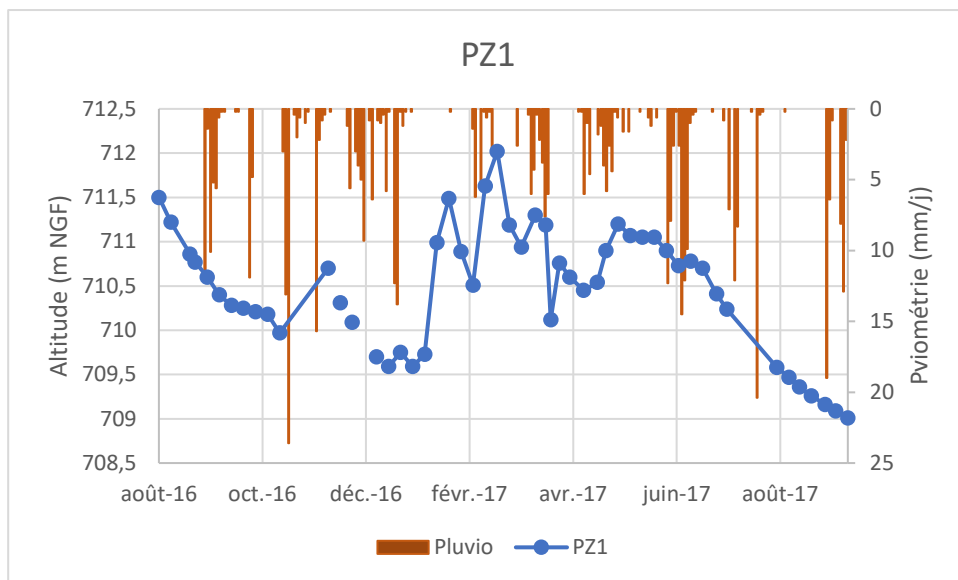
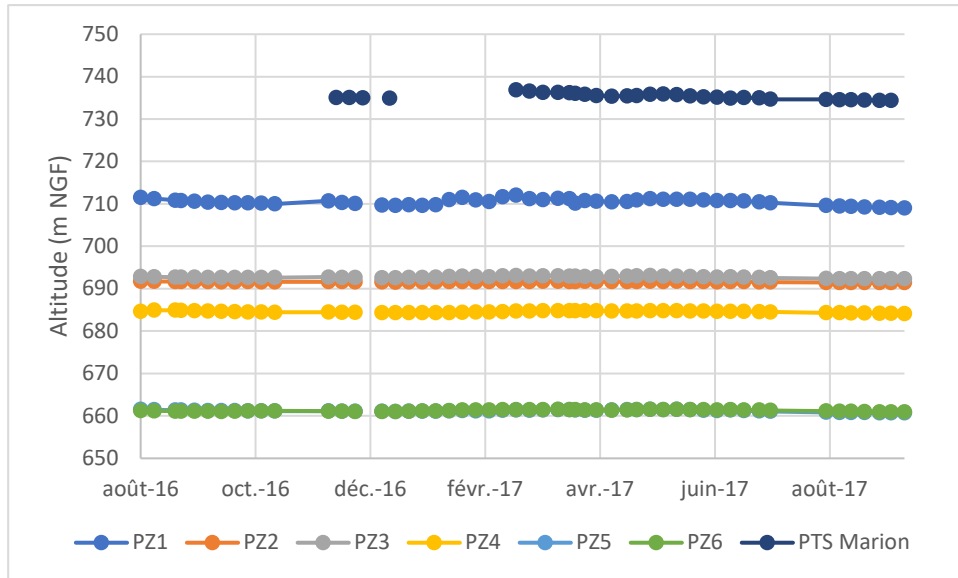
Ces mesures ont été comparées à celles réalisées par ANTEA le 09/05/22 :

- Nous constatons un écart sur l'altitude des différents repères de l'ordre de 0,76 à 5,6 m. Nous avons relevé les piézomètres IMERYS à l'aide de notre géomètre. L'erreur sur les mesures était acceptable. Celle réalisée sur le puits Marion a été réalisée avec le GPS d'IMERYS. L'erreur de la mesure est importante en raison du couvert végétal ;
- Nous n'avons pas modifié à ce stade les mesures fournies par IMERYS. Un nouveau contrôle des altimétries sera réalisé.

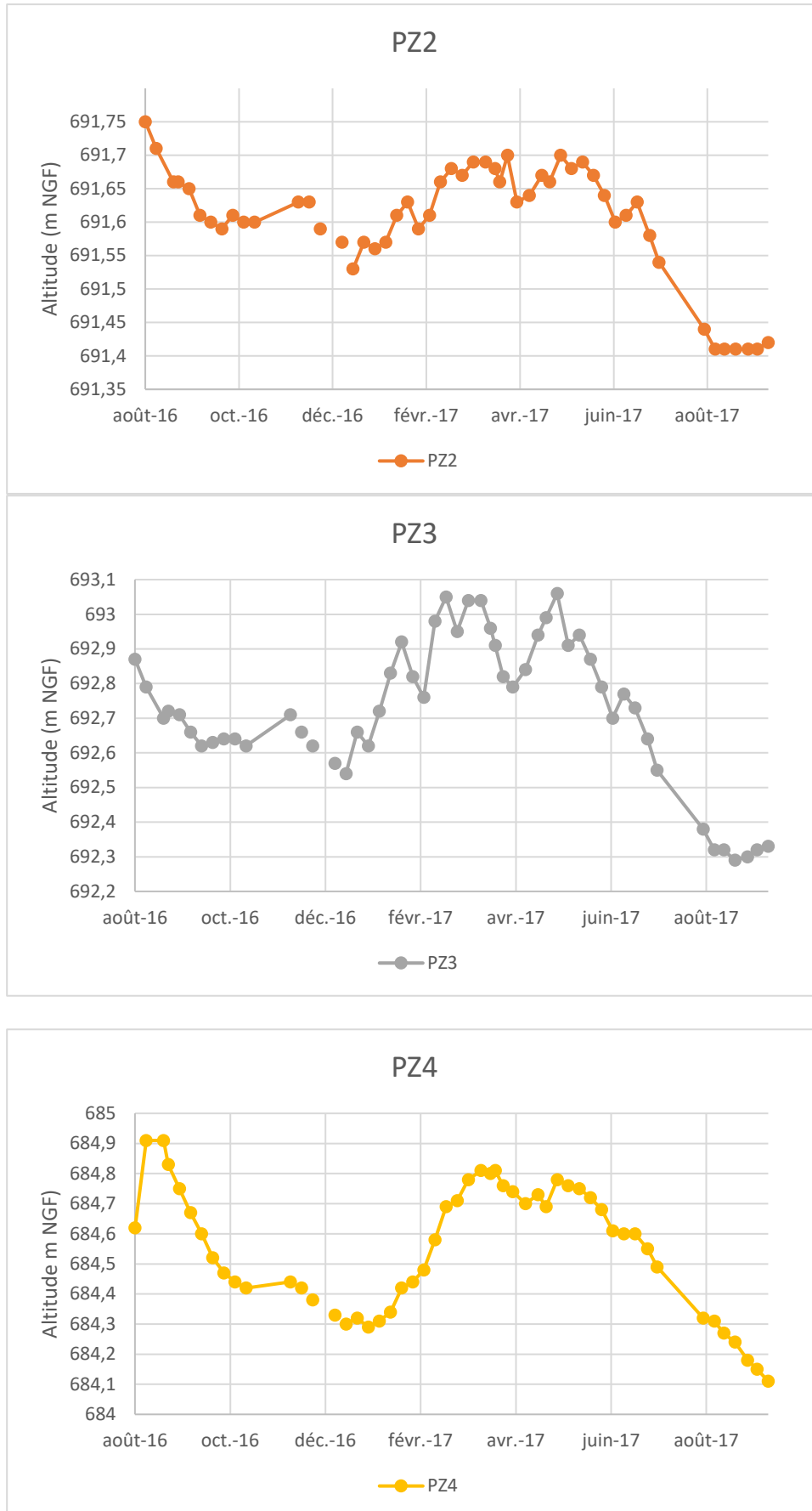
Remarque : nous avons corrigé les valeurs en date du 13/04/2017 qui montraient un décalage de 1 m par rapport aux mesures habituelles (uniquement les piézomètres). De même, nous avons supprimé la dernière mesure sur le puits Marion qui était anormalement élevée.

Mesures ANTEA du 09/05/22	Puits Marion	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Formation à l'affleurement	Micaschistes		Granite de Beauvoir		Granite des Colettes		
Profondeur (m) des ouvrages	4,23	33,1	16,23	32,48	22,07	32,07	22,95
Profondeur niveau d'eau (m)	3,42	24,25	10,55	17,24	11,69	22,59	19,48
Cote du repère mesurée par Antea (m NGF)	744,1	736,45	703,9	711,46	697,26	684,11	672,75
Cote de la nappe (m NGF)	740,68	712,2	693,35	694,22	685,57	661,52	653,27
Chronique 29/08/16 à 02/10/17	Puits Marion	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6
Cote du repère mesurée sur IMERYS (m NGF)	738,5	734,9	702,6	710	696,5	683,1	671,6
<b>Erreur potentielle sur la cote des repères (cote IMERYS - cote ANTEA)</b>	<b>-5,6</b>	<b>-1,55</b>	<b>-1,3</b>	<b>-1,46</b>	<b>-0,76</b>	<b>-1,01</b>	<b>-1,15</b>
Valeur min. observée sur la période 2016/2017 (m NGF)	734,4	709,01	691,41	692,29	684,11	660,68	660,88
Valeur max. observée sur la période 2016/2017 (m NGF)	736,9	712,02	691,75	693,06	684,91	661,53	661,49
Marnage maximal connu (m)	2,5	3,01	0,34	0,77	0,8	0,85	0,61
Valeur min. observée sur l'année 2016 (m NGF)	735,02	709,97	691,59	692,62	684,38	661,08	660,98
Valeur max. observée sur l'année 2016 (m NGF)	735,07	711,5	691,75	692,87	684,91	661,51	661,21
Marnage de l'année 2016 (m)	0,05	1,53	0,16	0,25	0,53	0,43	0,23
Valeur min. observée sur l'année 2016 (m NGF)	734,4	709,01	691,41	692,29	684,11	660,68	660,88
Valeur max. observée sur l'année 2016 (m NGF)	736,9	712,02	691,7	693,06	684,81	661,53	661,49
Marnage de l'année 2016 (m)	2,5	3,01	0,29	0,77	0,7	0,85	0,61

Tableau 2 : Données piézométriques disponibles sur le réseau de surveillance IMERYS









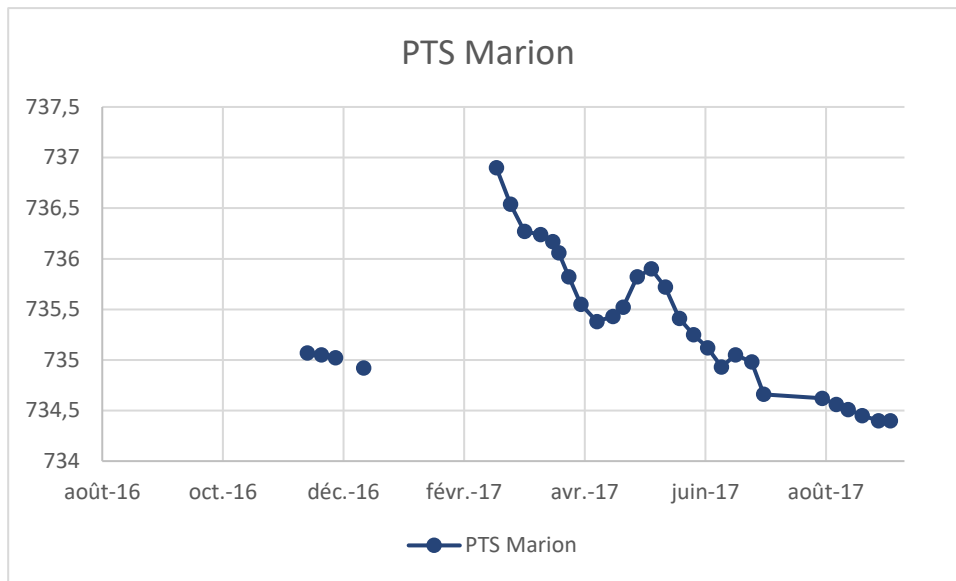


Figure 26 : Chroniques piézométriques entre le 29/08/16 et le 25/09/17

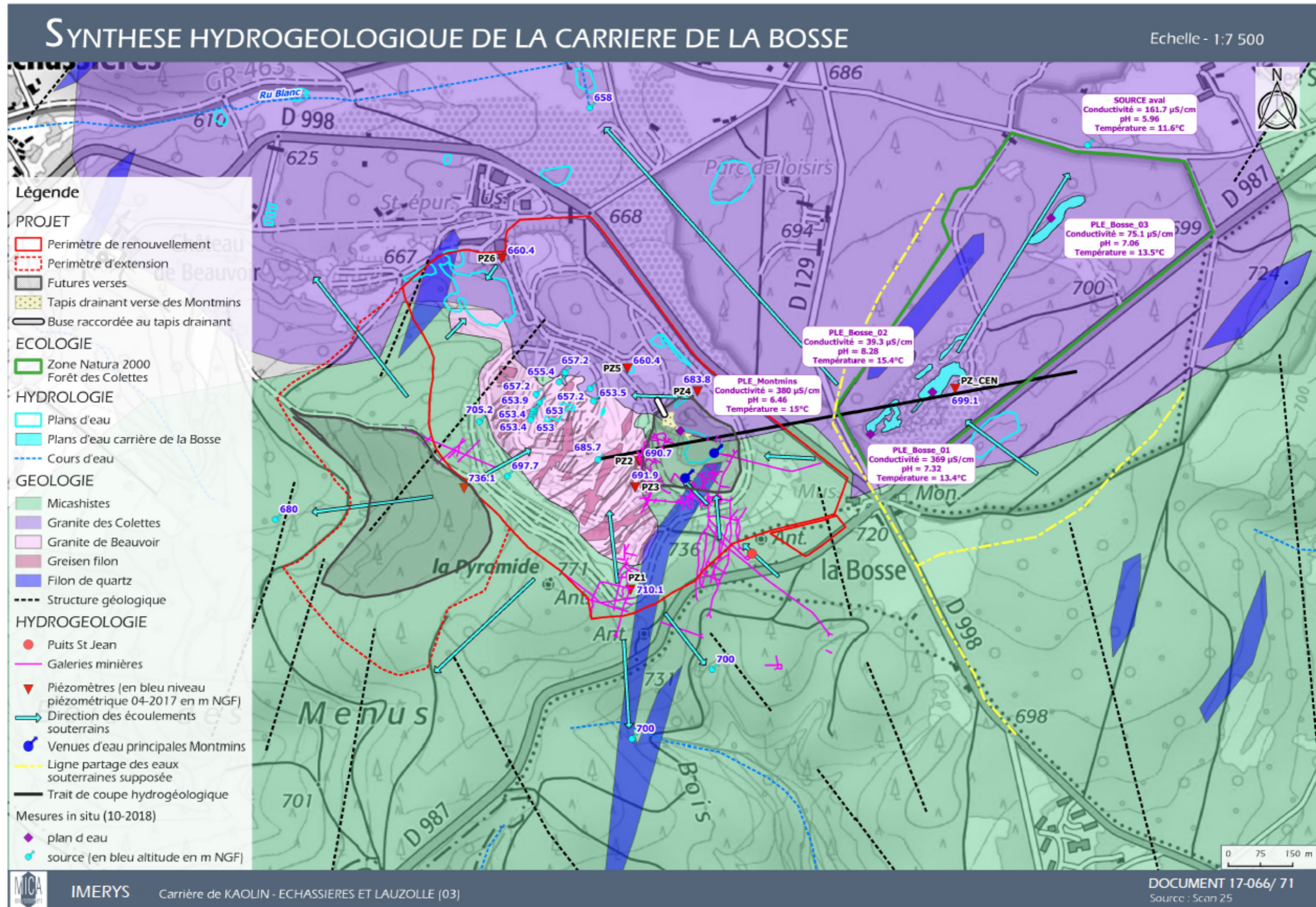


Figure 27 : Carte piézométrique d'avril 2017 (MICA Environnement)

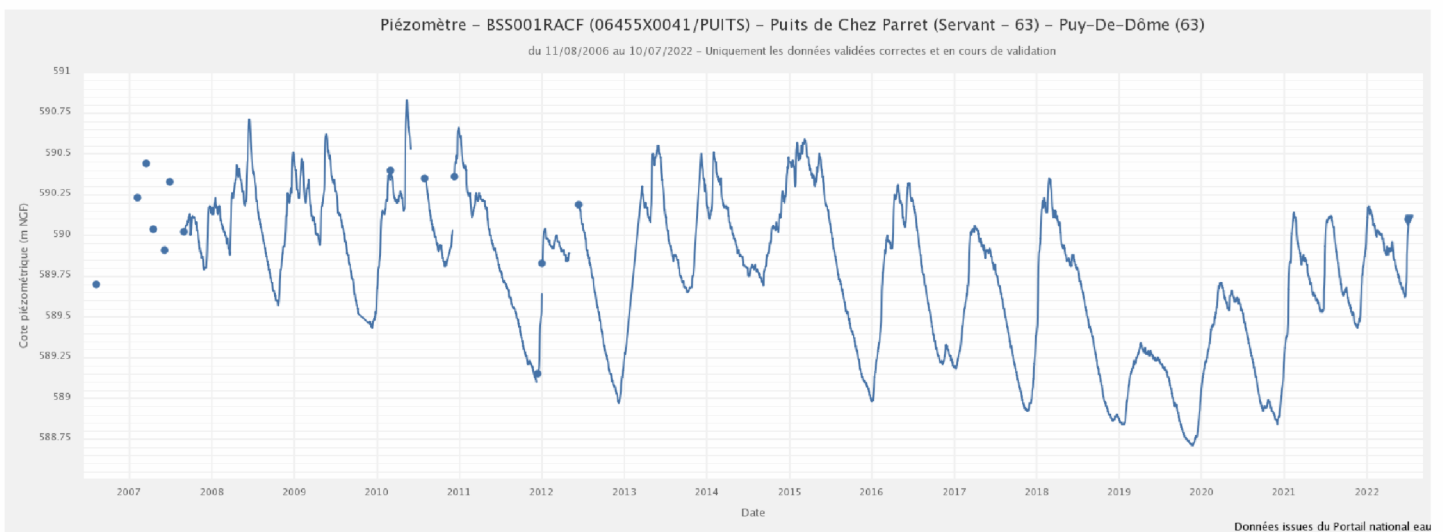
Les chroniques piézométriques (Cf. Figure 26) illustrent les périodes de tarissement et de recharge de la nappe :

- La période de plus basses eaux est observée en décembre / janvier. Les niveaux d'eau observés en octobre 2016 ne sont pas les plus bas ;
- La période de plus hautes eaux est observée en mars/avril, et/ou en mai /juin, suivant les ouvrages ;
- Le marnage de la nappe est variable d'un ouvrage à l'autre. Il est maximal sur le puits Marion et Pz1 (2,5 et 3,01 m) qui captent tous les deux les micaschistes. Le marnage de la nappe serait plus faible au sein des granites (0,34 à 0,85 m) ;
- Les gradients hydrauliques entre les ouvrages sont très élevés (6 à 11,5%) ce qui reflète de faibles perméabilités.

Le marnage plus important observé sur les micaschistes suggère qu'il s'agit d'un aquifère de moins bonne capacité régulatrice par rapport aux granites, qui s'expliquerait par les nombreuses fissures ouvertes affectant les micaschistes.

### 2.4.3. Données ADES<sup>5</sup>

Nous disposons également d'un puits implanté sur la commune de Servant, au lieu-dit « Chez Parret », à environ 4 km au sud-ouest de la carrière. Il s'agit d'un puits de 6 m de profondeur qui capte l'aquifère des micaschistes. Il est suivi par le BRGM depuis 2008.



**Figure 28 : Chronique piézométrique du puits Chez Parret (Servant) – Source ADES**

Cette chronique confirme ce que l'on a observé précédemment, à savoir des périodes de basses eaux observées en fin d'année (fin novembre/début décembre), et des périodes de hautes eaux en mars ou fin mai/début juin. La fluctuation annuelle de la nappe est de l'ordre de 1 à 1,5 m suivant les années.

La chronique montre également une baisse générale des niveaux d'étiage entre 2008 et 2019. A partir de 2019, les niveaux semblent à nouveau augmenter (à confirmer en fin d'année).

<sup>5</sup> Accès aux Données sur les Eaux Souterraines (ADES)

## 2.5. Qualité des eaux souterraines

D'après les investigations menées en 2014 par Renaud, les eaux souterraines présentent un faciès de type chloruré plus ou moins sodique, typique des eaux drainant une lithologie granitique (Cf. Figure 30). Les minéralisations des eaux sont très faibles (40 à 367  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) et les pH acides (4,7 à 7,2).

L'analyse des concentrations en métaux a permis de différencier les eaux en fonction des lithologies traversées. Les eaux ayant circulées dans le granite de Beauvoir sont enrichies en rubidium (Rb) et en lithium (Li). Certaines eaux situées au niveau des micaschistes, au sud de la coupole granitique, possèdent des concentrations anormalement importantes en lithium (Cf. Figure 29). Il pourrait s'agir d'eaux ayant circulées au sein du granite de Beauvoir et qui seraient remontées via des failles dans les micaschistes.

Les filons de quartz sont, quant à eux, enrichis en tungstène.

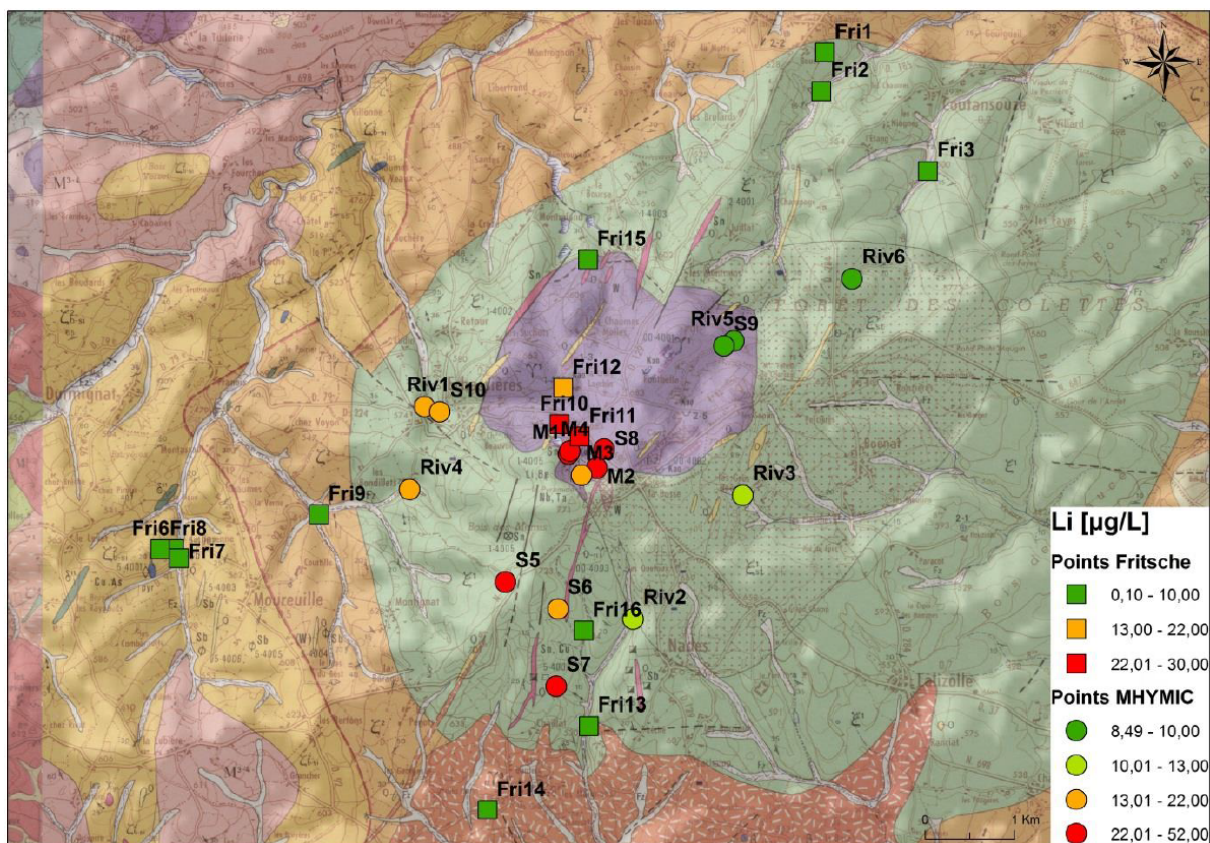


Figure 29 : Carte de répartition des concentrations en lithium (RENAUD, 2014)

Le rapport isotopique du strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  est lui également un bon indicateur pour le granite de Beauvoir.

A

### Diagramme de Piper

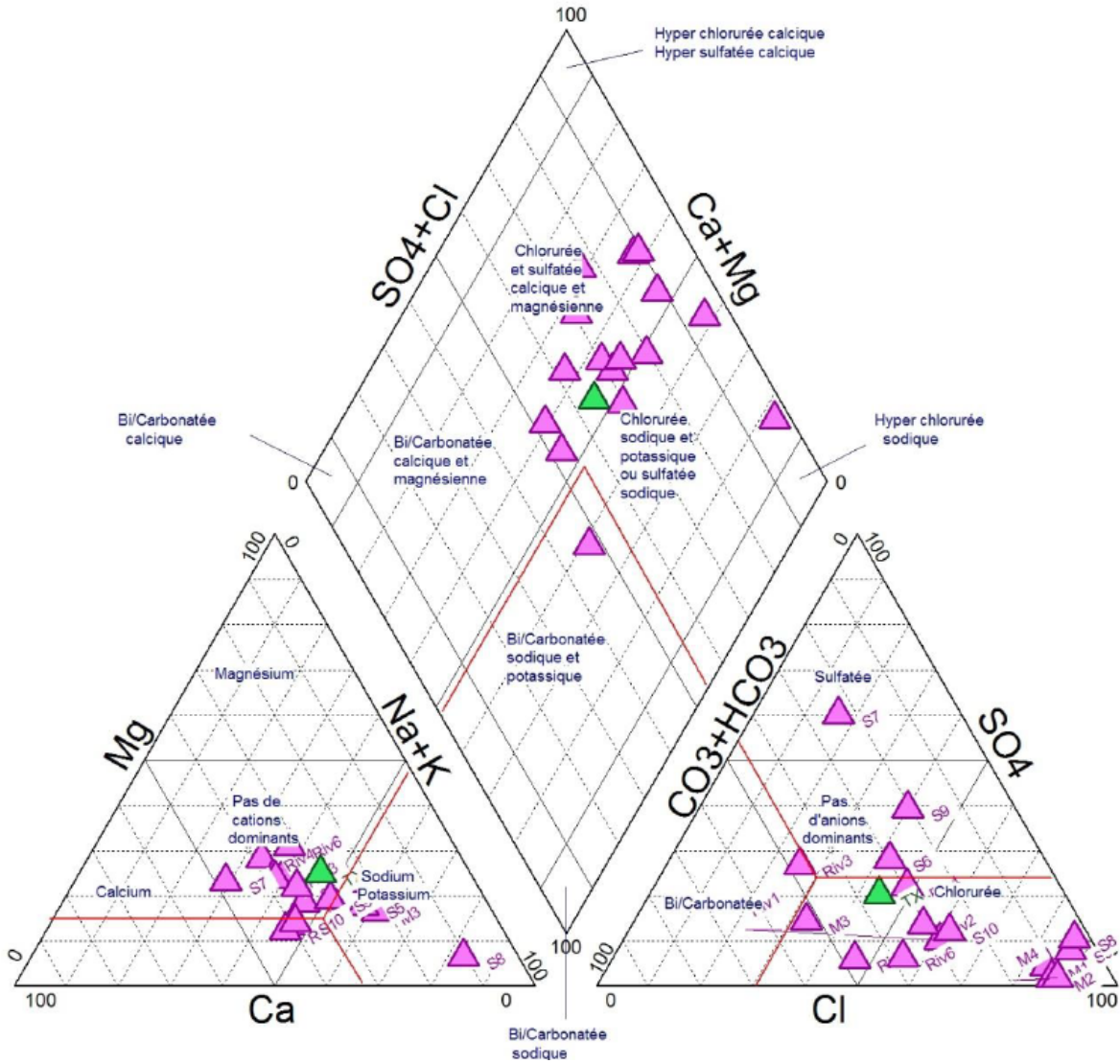


Figure 30 : Diagramme de Piper (RENAUD, 2014)

## 3. Contexte hydrologique

### 3.1. Cours d'eau

La zone d'étude se trouve dans le bassin versant de la Sioule. Cependant, la topographie (le point haut de la Bosse), partage les écoulements entre la Sioule au sud et la Bouble au nord. Le réseau hydrographique est assez dense car de nombreux ruisseaux sont présents dans la zone d'étude.

Le bassin versant de la Sioule représente une superficie de 2 559 km<sup>2</sup>. Elle prend sa source dans le département du Puy de Dôme en bordure des massifs des Monts Dore, puis se jette dans l'Allier au niveau de la commune de Contigny. La Sioule s'écoule à 8,6 km au sud d'Echassières. Ces principaux affluents dans la zone d'étude sont :

- La Gourdonne ;
- Le ruisseau de la Cèpe ;
- Le ruisseau de la Guelle ;
- La Veauce.

La Bouble possède un bassin versant qui représente une superficie de 578 km<sup>2</sup>. Elle prend naissance également dans le département du Puy de Dôme, au sein de la commune de Gouttières, puis elle se jette en rive gauche de la Sioule. Elle s'écoule à 3,8 km au nord d'Echassières. Les principaux affluents de la Bouble présents sur la zone d'étude sont :

- Ruisseau d'Echassières, affluent de la Bouble ;
- Le Ru blanc prend source au hameau de la Croix Lambin avant de rejoindre le ruisseau d'Echassières ;
- Le ruisseau du Moulinet ;
- Le ruisseau Belon ;
- Le ruisseau la Plaine ;
- Le ruisseau du Boulblon.

Le régime hydrologique de la Sioule est de type évapo-pluvial, avec des hautes eaux de novembre à mai, et des basses eaux de juin à octobre. La station hydrométrique la plus proche de la zone d'étude se situe à Ebreuil (14 km au sud-est d'Echassières).

La Figure 31 indique les débits moyens mensuels. Le module (débit moyen) est de 19,5 m<sup>3</sup>/s. Il y a également une station hydrométrique sur la Bouble à Chareil-Cintrat, le module correspond à 3,68 m<sup>3</sup>/s (Cf. Figure 32).

Le bassin versant de la Bouble est composé principalement de socle granitique qui ne permet pas un grand stockage de l'eau. Ainsi, les étiages sur la Bouble sont sévères car peu de ressources en eau sont disponibles en été.

Les anciennes exploitations de kaolin ont laissé de nombreux plans d'eau à proximité de la carrière dont le lac de la Bosse. Ce lac est alimenté par les venues d'eau souterraines depuis le fond des fosses (niveau artésien). L'étude du BRGM en 1981 indique qu'il existe un trop plein de mars à juin/juillet, associé à un débit de 4 l/s. Les points bas drainent les écoulements de surface. On retrouve les plans d'eau suivants à l'échelle de la carrière :

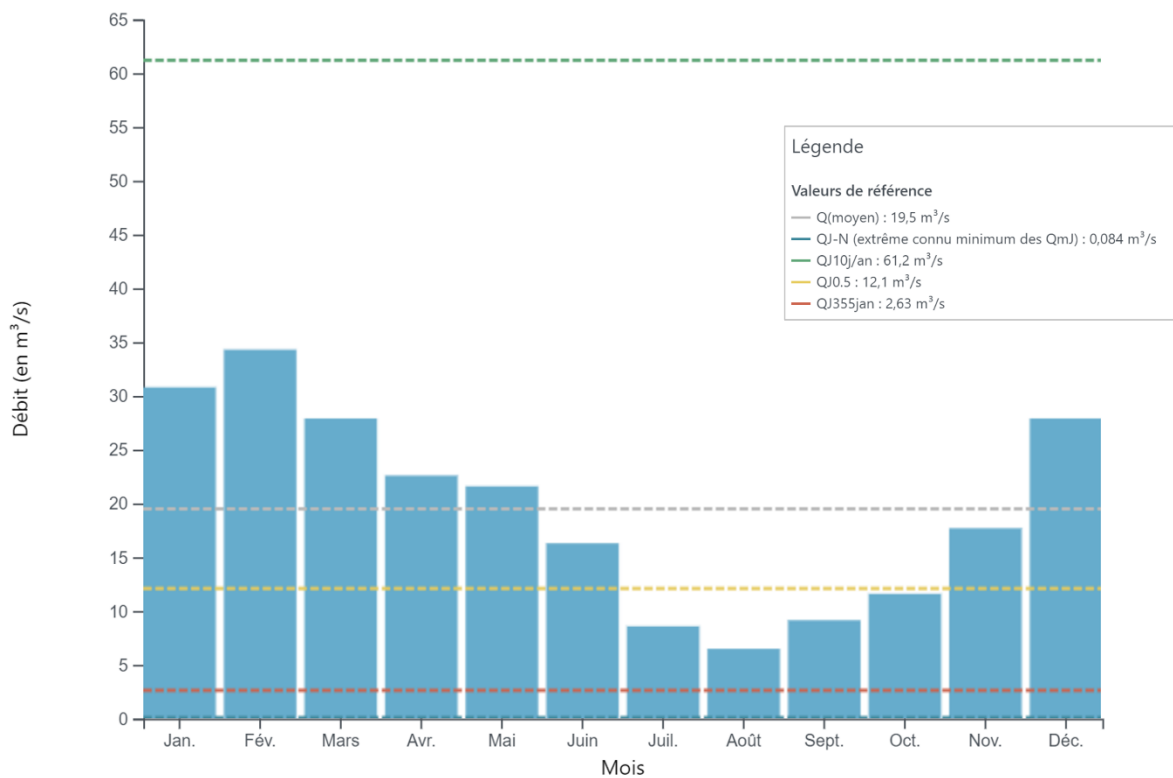
- Le lac des Montmins : collecte les eaux au sein de son impluvium et constitue un exutoire d'anciennes galeries d'exploitation ;



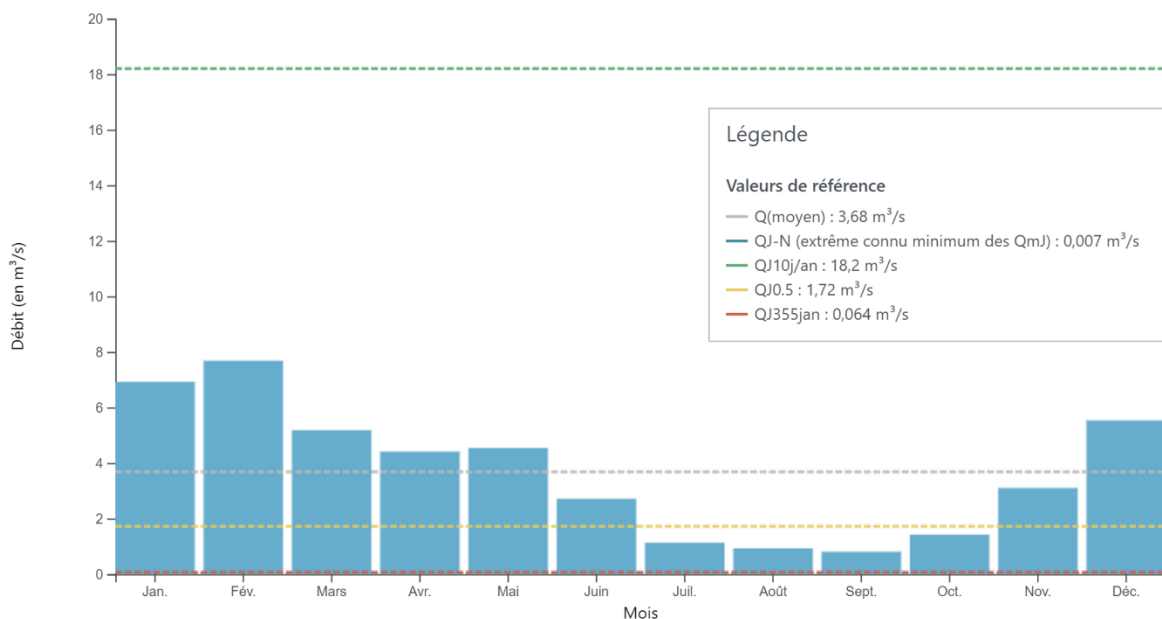
- Le lac de Beauvoir : collecte les eaux d'exhaure de la carrière et le trop-plein du lac des Montmins.

La qualité des cours d'eau indique les éléments suivants :

- **Station de la Boucle à Echassières (04041800)** : l'état écologique est moyen de 2008 à 2020, sauf exception où l'état est bon en 2007 et 2012. L'état chimique des eaux superficielles est bon en 2019, 2018 et 2015. Des pesticides ont été quantifiés en 2019, 2018, 2015 et 2011. Les plus fortes concentrations ont été retrouvées en 2015 (0,88 µg/L). Depuis, la tendance est à la diminution avec 0,05 µg/L en 2019. De plus, de l'arsenic est quantifié entre 5,83 µg/L et 7,16 µg/L ;
- **Station de la Sioule à Jenzat (04041900)** : l'état écologique de cette station est moyen de 2009 à 2020. L'état chimique n'a pas été calculé. Cependant, des données de pesticides sont disponibles de 2010 à 2015. Les concentrations étaient à la hausse à partir de 2014 (0,23 µg/L).



**Figure 31 : Débit moyen mensuel de la Sioule à Ebreuil sur la période 1972-2022**



**Figure 32 : Débit moyen mensuel de la Bouble à Chareil-Cintrat sur la période 1967-2022**

### 3.2. Débit spécifique des bassins versants

L'étude du BRGM de 1981 a répertorié 15 bassins versants aux alentours de la zone d'étude (Cf. Figure 33), 8 appartiennent au bassin de la Bouble et 7 au bassin de la Sioule. Les bassins versants ont été tracés en prenant en compte la topographie et la ligne de partage des eaux superficielles. Ils ont été fermés à la station de jaugeage. Les jaugeages ont été réalisés de mars à septembre 1980 (Cf. Tableau 3) :

- Les débits spécifiques totaux sont compris entre 4,7 et 12 l/s/km<sup>2</sup> ;
- En période d'étiage, les débits spécifiques sont compris entre 1,6 et 7 l/s/km<sup>2</sup>. Cette valeur renseigne sur la productivité des aquifères car on peut considérer qu'en l'absence de précipitations, les cours d'eau sont alimentés exclusivement par les eaux souterraines ;
- Nous ne constatons pas de différence significative entre les micaschistes et les granites.

**Tableau 3 : Débits des bassins versants de l'étude du BGRM de 1981**

Nom du bassin versant (BV)	Formation dominante à l'affleurement	Q (l/s) Débit total*	Qs (l/s/km <sup>2</sup> ) – Débit spécifique	Qb (l/s) Débit d'étiage**	Qsb (l/s/km <sup>2</sup> ) Débit spécifique d'étiage
Gourdonne – J1	Micaschistes	21	6,4	7	2,1
Chaillat – J2	Micaschistes	4	5	1,5	1,8
Verne – J3	Micaschistes	10,5	7	4,5	3
Fontcouvert – J4	Micaschistes	9	11,2	3,6	4,3
Ru blanc – J5	Granites	14,5	7,2	6	3
Mazet – J7	Granites/Micaschistes/Gneiss	29	<b>4,7</b>	10,5	1,9
Belon – J8	Granites/Micaschistes	32	<b>12,7</b>	18	4
Plaine – J9	Micaschistes	25	7,3	9	2,6
Moulinet – J10	Micaschistes	35	6,3	9	1,6
Fayes – J11	Micaschistes	11,5	6,3	2,5	<b>1,3</b>
Boenat – J12	Micaschistes	26	8,1	9,5	3
Percières – J13	Micaschistes	12	9,2	4	2,6
Guelle – J14	Micaschistes	8	10	2,5	3,1
Quefoux – J15	Micaschistes	15	12,5	8,5	<b>7</b>
Cepe – J16	Micaschistes	54	8,5	26	4,1

\* Moyenne des débits mesurés entre mars et septembre

\*\* Moyenne des débits mesurés entre juin et septembre

Bassins versants à dominante granitique à l'affleurement

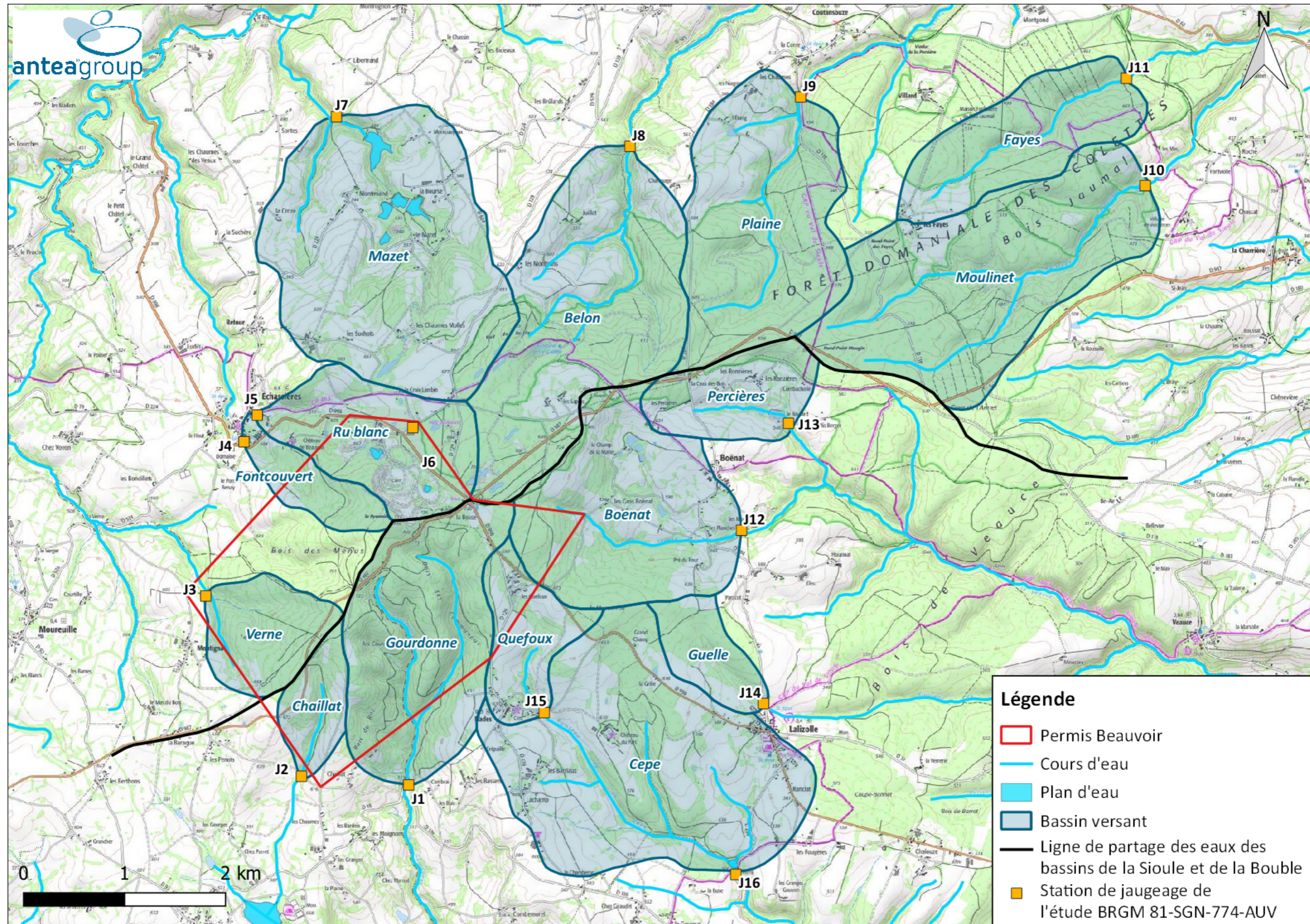


Figure 33 : Localisation des bassins versants et des stations de jaugeage de l'étude du BRGM

## 4. Bilan hydroclimatique

### 4.1. Données météorologiques

Le calcul du bilan hydrique a été calé sur les données hydroclimatiques journalières de 2012 à 2022 (pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle -ETP- calculée au point de grille le plus proche) de la station Météo-France d'Echassières, située à une altitude de 650 m.

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
<b>P (mm)</b>	71,6	47,3	54,0	64,8	92,6	89,1	51,1	59,6	67,4	61,5	66,1	64,7	<b>789,8</b>
<b>ETP (mm)</b>	15,5	26,9	53,8	79,1	94,9	123,8	147,1	132,7	86,2	43,9	22,0	19,2	<b>845,1</b>

*ETP : Quantité d'eau susceptible d'être prélevée par la végétation et l'évaporation en mm*

La pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 790 mm et l'évapotranspiration potentielle interannuelle est de 845 mm. Les mois les plus pluvieux sont les mois de mai et de juin, pour lesquels la pluviométrie dépasse 80 mm, tandis que les mois de février et de mars sont les plus secs, avec des pluviométries moyennes de l'ordre de 50 mm.

Les mois où l'évapotranspiration potentielle est la plus élevée correspondent à la saison estivale (mai à septembre), avec une moyenne de l'ordre de 117 mm. Durant cette période, l'ETP est supérieure aux précipitations.

### 4.2. Estimation du bilan hydrique par la méthode de Thornthwaite

A partir de ces données brutes et de la méthode de Thornthwaite, nous avons calculé un bilan hydrique mensuel permettant d'évaluer la pluie efficace, correspondant aux lames d'eau susceptibles d'alimenter l'hydrosystème.

#### 4.2.1. Rappel méthodologique

Un bilan hydroclimatique sur un bassin versant consiste à dresser le bilan des entrées et des sorties d'eau de ce système. Il peut se résumer par la relation suivante :

$$P = ETR + P_{\text{eff}}$$

Avec :

P = Précipitations totales (mm),

ETR = Evapotranspiration réelle (mm),

$P_{\text{eff}}$  = Pluie efficace (mm) qui correspond à la somme de R (ruissellement) + I (infiltration).

P constituant le terme entrant (E) et ETR, I et R constituant les termes sortants (S), ce bilan peut se révéler :

- Equilibré, si  $(E) = (S)$  ;
- Déficitaire, si  $(E) < (S)$ , ce qui se traduira par un appauvrissement de la réserve globale en eau ;
- Ou enfin excédentaire, si  $(E) > (S)$ , ce qui permettra une recharge de l'aquifère.

Le calcul du bilan hydroclimatique nécessite en premier lieu d'estimer l'évapotranspiration réelle (ETR). Celle-ci se détermine à partir des valeurs mensuelles d'ETP et de la pluviométrie P (méthode de Thornthwaite).

Nous admettons que les premières couches du sol et du sous-sol contiennent un stock optimum d'eau (soit la portion de réserve hydrique mobilisable, RFU) qu'il faut reconstituer avant qu'il puisse y avoir ruissellement, et dont une partie est mobilisée par l'ETP en cas de déficit pluviométrique.

Plusieurs cas de figures se posent :

- Si  $P > ETP$ , on admet qu'il y a suffisamment d'eau disponible, et dès lors  $ETR=ETP$  ;
- Si  $P < ETP$ , on admet que toute la pluie est reprise par l'évaporation. La valeur d'ETR se situera alors entre la valeur d'ETP (valeur maximale), et la valeur des précipitations (valeur minimale). C'est ensuite la réserve hydrique mobilisable stockée dans le sol, la RFU, qu'il faut estimer et qui déterminera la valeur définitive de l'ETR.

La RFU dépend des caractéristiques du sol. Sa « capacité » a été fixée ici à une valeur moyenne de 50 mm, valeur identique au bilan hydrique de l'étude du BRGM. A noter que les résultats du bilan hydrique sont provisoires car certaines variables (RFU, Kc) pourraient être modifiées lors du calage du modèle.

A partir des valeurs de P et de RFU, sont calculées des valeurs de pluie efficace ou débit d'écoulement Q et Q3, exprimées en mm et en l/s/km<sup>2</sup>.

Le débit Q (mm) est calculé sur la base des précipitations et de la RFU du mois (m-1).

Le débit Q3 (mm) est calculé en répartissant sur 3 mois la pluie efficace en additionnant 50 % de l'écoulement du mois (m0), 30 % de l'écoulement du mois précédent (m-1) et 20 % de l'écoulement d'il y a deux mois (m-2).

Enfin, le débit spécifique Qs (l/s/km<sup>2</sup>) traduit la valeur de débit Q rapportée à la surface du bassin versant. Il est estimé de la manière suivante :

$$Q_s = \frac{Q_3 \times 10^6}{(nb \text{ jours dans le mois}) \times 24 \times 3600}$$

Il correspond à la quantité d'eau réellement disponible pour le ruissellement et l'alimentation de l'aquifère.

## 4.2.2. Estimation de la pluie efficace et du bilan hydrique

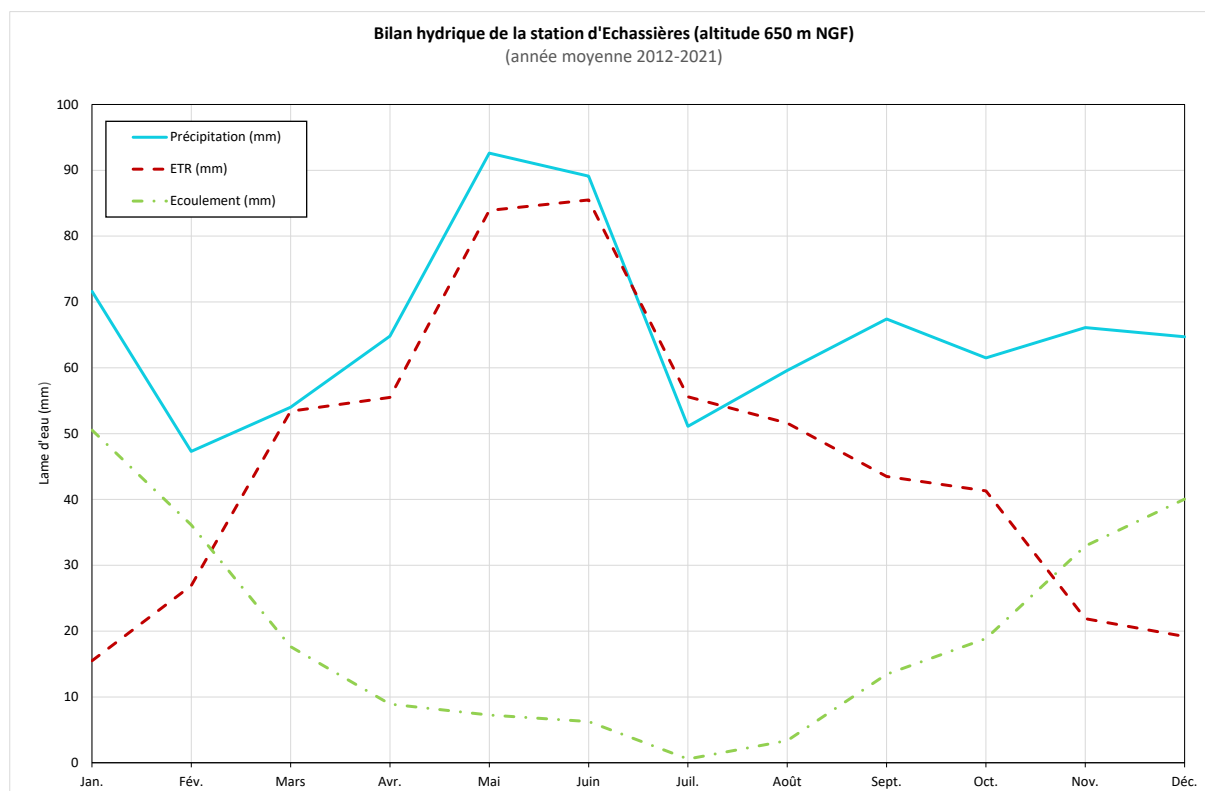
Le bilan hydrique mensuel de la zone d'étude, calculé par la méthode de Thornthwaite, est reporté dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 4 : Bilan hydrique moyen de 2012-2021**

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
P (mm)	71,6	47,3	54	64,8	92,6	89,1	51,1	59,6	67,4	61,5	66,1	64,7	<b>789,8</b>
ETP (mm)	15,5	26,9	53,8	79,1	94,9	123,8	147,1	132,7	86,2	43,9	22	19,2	<b>845,1</b>
ETR (mm)	15,5	26,9	53,4	55,5	83,9	85,5	55,6	51,6	43,5	41,3	21,9	19,2	<b>553,8</b>
P efficace (mm)	56,1	20,4	0,6	9,3	8,7	3,6	0,0	8,0	23,9	20,2	44,2	45,5	<b>240,5</b>
Q3 (mm)	50,5	36,1	17,6	8,9	7,3	6,3	2,8	4,7	14,4	18,9	32,9	40,1	<b>240,5</b>
Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
Qs (l/s/km <sup>2</sup> )	18,9	14,9	6,6	3,4	2,7	2,4	1,1	1,8	5,5	7,0	12,7	15,0	<b>7,7</b>

Pour une année pluviométrique moyenne sur la période comprise entre 2012 et 2021, la pluie efficace annuelle moyenne est d'environ 240 mm. A cette lame d'eau, il faut faire la part de ce qui ruisselle et de ce qui s'infiltre vers les nappes. La pluviométrie moyenne interannuelle est de l'ordre de 790 mm/an. L'évapotranspiration réelle interannuelle est de 554 mm.

Le débit spécifique moyen interannuel sur le bassin versant s'établit à environ 7,7 l/s/km<sup>2</sup>.



**Figure 34 : Evolution de la pluviométrie, de l'ETR et des écoulements**

Le graphique ci-dessus représente, sur un cycle hydroclimatique moyen, l'évolution de la pluviométrie, de l'évapotranspiration réelle et de l'écoulement d'eau (somme du ruissellement et de l'infiltration).

Les pluies sont prédominantes pendant les mois de mai et juin, mais l'écoulement n'est pas le plus important durant cette période. L'évapotranspiration a intercepté une forte proportion de la précipitation, ce qui engendre une faible quantité de pluie efficace. La période hivernale est plus propice à l'alimentation de l'aquifère et au ruissellement.

**Nous retiendrons un débit spécifique moyen de l'ordre de 7,7 l/s/km<sup>2</sup>, qui se répartira entre ruissellement et infiltration.**

Les résultats du bilan hydrique de l'étude du BGRM de 1981 ont montré que sur la période de 1975-1979, les valeurs annuelles de pluie efficace représentaient en moyenne 40% de la précipitation. Cette valeur diminue sur la période de 2012-2021 et représente 30% de la précipitation.

### 4.3. Estimation de la capacité de ruissellement et recharge de l'aquifère

La pluie efficace calculée ci-dessus peut également s'exprimer par :

$$P_{\text{eff}} = R + I$$

Avec  $P_{\text{eff}}$  = pluie efficace (mm)  
 R = ruissellement de surface (mm)  
 Et I = infiltration (mm)

Le ruissellement s'appliquant sur un bassin versant s'exprime par :

$$R = Cr \times P$$

Avec P = précipitations totales (mm)  
 Et Cr = coefficient de ruissellement (%)

Le coefficient de ruissellement est fonction de la pente, de la nature du sol (sableux, argileux, limoneux...), de la couverture (prairies, forêts, zones urbaines...) du bassin versant. D'après les caractéristiques des bassins versants : pente moyenne de 9%, présence dominante de forêts et de prairies, sol argileux..., le Cr a été estimé à 30 %.

**Tableau 5 : Estimation de la recharge mensuelle des nappes pour une année moyenne sur la période 2012-2021**

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
<b>P efficace (mm)</b>	<b>50,5</b>	<b>36,1</b>	<b>17,6</b>	<b>8,9</b>	<b>7,3</b>	<b>6,3</b>	<b>2,8</b>	<b>4,7</b>	<b>14,4</b>	<b>18,9</b>	<b>32,9</b>	<b>40,1</b>	<b>240,5</b>
<b>Ruissellement (mm)</b>	15,7	11,2	5,5	2,8	2,3	1,9	0,9	1,5	4,4	5,8	10,2	12,4	<b>74,6</b>
<b>Recharge des nappes (mm)</b>	34,9	24,9	12,2	6,1	5,0	4,3	1,9	3,3	9,9	13,0	22,7	27,6	<b>165,9</b>
Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
<b>Recharge des nappes (l/s/km<sup>2</sup>)</b>	13,0	10,3	4,5	2,4	1,9	1,7	0,7	1,2	3,8	4,9	8,8	10,3	<b>5,3</b>



On estime qu'en moyenne, la lame d'eau qui participe à la recharge des nappes représente environ 165 mm /an, soit un débit spécifique moyen de 5,3 l/s/km<sup>2</sup>.

#### 4.4. Débit potentiel des bassins versants

Le Tableau 6 présente l'estimation de la recharge potentielle pour chaque sous-bassin versant hydrologique.

**Tableau 6 : Estimation de la recharge potentielle des nappes par sous-bassin versant pour une année hydrologique moyenne sur la période 2012-2021**

BASSIN VERSANT		Recharge potentielle des nappes (m <sup>3</sup> /an)
Nom	Superficie (km <sup>2</sup> )	
Belon – J8	4,46	744 693
Chaillat – J2	0,67	112 342
Fontcouvert – J4	0,69	116 006
Guelle – J14	0,77	128 373
Quefoux – J15	1,12	187 115
Percières – J13	1,26	210 126
Fayes – J11	2,01	336 201
Gourdonne – J1	3,39	565 877
Boenat – J12	3,48	581 048
Plaine – J9	3,70	618 645
Moulinet – J10	4,74	791 835
Mazet – J7	5,38	899 434
Cepe – J16	5,49	917 509
Verne – J3	1,15	192 153
Ru blanc – J5	2,07	346 234
<b>Total des 15 BV</b>	<b>40,37</b>	<b>6 747 590</b>

**D'après le bilan hydrique, sur la totalité de la superficie des 15 bassins versants (40,4 km<sup>2</sup>), le volume de recharge des aquifères serait de l'ordre de 6,7 millions de m<sup>3</sup> /an.**

L'estimation faite par Belkessa pour une année hydrologique de 1979-1980 avait été estimée à 17,7 millions de m<sup>3</sup>/an, soit plus du double. Cette différence de résultats pourrait s'expliquer par un changement de conditions naturelles entre l'année 1979-1980 et la période 2012-2021 (variation des précipitations, changement climatique, ...).

## 5. Résultats des investigations de terrain (Juillet 2022)

### 5.1. Les eaux souterraines

#### 5.1.1. Piézométrie

Des mesures piézométriques ont été réalisées le 09/05/2022. La Figure 35 montre la localisation des mesures et les cotes associées. Les cotes sont comprises entre 653,27 m et 741,23 m NGF. Les mesures sont détaillées dans le Tableau 2.

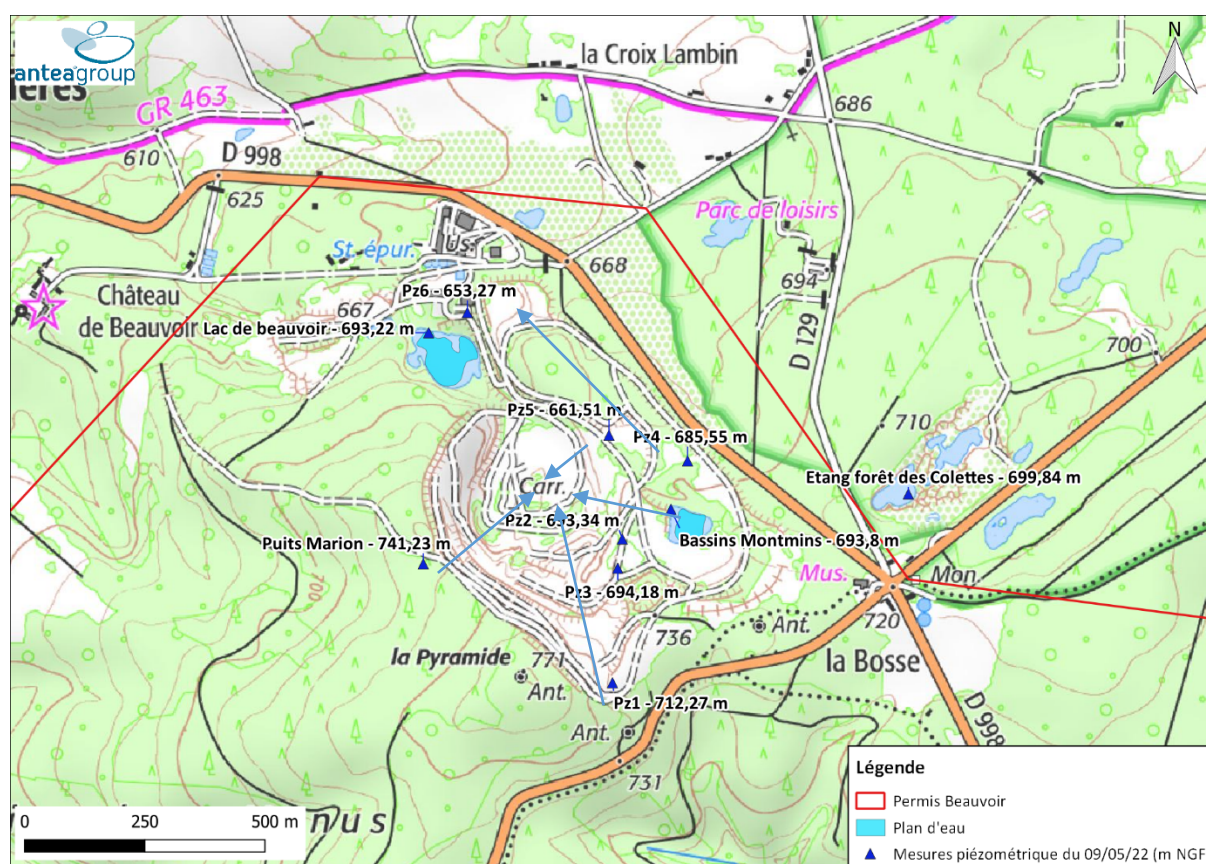


Figure 35 : Mesures piézométriques du 09/05/2022

Nous constatons :

- Au droit du granite des Colettes (Pz4, Pz5 et Pz6), les eaux souterraines s'écoulent en direction du nord-ouest ;
- A noter également la position haute du lac de Beauvoir. Ce dernier semble colmaté, il est en position haute par rapport aux piézomètres Pz6 et Pz5 ;
- Les autres piézomètres montrent un drainage vers le centre de la carrière de kaolin.

Une sonde de niveau d'eau a été mise en place dans le piézomètre Pz4, le plan d'eau des Montmins et le plan d'eau de l'étang des Colettes (Zone Natura 2000). Un essai de vidange du plan d'eau des Montmins a été réalisé le 13 mai, entre 13h30 et 15h00. Le niveau d'eau a baissé de 6 cm.

Le suivi des niveaux d'eau sur Pz4 et l'étang des Colettes est illustré par la figure ci-dessous. On constate que le niveau sur Pz4 a baissé d'environ 0,5 m sur la période considérée, et d'environ 0,1 m sur le plan d'eau. L'essai de vidange du plan d'eau des Montmins n'est pas représenté sur le graphique.

Pour que l'essai de vidange fournisse des informations intéressantes, il faudrait vidanger le plan d'eau des Montmins pendant plusieurs jours. Le jour de notre visite (le 09/05/22), le débit de vidange du plan d'eau des Montmins a été mesuré à 3,4 m<sup>3</sup>/h. Le niveau a été mesuré à la cote 693,80 m NGF. D'après le rapport bathymétrique du plan d'eau, le fond serait situé vers la cote 685,5 m NGF, il y aurait donc environ une hauteur maximale d'environ 8,3 m.

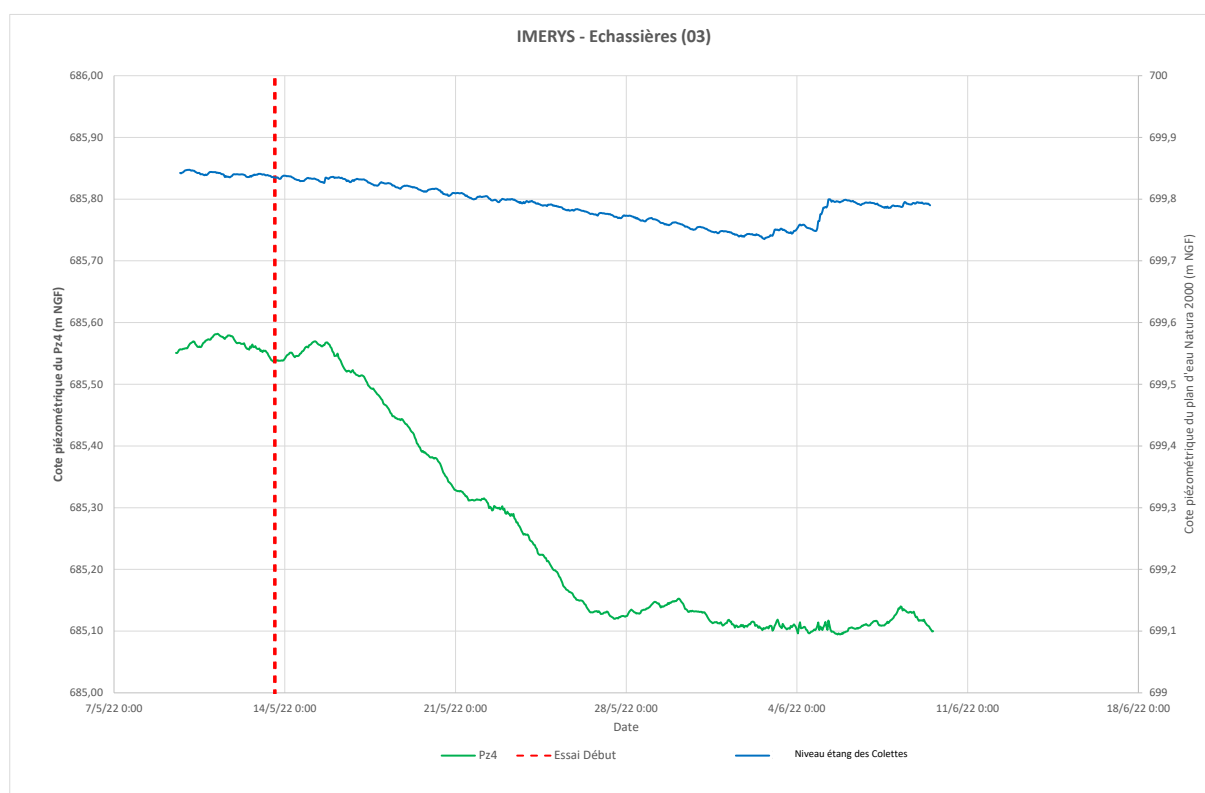


Figure 36 : Suivi du piézomètre Pz4 du 09/05 au 09/06/22

## 5.2. Les eaux superficielles

### 5.2.1. Jaugeages

Des jaugeages ont été réalisés sur la zone d'étude entre le 10 et le 11 mai 2022 (Cf. Figure 37). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les stations proviennent de l'étude hydrogéologique du BGRM de 1981. Les débits mesurés lors de la campagne de mai 2022 varient entre 0,5 et 12,4 l/s. Par rapport aux débits mesurés entre mars et septembre 1981, nous constatons une forte baisse des débits des courts d'eau, de l'ordre de 60 à 90% suivant ceux considérés.

	Visite de terrain du 10 et 11 mai 2022	Etude du BGRM en 1981
<b>Station de jaugeage</b>	Q (l/s)	Q (l/s) <i>Moyenne des débits mesurés entre mars et septembre</i>
<b>J1</b>	7,0	21
<b>J2</b>	1,0	4
<b>J3</b>	3,4	10,5
<b>J7</b>	12,4	29
<b>J8</b>	7,3	32
<b>J9</b>	11,4	25
<b>J10</b>	3,1	35
<b>J11</b>	0,5	11,5
<b>J14</b>	0,8	8
<b>J15</b>	5,0	15
<b>Amont rejet carrière</b>	6,3	-
<b>Rejet carrière</b>	0,5	-

**Tableau 7 : Résultats de la campagne de jaugeages des 10 et 11 mai 2022**

Il est prévu de refaire ces jaugeages en basses eaux (octobre 2022) et en hautes eaux (janvier/février 2023). Parmi ces points d'eau, 10 analyses seront réalisées :

- 3 prélèvements sur le Ru du Banc : en amont de la carrière, en aval proche du rejet de la carrière et en aval lointain avant la confluence avec la Bouble (J7) ;
- Ruisseau de la Gourdonne (J1) ;
- Ruisseau de la Cèpe (BV du Quefoux J15) ;
- Ruisseau de la Veauce (BV du Boënat) ;
- Ruisseau de Chaillat (J2) ;
- Ruisseau de Verne (J3) ;
- Ruisseau en aval du Puy Juillat (BV du Belon) ;
- Eventuellement le ruisseau au niveau du lieudit les Bioles (entre les BV Fontcouvert et Verne).

*Remarque : le Ru du Blanc dans sa partie aval n'a pas été mesuré à ce stade préliminaire et confidentiel de l'étude*

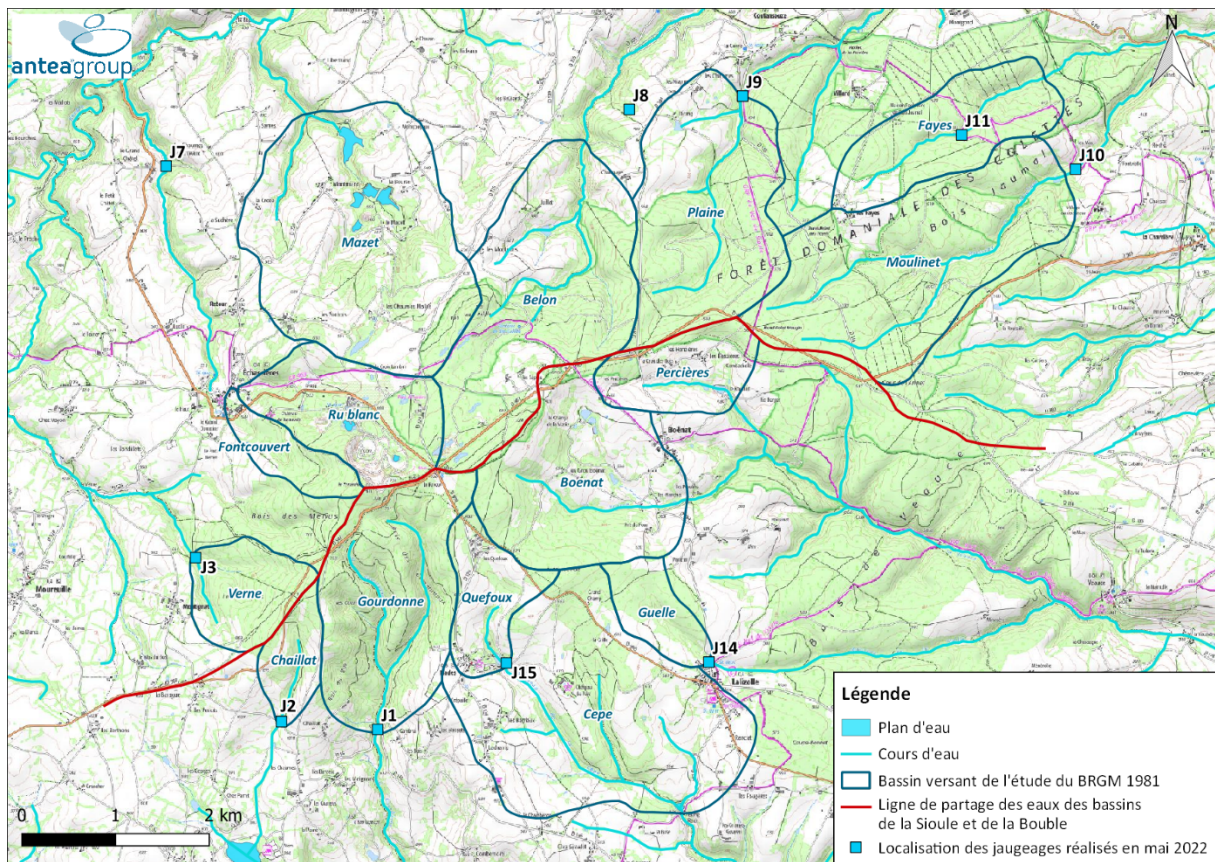


Figure 37 : Localisation des jaugeages réalisés en mai 2022

## 6. Bibliographie

- Aubert G.**, Les coupoles granitiques de Montebras et d'Echassières (Massif central français) et la genèse de leurs minéralisations en étain, Université de Clermont-Ferrand, 1966
- Audren Cl. et al.**, Relations entre déformations et cristallisations et chemins « P.T.t.d. » des micaschistes polyphasés d'Échassières - Modèle d'évolution géodynamique, Géologie de la France, 1987
- Belkessa R.**, Hydrogéologie du massif d'Echassières (Allier). Zones des granites et des micaschistes. Rapport BRGM 81 SGN 774, 1981
- Belkessa R., Jeambrun**, Renforcement des captages Bois des Menus, Boenat et Quefoux (communes d'Echassières, Lalizole et Nades). Rapport BRGM, 1982
- Cuney M., Autran A.**, Objectifs généraux du projet GPF Échassières n°1 et résultats essentiels acquis par le forage de 900 m sur le granite albitique à topaze-lépidolite de Beauvoir, Géologie de la France, 1987
- Feybesse J.L.**, La tectonique post-métamorphique du bloc de Rentières. Les épisodes de fracturation tardi-hercyniens, oligocènes et quaternaires (Série du Cézallier, Massif central), Document du BRGM, 1985
- Feybesse J.L.**, Synthèse géologique du Cézallier, Document du BRGM, 1985
- Feybesse J.L., Tegye M.**, Évolution tectonométamorphique dévonienne et carbonifère de la série de la Sioule, Géologie de la France, 1987
- Gagnières G.**, Pompage d'essai au puits St-Jean. Mine des Montmins, près d'Echassières. Rapport BRGM 80 SGN 480 AUV, 1980
- Gagny C. et al., Contrôle structural de la métallogénèse dans la région d'Echassières par une zone de cisaillement régional orientée N60E (Massif central Français), C.R. Acad. Sci. Fr., 1984
- Gagny C., Jacquot T.**, Contribution de la pétrologie structurale à la connaissance des conditions de mise en place et de structuration complexe du granite des Colettes (massif d'Echassières), Géologie de la France, 1987
- Grolier J.**, Contribution à l'étude des séries cristallo-phyliennes inverses du Massif central français : La série de la Sioule, Mémoire du BRGM, 1971
- Jacquot T., Gagny C.**, Pétrologie structurale du granite de Beauvoir (massif d'Echassières) : données et interprétation à son niveau apical, Géologie de la France, 1987
- Jacquot T.**, Dynamique de l'organisation séquentielle du magma de Beauvoir. Apport de la pétrologie structurale, Géologie de la France, 1987
- MICA**, l'étude d'impact Tome 1 de la carrière de Beauvoir, Mai 2019
- Renaud C.**, Prospection hydrogéochimique des gisements cachés de métaux stratégiques. Université Pierre et Marie Curie, Ecole des Mines de Paris & Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, 2014.

**Vignerresse J.L et al.**, Couverture géophysique du massif granitique d'Échassières. Programme Géologie Profonde de la France, Document BRGM, 1984

**Vignerresse J.L, Cannat M.**, Mesures de paramètres physiques dans le sondage d'Échassières (vitesse sismique, porosité, densité), Géologie de la France, 1987

**Vignerresse J.L.**, Organisation tridimensionnelle du massif d'Échassières et bilan des mesures géophysiques de surface, Géologie de la France, 1987

**Vignerresse J.L., Cuney M.**, Distribution de la production de chaleur en profondeur dans le sondage d'Échassières et comparaison avec d'autres sondages profonds, Géologie de la France, 1987