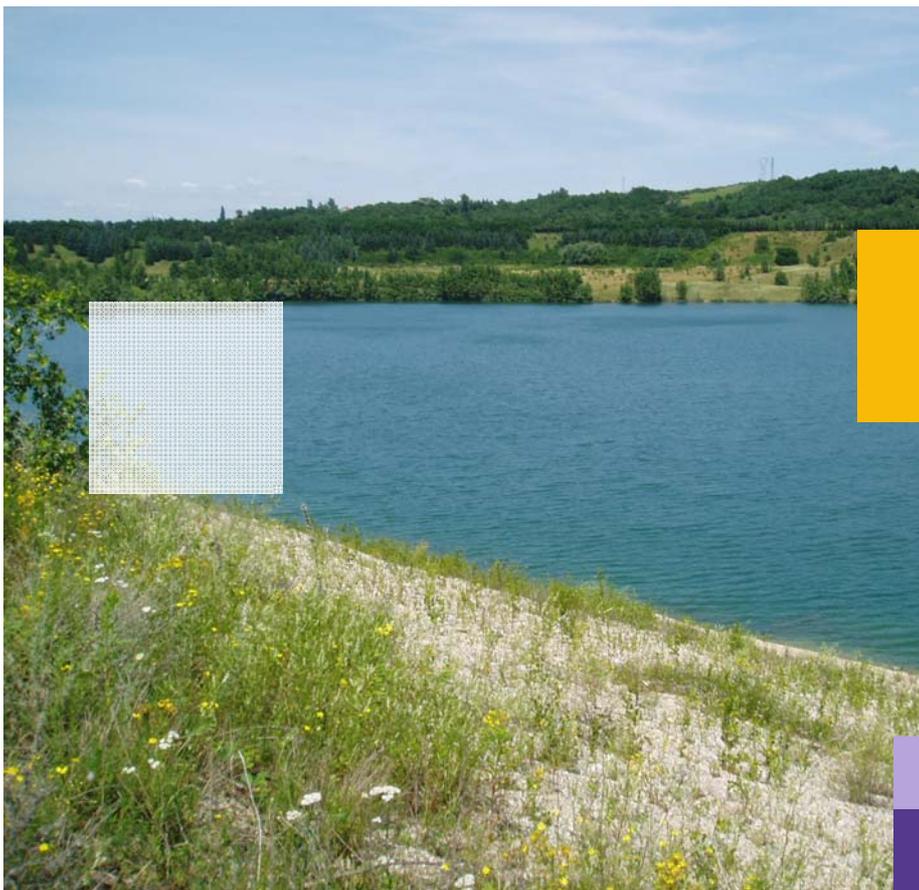


ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant du Garon

Phase1 : Diagnostic de l'utilisation de la ressource en eau sur
le bassin versant - Rapport B : Aspects hydrogéologiques

Rapport final • Janvier 2013



ÉTUDE GLOBALE DE LA GESTION QUANTITATIVE DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN DU GARON PHASE 1 –DIAGNOSTIC DE L'UTILISATION DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN VERSANT- *RAPPORT B : ELEMENTS HYDROGEOLOGIQUES*

PREAMBULE.....	5
1. INTRODUCTION	7
1.1 Contexte de la mission	7
1.2 Contenu du rapport	7
1.3 Généralités sur la méthode proposée	7
2. ELEMENTS D'ANALYSE	8
2.1 Contexte géologique	8
2.1.1 Stratigraphie :	8
2.1.2 Cartographie des formations :	9
2.1.3 Base de Données du Sous-Sol	14
2.2 Contexte hydrogéologique	16
2.2.1 Structure de l'aquifère	16
2.2.2 Qualité des eaux souterraines :	23
2.2.3 Propositions de bilan :	24
2.2.4 Modélisations	29
2.3 Données disponibles	38
2.3.1 Climatologie	38
2.3.2 Données piézométriques	40
2.3.3 Données sur les pertes en rivière :	41
3. ELEMENTS D'ORIENTATION	45
3.1 Avis sommaire sur l'étendue des connaissances	45
3.1.1 Eléments certains :	45
3.1.2 Eléments incertains	46
3.1.3 Recommandations :	52
3.1.4 Révision du modèle conceptuel	53
3.1.5 Implication sur la description des hydro systèmes :	54
3.1.6 Implications pour un bilan de la nappe :	55

3.2 Avis argumenté sur le modèle BURGEAP	56
3.2.1 Validité du modèle :	56
3.2.2 Améliorations potentielles :	56
4. REFERENCES DOCUMENTAIRES	58

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Photographies des principaux faciès observés.	9
Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1 : 25 000 de Givors (document BRGM).....	10
Figure 3: Topographie du secteur d'étude.	12
Figure 4 : Photographie aérienne de la zone de carrières (donnée IGN 2008-FD-69C-68) et coupe schématique de l'emprise de la carrière.....	13
Figure 5 : Forages renseignés sur la dépression de Charly-Millery.....	14
Figure 6 : Géométrie supposée du substratum au droit du seuil des Mouilles (d'après BURGEAP, 1966).....	19
Figure 7 : Coupes géologiques du secteur des Barolles (d'après BURGEAP, 1966).	21
Figure 8 : Profil en long des débits de la Mouche au 23/04/2009 (d'après BURGEAP, 2009).....	22
Figure 9 : Modèle hydrogéologique proposé par Jauffret (1999).....	26
Figure 10 : Distribution des perméabilités (d'après BURGEAP 2008 d).....	31
Figure 11 : Piézométrie calculée fin décembre 2001 (d'après BURGEAP 2008 d).....	33
Figure 12 : Ecart piézométrie simulée entre 2002 et 2007 (BURGEAP 2008 d).....	35
Figure 13 : Incidence sur la piézométrie d'une augmentation de 20% des prélèvements sur le secteur de Montagny (BURGEAP 2008 e).....	36
Figure 14 : Incidence sur la piézométrie de la succession de deux années sèches avec 90 mm/an de pluies efficaces (BURGEAP 2008 e).....	37
Figure 15 : Pluies totales et efficaces, valeurs moyennes et valeurs du premier et du quatrième quintile (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).	39
Figure 16 : Précipitations totales, ETP, ETR et précipitations efficaces annuelles (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).	39
Figure 17 : Evolution de la piézométrie sur le piézomètre de Vourles. Suivi DIREN.....	40
Figure 18 : Evolution de la piézométrie sur les ouvrages suivis dans le cadre du réseau de surveillance de Lafarge Granulats (Rapports SDEI de 2000 à octobre 2005) et le piézomètre ex-CUMA Vourles suivi par la DIREN). D'après BURGEAP, 2007.....	41
Figure 19 : résultats de la campagne de jaugeage (d'après BURGEAP, 2008 b).....	43
Figure 20 : Photographies des morphologies caractéristiques du lit du Garon	44
Figure 21 : Effets théoriques d'un plan d'eau dans un matériau homogène	48
Figure 22 : Impact du colmatage des berges	48
Figure 23 : Synthèse hydrogéologique (SRAE, 1981).....	50
Figure 24 : Relations possibles entre cours d'eau et nappe.	54

PREAMBULE

CONTEXTE

Le SMAGGA (Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion du bassin versant du Garon), succédant depuis le 1^{er} janvier 2007 au SMAVG, s'apprête à s'engager avec les 27 communes du bassin du Garon dans son second contrat de rivière.

Suite au premier contrat, les enjeux prioritaires du bassin ont été ciblés :

- ▶ amélioration globale de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, liée à des déficits de débits à l'étiage et nécessitant une redéfinition de la gestion concertée sur le territoire
- ▶ protection des ressources stratégiques en eau.

Ces enjeux doivent répondre aux exigences de la Directive Cadre Européenne en terme de bon état physico chimique et biologique des masses d'eau, d'autant que la nappe du Garon a été identifiée par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée-Corse comme un aquifère d'intérêt patrimonial.

A présente Etude globale de la gestion quantitative des ressources en eau sur le bassin versant du Garon doit répondre aux objectifs suivants :

- Etablir l'état de référence au niveau de l'utilisation de la ressource du bassin : décrire les prélèvements et usages actuels par sous bassin,
- Expliciter le fonctionnement hydrologique du bassin, cours d'eau et nappe,
- Evaluer l'impact de la pression anthropique sur les ressources,
- Définir les volumes prélevables du bassin versant,
- Identifier, caractériser et délimiter les secteurs alluviaux stratégiques pour l'alimentation actuelle et future en eau potable,
- Etablir un programme d'actions d'amélioration de la gestion de la ressource sur le bassin

La notion de **volume prélevable** est le nœud de l'étude : les trois premiers points servent à réaliser le calcul des volumes prélevables, le dernier point constitue son application sur le terrain. Défini de manière simplifiée, le volume prélevable sur un bassin donné est la différence entre la ressource disponible (ressource naturelle et volumes de régulations éventuellement disponibles) et ce qu'il est nécessaire de laisser dans le milieu pour garantir son bon état, il est donc au cœur de la démarche du rétablissement de l'équilibre offre / demande en eau.

PHASAGE

L'étude se décompose en 4 phases.

- ▶ Phase 1 : Diagnostic de l'utilisation de la ressource en eau sur le bassin versant,
- ▶ Phase 2 : Evaluation de l'impact des prélèvements sur les milieux naturels,
- ▶ Phase 3 : Définition d'objectifs quantitatifs,
- ▶ Phase 4 : Programme d'actions d'amélioration de la gestion de la ressource.

La phase 1 de l'étude a pour objectif de dresser le contexte du bassin et d'actualiser et affiner le bilan des prélèvements en eau :

- ▶ en réalisant une analyse quantitative pour chaque type d'usage sur l'ensemble des ressources du bassin versant du Garon ;
- ▶ en constituant des bases de données des prélèvements à partir de différentes sources ;
- ▶ en construisant des scénarios d'évolution des besoins aux échéances 2015 et 2021.

Le dossier de phase 1 se compose de deux rapports :

- ▶ Un rapport A consacré aux usages de l'eau,
- ▶ **Un rapport B consacré aux aspects hydrogéologiques : le présent rapport.**
Son rédacteur principal est l'expert hydrogéologue Pascal Fénart, de la société HYDROFIS.

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE LA MISSION

La nappe du Garon est une nappe qui a fait l'objet de nombreuses études et investigations. Il existe un modèle numérique de cette nappe, développé récemment par Burgeap (2006-2009).

L'objectif du présent rapport est de faire un état des lieux des connaissances acquises sur la nappe puis de proposer une analyse critique du modèle élaboré. Pour finir, nous proposerons d'éventuelles adaptations à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de l'étude volumes prélevables.

1.2 CONTENU DU RAPPORT

Le présent rapport correspond à un rapport technique intermédiaire. Il présente les résultats relatifs à la phase n°1 de l'étude.

Dans un premier temps, les éléments qui vont expliquer la structure des unités aquifères et leur comportement hydrogéologique à grande échelle, sont présentés :

- ▶ Principales caractéristiques sédimentaires des formations aquifères.
- ▶ Définition des limites et du volume des unités aquifères.
- ▶ Nature des encaissants et possibilité d'échanges de fluides entre les unités aquifères.
- ▶ Première analyse des interactions potentielles entre les eaux superficielles et les eaux souterraines.
- ▶ Surface du bassin d'alimentation.
- ▶ Surface piézométrique des unités aquifères : pente sens et vitesse d'écoulement locales et à petite échelle.

1.3 GENERALITES SUR LA METHODE PROPOSEE

HYDROFIS est un bureau d'étude spécialisé en hydrogéologie, et plus particulièrement sur les milieux fissurés. La mission a donc été réalisée en respectant les règles de l'Art de la profession.

La mission a porté sur une recherche préalable sur toutes les sources d'information utiles pour définir une synthèse hydrogéologique et une stratégie de modélisation.

Nous avons développé à cet effet les moyens suivants, selon les règles de l'Art :

- ▶ Collecte auprès des administrations compétentes, analyse et synthèse des données documentaires et informations d'ordre hydrogéologique (Mairies, DREAL,...).
- ▶ Exploitation des données de la BDSS du BRGM pour recueillir un maximum de points de mesure des paramètres hydrodynamiques.
- ▶ Mission de reconnaissance sommaire sur le terrain pour appréhender correctement les limites des systèmes hydrauliques.

2. ELEMENTS D'ANALYSE

2.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1.1 Stratigraphie :

Le système alluvial du Garon occupe la partie aval d'une ancienne vallée façonnée dès le Miocène par le fleuve principal du couloir Rhodanien. Au quaternaire les glaciers et leurs eaux de fonte ont emprunté cette vallée où ils ont déposé une masse importante d'alluvions fluvio-glaciaires. Par la suite, le Rhône s'installa dans sa vallée actuelle et le Garon occupa seul la vallée, d'où la disproportion entre la vallée et son système alluvial très développé et le cours d'eau actuel, tout à fait secondaire.

La stratigraphie des séries est bien décrite à l'échelle du secteur d'étude (Chenevoy et al., 1969).

On trouve en allant du plus ancien au plus récent :

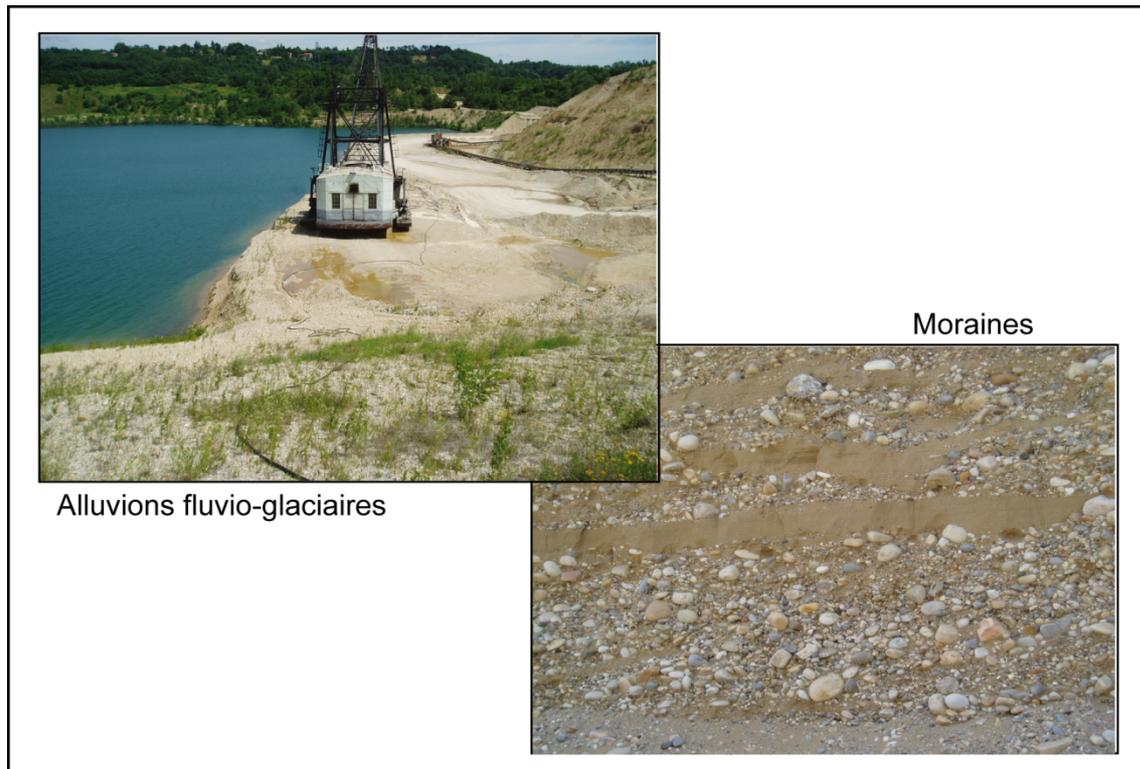
- ▶ Les formations du socle : il s'agit de roches cristallophylliennes de type granite à leptynites.
- ▶ Des moraines (Gy) peu ou non remaniées, de faciès argileux ou caillouteux.
- ▶ Des alluvions à caractère fluvio-glaciaires (Ny). Il est précisé que dans le dépôt du Garon, le raccordement avec les moraines du stade de Fourvière se voit en trois secteurs : Saint-Genis-Laval, vallée des Barolles et dépression de Bas-Charly.
- ▶ Des alluvions fluviales modernes (Fz). Pour le Garon, il s'agit de dépôts limoneux de faible épaisseur ; pour le Rhône, c'est des alluvions polygéniques qui cumulent une épaisseur de 35 m vers Givors.

Précisons qu'il est difficile de définir une antériorité relative entre dépôts morainiques et dépôts fluvio-glaciaires. Un schéma plausible (BURGEAP, 2007) serait celui d'un premier dépôt de type alluvial du paléo-Rhône au Pliocène puis de séquences glaciaires au Quaternaire, avec surcreusement des dépôts fluviaux puis dépôts de type morainique. Il est probable qu'à l'époque rissienne, le recul des glaciers ait entraîné une déviation du Rhône vers sa vallée actuelle suite à une obstruction du cours d'eau par des moraines.

Ce schéma est conforme avec les différences lithologiques observées (matériaux moins perméables à l'aval) et géomorphologique (vallée en V à l'amont et en U à l'aval), à l'aval et à l'amont du seuil des Mouilles. Il aurait ainsi été formé au droit d'un verrou glaciaire avec un glacier qui se serait épanché au droit de la dépression de Charly-Millery.

La mission de reconnaissance a permis de constater des faciès proches pour les moraines non remaniées et les dépôts fluvio-glaciaires. Pour les premiers, on observe une sédimentation plus hétérogène avec une alternance de bancs argileux, sableux ou graveleux, alors que les seconds sont plus franchement alluvionnaires avec des galets roulés enrobés dans une matrice sablo-argileuse.

Figure 1 : Photographies des principaux faciès observés.

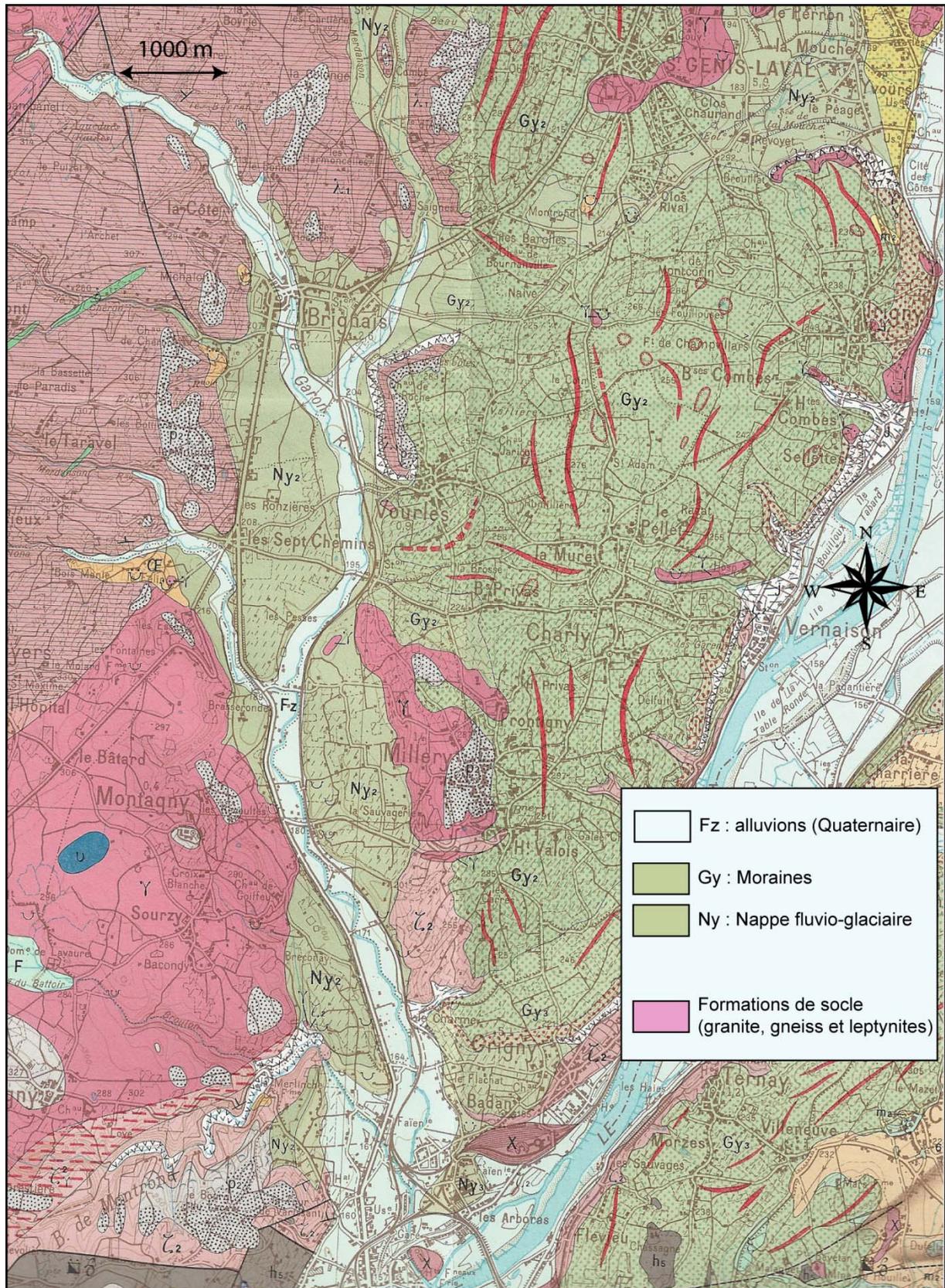


2.1.2 Cartographie des formations :

La carte géologique du secteur d'étude montre que le secteur d'étude est situé à l'intersection de deux grands ensembles stratigraphiques : les roches de socle et les dépôts quaternaires morainiques, fluvioglaciers ou alluvionnaires (cf. carte géologique au 1 : 50 000 ci-dessous).

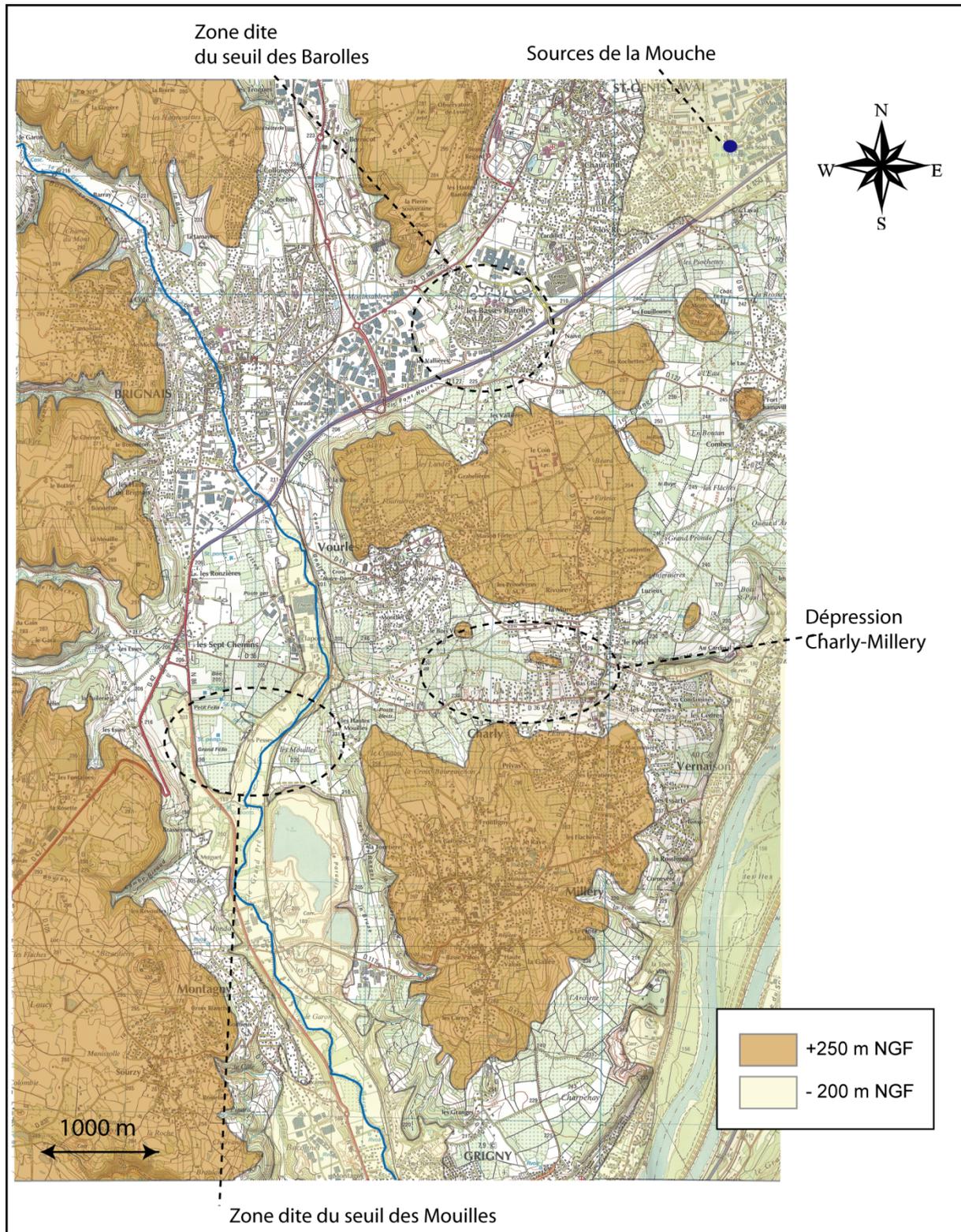
Si on peut considérer que les limites entre ces deux types de formation sont bien cartographiées, il faut accepter une certaine approximation dans la cartographie des principaux faciès du Quaternaire, ceci principalement à cause du manque d'affleurement et de la grande complexité des dynamiques sédimentaires pour ce type de formations.

Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1 : 25 000 de Givros (document BRGM).



La carte ci-dessous permet de visualiser les grands traits topographiques du secteur d'étude. On y voit clairement la dépression reliant Brignais et Pierre Bénite. On peut aussi observer la dépression de Bas-Charly qui semble "couper" les dépôts morainiques qui surplombent la rive gauche de la vallée.

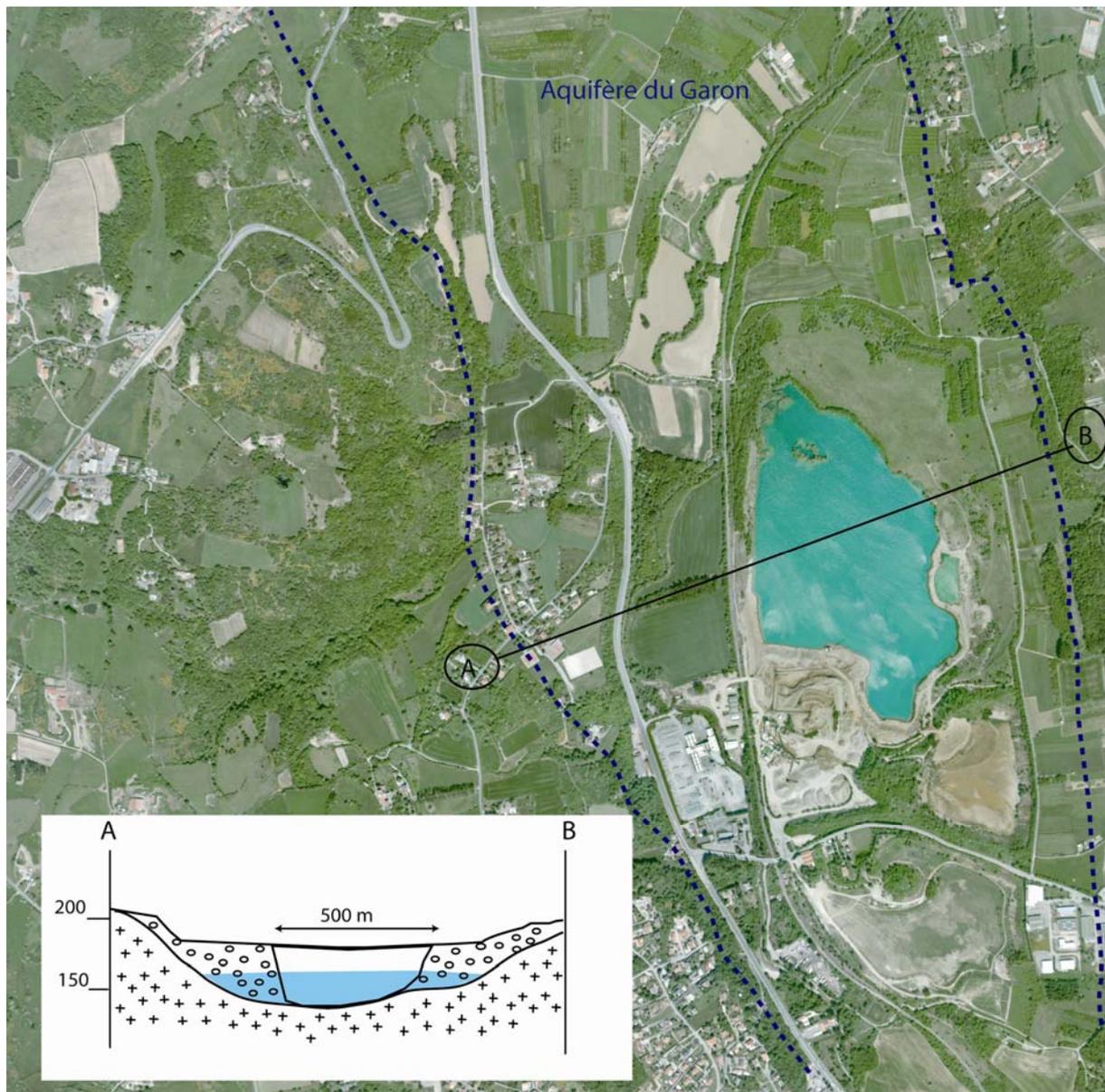
Figure 3: Topographie du secteur d'étude.



Notons sur cette carte la présence de singularités :

- ▶ Zones de "seuil hydrogéologique". Leur nature et leur détermination est discutée plus avant dans ce rapport.
- ▶ Les source de la Mouche, principale source à débit significatif sur le secteur d'étude. Elle est cartée et sur la carte topographique IGN au 1 : 25 000 et sur la carte géologique au 1 : 50 000 du BRGM.
- ▶ Un autre élément déterminant pour le comportement hydrogéologique de la nappe du Garon est la présence de gravière de grande dimension. Il s'agit de la S.A. des carrières Garon-Bedel à Millery, immédiatement à l'aval du seuil des Mouilles.

Figure 4 : Photographie aérienne de la zone de carrières (donnée IGN 2008-FD-69C-68) et coupe schématique de l'emprise de la carrière.



Cette carrière exploite des alluvions fluvio-glaciaires depuis plusieurs dizaines d'années mais l'autorisation d'exploiter les alluvions sous le niveau de la nappe n'a été accordée à cette société qu'en 1982. L'emprise totale de l'exploitation est d'environ 100 hectares. Dans cette zone, la nappe est comprise entre 165 et 170 m NGF et l'extraction des alluvions a été poussée jusqu'au substratum à 140 m NGF.

On peut estimer que plus de la moitié de la section d'écoulement de la nappe a été perdue. Et qu'il s'agit de la moitié la plus productive : centre du corps sédimentaire correspondant a priori aux alluvions les plus propres.

2.1.3 Base de Données du Sous-Sol

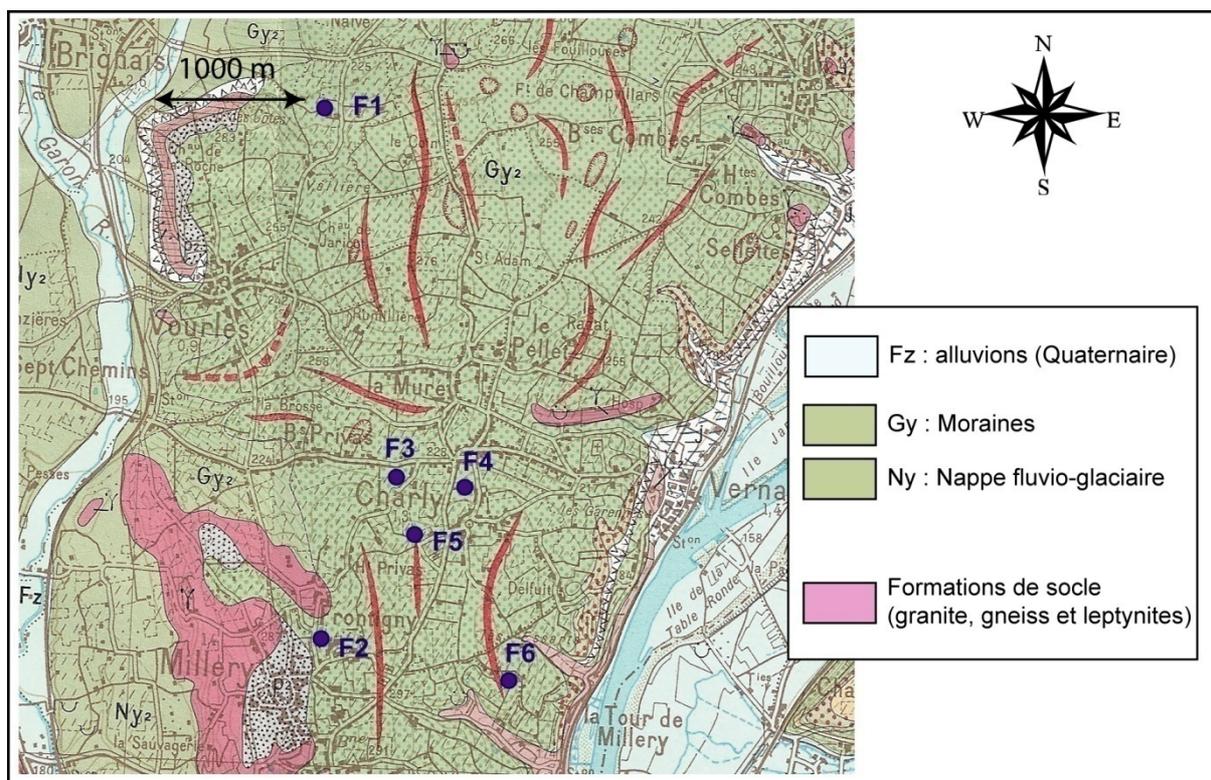
Des recherches effectuées dans la Banque de Donnée du Sous-Sol éditée par le BRGM nous ont permis de recueillir certains renseignements sur l'hydrogéologie du secteur d'étude.

Ces recherches n'ont pas eu comme objectif de réaliser un doublon par rapport au travail de synthèse proposé par BURGEAP (2003) que l'on peut juger relativement exhaustif (recensement systématique des forages profonds de plus de 20 mètres).

Nous avons axé nos recherches sur les formations méritant quelques compléments d'informations :

- ▶ forages renseignés localisés entre la vallée du Garon et la vallée du Rhône.
- Ils sont peu nombreux. Leur localisation est précisée par la figure ci-dessous :

Figure 5 : Forages renseignés sur la dépression de Charly-Millery



Leurs caractéristiques sont rappelées par le tableau suivant :

Id	Cote sol (m NGF)	Profondeur (m)	NP (m NGF)	Lithologie
F1	235	100	Non mesuré	0-38 : alluvions 38-100 : granite
F2	279	14	Non mesuré	Non décrite
F3	237	26	219	Alluvions
F4	251	18	248	0-9 : alluvions 9-18 : granite
F5	269	18	258	Molasse
F6	262	33	242	Granite et micaschiste

De manière générale, ces forages sont trop peu nombreux et trop courts pour donner une vision d'ensemble sur les structures géologiques dans cette zone.

Les trois forages localisés dans la dépression de Charly-Millery (F3, F4 et F5) sont eux aussi trop courts pour statuer sur la nature des dépôts dans ce secteur. Les niveaux piézométriques mesurés sont probablement représentatifs de nappes superficielles.

2.2 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1 Structure de l'aquifère

Il ne s'agit pas ici de refaire une nouvelle synthèse hydrogéologique mais de mettre en évidence les éléments d'information utiles pour une étude de détermination des volumes prélevables dans la nappe du Garon.

Dans le cadre de la mission, nous avons consulté les documents suivants :

- ▶ Reconnaissances BURGEAP (BURGEAP, 1966 et 1967)
- ▶ Synthèse hydrogéologique départementale (SRAE, 1981)
- ▶ Etude de la qualité des eaux du bassin versant du Garon (DIREN, 1997).
- ▶ Etude hydrologique, hydraulique et d'inondabilité (SOGREAH, 1998).
- ▶ Synthèses hydrogéologiques sur la vulnérabilité de l'aquifère (BRGM, 1999 ; BRGM, 2003).
- ▶ Synthèse en vue d'une étude du potentiel de l'aquifère (BURGEAP, 2007).
- ▶ Réalisation de 10 nouveaux piézomètres et acquisition de données complémentaires (BURGEAP, 2008 a et b).
- ▶ Modélisation de la nappe du Garon (2008 c et d).
- ▶ Contrat de rivière (SMAGGA, 2008).
- ▶ Etudes spécifiques pour la source et le ruisseau de la Mouche (BRGM, 2004 ; BURGEAP, 2009)

2.2.1.1 Données concordantes

Certaines caractéristiques du système alluvial sont décrites de façon concordante dans ces études :

- ▶ Corps sédimentaire allant de Brignais jusqu'à la confluence avec le Rhône (alluvions anciennes des nappes dites de raccordement).
- ▶ Epaisseur totale des alluvions anciennes de l'ordre de 50 à 60 mètre dans l'axe de la vallée.
- ▶ Socle cristallin sur son versant Ouest, substratum plus complexe sur son versant Est avec des dépôts morainiques en recouvrement des roches de socle. Les roches de socle sont réputées peu perméables en grand.
- ▶ Alluvions récentes moins perméables que les alluvions fluvio-glaciaires.
- ▶ Présence localisée d'une ou de plusieurs nappes perchées dans les horizons d'alluvions récentes, susceptibles de retarder la recharge de la nappe. Elles sont réputées de perméabilité médiocre et se caractérisent par de forts gradients hydrauliques. Localement, ces nappes peuvent alimenter les cours d'eau superficiels ou des sources de faibles débit (de l'ordre de 1 l/s).
- ▶ Entaille du Garon dans les alluvions fluvio-glaciaires : de 5 m au niveau de Brignais à 35 m au Nord de Grigny (de 200 à 165 m NGF).

La description la plus fine du corps sédimentaire est fournie par Archambault (BURGEAP, 1966) :

- ▶ Au Nord de Brignais, dépôts de type sables fins ou grossiers avec quelques graviers et galets. Ces alluvions sont surmontées d'un horizon argileux ou tourbeux.
- ▶ Entre Brignais et Givors, dépôt d'alluvions grossières. On note cependant une certaine hétérogénéité des dépôts avec des secteurs caractérisés par la prédominance de sables et graviers. Elle est confirmée par l'observations de variations des propriétés hydrauliques très importantes pour des puits de conception identique (BURGEAP, 1966).
- ▶ Entre Brignais et Pierre Bénite, la nature des dépôts dans ce secteur est supposée indéterminée de par l'absence de forages renseignés.

Les descriptions de la piézométrie actuelle sont aussi concordantes :

- ▶ Observation d'un compartiment amont avec un gradient hydraulique très faible. La nappe est profonde 20 à 30 par rapport au terrain naturel.
- ▶ Gradient hydraulique très fort au droit du seuil des Mouilles : chute de 15 m du niveau piézométrique sur environ 500 m.
- ▶ Compartiment aval avec une nappe sub-affleurante (de 0 à 10 de profondeur par rapport au terrain naturel). Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,2%.
- ▶ Alimentation de la nappe profonde par les coteaux granitiques et les nappes perchées superficielles.
- ▶ BURGEAP (2008b) a réalisé deux cartes piézométriques : octobre 2006 (basses eaux) et octobre 2007 (hautes eaux). Le battement de la nappe entre ces deux campagnes est de l'ordre de 80 cm. Les mesures ont été réalisées sur environ 50 point nivelés et 40 points ont été retenus pour le tracé des cartes. Ils confirment la structure compartimentée par le seuil des Mouilles. Les différences de piézométrie entre les deux états sont mineures.
- ▶ Un suivi piézométrique en continu sur les nouveaux piézomètres installés en 2008 (BURGEAP, 2008 a & b) montrent que les nappes superficielles enregistrent des comportements de type crues lors des événements pluvieux (de 0, à 01 m de battements étalés sur quelques semaines), alors que la nappe profonde est peu sensible aux événements météorologiques.

Les fluctuations piézométriques sont plus importantes à l'amont du seuil des Mouilles qu'à l'aval.

Les perméabilités mesurées varient de 2.10^{-2} à 5.10^{-4} m/s.

2.2.1.2 Données problématiques

D'autres caractéristiques du système alluvial sont moins évidentes :

SEUIL DES MOUILLES

Sur la base de données de géophysique électrique et sismique acquises en 1954, il a longtemps été supposé que le socle se relevait au droit du lieu dit les Mouilles (confluence Garon et Merdanson d'Orléans), de 150-160 m NGF en amont à 170-180 m NGF. Cette hypothèse est discutée par Lamotte (2003). Trois sondages de reconnaissance réalisés en 1999 ont montré un substratum cristallin recoupé vers 140 m NGF, surmonté par des sables fins argileux probablement d'âge pliocène.

Le seuil des Mouilles correspondrait donc à un rétrécissement de la vallée dans le sens de la largeur (500 m contre 1 500 m à l'amont) combiné à des variations lithologiques.

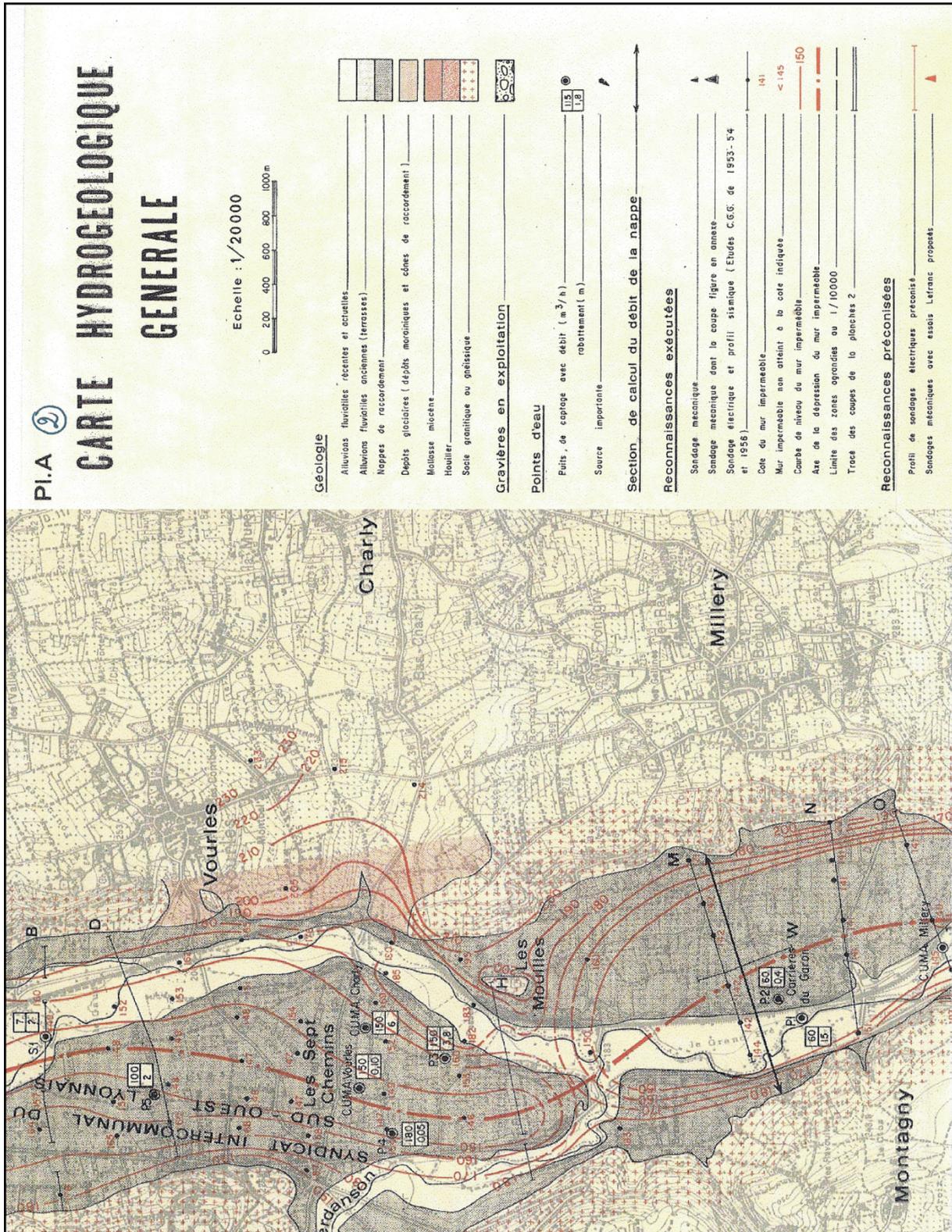
Notons que les études géophysiques montrent une vallée en V dans la partie amont du seuil et une vallée en U dans sa partie aval (cf. figure ci-dessous).

Cette particularité géomorphologique est associée à deux comportements piézométriques très différents en aval et en amont du seuil. Ces différences avaient été déjà observées en 1966 par Archambault, bien antérieurement au creusement des alluvions mouillées dans la carrière de Millery.

Elle est aussi signée par des différences marquées en terme de perméabilité : moyenne de 6.10^{-3} m/s pour le secteur amont et de 1.10^{-3} m/s pour le secteur aval (BURGEAP, 1967).

Deux panneaux électriques ont été réalisés récemment dans cette zone (BURGEAP, 2008 b). Ils permettent de constater une forte dissymétrie du corps sédimentaire plio-quadernaire : la moitié Ouest est nettement moins résistive (plus argileuse ?) que la moitié Est (plus graveleuse?). Notons que la partie la plus résistive, donc a priori la plus perméable, est située directement à l'amont immédiat de la gravière. Précisons que les valeurs de résistivité mesurées au droit du seuil (200 à 1 500 ohm/m) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont et en aval (200 à 1 000 ohm/m). Ce que montrent ces panneaux, c'est que c'est la forme et la superficie de la section mouillée qui varie fortement d'une zone à l'autre.

Figure 6 : Géométrie supposée du substratum au droit du seuil des Mouilles (d'après BURGEAP, 1966).



SEUIL DES BAROLLES

Le système alluvial se prolonge vers le nord-ouest jusqu'aux alluvions récentes du Rhône au niveau de Pierre-Bénite. Si la topographie marque un col vers le quartier dit des Basses Barolles, la topographie du mur de l'aquifère est peu connue (seulement quelques forages profonds et des données de géophysique).

La première synthèse sur l'aquifère (BURGEAP, 1966) montre très clairement un gradient hydraulique systématiquement Ouest-Est de Brignais au Rhône. Dans ce schéma, les sources de la Mouche forment un des exutoires de la nappe profonde du Garon. Ce schéma qui exclut de fait la possibilité d'un écoulement naturel de la nappe du Rhône vers la nappe profonde du Garon.

La figure ci-dessous illustre cette situation hydrogéologique.

Pourtant, les études les plus récentes (BURGEAP, 2007 et 2009) reprennent l'hypothèse d'une ligne de partage des eaux souterraines, qui séparerait la nappe du Garon et celle dite de la Mouche. Les auteurs reconnaissent cependant l'absence d'évidences piézométriques pour identifier cette ligne : les points d'observation de la nappe sont rares (et souvent non nivelés) et le gradient piézométrique est faible de Brignais à Pierre Bénite.

Trois piézomètres ont été réalisés en 2008 (BURGEAP, 2008a). leurs caractéristiques sont rappelées ci-dessous, en allant d'Est en Ouest :

Pz1 : Lieu dit Clos Charand à St Genis Laval

Lithologie dominante : sables et graviers
Cote sol : 195,80 m NGF
NP environ 176 m NGF
Substratum (argiles brunes) : à environ 142 m NGF
 $K=2.10^{-3}$ m/s

Pz2 : Secteur Nord des basses Barolles

Lithologie dominante : sables et graviers
Cote sol : 215,60 m NGF
Substratum (argiles bleues) à environ 144 m NGF
 $K=9.10^{-3}$ m/s
NP environ 176,30 m NGF

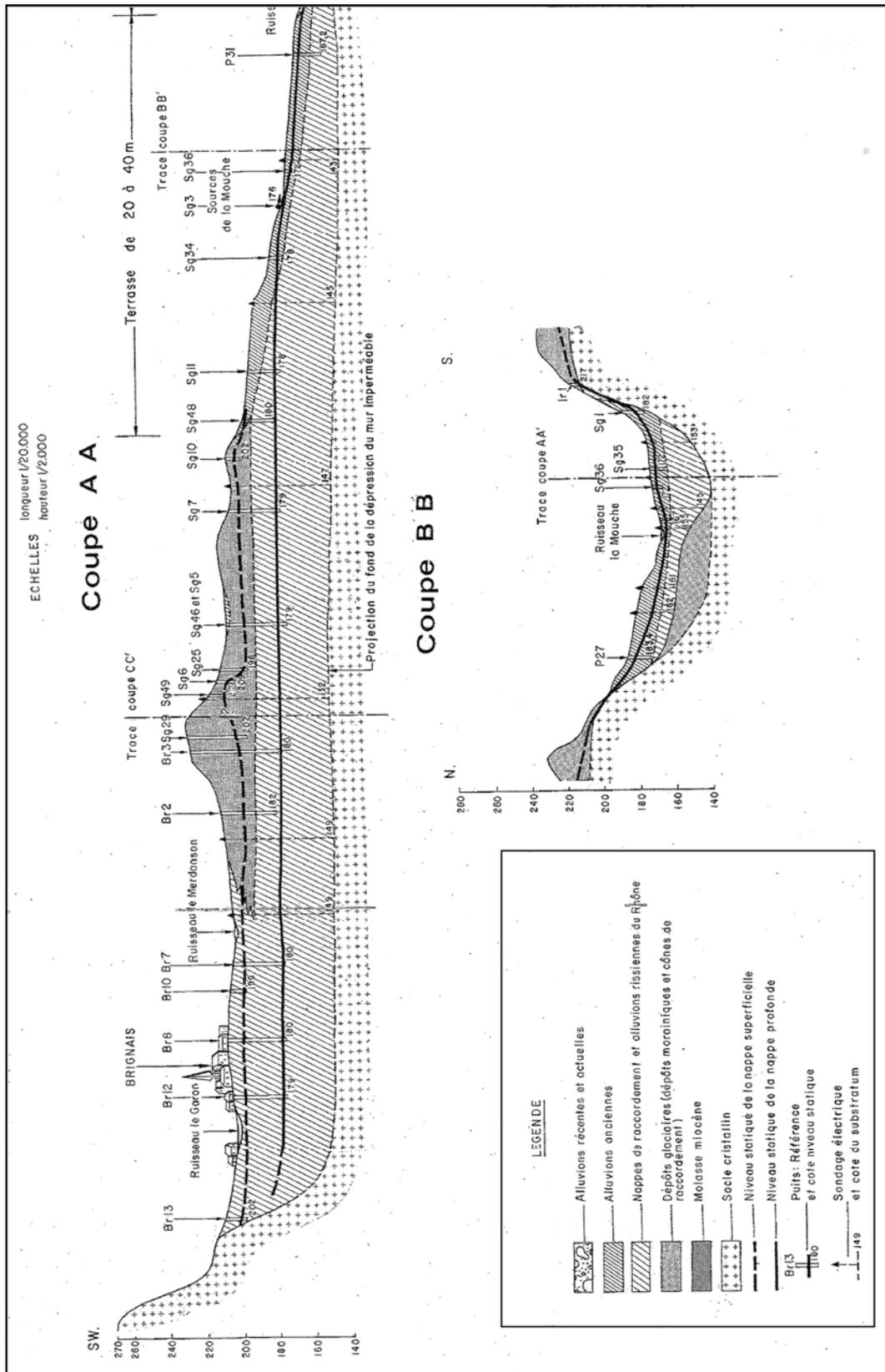
Pz3 : Zone industrielle de Brignais.

Lithologie dominante : sables et graviers
Cote sol : 217,78 m NGF
Substratum : pas trouvé à 66 m ou 151m NGF
 $K=2.10^{-3}$ m/s
NP environ 176,30 m NGF

On observe un aquifère de lithologie homogène, avec de bonnes propriétés hydrodynamiques. En première approximation (trois points d'observation sur un profil de 4 km), on n'observe pas de remontée du substratum et de ligne de partage des eaux.

Deux panneaux électriques ont été réalisés récemment entre Brignais et St Genis Laval (BURGEAP, 2008 b). Ils confirment l'importance des dépôts fluvioglaciers avec un surcreusement dans l'axe de la paléo vallée qui implique un substratum situé à moins de 150 m NGF.

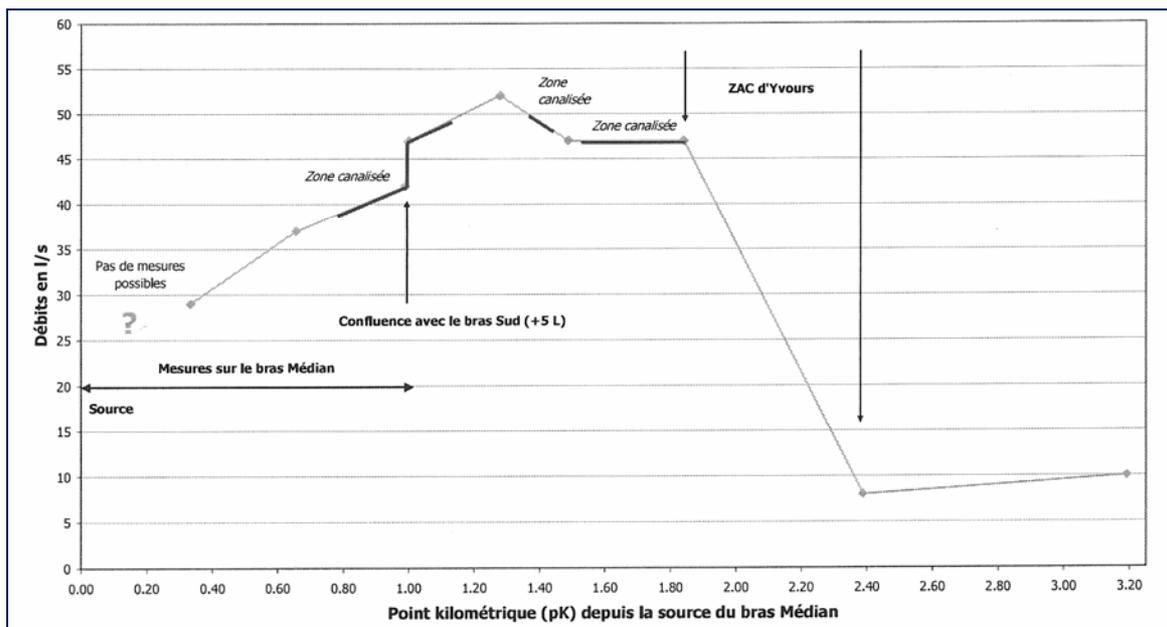
Figure 7 : Coupes géologiques du secteur des Barolles (d'après BURGEAP, 1966).



Des études spécifiques ont été réalisées sur les sources de la Mouche situées sur la commune de St Genis Laval, à l'est du seuil des Barolles (Bonhomme, 2004 ; BURGEAP, 2009). On y trouve les informations suivantes :

- ▶ Les sources correspondent à de nombreux exutoires, pour la plupart masqués (zone fortement urbanisée). On observerait au moins trois résurgences principales. Elles sont étagées autour de 175 m NGF.
- ▶ Les eaux issues de l'aquifère fluvio-glaciaire seraient caractérisées par une remarquable constance de la température autour de 13 °C et de faibles variations de débit.
- ▶ Le bassin versant hydrographique représente environ 12 km² mais il est tellement urbanisé que l'on estime les zones potentielles d'infiltration des eaux météoriques à seulement 1 km². Le bassin d'alimentation des sources est considéré comme inconnu. Avec l'hypothèse raisonnable d'un module d'infiltration de 3 l/s, on peut estimer un bassin d'alimentation de l'ordre de 10 km² pour un débit fictif de 30 l/s (BURGEAP, 2009). Ce qui revient à nécessaire prolonger la surface du bassin d'alimentation de ces sources jusqu'à Brignais.
- ▶ Les débits sont mal connus. Les sources sont réputées permanentes mais on observe une diminution certaine des débits depuis 2000 (BURGEAP, 2009). BURGEAP (2009) propose comme explication à cette diminution, une migration vers l'Est de la crête hydrogéologique séparant la nappe de la Mouche de celle du Garon, consécutivement à la diminution de la piézométrie moyenne dans la nappe du Garon ; cela conduirait à réduire le bassin d'alimentation des sources.
- ▶ Une comparaison de la qualité physico-chimique des eaux des sources de la Mouche et de la nappe du Garon montre une bonne homogénéité des faciès.
- ▶ Dans le bassin d'alimentation supposée, les prélèvements industriels sont faibles, avec un débit fictif de l'ordre de 15 l/s. Il n'y a pas de prélèvements AEP mais on suppose quelques prélèvements particuliers pour de l'arrosage.
- ▶ BURGEAP a réalisé en 2009 une campagne détaillée de mesures du débit de la Mouche (9 points de mesure le 23 avril 2009). A l'aval immédiat de la zone de résurgence, le débit de la Mouche est estimée à environ 30 l/s. Ce débit augmente jusqu'à 55 l/s dans le premier kilomètre aval, se stabilise de 1 à 2 km après la source (zone canalisée) puis diminue rapidement jusqu'à 10 l/s (zones de pertes dans les formations alluviales les plus récentes).

Figure 8 : Profil en long des débits de la Mouche au 23/04/2009 (d'après BURGEAP, 2009).



- ▶ La comparaison entre les mesures piézométriques réalisées dans le cadre de l'étude BURGEAP (2009) et le profil en long de la Mouche confirme la schématisation avec une zone d'alimentation du cours d'eau par la nappe sur le premier kilomètre, puis une zone de pertes du cours d'eau sur la partie aval.
- ▶ Il n'existe pas de carte piézométrique de ce secteur.

Avec en première approximation, un débit soutiré supérieur à 50 l/s (50 l/s mesuré en hautes eaux, plus le débit d'alimentation des alluvions limoneuses récentes, plus les 15 l/s de prélèvement industriel), ces éléments tendent à montrer l'inexistence d'un seuil hydrogéologique au droit des Barolles, ce qui impliquerait que les résurgences dites des sources de la Mouche constituent un exutoire de la nappe profonde du Garon.

DEPRESSION DE CHARLY-MILLERY

Cette dépression topographique est marquée au droit de la vallée du Garon selon la carte géologique au 1 : 50 000 par une zone de transition entre moraines et nappe de raccordement.

Elle n'a jamais fait l'objet d'investigations spécifiques.

Seule la campagne de forage réalisée en 2008 (BURGEAP, 2008a) apporte des données utiles pour la compréhension de la nature de cette dépression. Deux piézomètres ont ainsi été réalisés en pied de coteau dans l'axe du débouché de la dépression :

Pz6 :

Lithologie dominante : sables et graviers ; horizons de sables argileux
Cote sol : 190,20 m NGF
Substratum : pas trouvé à 47 m ; suspicion de faciès de type arène granitique.
 $K=2.10^{-5}$ m/s
NP environ 176,75 m NGF

Pz9 :

Lithologie dominante : sables et graviers ; matrice limoneuse
Cote sol : 190,38 m NGF
Substratum : pas trouvé à 7 m
 $K=8.10^{-4}$ m/s

Les horizons recoupés par les forages montrent des formations superficielles caractérisées par une matrice à dominante limono-argileuse, qui se traduit par de plus faibles perméabilités que celles mesurées dans les alluvions.

Notons la profondeur importante du substratum au droit du Pz6 (inférieure à 143 m NGF) pourtant situé en bordure de vallée.

Les études consultées placent systématiquement cette dépression comme un imperméable relatif pour la nappe du Garon. Cette hypothèse mériterait d'être reconsidérée.

2.2.2 Qualité des eaux souterraines :

La description la plus détaillée de la qualité des eaux souterraines est donnée par Jauffret (1999). Les eaux présentent un faciès bicarbonaté calcique. Les concentrations en nitrates sont généralement inférieures à 50 mg/l mais on a observé des pollutions temporaires aux hydrocarbures, pesticides ou solvants chlorés sur certains captages AEP.

Les nombreuses analyses physico-chimiques de l'eau de la nappe du Garon montrent qu'à l'amont du seuil des Mouilles l'eau est nettement plus minéralisée qu'à l'aval, " au point que l'on pourrait penser qu'il ne s'agit pas de la même nappe".

Citons dans le texte : "cette constatation est étonnante dans la mesure où le matériau montre une bonne perméabilité ce qui devrait favoriser une bonne homogénéisation des eaux de l'ensemble de l'aquifère". Jauffret (1999) propose comme explication à cette observation le phénomène suivant : les eaux des pertes du Garon n'atteindraient la nappe qu'à l'aval du seuil des Mouilles. On peut estimer cette hypothèse comme peu probable : elle impliquerait un transfert horizontal des eaux sur près de 2 000 m pour un trajet vertical de l'ordre de 20 m.

Le cloisonnement hydrogéochimique des eaux en aval et en amont du seuil des Mouilles est de nouveau observée pour les concentrations en nitrates : de 32 à 47 mg/l à l'amont pour 2 à 22 mg/l à l'aval (BRGM, 2003). Ce cloisonnement est aussi observée pour la conductivité (de 550 à 750 μ S/cm ces dernières années en amont du seuil et de 300 à 550 μ S/cm en aval) et les sulfates (de 45 à 75 mg/l ces dernières années en amont du seuil et de 20 à 50 mg/l en aval du seuil environ) (BURGEAP, 2007).

Lamotte (BRGM, 2003) propose une étude détaillée des sources potentielles de pollution de la nappe :

- ▶ Zonages d'assainissement.
- ▶ Sites industriels.
- ▶ carrières ou gravières.
- ▶ Décharges.
- ▶ ZAC
- ▶ Activités agricoles.
- ▶ Axes de communication.

De nombreuses cartes illustrent la distribution spatiale de ces sources. Une analyse détaillée des pollutions observées des eaux de la nappe est proposée par BURGEAP (2007 et 2008 b).

2.2.3 Propositions de bilan :

Un premier bilan a été proposé par BURGEAP (1966) :

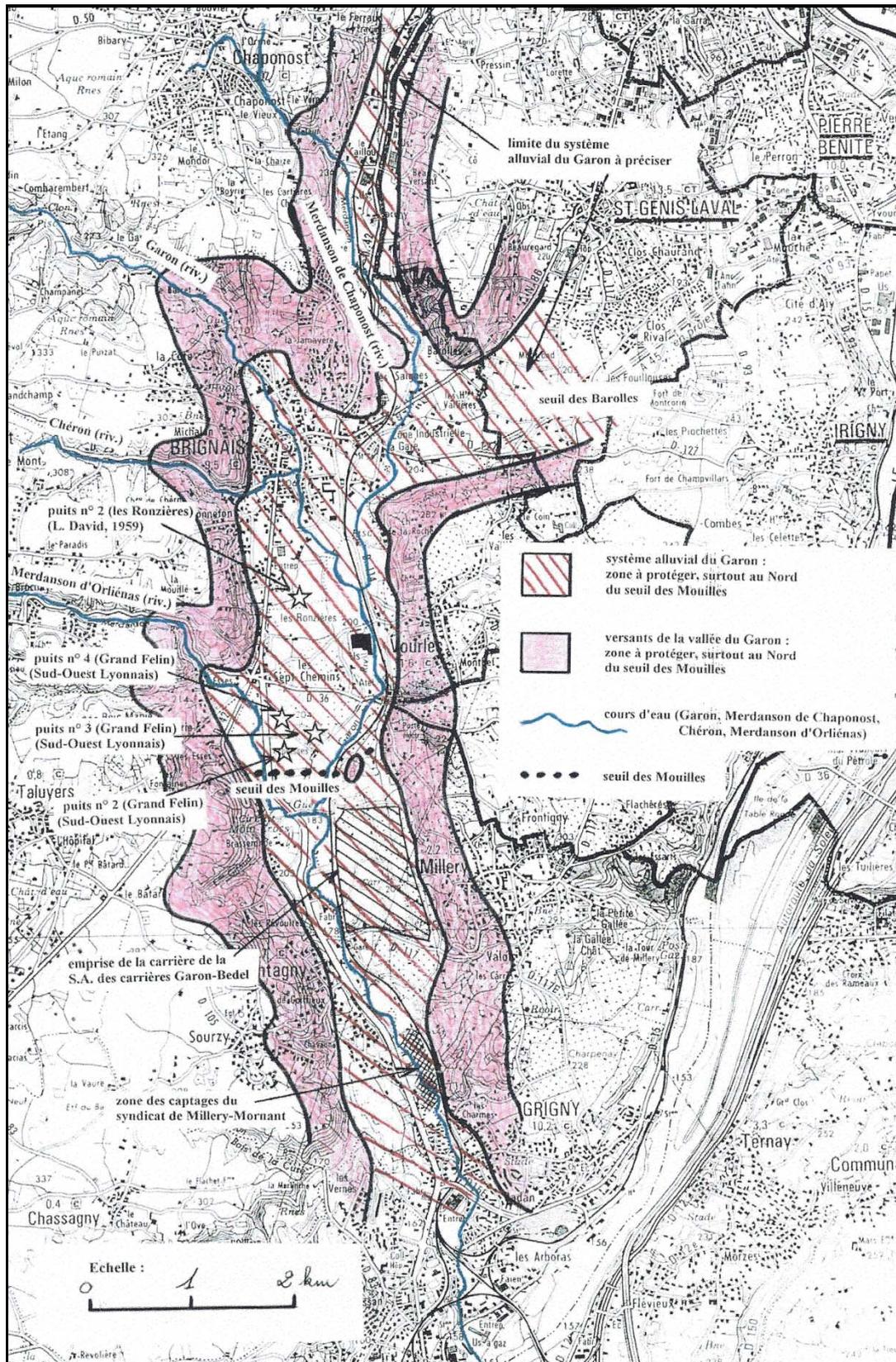
Entrées	Précipitations efficaces (150 mm/an)	66 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	Pas d'estimation
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	Pas d'estimation
Sorties	Prélèvements	80 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 80 l/s

Une estimation basée sur la Loi de darcy lui permet d'estimer un débit transitant de l'ordre de 150 l/s sur une section à l'amont du seuil des Mouilles.

Les études complémentaires réalisées, avec notamment la réalisation de jaugeages différentiels pour estimer les pertes du Garon (BURGEAP, 1967) permettent d'affiner ce bilan en majorant les pertes du Garon :

Entrées	Précipitations efficaces (140 mm/an)	60 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	80 l/s
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	20 l/s
Sorties	Prélèvements	150 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 10 l/s

Figure 9 : Modèle hydrogéologique proposé par Jauffret (1999).



D'autres estimations (SRAE, 1981) font état d'un potentiel de la nappe de 225 l/s maximum. Elles sont basées sur l'observation d'un équilibre des niveaux piézométriques entre les entrées naturelles et les prélèvements.

Jauffret (BRGM, 1999) propose avec prudence les estimations suivantes ; en insistant sur le manque de connaissances précises sur le volume d'alimentation par les pertes des cours d'eau :

Entrées	Précipitations efficaces (170 mm/an)	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	Entre 115 et 230 l/s
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	Pas d'estimation
Sorties	Prélèvements	145 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 60 l/s

Lamotte (BRGM, 2003) cite un bilan proposé par BURGEAP en 1975 (*Ressource en eau de la vallée du Garon - Incidence du projet d'extension des gravières*) pour la nappe Brignais au Rhône:

Entrées	Précipitations efficaces	66 l/s
	Pertes du Garon et des affluents + Coteaux	88 l/s
	Limites amont	30 l/s
	Alimentation du Rhône	40 l/s
Sorties	Prélèvements	225 l/s

Ce bilan a été réalisé à l'aide d'un modèle mathématique. Les simulations montrent que pour expliquer les débits d'exploitation dans la partie aval de la nappe, il faut introduire une alimentation des eaux de la nappe du Garon par des eaux en provenance de la nappe alluviale du Rhône.

Puis Lamotte (BRGM, 2003) cite un autre bilan proposé par BURGEAP en 1994 (*SIDESOL - Captages de la vallée du Garon - Modélisation mathématiques des écoulements souterrains - Simulations de l'exploitation de la ressource*), pour la nappe Brignais à Montagny :

Entrées	Précipitations efficaces	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents + Coteaux	70 l/s
	Limites amont	30 l/s
	Alimentation du Rhône	70 l/s
Sorties	Sortie Garon	100 l/s
	Prélèvements	140 l/s

BURGEAP (2007) propose une critique argumentée de ces différents bilans. Citons dans le texte :

- ▶ L'un des paramètres du bilan est bien connu, il s'agit des débits prélevés.
- ▶ D'autres sont moins bien connus : (1) les précipitations efficaces et des apports provenant des coteaux. En effet, on dispose de la mesure des précipitations totales, Mais le calcul des précipitations efficaces, qui sont la part des précipitations totales qui, après infiltration, atteint la nappe et participe à sa recharge, est délicat. (2) Le retour à la nappe des eaux d'irrigation, qui peut être calculé selon la même méthode que les précipitations efficaces. Ce terme a très peu de poids dans le bilan à l'échelle de la nappe alluviale et peut être négligé.
- ▶ D'autres présentent des incertitudes fortes : (1) les infiltrations ou le drainage par le Garon. Ces paramètres présentent une incertitude forte. En effet, la marge d'incertitude sur un jaugeage est de l'ordre de 10% lorsque celui-ci est réalisé dans des conditions optimales (écoulement laminaire, tronçon droit en amont et en aval de la section jaugée), et devient plus forte (20%) lorsque ces conditions ne sont pas réunies, ce qui était le cas lors des mesures de SITA sur le Garon. De plus, les infiltrations depuis le Garon sont très variables dans le temps alors qu'on ne dispose que de jaugeages différentiels ponctuels. Il en découle une incertitude importante dans les débits d'infiltration calculés sur la base des mesures de terrain. (2) Le débit de la nappe, en amont ou en aval de la zone étudiée. Ce débit est calculé sur la base d'une perméabilité, d'un gradient de nappe et d'une section de l'aquifère à travers laquelle passe le flux de nappe. Or l'extension, latérale comme verticale, de l'aquifère est peu ou mal connue en de nombreux points.

En fin de rapport de synthèse (phase 1), BURGEAP (2007) propose le bilan suivant , comme "le plus proche de la réalité " :

Entrées	Précipitations efficaces	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	95 l/s
	Limites amont + bordures	70 l/s
Sorties	Limite aval	100 l/s
	Prélèvements	140 l/s

Dans le rapport "bilan et diagnostics" (phase 4), BURGEAP (2008 c) propose le bilan suivant en intégrant les mesures de jaugeages les plus récentes du Garon et de ses affluents, et en redéfinissant le flux aval de la nappe vers la nappe du Rhône (mesures récentes de piézométrie et approche de la géométrie de la section grâce à un panneau électrique) :

Entrées	Précipitations efficaces	95 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	90 l/s
	Limites amont + bordures	35 l/s
Sorties	Limite aval	30 l/s
	Prélèvements	190 l/s

Ils considèrent que les incertitudes principales portent sur la recharge par infiltration des eaux météoriques et sur les apports des coteaux de bordure, constitués de roche cristallophyllienne. Les auteurs pensent que l'estimation des pertes du Garon doit être considérée avec prudence.

Sur la base des données de pompage et de granulométrie, les auteurs estiment le volume total d'eau contenu dans l'aquifère à 25 Mm³. Ils distinguent la partie en amont du seuil des Mouilles (16 Mm³) de celle située en aval (9 Mm³). Avec l'hypothèse de mélange parfait, le temps de renouvellement de l'ensemble des eaux de la nappe est estimé à 4 ans pour le secteur amont et à 3 ans pour le secteur aval.

Les simulations réalisées par BURGEAP (rapport de phase 5 ; 2008 d) permettent de déduire le bilan suivant :

Entrées	Précipitations efficaces	60 l/s
	Pertes du Garon	94 l/s
	Apports des coteaux	29 l/s
Sorties	Sortie Rhône	20 l/s
	Prélèvements	160 l/s

2.2.4 Modélisations

Les modélisations étudiées correspondent aux simulations réalisées par BURGEAP (d et e) pressenties pour servir de base comme outil de modélisation dans le cadre de l'étude volumes prélevables.

NATURE DU MODELE

Le logiciel utilisé est FEFLOW v5.3 développé par WASY permettant la résolution des équations des écoulements en milieu saturé et non saturé par des techniques de calculs aux éléments finis. Pour prendre en compte l'ensemble des mécanismes intervenant dans le fonctionnement et l'alimentation de l'aquifère de la vallée du Garon, deux modèles ont été construits :

- ▶ un modèle 3D en milieu saturé pour la nappe principale, c'est-à-dire celle sollicitée par les pompages,
- ▶ un modèle 2D – ou modèle profil – dédié à l'étude de la zone non saturée.

Après calage en hydrodynamique, les deux modèles ont été complétés par une approche en transport de masse permettant de décrire la diffusion de matières dissoutes au sein de l'aquifère (cas de pollution par exemple).

A partir de la synthèse hydrogéologique proposée par CPGF, il a été construit un modèle discrétisé au moyen de 658 mailles carrés. Les tailles des mailles sont de 500, 250 et 125 m de côté. L'aquifère est considéré comme monocouche et la nappe est libre.

Le modèle est monocouche, sa superficie exacte est de 15,27 km². Le modèle comprend 10 855 éléments triangulaires pour 11 464 nœuds de calcul.

La structure et la géométrie du réservoir modélisé intègre au mieux les données disponibles sur la topographie du substratum. Elle retranscrit bien une géométrie en V en amont du seuil des Mouilles et en U en aval de ce seuil.

DISTRIBUTION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

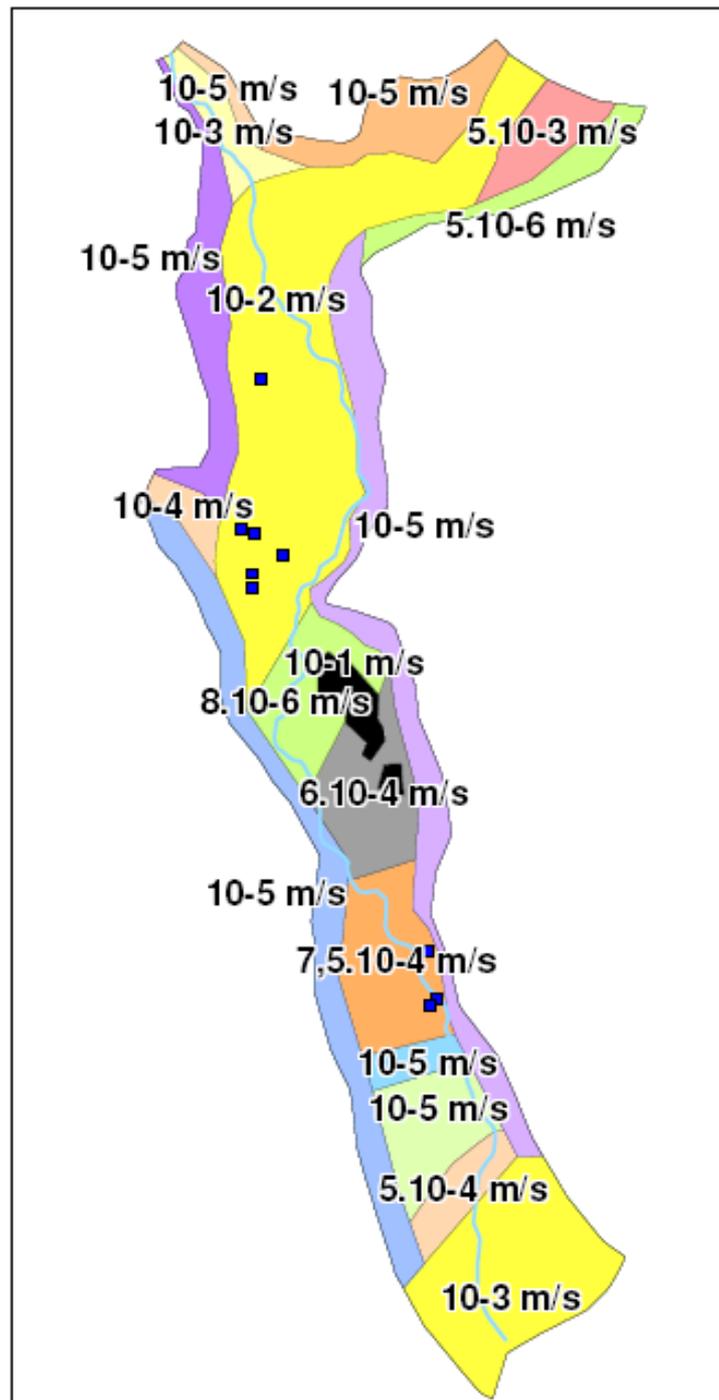
La carte des perméabilités de l'aquifère principal est donnée dans la figure ci-dessous..

Dans l'axe de la vallée, on retiendra différents secteurs qui conditionnent la piézométrie observée :

- ▶ une perméabilité forte dans toute la partie amont (Vourles) : $K = 10^{-2}$ m/s ;
- ▶ le passage des Mouilles avec une faible perméabilité ($K=8.10^{-6}$ m/s) pour retranscrire la chute piézométrique ;
- ▶ le secteur aval de Montagny avec des valeurs moyennes comprises entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s ($7,5.10^{-4}$ m/s au droit des captages AEP) ;
- ▶ la gravière Lafarge est classiquement modélisée par une surface à perméabilité très élevée, de l'ordre de 10^{-1} m/s.

La distribution du coefficient d'emmagasinement résulte d'une analyse de tests de sensibilité. Dans la partie amont du seuil des Mouilles, ce coefficient est égal à 12% et dans la partie aval de 8%.

Figure 10 : Distribution des perméabilités (d'après BURGEAP 2008 d)

CONDITIONS AUX LIMITES

Les limites du modèle constituant des apports d'eau dans l'aquifère sont :

- ▶ des flux (ou débits imposés) pour les apports souterrains des versants ; le modèle comporte 8 tronçons de flux ;

- ▶ les apports rivière représentant les pertes par infiltration du Garon (notés Transfert et traduisant les échanges nappe-rivière), avec distinction de 5 zones.

En termes de sortie, on trouve :

- ▶ • les puits ou forages d'exploitation ;
- ▶ • la limite aval du modèle avec l'exutoire de la nappe dans la vallée du Rhône.

Au nord-est du modèle, le seuil des Barolles est une limite à flux nul : aucune eau ne rentre ou ne sort par cette ligne de partage des eaux souterraines.

A noter également que la rivière Merdanson affluent du Garon à hauteur des Mouilles n'a pas été modélisée, mais qu'en contrepartie, les flux entrant dans le quart sud-ouest du domaine ont été augmentés.

CALAGE EN REGIME PERMANENT

Le modèle a été calé en régime permanent sur la situation de fin 2001 (l'année 2001 ayant été relativement stable).

En régime permanent, du nord au sud, les points de calage sont :

- ▶ le piézomètre DIREN de Vourles,
- ▶ le puits AEP P2 de Vourles,
- ▶ le lac Lafarge (qui est une partie affleurante de la nappe),
- ▶ le piézomètre Pz4 au sud du lac,
- ▶ le piézomètre Ex CUMA Millery,
- ▶ le puits AEP P1 (ou Exhaure 3-5) de Montagny.

Les auteurs obtiennent une piézométrie conformes aux observations (cf. figure ci-dessous), avec toutes les limites dues aux imprécisions et à l'absence de connaissances sur de nombreuses zones de la nappe.

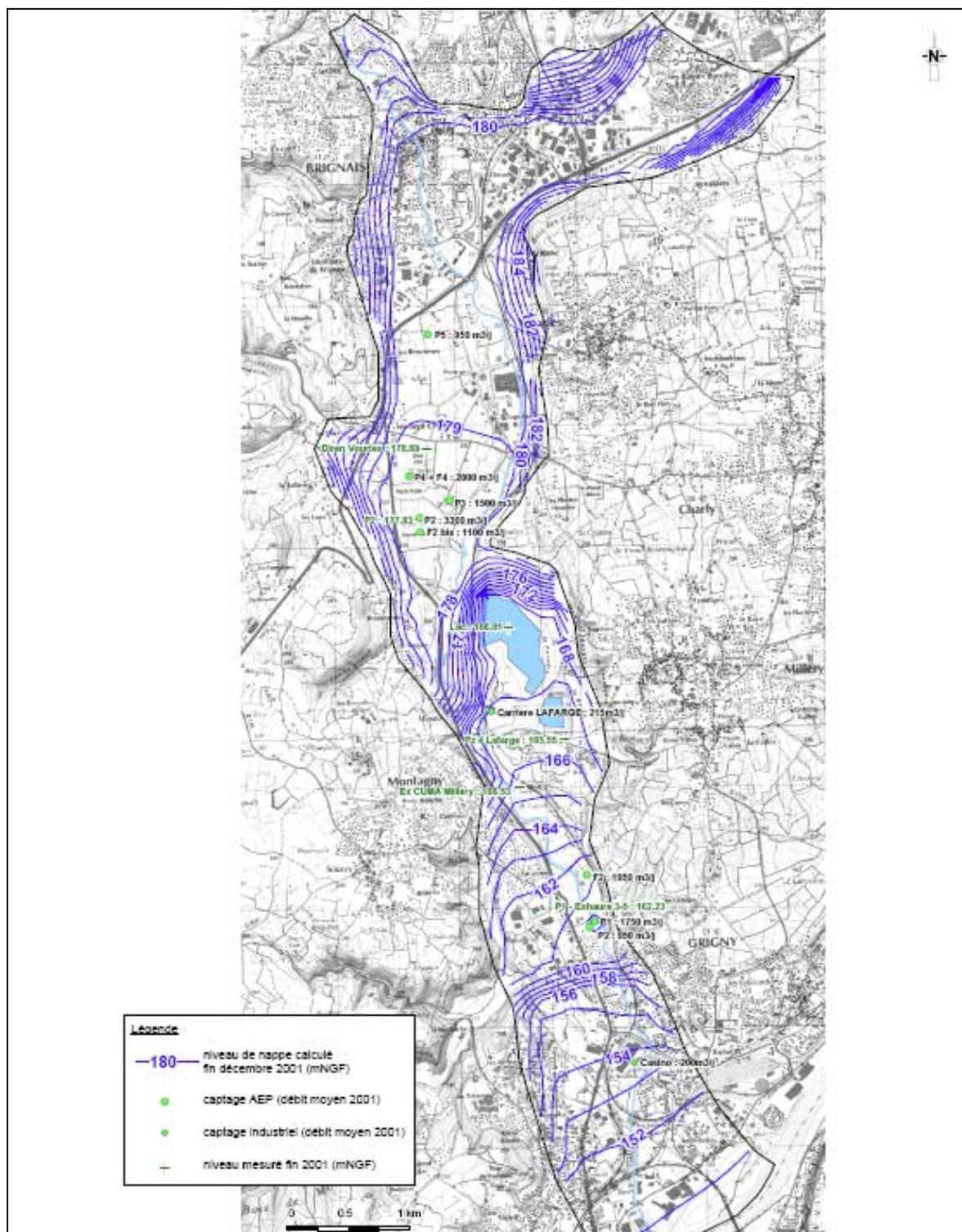
Ils en déduisent le bilan suivant :

Entrées	Précipitations efficaces	60 l/s
	Pertes du Garon	94 l/s
	Apports des coteaux	29 l/s
Sorties	Sortie Rhône	20 l/s
	Prélèvements	160 l/s

Notons que pour l'année 2001, le calcul par la méthode de Thornthwaite a donné des précipitations efficaces de 162,4 mm/an. Cependant, l'ajustement de la piézométrie a amené à réduire le terme d'entrée pluie à 122 mm/an pour le calage 2001 : en particulier dans le secteur de Vourles, la valeur initiale de Thornthwaite était trop forte pour restituer la piézométrie observée à 178 m NGF.

Les débits relatifs aux apports des bordures ne sont pas quantifiables par des méthodes directes. En accord avec les conclusions des études hydrogéologiques antérieures, les apports des versants modélisés sont nettement plus faibles que la pluie efficace directe : 2 500 m³/j contre 5 200 m³/j pour la pluie.

Figure 11 : Piézométrie calculée fin décembre 2001 (d'après BURGEAP 2008 d)



CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE

Le calage en régime transitoire du modèle a été effectué sur la période allant du 01/01/2002 au 31/10/2007, soit un historique de 2 129 jours. La piézométrie de départ est celle issue du calage en régime permanent précédemment décrit.

La complexité des modalités des apports du Garon via les nappes superficielles a été intégrée au modèle au moyen d'un modèle 2D qui décrit les écoulements successifs au travers de plusieurs réservoirs : nappe perchée puis zone non saturée.

Le calcul de la distribution mensuelle des pluies efficaces a été réalisé à l'aide du modèle de Thornthwaite avec un abattement de 25%.

Le résultat du calage final en régime transitoire est donné sous forme de comparaison entre niveaux calculés et niveaux mesurés. Les trois points de restitution présentés sont d'amont en aval :

- ▶ secteur Vourles : un point de restitution situé entre AEP P2 et piézomètre DIREN ;
- ▶ le lac de la Carrière Lafarge ;
- ▶ secteur Montagny : Ex CUMA Millery.

Il peut être jugé satisfaisant.

Les auteurs notent que la baisse des niveaux piézométriques n'est pas homogène pour la nappe (cf. figure ci-dessous).

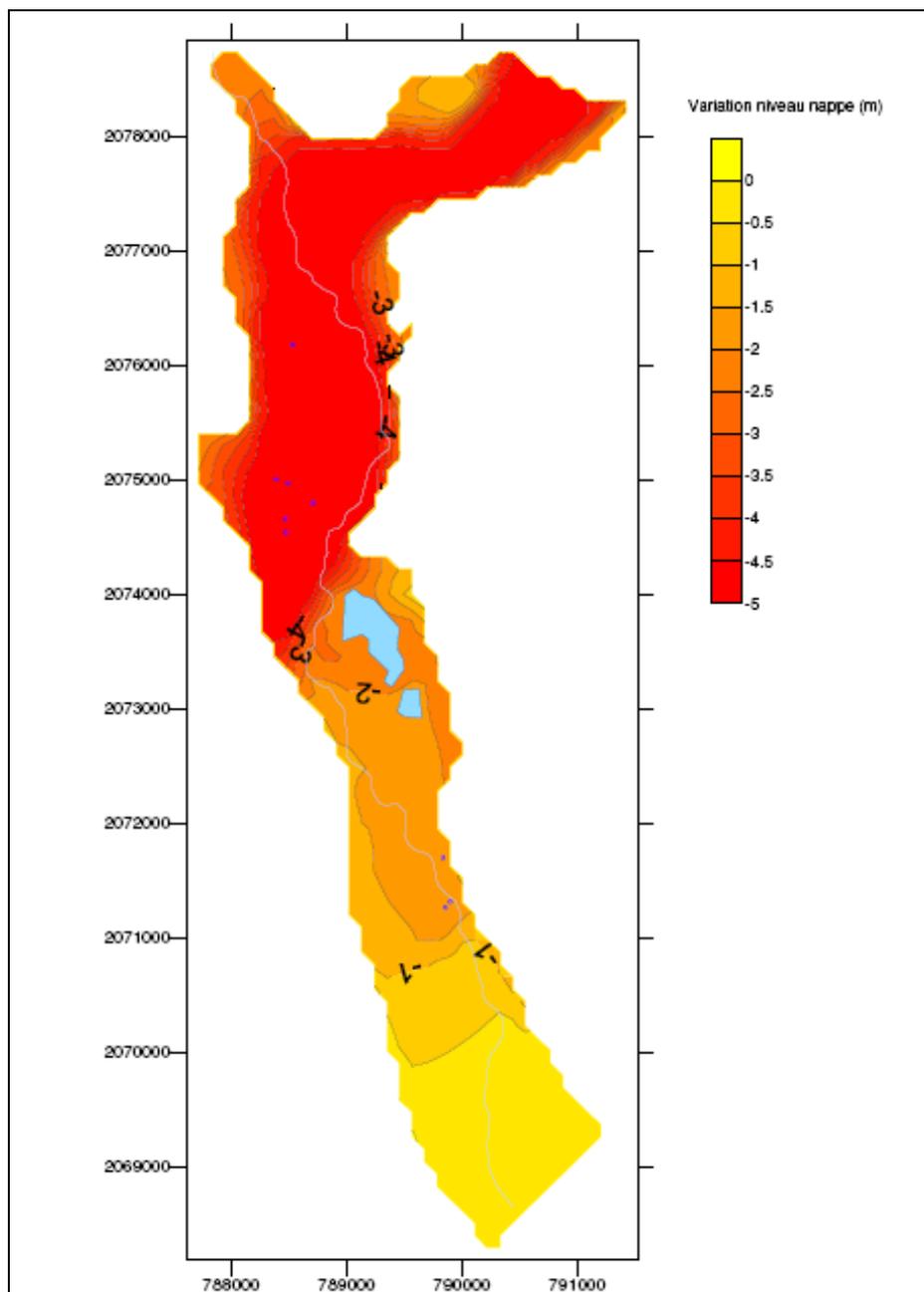
Selon ces simulations, seule l'année 2004 a été excédentaire d'un point de vue bilan (apports supérieurs aux pertes).

Des tests de sensibilité ont ensuite été réalisés sur les paramètres suivants :

- ▶ Coefficient d'échanges nappe/rivière.
- ▶ Volumes prélevés par pompage.
- ▶ Coefficient d'emménagement (simulation avec un coefficient d'emménagement homogène de 20%).
- ▶ Pluie directe (hypothèse d'une pluie efficace constante de 122 mm/an).

Peu argumentés et ne respectant pas les règles des plans d'expérience indispensables pour appréhender leur éventuelle interaction positive ou négative, ils apportent relativement peu d'informations utiles pour la critique du modèle. Ils montrent que le modèle est très sensible aux volumes prélevés (rappelons qu'ils représentent 90% des pertes dans le bilan) et au coefficient d'échange nappe rivière (rappelons que les pertes du Garon représentent environ 50% des apports dans le bilan). On notera aussi une faible sensibilité des simulations à la valeur du coefficient d'emménagement.

Figure 12 : Ecart piézométrie simulée entre 2002 et 2007 (BURGEAP 2008 d)



SIMULATIONS QUANTITATIVES (BURGEAP, 2008 E)

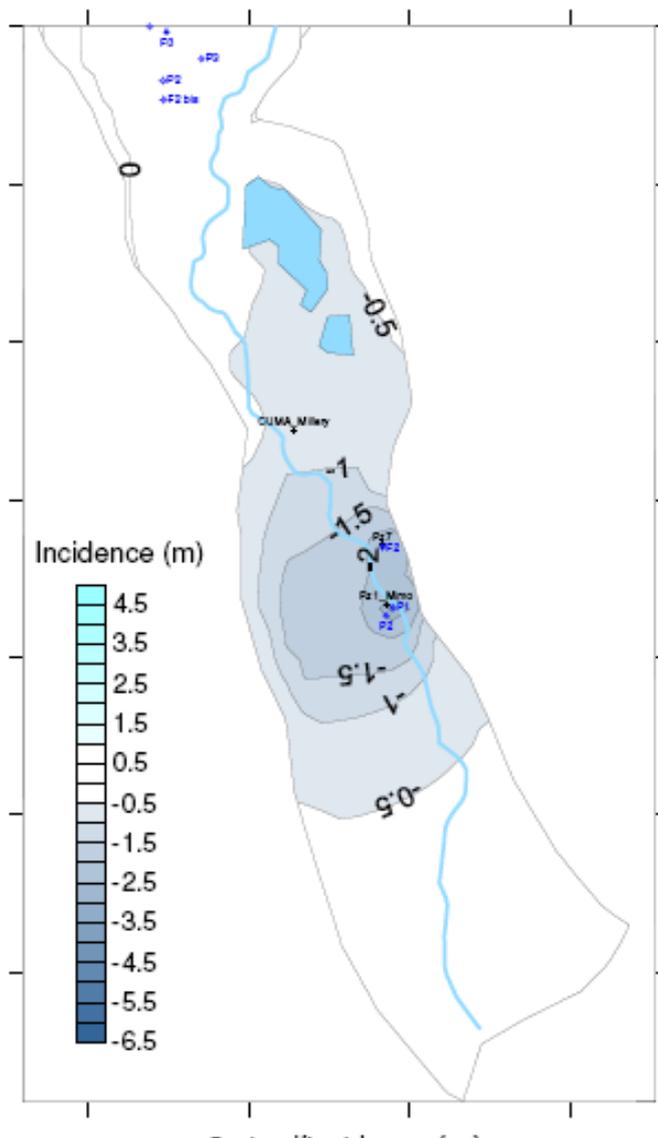
Six scénarios ont été définis :

- ▶ déficit pluviométrique prolongé,
- ▶ capacité de production AEP du secteur Montagny,
- ▶ augmentation temporaire des pompages sur le secteur Vourles,
- ▶ transfert d'une partie des prélèvements du secteur Vourles vers le secteur Montagny,

- ▶ création de nouveaux puits,
- ▶ réalimentation artificielle de la nappe.

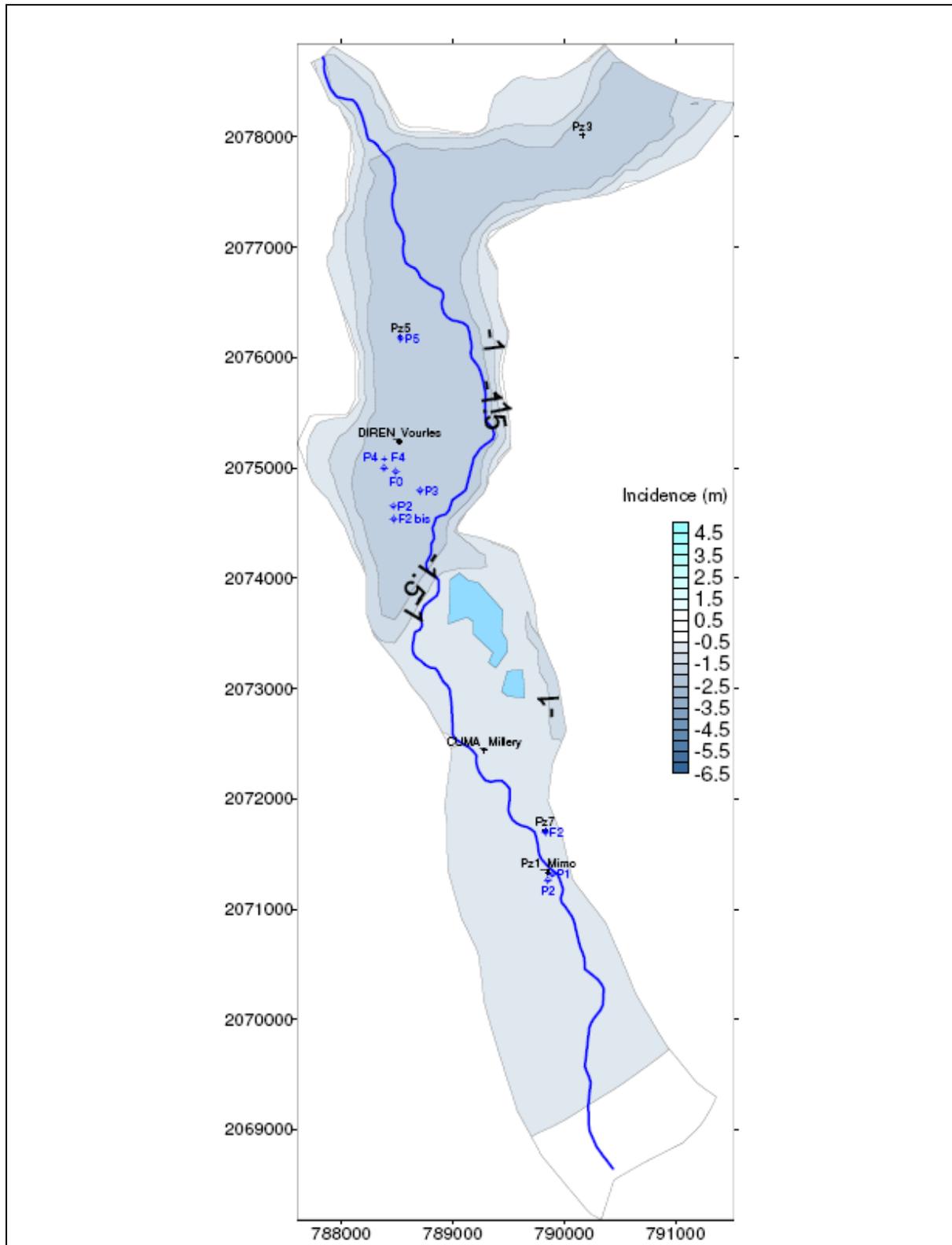
En première approximation, les résultats de ces simulations sont conformes aux hypothèses de construction du modèle. Une des observations fondamentales est la forte compartimentation de l'aquifère : l'augmentation des pompages à l'aval du seuil des Mouilles a un impact atténué sur la piézométrie à l'amont du seuil et vice versa.

Figure 13 : Incidence sur la piézométrie d'une augmentation de 20% des prélèvements sur le secteur de Montagny (BURGEAP 2008 e)



De même, cette forte compartimentation se traduit par une plus forte sensibilité du compartiment amont à une éventuelle baisse de la pluviométrie.

Figure 14 : Incidence sur la piézométrie de la succession de deux années sèches avec 90 mm/an de pluies efficaces (BURGEAP 2008 e)



2.3 DONNEES DISPONIBLES

2.3.1 Climatologie

BURGEAP (2007) propose une première analyse des données climatologiques sur le secteur d'étude (exploitation des données METEO FRANCE des stations de Saint-Genis-Laval et de Lyon-Bron) :

- ▶ Les précipitations moyennes interannuelles sont de 780 mm entre 1986 et 2006 à la station de Saint-Genis- Laval. Deux périodes de pluviométrie importante sont distinguées : durant le printemps entre les mois d'avril à juin avec des précipitations qui avoisinent les 70 mm/mois en moyenne, et durant l'automne entre les mois de septembre et novembre avec un maximum à 100 mm/mois pour le mois d'octobre.
- ▶ Pour la station de St Genis-Laval, l'ETP est égale à 702 mm par an en moyenne sur la période 1986-2006. Les précipitations efficaces sont égales à 270 mm par an en moyenne sur cette même période. Sur la même période à Bron, les précipitations totales sont de 822 mm/an, l'ETP de 738 mm/an et les précipitations efficaces de 287 mm/an.

Dans le cadre de cette étude, BRLi réalisera une approche fine des précipitations efficaces. Les données de climatologie seront fournies par METEO FRANCE.

Il s'agit des données de pluviométrie et d'ETP, à un pas de temps mensuel, et sur l'ensemble du secteur d'étude et ce de 1970 à 2010.

Ces données seront traitées selon une méthode de spatialisations, ce qui permettra d'obtenir une vision discrétisée des pluies mensuelles à l'échelle du secteur d'étude.

De plus, l'infiltration efficace sera fournie par l'application du modèle pluie-débit GR2M. En effet, ce modèle propose un calcul du débit de ruissellement en fonction de la pluie et de l'ETP. Ce calcul estime ainsi de façon indirecte une lame d'eau infiltrée vers les nappes ; cette estimation peut être jugée comme robuste car elle s'appuie sur des données d'entrée mesurées (P et ETP) et sur une phase de calage basée sur l'exploitation des données de ruissellement (Q rivières), mesurées en différents points du bassin versant.

Figure 15 : Pluies totales et efficaces, valeurs moyennes et valeurs du premier et du quatrième quintile (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).

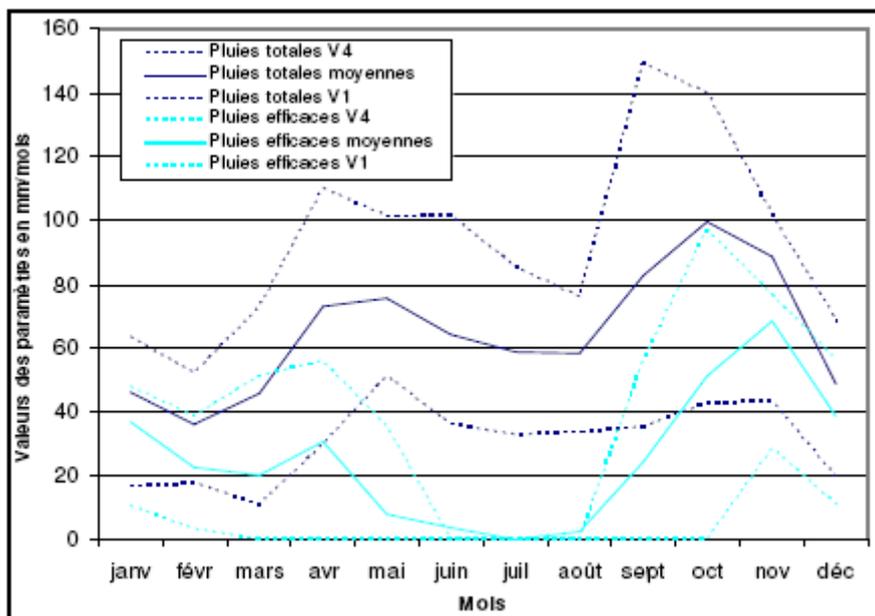
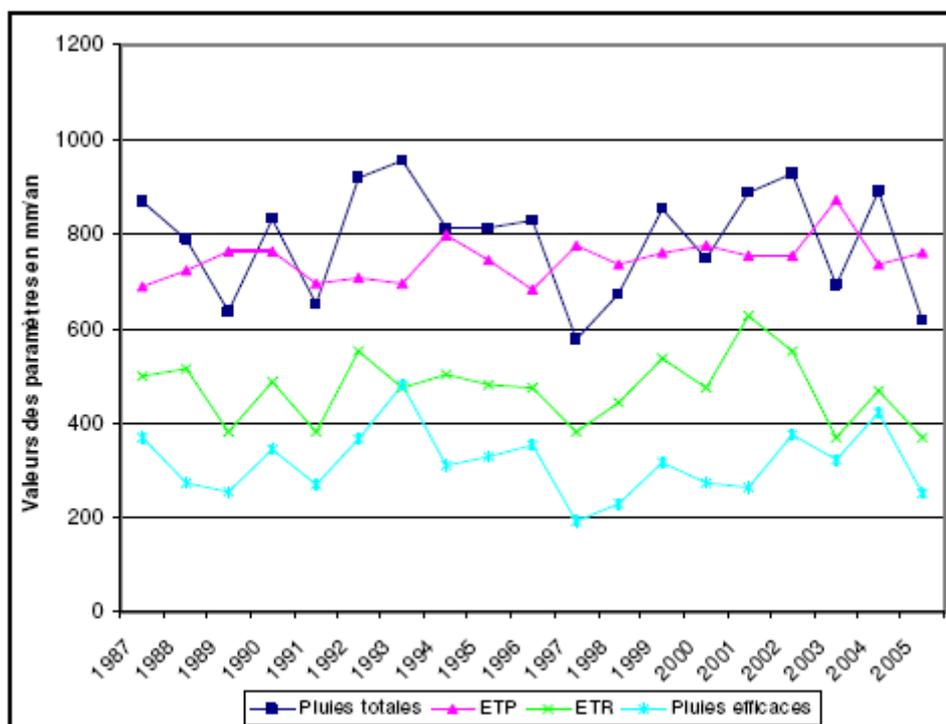


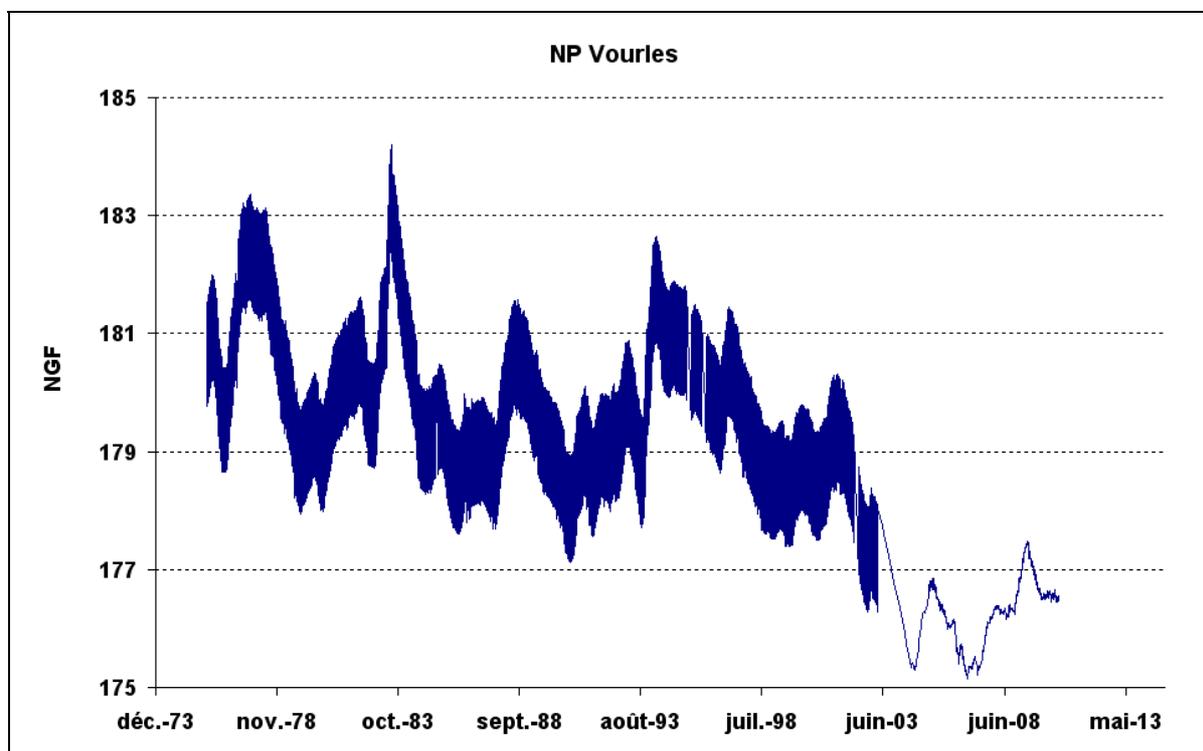
Figure 16 : Précipitations totales, ETP, ETR et précipitations efficaces annuelles (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).



2.3.2 Données piézométriques

La nappe du Garon est suivie par la DIREN depuis 1977 sur le piézomètre de Vourles, localisé dans la partie amont de la nappe :

Figure 17 : Evolution de la piézométrie sur le piézomètre de Vourles. Suivi DIREN.



Ce piézomètre montre une tendance à la baisse depuis 1990. Les périodes de recharge ne semblent pas suivies de remontées piézométriques.

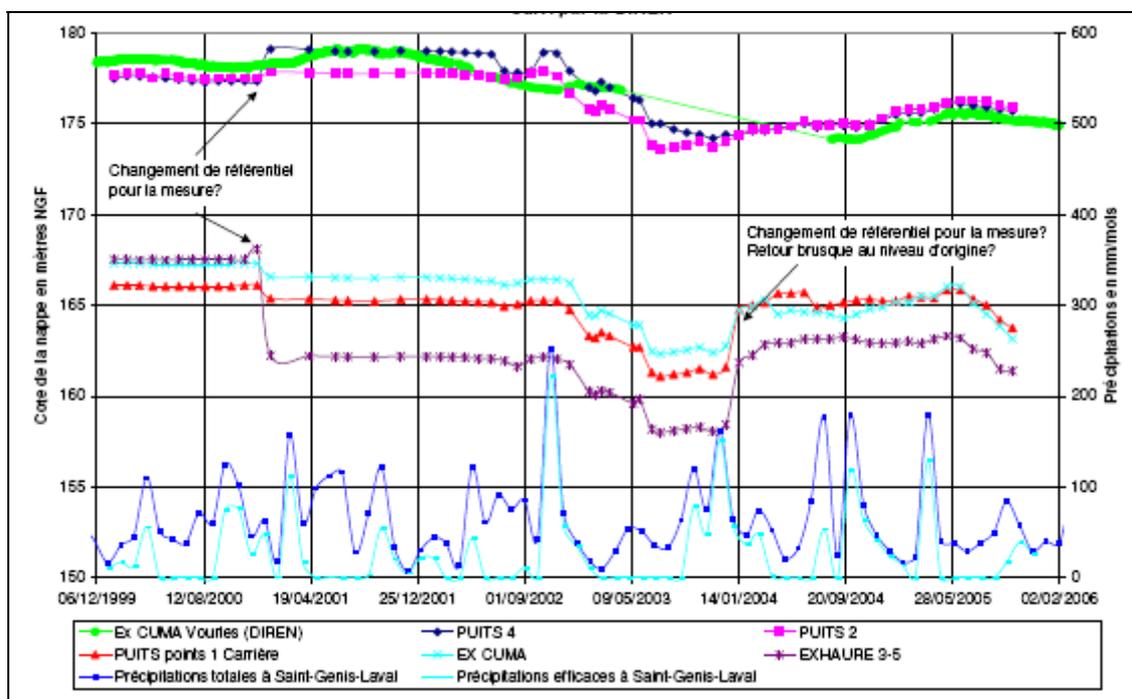
Lamotte (BRGM, 2003) propose une synthèse des données piézométriques disponibles recueillies par d'autres opérateurs : LAFARGE, MIMO et SIDESOL. Les chroniques sont courtes et peu de données sont exploitables. Les données ne sont pas présentées dans le rapport.

La synthèse de BURGEAP (2007) se montre plus exhaustive dans la présentation des données. De nombreuses chroniques piézométriques y sont présentées. On observe sur la période novembre 2001-décembre 2003 une forte baisse des niveaux de nappe :

- ▶ de novembre 2001 à octobre 2002 cette baisse s'amorce sur le piézomètre DIREN, elle n'est pas visible aux autres points suivis en amont ni en aval du seuil des Mouilles¹,
- ▶ de novembre 2002 à juin 2003 cette baisse s'accroît. Peu visible sur le piézomètre DIREN dont la chronique est interrompue, elle s'observe aux puits de captage AEP en amont du seuil des Mouilles, ainsi qu'aux puits AEP et aux puits des carrières en aval de ce seuil.

Ceci peut être relié principalement à l'augmentation de l'exploitation de la nappe, en amont du seuil des Mouilles, dont l'impact en termes de niveau de nappe se fait également sentir à l'aval du seuil. A partir de 2004, la nappe est moins exploitée et le niveau de la nappe remonte progressivement, mais sans rejoindre son niveau d'avant 2003. Les auteurs concluent qu'en 2003, les réserves de l'aquifère ont été sollicitées et qu'elles ne se sont pas encore entièrement reconstituées.

Figure 18 : Evolution de la piézométrie sur les ouvrages suivis dans le cadre du réseau de surveillance de Lafarge Granulats (Rapports SDEI de 2000 à octobre 2005) et le piézomètre ex-CUMA Vourles suivi par la DIREN). D'après BURGEAP, 2007.



2.3.3 Données sur les pertes en rivière :

Le régime du Garon est de type pluvial avec des étiages très sévères dès le mois de Juillet, susceptibles de provoquer un assèchement temporaire du cours d'eau sur un tronçon pouvant aller de Brignais jusqu'à l'amont de Grigny.

Le bassin versant du Garon ne possède actuellement aucune station limnigraphique. Entre 1969 et 1984, une station suivie par la DIREN existait au lieu dit le Barret à Brignais (V3035010, source banque-hydro, RNDE), représentant 79 km² du bassin versant. Selon la DIREN, les 14 années de données qui ont été collectées à cette station présentent une bonne fiabilité.

Le tableau ci-dessous donne le débit interannuel mensuel de 1969 à 1984 sur la station hydrographique de Brignais en m³/s (BURGEAP, 2007) :

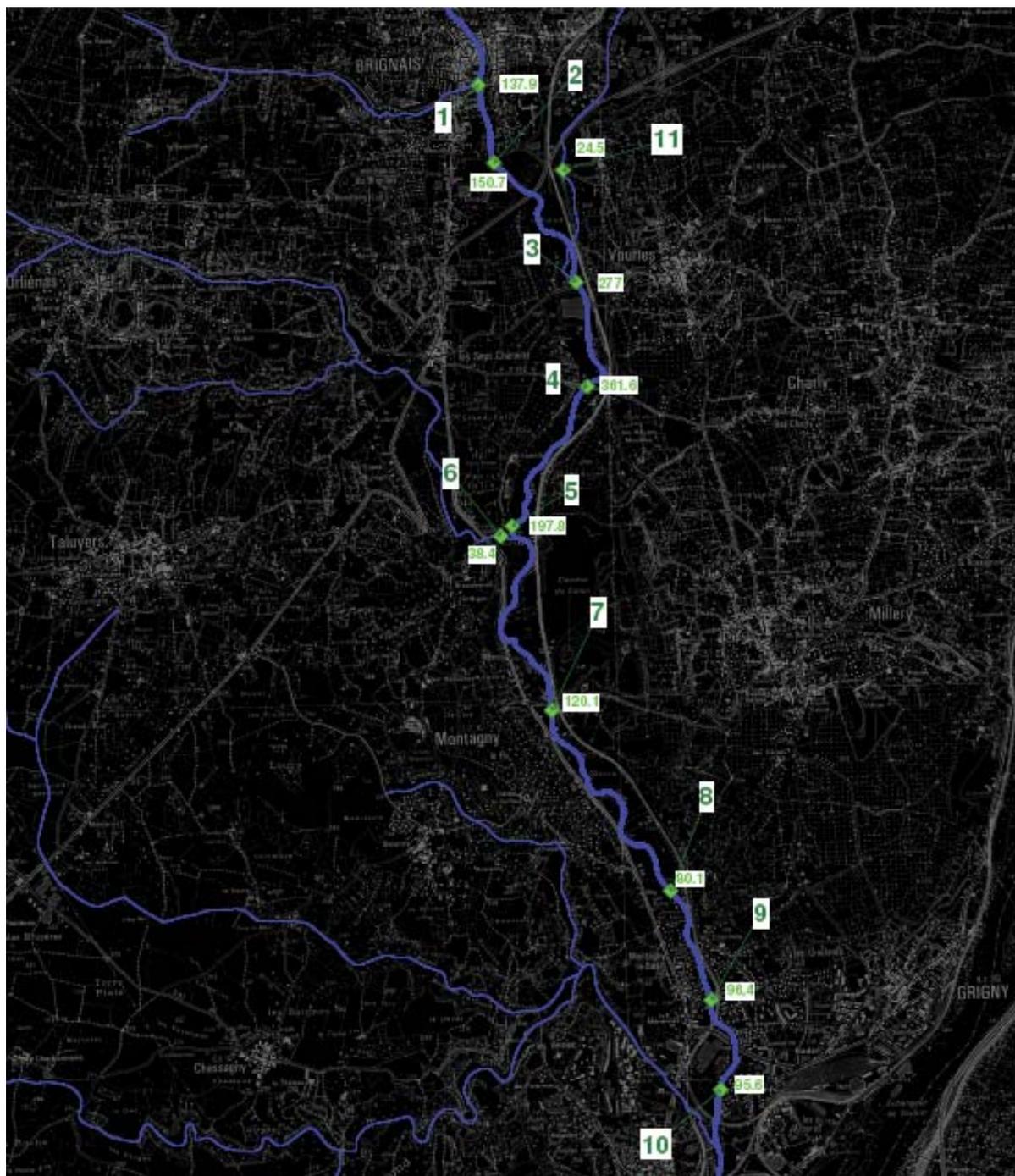
Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0.82	1.15	0.96	0.82	0.84	0.29	0.12	0.18	0.24	0.34	0.69	0.91

Nous disposons de nombreuses données de jaugeage pour estimer les pertes du Garon :

- Mesures du 13 juin 1967 (BURGEAP, 1967) : environ 78 l/s entre Brignais et les Mouilles et environ 20 l/s entre les Mouilles et les carrières.

- ▶ Mesures du 29 novembre 1967 (BURGEAP, 1967) : environ 183 l/s de pertes entre Brignais et les Mouilles.
- ▶ Mesures du 22 juillet 1997 (DIREN, 1997) : environ 60 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau de Vourles.
- ▶ Mesures du 9 septembre 1997 (DIREN, 1997) : environ 40 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau de Vourles.
- ▶ Mesures SITA du 2 juillet 2004 (in BURGEAP, 2007) : environ 24 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau du seuil des Mouilles.
- ▶ Mesures SITA du 2 septembre 2004 (in BURGEAP, 2007) : environ 120 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais, 240 l/s à la confluence avec le Merdanson de Chapanost et environ 100 l/s au niveau du seuil des Mouilles.
- ▶ Mesures BURGEAP du 23 mai 2007 (BURGEAP, 2008b) avec des jaugeages sur 11 points de mesure répartis le long du Garon (cf. figure ci-dessous). Elle montre une augmentation du débit entre Brignais et Vourles (station n°4), de 150 à 360 l/s, puis des pertes importantes entre Vourles et la confluence avec le Merdanson d'Orlienas (de l'ordre de 160 l/s) puis entre cette confluence et Montagny (de l'ordre de 160 l/s). Rappelons que la nappe est alors en état de basses eaux avec un minimum de l'ordre de 176 m NGF au droit du piézomètre DIREN de Vourles. Ceci est susceptible d'expliquer les fortes pertes observées à l'aval du seuil des Mouilles.

Figure 19 : résultats de la campagne de jaugeage (d'après BURGEAP, 2008 b)



Nous ne disposons d'aucunes mesures sur les pertes des affluents du Garon.

La mission de reconnaissance sur le terrain a permis de constater les éléments suivants :

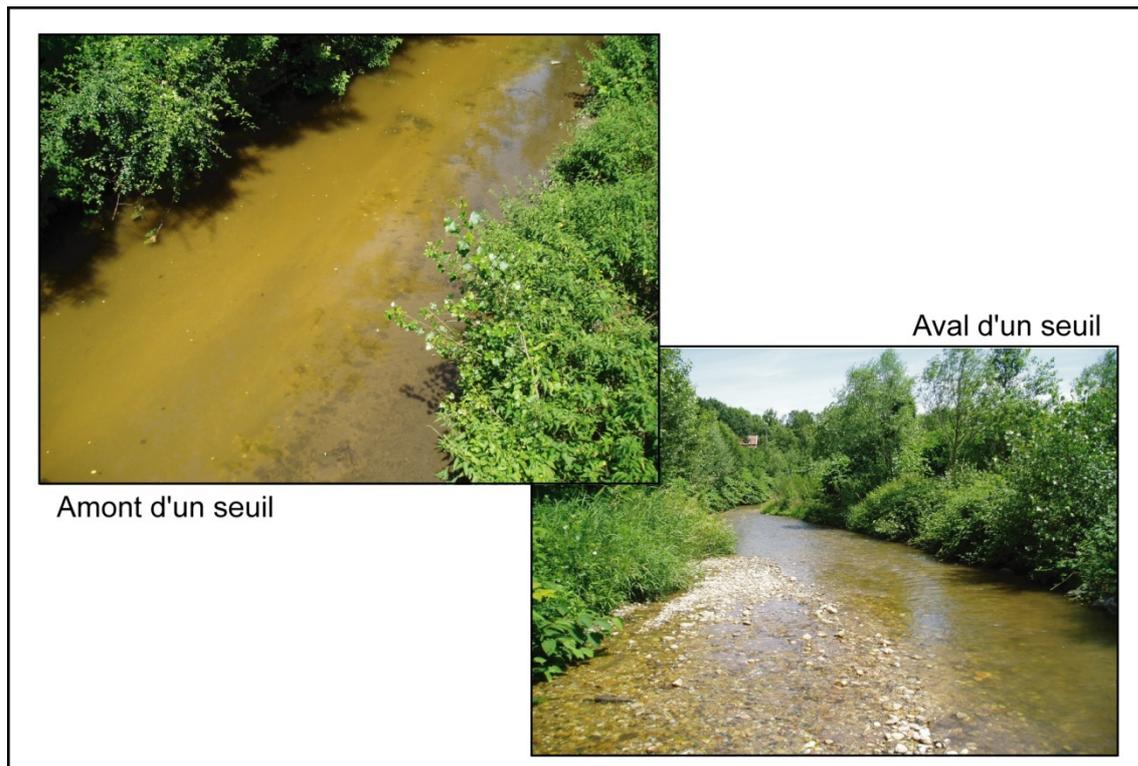
- Le Garon présente de nombreuses sections aménagés de type seuil. Cela induit une alternance de zones caractérisées par un fond de type graveleux, favorables à l'infiltration des eaux vers la nappe, et de zones caractérisées par un fort envasement peu propice aux infiltrations.

- ▶ Le Garon présente des zones où il est encaissé dans les dépôts modernes de type limoneux et des zones où il est plus libre de divaguer.

On peut en déduire les considérations suivantes :

- ▶ Les pertes sont distribuées spatialement le long du cours d'eau.
- ▶ Les pertes ne sont probablement pas constantes dans le temps. En deçà, d'une valeur seuil du débit du cours d'eau (de l'ordre de 150 l/s selon les données disponibles), les pertes sont totales. Mais au dessus de cette valeur seuil, il est possible que les pertes soient plus importantes dans les zones de divagation du cours d'eau.

Figure 20 : Photographies des morphologies caractéristiques du lit du Garon



3. ELEMENTS D'ORIENTATION

3.1 AVIS SOMMAIRE SUR L'ETENDUE DES CONNAISSANCES

3.1.1 Eléments certains :

Sans revenir sur le détail des connaissances acquises sur l'aquifère du Garon, les points suivants méritent d'être soulignés :

(1) Cet aquifère a fait l'objet d'études répétées et complémentaires tant sur sa structure que sur son comportement hydrogéologique. On dispose ainsi de nombreuses données de qualité :

- ▶ Forages renseignés.
- ▶ Prospections géophysiques bien réparties sur l'aquifère.
- ▶ Suivis piézométriques pluri-annuels sur plusieurs points.
- ▶ Nombreuses campagnes de jaugeages pour estimer les pertes du Garon.
- ▶ Données météorologiques sur de nombreuses stations.

(2) Cet aquifère a déjà fait l'objet d'une première démarche de modélisation approfondie de qualité. Cela permet d'avoir un outil numérique utile pour l'investigation des potentialités de l'unité aquifère.

(3) Cet aquifère a fait l'objet de nombreuses synthèses, depuis la première produite par BURGEAP en 1966 jusqu'à celle proposée par BURGEAP en 2007. A ce sujet, on peut considérer cette dernière synthèse comme exhaustive et de qualité. Les rapports les plus récents sur les sources de la Mouche permettent de compléter utilement la connaissance de l'unité aquifère.

On peut donc considérer en première approximation que l'aquifère est bien décrit pour autoriser une approche de type modélisation, tant du point de vue de sa structure que de son comportement hydrogéologique.

Notons cependant la présence d'incertitudes qu'il sera nécessaire de discuter puis d'intégrer dans la stratégie de modélisation. Les principaux points méritant une discussion sont les suivants :

(a) Estimation de la pluie efficace (lame d'eau s'infiltrant dans la zone non saturée qui participera in fine à la recharge de la nappe).

(b) Débit infiltré dans la nappe par pertes des eaux du Garon.

(c) Rôle des coteaux. Leur contribution est par nature difficile à estimer (venues sous-alluviales en provenance d'aquifères fissurés hétérogènes).

(d) Conditions aux limites imprécises : seuil des Barolles et dépression de Charly-Millery.

(d) Impact de la gravière sur le comportement hydrogéologique et nature du seuil des Mouilles.

Signalons aussi l'absence de données utiles pour consolider la détermination des volumes prélevables par l'approche de modélisation : mesures de débit du Garon au droit de la confluence avec le Rhône (exutoire de l'unité inférieure) et chronologies des débits des sources de la Mouche (exutoire de l'unité supérieure).

3.1.2 Éléments incertains

Cette étude a permis de mettre en évidence les éléments incertains suivants :

ESTIMATION DE LA PLUIE EFFICACE

C'est une donnée essentielle pour la compréhension des phénomènes et l'estimation du bilan mais, malheureusement, son estimation nécessite l'emploi de méthodes approximatives.

Une approche statistique classique donne une moyenne interannuelle de l'ordre de 270 mm/an. Accepter une pluie efficace moyenne de l'ordre de 270 mm/an revient à attribuer un débit fictif de l'ordre de 130 l/s aux alimentations par infiltration des eaux météoriques dans le bilan.

Notons que pour le calage en régime permanent du modèle, une valeur de 160 mm/an a été introduite (soit environ 60% de la moyenne interannuelle) ; pour assurer la validité du calage, cette valeur a été réduite à 120 mm/an (soit 44% de la MI). Ce qui donne un débit fictif de l'ordre de 60 l/s dans le bilan déduit.

Les bilans proposés font varier cette valeur de 60 à 100 l/s, ce qui témoigne du manque de certitude sur les phénomènes en jeu.

Précisons que les modalités d'infiltration des eaux météoriques pourront peut-être être étudiées indirectement lors de l'application du modèle pluie-débit qui sera appliqué sur le bassin versant en phase 2 de l'étude. C'est un point important : la réalisation préalable d'un modèle maillé de type pluie-débit sur l'impluvium de l'aquifère pourra en fonction des données de calage et de la complexité de l'hydro système, permettre de réduire de façon significative les incertitudes sur ce paramètre clé pour le comportement hydrogéologique de l'aquifère.

QUANTIFICATION DES PERTES DU GARON :

Les mesures les plus récentes et les plus étendues permettent d'estimer des pertes en aval du seuil des Mouilles (zone pour laquelle la rivière est "perchée" par rapport à la nappe) de l'ordre de 150 l/s minimum. En effet, c'est seulement pendant les mois de juillet et d'août que le débit interannuel mensuel du Garon est susceptible de descendre en dessous de 150 l/s (120 l/s pour juillet et 180 l/s pour août) ; on peut ainsi considérer les pertes comme continues les autres mois de l'année et on peut en première approximation estimer que les périodes de crues compensent les périodes de pertes partielles.

Si on accepte cette valeur, on peut alors considérer un apport par infiltration de ces pertes avec un débit fictif moyen annuel de l'ordre de 100 à 150 l/s.

Cette valeur doit être considérée avec prudence : elle cumule les pertes du Garon mais aussi celles de ces affluents (valeur minorée), elle ne traduit pas les phénomènes complexes liés à la présence des nappes supérieures qui non seulement retardent l'infiltration mais sont susceptibles de stocker une partie des eaux infiltrée (valeur majorée).

APPORTS PAR LES COTEAUX DE BORDURE.

Les apports sous alluviaux se font dans des aquifères de type fissurés pour lesquels les notions de paramètres équivalents (porosité et perméabilité) sont a priori non applicables. De plus, ces aquifères sont caractérisés par une forte hétérogénéité spatiale. Si des mesures de terrain adéquates permettaient de déterminer localement le débit possible des apports, cette valeur devrait être considérée comme très locale et ne pourrait être extrapolée à d'autres zones.

Il faut donc accepter que ces apports ne pourront jamais être mesurés mais devront être considérés comme une variable d'ajustement dans la démarche de modélisation.

SIGNIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DU SEUIL DES BAROLLES.

Les éléments d'information consultés dans le cadre de cette étude montrent l'absence d'arguments hydrogéologique ou structuraux pour justifier l'existence d'un seuil hydrogéologique au droit des Barolles.

Inversement, les données hydrogéologiques disponibles soutiennent plutôt l'hypothèse d'une continuité de la nappe profonde du Garon avec les sources de la Mouche.

Ce qui impliquerait que les résurgences dites des sources de la Mouche constituent un exutoire de la nappe profonde du Garon. Avec en première approximation, un débit soutiré supérieur à 50 l/s : 50 l/s mesuré en hautes eaux, majoré du débit d'alimentation des alluvions limoneuses récentes qui "barrent" la nappe, majoré des 15 l/s de prélèvement industriel.

IMPACT DE LA GRAVIERE SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS ET NATURE DU SEUIL DES MOUILLES.

Le seuil des Mouilles forme une particularité hydrogéologique qu'il est nécessaire de comprendre. Son impact sur la piézométrie est majeur avec un cloisonnement hydrodynamique et hydrochimique de l'aquifère. Pour simuler son impact sur la piézométrie, il a été nécessaire d'introduire des mailles avec des perméabilités de 8.10^{-5} m/s.

Les données consultées permettent de proposer une hypothèse basée sur le croisement de deux phénomènes :

1. Variation lithologique des dépôts dans ce secteur.
2. Influence de la gravière par pertes localisées par évaporation et par modification des isopièzes.

(1) Origine du seuil des Mouilles : cet étranglement pourrait correspondre à un ancien verrou glaciaire et former ainsi un barrage souterrain (BURGAP, 1966).

Un schéma plausible (BURGEAP, 2007) serait celui d'un premier dépôt de type alluvial du paléo-Rhône au Pliocène puis de séquences glaciaires au Quaternaire, avec surcreusement des dépôts fluviaux puis dépôts de type morainique. Il est probable qu'à l'époque rissienne, le recul des glaciers ait entraîné une déviation du Rhône vers sa vallée actuelle suite à une obstruction du cours d'eau par des moraines.

Ce schéma est conforme avec les différences lithologiques (matériaux moins perméables à l'aval) et géomorphologique (vallée en V à l'amont et en U à l'aval) à l'aval et à l'amont du seuil des Mouilles.

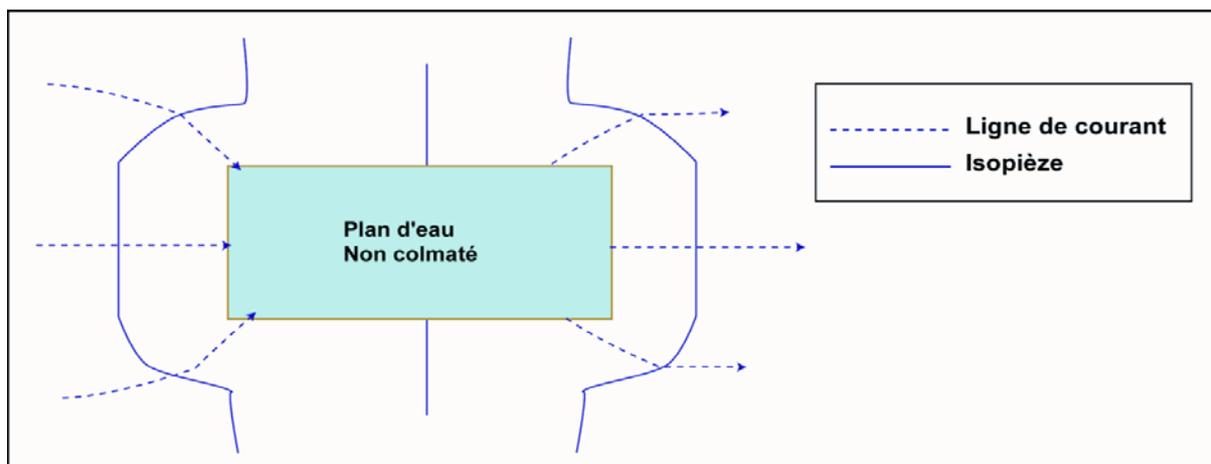
Ce schéma impliquerait des dépôts majoritairement fluviaux à l'amont du seuil et principalement morainiques au niveau et à l'aval du seuil ; ce qui est cohérent avec la distribution des perméabilités mesurés.

(2) Concernant l'impact probable de la carrière, rappelons les éléments suivants :

De manière générale, dans un milieu homogène, le régime d'écoulement de la nappe va être modifié au voisinage de la gravière (cf. figure ci-dessous). L'implantation d'une gravière revient à remplacer la matrice poreuse par une zone à porosité de 100% et une transmissivité infinie.

Dans sa partie amont, le plan d'eau draine la nappe alors que dans sa partie aval, il l'alimente.

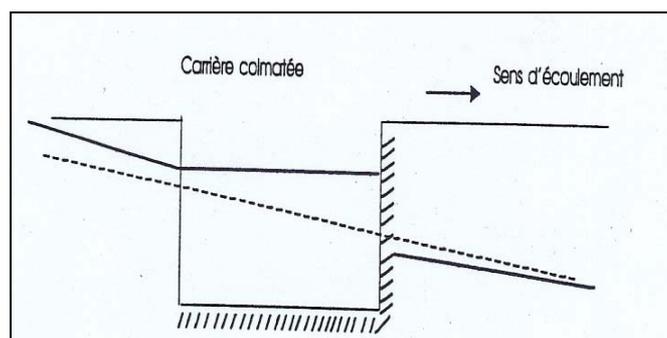
Figure 21 : Effets théoriques d'un plan d'eau dans un matériau homogène .

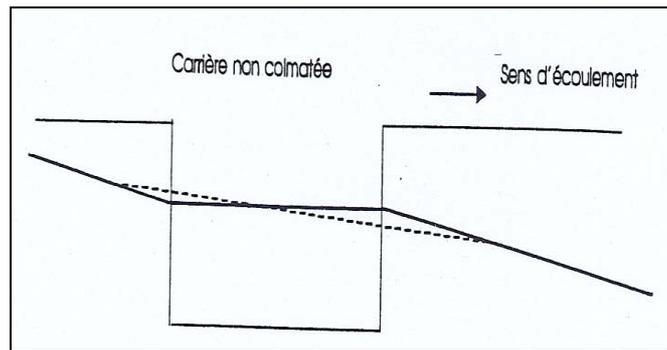


Ces perturbations s'accompagnent localement d'une augmentation du gradient hydraulique. Le facteur explicatif principal de l'impact d'un plan d'eau sur une nappe est le colmatage des berges :

- ▶ Si les parois ne sont pas colmatées, on observera une surélévation du niveau piézométrique à l'aval hydraulique et un rabattement à l'amont.
- ▶ Si les parois sont colmatées, il y aura surélévation à l'amont et rabattement à l'aval.

Figure 22 : Impact du colmatage des berges .





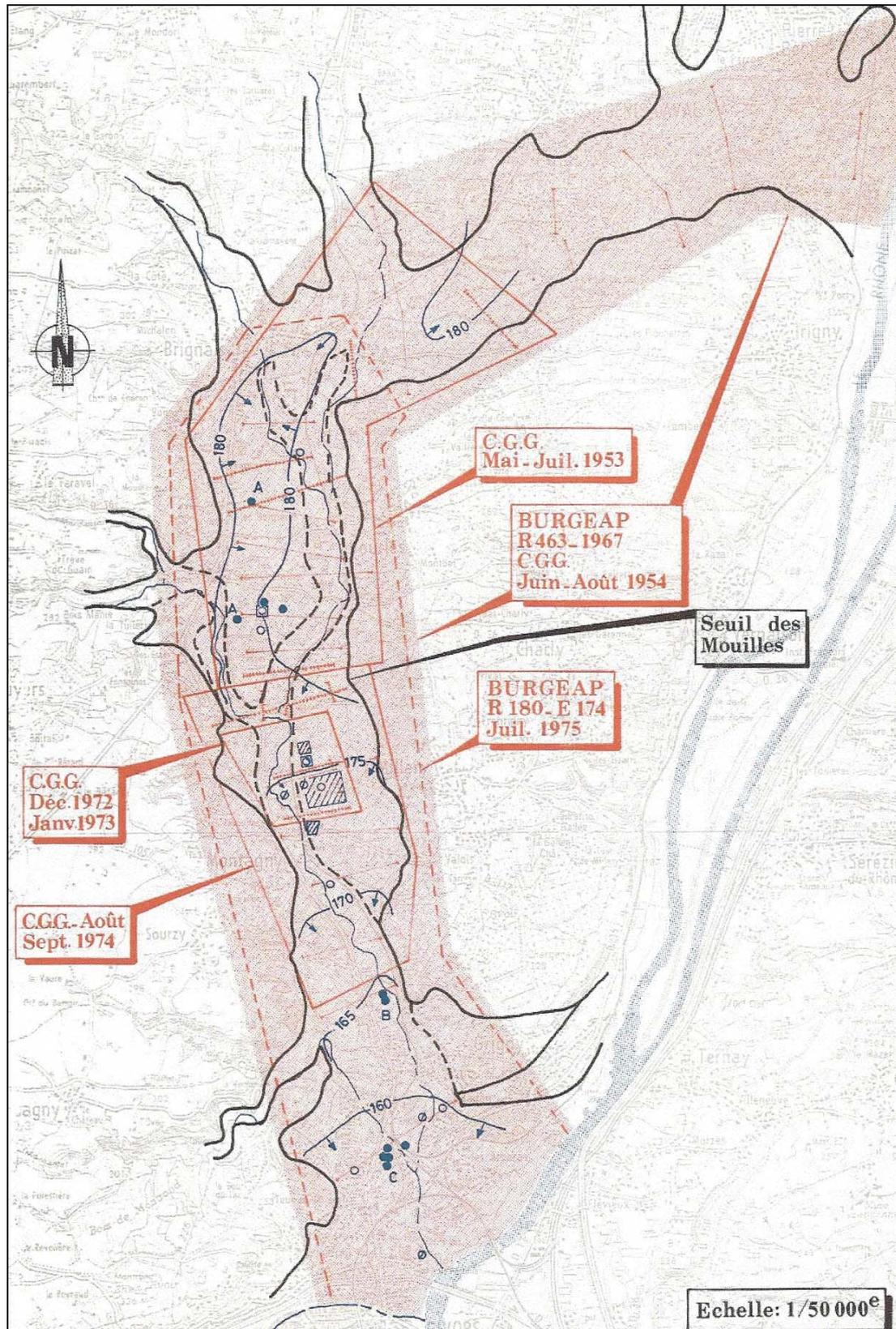
L'extraction des alluvions entraîne donc un phénomène de basculement de la surface du plan d'eau ainsi créé. Celui-ci s'équilibre à l'horizontale alors que les gradients hydrauliques sont modifiés aux abords. Une des conséquences de cette modification est l'accentuation des gradients dans la partie située à l'amont de la gravière, ce que l'on observe au droit du seuil des Mouilles.

Les données piézométriques récoltées autour de la carrière au droit du seuil des Mouilles tendraient à montrer que celle-ci serait partiellement colmatée et jouerait ainsi le rôle d'un barrage hydraulique.

Signalons qu'avant l'extraction de la partie noyée des matériaux (étude SRAE, 1981), la piézométrie était moins "perturbée" qu'aujourd'hui. Les rares données de piézométrie de l'époque montrent une nappe déjà impactée avec gradient de 0,1% entre Brignais et les gravières et un gradient moyen de l'ordre de 0,4% entre les gravières et Givors. Sous la zone des carrières, la nappe est alors approximativement à la cote 175 m NGF alors qu'elle est comprise entre 165 et 170 m NGF aujourd'hui.

Rappelons que l'impact du seuil avait déjà été clairement observé en 1966 (BURGEAP). Il est donc possible que l'implantation de cette gravière ait accentué l'effet du seuil sur la piézométrie. Si l'on rajoute une augmentation graduelle des pompages AEP dans le secteur de Montagny, on ajoute alors un facteur susceptible de renforcer l'impact de la gravière sur les écoulements.

Figure 23 : Synthèse hydrogéologique (SRAE, 1981)



Pour finir, rappelons que les gravières ont un impact quantitatif sur la ressource par évaporation;

Le volume "perdu" pour la nappe peut être estimé de la façon suivante :

$$Q = P - E - I(Sr)$$

Dans une gravière, la pluie infiltrée correspond en totalité à la pluie. L'évaporation peut être estimée par des formules empiriques fonction de la température de l'air et de la surface évaporante, du rayonnement net, de la vitesse du vent, de la pression atmosphérique,

De plus, selon cette approche, il est nécessaire d'estimer les volumes perdus, suite à la suppression de la recharge de la nappe sur les surfaces occupées par les gravières. En effet, initialement des flux d'eau alimentaient la nappe et ils ont été supprimés. Ils sont calculés classiquement par des formules de type :

$$I(Sr) = P - ETP - R$$

Dans cette formule, on suppose négligeable pour les échelle de temps qui nous intéressent, les phénomènes de stockage d'eau dans le sol. De même, le ruissellement peut être considéré comme nul à l'échelle des surfaces intéressées.

Dans le cadre de cette étude nous avons fait une demande auprès de METEO FRANCE pour nous donner les valeurs d'évaporation estimées sur une décennie au droit du secteur d'étude (Station météorologique de Lyon-Bron).

Avec les moyennes climatiques suivantes :

$$P = 800 \text{ mm.}$$

$$E = 1060 \text{ (moyenne de 2000 à 2009).}$$

$$ETR = 600 \text{ mm.}$$

Pour un plan d'eau de 100 ha, on estime alors une perte annuelle pour la nappe de l'ordre de 480 000 m³. Ce qui correspond à un débit fictif de l'ordre de 15 l/s.

PRESENCE D'UN AUTRE AXE POTENTIEL DE VIDANGE DE LA PARTIE AMONT DE LA NAPPE AU DROIT DE LA DEPRESSION DE CHARLY-MILLERY :

Des arguments géologiques et topographiques permettent de poser l'hypothèse d'une structure géologique particulière au droit de la dépression de Charly Millery. Il est possible qu'elle puisse jouer un rôle hydrogéologique secondaire de type axe drainant secondaire (formations morainiques moins perméables que les dépôts fluvio-glaciaires).

C'est une hypothèse qui mériterait d'être étudiée par une étude spécifique.

Au vu du peu d'arguments disponibles pour soutenir cette hypothèse, elle sera négligée dans le cadre de cette étude.

3.1.3 Recommandations :

Au vu des incertitudes mises en évidence, nous recommandons la mise en œuvre ad minima des opérations suivantes :

- ▶ Installation d'un nouveau point de mesure du débit du Garon dans la partie aval de l'aquifère (au sud du seuil des Mouilles), idéalement dans la partie la plus aval du bassin versant.
- ▶ Implantation d'un piézomètre pour le suivi de la nappe dans la partie aval de l'aquifère (au sud du seuil des Mouilles). Idéalement, il faudrait positionner ce piézomètre en dehors de la zone d'influence de la gravière et des pompages AEP.
- ▶ Installation d'une station de mesure en continu du débit du Garon à Brignais. Idéalement, une station de mesure des débits du Merdanson de Chaponost en amont de sa confluence avec le Garon viendrait compléter l'information.
- ▶ Investigations géologiques détaillées sur la nature de la dépression de Charly-Millery.
- ▶ Etude hydrogéologique détaillée (avec mesures piézométriques et reconnaissances du substratum) sur le seuil des Barolles et la zone de résurgence des sources de la Mouche.

3.1.4 Révision du modèle conceptuel

Les éléments d'information présentés dans le cadre de cette étude amènent à reconsidérer deux éléments fondamentaux quant au comportement hydrogéologique de la nappe du Garon :

- ▶ Révision majeure sur la nature de la condition aux limites Nord-Est de la nappe : il nous semble que les éléments d'information recueillis soutiennent plus l'hypothèse d'une zone d'exutoire de la nappe profonde du Garon par les sources de la Mouche, que l'hypothèse d'une limite hydrogéologique sous le "seuil des Barolles". Cette nouvelle hypothèse est basée sur les travaux les plus récents sur les sources de la Mouche (BURGEAP, 2009) ; les données recueillies dans le cadre de cette étude, notamment les mesures de débit, apportent des arguments univoques sur le système hydrogéologique. Le caractère récent de ces apports explique la "nouveauité" de cette hypothèse qui va à l'encontre de la majorité des documents de synthèse consultés.
- ▶ Révision mineure sur l'impact quantitatif de la gravière qui se traduirait par une perte équivalent à 15 l/s en terme de débit fictif.

En ce qui concerne les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines, rappelons les éléments suivants :

- ▶ Les écoulements à surface libre et souterrain sont liés par le flux traversant le lit du cours d'eau.
- ▶ Pour évaluer le débit entre le cours d'eau et l'aquifère, il faut connaître les élévations respectives de la surface libre et de la nappe phréatique.

Trois situations sont possibles :

- a. Connexion entre les deux masses d'eau : la nappe alimente la rivière.
- b. Connexion entre les deux masses d'eau : la rivière alimente la nappe.
- c. Recharge de la nappe sans continuité hydraulique.

La figure ci-dessous illustre ces trois potentialités.

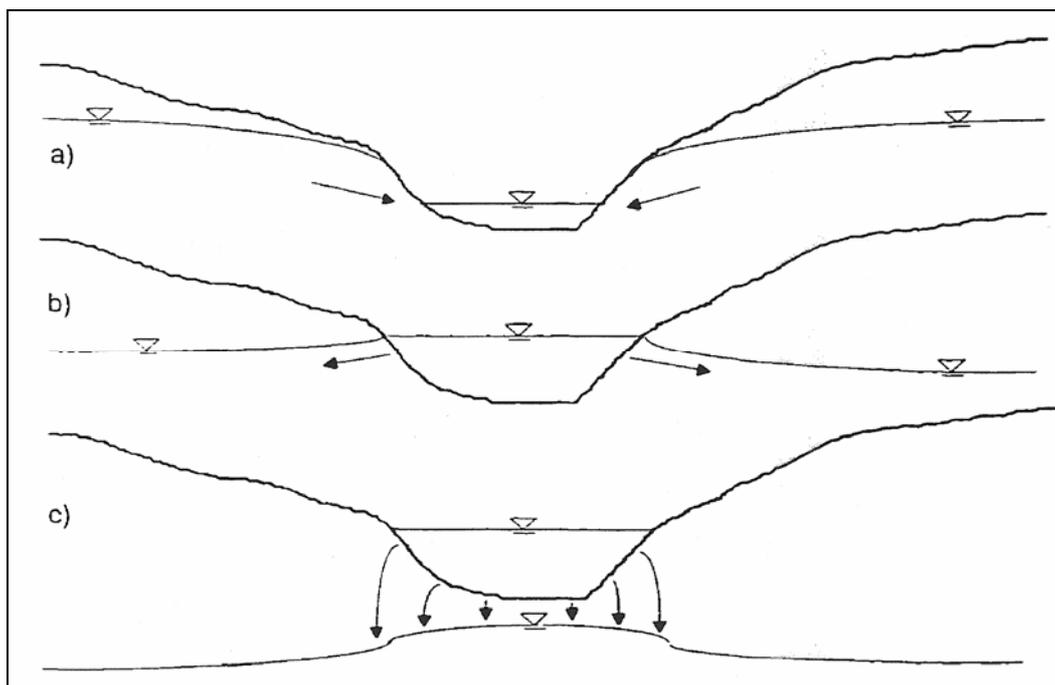
Le flux dépend :

- ▶ Dans le cas d'une connexion hydraulique, de la perméabilité du lit de la rivière et de la différence de charge hydraulique entre les deux systèmes. Plus cette dernière est forte, plus les échanges sont importants. Dans le cas d'un lit complètement imperméable, les échanges seraient ainsi nuls.
- ▶ Dans le cas de non continuité hydraulique des deux masses d'eau, le débit traversant le lit du cours d'eau dépend uniquement de la perméabilité des matériaux les moins perméables (dépôts de fond sur le lit ou horizons sédimentaires dans la zone non saturée) et de la hauteur d'eau dans le cours d'eau.

Dans la pratique, on observe souvent que certains biefs drainent l'aquifère et que d'autres le rechargent. Par ailleurs, un bief peut recharger l'aquifère lors de crue et le drainer lors des périodes d'étiage.

La nature des échanges varie donc dans le temps et dans l'espace.

Figure 24 : Relations possibles entre cours d'eau et nappe.



3.1.5 Implication sur la description des hydro systèmes :

Si l'on accepte les deux révisions proposées, on a alors un hydro système composé des éléments suivants :

- ▶ Une unité dite supérieure (amont du seuil des Mouilles). Elle est alimentée principalement par l'infiltration des eaux de pluie et l'infiltration des eaux du Garon (secondairement par les coteaux de bordure). Ses exutoires correspondent à la zone de résurgence des sources de la Mouche puis à des écoulements de nappe vers l'unité inférieure au droit du seuil des Mouilles. Dans cette unité, la nappe est profonde (présence d'une zone non saturée épaisse) ; la recharge de la nappe par infiltration des eaux superficielles se fait sans continuité hydraulique, au travers de nappes perchées plus ou moins étendues.
- ▶ Une unité dite inférieure (aval du seuil des Mouilles). Elle est alimentée par l'infiltration des eaux de pluie et les échanges avec le Garon, et, secondairement, par un apport d'eau souterraine en provenance de l'unité supérieure. Son exutoire naturel est la nappe de Rhône dans le secteur de Givors. Dans cette unité, la nappe est peu profonde et les échanges avec la nappe sont importants ; les relations avec entre le Garon et la nappe sont régies par les différences de charge entre les deux masses d'eau (continuité hydraulique).

Si l'on accepte cette description des hydro systèmes, les implications en terme de relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont les suivantes :

- ▶ Les prélèvements dans l'unité supérieure conduisent à diminuer les flux souterrains vers les sources de la Mouche et vers l'unité inférieure (absence d'interaction avec le Garon). Ce qui impliquerait que l'augmentation des prélèvements au delà de 3 Mm³ par an se traduirait principalement à la fois par une diminution de la piézométrie de la zone noyée mais aussi par une diminution importante des débits dans la zone d'exutoire des sources de la Mouche. L'impact sur le flux d'alimentation de l'unité inférieure dépend directement et de façon proportionnelle du gradient hydraulique au droit du seuil des Mouilles (perte de 15 m de charge sur quelques centaine de mètres) ; la diminution d'un mètre de charge dans l'unité supérieure implique donc une diminution de l'ordre de 5% du flux vers l'unité inférieure
- ▶ Les prélèvements dans l'unité inférieure peuvent être considérés comme des prélèvements directs dans le Garon en raison de la continuité hydraulique entre la rivière et la nappe. Cette hypothèse est proposée au vu de la forte perméabilité des alluvions et de la faible largeur de l'aquifère dans cette zone.

3.1.6 Implications pour un bilan de la nappe :

Si l'on accepte les révisions proposées, les éléments discutés ci-dessus amènent à reconsidérer complètement le bilan de la nappe à l'équilibre.

On aurait ainsi comme alimentations principales :

- ▶ Infiltration des eaux de pluie : de l'ordre de 130 l/s (ordre de grandeur à valider).
- ▶ Pertes du Garon : entre 100 et 150 l/s.
- ▶ Apports des coteaux : 20-30 l/s ?.

Et comme principales sorties :

- ▶ Prélèvements : 100 à 120 l/s (valeur limite en terme de perturbation piézométrique).
- ▶ Sortie sous alluviale vers le Rhône à Givors : environ 30 l/s.
- ▶ Evaporation de la nappe au droit des carrières : environ 15 l/s.
- ▶ Zones de résurgence des sources de la Mouche : de 50 à 100 l/s en fonction des conditions climatiques et des prélèvements dans la nappe (valeurs spéculatives suite à l'absence de mesures de débit sur les sources).
- ▶ Alimentation du Garon avant sa confluence avec le Rhône : de 0 à 100 l/s en fonction des conditions climatiques et des prélèvements dans la nappe (valeurs spéculatives suite à l'absence de mesures de débit du Garon au droit de Givors).

L'hypothèse de 50 à 100 l/s de débit fictif cumulé pour la zone de résurgence de la Mouche peut sembler surprenante. Rappelons que cette hypothèse de débit fictif représente un cumul des éléments suivants :

- ▶ Sources de la Mouche. La seule valeur proposée dans la littérature est de l'ordre de 50 l/s en avril 2009 (valeur que l'on peut juger basse car représentative d'une nappe déprimée au regard des données piézométriques de Vourles).
- ▶ Selon BURGEAP (2009), le secteur est caractérisé par des prélèvements industriels de l'ordre de 15 l/s (absence de prélèvements AEP ou agricoles).
- ▶ Echanges entre nappe fluvio-glaciaires du Garon et nappe superficielle quaternaire du Rhône. Dans ce secteur les dépôts quaternaires de la nappe d'accompagnement du Rhône correspondent à des alluvions fluviales anciennes d'âge wurmien (BURGEAP, 1966). On a donc une géométrie d'échange équivalente à celle de l'unité inférieure avec la nappe du Rhône ; rappelons que l'approche la plus approfondie (BURGEAP, 2008) a permis d'estimer un débit fictif d'échange entre les deux masses d'eau de l'ordre de 30 l/s.

Cette proposition de bilan sera amenée à évoluer en phase n°2 de l'étude ; l'application du modèle pluie-débit sur le bassin versant devrait permettre de mieux cerner les variables climatiques et donc les modalités de recharge de la nappe.

3.2 AVIS ARGUMENTE SUR LE MODELE BURGEAP

3.2.1 Validité du modèle :

Le modèle proposé correspond à un schéma conceptuel basé sur l'existence d'une limite hydrogéologique au droit du seuil des Barolles.

Même avec cette hypothèse, le modèle numérique peut être considéré comme potentiellement performant pour répondre aux interrogations posées par une étude de détermination des volumes prélevables :

- ▶ La géométrie de l'aquifère est correctement représentée.
- ▶ Les conditions aux limites (hormis celle relative au seuil des Barolles) sont cohérentes avec le schéma conceptuel.
- ▶ La distribution des perméabilités est cohérente avec les mesures réalisées.
- ▶ Les phases de calage et de validation peuvent être considérées comme effectives.

Notons toutefois que l'hypothèse concernant le seuil des Barolles n'est pas neutre. Elle oblige à minimiser les apports d'eau à la nappe : -25% pour les précipitations efficaces, - 40% pour les pertes du Garon.

Rappelons surtout l'absence de données utiles pour consolider la détermination des volumes prélevables par l'approche de modélisation : mesures de débit du Garon au droit de la confluence avec le Rhône (exutoire de l'unité inférieure) et chronologies des débits des sources de la Mouche (exutoire de l'unité supérieure). Elle conduit à un biais méthodologique certain : la non connaissance des valeurs limites en terme de débit à réserver aux exutoires des unités aquifères impliquera un "flou" dans la définition des indicateurs piézométrique de gestion des nappes. Leur définition sera nécessairement approximative.

3.2.2 Améliorations potentielles :

La problématique posée par la non prise en compte de la zone des sources de la Mouche comme exutoire potentiel de la nappe est la suivante :

- ▶ Cette non prise en compte dans le modèle BURGEAP implique t'elle nécessairement un biais par rapport à une détermination des volumes prélevables ?

C'est une question à laquelle il est difficile de répondre a priori.

On peut penser que la minoration des entrées dans la nappe revient à réserver un débit pour cette zone d'exutoire. Dit autrement, si la révision du modèle conceptuel de la nappe comme nous la proposons est essentielle dans la compréhension du fonctionnement global de la masse d'eau (recharge donc bilan, exutoire, relations avec les cours d'eau superficiels), il est fort probable que le fait de simuler une limite à flux nul sous le seuil des Barolles ait peu d'impact sur la capacité du modèle à déterminer les volumes prélevables (sous réserve d'une minoration des volumes de recharge).

Cependant, il est possible que pour des conditions climatiques différentes de celles observées durant la période de calage, des biais apparaissent (notamment en terme d'échanges entre masses d'eau) et fragilisent la signification des résultats.

Idéalement, sous réserve de la faisabilité pratique d'une telle option, il faudrait étendre le domaine modélisé jusqu'aux sources. Cependant, après vérification de la disponibilité des données disponibles auprès des organismes concernés, il apparaît un déficit important d'informations sur le secteur des sources de la Mouche (géométrie de l'aquifère, suivi piézométrique, données de prélèvements, chroniques de débit sur les sources...). Ce qui implique la difficulté d'étendre le domaine modélisé jusqu'aux sources. En effet cette solution d'apparence élégante ne pourrait pas reposer sur une quantité nécessaire de données utiles pour caler et valider le comportement de la nappe dans ce secteur. Une telle solution ne présenterait que l'illusion d'un gain de précision.

En conséquence, nous recommandons les modifications suivantes :

- ▶ Ad minima, étudier l'impact de cette condition aux limites sur le fonctionnement du modèle. Il serait bon de tester les impacts relatifs entre une condition aux limites de type flux nul et une condition aux limites de type limite à charge constante.
- ▶ Introduire un puits fictif au droit de la gravière avec un débit de prélèvement moyen de l'ordre de 15 l/s.

Puis, une fois ces modifications intégrées, recalculer le modèle si nécessaire puis réaliser une validation du modèle calé sur une nouvelle période allant de 2008 à 2009, avant de réaliser des simulations prévisionnelles utiles pour la définition d'indicateurs piézométriques de gestion de nappe.

4. REFERENCES DOCUMENTAIRES

Bonhomme B., 2004 - Ruisseau de la Mouche : synthèse des études géologiques et hydrogéologiques existantes auprès de l'ensemble des acteurs. rapport BRGM RP-53353-FR. 23 p.

BURGEAP, 1966 - Nappe alluvial de la vallée du Garon. Nappe alluviale du Rhône au voisinage de Givors. Pour le compte de la Direction Départementale de la construction du Rhône et la Direction Départementale de l'agriculture du Rhône. Rapport d'étude. 30 p. + annexes.

BURGEAP, 1967 - Les ressources en eau souterraine de la vallée du Garon, du méandre de Chasse et l'île du Grand Gravier. Résultats des travaux de reconnaissance et synthèse. Pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement du Rhône et la Direction Départementale de l'agriculture du Rhône. Rapport d'étude. 17 p. + annexes.

BURGEAP, 2007 - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 1 : collecte et analyse des données existantes. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 40 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 a - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 2 : Maîtrise d'œuvre relative à la réalisation des piézomètres et essais associés. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 13 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 b - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 3 : Acquisition de données complémentaires. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 66 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 c - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 4 : bilan et premiers diagnostics. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 34 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 d - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 5 : Modélisation des écoulements souterrains. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 41 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 e - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 5 : Simulations quantitatives et qualitatives sur la nappe du Garon. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 45 p. + annexes.

BURGEAP, 2009 - Etude hydrogéologique sur le ruisseau de la Mouche (69). Rapport d'étude pour le compte de la Communauté Urbaine de Lyon. 22 p + cartes et annexes.

Chenevoy M., David L., De Montjamont M., 1969 – Notice explicative de la carte géologique au 1 : 50 000 de Givors. Document BRGM.

DIREN Rhône-Alpes, 1997 - Etude de la qualité des eaux du bassin versant du Garon. Investigations réalisées en 1997. Rapport d'étude, 39 p.

Jauffret D., 1999 - Etat des connaissances sur la nappe du Garon en vue d'évaluer son état et sa vulnérabilité vis à vis de la pollution par les nitrates. Rapport d'étude 22 p. + annexes.

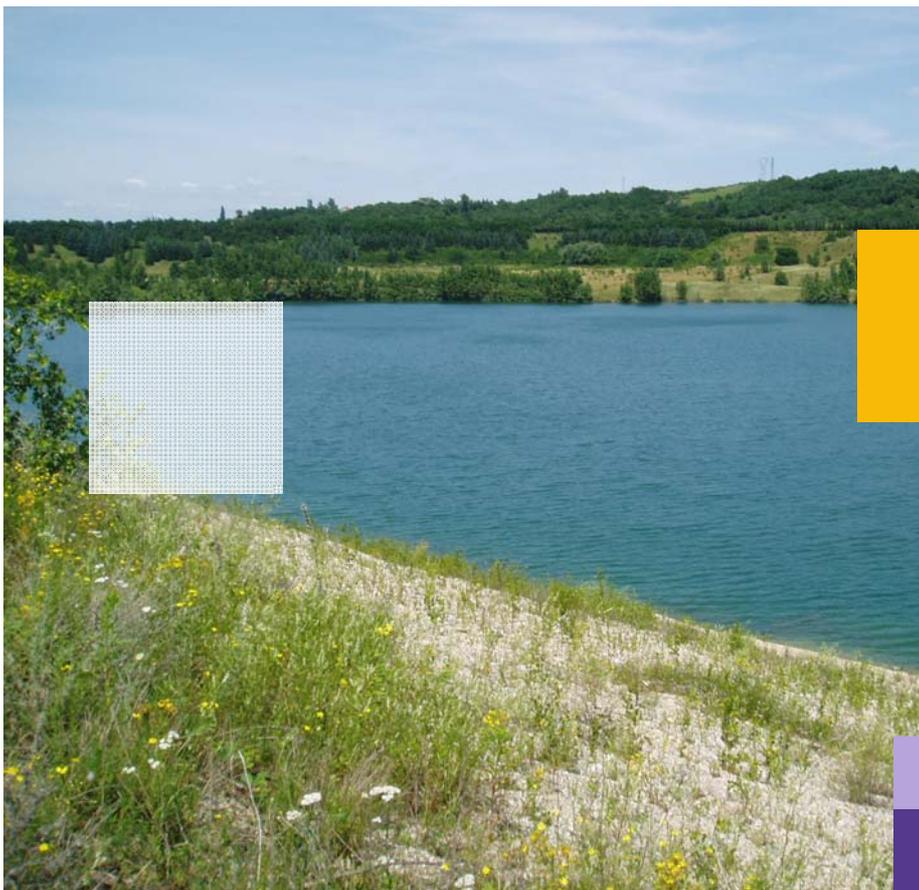
Lamotte C., 2003 - Bilan diagnostique de la nappe alluviale du Garon. Rapport BRGM RP-52280-FR. 37 p. + annexes.

SMAGGA, 2008 - Contrat de rivière du Garon. Dossier sommaire de candidature. 107 p. +annexes.

SOGREAH, 1998 - Etude hydrologique, hydraulique et d'inondabilité. Rapport final. Contrat de rivière Garon. Rapport d'étude, 90 p. + annexes.

SRAE Rhône Alpes, 1981 - Contribution des services extérieurs du Ministère de l'Agriculture à la connaissance des ressources en eaux souterraines dans le département du Rhône. 69 p.

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX



Sous bassin versant du Garon

Phase1 : Diagnostic de l'utilisation de la ressource en eau sur
le bassin versant - Rapport B : Aspects hydrogéologiques

Rapport final • Janvier 2013





**ATTEINDRE
L'ÉQUILIBRE QUANTITATIF
EN AMÉLIORANT
LE PARTAGE
DE LA RESSOURCE EN EAU
ET EN ANTICIPANT
L'AVENIR**

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX

Les études volumes prélevables visent à améliorer la connaissance des ressources en eau locale dans les territoires en déficit de ressource.

Elles doivent aboutir à la détermination d'un volume prélevable global sur chaque territoire. Ce dernier servira par la suite à un ajustement des autorisations de prélèvement dans les rivières ou nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels.

Ces études sont également la première étape pour la définition de plans de gestion de la ressource et des étiages, intégrant des règles de partage de l'eau et des actions de réduction des prélèvements.

Les études volumes prélevables constituent une déclinaison opérationnelle du SDAGE et répondent aux objectifs de l'Orientation fondamentale 7 « Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ».

Elles sont menées par des bureaux d'études sur 70 territoires en déficit du bassin Rhône-Méditerranée.

Maître d'ouvrage :

Syndicat de Mise en valeur d'Aménagement et de Gestion du bassin versant du Garon

Financeurs :

Agence de l'eau
Rhône-Méditerranée & Corse

Bureau d'études :

BRL ingénierie

ÉTUDE GLOBALE DE LA GESTION QUANTITATIVE DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN DU GARON PHASE 1 –DIAGNOSTIC DE L'UTILISATION DE LA RESSOURCE EN EAU SUR LE BASSIN VERSANT- *RAPPORT B : ELEMENTS HYDROGEOLOGIQUES*

PREAMBULE.....	5
1. INTRODUCTION	7
1.1 Contexte de la mission	7
1.2 Contenu du rapport	7
1.3 Généralités sur la méthode proposée	7
2. ELEMENTS D'ANALYSE	8
2.1 Contexte géologique	8
2.1.1 Stratigraphie :	8
2.1.2 Cartographie des formations :	9
2.1.3 Base de Données du Sous-Sol	14
2.2 Contexte hydrogéologique	16
2.2.1 Structure de l'aquifère	16
2.2.2 Qualité des eaux souterraines :	23
2.2.3 Propositions de bilan :	24
2.2.4 Modélisations	29
2.3 Données disponibles	38
2.3.1 Climatologie	38
2.3.2 Données piézométriques	40
2.3.3 Données sur les pertes en rivière :	41
3. ELEMENTS D'ORIENTATION	45
3.1 Avis sommaire sur l'étendue des connaissances	45
3.1.1 Eléments certains :	45
3.1.2 Eléments incertains	46
3.1.3 Recommandations :	52
3.1.4 Révision du modèle conceptuel	53
3.1.5 Implication sur la description des hydro systèmes :	54
3.1.6 Implications pour un bilan de la nappe :	55

3.2 Avis argumenté sur le modèle BURGEAP	56
3.2.1 Validité du modèle :	56
3.2.2 Améliorations potentielles :	56
4. REFERENCES DOCUMENTAIRES	58

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Photographies des principaux faciès observés.	9
Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1 : 25 000 de Givors (document BRGM).....	10
Figure 3: Topographie du secteur d'étude.	12
Figure 4 : Photographie aérienne de la zone de carrières (donnée IGN 2008-FD-69C-68) et coupe schématique de l'emprise de la carrière.....	13
Figure 5 : Forages renseignés sur la dépression de Charly-Millery.....	14
Figure 6 : Géométrie supposée du substratum au droit du seuil des Mouilles (d'après BURGEAP, 1966).....	19
Figure 7 : Coupes géologiques du secteur des Barolles (d'après BURGEAP, 1966).	21
Figure 8 : Profil en long des débits de la Mouche au 23/04/2009 (d'après BURGEAP, 2009).....	22
Figure 9 : Modèle hydrogéologique proposé par Jauffret (1999).....	26
Figure 10 : Distribution des perméabilités (d'après BURGEAP 2008 d).....	31
Figure 11 : Piézométrie calculée fin décembre 2001 (d'après BURGEAP 2008 d).....	33
Figure 12 : Ecart piézométrie simulée entre 2002 et 2007 (BURGEAP 2008 d).....	35
Figure 13 : Incidence sur la piézométrie d'une augmentation de 20% des prélèvements sur le secteur de Montagny (BURGEAP 2008 e).....	36
Figure 14 : Incidence sur la piézométrie de la succession de deux années sèches avec 90 mm/an de pluies efficaces (BURGEAP 2008 e).....	37
Figure 15 : Pluies totales et efficaces, valeurs moyennes et valeurs du premier et du quatrième quintile (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).	39
Figure 16 : Précipitations totales, ETP, ETR et précipitations efficaces annuelles (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).	39
Figure 17 : Evolution de la piézométrie sur le piézomètre de Vourles. Suivi DIREN.....	40
Figure 18 : Evolution de la piézométrie sur les ouvrages suivis dans le cadre du réseau de surveillance de Lafarge Granulats (Rapports SDEI de 2000 à octobre 2005) et le piézomètre ex-CUMA Vourles suivi par la DIREN). D'après BURGEAP, 2007.....	41
Figure 19 : résultats de la campagne de jaugeage (d'après BURGEAP, 2008 b).....	43
Figure 20 : Photographies des morphologies caractéristiques du lit du Garon	44
Figure 21 : Effets théoriques d'un plan d'eau dans un matériau homogène	48
Figure 22 : Impact du colmatage des berges	48
Figure 23 : Synthèse hydrogéologique (SRAE, 1981).....	50
Figure 24 : Relations possibles entre cours d'eau et nappe.	54

PREAMBULE

CONTEXTE

Le SMAGGA (Syndicat Mixte d'Aménagement et de Gestion du bassin versant du Garon), succédant depuis le 1^{er} janvier 2007 au SMAVG, s'apprête à s'engager avec les 27 communes du bassin du Garon dans son second contrat de rivière.

Suite au premier contrat, les enjeux prioritaires du bassin ont été ciblés :

- ▶ amélioration globale de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, liée à des déficits de débits à l'étiage et nécessitant une redéfinition de la gestion concertée sur le territoire
- ▶ protection des ressources stratégiques en eau.

Ces enjeux doivent répondre aux exigences de la Directive Cadre Européenne en terme de bon état physico chimique et biologique des masses d'eau, d'autant que la nappe du Garon a été identifiée par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux Rhône-Méditerranée-Corse comme un aquifère d'intérêt patrimonial.

A présente Etude globale de la gestion quantitative des ressources en eau sur le bassin versant du Garon doit répondre aux objectifs suivants :

- Etablir l'état de référence au niveau de l'utilisation de la ressource du bassin : décrire les prélèvements et usages actuels par sous bassin,
- Expliciter le fonctionnement hydrologique du bassin, cours d'eau et nappe,
- Evaluer l'impact de la pression anthropique sur les ressources,
- Définir les volumes prélevables du bassin versant,
- Identifier, caractériser et délimiter les secteurs alluviaux stratégiques pour l'alimentation actuelle et future en eau potable,
- Etablir un programme d'actions d'amélioration de la gestion de la ressource sur le bassin

La notion de **volume prélevable** est le nœud de l'étude : les trois premiers points servent à réaliser le calcul des volumes prélevables, le dernier point constitue son application sur le terrain. Défini de manière simplifiée, le volume prélevable sur un bassin donné est la différence entre la ressource disponible (ressource naturelle et volumes de régulations éventuellement disponibles) et ce qu'il est nécessaire de laisser dans le milieu pour garantir son bon état, il est donc au cœur de la démarche du rétablissement de l'équilibre offre / demande en eau.

PHASAGE

L'étude se décompose en 4 phases.

- ▶ Phase 1 : Diagnostic de l'utilisation de la ressource en eau sur le bassin versant,
- ▶ Phase 2 : Evaluation de l'impact des prélèvements sur les milieux naturels,
- ▶ Phase 3 : Définition d'objectifs quantitatifs,
- ▶ Phase 4 : Programme d'actions d'amélioration de la gestion de la ressource.

La phase 1 de l'étude a pour objectif de dresser le contexte du bassin et d'actualiser et affiner le bilan des prélèvements en eau :

- ▶ en réalisant une analyse quantitative pour chaque type d'usage sur l'ensemble des ressources du bassin versant du Garon ;
- ▶ en constituant des bases de données des prélèvements à partir de différentes sources ;
- ▶ en construisant des scénarios d'évolution des besoins aux échéances 2015 et 2021.

Le dossier de phase 1 se compose de deux rapports :

- ▶ Un rapport A consacré aux usages de l'eau,
- ▶ **Un rapport B consacré aux aspects hydrogéologiques : le présent rapport.**
Son rédacteur principal est l'expert hydrogéologue Pascal Fénart, de la société HYDROFIS.

1. INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE DE LA MISSION

La nappe du Garon est une nappe qui a fait l'objet de nombreuses études et investigations. Il existe un modèle numérique de cette nappe, développé récemment par Burgeap (2006-2009).

L'objectif du présent rapport est de faire un état des lieux des connaissances acquises sur la nappe puis de proposer une analyse critique du modèle élaboré. Pour finir, nous proposerons d'éventuelles adaptations à mettre en œuvre pour atteindre les objectifs de l'étude volumes prélevables.

1.2 CONTENU DU RAPPORT

Le présent rapport correspond à un rapport technique intermédiaire. Il présente les résultats relatifs à la phase n°1 de l'étude.

Dans un premier temps, les éléments qui vont expliquer la structure des unités aquifères et leur comportement hydrogéologique à grande échelle, sont présentés :

- ▶ Principales caractéristiques sédimentaires des formations aquifères.
- ▶ Définition des limites et du volume des unités aquifères.
- ▶ Nature des encaissants et possibilité d'échanges de fluides entre les unités aquifères.
- ▶ Première analyse des interactions potentielles entre les eaux superficielles et les eaux souterraines.
- ▶ Surface du bassin d'alimentation.
- ▶ Surface piézométrique des unités aquifères : pente sens et vitesse d'écoulement locales et à petite échelle.

1.3 GENERALITES SUR LA METHODE PROPOSEE

HYDROFIS est un bureau d'étude spécialisé en hydrogéologie, et plus particulièrement sur les milieux fissurés. La mission a donc été réalisée en respectant les règles de l'Art de la profession.

La mission a porté sur une recherche préalable sur toutes les sources d'information utiles pour définir une synthèse hydrogéologique et une stratégie de modélisation.

Nous avons développé à cet effet les moyens suivants, selon les règles de l'Art :

- ▶ Collecte auprès des administrations compétentes, analyse et synthèse des données documentaires et informations d'ordre hydrogéologique (Mairies, DREAL,...).
- ▶ Exploitation des données de la BDSS du BRGM pour recueillir un maximum de points de mesure des paramètres hydrodynamiques.
- ▶ Mission de reconnaissance sommaire sur le terrain pour appréhender correctement les limites des systèmes hydrauliques.

2. ELEMENTS D'ANALYSE

2.1 CONTEXTE GEOLOGIQUE

2.1.1 Stratigraphie :

Le système alluvial du Garon occupe la partie aval d'une ancienne vallée façonnée dès le Miocène par le fleuve principal du couloir Rhodanien. Au quaternaire les glaciers et leurs eaux de fonte ont emprunté cette vallée où ils ont déposé une masse importante d'alluvions fluvio-glaciaires. Par la suite, le Rhône s'installa dans sa vallée actuelle et le Garon occupa seul la vallée, d'où la disproportion entre la vallée et son système alluvial très développé et le cours d'eau actuel, tout à fait secondaire.

La stratigraphie des séries est bien décrite à l'échelle du secteur d'étude (Chenevoy et al., 1969).

On trouve en allant du plus ancien au plus récent :

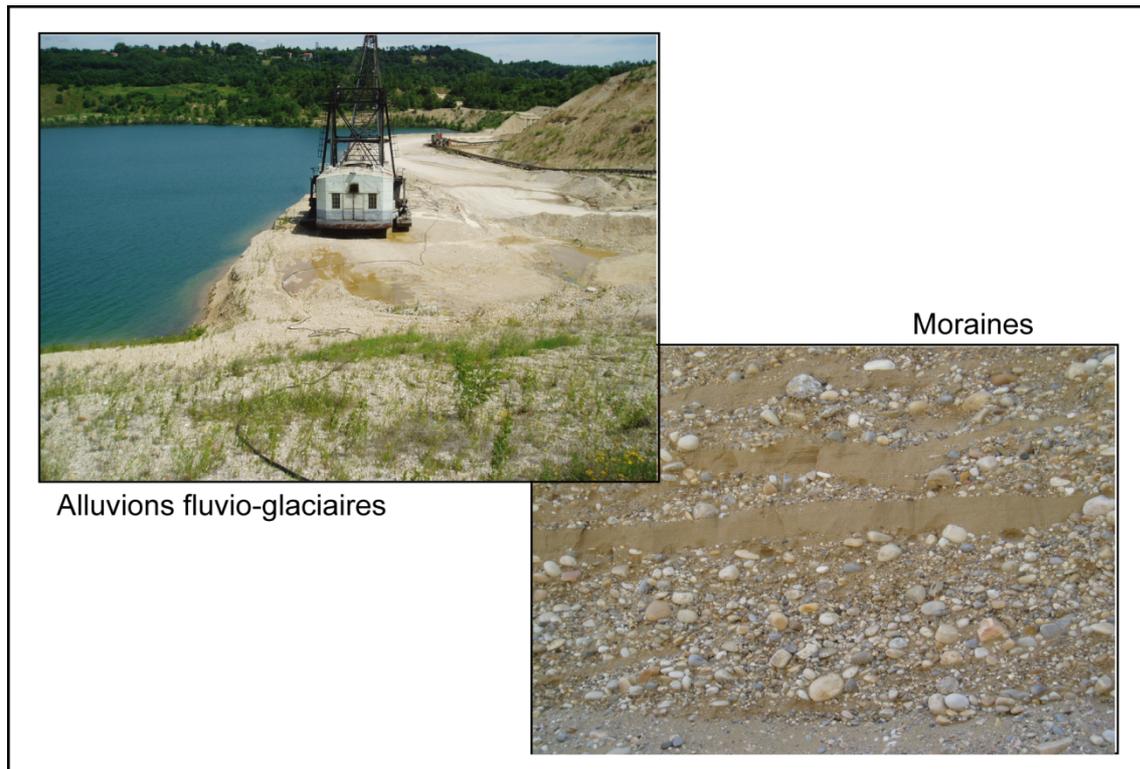
- ▶ Les formations du socle : il s'agit de roches cristallophylliennes de type granite à leptynites.
- ▶ Des moraines (Gy) peu ou non remaniées, de faciès argileux ou caillouteux.
- ▶ Des alluvions à caractère fluvio-glaciaires (Ny). Il est précisé que dans le dépôt du Garon, le raccordement avec les moraines du stade de Fourvière se voit en trois secteurs : Saint-Genis-Laval, vallée des Barolles et dépression de Bas-Charly.
- ▶ Des alluvions fluviales modernes (Fz). Pour le Garon, il s'agit de dépôts limoneux de faible épaisseur ; pour le Rhône, c'est des alluvions polygéniques qui cumulent une épaisseur de 35 m vers Givors.

Précisons qu'il est difficile de définir une antériorité relative entre dépôts morainiques et dépôts fluvio-glaciaires. Un schéma plausible (BURGEAP, 2007) serait celui d'un premier dépôt de type alluvial du paléo-Rhône au Pliocène puis de séquences glaciaires au Quaternaire, avec surcreusement des dépôts fluviaux puis dépôts de type morainique. Il est probable qu'à l'époque rissienne, le recul des glaciers ait entraîné une déviation du Rhône vers sa vallée actuelle suite à une obstruction du cours d'eau par des moraines.

Ce schéma est conforme avec les différences lithologiques observées (matériaux moins perméables à l'aval) et géomorphologique (vallée en V à l'amont et en U à l'aval), à l'aval et à l'amont du seuil des Mouilles. Il aurait ainsi été formé au droit d'un verrou glaciaire avec un glacier qui se serait épanché au droit de la dépression de Charly-Millery.

La mission de reconnaissance a permis de constater des faciès proches pour les moraines non remaniées et les dépôts fluvio-glaciaires. Pour les premiers, on observe une sédimentation plus hétérogène avec une alternance de bancs argileux, sableux ou graveleux, alors que les seconds sont plus franchement alluvionnaires avec des galets roulés enrobés dans une matrice sablo-argileuse.

Figure 1 : Photographies des principaux faciès observés.

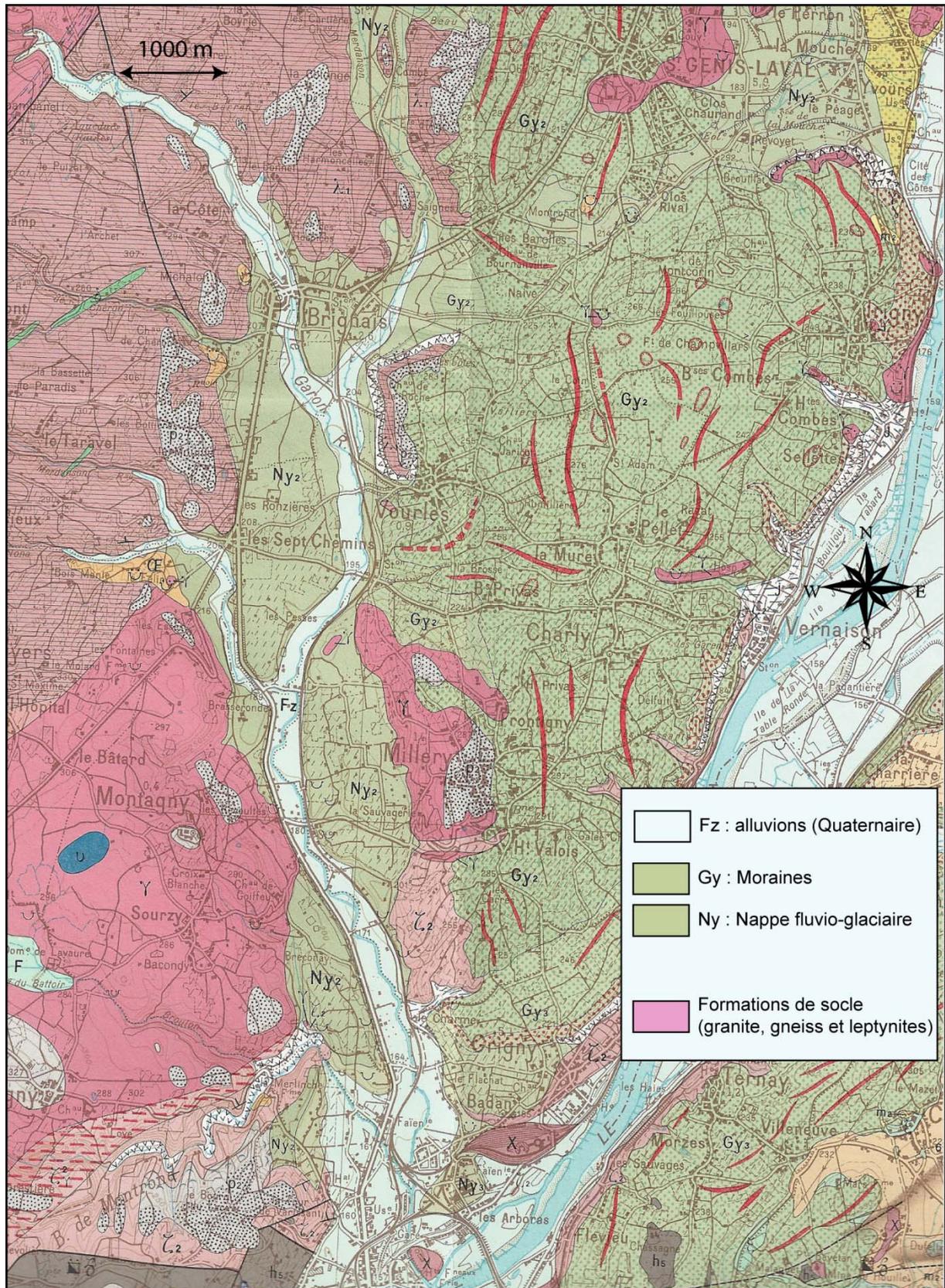


2.1.2 Cartographie des formations :

La carte géologique du secteur d'étude montre que le secteur d'étude est situé à l'intersection de deux grands ensembles stratigraphiques : les roches de socle et les dépôts quaternaires morainiques, fluvio-glaciaires ou alluvionnaires (cf. carte géologique au 1 : 50 000 ci-dessous).

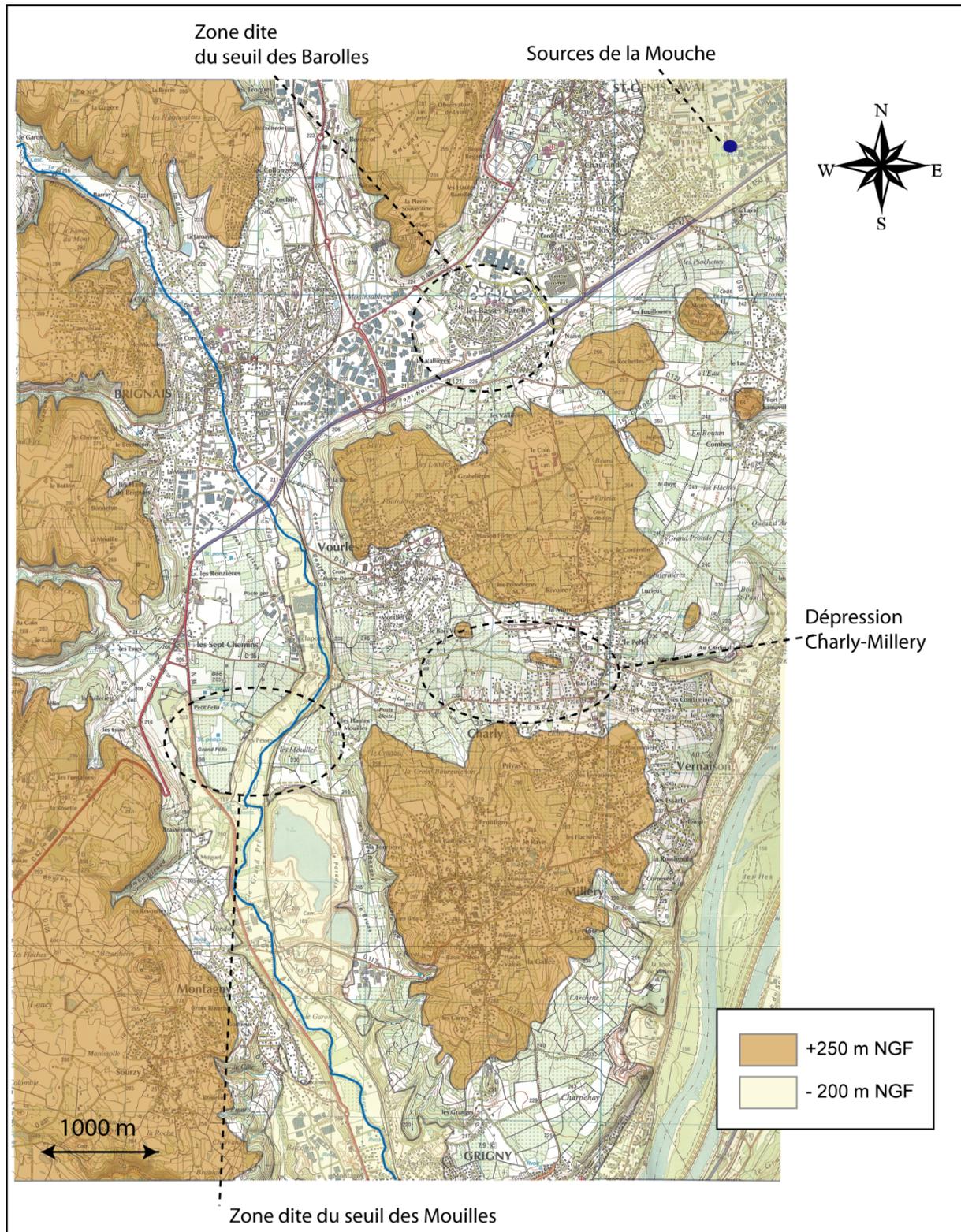
Si on peut considérer que les limites entre ces deux types de formation sont bien cartographiées, il faut accepter une certaine approximation dans la cartographie des principaux faciès du Quaternaire, ceci principalement à cause du manque d'affleurement et de la grande complexité des dynamiques sédimentaires pour ce type de formations.

Figure 2 : Extrait de la carte géologique au 1 : 25 000 de Givros (document BRGM).



La carte ci-dessous permet de visualiser les grands traits topographiques du secteur d'étude. On y voit clairement la dépression reliant Brignais et Pierre Bénite. On peut aussi observer la dépression de Bas-Charly qui semble "couper" les dépôts morainiques qui surplombent la rive gauche de la vallée.

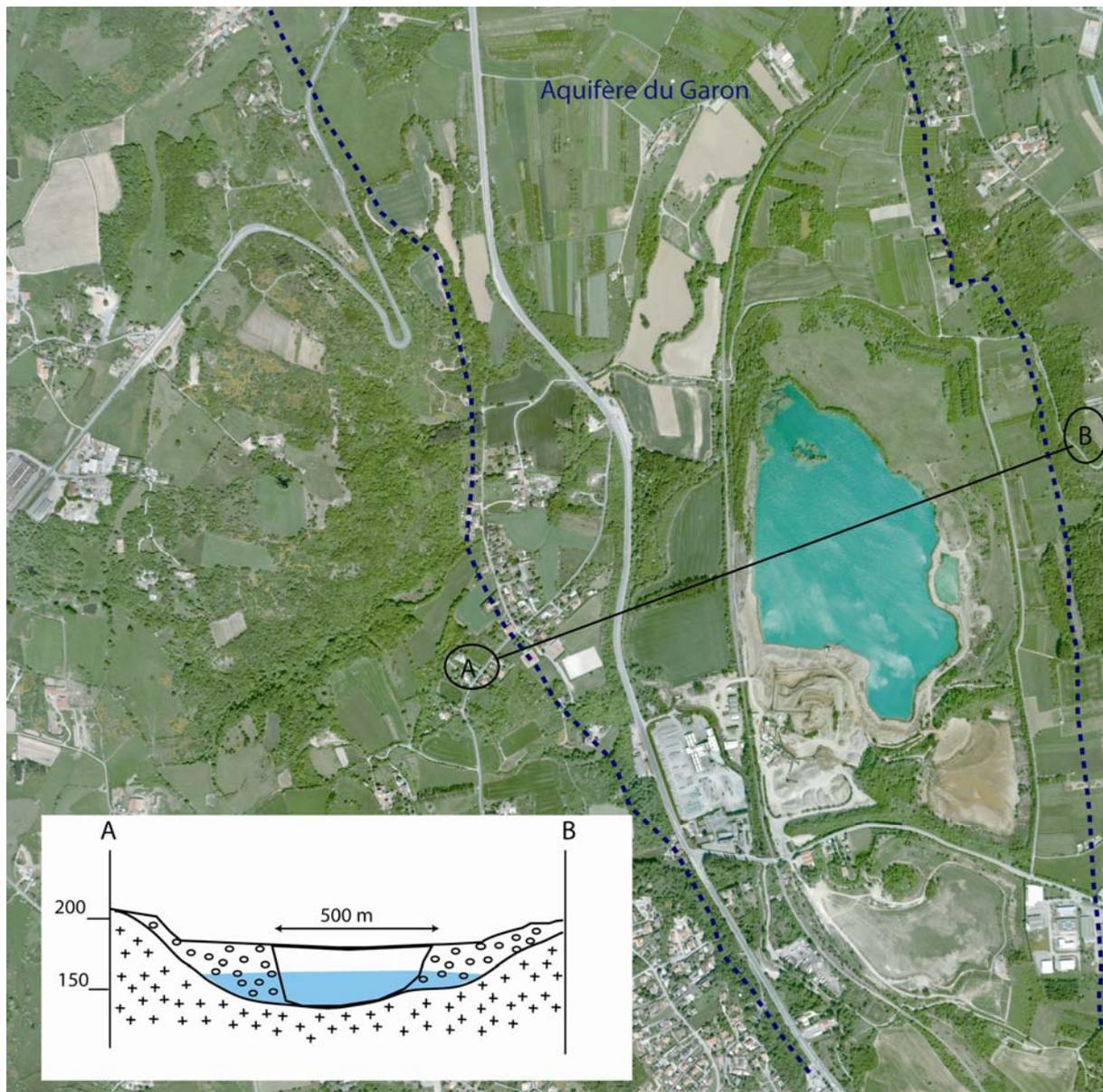
Figure 3: Topographie du secteur d'étude.



Notons sur cette carte la présence de singularités :

- ▶ Zones de "seuil hydrogéologique". Leur nature et leur détermination est discutée plus avant dans ce rapport.
- ▶ Les source de la Mouche, principale source à débit significatif sur le secteur d'étude. Elle est cartée et sur la carte topographique IGN au 1 : 25 000 et sur la carte géologique au 1 : 50 000 du BRGM.
- ▶ Un autre élément déterminant pour le comportement hydrogéologique de la nappe du Garon est la présence de gravière de grande dimension. Il s'agit de la S.A. des carrières Garon-Bedel à Millery, immédiatement à l'aval du seuil des Mouilles.

Figure 4 : Photographie aérienne de la zone de carrières (donnée IGN 2008-FD-69C-68) et coupe schématique de l'emprise de la carrière.



Cette carrière exploite des alluvions fluvio-glaciaires depuis plusieurs dizaines d'années mais l'autorisation d'exploiter les alluvions sous le niveau de la nappe n'a été accordée à cette société qu'en 1982. L'emprise totale de l'exploitation est d'environ 100 hectares. Dans cette zone, la nappe est comprise entre 165 et 170 m NGF et l'extraction des alluvions a été poussée jusqu'au substratum à 140 m NGF.

On peut estimer que plus de la moitié de la section d'écoulement de la nappe a été perdue. Et qu'il s'agit de la moitié la plus productive : centre du corps sédimentaire correspondant a priori aux alluvions les plus propres.

2.1.3 Base de Données du Sous-Sol

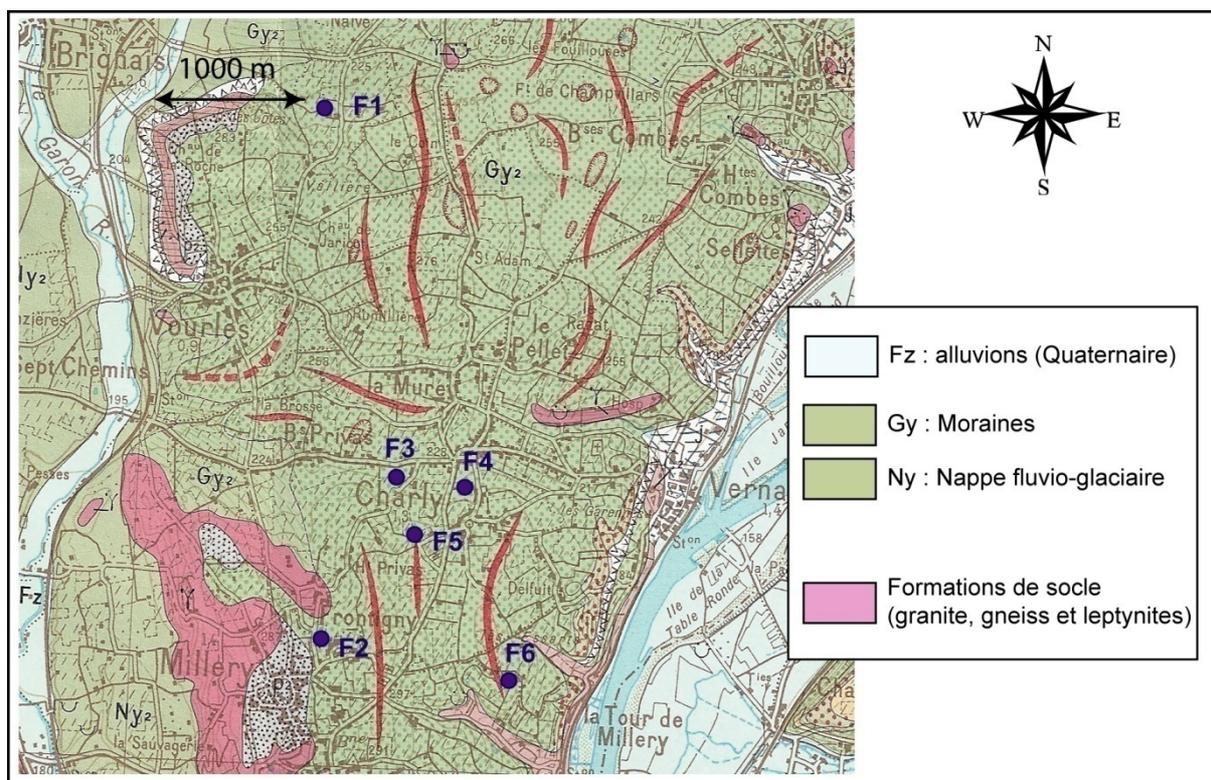
Des recherches effectuées dans la Banque de Donnée du Sous-Sol éditée par le BRGM nous ont permis de recueillir certains renseignements sur l'hydrogéologie du secteur d'étude.

Ces recherches n'ont pas eu comme objectif de réaliser un doublon par rapport au travail de synthèse proposé par BURGEAP (2003) que l'on peut juger relativement exhaustif (recensement systématique des forages profonds de plus de 20 mètres).

Nous avons axé nos recherches sur les formations méritant quelques compléments d'informations :

- ▶ forages renseignés localisés entre la vallée du Garon et la vallée du Rhône.
- Ils sont peu nombreux. Leur localisation est précisée par la figure ci-dessous :

Figure 5 : Forages renseignés sur la dépression de Charly-Millery



Leurs caractéristiques sont rappelées par le tableau suivant :

Id	Cote sol (m NGF)	Profondeur (m)	NP (m NGF)	Lithologie
F1	235	100	Non mesuré	0-38 : alluvions 38-100 : granite
F2	279	14	Non mesuré	Non décrite
F3	237	26	219	Alluvions
F4	251	18	248	0-9 : alluvions 9-18 : granite
F5	269	18	258	Molasse
F6	262	33	242	Granite et micaschiste

De manière générale, ces forages sont trop peu nombreux et trop courts pour donner une vision d'ensemble sur les structures géologiques dans cette zone.

Les trois forages localisés dans la dépression de Charly-Millery (F3, F4 et F5) sont eux aussi trop courts pour statuer sur la nature des dépôts dans ce secteur. Les niveaux piézométriques mesurés sont probablement représentatifs de nappes superficielles.

2.2 CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

2.2.1 Structure de l'aquifère

Il ne s'agit pas ici de refaire une nouvelle synthèse hydrogéologique mais de mettre en évidence les éléments d'information utiles pour une étude de détermination des volumes prélevables dans la nappe du Garon.

Dans le cadre de la mission, nous avons consulté les documents suivants :

- ▶ Reconnaissances BURGEAP (BURGEAP, 1966 et 1967)
- ▶ Synthèse hydrogéologique départementale (SRAE, 1981)
- ▶ Etude de la qualité des eaux du bassin versant du Garon (DIREN, 1997).
- ▶ Etude hydrologique, hydraulique et d'inondabilité (SOGREAH, 1998).
- ▶ Synthèses hydrogéologiques sur la vulnérabilité de l'aquifère (BRGM, 1999 ; BRGM, 2003).
- ▶ Synthèse en vue d'une étude du potentiel de l'aquifère (BURGEAP, 2007).
- ▶ Réalisation de 10 nouveaux piézomètres et acquisition de données complémentaires (BURGEAP, 2008 a et b).
- ▶ Modélisation de la nappe du Garon (2008 c et d).
- ▶ Contrat de rivière (SMAGGA, 2008).
- ▶ Etudes spécifiques pour la source et le ruisseau de la Mouche (BRGM, 2004 ; BURGEAP, 2009)

2.2.1.1 Données concordantes

Certaines caractéristiques du système alluvial sont décrites de façon concordante dans ces études :

- ▶ Corps sédimentaire allant de Brignais jusqu'à la confluence avec le Rhône (alluvions anciennes des nappes dites de raccordement).
- ▶ Epaisseur totale des alluvions anciennes de l'ordre de 50 à 60 mètre dans l'axe de la vallée.
- ▶ Socle cristallin sur son versant Ouest, substratum plus complexe sur son versant Est avec des dépôts morainiques en recouvrement des roches de socle. Les roches de socle sont réputées peu perméables en grand.
- ▶ Alluvions récentes moins perméables que les alluvions fluvio-glaciaires.
- ▶ Présence localisée d'une ou de plusieurs nappes perchées dans les horizons d'alluvions récentes, susceptibles de retarder la recharge de la nappe. Elles sont réputées de perméabilité médiocre et se caractérisent par de forts gradients hydrauliques. Localement, ces nappes peuvent alimenter les cours d'eau superficiels ou des sources de faibles débit (de l'ordre de 1 l/s).
- ▶ Entaille du Garon dans les alluvions fluvio-glaciaires : de 5 m au niveau de Brignais à 35 m au Nord de Grigny (de 200 à 165 m NGF).

La description la plus fine du corps sédimentaire est fournie par Archambault (BURGEAP, 1966) :

- ▶ Au Nord de Brignais, dépôts de type sables fins ou grossiers avec quelques graviers et galets. Ces alluvions sont surmontées d'un horizon argileux ou tourbeux.
- ▶ Entre Brignais et Givors, dépôt d'alluvions grossières. On note cependant une certaine hétérogénéité des dépôts avec des secteurs caractérisés par la prédominance de sables et graviers. Elle est confirmée par l'observations de variations des propriétés hydrauliques très importantes pour des puits de conception identique (BURGEAP, 1966).
- ▶ Entre Brignais et Pierre Bénite, la nature des dépôts dans ce secteur est supposée indéterminée de par l'absence de forages renseignés.

Les descriptions de la piézométrie actuelle sont aussi concordantes :

- ▶ Observation d'un compartiment amont avec un gradient hydraulique très faible. La nappe est profonde 20 à 30 par rapport au terrain naturel.
- ▶ Gradient hydraulique très fort au droit du seuil des Mouilles : chute de 15 m du niveau piézométrique sur environ 500 m.
- ▶ Compartiment aval avec une nappe sub-affleurante (de 0 à 10 de profondeur par rapport au terrain naturel). Le gradient hydraulique est de l'ordre de 0,2%.
- ▶ Alimentation de la nappe profonde par les coteaux granitiques et les nappes perchées superficielles.
- ▶ BURGEAP (2008b) a réalisé deux cartes piézométriques : octobre 2006 (basses eaux) et octobre 2007 (hautes eaux). Le battement de la nappe entre ces deux campagnes est de l'ordre de 80 cm. Les mesures ont été réalisées sur environ 50 point nivelés et 40 points ont été retenus pour le tracé des cartes. Ils confirment la structure compartimentée par le seuil des Mouilles. Les différences de piézométrie entre les deux états sont mineures.
- ▶ Un suivi piézométrique en continu sur les nouveaux piézomètres installés en 2008 (BURGEAP, 2008 a & b) montrent que les nappes superficielles enregistrent des comportements de type crues lors des événements pluvieux (de 0, à 01 m de battements étalés sur quelques semaines), alors que la nappe profonde est peu sensible aux événements météorologiques.

Les fluctuations piézométriques sont plus importantes à l'amont du seuil des Mouilles qu'à l'aval.

Les perméabilités mesurées varient de 2.10^{-2} à 5.10^{-4} m/s.

2.2.1.2 Données problématiques

D'autres caractéristiques du système alluvial sont moins évidentes :

SEUIL DES MOUILLES

Sur la base de données de géophysique électrique et sismique acquises en 1954, il a longtemps été supposé que le socle se relevait au droit du lieu dit les Mouilles (confluence Garon et Merdanson d'Orléans), de 150-160 m NGF en amont à 170-180 m NGF. Cette hypothèse est discutée par Lamotte (2003). Trois sondages de reconnaissance réalisés en 1999 ont montré un substratum cristallin recoupé vers 140 m NGF, surmonté par des sables fins argileux probablement d'âge pliocène.

Le seuil des Mouilles correspondrait donc à un rétrécissement de la vallée dans le sens de la largeur (500 m contre 1 500 m à l'amont) combiné à des variations lithologiques.

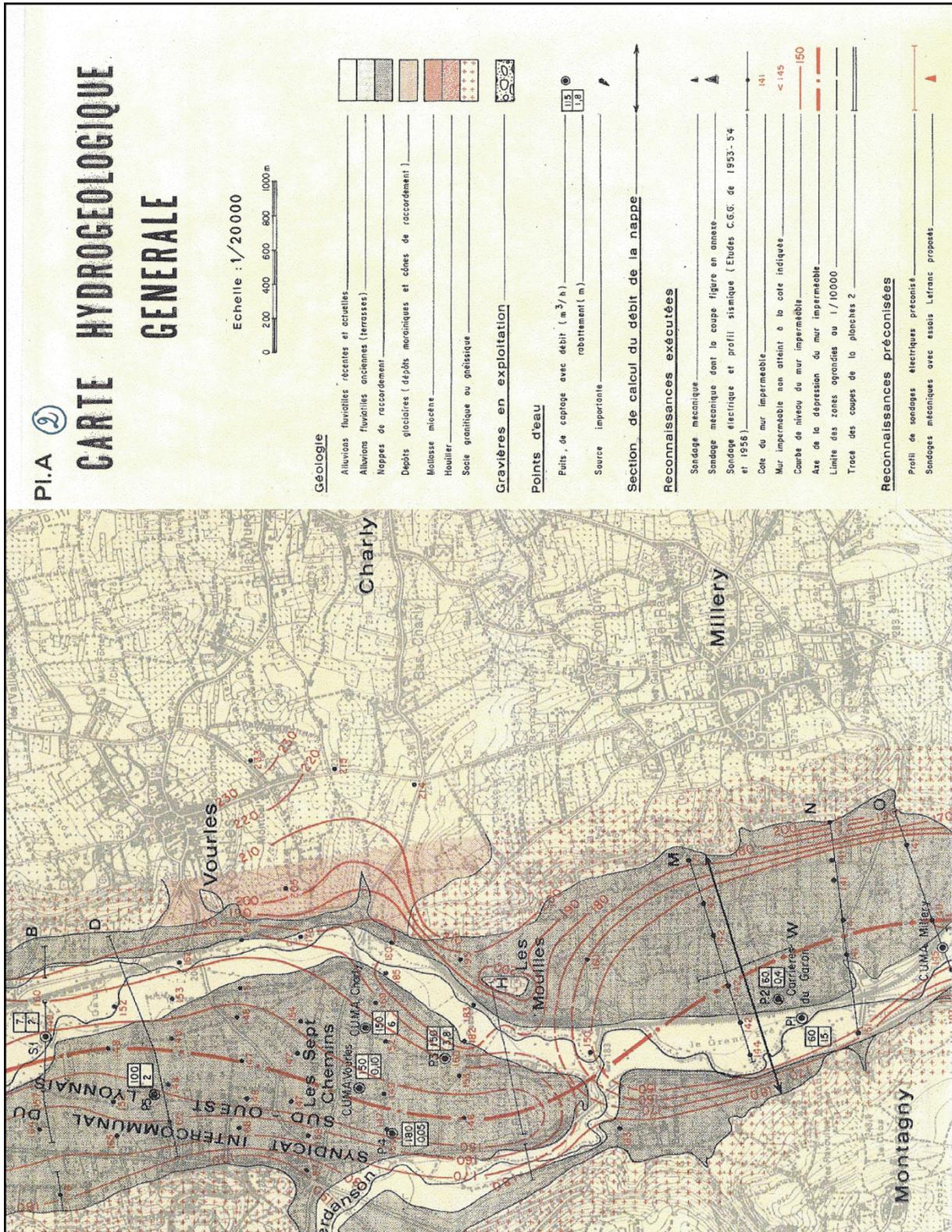
Notons que les études géophysiques montrent une vallée en V dans la partie amont du seuil et une vallée en U dans sa partie aval (cf. figure ci-dessous).

Cette particularité géomorphologique est associée à deux comportements piézométriques très différents en aval et en amont du seuil. Ces différences avaient été déjà observées en 1966 par Archambault, bien antérieurement au creusement des alluvions mouillées dans la carrière de Millery.

Elle est aussi signée par des différences marquées en terme de perméabilité : moyenne de 6.10^{-3} m/s pour le secteur amont et de 1.10^{-3} m/s pour le secteur aval (BURGEAP, 1967).

Deux panneaux électriques ont été réalisés récemment dans cette zone (BURGEAP, 2008 b). Ils permettent de constater une forte dissymétrie du corps sédimentaire plio-quadernaire : la moitié Ouest est nettement moins résistive (plus argileuse ?) que la moitié Est (plus graveleuse?). Notons que la partie la plus résistive, donc a priori la plus perméable, est située directement à l'amont immédiat de la gravière. Précisons que les valeurs de résistivité mesurées au droit du seuil (200 à 1 500 ohm/m) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en amont et en aval (200 à 1 000 ohm/m). Ce que montrent ces panneaux, c'est que c'est la forme et la superficie de la section mouillée qui varie fortement d'une zone à l'autre.

Figure 6 : Géométrie supposée du substratum au droit du seuil des Mouilles (d'après BURGEAP, 1966).



SEUIL DES BAROLLES

Le système alluvial se prolonge vers le nord-ouest jusqu'aux alluvions récentes du Rhône au niveau de Pierre-Bénite. Si la topographie marque un col vers le quartier dit des Basses Barolles, la topographie du mur de l'aquifère est peu connue (seulement quelques forages profonds et des données de géophysique).

La première synthèse sur l'aquifère (BURGEAP, 1966) montre très clairement un gradient hydraulique systématiquement Ouest-Est de Brignais au Rhône. Dans ce schéma, les sources de la Mouche forment un des exutoires de la nappe profonde du Garon. Ce schéma qui exclut de fait la possibilité d'un écoulement naturel de la nappe du Rhône vers la nappe profonde du Garon.

La figure ci-dessous illustre cette situation hydrogéologique.

Pourtant, les études les plus récentes (BURGEAP, 2007 et 2009) reprennent l'hypothèse d'une ligne de partage des eaux souterraines, qui séparerait la nappe du Garon et celle dite de la Mouche. Les auteurs reconnaissent cependant l'absence d'évidences piézométriques pour identifier cette ligne : les points d'observation de la nappe sont rares (et souvent non nivelés) et le gradient piézométrique est faible de Brignais à Pierre Bénite.

Trois piézomètres ont été réalisés en 2008 (BURGEAP, 2008a). leurs caractéristiques sont rappelées ci-dessous, en allant d'Est en Ouest :

Pz1 : Lieu dit Clos Charand à St Genis Laval

Lithologie dominante : sables et graviers
 Cote sol : 195,80 m NGF
 NP environ 176 m NGF
 Substratum (argiles brunes) : à environ 142 m NGF
 $K=2.10^{-3}$ m/s

Pz2 : Secteur Nord des basses Barolles

Lithologie dominante : sables et graviers
 Cote sol : 215,60 m NGF
 Substratum (argiles bleues) à environ 144 m NGF
 $K=9.10^{-3}$ m/s
 NP environ 176,30 m NGF

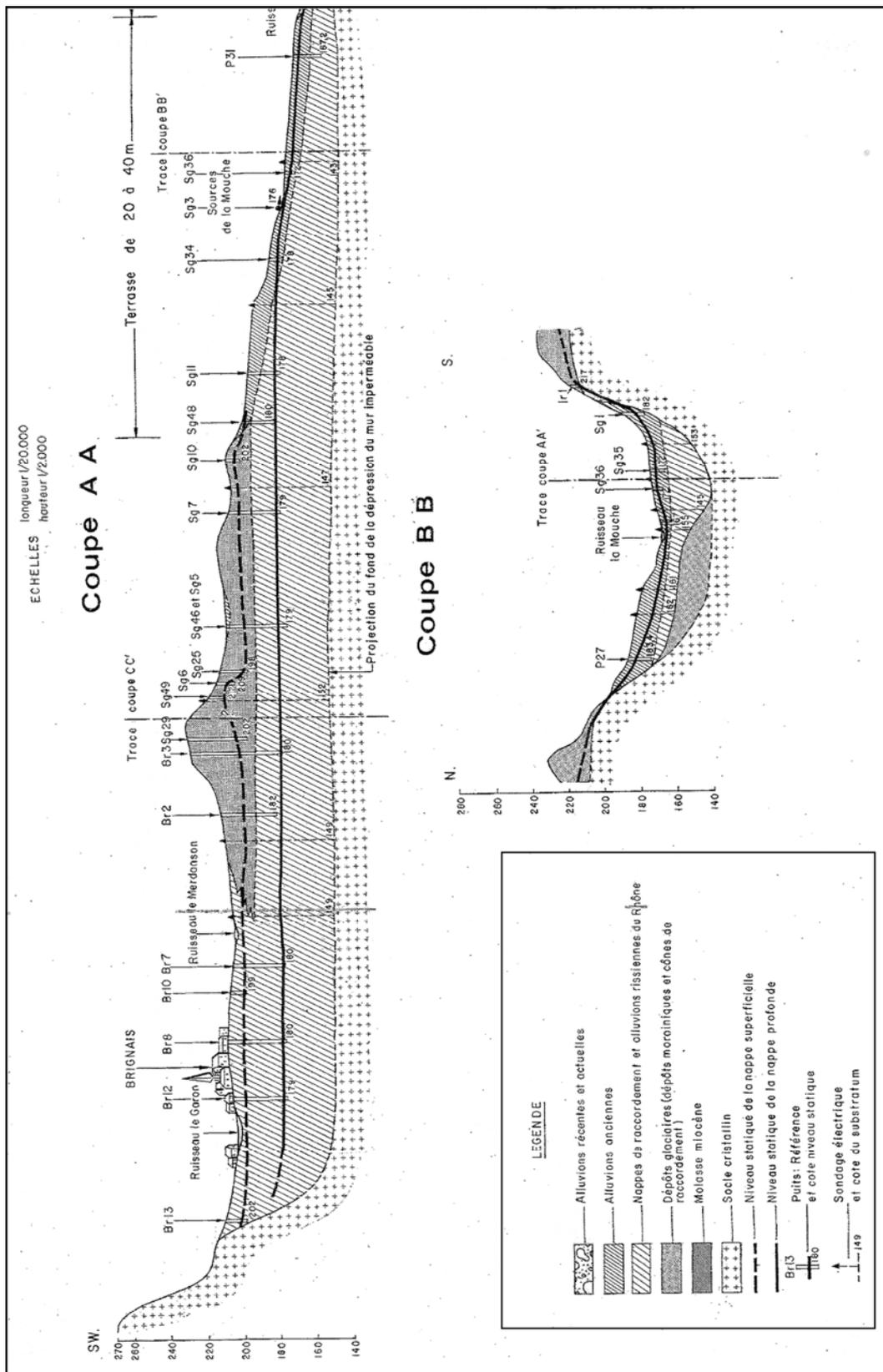
Pz3 : Zone industrielle de Brignais.

Lithologie dominante : sables et graviers
 Cote sol : 217,78 m NGF
 Substratum : pas trouvé à 66 m ou 151m NGF
 $K=2.10^{-3}$ m/s
 NP environ 176,30 m NGF

On observe un aquifère de lithologie homogène, avec de bonnes propriétés hydrodynamiques. En première approximation (trois points d'observation sur un profil de 4 km), on n'observe pas de remontée du substratum et de ligne de partage des eaux.

Deux panneaux électriques ont été réalisés récemment entre Brignais et St Genis Laval (BURGEAP, 2008 b). Ils confirment l'importance des dépôts fluvioglaciers avec un surcreusement dans l'axe de la paléo vallée qui implique un substratum situé à moins de 150 m NGF.

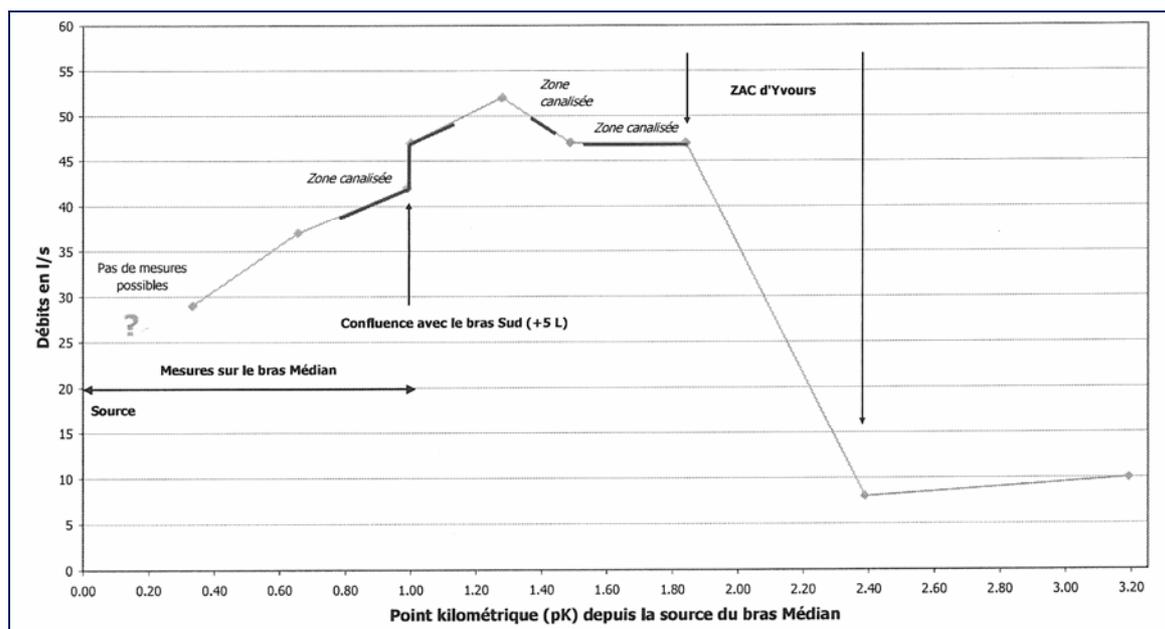
Figure 7 : Coupes géologiques du secteur des Barolles (d'après BURGEAP, 1966).



Des études spécifiques ont été réalisées sur les sources de la Mouche situées sur la commune de St Genis Laval, à l'est du seuil des Barolles (Bonhomme, 2004 ; BURGEAP, 2009). On y trouve les informations suivantes :

- ▶ Les sources correspondent à de nombreux exutoires, pour la plupart masqués (zone fortement urbanisée). On observerait au moins trois résurgences principales. Elles sont étagées autour de 175 m NGF.
- ▶ Les eaux issues de l'aquifère fluvio-glaciaire seraient caractérisées par une remarquable constance de la température autour de 13 °C et de faibles variations de débit.
- ▶ Le bassin versant hydrographique représente environ 12 km² mais il est tellement urbanisé que l'on estime les zones potentielles d'infiltration des eaux météoriques à seulement 1 km². Le bassin d'alimentation des sources est considéré comme inconnu. Avec l'hypothèse raisonnable d'un module d'infiltration de 3 l/s, on peut estimer un bassin d'alimentation de l'ordre de 10 km² pour un débit fictif de 30 l/s (BURGEAP, 2009). Ce qui revient à nécessaire prolonger la surface du bassin d'alimentation de ces sources jusqu'à Brignais.
- ▶ Les débits sont mal connus. Les sources sont réputées permanentes mais on observe une diminution certaine des débits depuis 2000 (BURGEAP, 2009). BURGEAP (2009) propose comme explication à cette diminution, une migration vers l'Est de la crête hydrogéologique séparant la nappe de la Mouche de celle du Garon, consécutivement à la diminution de la piézométrie moyenne dans la nappe du Garon ; cela conduirait à réduire le bassin d'alimentation des sources.
- ▶ Une comparaison de la qualité physico-chimique des eaux des sources de la Mouche et de la nappe du Garon montre une bonne homogénéité des faciès.
- ▶ Dans le bassin d'alimentation supposée, les prélèvements industriels sont faibles, avec un débit fictif de l'ordre de 15 l/s. Il n'y a pas de prélèvements AEP mais on suppose quelques prélèvements particuliers pour de l'arrosage.
- ▶ BURGEAP a réalisé en 2009 une campagne détaillée de mesures du débit de la Mouche (9 points de mesure le 23 avril 2009). A l'aval immédiat de la zone de résurgence, le débit de la Mouche est estimée à environ 30 l/s. Ce débit augmente jusqu'à 55 l/s dans le premier kilomètre aval, se stabilise de 1 à 2 km après la source (zone canalisée) puis diminue rapidement jusqu'à 10 l/s (zones de pertes dans les formations alluviales les plus récentes).

Figure 8 : Profil en long des débits de la Mouche au 23/04/2009 (d'après BURGEAP, 2009).



- ▶ La comparaison entre les mesures piézométriques réalisées dans le cadre de l'étude BURGEAP (2009) et le profil en long de la Mouche confirme la schématisation avec une zone d'alimentation du cours d'eau par la nappe sur le premier kilomètre, puis une zone de pertes du cours d'eau sur la partie aval.
- ▶ Il n'existe pas de carte piézométrique de ce secteur.

Avec en première approximation, un débit soutiré supérieur à 50 l/s (50 l/s mesuré en hautes eaux, plus le débit d'alimentation des alluvions limoneuses récentes, plus les 15 l/s de prélèvement industriel), ces éléments tendent à montrer l'inexistence d'un seuil hydrogéologique au droit des Barolles, ce qui impliquerait que les résurgences dites des sources de la Mouche constituent un exutoire de la nappe profonde du Garon.

DEPRESSION DE CHARLY-MILLERY

Cette dépression topographique est marquée au droit de la vallée du Garon selon la carte géologique au 1 : 50 000 par une zone de transition entre moraines et nappe de raccordement.

Elle n'a jamais fait l'objet d'investigations spécifiques.

Seule la campagne de forage réalisée en 2008 (BURGEAP, 2008a) apporte des données utiles pour la compréhension de la nature de cette dépression. Deux piézomètres ont ainsi été réalisés en pied de coteau dans l'axe du débouché de la dépression :

Pz6 :

Lithologie dominante : sables et graviers ; horizons de sables argileux
Cote sol : 190,20 m NGF
Substratum : pas trouvé à 47 m ; suspicion de faciès de type arène granitique.
 $K=2.10^{-5}$ m/s
NP environ 176,75 m NGF

Pz9 :

Lithologie dominante : sables et graviers ; matrice limoneuse
Cote sol : 190,38 m NGF
Substratum : pas trouvé à 7 m
 $K=8.10^{-4}$ m/s

Les horizons recoupés par les forages montrent des formations superficielles caractérisées par une matrice à dominante limono-argileuse, qui se traduit par de plus faibles perméabilités que celles mesurées dans les alluvions.

Notons la profondeur importante du substratum au droit du Pz6 (inférieure à 143 m NGF) pourtant situé en bordure de vallée.

Les études consultées placent systématiquement cette dépression comme un imperméable relatif pour la nappe du Garon. Cette hypothèse mériterait d'être reconsidérée.

2.2.2 Qualité des eaux souterraines :

La description la plus détaillée de la qualité des eaux souterraines est donnée par Jauffret (1999). Les eaux présentent un faciès bicarbonaté calcique. Les concentrations en nitrates sont généralement inférieures à 50 mg/l mais on a observé des pollutions temporaires aux hydrocarbures, pesticides ou solvants chlorés sur certains captages AEP.

Les nombreuses analyses physico-chimiques de l'eau de la nappe du Garon montrent qu'à l'amont du seuil des Mouilles l'eau est nettement plus minéralisée qu'à l'aval, " au point que l'on pourrait penser qu'il ne s'agit pas de la même nappe".

Citons dans le texte : "cette constatation est étonnante dans la mesure où le matériau montre une bonne perméabilité ce qui devrait favoriser une bonne homogénéisation des eaux de l'ensemble de l'aquifère". Jauffret (1999) propose comme explication à cette observation le phénomène suivant : les eaux des pertes du Garon n'atteindraient la nappe qu'à l'aval du seuil des Mouilles. On peut estimer cette hypothèse comme peu probable : elle impliquerait un transfert horizontal des eaux sur près de 2 000 m pour un trajet vertical de l'ordre de 20 m.

Le cloisonnement hydrogéochimique des eaux en aval et en amont du seuil des Mouilles est de nouveau observée pour les concentrations en nitrates : de 32 à 47 mg/l à l'amont pour 2 à 22 mg/l à l'aval (BRGM, 2003). Ce cloisonnement est aussi observée pour la conductivité (de 550 à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ces dernières années en amont du seuil et de 300 à 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en aval) et les sulfates (de 45 à 75 mg/l ces dernières années en amont du seuil et de 20 à 50 mg/l en aval du seuil environ) (BURGEAP, 2007).

Lamotte (BRGM, 2003) propose une étude détaillée des sources potentielles de pollution de la nappe :

- ▶ Zonages d'assainissement.
- ▶ Sites industriels.
- ▶ carrières ou gravières.
- ▶ Décharges.
- ▶ ZAC
- ▶ Activités agricoles.
- ▶ Axes de communication.

De nombreuses cartes illustrent la distribution spatiale de ces sources. Une analyse détaillée des pollutions observées des eaux de la nappe est proposée par BURGEAP (2007 et 2008 b).

2.2.3 Propositions de bilan :

Un premier bilan a été proposé par BURGEAP (1966) :

Entrées	Précipitations efficaces (150 mm/an)	66 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	Pas d'estimation
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	Pas d'estimation
Sorties	Prélèvements	80 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 80 l/s

Une estimation basée sur la Loi de darcy lui permet d'estimer un débit transitant de l'ordre de 150 l/s sur une section à l'amont du seuil des Mouilles.

Les études complémentaires réalisées, avec notamment la réalisation de jaugeages différentiels pour estimer les pertes du Garon (BURGEAP, 1967) permettent d'affiner ce bilan en majorant les pertes du Garon :

Entrées	Précipitations efficaces (140 mm/an)	60 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	80 l/s
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	20 l/s
Sorties	Prélèvements	150 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 10 l/s

D'autres estimations (SRAE, 1981) font état d'un potentiel de la nappe de 225 l/s maximum. Elles sont basées sur l'observation d'un équilibre des niveaux piézométriques entre les entrées naturelles et les prélèvements.

Jauffret (BRGM, 1999) propose avec prudence les estimations suivantes ; en insistant sur le manque de connaissances précises sur le volume d'alimentation par les pertes des cours d'eau :

Entrées	Précipitations efficaces (170 mm/an)	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	Entre 115 et 230 l/s
	Ruissellement sur coteaux + nappes latérales	Pas d'estimation
Sorties	Prélèvements	145 l/s
	Q vers vallée du Rhône (aérien + souterrain)	Environ 60 l/s

Lamotte (BRGM, 2003) cite un bilan proposé par BURGEAP en 1975 (*Ressource en eau de la vallée du Garon - Incidence du projet d'extension des gravières*) pour la nappe Brignais au Rhône:

Entrées	Précipitations efficaces	66 l/s
	Pertes du Garon et des affluents + Coteaux	88 l/s
	Limites amont	30 l/s
	Alimentation du Rhône	40 l/s
Sorties	Prélèvements	225 l/s

Ce bilan a été réalisé à l'aide d'un modèle mathématique. Les simulations montrent que pour expliquer les débits d'exploitation dans la partie aval de la nappe, il faut introduire une alimentation des eaux de la nappe du Garon par des eaux en provenance de la nappe alluviale du Rhône.

Puis Lamotte (BRGM, 2003) cite un autre bilan proposé par BURGEAP en 1994 (*SIDESOL - Captages de la vallée du Garon - Modélisation mathématiques des écoulements souterrains - Simulations de l'exploitation de la ressource*), pour la nappe Brignais à Montagny :

Entrées	Précipitations efficaces	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents + Coteaux	70 l/s
	Limites amont	30 l/s
	Alimentation du Rhône	70 l/s
Sorties	Sortie Garon	100 l/s
	Prélèvements	140 l/s

BURGEAP (2007) propose une critique argumentée de ces différents bilans. Citons dans le texte :

- ▶ L'un des paramètres du bilan est bien connu, il s'agit des débits prélevés.
- ▶ D'autres sont moins bien connus : (1) les précipitations efficaces et des apports provenant des cotés. En effet, on dispose de la mesure des précipitations totales, Mais le calcul des précipitations efficaces, qui sont la part des précipitations totales qui, après infiltration, atteint la nappe et participe à sa recharge, est délicat. (2) Le retour à la nappe des eaux d'irrigation, qui peut être calculé selon la même méthode que les précipitations efficaces. Ce terme a très peu de poids dans le bilan à l'échelle de la nappe alluviale et peut être négligé.
- ▶ D'autres présentent des incertitudes fortes : (1) les infiltrations ou le drainage par le Garon. Ces paramètres présentent une incertitude forte. En effet, la marge d'incertitude sur un jaugeage est de l'ordre de 10% lorsque celui-ci est réalisé dans des conditions optimales (écoulement laminaire, tronçon droit en amont et en aval de la section jaugée), et devient plus forte (20%) lorsque ces conditions ne sont pas réunies, ce qui était le cas lors des mesures de SITA sur le Garon. De plus, les infiltrations depuis le Garon sont très variables dans le temps alors qu'on ne dispose que de jaugeages différentiels ponctuels. Il en découle une incertitude importante dans les débits d'infiltration calculés sur la base des mesures de terrain. (2) Le débit de la nappe, en amont ou en aval de la zone étudiée. Ce débit est calculé sur la base d'une perméabilité, d'un gradient de nappe et d'une section de l'aquifère à travers laquelle passe le flux de nappe. Or l'extension, latérale comme verticale, de l'aquifère est peu ou mal connue en de nombreux points.

En fin de rapport de synthèse (phase 1), BURGEAP (2007) propose le bilan suivant , comme "le plus proche de la réalité " :

Entrées	Précipitations efficaces	75 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	95 l/s
	Limites amont + bordures	70 l/s
Sorties	Limite aval	100 l/s
	Prélèvements	140 l/s

Dans le rapport "bilan et diagnostics" (phase 4), BURGEAP (2008 c) propose le bilan suivant en intégrant les mesures de jaugeages les plus récentes du Garon et de ses affluents, et en redéfinissant le flux aval de la nappe vers la nappe du Rhône (mesures récentes de piézométrie et approche de la géométrie de la section grâce à un panneau électrique) :

Entrées	Précipitations efficaces	95 l/s
	Pertes du Garon et des affluents	90 l/s
	Limites amont + bordures	35 l/s
Sorties	Limite aval	30 l/s
	Prélèvements	190 l/s

Ils considèrent que les incertitudes principales portent sur la recharge par infiltration des eaux météoriques et sur les apports des coteaux de bordure, constitués de roche cristallophyllienne. Les auteurs pensent que l'estimation des pertes du Garon doit être considérée avec prudence.

Sur la base des données de pompage et de granulométrie, les auteurs estiment le volume total d'eau contenu dans l'aquifère à 25 Mm³. Ils distinguent la partie en amont du seuil des Mouilles (16 Mm³) de celle située en aval (9 Mm³). Avec l'hypothèse de mélange parfait, le temps de renouvellement de l'ensemble des eaux de la nappe est estimé à 4 ans pour le secteur amont et à 3 ans pour le secteur aval.

Les simulations réalisées par BURGEAP (rapport de phase 5 ; 2008 d) permettent de déduire le bilan suivant :

Entrées	Précipitations efficaces	60 l/s
	Pertes du Garon	94 l/s
	Apports des coteaux	29 l/s
Sorties	Sortie Rhône	20 l/s
	Prélèvements	160 l/s

2.2.4 Modélisations

Les modélisations étudiées correspondent aux simulations réalisées par BURGEAP (d et e) pressenties pour servir de base comme outil de modélisation dans le cadre de l'étude volumes prélevables.

NATURE DU MODELE

Le logiciel utilisé est FEFLOW v5.3 développé par WASY permettant la résolution des équations des écoulements en milieu saturé et non saturé par des techniques de calculs aux éléments finis. Pour prendre en compte l'ensemble des mécanismes intervenant dans le fonctionnement et l'alimentation de l'aquifère de la vallée du Garon, deux modèles ont été construits :

- ▶ un modèle 3D en milieu saturé pour la nappe principale, c'est-à-dire celle sollicitée par les pompages,
- ▶ un modèle 2D – ou modèle profil – dédié à l'étude de la zone non saturée.

Après calage en hydrodynamique, les deux modèles ont été complétés par une approche en transport de masse permettant de décrire la diffusion de matières dissoutes au sein de l'aquifère (cas de pollution par exemple).

A partir de la synthèse hydrogéologique proposée par CPGF, il a été construit un modèle discrétisé au moyen de 658 mailles carrés. Les tailles des mailles sont de 500, 250 et 125 m de côté. L'aquifère est considéré comme monocouche et la nappe est libre.

Le modèle est monocouche, sa superficie exacte est de 15,27 km². Le modèle comprend 10 855 éléments triangulaires pour 11 464 nœuds de calcul.

La structure et la géométrie du réservoir modélisé intègre au mieux les données disponibles sur la topographie du substratum. Elle retranscrit bien une géométrie en V en amont du seuil des Mouilles et en U en aval de ce seuil.

DISTRIBUTION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

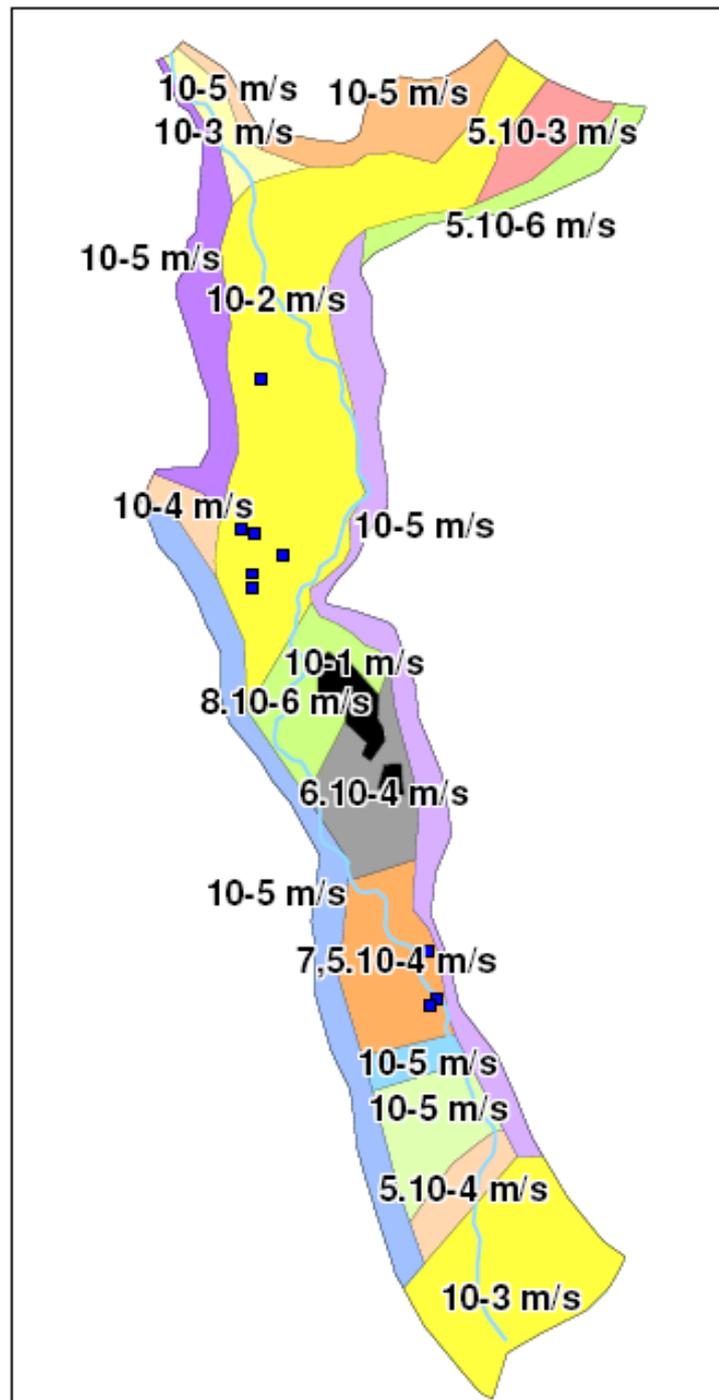
La carte des perméabilités de l'aquifère principal est donnée dans la figure ci-dessous..

Dans l'axe de la vallée, on retiendra différents secteurs qui conditionnent la piézométrie observée :

- ▶ une perméabilité forte dans toute la partie amont (Vourles) : $K = 10^{-2}$ m/s ;
- ▶ le passage des Mouilles avec une faible perméabilité ($K=8.10^{-6}$ m/s) pour retranscrire la chute piézométrique ;
- ▶ le secteur aval de Montagny avec des valeurs moyennes comprises entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s ($7,5.10^{-4}$ m/s au droit des captages AEP) ;
- ▶ la gravière Lafarge est classiquement modélisée par une surface à perméabilité très élevée, de l'ordre de 10^{-1} m/s.

La distribution du coefficient d'emmagasinement résulte d'une analyse de tests de sensibilité. Dans la partie amont du seuil des Mouilles, ce coefficient est égal à 12% et dans la partie aval de 8%.

Figure 10 : Distribution des perméabilités (d'après BURGEAP 2008 d)

CONDITIONS AUX LIMITES

Les limites du modèle constituant des apports d'eau dans l'aquifère sont :

- ▶ des flux (ou débits imposés) pour les apports souterrains des versants ; le modèle comporte 8 tronçons de flux ;

- ▶ les apports rivière représentant les pertes par infiltration du Garon (notés Transfert et traduisant les échanges nappe-rivière), avec distinction de 5 zones.

En termes de sortie, on trouve :

- ▶ • les puits ou forages d'exploitation ;
- ▶ • la limite aval du modèle avec l'exutoire de la nappe dans la vallée du Rhône.

Au nord-est du modèle, le seuil des Barolles est une limite à flux nul : aucune eau ne rentre ou ne sort par cette ligne de partage des eaux souterraines.

A noter également que la rivière Merdanson affluent du Garon à hauteur des Mouilles n'a pas été modélisée, mais qu'en contrepartie, les flux entrant dans le quart sud-ouest du domaine ont été augmentés.

CALAGE EN REGIME PERMANENT

Le modèle a été calé en régime permanent sur la situation de fin 2001 (l'année 2001 ayant été relativement stable).

En régime permanent, du nord au sud, les points de calage sont :

- ▶ le piézomètre DIREN de Vourles,
- ▶ le puits AEP P2 de Vourles,
- ▶ le lac Lafarge (qui est une partie affleurante de la nappe),
- ▶ le piézomètre Pz4 au sud du lac,
- ▶ le piézomètre Ex CUMA Millery,
- ▶ le puits AEP P1 (ou Exhaure 3-5) de Montagny.

Les auteurs obtiennent une piézométrie conformes aux observations (cf. figure ci-dessous), avec toutes les limites dues aux imprécisions et à l'absence de connaissances sur de nombreuses zones de la nappe.

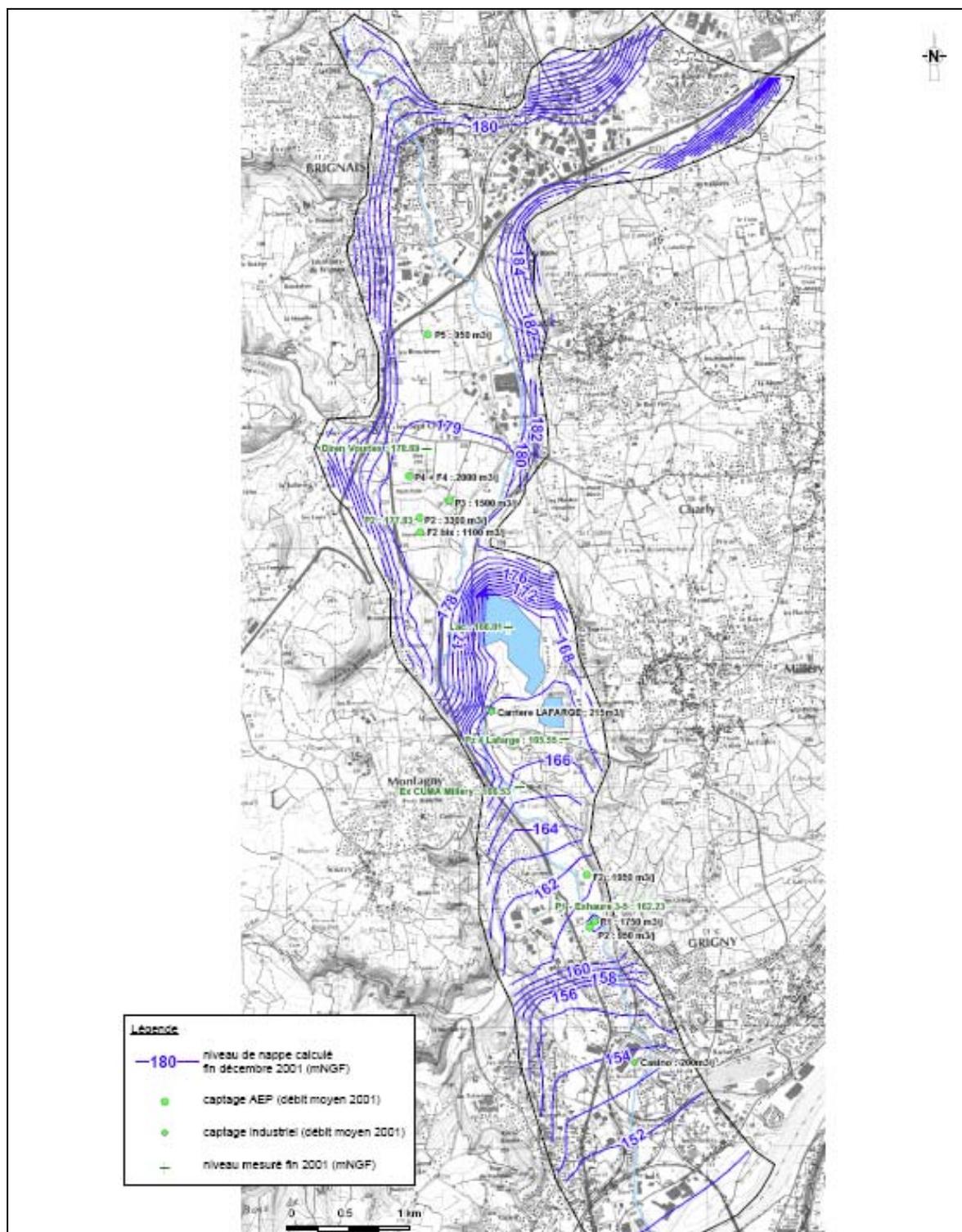
Ils en déduisent le bilan suivant :

Entrées	Précipitations efficaces	60 l/s
	Pertes du Garon	94 l/s
	Apports des coteaux	29 l/s
Sorties	Sortie Rhône	20 l/s
	Prélèvements	160 l/s

Notons que pour l'année 2001, le calcul par la méthode de Thornthwaite a donné des précipitations efficaces de 162,4 mm/an. Cependant, l'ajustement de la piézométrie a amené à réduire le terme d'entrée pluie à 122 mm/an pour le calage 2001 : en particulier dans le secteur de Vourles, la valeur initiale de Thornthwaite était trop forte pour restituer la piézométrie observée à 178 m NGF.

Les débits relatifs aux apports des bordures ne sont pas quantifiables par des méthodes directes. En accord avec les conclusions des études hydrogéologiques antérieures, les apports des versants modélisés sont nettement plus faibles que la pluie efficace directe : 2 500 m³/j contre 5 200 m³/j pour la pluie.

Figure 11 : Piézométrie calculée fin décembre 2001 (d'après BURGEAP 2008 d)



CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE

Le calage en régime transitoire du modèle a été effectué sur la période allant du 01/01/2002 au 31/10/2007, soit un historique de 2 129 jours. La piézométrie de départ est celle issue du calage en régime permanent précédemment décrit.

La complexité des modalités des apports du Garon via les nappes superficielles a été intégrée au modèle au moyen d'un modèle 2D qui décrit les écoulements successifs au travers de plusieurs réservoirs : nappe perchée puis zone non saturée.

Le calcul de la distribution mensuelle des pluies efficaces a été réalisé à l'aide du modèle de Thornthwaite avec un abattement de 25%.

Le résultat du calage final en régime transitoire est donné sous forme de comparaison entre niveaux calculés et niveaux mesurés. Les trois points de restitution présentés sont d'amont en aval :

- ▶ secteur Vourles : un point de restitution situé entre AEP P2 et piézomètre DIREN ;
- ▶ le lac de la Carrière Lafarge ;
- ▶ secteur Montagny : Ex CUMA Millery.

Il peut être jugé satisfaisant.

Les auteurs notent que la baisse des niveaux piézométriques n'est pas homogène pour la nappe (cf. figure ci-dessous).

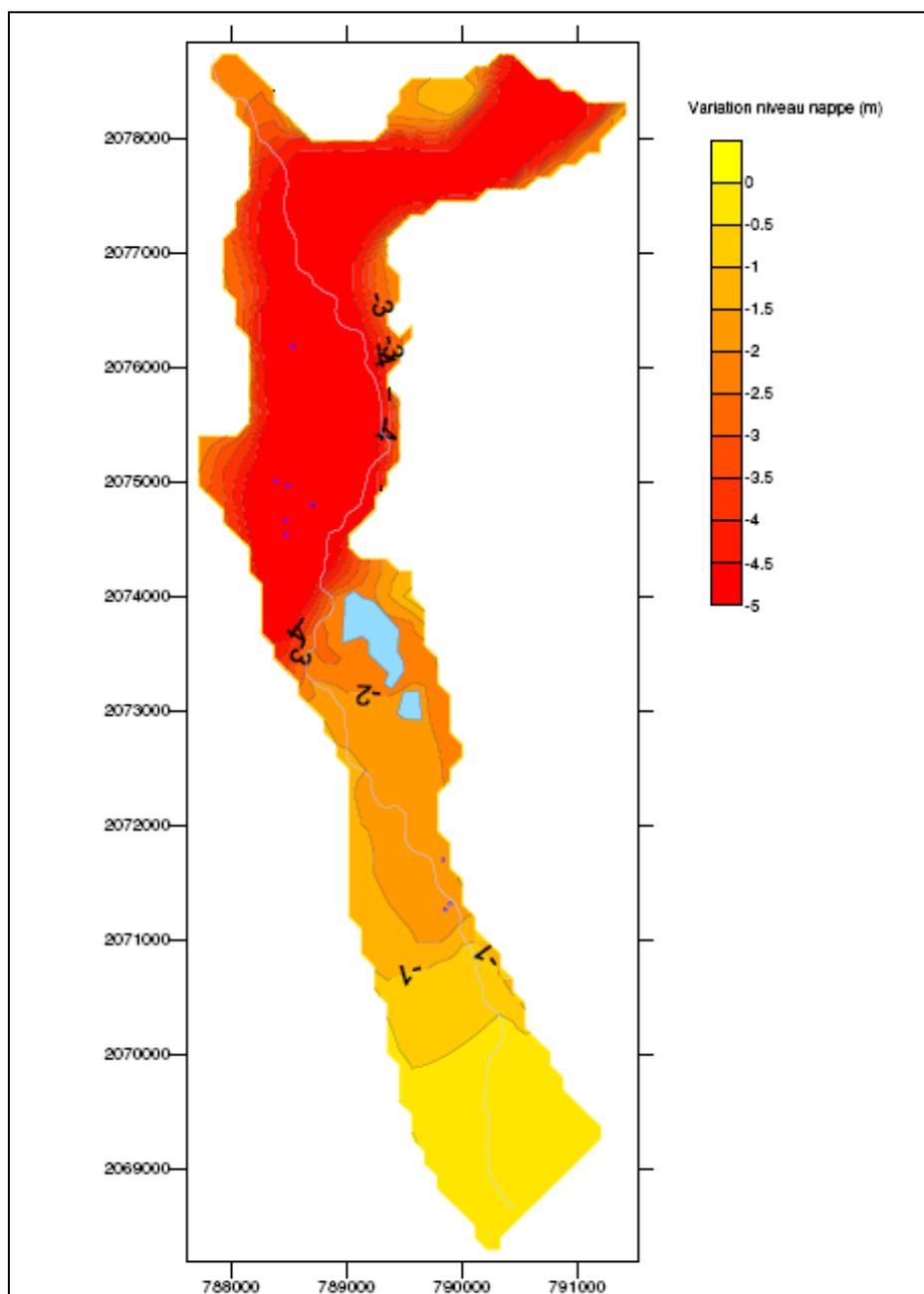
Selon ces simulations, seule l'année 2004 a été excédentaire d'un point de vue bilan (apports supérieurs aux pertes).

Des tests de sensibilité ont ensuite été réalisés sur les paramètres suivants :

- ▶ Coefficient d'échanges nappe/rivière.
- ▶ Volumes prélevés par pompage.
- ▶ Coefficient d'emménagement (simulation avec un coefficient d'emménagement homogène de 20%).
- ▶ Pluie directe (hypothèse d'une pluie efficace constante de 122 mm/an).

Peu argumentés et ne respectant pas les règles des plans d'expérience indispensables pour appréhender leur éventuelle interaction positive ou négative, ils apportent relativement peu d'informations utiles pour la critique du modèle. Ils montrent que le modèle est très sensible aux volumes prélevés (rappelons qu'ils représentent 90% des pertes dans le bilan) et au coefficient d'échange nappe rivière (rappelons que les pertes du Garon représentent environ 50% des apports dans le bilan). On notera aussi une faible sensibilité des simulations à la valeur du coefficient d'emménagement.

Figure 12 : Ecart piézométrie simulée entre 2002 et 2007 (BURGEAP 2008 d)



SIMULATIONS QUANTITATIVES (BURGEAP, 2008 E)

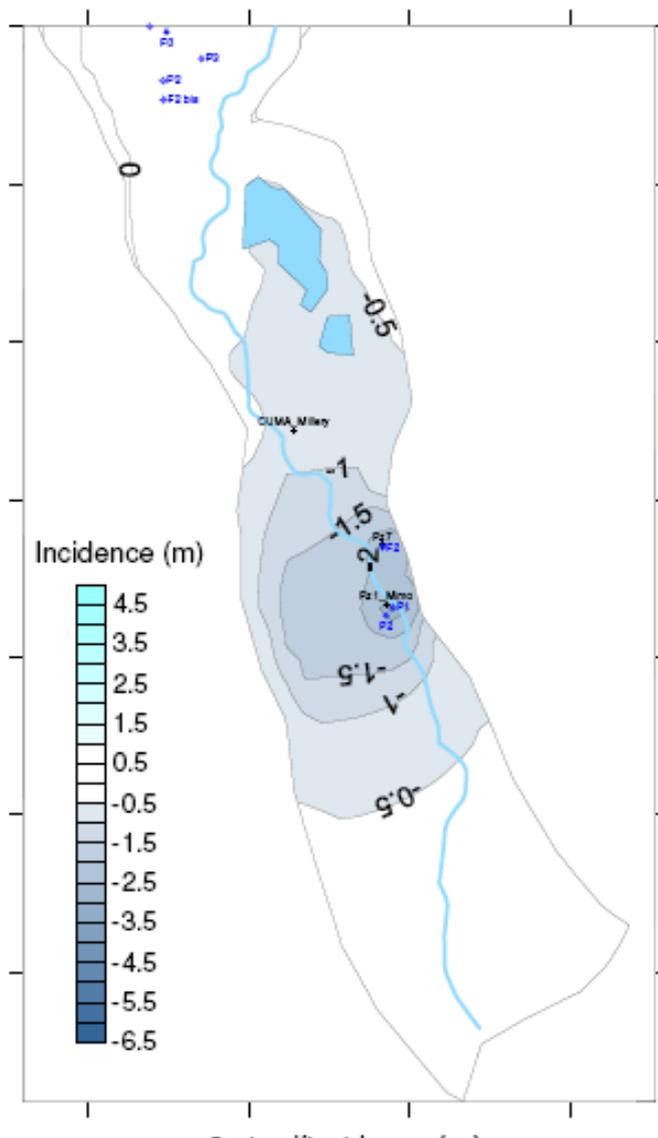
Six scénarios ont été définis :

- ▶ déficit pluviométrique prolongé,
- ▶ capacité de production AEP du secteur Montagny,
- ▶ augmentation temporaire des pompages sur le secteur Vourles,
- ▶ transfert d'une partie des prélèvements du secteur Vourles vers le secteur Montagny,

- ▶ création de nouveaux puits,
- ▶ réalimentation artificielle de la nappe.

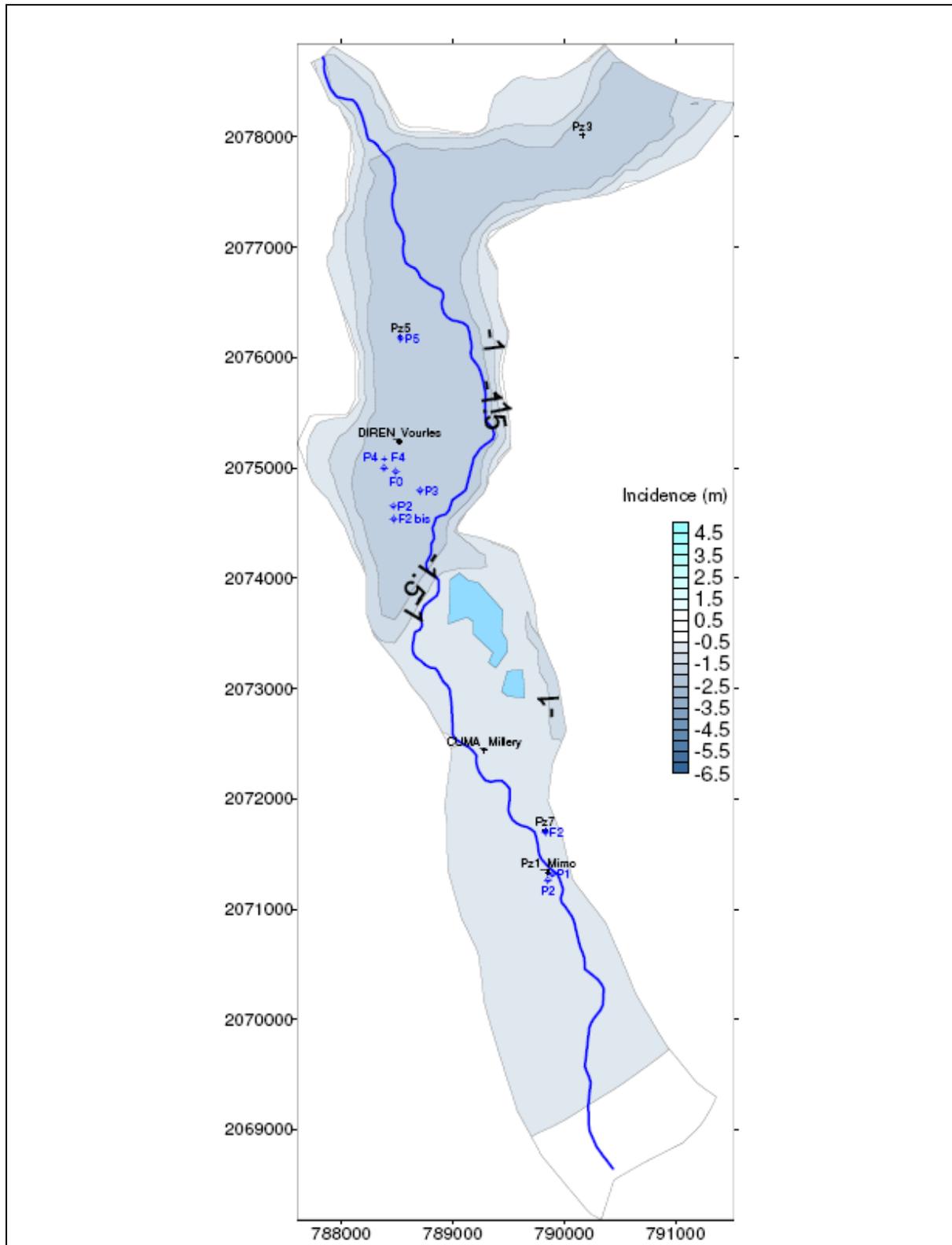
En première approximation, les résultats de ces simulations sont conformes aux hypothèses de construction du modèle. Une des observations fondamentales est la forte compartimentation de l'aquifère : l'augmentation des pompages à l'aval du seuil des Mouilles a un impact atténué sur la piézométrie à l'amont du seuil et vice versa.

Figure 13 : Incidence sur la piézométrie d'une augmentation de 20% des prélèvements sur le secteur de Montagny (BURGEAP 2008 e)



De même, cette forte compartimentation se traduit par une plus forte sensibilité du compartiment amont à une éventuelle baisse de la pluviométrie.

Figure 14 : Incidence sur la piézométrie de la succession de deux années sèches avec 90 mm/an de pluies efficaces (BURGEAP 2008 e)



2.3 DONNEES DISPONIBLES

2.3.1 Climatologie

BURGEAP (2007) propose une première analyse des données climatologiques sur le secteur d'étude (exploitation des données METEO FRANCE des stations de Saint-Genis-Laval et de Lyon-Bron) :

- ▶ Les précipitations moyennes interannuelles sont de 780 mm entre 1986 et 2006 à la station de Saint-Genis- Laval. Deux périodes de pluviométrie importante sont distinguées : durant le printemps entre les mois d'avril à juin avec des précipitations qui avoisinent les 70 mm/mois en moyenne, et durant l'automne entre les mois de septembre et novembre avec un maximum à 100 mm/mois pour le mois d'octobre.
- ▶ Pour la station de St Genis-Laval, l'ETP est égale à 702 mm par an en moyenne sur la période 1986-2006. Les précipitations efficaces sont égales à 270 mm par an en moyenne sur cette même période. Sur la même période à Bron, les précipitations totales sont de 822 mm/an, l'ETP de 738 mm/an et les précipitations efficaces de 287 mm/an.

Dans le cadre de cette étude, BRLi réalisera une approche fine des précipitations efficaces. Les données de climatologie seront fournies par METEO FRANCE.

Il s'agit des données de pluviométrie et d'ETP, à un pas de temps mensuel, et sur l'ensemble du secteur d'étude et ce de 1970 à 2010.

Ces données seront traitées selon une méthode de spatialisaton, ce qui permettra d'obtenir une vision discrétisée des pluies mensuelles à l'échelle du secteur d'étude.

De plus, l'infiltration efficace sera fournie par l'application du modèle pluie-débit GR2M. En effet, ce modèle propose un calcul du débit de ruissellement en fonction de la pluie et de l'ETP. Ce calcul estime ainsi de façon indirecte une lame d'eau infiltrée vers les nappes ; cette estimation peut être jugée comme robuste car elle s'appuie sur des données d'entrée mesurées (P et ETP) et sur une phase de calage basée sur l'exploitation des données de ruissellement (Q rivières), mesurées en différents points du bassin versant.

Figure 15 : Pluies totales et efficaces, valeurs moyennes et valeurs du premier et du quatrième quintile (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).

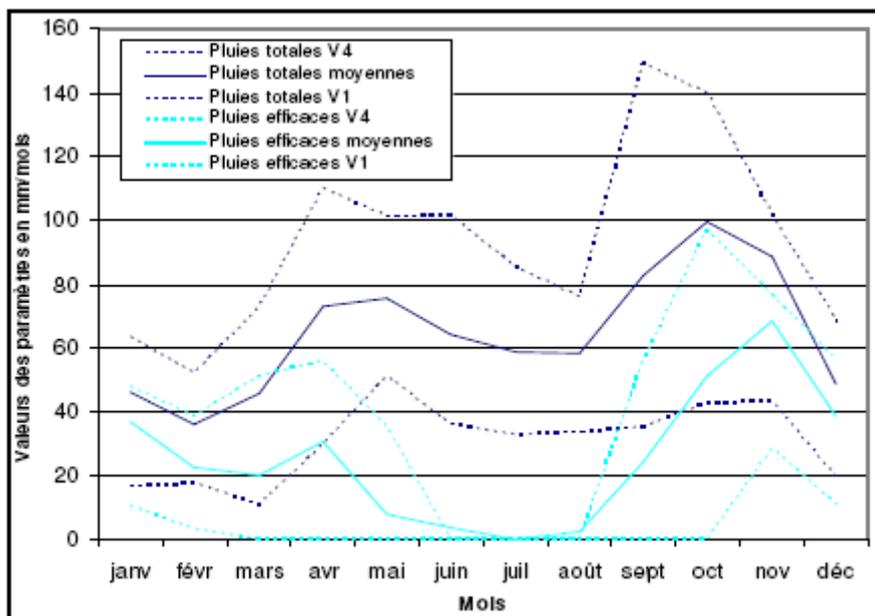
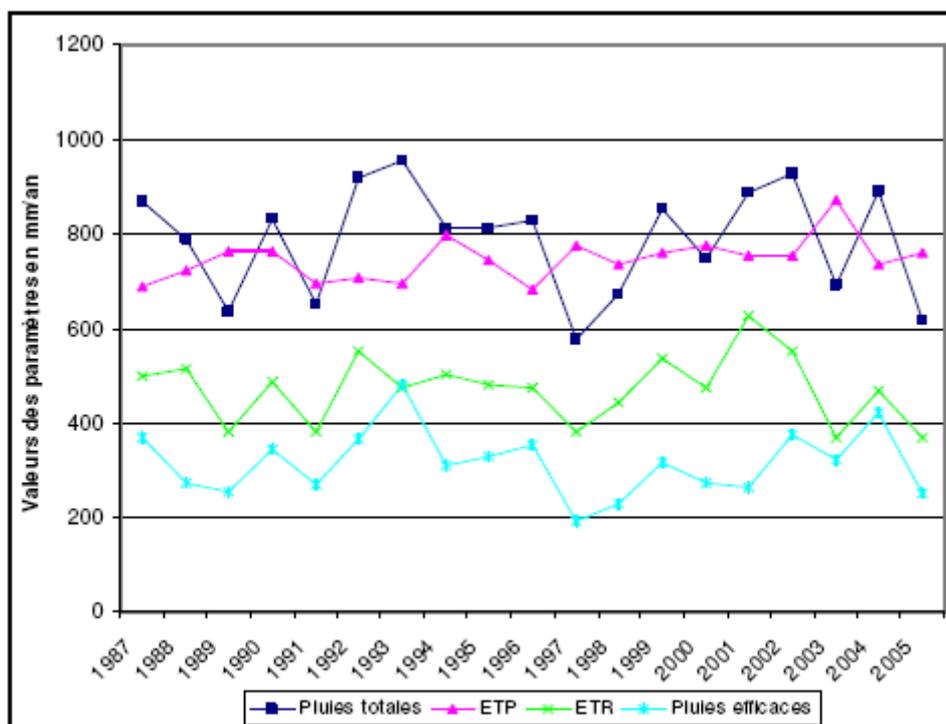


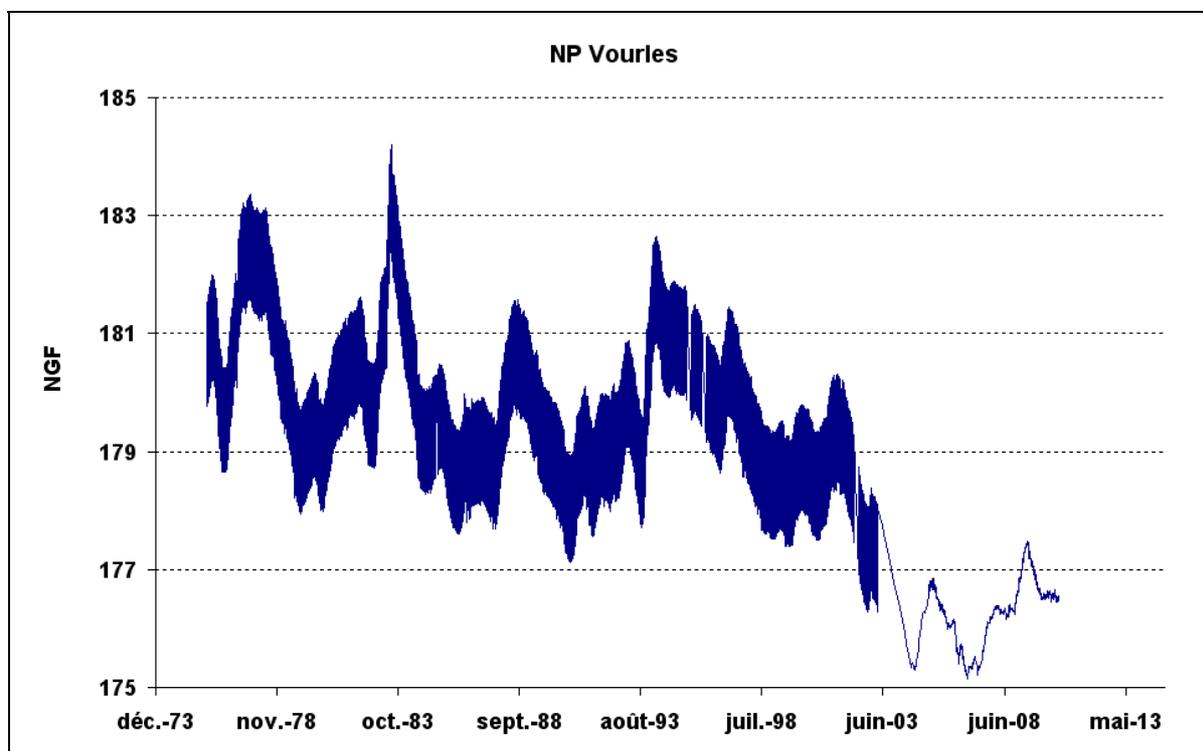
Figure 16 : Précipitations totales, ETP, ETR et précipitations efficaces annuelles (données de St Genis Laval de 1986 à 2006).



2.3.2 Données piézométriques

La nappe du Garon est suivie par la DIREN depuis 1977 sur le piézomètre de Vourles, localisé dans la partie amont de la nappe :

Figure 17 : Evolution de la piézométrie sur le piézomètre de Vourles. Suivi DIREN.



Ce piézomètre montre une tendance à la baisse depuis 1990. Les périodes de recharge ne semblent pas suivies de remontées piézométriques.

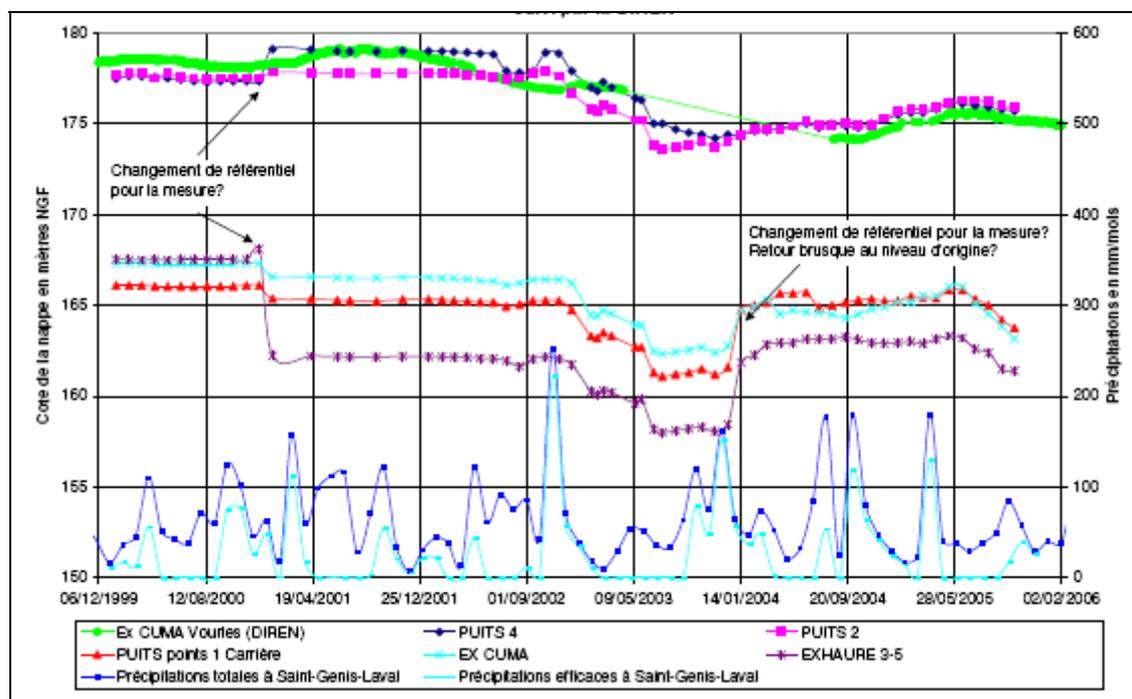
Lamotte (BRGM, 2003) propose une synthèse des données piézométriques disponibles recueillies par d'autres opérateurs : LAFARGE, MIMO et SIDESOL. Les chroniques sont courtes et peu de données sont exploitables. Les données ne sont pas présentées dans le rapport.

La synthèse de BURGEAP (2007) se montre plus exhaustive dans la présentation des données. De nombreuses chroniques piézométriques y sont présentées. On observe sur la période novembre 2001-décembre 2003 une forte baisse des niveaux de nappe :

- ▶ de novembre 2001 à octobre 2002 cette baisse s'amorce sur le piézomètre DIREN, elle n'est pas visible aux autres points suivis en amont ni en aval du seuil des Mouilles1,
- ▶ de novembre 2002 à juin 2003 cette baisse s'accroît. Peu visible sur le piézomètre DIREN dont la chronique est interrompue, elle s'observe aux puits de captage AEP en amont du seuil des Mouilles, ainsi qu'aux puits AEP et aux puits des carrières en aval de ce seuil.

Ceci peut être relié principalement à l'augmentation de l'exploitation de la nappe, en amont du seuil des Mouilles, dont l'impact en termes de niveau de nappe se fait également sentir à l'aval du seuil. A partir de 2004, la nappe est moins exploitée et le niveau de la nappe remonte progressivement, mais sans rejoindre son niveau d'avant 2003. Les auteurs concluent qu'en 2003, les réserves de l'aquifère ont été sollicitées et qu'elles ne se sont pas encore entièrement reconstituées.

Figure 18 : Evolution de la piézométrie sur les ouvrages suivis dans le cadre du réseau de surveillance de Lafarge Granulats (Rapports SDEI de 2000 à octobre 2005) et le piézomètre ex-CUMA Vourles suivi par la DIREN). D'après BURGEAP, 2007.



2.3.3 Données sur les pertes en rivière :

Le régime du Garon est de type pluvial avec des étiages très sévères dès le mois de Juillet, susceptibles de provoquer un assèchement temporaire du cours d'eau sur un tronçon pouvant aller de Brignais jusqu'à l'amont de Grigny.

Le bassin versant du Garon ne possède actuellement aucune station limnigraphique. Entre 1969 et 1984, une station suivie par la DIREN existait au lieu dit le Barret à Brignais (V3035010, source banque-hydro, RNDE), représentant 79 km² du bassin versant. Selon la DIREN, les 14 années de données qui ont été collectées à cette station présentent une bonne fiabilité.

Le tableau ci-dessous donne le débit interannuel mensuel de 1969 à 1984 sur la station hydrographique de Brignais en m³/s (BURGEAP, 2007) :

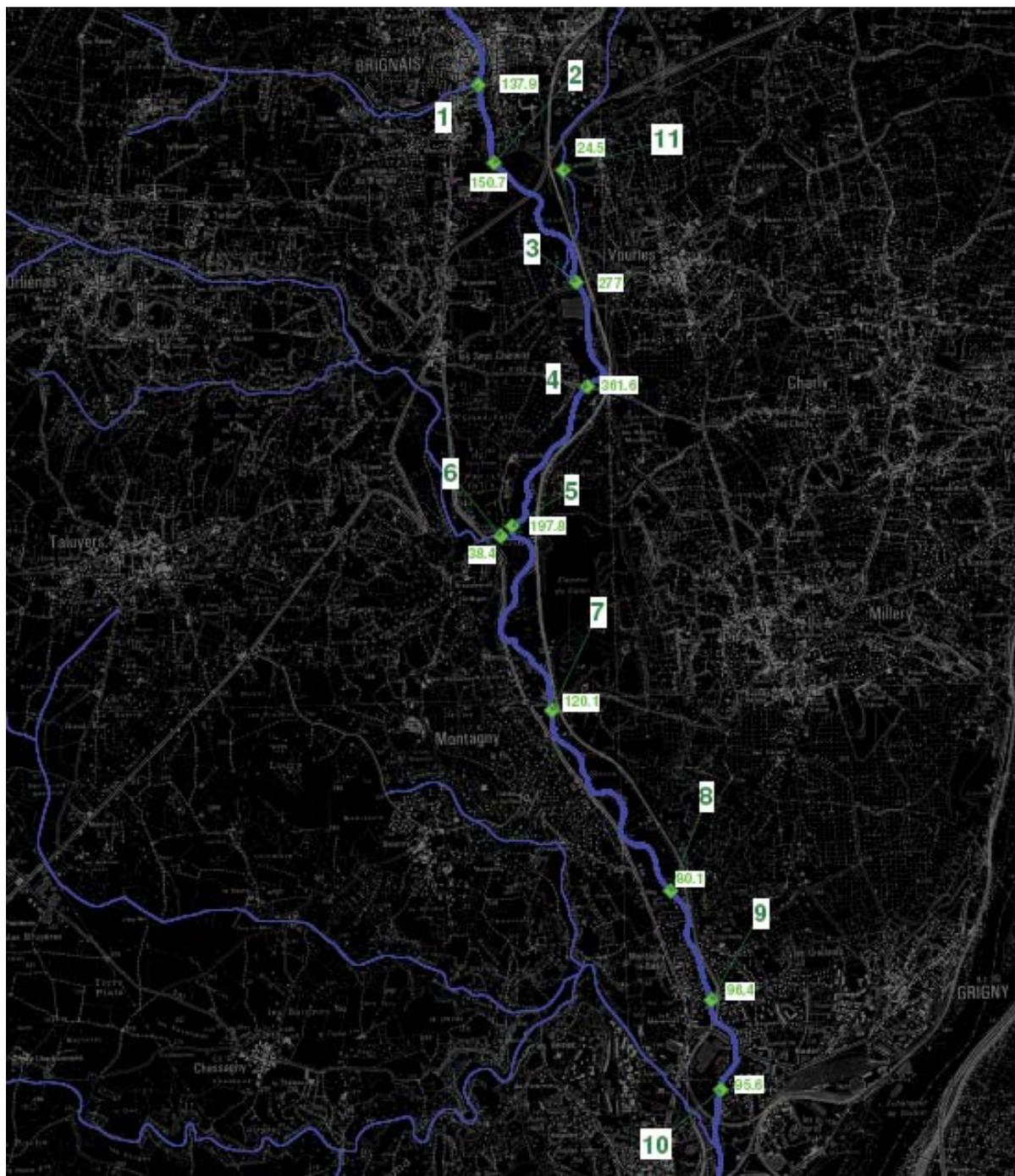
Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0.82	1.15	0.96	0.82	0.84	0.29	0.12	0.18	0.24	0.34	0.69	0.91

Nous disposons de nombreuses données de jaugeage pour estimer les pertes du Garon :

- Mesures du 13 juin 1967 (BURGEAP, 1967) : environ 78 l/s entre Brignais et les Mouilles et environ 20 l/s entre les Mouilles et les carrières.

- ▶ Mesures du 29 novembre 1967 (BURGEAP, 1967) : environ 183 l/s de pertes entre Brignais et les Mouilles.
- ▶ Mesures du 22 juillet 1997 (DIREN, 1997) : environ 60 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau de Vourles.
- ▶ Mesures du 9 septembre 1997 (DIREN, 1997) : environ 40 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau de Vourles.
- ▶ Mesures SITA du 2 juillet 2004 (in BURGEAP, 2007) : environ 24 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais avec un assec complet au niveau du seuil des Mouilles.
- ▶ Mesures SITA du 2 septembre 2004 (in BURGEAP, 2007) : environ 120 l/s à la confluence du Ru Merdanson et de Brignais, 240 l/s à la confluence avec le Merdanson de Chapanost et environ 100 l/s au niveau du seuil des Mouilles.
- ▶ Mesures BURGEAP du 23 mai 2007 (BURGEAP, 2008b) avec des jaugeages sur 11 points de mesure répartis le long du Garon (cf. figure ci-dessous). Elle montre une augmentation du débit entre Brignais et Vourles (station n°4), de 150 à 360 l/s, puis des pertes importantes entre Vourles et la confluence avec le Merdanson d'Orlienas (de l'ordre de 160 l/s) puis entre cette confluence et Montagny (de l'ordre de 160 l/s). Rappelons que la nappe est alors en état de basses eaux avec un minimum de l'ordre de 176 m NGF au droit du piézomètre DIREN de Vourles. Ceci est susceptible d'expliquer les fortes pertes observées à l'aval du seuil des Mouilles.

Figure 19 : résultats de la campagne de jaugeage (d'après BURGEAP, 2008 b)



Nous ne disposons d'aucunes mesures sur les pertes des affluents du Garon.

La mission de reconnaissance sur le terrain a permis de constater les éléments suivants :

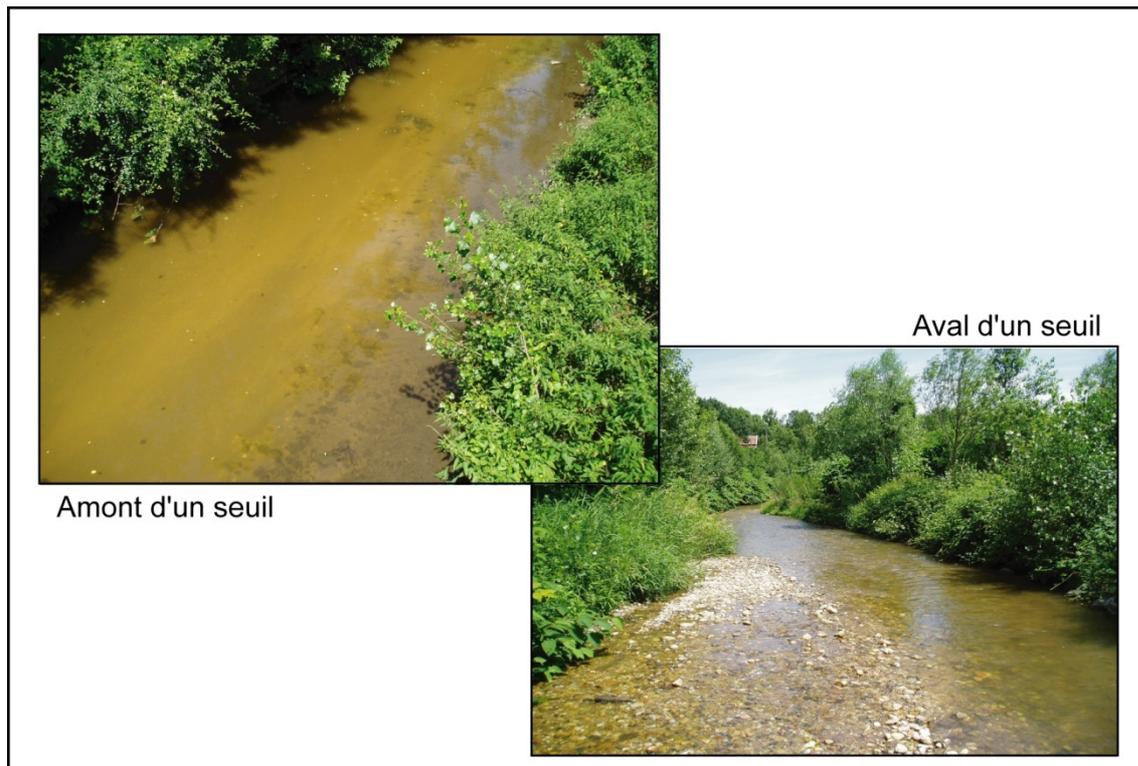
- Le Garon présente de nombreuses sections aménagés de type seuil. Cela induit une alternance de zones caractérisées par un fond de type graveleux, favorables à l'infiltration des eaux vers la nappe, et de zones caractérisées par un fort envasement peu propice aux infiltrations.

- ▶ Le Garon présente des zones où il est encaissé dans les dépôts modernes de type limoneux et des zones où il est plus libre de divaguer.

On peut en déduire les considérations suivantes :

- ▶ Les pertes sont distribuées spatialement le long du cours d'eau.
- ▶ Les pertes ne sont probablement pas constantes dans le temps. En deçà, d'une valeur seuil du débit du cours d'eau (de l'ordre de 150 l/s selon les données disponibles), les pertes sont totales. Mais au dessus de cette valeur seuil, il est possible que les pertes soient plus importantes dans les zones de divagation du cours d'eau.

Figure 20 : Photographies des morphologies caractéristiques du lit du Garon



3. ELEMENTS D'ORIENTATION

3.1 AVIS SOMMAIRE SUR L'ETENDUE DES CONNAISSANCES

3.1.1 Eléments certains :

Sans revenir sur le détail des connaissances acquises sur l'aquifère du Garon, les points suivants méritent d'être soulignés :

(1) Cet aquifère a fait l'objet d'études répétées et complémentaires tant sur sa structure que sur son comportement hydrogéologique. On dispose ainsi de nombreuses données de qualité :

- ▶ Forages renseignés.
- ▶ Prospections géophysiques bien réparties sur l'aquifère.
- ▶ Suivis piézométriques pluri-annuels sur plusieurs points.
- ▶ Nombreuses campagnes de jaugeages pour estimer les pertes du Garon.
- ▶ Données météorologiques sur de nombreuses stations.

(2) Cet aquifère a déjà fait l'objet d'une première démarche de modélisation approfondie de qualité. Cela permet d'avoir un outil numérique utile pour l'investigation des potentialités de l'unité aquifère.

(3) Cet aquifère a fait l'objet de nombreuses synthèses, depuis la première produite par BURGEAP en 1966 jusqu'à celle proposée par BURGEAP en 2007. A ce sujet, on peut considérer cette dernière synthèse comme exhaustive et de qualité. Les rapports les plus récents sur les sources de la Mouche permettent de compléter utilement la connaissance de l'unité aquifère.

On peut donc considérer en première approximation que l'aquifère est bien décrit pour autoriser une approche de type modélisation, tant du point de vue de sa structure que de son comportement hydrogéologique.

Notons cependant la présence d'incertitudes qu'il sera nécessaire de discuter puis d'intégrer dans la stratégie de modélisation. Les principaux points méritant une discussion sont les suivants :

(a) Estimation de la pluie efficace (lame d'eau s'infiltrant dans la zone non saturée qui participera in fine à la recharge de la nappe).

(b) Débit infiltré dans la nappe par pertes des eaux du Garon.

(c) Rôle des coteaux. Leur contribution est par nature difficile à estimer (venues sous-alluviales en provenance d'aquifères fissurés hétérogènes).

(d) Conditions aux limites imprécises : seuil des Barolles et dépression de Charly-Millery.

(d) Impact de la gravière sur le comportement hydrogéologique et nature du seuil des Mouilles.

Signalons aussi l'absence de données utiles pour consolider la détermination des volumes prélevables par l'approche de modélisation : mesures de débit du Garon au droit de la confluence avec le Rhône (exutoire de l'unité inférieure) et chronologies des débits des sources de la Mouche (exutoire de l'unité supérieure).

3.1.2 Éléments incertains

Cette étude a permis de mettre en évidence les éléments incertains suivants :

ESTIMATION DE LA PLUIE EFFICACE

C'est une donnée essentielle pour la compréhension des phénomènes et l'estimation du bilan mais, malheureusement, son estimation nécessite l'emploi de méthodes approximatives.

Une approche statistique classique donne une moyenne interannuelle de l'ordre de 270 mm/an. Accepter une pluie efficace moyenne de l'ordre de 270 mm/an revient à attribuer un débit fictif de l'ordre de 130 l/s aux alimentations par infiltration des eaux météoriques dans le bilan.

Notons que pour le calage en régime permanent du modèle, une valeur de 160 mm/an a été introduite (soit environ 60% de la moyenne interannuelle) ; pour assurer la validité du calage, cette valeur a été réduite à 120 mm/an (soit 44% de la MI). Ce qui donne un débit fictif de l'ordre de 60 l/s dans le bilan déduit.

Les bilans proposés font varier cette valeur de 60 à 100 l/s, ce qui témoigne du manque de certitude sur les phénomènes en jeu.

Précisons que les modalités d'infiltration des eaux météoriques pourront peut-être être étudiées indirectement lors de l'application du modèle pluie-débit qui sera appliqué sur le bassin versant en phase 2 de l'étude. C'est un point important : la réalisation préalable d'un modèle maillé de type pluie-débit sur l'impluvium de l'aquifère pourra en fonction des données de calage et de la complexité de l'hydro système, permettre de réduire de façon significative les incertitudes sur ce paramètre clé pour le comportement hydrogéologique de l'aquifère.

QUANTIFICATION DES PERTES DU GARON :

Les mesures les plus récentes et les plus étendues permettent d'estimer des pertes en aval du seuil des Mouilles (zone pour laquelle la rivière est "perchée" par rapport à la nappe) de l'ordre de 150 l/s minimum. En effet, c'est seulement pendant les mois de juillet et d'août que le débit interannuel mensuel du Garon est susceptible de descendre en dessous de 150 l/s (120 l/s pour juillet et 180 l/s pour août) ; on peut ainsi considérer les pertes comme continues les autres mois de l'année et on peut en première approximation estimer que les périodes de crues compensent les périodes de pertes partielles.

Si on accepte cette valeur, on peut alors considérer un apport par infiltration de ces pertes avec un débit fictif moyen annuel de l'ordre de 100 à 150 l/s.

Cette valeur doit être considérée avec prudence : elle cumule les pertes du Garon mais aussi celles de ces affluents (valeur minorée), elle ne traduit pas les phénomènes complexes liés à la présence des nappes supérieures qui non seulement retardent l'infiltration mais sont susceptibles de stocker une partie des eaux infiltrée (valeur majorée).

APPORTS PAR LES COTEAUX DE BORDURE.

Les apports sous alluviaux se font dans des aquifères de type fissurés pour lesquels les notions de paramètres équivalents (porosité et perméabilité) sont a priori non applicables. De plus, ces aquifères sont caractérisés par une forte hétérogénéité spatiale. Si des mesures de terrain adéquates permettaient de déterminer localement le débit possible des apports, cette valeur devrait être considérée comme très locale et ne pourrait être extrapolée à d'autres zones.

Il faut donc accepter que ces apports ne pourront jamais être mesurés mais devront être considérés comme une variable d'ajustement dans la démarche de modélisation.

SIGNIFICATION HYDROGEOLOGIQUE DU SEUIL DES BAROLLES.

Les éléments d'information consultés dans le cadre de cette étude montrent l'absence d'arguments hydrogéologique ou structuraux pour justifier l'existence d'un seuil hydrogéologique au droit des Barolles.

Inversement, les données hydrogéologiques disponibles soutiennent plutôt l'hypothèse d'une continuité de la nappe profonde du Garon avec les sources de la Mouche.

Ce qui impliquerait que les résurgences dites des sources de la Mouche constituent un exutoire de la nappe profonde du Garon. Avec en première approximation, un débit soutiré supérieur à 50 l/s : 50 l/s mesuré en hautes eaux, majoré du débit d'alimentation des alluvions limoneuses récentes qui "barrent" la nappe, majoré des 15 l/s de prélèvement industriel.

IMPACT DE LA GRAVIERE SUR LES ECOULEMENTS SOUTERRAINS ET NATURE DU SEUIL DES MOUILLES.

Le seuil des Mouilles forme une particularité hydrogéologique qu'il est nécessaire de comprendre. Son impact sur la piézométrie est majeur avec un cloisonnement hydrodynamique et hydrochimique de l'aquifère. Pour simuler son impact sur la piézométrie, il a été nécessaire d'introduire des mailles avec des perméabilités de 8.10^{-5} m/s.

Les données consultées permettent de proposer une hypothèse basée sur le croisement de deux phénomènes :

1. Variation lithologique des dépôts dans ce secteur.
2. Influence de la gravière par pertes localisées par évaporation et par modification des isopièzes.

(1) Origine du seuil des Mouilles : cet étranglement pourrait correspondre à un ancien verrou glaciaire et former ainsi un barrage souterrain (BURGAP, 1966).

Un schéma plausible (BURGEAP, 2007) serait celui d'un premier dépôt de type alluvial du paléo-Rhône au Pliocène puis de séquences glaciaires au Quaternaire, avec surcreusement des dépôts fluviaux puis dépôts de type morainique. Il est probable qu'à l'époque rissienne, le recul des glaciers ait entraîné une déviation du Rhône vers sa vallée actuelle suite à une obstruction du cours d'eau par des moraines.

Ce schéma est conforme avec les différences lithologiques (matériaux moins perméables à l'aval) et géomorphologique (vallée en V à l'amont et en U à l'aval) à l'aval et à l'amont du seuil des Mouilles.

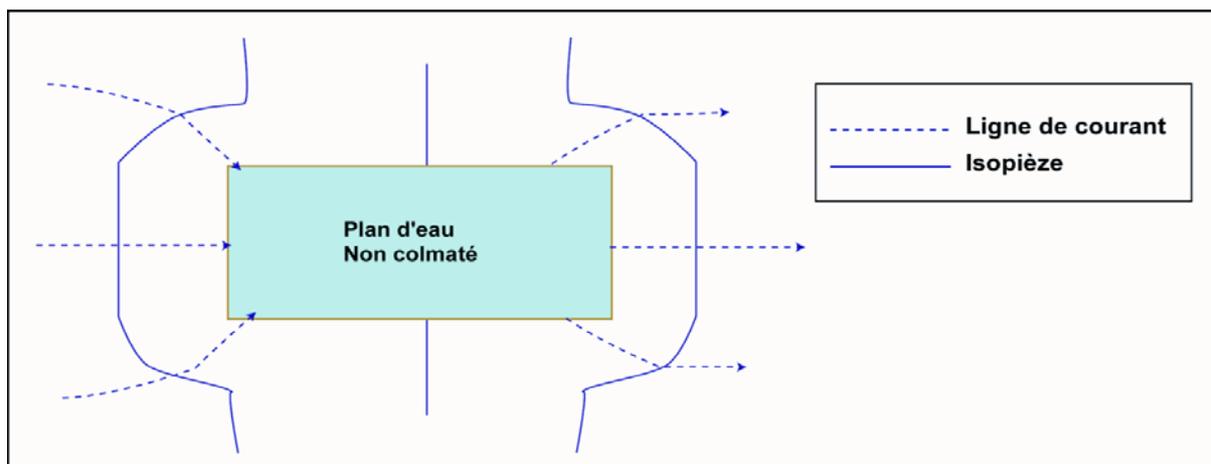
Ce schéma impliquerait des dépôts majoritairement fluviaux à l'amont du seuil et principalement morainiques au niveau et à l'aval du seuil ; ce qui est cohérent avec la distribution des perméabilités mesurés.

(2) Concernant l'impact probable de la carrière, rappelons les éléments suivants :

De manière générale, dans un milieu homogène, le régime d'écoulement de la nappe va être modifié au voisinage de la gravière (cf. figure ci-dessous). L'implantation d'une gravière revient à remplacer la matrice poreuse par une zone à porosité de 100% et une transmissivité infinie.

Dans sa partie amont, le plan d'eau draine la nappe alors que dans sa partie aval, il l'alimente.

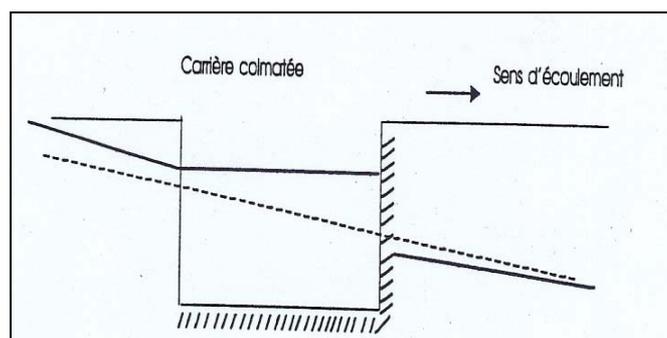
Figure 21 : Effets théoriques d'un plan d'eau dans un matériau homogène .

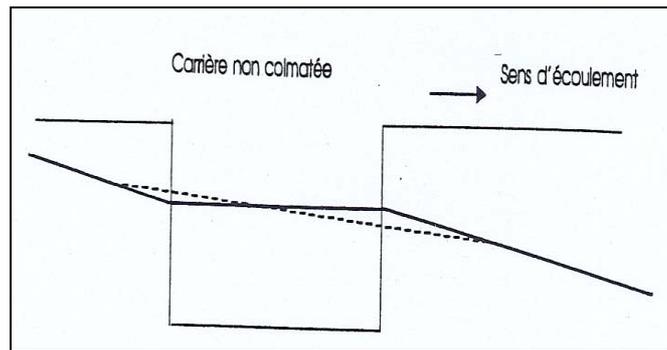


Ces perturbations s'accompagnent localement d'une augmentation du gradient hydraulique. Le facteur explicatif principal de l'impact d'un plan d'eau sur une nappe est le colmatage des berges :

- ▶ Si les parois ne sont pas colmatées, on observera une surélévation du niveau piézométrique à l'aval hydraulique et un rabattement à l'amont.
- ▶ Si les parois sont colmatées, il y aura surélévation à l'amont et rabattement à l'aval.

Figure 22 : Impact du colmatage des berges .





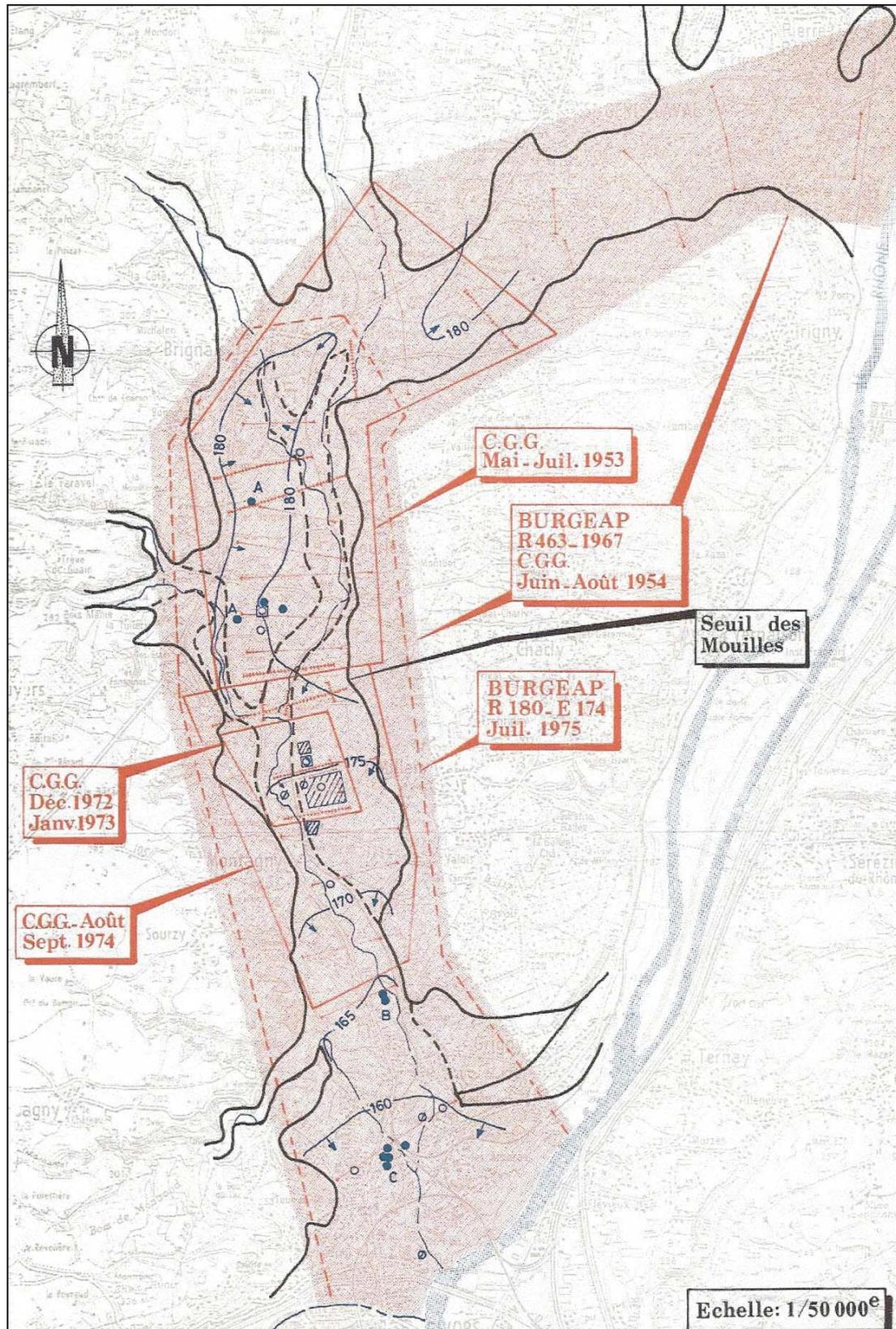
L'extraction des alluvions entraîne donc un phénomène de basculement de la surface du plan d'eau ainsi créé. Celui-ci s'équilibre à l'horizontale alors que les gradients hydrauliques sont modifiés aux abords. Une des conséquences de cette modification est l'accentuation des gradients dans la partie située à l'amont de la gravière, ce que l'on observe au droit du seuil des Mouilles.

Les données piézométriques récoltées autour de la carrière au droit du seuil des Mouilles tendraient à montrer que celle-ci serait partiellement colmatée et jouerait ainsi le rôle d'un barrage hydraulique.

Signalons qu'avant l'extraction de la partie noyée des matériaux (étude SRAE, 1981), la piézométrie était moins "perturbée" qu'aujourd'hui. Les rares données de piézométrie de l'époque montrent une nappe déjà impactée avec gradient de 0,1% entre Brignais et les gravières et un gradient moyen de l'ordre de 0,4% entre les gravières et Givors. Sous la zone des carrières, la nappe est alors approximativement à la cote 175 m NGF alors qu'elle est comprise entre 165 et 170 m NGF aujourd'hui.

Rappelons que l'impact du seuil avait déjà été clairement observé en 1966 (BURGEAP). Il est donc possible que l'implantation de cette gravière ait accentué l'effet du seuil sur la piézométrie. Si l'on rajoute une augmentation graduelle des pompages AEP dans le secteur de Montagny, on ajoute alors un facteur susceptible de renforcer l'impact de la gravière sur les écoulements.

Figure 23 : Synthèse hydrogéologique (SRAE, 1981)



Pour finir, rappelons que les gravières ont un impact quantitatif sur la ressource par évaporation;

Le volume "perdu" pour la nappe peut être estimé de la façon suivante :

$$Q = P - E - I(Sr)$$

Dans une gravière, la pluie infiltrée correspond en totalité à la pluie. L'évaporation peut être estimée par des formules empiriques fonction de la température de l'air et de la surface évaporante, du rayonnement net, de la vitesse du vent, de la pression atmosphérique,

De plus, selon cette approche, il est nécessaire d'estimer les volumes perdus, suite à la suppression de la recharge de la nappe sur les surfaces occupées par les gravières. En effet, initialement des flux d'eau alimentaient la nappe et ils ont été supprimés. Ils sont calculés classiquement par des formules de type :

$$I(Sr) = P - ETP - R$$

Dans cette formule, on suppose négligeable pour les échelle de temps qui nous intéressent, les phénomènes de stockage d'eau dans le sol. De même, le ruissellement peut être considéré comme nul à l'échelle des surfaces intéressées.

Dans le cadre de cette étude nous avons fait une demande auprès de METEO FRANCE pour nous donner les valeurs d'évaporation estimées sur une décennie au droit du secteur d'étude (Station météorologique de Lyon-Bron).

Avec les moyennes climatiques suivantes :

$$P = 800 \text{ mm.}$$

$$E = 1060 \text{ (moyenne de 2000 à 2009).}$$

$$ETR = 600 \text{ mm.}$$

Pour un plan d'eau de 100 ha, on estime alors une perte annuelle pour la nappe de l'ordre de 480 000 m³. Ce qui correspond à un débit fictif de l'ordre de 15 l/s.

PRESENCE D'UN AUTRE AXE POTENTIEL DE VIDANGE DE LA PARTIE AMONT DE LA NAPPE AU DROIT DE LA DEPRESSION DE CHARLY-MILLERY :

Des arguments géologiques et topographiques permettent de poser l'hypothèse d'une structure géologique particulière au droit de la dépression de Charly Millery. Il est possible qu'elle puisse jouer un rôle hydrogéologique secondaire de type axe drainant secondaire (formations morainiques moins perméables que les dépôts fluvio-glaciaires).

C'est une hypothèse qui mériterait d'être étudiée par une étude spécifique.

Au vu du peu d'arguments disponibles pour soutenir cette hypothèse, elle sera négligée dans le cadre de cette étude.

3.1.3 Recommandations :

Au vu des incertitudes mises en évidence, nous recommandons la mise en œuvre ad minima des opérations suivantes :

- ▶ Installation d'un nouveau point de mesure du débit du Garon dans la partie aval de l'aquifère (au sud du seuil des Mouilles), idéalement dans la partie la plus aval du bassin versant.
- ▶ Implantation d'un piézomètre pour le suivi de la nappe dans la partie aval de l'aquifère (au sud du seuil des Mouilles). Idéalement, il faudrait positionner ce piézomètre en dehors de la zone d'influence de la gravière et des pompages AEP.
- ▶ Installation d'une station de mesure en continu du débit du Garon à Brignais. Idéalement, une station de mesure des débits du Merdanson de Chaponost en amont de sa confluence avec le Garon viendrait compléter l'information.
- ▶ Investigations géologiques détaillées sur la nature de la dépression de Charly-Millery.
- ▶ Etude hydrogéologique détaillée (avec mesures piézométriques et reconnaissances du substratum) sur le seuil des Barolles et la zone de résurgence des sources de la Mouche.

3.1.4 Révision du modèle conceptuel

Les éléments d'information présentés dans le cadre de cette étude amènent à reconsidérer deux éléments fondamentaux quant au comportement hydrogéologique de la nappe du Garon :

- ▶ Révision majeure sur la nature de la condition aux limites Nord-Est de la nappe : il nous semble que les éléments d'information recueillis soutiennent plus l'hypothèse d'une zone d'exutoire de la nappe profonde du Garon par les sources de la Mouche, que l'hypothèse d'une limite hydrogéologique sous le "seuil des Barolles". Cette nouvelle hypothèse est basée sur les travaux les plus récents sur les sources de la Mouche (BURGEAP, 2009) ; les données recueillies dans le cadre de cette étude, notamment les mesures de débit, apportent des arguments univoques sur le système hydrogéologique. Le caractère récent de ces apports explique la "nouveauité" de cette hypothèse qui va à l'encontre de la majorité des documents de synthèse consultés.
- ▶ Révision mineure sur l'impact quantitatif de la gravière qui se traduirait par une perte équivalent à 15 l/s en terme de débit fictif.

En ce qui concerne les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines, rappelons les éléments suivants :

- ▶ Les écoulements à surface libre et souterrain sont liés par le flux traversant le lit du cours d'eau.
- ▶ Pour évaluer le débit entre le cours d'eau et l'aquifère, il faut connaître les élévations respectives de la surface libre et de la nappe phréatique.

Trois situations sont possibles :

- a. Connexion entre les deux masses d'eau : la nappe alimente la rivière.
- b. Connexion entre les deux masses d'eau : la rivière alimente la nappe.
- c. Recharge de la nappe sans continuité hydraulique.

La figure ci-dessous illustre ces trois potentialités.

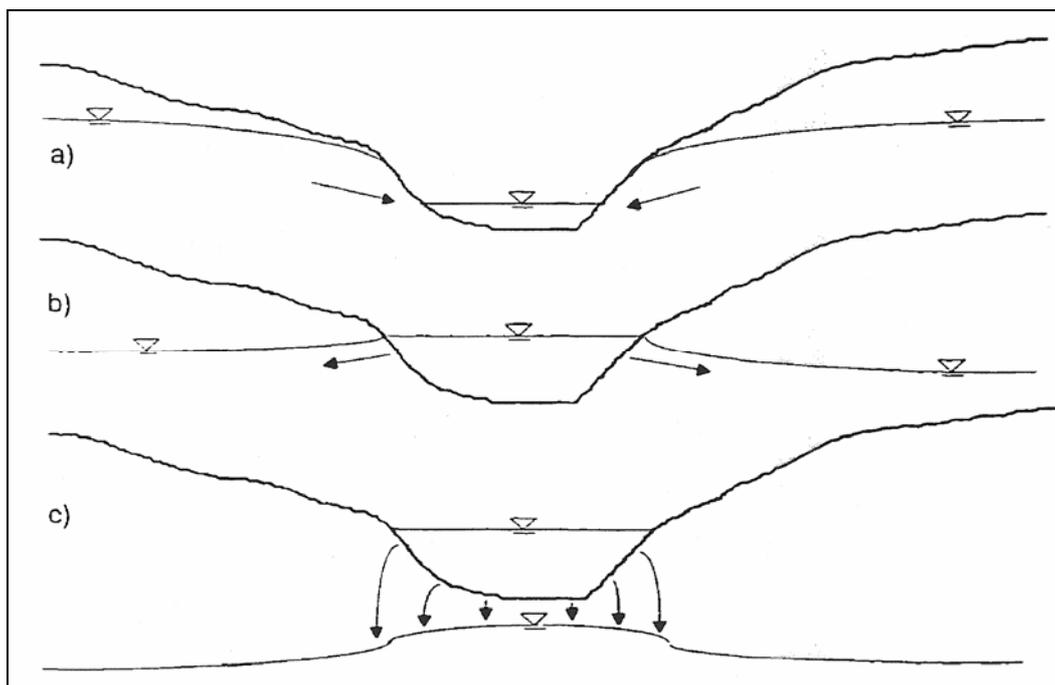
Le flux dépend :

- ▶ Dans le cas d'une connexion hydraulique, de la perméabilité du lit de la rivière et de la différence de charge hydraulique entre les deux systèmes. Plus cette dernière est forte, plus les échanges sont importants. Dans le cas d'un lit complètement imperméable, les échanges seraient ainsi nuls.
- ▶ Dans le cas de non continuité hydraulique des deux masses d'eau, le débit traversant le lit du cours d'eau dépend uniquement de la perméabilité des matériaux les moins perméables (dépôts de fond sur le lit ou horizons sédimentaires dans la zone non saturée) et de la hauteur d'eau dans le cours d'eau.

Dans la pratique, on observe souvent que certains biefs drainent l'aquifère et que d'autres le rechargent. Par ailleurs, un bief peut recharger l'aquifère lors de crue et le drainer lors des périodes d'étiage.

La nature des échanges varie donc dans le temps et dans l'espace.

Figure 24 : Relations possibles entre cours d'eau et nappe.



3.1.5 Implication sur la description des hydro systèmes :

Si l'on accepte les deux révisions proposées, on a alors un hydro système composé des éléments suivants :

- ▶ Une unité dite supérieure (amont du seuil des Mouilles). Elle est alimentée principalement par l'infiltration des eaux de pluie et l'infiltration des eaux du Garon (secondairement par les coteaux de bordure). Ses exutoires correspondent à la zone de résurgence des sources de la Mouche puis à des écoulements de nappe vers l'unité inférieure au droit du seuil des Mouilles. Dans cette unité, la nappe est profonde (présence d'une zone non saturée épaisse) ; la recharge de la nappe par infiltration des eaux superficielles se fait sans continuité hydraulique, au travers de nappes perchées plus ou moins étendues.
- ▶ Une unité dite inférieure (aval du seuil des Mouilles). Elle est alimentée par l'infiltration des eaux de pluie et les échanges avec le Garon, et, secondairement, par un apport d'eau souterraine en provenance de l'unité supérieure. Son exutoire naturel est la nappe de Rhône dans le secteur de Givors. Dans cette unité, la nappe est peu profonde et les échanges avec la nappe sont importants ; les relations avec entre le Garon et la nappe sont régies par les différences de charge entre les deux masses d'eau (continuité hydraulique).

Si l'on accepte cette description des hydro systèmes, les implications en terme de relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont les suivantes :

- ▶ Les prélèvements dans l'unité supérieure conduisent à diminuer les flux souterrains vers les sources de la Mouche et vers l'unité inférieure (absence d'interaction avec le Garon). Ce qui impliquerait que l'augmentation des prélèvements au delà de 3 Mm³ par an se traduirait principalement à la fois par une diminution de la piézométrie de la zone noyée mais aussi par une diminution importante des débits dans la zone d'exutoire des sources de la Mouche. L'impact sur le flux d'alimentation de l'unité inférieure dépend directement et de façon proportionnelle du gradient hydraulique au droit du seuil des Mouilles (perte de 15 m de charge sur quelques centaines de mètres) ; la diminution d'un mètre de charge dans l'unité supérieure implique donc une diminution de l'ordre de 5% du flux vers l'unité inférieure
- ▶ Les prélèvements dans l'unité inférieure peuvent être considérés comme des prélèvements directs dans le Garon en raison de la continuité hydraulique entre la rivière et la nappe. Cette hypothèse est proposée au vu de la forte perméabilité des alluvions et de la faible largeur de l'aquifère dans cette zone.

3.1.6 Implications pour un bilan de la nappe :

Si l'on accepte les révisions proposées, les éléments discutés ci-dessus amènent à reconsidérer complètement le bilan de la nappe à l'équilibre.

On aurait ainsi comme alimentations principales :

- ▶ Infiltration des eaux de pluie : de l'ordre de 130 l/s (ordre de grandeur à valider).
- ▶ Pertes du Garon : entre 100 et 150 l/s.
- ▶ Apports des coteaux : 20-30 l/s ?.

Et comme principales sorties :

- ▶ Prélèvements : 100 à 120 l/s (valeur limite en terme de perturbation piézométrique).
- ▶ Sortie sous alluviale vers le Rhône à Givors : environ 30 l/s.
- ▶ Evaporation de la nappe au droit des carrières : environ 15 l/s.
- ▶ Zones de résurgence des sources de la Mouche : de 50 à 100 l/s en fonction des conditions climatiques et des prélèvements dans la nappe (valeurs spéculatives suite à l'absence de mesures de débit sur les sources).
- ▶ Alimentation du Garon avant sa confluence avec le Rhône : de 0 à 100 l/s en fonction des conditions climatiques et des prélèvements dans la nappe (valeurs spéculatives suite à l'absence de mesures de débit du Garon au droit de Givors).

L'hypothèse de 50 à 100 l/s de débit fictif cumulé pour la zone de résurgence de la Mouche peut sembler surprenante. Rappelons que cette hypothèse de débit fictif représente un cumul des éléments suivants :

- ▶ Sources de la Mouche. La seule valeur proposée dans la littérature est de l'ordre de 50 l/s en avril 2009 (valeur que l'on peut juger basse car représentative d'une nappe déprimée au regard des données piézométriques de Vourles).
- ▶ Selon BURGEAP (2009), le secteur est caractérisé par des prélèvements industriels de l'ordre de 15 l/s (absence de prélèvements AEP ou agricoles).
- ▶ Echanges entre nappe fluvio-glaciaires du Garon et nappe superficielle quaternaire du Rhône. Dans ce secteur les dépôts quaternaires de la nappe d'accompagnement du Rhône correspondent à des alluvions fluviales anciennes d'âge wurmien (BURGEAP, 1966). On a donc une géométrie d'échange équivalente à celle de l'unité inférieure avec la nappe du Rhône ; rappelons que l'approche la plus approfondie (BURGEAP, 2008) a permis d'estimer un débit fictif d'échange entre les deux masses d'eau de l'ordre de 30 l/s.

Cette proposition de bilan sera amenée à évoluer en phase n°2 de l'étude ; l'application du modèle pluie-débit sur le bassin versant devrait permettre de mieux cerner les variables climatiques et donc les modalités de recharge de la nappe.

3.2 AVIS ARGUMENTE SUR LE MODELE BURGEAP

3.2.1 Validité du modèle :

Le modèle proposé correspond à un schéma conceptuel basé sur l'existence d'une limite hydrogéologique au droit du seuil des Barolles.

Même avec cette hypothèse, le modèle numérique peut être considéré comme potentiellement performant pour répondre aux interrogations posées par une étude de détermination des volumes prélevables :

- ▶ La géométrie de l'aquifère est correctement représentée.
- ▶ Les conditions aux limites (hormis celle relative au seuil des Barolles) sont cohérentes avec le schéma conceptuel.
- ▶ La distribution des perméabilités est cohérente avec les mesures réalisées.
- ▶ Les phases de calage et de validation peuvent être considérées comme effectives.

Notons toutefois que l'hypothèse concernant le seuil des Barolles n'est pas neutre. Elle oblige à minimiser les apports d'eau à la nappe : -25% pour les précipitations efficaces, - 40% pour les pertes du Garon.

Rappelons surtout l'absence de données utiles pour consolider la détermination des volumes prélevables par l'approche de modélisation : mesures de débit du Garon au droit de la confluence avec le Rhône (exutoire de l'unité inférieure) et chronologies des débits des sources de la Mouche (exutoire de l'unité supérieure). Elle conduit à un biais méthodologique certain : la non connaissance des valeurs limites en terme de débit à réserver aux exutoires des unités aquifères impliquera un "flou" dans la définition des indicateurs piézométrique de gestion des nappes. Leur définition sera nécessairement approximative.

3.2.2 Améliorations potentielles :

La problématique posée par la non prise en compte de la zone des sources de la Mouche comme exutoire potentiel de la nappe est la suivante :

- ▶ Cette non prise en compte dans le modèle BURGEAP implique t'elle nécessairement un biais par rapport à une détermination des volumes prélevables ?

C'est une question à laquelle il est difficile de répondre a priori.

On peut penser que la minoration des entrées dans la nappe revient à réserver un débit pour cette zone d'exutoire. Dit autrement, si la révision du modèle conceptuel de la nappe comme nous la proposons est essentielle dans la compréhension du fonctionnement global de la masse d'eau (recharge donc bilan, exutoire, relations avec les cours d'eau superficiels), il est fort probable que le fait de simuler une limite à flux nul sous le seuil des Barolles ait peu d'impact sur la capacité du modèle à déterminer les volumes prélevables (sous réserve d'une minoration des volumes de recharge).

Cependant, il est possible que pour des conditions climatiques différentes de celles observées durant la période de calage, des biais apparaissent (notamment en terme d'échanges entre masses d'eau) et fragilisent la signification des résultats.

Idéalement, sous réserve de la faisabilité pratique d'une telle option, il faudrait étendre le domaine modélisé jusqu'aux sources. Cependant, après vérification de la disponibilité des données disponibles auprès des organismes concernés, il apparaît un déficit important d'informations sur le secteur des sources de la Mouche (géométrie de l'aquifère, suivi piézométrique, données de prélèvements, chroniques de débit sur les sources...). Ce qui implique la difficulté d'étendre le domaine modélisé jusqu'aux sources. En effet cette solution d'apparence élégante ne pourrait pas reposer sur une quantité nécessaire de données utiles pour caler et valider le comportement de la nappe dans ce secteur. Une telle solution ne présenterait que l'illusion d'un gain de précision.

En conséquence, nous recommandons les modifications suivantes :

- ▶ Ad minima, étudier l'impact de cette condition aux limites sur le fonctionnement du modèle. Il serait bon de tester les impacts relatifs entre une condition aux limites de type flux nul et une condition aux limites de type limite à charge constante.
- ▶ Introduire un puits fictif au droit de la gravière avec un débit de prélèvement moyen de l'ordre de 15 l/s.

Puis, une fois ces modifications intégrées, recalculer le modèle si nécessaire puis réaliser une validation du modèle calé sur une nouvelle période allant de 2008 à 2009, avant de réaliser des simulations prévisionnelles utiles pour la définition d'indicateurs piézométriques de gestion de nappe.

4. REFERENCES DOCUMENTAIRES

Bonhomme B., 2004 - Ruisseau de la Mouche : synthèse des études géologiques et hydrogéologiques existantes auprès de l'ensemble des acteurs. rapport BRGM RP-53353-FR. 23 p.

BURGEAP, 1966 - Nappe alluvial de la vallée du Garon. Nappe alluviale du Rhône au voisinage de Givors. Pour le compte de la Direction Départementale de la construction du Rhône et la Direction Départementale de l'agriculture du Rhône. Rapport d'étude. 30 p. + annexes.

BURGEAP, 1967 - Les ressources en eau souterraine de la vallée du Garon, du méandre de Chasse et l'île du Grand Gravier. Résultats des travaux de reconnaissance et synthèse. Pour le compte de la Direction Départementale de l'Équipement du Rhône et la Direction Départementale de l'agriculture du Rhône. Rapport d'étude. 17 p. + annexes.

BURGEAP, 2007 - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 1 : collecte et analyse des données existantes. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 40 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 a - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 2 : Maîtrise d'œuvre relative à la réalisation des piézomètres et essais associés. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 13 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 b - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 3 : Acquisition de données complémentaires. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 66 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 c - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 4 : bilan et premiers diagnostics. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 34 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 d - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 5 : Modélisation des écoulements souterrains. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 41 p. + annexes.

BURGEAP, 2008 e - Etude détaillée de la nappe du Garon. Phase 5 : Simulations quantitatives et qualitatives sur la nappe du Garon. Rapport d'étude pour le compte du Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais. 45 p. + annexes.

BURGEAP, 2009 - Etude hydrogéologique sur le ruisseau de la Mouche (69). Rapport d'étude pour le compte de la Communauté Urbaine de Lyon. 22 p + cartes et annexes.

Chenevoy M., David L., De Montjamont M., 1969 – Notice explicative de la carte géologique au 1 : 50 000 de Givors. Document BRGM.

DIREN Rhône-Alpes, 1997 - Etude de la qualité des eaux du bassin versant du Garon. Investigations réalisées en 1997. Rapport d'étude, 39 p.

Jauffret D., 1999 - Etat des connaissances sur la nappe du Garon en vue d'évaluer son état et sa vulnérabilité vis à vis de la pollution par les nitrates. Rapport d'étude 22 p. + annexes.

Lamotte C., 2003 - Bilan diagnostique de la nappe alluviale du Garon. Rapport BRGM RP-52280-FR. 37 p. + annexes.

SMAGGA, 2008 - Contrat de rivière du Garon. Dossier sommaire de candidature. 107 p. +annexes.

SOGREAH, 1998 - Etude hydrologique, hydraulique et d'inondabilité. Rapport final. Contrat de rivière Garon. Rapport d'étude, 90 p. + annexes.

SRAE Rhône Alpes, 1981 - Contribution des services extérieurs du Ministère de l'Agriculture à la connaissance des ressources en eaux souterraines dans le département du Rhône. 69 p.



**ATTEINDRE
L'ÉQUILIBRE QUANTITATIF
EN AMÉLIORANT
LE PARTAGE
DE LA RESSOURCE EN EAU
ET EN ANTICIPANT
L'AVENIR**

ÉTUDES D'ESTIMATION DES VOLUMES PRÉLEVABLES GLOBAUX

Les études volumes prélevables visent à améliorer la connaissance des ressources en eau locale dans les territoires en déficit de ressource.

Elles doivent aboutir à la détermination d'un volume prélevable global sur chaque territoire. Ce dernier servira par la suite à un ajustement des autorisations de prélèvement dans les rivières ou nappes concernées, en conformité avec les ressources disponibles et sans perturber le fonctionnement des milieux naturels.

Ces études sont également la première étape pour la définition de plans de gestion de la ressource et des étiages, intégrant des règles de partage de l'eau et des actions de réduction des prélèvements.

Les études volumes prélevables constituent une déclinaison opérationnelle du SDAGE et répondent aux objectifs de l'Orientation fondamentale 7 « Atteindre l'équilibre quantitatif en améliorant le partage de la ressource en eau et en anticipant l'avenir ».

Elles sont menées par des bureaux d'études sur 70 territoires en déficit du bassin Rhône-Méditerranée.

Maître d'ouvrage :

Syndicat de Mise en valeur d'Aménagement et de Gestion du bassin versant du Garon

Financeurs :

Agence de l'eau
Rhône-Méditerranée & Corse

Bureau d'études :

BRL ingénierie