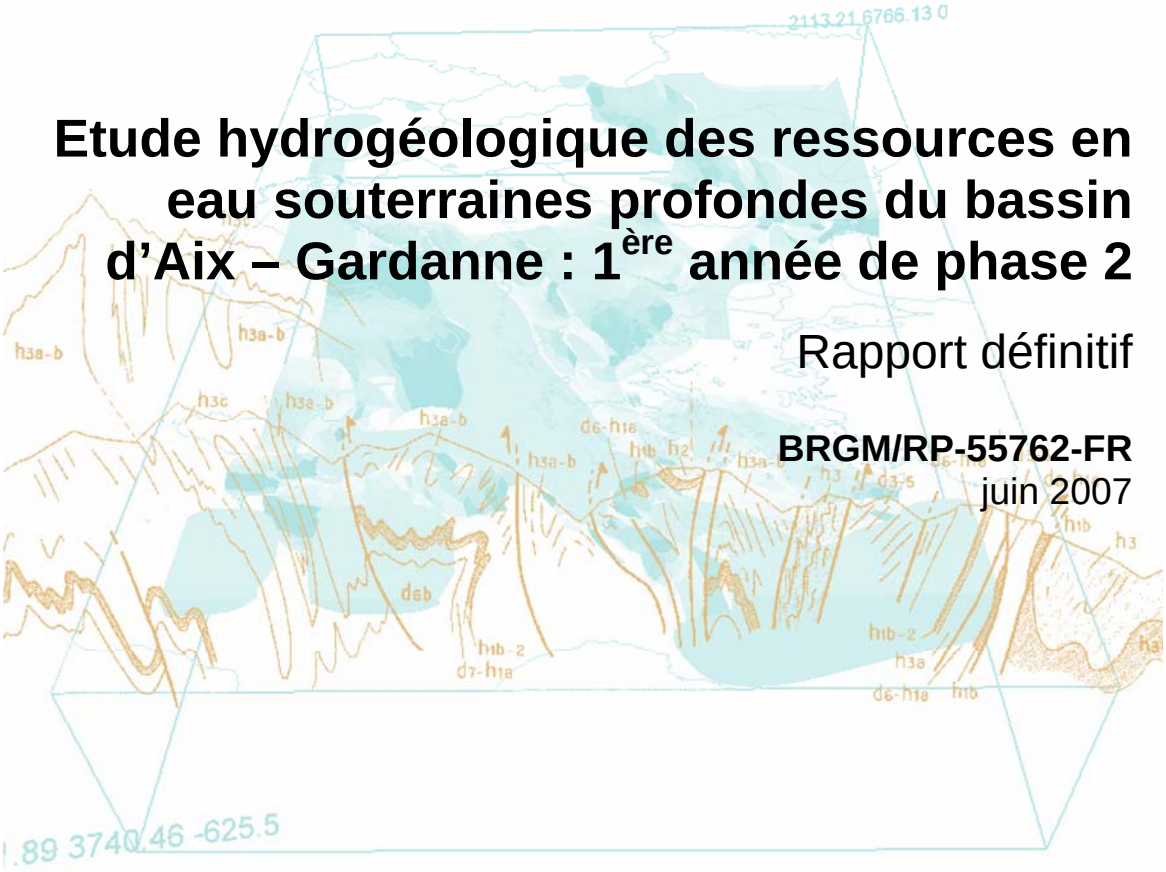


Document public

Etude hydrogéologique des ressources en eau souterraines profondes du bassin d'Aix – Gardanne : 1ère année de phase 2

Rapport définitif

BRGM/RP-55762-FR
juin 2007



Agence de l'Eau rhône méditerranée corse
CONSEIL GENERAL BOUCHES-DU-RHÔNE
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
DIRECTION RÉGIONALE DE L'ENVIRONNEMENT PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR
Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Etude hydrogéologique des ressources en eau souterraines profondes du bassin d'Aix – Gardanne : 1ère année de phase 2

Acquisition de données complémentaires résultats et premières interprétations

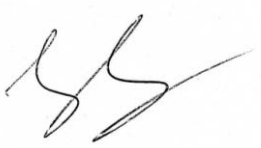
BRGM/RP-55762-FR
juin 2007

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM PSP05PAC08

M. Moulin – B. Ladouche
Avec la collaboration de
P. Dufour – J. Cubizolles

Vérificateur :	**Approbateur :**
Original signé par : D. Salquèbre	Original signé par : S. Solages
Date : 12 juin 2007	Date : 12 juin 2007





Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés :

Bassin Aix-Gardanne, Eléments trace, Fuvélien, Géologie, Hydrochimie, Hydrogéologie, Isotopes, Jurassique, Forage, Multicouches, Piézométrie, Strontium

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

Moulin M., Ladouche B., avec la collaboration de Cubizolles J. et de Dufour P. - Etude hydrogéologique des ressources en eau souterraines profondes du bassin d'Aix – Gardanne. Phase 2 : Acquisition de données complémentaires (1ère année) – résultats et interprétations. Rapport définitif BRGM/RP-55762-FR, 113 p., 17 ill., 2 ann.

© BRGM, 2007, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le Bassin d'Aix-Gardanne (ou Bassin de l'Arc) a été classé par le SDAGE RMC parmi "les aquifères karstiques à forte valeur patrimoniale" en préconisant que l'opportunité d'utiliser ces aquifères pour la diversification de la ressource et la sécurisation de l'alimentation soit étudiée. Le Comité Technique de l'Eau de la Région PACA a désigné lors de sa réunion de présentation de la politique régionale de l'Eau en Juin 1999 cet ensemble aquifère comme devant faire l'objet d'une démarche globale de connaissance, de protection, de gestion et de suivi en accord avec les préconisations du SDAGE.

C'est dans ce cadre qu'une étude est menée par le BRGM, en partenariat technique et financier avec le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, l'Agence de l'Eau RM&C et la DIREN PACA. Cette étude est destinée à estimer les potentialités des gisements d'eau souterraine au sein des formations carbonatées du Jurassique Supérieur et du Crétacé Moyen à Supérieur qui forment le cœur du synclinal constitutif de ce bassin.

Ce rapport présente les résultats et les premières interprétations recueillis à l'issue de la première année de la phase 2 de cette étude. Cette phase, prévue pour durer deux années, est destinée à acquérir et interpréter des données originales. Cela devra permettre d'apporter des réponses quant aux potentialités de la ressource en eau dans le bassin, et quant aux limites souterraines de ce bassin. Cette phase fait suite à une approche bibliographique du problème, qui a donné lieu à plusieurs rapports, dont le plus récent retrace la synthèse (BRGM/RP-53238-FR).

Le bassin de l'Arc, cuvette synclinale bien individualisée, peut ainsi être défini comme un aquifère multicouches, chaque couche correspondant à un réservoir individuel, plus ou moins bien isolé des autres. Son axe général, qui est orienté est / ouest, est limité au nord et au sud par des structures plissées et des chevauchements plus ou moins complexes.

Les aquifères les plus profonds sont donc ceux du Jurassique, qui constitue l'étage le plus bas de ce modèle de réservoirs empilés (séparés par des niveaux imperméables) à savoir (du haut vers le bas) :

- *Quaternaire & Tertiaire* : alluvions (Quaternaire), calcaires ou conglomérats (Tertiaire) ;
- *Rognacien* : calcaires, sables et grès, séparés par des niveaux argileux ;
- *Bégudien* : sables, grès et calcaires, séparés par des niveaux argileux ;
- *Fuvélien* : calcaires ;
- *Crétacé Supérieur (du Coniacien au Santonien)* : calcaires et calcarénites ;
- *Jurassique Supérieur (Argovien, Kimméridgien et Portlandien)* : calcaires.

Dans le cadre de la première année de la seconde phase de ce travail, et conformément au cahier des charges, les tâches suivantes ont été menées à bien :

- Mise en place et équipement du réseau d'acquisitions de données piézométriques (à partir de points existant et de points spécifiquement créés). Recueil et stockage des premières données ;
- Elaboration du réseau de suivi hydrochimique des divers aquifères du bassin ;
- Réalisation de la première campagne de prélèvements (en janvier 2006), dite de « hautes eaux » et d'analyses chimiques et isotopiques sur la base du réseau élaboré ;
- Premières interprétations et conclusions sur la connaissance et la caractérisation des différents réservoirs.

Les premières conclusions sont principalement issues de l'interprétation de la campagne hydrochimique de janvier 2006. Elles permettent de dégager les points suivants :

- Il se dégage une cohérence dans la piézométrie propre à chaque niveau suivi (Jurassique, Fuvélien et Bégudien), et des comportements différents sont d'ores et déjà visibles : influence des précipitations ponctuelles sur le niveau du Fuvélien, plus grande inertie des aquifères du Jurassique et du Bégudien.
- Les écoulements souterrains, même les plus profonds dans le bassin, sont le fait d'eau infiltrées récemment (activités en tritium toutes inférieures à 10 UT) ;
- Les eaux qui circulent dans le sous-sol n'ont pas subi d'évaporation au cours de leur cheminement, ce qui tend à montrer que la recharge des nappes se fait durant la saison hivernale ;
- Les eaux ont des compositions isotopiques montrant que les altitudes de recharge des nappes sont compatibles avec celles des reliefs entourant le bassin ;
- Les différentes familles d'eau sont clairement visibles par l'étude des isotopes du strontium : eaux circulant dans le Trias, le Jurassique allochtone, le Jurassique autochtone, le Fuvélien, le Bégudien, et même des eaux de mélange entre le Jurassique autochtone et des eaux plus minéralisées, d'origine probablement profonde et exogène au bassin (confirmé par de fortes teneurs en F, I et Ba). On peut en outre les classer en trois domaines (eaux de type bicarbonaté calcique, eaux de type chloruré et eaux de type sodique et potassique) ;
- Les mélanges entre aquifères sont confirmés et précisés. Ainsi, on sait depuis longtemps que les eaux issues du Jurassique participent à l'alimentation du puits de l'Arc (qui puise l'eau issue du Fuvélien). Une estimation, réalisée à partir d'un modèle théorique de mélange, sur la base des pôles disponibles, montre ainsi que la part revenant aux eaux du Jurassique est largement prépondérante.

Ces conclusions devront être étoffées et confrontées à celles tirées de la réalisation de la seconde année de la phase 2.

Sommaire

1. Cadre général de l'étude 7

1.1. PHASE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES DU BASSIN D'AIX-GARDANNE 7

1.2. PHASE 2 : ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES 8

2. Les travaux réalisés lors de la première année 9

2.1. ELABORATION ET MISE EN PLACE D'UN RESEAU PIEZOMETRIQUE 9
2.1.1. Les objectifs assignés au réseau 9
2.1.2. Actions prévues à entreprendre 10
2.1.3. Actions entreprises dans le cadre du réseau piézométrique 12
2.1.4. Implantation d'un piézomètre à Belcodène 16

2.2. ELABORATION ET MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE PRELEVEMENTS A DES FINS HYDROCHIMIQUES 19
2.2.1. Les objectifs assignés au réseau 19
2.2.2. Les actions entreprises dans le cadre du réseau « hydrochimie » 20

3. Les interprétations des premiers résultats 25

3.1. LES DONNEES PIEZOMETRIQUES 25

3.2. LES DONNEES HYDROCHIMIQUES (CAMPAGNE HAUTES EAUX) 27
3.2.1. Présentation des données et comparaison à la bibliographie 27
3.2.2. Informations apportées par les éléments en traces 30
3.2.3. Informations apportées par les isotopes du strontium 30
3.2.4. Informations tirées des isotopes de la molécule d'eau 35

4. Conclusion 39

5. Bibliographie 41

Liste des illustrations

Illustration 1 : Objectifs assignés au réseau piézométrique du bassin d'Aix-Gardanne. 11

Illustration 2 : Caractéristiques des points déjà existants du réseau de surveillance piézométrique dans le bassin d'Aix-Gardanne. 12

Illustration 3 : Carte géologique et structurale du bassin de l'Arc. 13

Illustration 4 : Caractéristiques et localisation du piézomètre de Trets – Kirbon (PBA06), qui atteint le Jurassique Supérieur. 14

Illustration 5 : Le réseau de suivi piézométrique dans le bassin d'Aix-Gardanne : état en décembre 2006. 15

Illustration 6 : Coupe tirée de la carte géologique à 1/50.000 n° 1021 (Aix-en-Provence). 16

Illustration 7 : Log prévisionnel du forage de Belcodène, censé atteindre le Jurassique Supérieur. 17

Illustration 8 : Localisation et log litholostratigraphique du forage 1021-7X-0223. 18

Illustration 9 : Carte du réseau de prélèvements chimiques dans le bassin d'Aix-Gardanne 21

Illustration 10 : Identification des points de prélèvements de la campagne « Hautes Eaux » (janvier – février 2006) sur le bassin d'Aix-Gardanne. 22

Illustration 11 : Résultats des analyses chimiques et isotopiques de la campagne de prélèvements des « Hautes Eaux » dans le bassin d'Aix-Gardanne (janvier – février 2006). 23

IIIlustration 12 : Evolution piézométrique entre mai 2006 et juin 2007 au sein des aquifères profonds du bassin d'Aix-Gardanne. 26

Illustration 13 : Diagrammes binaires permettant d'identifier des populations de points dans le bassin d'Aix (données bibliographiques et issues de la campagne janv - févr 2006). 29

Illustration 14 : Evolution des rapports isotopiques ($^{87}Sr/^{86}Sr$) des eaux du bassin d'Aix-Gardanne en fonction de l'inverse des teneurs en strontium. 32

Illustration 15 : Evolution des rapports isotopiques ($^{87}Sr/^{86}Sr$) des eaux en fonction du rapport SO4/Sr pondéré par les teneurs en chlorures. 34

Illustration 16 : Position des points du bassin d'Aix-Gardanne vis-àvis des droites mondiale et locale des précipitations. 37

Illustration 17 : Estimation des altitudes de recharge des eaux souterraines dans le bassin d'Aix-Gardanne. 38

Liste des annexes

Annexe 1 Fiches des stations piézométriques : 43

Annexe 2 Campagne de prélèvements des eaux du bassin d'Aix-Gardanne en janvier 2006 : bordereaux d'analyses du laboratoire du BRGM 87

1. Cadre général de l'étude

Par conventions signées avec le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, l'Agence de l'Eau RM&C et la DIREN PACA, le BRGM est chargé de dresser l'état des connaissances géologiques, structurales et hydrogéologiques du Bassin d'Aix Gardanne et de définir un programme d'acquisitions de données complémentaires.

En effet, du fait de l'intérêt suscité par cette ressource, conformément aux préconisations du SDAGE RMC, le Comité Technique de l'Eau de la région PACA a désigné en juin 1999 ce bassin comme devant faire l'objet d'une démarche globale de connaissance, de protection, de gestion et de suivi.

Cette étude, une fois achevée, devra pouvoir, par ses propositions, servir d'aide à la décision concernant les options de fermeture des houillères, la destination de l'eau aux divers usages, les mesures réglementaires de protection à envisager…

L'entité hydrogéologique concernée est identifiée dans le SDAGE RMC comme portant le n° 165 (code SANDRE BRGM). Il s'agit de l'ensemble dit "Crétacé et Jurassique du Bassin d'Aix", couvrant une superficie d'environ 250 km².

Les formations géologiques concernées englobent celles allant des alluvions actuelles de l'Arc jusqu'à celles du Jurassique inférieur. Parmi ces formations, certaines sont karstiques d'autre pas.

Deux phases d'étude ont été distinguées dans le cahier des charges :

1.1. PHASE 1 : ETAT DES CONNAISSANCES DU BASSIN D'AIX-GARDANNE

Il s'agissait d'une phase de rassemblement des données (hydro)géologiques disponibles existantes, auprès des organismes producteurs (BRGM, DIREN, Agence de l'Eau RMC, Conseil Général, MISE, SEM, SABA, SCP, HBCM[1] et communes concernées). Les données concernées étaient ponctuelles ou synthétiques et portaient sur les aspects hydrogéologiques, les usages de l'eau souterraine et les débits prélevés. Une base de données numériques a été créée pour y stocker ces informations et les consulter ultérieurement. Elle doit être remise aux partenaires à la fin de l'étude.

Une réinterpétation d'anciennes données géologiques, géophysiques, hydrochimiques y a été effectuée, de façon à prendre en compte les progrès des connaissances. Le rapport BRGM/RP-53238-FR a conclu la réalisation de ce travail.

[1] MISE : Mission Inter Service de l'Eau – SEM : Société des Eaux de Marseille – SABA : Syndicat d'Aménagement du Bassin Aix – SCP : Société du Canal de Provence – HBCM : Houillères du Bassin du Centre et du Midi.

Afin de compléter les informations acquises lors de la phase 1, il était prévu de réaliser cette phase d'investigations auprès de sources très variées (particuliers, foreurs, administrations, collectivités…). Grâce à cette phase de travail, des données complémentaires furent acquises, et intégrées à la base de données numériques décrite ci-dessus. La réalisation de ce travail a donné lieu à l'édition d'un rapport BRGM (BRGM/RP-53031-FR)

Après une première synthèse hydrogéologique de l'ensemble du bassin (moins développée que dans le présent rapport), les définitions technique et financière d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires ont été présentées dans un document : le rapport BRGM/RP-53239-FR. Parmi ces propositions, on peut citer :

- la définition de réseaux de suivi quantité et qualité,
- une proposition d'actions à mener dans les domaines de la géologie et de l'hydrogéologie, et plus spécifiquement pour mieux connaître le fonctionnement des karsts.

Enfin, la base de données numériques décrite précédemment, ainsi qu'un jeu de données cartographiques intégrées, élaborées avec le logiciel Mapinfo ®, et intégré à la base ont été réunis dans un Système d'Informations Géographiques, qui sera remis aux partenaires à l'issue de ce travail. Ce SIG a fait l'objet d'une notice, contenue dans le rapport BRGM/RP-53416-FR.

1.2. PHASE 2 : ACQUISITION DE DONNEES COMPLEMENTAIRES

Les moyens et techniques suivants doivent être mis en œuvre au cours de cette phase, prévue pour s'étendre sur deux années calendaires :

- Aspects hydrodynamiques : mise en place d'un réseau de suivi des ressources de l'aquifère (piézométrie, débits des émergences, évaluation des pertes et des apports par des mesures de débits différentiels) et des opérations de traçage des eaux souterraines ;
- Aspects hydrochimiques : caractérisation hydrochimique et isotopique des eaux souterraines aquifère par aquifère, incluant une datation de ces eaux ;
- Aspects géophysiques : interprétation de données retrouvées au cours de la première année, qui n'ont pu, faute de temps, être étudiées ;
- Aspects spécifiques à l'étude des karsts sous couverture : étude de la fracturation générale du bassin (méthode ERASO), reconstitution paléogéographique des karts profonds, établissement d'un bilan hydrologique.
- Etablissement d'un bilan de l'hydrosystème, comprenant une estimation des entrées, des sorties et des flux, ainsi qu'une tentative de détermination des confins du bassin d'alimentation des nappes.

Le présent rapport retrace les travaux effectué au cours de la première année de cette seconde phase, et contient les premières conclusions issues de l'interprétation de la première campagne hydrochimique, menée en janvier 2006.

2. Les travaux réalisés lors de la première année

2.1. ELABORATION ET MISE EN PLACE D'UN RESEAU PIEZOMETRIQUE

2.1.1. Les objectifs assignés au réseau

Si la structure et la géométrie des réservoirs aquifères profonds du bassin d'Aix-Gardanne sont mieux connus, il reste à en caractériser le fonctionnement hydrodynamique afin de dresser un premier bilan et d'estimer le potentiel exploitable de l'aquifère.

Il est notamment nécessaire d'appréhender :

- le renouvellement de la ressource,
- l'hydrodynamisme du système : sens d'écoulement des eaux, gradient hydraulique local, vitesse d'écoulement…,
- les connexions hydrauliques et communications entre réservoirs.

Afin d'approcher ce fonctionnement d'ensemble du bassin, divers moyens peuvent être mis en œuvre :

- des acquisitions de données piézométriques, permettant de définir :
  - o la piézométrie selon un axe E-W pour déterminer un gradient d'écoulement principal dans le bassin,
  - o la piézométrie des différents aquifères pour appréhender les communications entre réservoirs.

Parallèlement au suivi piézométrique, les actions suivantes sont souhaitables, voire nécessaires, pour appréhender le fonctionnement hydrodynamique de l'ensemble du bassin :

- l'étude par traitement du signal de la Galerie à la Mer et de quelques exutoires (sources de trop plein),
- le suivi de la remontée des eaux des mines de Gardanne,
- des traçages ciblés sur les zones aux limites où subsistent des incertitudes,
- des datations isotopiques.

Ces items feront l'objet de développement au cours de la seconde année de la phase 2.

2.1.2. Actions prévues à entreprendre

Deux actions étaient proposées, à mettre en place dès le lancement de l'étude :

- Création d'un réseau de suivi piézométrique atteignant le Jurassique (Illustration 1), avec création de 3 à 5 nouveaux points, venant renforcer les points existants : 10 points étaient en effet préselectionnés pour faire partie de ce réseau, moyennant la mise en place de matériel d'acquisition de mesures. La profondeur moyenne des points à créer était estimée à 80 m. Des pompages d'essai (essais de puits et essais de nappe) devaient être menés sur ces ouvrages.
- Equipement de l'amont et de l'aval de la galerie d'exhaure des eaux de la Grande Mine. En effet, les eaux issues des exploitations minières seront prochainement pompées à débit constant et acheminées en mer via une canalisation qui utilisera la voie de la galerie à la mer. Dans l'attente de cette installation les eaux remontant dans les anciennes exploitations s'écoulent de façon gravitaire dans la galerie (eaux issues actuellement du niveau appelé "petite mine").

Aussi, pouvait-on envisager d'équiper en amont et en aval la galerie pour obtenir des informations sur :

- le drainage des calcaires du Crétacé de l'Etoile par une comparaison pluies/débits en sortie et entrée de la galerie moyennant l'aménagement d'un seuil au niveau de l'exhaure en mer ;
- un suivi du niveau piézométrique de la nappe du Fuvélien minier au niveau du puits Gérard par déconvolution du signal lorsque le pompage à débit constant sera mis en place par les HBCM.

Ce second point n'a pas été réalisé, en concertation avec le Comité de Pilotage du projet.

En effet, d'une part, les travaux de pose de la canalisation dans la Galerie n'a pas permis la mise en place de l'appareillage de surveillance. D'autre part, une partie de la galerie de mine, en amont de la Galerie à la Mer est désormais interdite d'accès, ce qui oblitère fortement l'acquisition de données en amont.

Enfin, il apparaît que les eaux drainées par la Galerie à la Mer proviennent toutes du massif de l'Etoile sus-jacent, ce qui est de peu d'intérêt pour la connaissance des eaux issues du Jurassique autochtone du centre du bassin.

Le Comité de Pilotage a jugé préférable de ne pas mener cette tâche à bien, pour reporter les efforts sur la création de points de suivi entrant le plus possible dans les formations du jurassique autochtone.

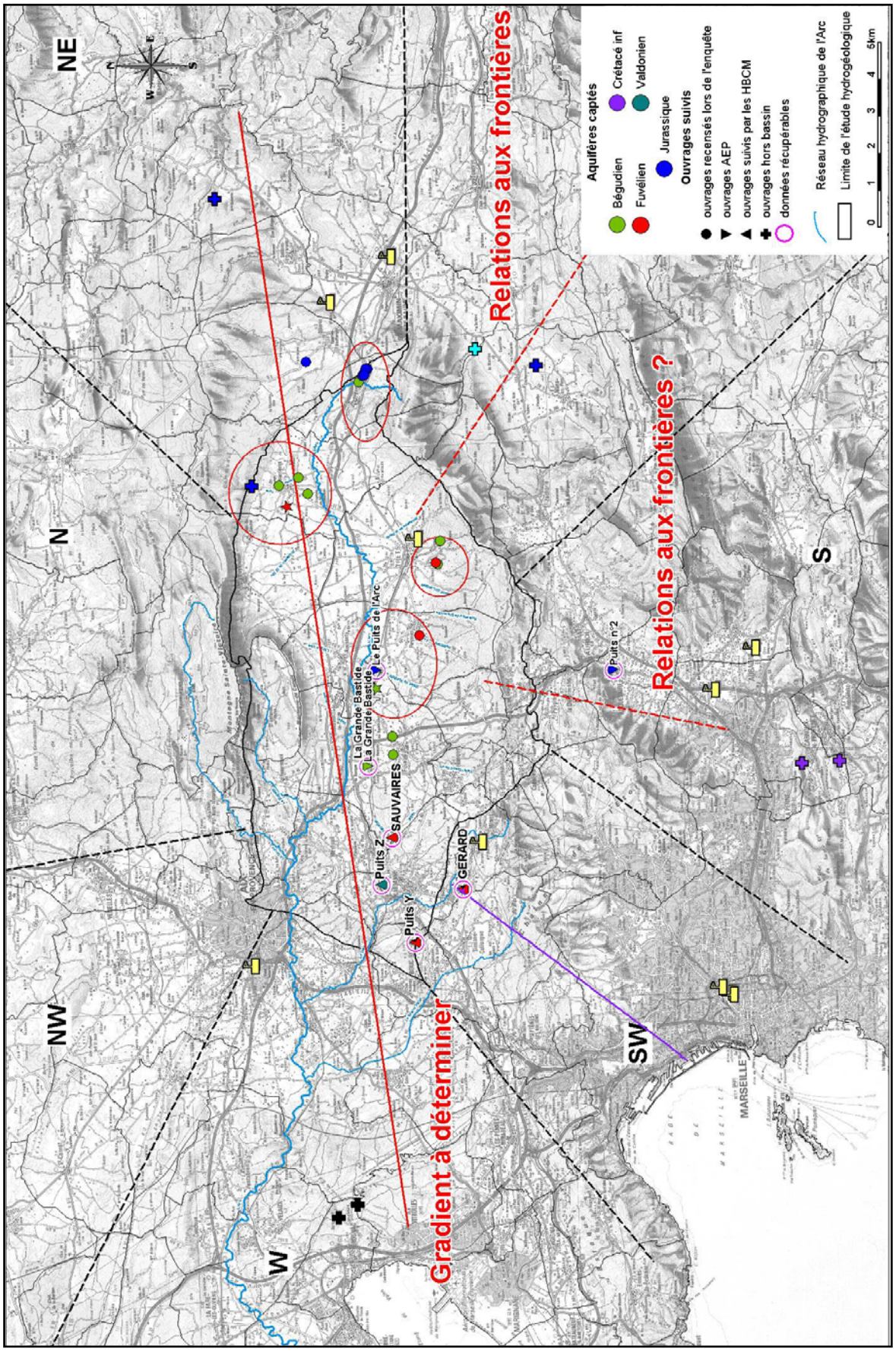


Illustration 1 : Objectifs assignés au réseau piézométrique du bassin d'Aix-Gardanne.

2.1.3. Actions entreprises dans le cadre du réseau piézométrique

Une sélection des points par aquifère a été réalisée, en se fixant comme objectif de placer au moins un piézomètre dans chacun des trois systèmes aquifères qui intéressent cette étude : le Jurassique, le Fuvélien et le Bégudien, afin d'observer les possibles corrélations entre ces derniers.

Les bordures du synclinal du bassin de l'Arc sont favorables à la réalisation de cet objectif, car des points existants captent des réservoirs superposés à relativement faible profondeur (Illustration 3).

Cela a conduit à la mise en place lors du premier trimestre 2006 de points de suivi à partir de puits ou forages existants (repérage des points, contacts avec les propriétaires, conventions d'usage passés entre les propriétaires et le BRGM, installation des appareils de mesure et de télétransmission).

Un point a été implanté sur la commune de Trets, dans le hameau de Kirbon, qui a atteint le Jurassique Supérieur, avec un niveau d'eau à la profondeur 150 m. Ce point est équipé depuis quelques semaines et permettra le suivi du Jurassique sur 2 points, sachant que le point implanté à Belcodène s'est avéré infructueux (voir § 2.1.4).

Les caractéristiques de ce point sont présentées dans l'Illustration 4.

L'installation de ces points a permis l'acquisition de données et leur stockage dans une base de données dédiée à cet effet, à compter de mai 2006.

Le tableau de l'Illustration 2 ci-dessous résume les caractéristiques des huit points du réseau :

Identifiant réseau	PBA01	PBA02	PBA03	PBA04
Num BSS	10213X0188/BA01	10216X0252/BA02	10218X0220/BA03	10214X0187/BA04
Cote au sol	392 m	285 m	295 m	340 m
Niveau piézo (/rep)	-0.7 m (en mars)	-49 m (en avril)	-50 m (en mars)	-4,12 m (en février)
Aquifère	Bégudien	Fuvélien	Bégudien	Fuvélien
Commune	Puyloubier	Fuveau	Trets	Pourrières
Type	Forage	Forage	Forage	Puits
Profondeur	30 m	80 m	55 m	7 m
Diamètre	110 mm	110 mm	110 mm	1,50 m
Gamme de mesures	0-20 m	0-20 m	0-20 m	0-20 m
Longueur de câble	20 m	40 m	55 m	8 m

Identifiant réseau	PBA05	PBA06	PBA07	PBA08
Num BSS	10225X0008/P	10217X0223/BA6	10218X0195	10212X0029/P1
Cote au sol	383 m	420 m	278 m	214,50 m
Niveau piézo (/rep)	-175 m (en octobre)	-125 m (en mai)	-13,5 m (en février)	-3,28 m (en juillet)
Aquifère	Jurassique	Jurassique	Fuvélien	Bégudien
Commune	Pourcieux	Trets	Trets	Fuveau
Type	Forage	Forage	Forage	Puits
Profondeur	215 m	150 m	60 m	7,50 m
Diamètre	110 mm	110 mm	110 mm	9 m
Gamme de mesures	0-50 m	0-20 m	0-20 m	0-10 m
Longueur de câble	200 m	135 m	55 m	7,2 m

Illustration 2 : Caractéristiques des huit points - déjà existants ou créés - appartenant au réseau de surveillance piézométrique dans le bassin d'Aix-Gardanne.

La carte de l'Illustration 5 permet de visualiser l'implantation de ces points.

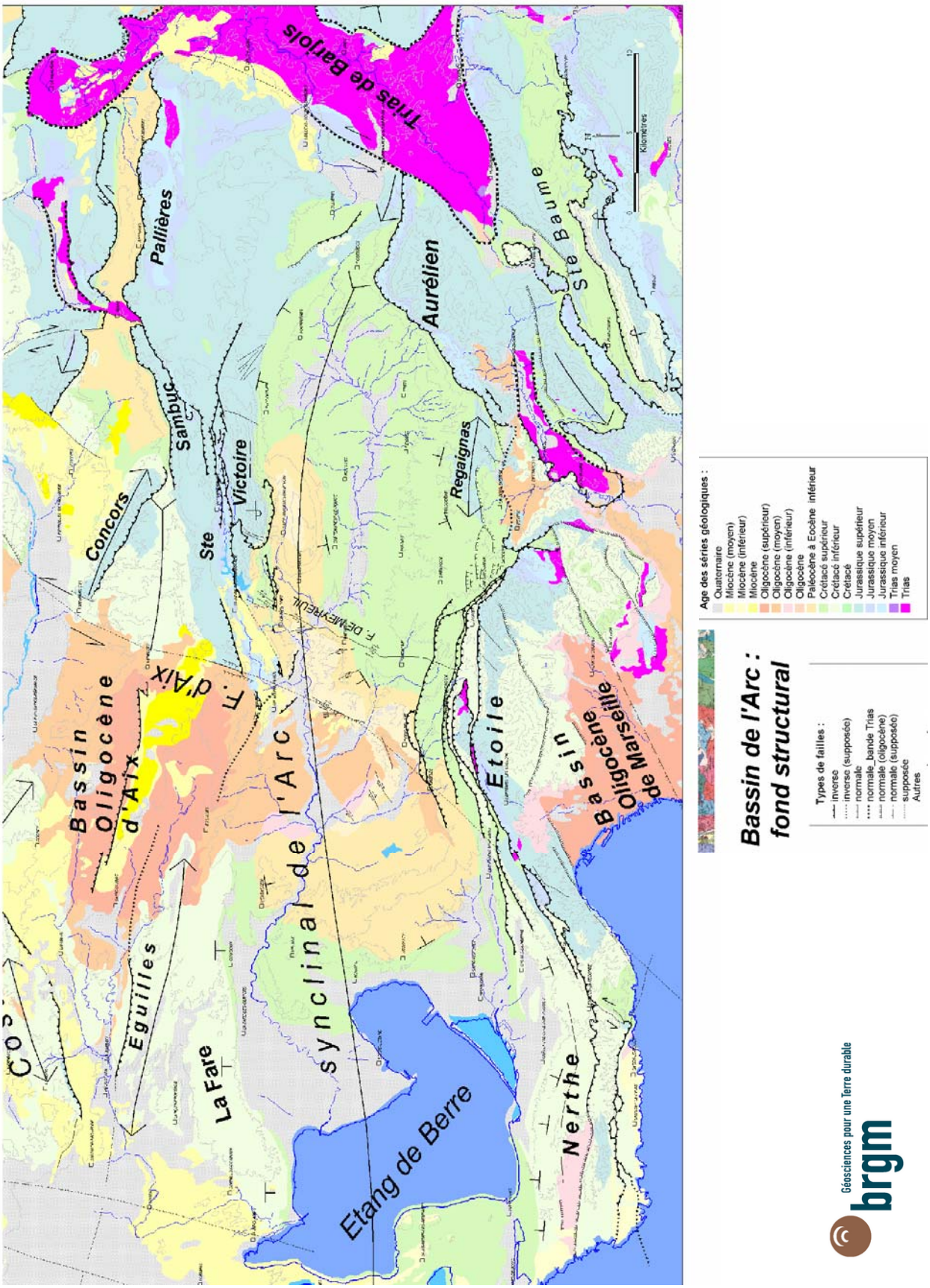
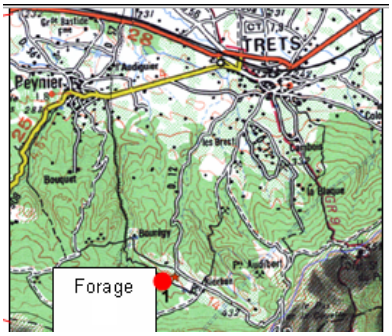
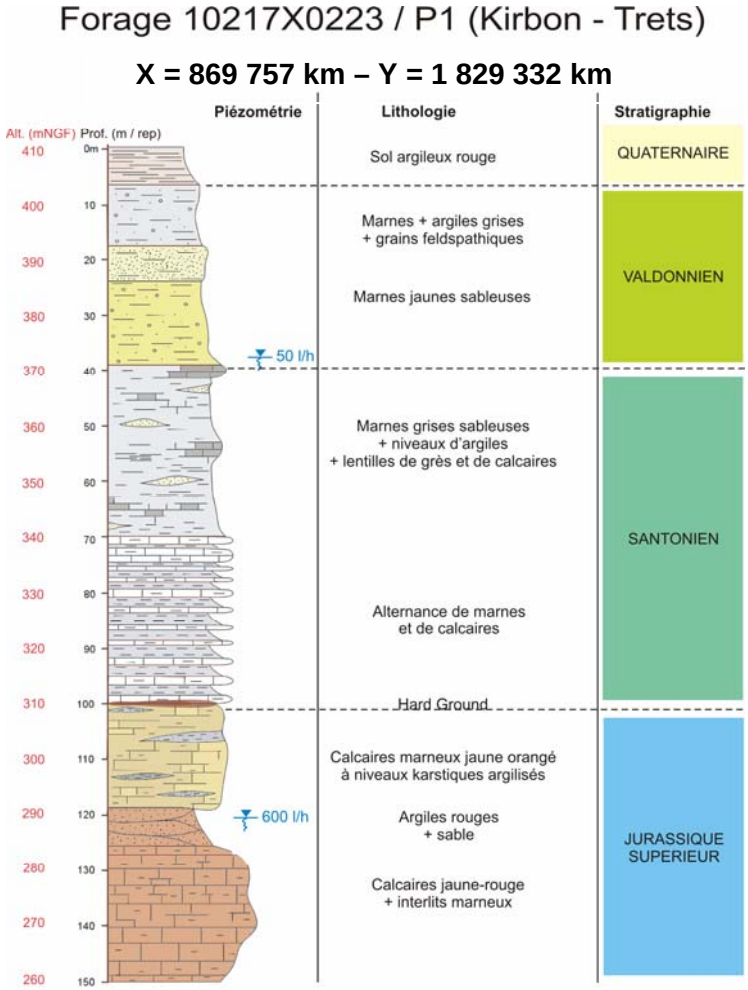


Illustration 3 : Carte géologique et structurale du bassin de l'Arc.





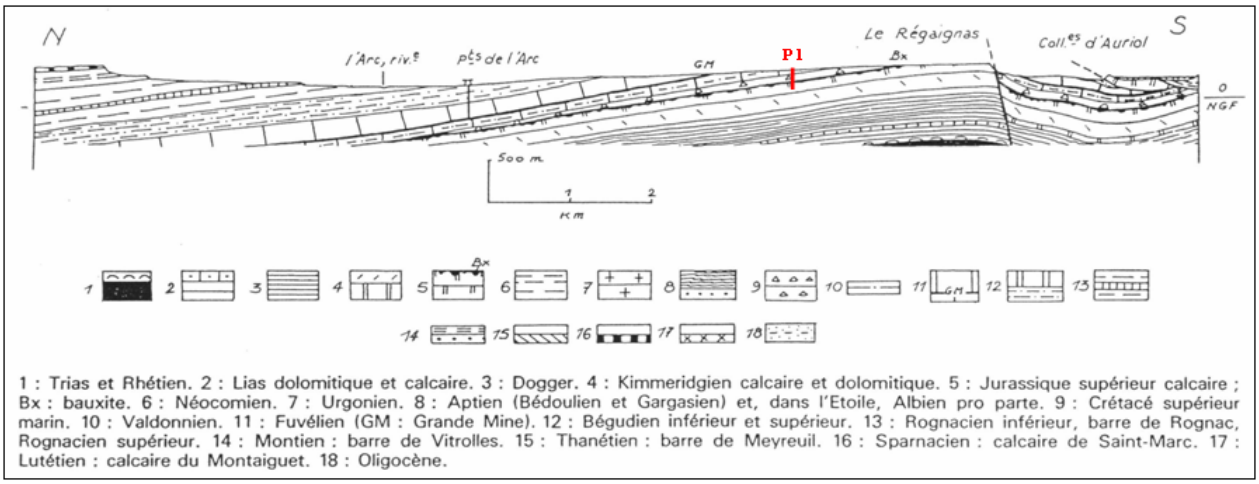


Illustration 4 : Caractéristiques et localisation du piézomètre de Trets – Kirbon (PBA06), qui atteint le Jurassique Supérieur.

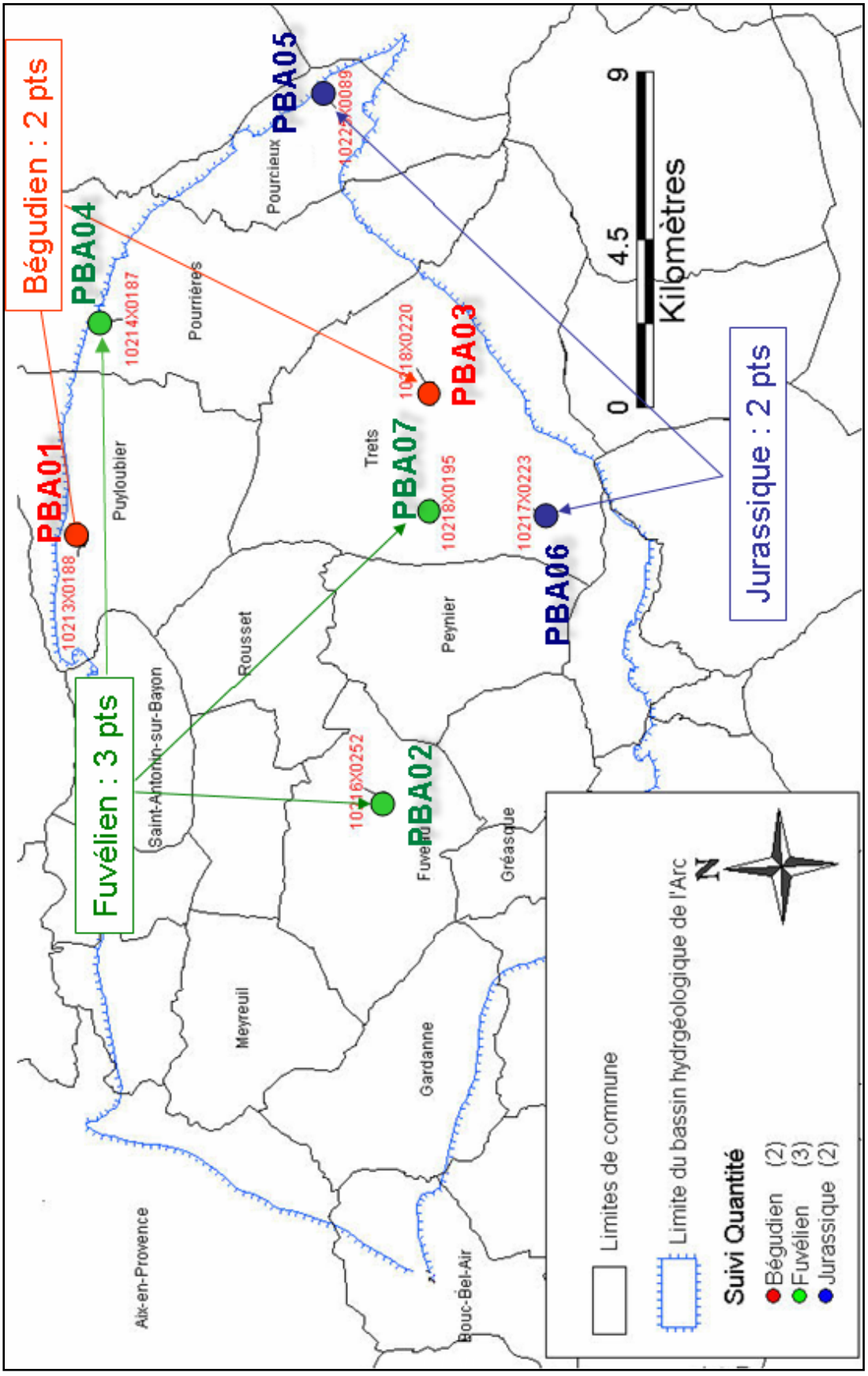


Illustration 5 : *Le réseau de suivi piézométrique dans le bassin d'Aix-Gardanne : état en décembre 2006.*

2.1.4. Implantation d'un piézomètre à Belcodène

Il avait été décidé d'implanter un point de suivi supplémentaire atteignant le Jurassique Supérieur, en aval du point de Trets – Kirbon, de façon à disposer d'un groupe cohérent de points vis-à-vis de ce qu'on suppose des écoulements au sein des calcaires.

Dans la même idée que ce qui avait été fait à Trets – Kirbon, un forage a été créé sur la commune de Belcodène, au lieu-dit « la Galère », à une cote NGF de 330 m, soit 110 m plus bas que le forage de Trets – Kirbon (Illustration 8). Il a été référencé en BSS sous le numéro national 10217X0224 / P2.

Le log attendu, compte tenu de celui du forage de Trets – Kirbon, et des documents en notre possession (coupes géologiques des HBCM et des études précédentes) était la suivante (Illustration 6 et Illustration 7).

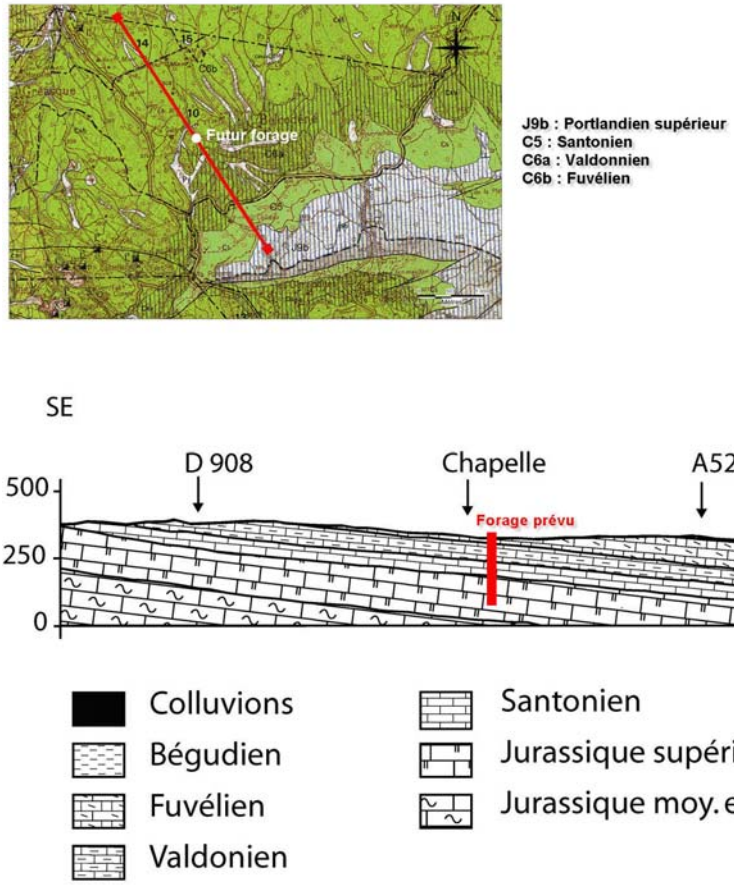
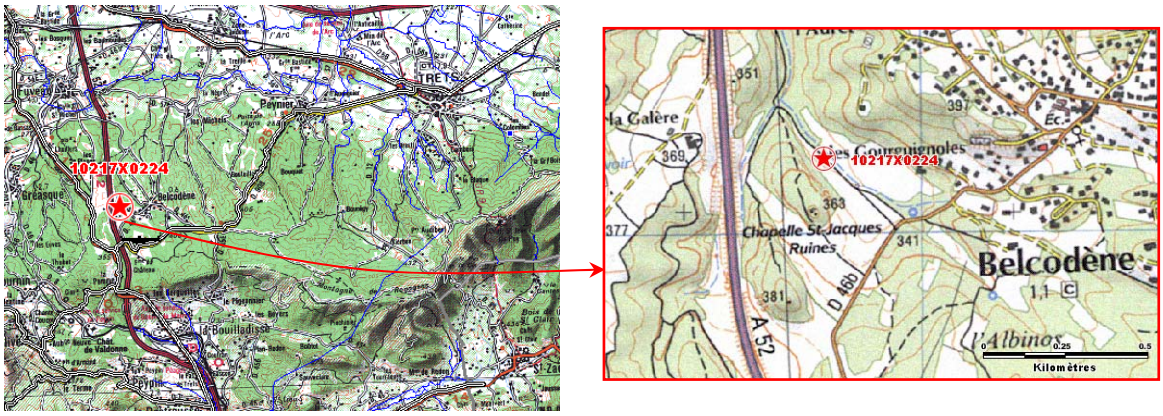


Illustration 6 : Coupe tirée de la carte géologique à 1/50.000 n° 1021 (Aix-en-Provence).

Log prévisionnel - forage de Belcodène - juin 2007

				0 m
C 6b	**Fuvélien**		Calcaires gris à characés, parfois argileux, en plaquettes ou gros bancs (utilisés comme pierre à ciment)	
				- 25 m
C 6a	***Valdonnien***		Alternance de bancs calcaires à characées ; marnes grises ou blanches (+ pisolithes) ; argiles rouges + lentilles de grés à la base de la formation	
				- 100 m
C 5	***Santonien***		Argiles + lentilles de grés ; quelques bancs calcaires ; base calcaire en contact avec le Portlandien	
				- 150 m
J 9b	***Portlandien supérieur***		Hard Ground	
			Calcarénite blanche à pâte fine + lits noduleux de grumeaux noirs	
				-200 m

Illustration 7 : Log prévisionnel du forage de Belcodène, censé atteindre le Jurassique Supérieur.



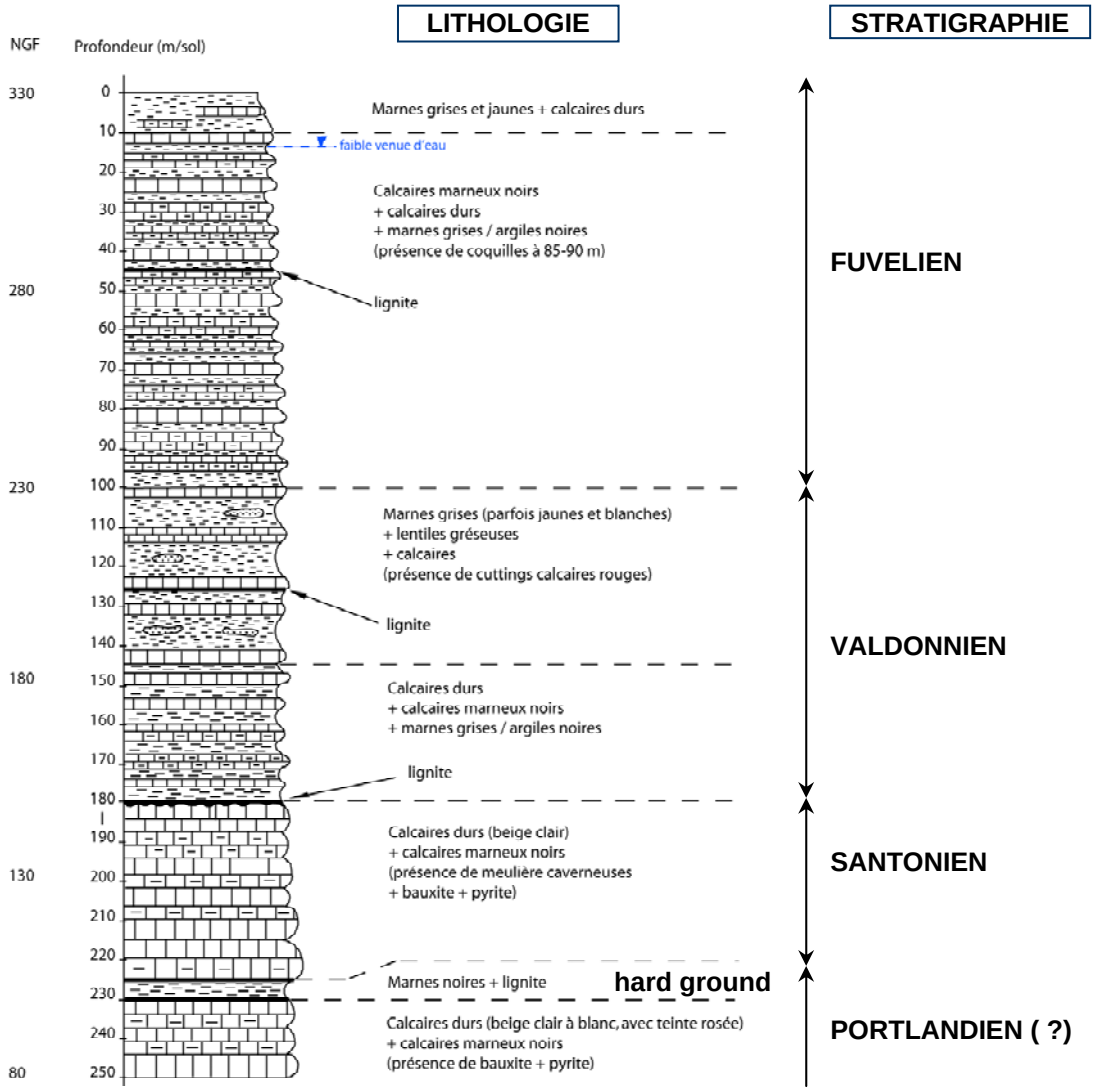


Illustration 8 : Localisation et log litholostratigraphique du forage 1021-7X-0223.

Or, aucune venue n'a été rencontrée au cours de la foration, qui, au bout de 250 m n'avait toujours pas atteint le toit du Jurassique. La présence de lignite à 230 m de profondeur atteste de la présence de Fuvélien, à une profondeur inattendue. Le mur de cette formation n'est pas atteint à la cote +80 m NGF.

La comparaison des logs issus du forage de Trets – Kirbon et de celui de Belcodène montre en effet une discontinuité dans les séries, pourtant réputées extrêmement régulières.

Deux hypothèses peuvent expliquer ce décalage :

- soit un épaississement important du Fuvélien, ce qui contredit les observations faites jusqu'à présent, indiquant une grande régularité et conformité des couches de calcaire du Fuvélien ;

- soit un accident, de type effondrement, qui aurait pour effet de mettre en contact le Fuvélien du secteur de Belcodène avec des séries plus récentes du bassin.

Ces points ne sont pas complètement éclaircis, mais des observations portées dans le rapport de synthèse BRGM-RP-53238-FR, rédigé lors de la première phase, conforteraient cette hypothèse.

La présence de cette discontinuité se traduit par la mise en contact des calcaires avec les formations relativement imperméables du Valdonnien, et celles du Fuvélien, plus perméables. Cela engendre probablement la présence d'une barrière susceptible de modifier les sens des écoulements et les charges hydrauliques.

Des traceurs, injectés en période de hautes eaux par les HBCM au sein d'anciennes carrières situées en bordure ouest de l'autoroute A52, ont été retrouvés quelques jours plus tard dans le puits de l'Arc (Monteau R., communication orale), ce qui semble confirmer l'interprétation ci-dessus.

2.2. ELABORATION ET MISE EN PLACE D'UN RESEAU DE PRELEVEMENTS A DES FINS HYDROCHIMIQUES

2.2.1. Les objectifs assignés au réseau

L'idée qui présidait à la mise en place de ce réseau de surveillance était d'acquérir des informations sur chaque niveau aquifère, de façon à disposer des pôles hydrochimiques les plus « purs ». D'autre part, il s'agissait de repérer les secteurs où des mélanges et des communications entre aquifères seraient visibles d'un point de vue hydrochimique.

Deux campagnes de prélèvements d'eau, destinées à réaliser des analyses chimiques et isotopiques doivent qualifier les situations de « hautes eaux » (fin du printemps).

En s'appuyant sur l'expérience tirée de l'étude bibliographique de la phase I, il convenait donc de choisir des points de prélèvements répartis dans et autour de la zone d'étude, dont les eaux seraient issues de chaque niveau intéressant, à savoir :

- Le Jurassique Supérieur ;
- Le Fuvélien ;

- Le Bégudien ;
- Le Rognacien ;
- Les aquifères du Tertiaire ;
- Les aquifères du Quaternaire ;
- Les eaux de surface.

} Au moins pour la première campagne de prélèvements

2.2.2. Les actions entreprises dans le cadre du réseau « hydrochimie »

La carte de l'Illustration 9 permet de visualiser le réseau de prélèvements hydrochimiques.

La campagne dite de « Hautes Eaux » a été menée sur 25 points de prélèvement, entre le 31/01 et le 07/02/2006. Le tableau de l'Illustration 10 résume les caractéristiques des points, et ceux de l'Illustration 11 les résultats des analyses chimiques qui ont été réalisés sur les prélèvements.

La physico-chimie et la chimie « classique » ont en effet fait l'objet d'analyses sur les 25 points de prélèvement. Les isotopes de la molécule d'eau (^{2}H, ^{18}O et ^{3}H) et du Strontium (mesure du rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$) ont été analysés sur 13 points, choisis d'après les résultats de la chimie classique, pour leurs teneurs en Sr notamment, mais aussi pour leur position dans le bassin.

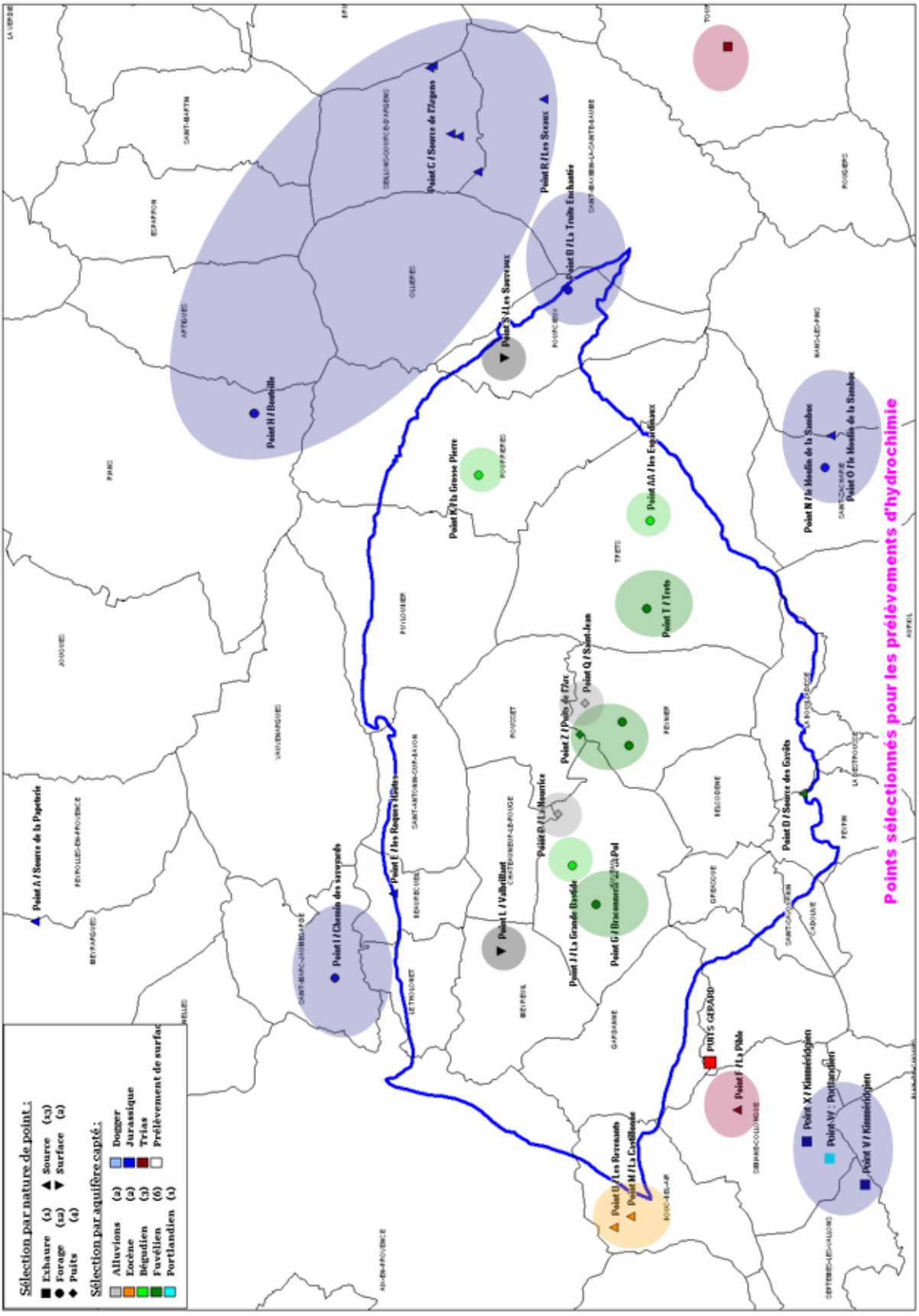


Illustration 9 : Carte du réseau de prélèvements chimiques dans le bassin d'Aix-Gardanne

Index et nom du point	Date prélèvement	Type de point	Lithologie	Stratigraphie	Altitude m)
A-Source de la papeterie	31/01/2006	Emergence	Calcaires	Jurassique	215
B-Pourcieux	01/02/2006	Forage	Calcaires	Jurassique	270
C-Source de l'Argens	01/02/2006	Emergence	Calcaires	Jurassique	285
D-Source des Gavôts	01/02/2006	Emergence	Marno-calcaires	Fuvélien	229
E-Les roques hautes	31/01/2006	Emergence	Brèche calcaire	Fuvélien	265
F-La Pible	30/01/2006	Emergence	Calcaires	Rognacien	298
G-Fuveau	30/01/2006	Forage	Calcaires marneux	Fuvélien	272
H-Bouteille	31/01/2006	Forage	Calcaires	Jurassique	425
I-Chemin des savoyards	31/01/2006	Puits	Calcaires	Jurassique	375
J-La Grande Bastide	01/02/2006	Forage	Calcaires gréseux	Bégudien	210
K-Rebrond	31/01/2006	Forage	Calcaires	Bégudien	263
L-Arc Aval	02/02/2006	Eau de surface	--	--	285
M.Bouc (Sce Castillonne)	31/01/2006	Emergence	Calcaires	Eocène	177
N-Moulin de Sambuc	02/02/2006	Emergence	Calcaires	Jurassique	290
O-Sce de Sambuc	02/02/2006	Emergence	Calcaires	Jurassique	305
P-La Nourrice	01/02/2006	Puits	Alluvions	Quaternaire	200
Q-St Jean	31/01/2006	Puits	Alluvions	Quaternaire	220
R-Sceaux	02/02/2006	Emergence	Calcaires	Jurassique	278
S-Arc amont	02/02/2006	Eau de surface	--	Fuvélien	321
T-Trets Les Vaux	06/02/2006	Forage	Calcaires marneux	Fuvélien	278
U-Bouc	30/01/2006	Puits	Argiles et poudingues	Oligocène	188
V-Galerie PM:7.2	07/02/2006	Galerie	Calcaires	Jurassique	9
W-Galerie PM:8.9	08/02/2006	Galerie	Calcaires	Jurassique	11
X-Galerie PM:9.9	09/02/2006	Galerie	Calcaires	Jurassique	13
Z-Puits de l'Arc	01/02/2006	Puits	Calcaires	Fuvélien	220

Illustration 10 : Identification des points de prélèvements de la campagne « Hautes Eaux » (janvier – février 2006) sur le bassin d'Aix-Gardanne.

	°Al (Aluminium)	°Ba (Baryum)	°Ca (Calcium)	°Cl (Chlorures)	°F (Fluorures)	°Fe (Fer)	°K (Potassium)	°Li (Lithium)	°Mg (Magnésium)	°NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	°NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	°NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	°Na (Sodium)	°PH (pH)	°PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	°SO4 (Sulfates)	°SiO2 (Silice)	°TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	Bore	Brome	CO3 (Carbonates)	HCO3 (Bicarbonates)	Iode	Strontium
	10	5	0.5	0.5	0.1	0.02	0.5	10	0.5	0.1	0.01	0.5	0.5	3	0.1	0.5	0.5		1	0.1	5	5	2	1
	µg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	U	mg/l	mg/l	mg/l	meq	µg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l
A-Source de la papeterie 31/01/2006	< LQ	16	102.2	9.6	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	13.9	< LQ	0.01	2.5	4.9	8.1	< LQ	13.1	6.9	6.13	10.8	< LQ	< LQ	374	< LQ	273
B-Pourcieux 01/02/2006	< LQ	114	116.3	25.6	0.2	< LQ	0.6	< LQ	13	< LQ	< LQ	2.7	13	7.35	< LQ	33	6.7	6.04	17	< LQ	< LQ	369	11	227
C-Source de l'Argens 01/02/2006	< LQ	9	128.7	7.7	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6.6	< LQ	0.01	2.7	3.1	7.95	< LQ	11.1	5.2	6.81	8.5	< LQ	< LQ	415	< LQ	121
D-Source des Gavôts 01/02/2006	< LQ	43	243	53.9	0.3	< LQ	9.7	18	30.5	< LQ	0.03	14.3	26.4	8.15	0.5	305	17.5	6.86	282	< LQ	< LQ	419	6	1812
E-Les roques hautes 31/01/2006	< LQ	17	99.6	13.9	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	6.8	< LQ	< LQ	2	6.8	8.2	< LQ	17	4.9	5.24	11.7	< LQ	< LQ	319	2	147
F-La Pible 30/01/2006	< LQ	60	253.5	38.2	0.2	< LQ	2.3	28	32	< LQ	0.01	15.9	16.7	7.7	< LQ	356	18.9	6.73	119	0.3	< LQ	411	4	2921
G-Fuveaux 30/01/2006	< LQ	114	160.8	32.5	0.2	< LQ	0.8	< LQ	20.6	< LQ	< LQ	15.2	13.3	8.05	< LQ	98.8	9.1	6.8	71.6	< LQ	< LQ	415	5	819
H-Bouteille 31/01/2006	< LQ	5	71.3	6	0.3	3.06	0.9	< LQ	11.9	0.1	< LQ	< LQ	3.5	8.1	< LQ	< LQ	2.4	4.89	10.1	< LQ	< LQ	298	33	245
I-Chemin des savoyards 31/01/2006	< LQ	27	149.8	77.4	0.2	0.1	0.9	< LQ	5.9	< LQ	< LQ	1.1	28.1	7.85	< LQ	99.7	8.6	4.84	50.1	< LQ	< LQ	296	6	395
J-La Grande Bastide 01/02/2006	< LQ	136	163.9	50.7	0.2	< LQ	1	11	19.5	< LQ	< LQ	27.9	23.1	7.75	< LQ	117.1	9.5	6.3	166	0.5	< LQ	384	8	691
Rebrond 31/01/2006	< LQ	22	13.1	86.7	2.7	< LQ	2	41	8.1	0.2	0.03	1.2	207.1	8.4	< LQ	87.9	9	6.24	208	0.3	< LQ	381	163	442
L-Arc Aval 02/02/2006	< LQ	64	154.2	47.3	0.2	< LQ	3.3	12	18.9	0.5	0.12	21.8	22.7	8.45	0.3	129.5	7.5	5.68	53.6	0.2	< LQ	346	16	535
M.Bouc 2_31/01/2006	1258	6	10.5	33	4.9	< LQ	0.6	< LQ	0.9	< LQ	0.05	2.1	338.7	9.75	0.2	208.4	2.2	9.76	171	0.2	124	344	970	47
N-M.Sambuc 02/02/2006	< LQ	11	79.3	12.4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	12.3	< LQ	0.01	2.3	5.8	8	< LQ	15	4	4.82	6.4	< LQ	< LQ	294	77	92
O-S.Sambuc 02/02/2006	< LQ	13	100.3	10	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	17.1	< LQ	0.01	1.8	4	7.85	< LQ	15.6	4.5	6.25	6.5	< LQ	< LQ	381	< LQ	84
P-La Nourrice 01/02/2006	< LQ	109	186.6	68.4	0.2	< LQ	0.6	13	38.2	< LQ	0.01	149.5	23.6	7.55	< LQ	131.9	9.2	6.27	73.3	0.2	< LQ	382	7	1850
Q-St Jean 31/01/2006	12	50	110.4	25.3	0.5	< LQ	10.8	15	13.9	< LQ	0.03	9.2	15.6	8	0.7	50.9	13.3	5.55	210	< LQ	< LQ	339	3	504
R-Sceaux 02/02/2006	< LQ	27	109.2	19	< LQ	< LQ	1.5	< LQ	19.1	< LQ	< LQ	14.3	7.8	7.85	< LQ	23.3	7	6.39	16.7	< LQ	< LQ	390	< LQ	176
S-Arc amont 02/02/2006	< LQ	57	117.8	21.7	0.1	0.03	1.7	< LQ	17.4	0.2	0.07	8.7	9.1	8.6	0.1	47.1	6.6	6.06	18.9	< LQ	< LQ	370	2	256
T-Les Vaux 06/02/2006	< LQ	60	168.8	120.4	0.2	0.07	3.5	26	59.2	0.2	0.04	16.3	101.2	7.4	< LQ	275.4	6.9	7.97	150	1.4	< LQ	486	7	3100
U-Bouc 30/01/2006	< LQ	88	200.2	156.5	< LQ	< LQ	1.2	15	19.6	< LQ	< LQ	25.8	69.9	8.15	< LQ	167.3	14.4	5.96	134	0.3	< LQ	364	8	796
V-Galerie PM:7.2_07/02/2006	< LQ	13	80	18.4	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	28.3	< LQ	< LQ	3.1	7.7	8.4	< LQ	31.3	5.4	5.5	13.3	< LQ	< LQ	336	< LQ	129
W-Galerie PM:8.9_08/02/2006	< LQ	13	89.4	12	< LQ	< LQ	< LQ	< LQ	27.4	< LQ	< LQ	1.9	5.4	8.05	< LQ	26.1	5.1	6.34	11.5	< LQ	< LQ	387	< LQ	91
X-Galerie PM:9.9_09/02/2006	< LQ	13	85.2	9.9	< LQ	< LQ	0.6	< LQ	25.5	< LQ	< LQ	6.7	5	8.2	< LQ	26.5	5.4	5.82	13	< LQ	< LQ	355	< LQ	109
Z-P.Arc 01/02/2006	< LQ	15	91.4	11.3	< LQ	< LQ	0.7	< LQ	17.6	< LQ	0.11	2	6.7	8.35	< LQ	19.3	6.2	5.73	12.6	< LQ	< LQ	349	< LQ	204

N°	Réf. Labo	ECHANTILLON	DATE de Prélèvement	δD ‰ vs SMOW (± 0.8‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (± 0.1‰)	Tritium		
						UT		
1	06 E 141	A-SOURCE DE LA PAPETERIE	31/01/2006	-46.8	-7.4	5	±	2
2	06 E 142	B- POURCIEUX	01/02/2006	-31.6	-5.4	6	±	2
3	06 E 143	D- SOURCE DES GAVOTS	01/02/2006	-38.1	-6.4	5	±	2
4	06 E 144	F- PIBLE	30/01/2006	-42.5	-6.8	6	±	2
5	06 E 145	G- FUVEAUX	30/01/2006	-40.0	-6.5	5	±	2
6	06 E 146	H- BOUTEILLE	31/01/2006	-47.7	-7.5	4	±	1
7	06 E 147	J- LA GRANDE BASTIDE	01/02/2006	-40.7	-6.4	6	±	2
8	06 E 148	O- S.SAMBUC	02/02/2006	-43.7	-7.2	4	±	1
9	06 E 149	T- LES VAUX	06/02/2006	-42	-6.4	6	±	2
10	06 E 150	U- BOUC	30/01/2006	-43.2	-6.7	5	±	2
11	06 E 151	W- GALERIE	08/02/2006	-44.9	-7.2	6	±	2
12	06 E 152	X- GALERIE	09/02/2006	-44.2	-7.2	9	±	2
13	06 E 153	Z- P.ARC	01/02/2006	-46.5	-7.6	6	±	2

N° Labo	N° Client	87Sr/86Sr	2σ(m)
253	A - Source de la papeterie 31/01/06	0.707848	0.000008
254	B - Pourcieux 01/02/06	0.709751	0.000009
255	D - Source des Gavôts 01/02/06	0.708000	0.000009
256	F - La Pible 30/01/06	0.707768	0.000008
257	G - Fuveau 30/01/06	0.708254	0.000009
258	H - Bouteille 31/01/06	0.707745	0.000007
259	J - la grande Bastide 01/02/06	0.708347	0.000007
260	O - S Sambuc 02/02/06	0.708077	0.000008
261	T - Les Vaux 06/02/06	0.708922	0.000010
262	U - Bouc 30/01/06	0.708341	0.000007
263	W - Galerie PM : 8.9 07/02/06	0.708250	0.000008
264	X - Galerie PM 9.9 07/02/06	0.708226	0.000008
265	Z - P. Arc 01/02/06	0.707946	0.000009

Illustration 11 : Résultats des analyses chimiques et isotopiques de la campagne de prélèvements des « Hautes Eaux » dans le bassin d'Aix-Gardanne (janvier – février 2006).

3. Les interprétations des premiers résultats

3.1. LES DONNEES PIEZOMETRIQUES

Depuis mai 2006, des données sont acquises à partir des points du réseau piézométrique munis d'appareils de mesure télétransmis (matériel OTT, centrales Orphéus mini® et Logosens®).

Les graphiques de l'Illustration 12 permettent de visualiser les premiers résultats,, aquifère par aquifère.

Bien qu'il soit encore trop tôt pour tirer des conclusions significatives des variations piézométriques, que ce soit au sein d'un même aquifère et *a fortiori* entre les aquifères, on peut déjà constater qu'une certaine cohérence du comportement se dégage dans l'aquifère du Fuvélien, où les variations climatiques semblent jouer un rôle visible dans la piézométrie (remontées de la nappe en rapport avec des précipitations importantes), tandis que le point du Jurassique (en amont du bassin) semble être déconnecté de ces aléas de surface. Tout se passe comme si cet aquifère avait une inertie beaucoup plus grande que le précédent. A noter que le Bégudien connaît lui aussi des variations sans rapport apparent avec des évènements climatiques ponctuels.

Il faut quand même ajouter que les piézogrammes paraissent ne pas évoluer de façon synchrone entre les formations aquifères. Il faut cependant attendre d'avoir plus de données pour analyser statistiquement la corrélation (ou son absence).

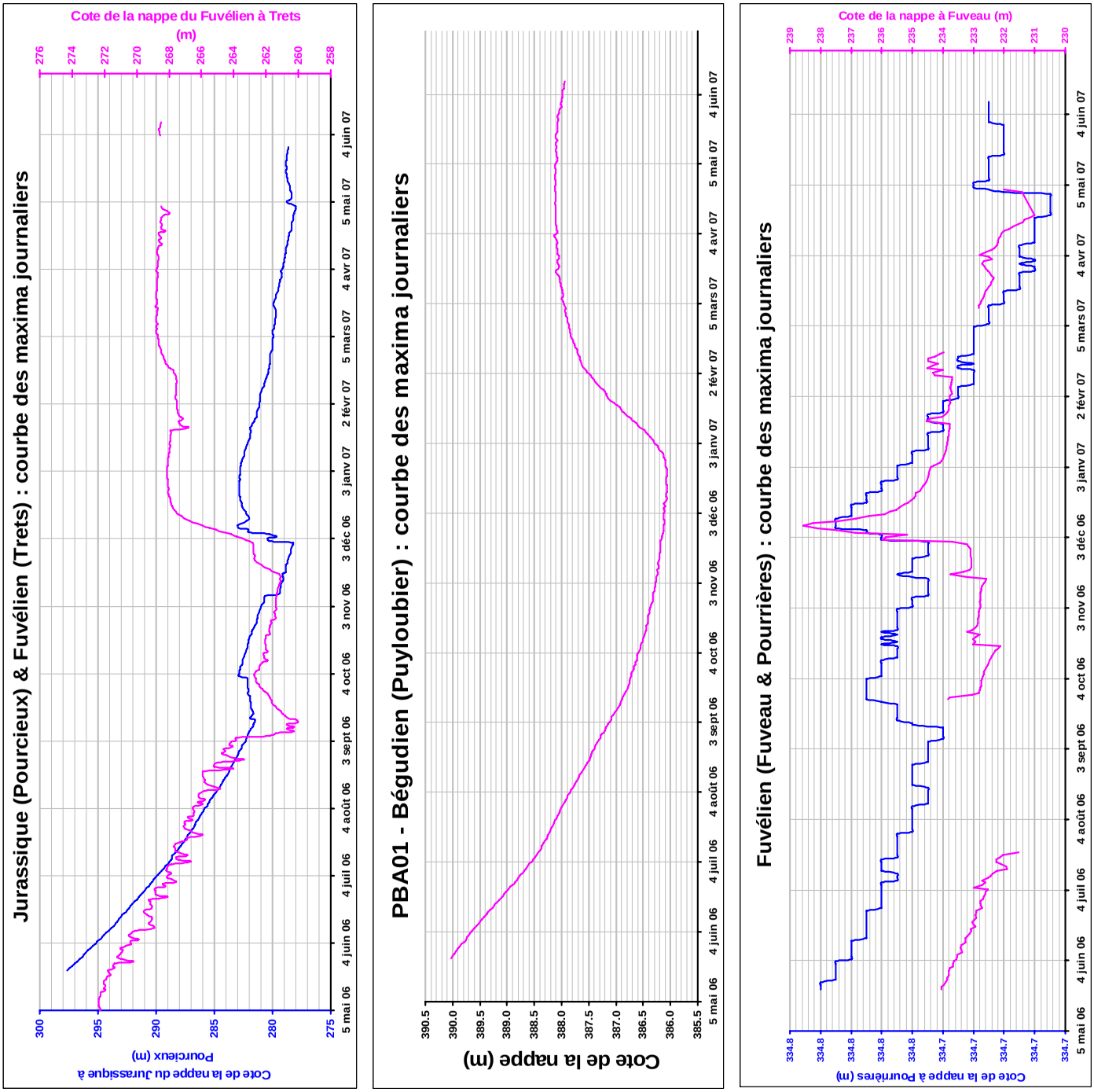


Illustration 12 : Evolution piézométrique entre mai 2006 et juin 2007 au sein des aquifères profonds du bassin d'Aix-Gardanne.

3.2. LES DONNEES HYDROCHIMIQUES (CAMPAGNE HAUTES EAUX)

L'approche hydrochimique est un complément indispensable aux études hydrogéologiques. La notion de traçage naturel, à partir de l'analyse chimique des eaux des aquifères et de sa variation tant dans le temps que dans l'espace, a démontré, depuis plusieurs dizaines d'années, sa pertinence pour l'étude des hydrosystèmes complexes et en particulier pour les aquifères karstiques. L'approche hydrogéochimique est particulièrement bien adaptée pour mettre en évidence les phénomènes de mélange et de participation de différents réservoirs évoluant au cours du cycle hydrologique.

Afin d'améliorer la connaissance sur le fonctionnement hydrogéologique de l'hydrosystème complexe du bassin Aix-Gardanne, deux campagnes de prélèvements en contextes de hautes et basses eaux ont été réalisées dans le cadre de cette étude. Les résultats présentés dans ce rapport concernent la campagne d'échantillonnage réalisée en hautes eaux (janvier-février 2006) sur un total de 25 points caractérisant les principales formations aquifères du secteur d'étude (Jurassique, Fuvélien, Bégudien, Tertiaire et Quaternaire).

Les problématiques qui ont été abordées à l'aide de l'approche géochimique sont les suivantes :

- Quelle est l'origine de la minéralisation des différents aquifères ?

- Est-il possible de mettre en évidence des mélanges entre aquifères ?

- Quel rôle jouent les formations Jurassiques dans le fonctionnement global de l'hydrosystème ?

- Quel est le rôle joué par les formations évaporitiques du Trias ?

- Quelle est l'influence sur l'hydrosystème, et notamment sur la partie profonde, de l'eau de mer ?

3.2.1. Présentation des données et comparaison à la bibliographie

Le recueil et la synthèse des informations géochimiques existantes sur les points d'eau du secteur d'étude (BRGM-53238-FR) ont permis de différencier les types d'eau en présence au sein de l'hydrosystème complexe du bassin Aix-Gardanne. Ainsi, 4 populations différentes d'eau avaient pu être distinguées :

- une population d'eau fortement influencée par des évaporites (gypses du Trias, suivi du Lambeau Charrié) ;

- une population d'eau de type bicarbonaté calcique caractéristique des eaux karstiques des massifs carbonatés de l'Etoile et de la Mure ;

- une population d'eau de type sodique et potassique (Les Louvas, les Roquettes-Fuveau) ;
- une population d'eau de type sodique et potassique chloruré (Travers-bancs de Gréasque, Travers-bancs nord / sud puits Boyer, sondage 590, vidange vieux travaux) ou chloruré sodique-potassique (Source Garry dans le Miocène).

Les données géochimiques nouvelles acquises dans le cadre de cette étude ont été confrontées à ces données bibliographiques. Les différents diagrammes binaires présentés en Illustration 13 permettent bien de retrouver les principales populations identifiées précédemment.

Ainsi,

- Le domaine I caractérise entre autres des eaux karstiques. Il est marqué par de faibles teneurs en chlorures (<10 mg/l), de faibles teneurs en sodium et potassium (< 1 meq/l), de faibles teneurs en sulfates (<30 mg/l) et strontium (<0.25 mg/l) et des teneurs en calcium de l'ordre de 100 mg/l. **Les différents échantillons émanant du Jurassique collectés lors de la campagne de janvier 2006 ressortissent de ce domaine.**

- Le domaine II est caractérisé par des teneurs en sodium et potassium moyennes (de 1 à 15 meq/l), des teneurs en calcium et sulfate et strontium importantes et également par des teneurs en chlorure élevées (>10 mg jusqu'à 370 mg/l). **Les échantillons issus du Lambeau Charrié sont rattachés à ce domaine.**

- Le domaine III est caractérisé par des teneurs en sodium et potassium importantes (> 15 meq/l) et des teneurs en chlorures, sulfate et calcium relativement faibles (Cl <45 mg/l ; SO4 <80 mg/l, Ca < 90 mg/l). L'information « strontium » de ce domaine n'est pas disponible dans la base de données bibliographiques. **Les eaux du groupe « Les Louvas, les Roquettes-Fuveau» précédemment identifié, peuvent être rattachées à ce domaine.**

Les quatre échantillons d'eau prélevée dans le Fuvélien présentent une forte variabilité géochimique. En effet, l'échantillon « Z : puits de l'Arc » est à rattacher au domaine karstique (I), les échantillons « D : source des Gavots », « G : Fuveau » et « T : Les Vauds » sont à rattacher au domaine II du Lambeau Charrié.

Les 3 échantillons d'eau prélevés dans le Bégudien présentent également une forte variabilité géochimique. Les échantillons « F : La Pible » et J : La grande Bastide » sont à rattacher au domaine II du Lambeau Charrié. L'échantillon « K : Rebrond » apparaît être rattaché à la population « Les Louvas, les Roquettes-Fuveau» (domaine III).

Les trois échantillons d'eau prélevées dans les formations tertiaires (« I : Chemin des savoyards », « M : Source de la Castillonne » et « U : Bouc ») sont également à rattacher au domaine II.

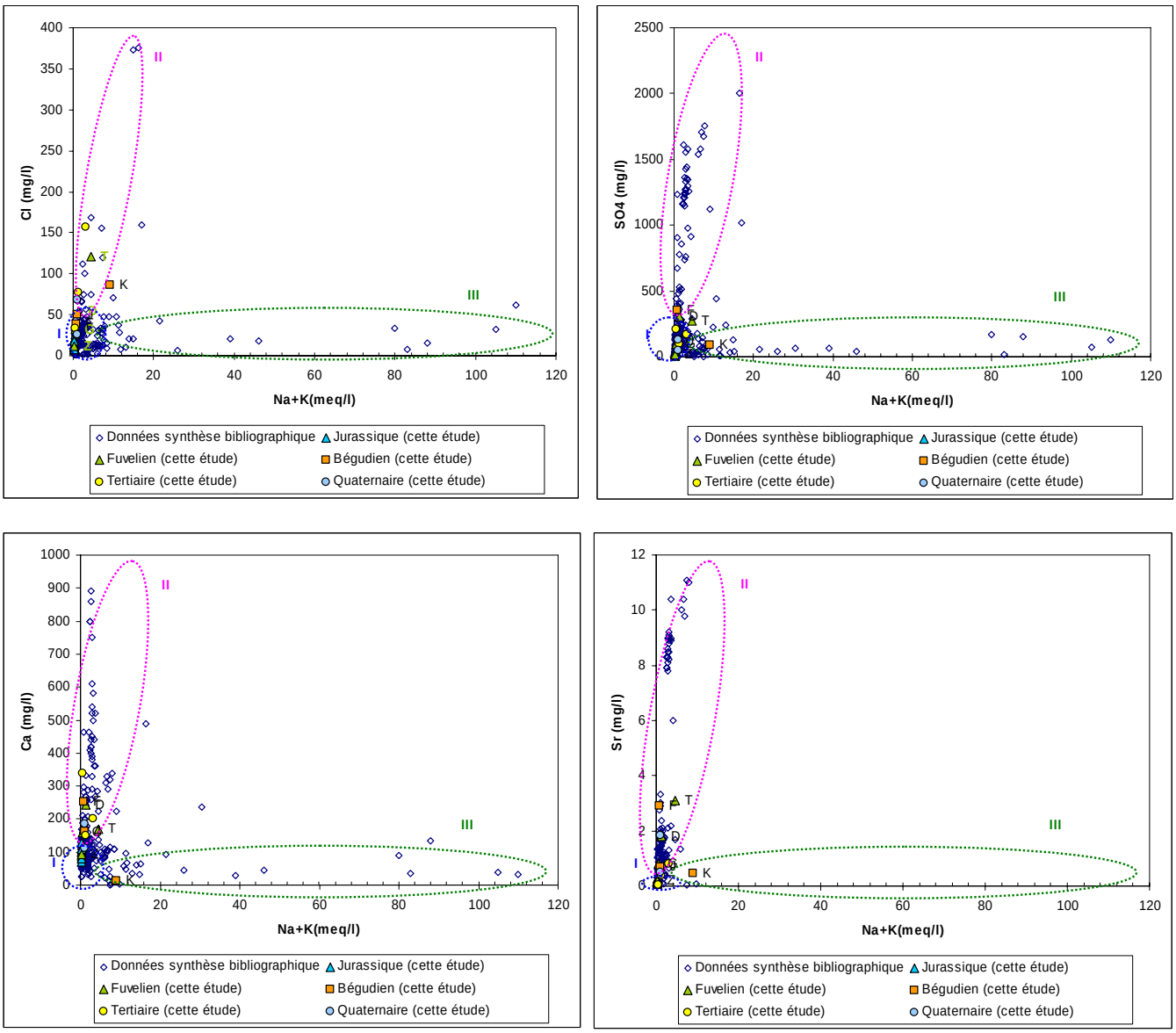


Illustration 13 : Diagrammes binaires permettant d'identifier des populations de points dans le bassin d'Aix (données bibliographiques et issues de la campagne janv - févr 2006).

A noter que l'échantillon M (Source de la Castillonne, à Bouc-Bel-Air) ne sera plus considéré dans la suite de l'étude car ce point paraît très touché par les rejets industriels provenant du plateau de Gardanne / Simiane-Collongue, comme en témoignent les teneurs en Aluminium, Fluor, Iode..., très supérieures aux teneurs rencontrées dans les autres points de la campagne de prélèvements. La source de la Castillonne émerge en effet à la faveur de fissures situées à la base du plateau calcaire qui s'ennoie sous les formations tertiaires de Bouc-Bel-Air, partiellement en discordance et tire vraisemblablement son alimentation de ce plateau.

3.2.2. Informations apportées par les éléments en traces

Les échantillons du Bégudien et du Fuvélien qui sont rattachés au domaine II (Lambeau Charrié) présentent des teneurs en baryum assez élevées (de 43 à 136 µg/l), des teneurs significatives en lithium (10 à 28 µg/l) et des teneurs faibles en fluorure (de l'ordre de 0.2 à 0.3 mg/l) et iodure (de 5 à 8 µg/l). Les eaux du Fuvélien ne présentent pas ou peu de bromure (<0.1 mg/l= Limite détection) à l'exception notable de l'échantillon « T : Les Vauds » (Br =1.4 mg/l). Ces échantillons présentent par ailleurs une concentration significative en Fer. Les eaux du Bégudien qui appartiennent au domaine II présentent des teneurs significatives en bromure (de 0.3 à 0.5 mg/l).

L'échantillon du Bégudien qui est rattaché au domaine III apparaît caractérisé par de fortes teneurs en fluorure (2.7 mg/l) et iodure (163 µg/l) et par une faible teneur en baryum (22 µg/l). La teneur en lithium apparaît supérieur (41 µg/l) aux valeurs mesurées pour les eaux du domaine II (comprise entre 10 et 28 µg/l).

Concernant les eaux du karst (domaine I), à l'exception des échantillons « B : Pourcieux, H : Bouteille » et « N : Moulin de Sambuc », les eaux ne se distinguent pas par leurs teneurs en baryum, lithium, bromure, iodure et fluorure. L'échantillon « B : Pourcieux » se distingue des autres eaux karstiques par une teneur élevée en baryum (114 µg/l) et une teneur faible en lithium (11 µg/l) et une teneur significative en fluorure (0.2 mg/l). L'échantillon « N : Moulin de Sambuc » se distingue des autres eaux karstiques par une teneur élevée en lithium (77 µg/l). Les échantillons « B : Pourcieux » et « H : Bouteille » se distinguent également par des teneurs significative en fluorure (0.2 et 0.3 mg/l respectivement). L'échantillon « H : Bouteille » présentent par ailleurs des teneurs très élevées (3.06 mg/l) de fer contrairement aux autres échantillons

La différenciation des eaux sur la base des seuls éléments traces apparaît donc complexe.

Les teneurs en fluorure, baryum, iodures et lithium vont être néanmoins utilisées dans la suite de l'étude comme témoins de circulation profonde. En association avec les informations apportées par la signature chimique et isotopique du strontium, les informations des éléments traces (F, Br, Ba et I) seront utilisées pour mieux contraindre l'origine et la nature des circulations et mélanges d'eau en présence dans cet hydrosystème complexe. Les teneurs en Br les plus élevées sont celles du pôle Fuvélien. L'origine du brome est donc à rechercher dans la dissolution des formations calcaires du Fuvélien. En revanche, l'origine des teneurs élevée en Ba est à attribuer aux eaux profondes (Socle) et/ou du Trias.

3.2.3. Informations apportées par les isotopes du strontium

Ces informations sont obtenues en couplant les données relatives à ces isotopes à celles liées aux informations chimiques (majeurs et traces).

Il convient de rappeler en préambule que le strontium n'étant pas modifié par des processus tels que l'évaporation ou la précipitation de minéraux, la composition isotopique de l'eau reflète donc un terme source qui correspond :

- en partie à la composition isotopique initiale du strontium de l'eau, avant contact avec l'aquifère,
- en partie à celui d'un minéral strontifère avec lequel l'eau a été mise en contact (par dissolution).

Autrement dit, les eaux souterraines acquièrent la composition isotopique en Sr (rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$) des minéraux les plus solubles de la roche encaissante. Ainsi, les eaux qui drainent des roches silicatées (granite par exemple) présentent des rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ élevés, similaires à ceux présents dans ces roches. Celles qui drainent des roches carbonatées montrent *a contrario* des rapports plus faibles (moins radiogéniques).

La problématique du rôle éventuel joué par le Trias et l'eau de mer peut être approchée à l'aide des isotopes du strontium. Les rapports isotopiques du strontium couplés aux informations apportées par les éléments majeurs et traces permettent par ailleurs de mettre en évidence les mélanges d'eau entre aquifères.

L'Illustration 14 présente l'évolution des rapports isotopiques ($^{87}Sr/^{86}Sr$) du strontium des eaux échantillonnées en fonction de l'inverse des teneurs en strontium. Ce type de représentation permet de distinguer très nettement les différents types d'eau en présence dans la zone d'étude.

A noter que les informations sont très significatives, l'incertitude sur la détermination du rapport isotopique $^{87}Sr/^{86}Sr$ est très faible (2σ = 0.000009), soit inférieure à la taille du point sur l'illustration.

Le pôle marin, caractérisé par l'eau de mer présente de fortes teneurs en strontium (donc rapport 1/Sr faible) et des rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ élevés (0.70919) relativement à ceux des eaux échantillonnées au sein du Fuvélien, Bégudien et du Jurassique (à l'exception notable de l'échantillon « B : Pourcieux » prélevé dans le Jurassique).

Les rapports isotopiques des eaux de ce forage profond (270 m) apparaissent très radiogéniques ($^{87}Sr/^{86}Sr$ élevé = 0.709751). **L'eau de mer ne paraît donc pas contribuer au fonctionnement de cet hydrosystème**, ou tout au moins, sa signature isotopique vis-à-vis du strontium n'est pas visible**.**

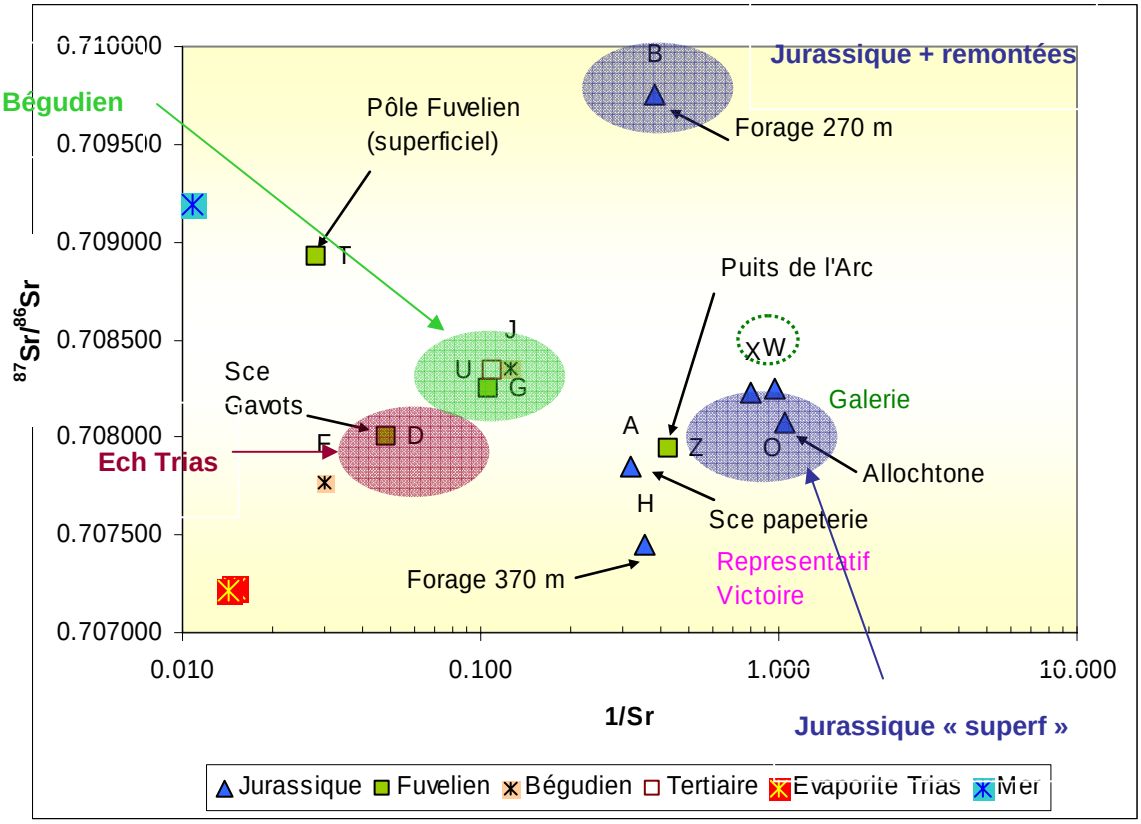


Illustration 14 : Evolution des rapports isotopiques ($^{87}Sr/^{86}Sr$) des eaux du bassin d'Aix-Gardanne en fonction de l'inverse des teneurs en strontium.

Le pôle des évaporites du Trias considéré dans cette étude sera celui défini récemment dans le cadre de l'étude sur les systèmes karstiques des Corbières Orientales (Ladouche *et al.,* 2004). Ce pole est caractérisé par des rapports $^{87}Sr/^{86}Sr$ très faibles (0.707300), compatibles avec ceux de l'eau de mer au Trias (Veizer, 1989) et des teneurs en strontium élevées (Sr = 6 mg/l).

L'origine du rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ élevé des eaux du forage de Pourcieux (point B) ne peut pas être expliquée par une pollution anthropique de type agricole et/ou eaux usées puisque, d'une part, la situation de ce point rend cette probabilité faible et d'autre part, les eaux de cet ouvrage présentent une teneur en nitrates très faible (2.7 mg/l), comparable aux valeurs que l'on peut rencontrer dans les pluies méditerranéennes (Maréchal *et al.*, 2005, Ladouche *et al.*, 2006) et compatible avec le cycle naturel de l'azote dans le sol.

Les eaux de cet ouvrage sont en outre caractérisées par une teneur élevée en baryum (114 µg/l) et assez élevée en sodium (13 mg/l, à comparer avec la moyenne de 5 mg/l dans les autres points d'eau échantillonnés dans le Jurassique. Ces anomalies en baryum et sodium, et le rapport isotopique ($^{87}Sr/^{86}Sr$) élevé pourraient s'expliquer par une composante faible d'eau très profonde en provenance du socle, qui viendrait se mélanger à des eaux descendant de la surface, à la faveur d'une faille, parmi le faisceau qui affecte les formations calcaires du Jurassique Supérieur, et dont la carte géologique 1/50.000 montre la trace en surface à l'est du point. Il n'existe cependant

pas d'accident majeur dans le secteur immédiat de ce point, situé, il faut le rappeler, dans la terminaison périclinale est du bassin.

Les autres eaux du Jurassique présentent des rapports isotopiques $^{87}Sr/^{86}Sr$ inférieurs à 0.708250 et des rapports 1/Sr compris entre 0.32 et 1 (Illustration 14).

Deux familles d'eau du Jurassique peuvent être distinguées :

- l'eau du Jurassique allochtone représentée par le point « O : S. Sambuc »,
- l'eau du massif de la Sainte-Victoire représentée par les échantillons « A : source de la papeterie » et « H : Bouteille ».

Les échantillons X et W prélevés dans la galerie de la Mer sont à rattacher au Jurassique allochtone du Massif de l'Etoile.

L'échantillon « Z : Puits de l'Arc » du Fuvélien qui présente un faciès d'eau karstique comme on l'a montré précédemment, possède une signature isotopique en strontium qui tend vers celle des calcaires du massif de la Sainte-Victoire sans toutefois l'atteindre.

Des études antérieures (Chalumeau, 1994) ont montré la participation d'eaux issues du Jurassique à l'alimentation du Puits de l'Arc.

Or, le rapport $^{87}Sr/^{86}Sr$ mesuré dans ces eaux est trop faible (0.707946) pour être expliqué par le transit de l'eau au sein du Jurassique allochtone. En revanche la signature isotopique des eaux issues du Jurassique de la Sainte-Victoire se retrouve .

La connexion hydraulique entre le Jurassique et le Fuvélien au niveau du Puits de l'Arc est donc confirmée par l'approche géochimique.

Les eaux qui alimentent le Puits de l'Arc par drainance, pourraient donc trouver leur origine dans le secteur du massif de la Saint-Victoire. Cela signifie qu'au moins une partie de l'eau circule dans le Jurassique depuis le Nord vers le centre du Bassin (ce qui n'exclue pas un axe de drainage Est – Ouest).

Le point prélevé au pied des formations calcaires du Trias (« F : source de la Pible ») est bien le plus proche de la signature triasique « pure », et montre un mélange entre les pôles Trias et Bégudien (avec une part revenant aussi au Fuvélien).

Il est intéressant de noter que le point « D : source des Gavôts » (eaux du Fuvélien) porte également, mais dans une moindre mesure, la signature du Trias.

L'échantillon du Fuvélien « T : les Vauds » a été considéré dans cette étude comme représentatif des eaux du Fuvélien dit « superficiel ». L'Illustration 14 montre que la signature des eaux de l'échantillon « G : Fuveau » du Fuvélien résulte d'un mélange entre celle des eaux du Fuvélien « superficiel » et les eaux karstiques de la Sainte-Victoire caractérisée par l'échantillon A.

Pour vérifier cette hypothèse, on a représenté sur l'Illustration 15 les rapports isotopiques $^{87}Sr/^{86}Sr$ des eaux en fonction du rapport SO_4/Sr pondéré des teneurs en chlorures (pour s'affranchir de l'impact marin). En effet, ces éléments chimiques permettent de différencier les différentes origines des eaux de l'hydrosystème. Les droites de mélange entre les différents pôle de mélange identifiés (pole Fuvélien superficiel, pôle Sainte-Victoire, pôle Trias) ont également été reportées dans ce graphique. La signature des eaux de « la source de la Papeterie » (point A) a servi à l'établissement de la signature du pôle « Sainte-Victoire ».

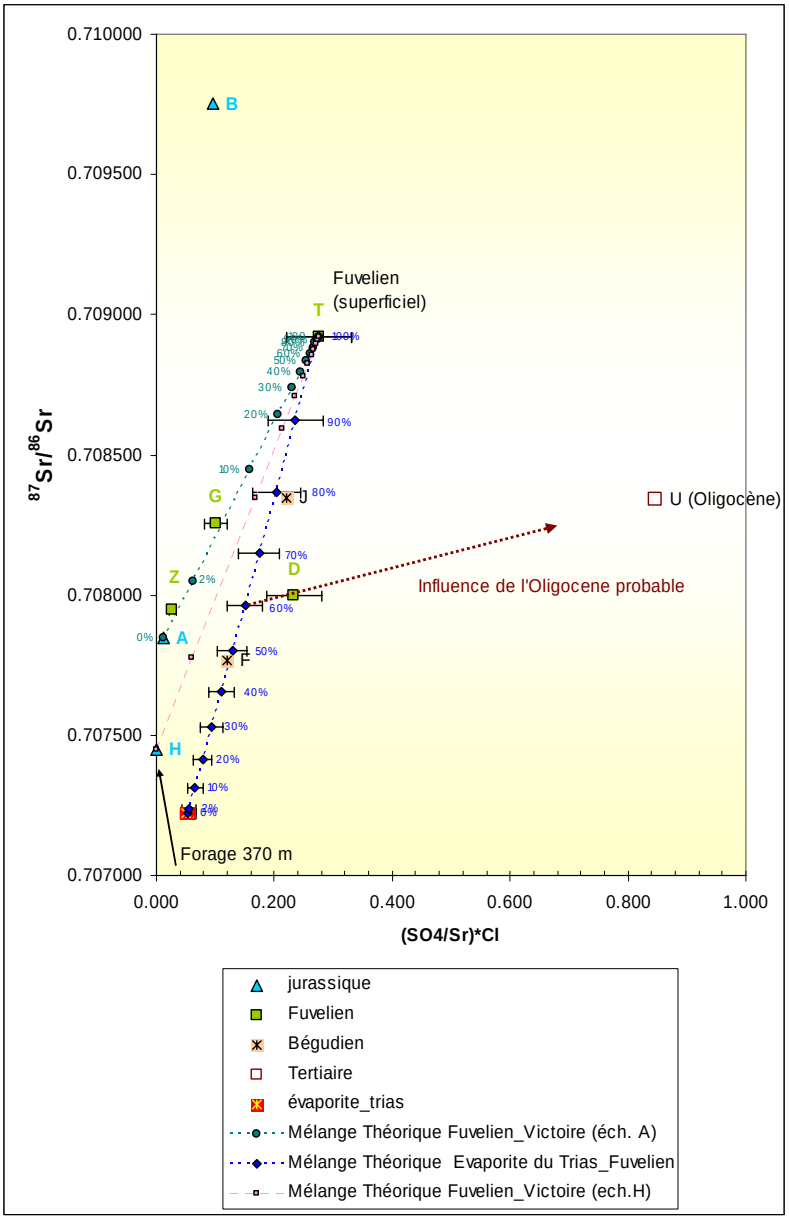


Illustration 15 : Evolution des rapports isotopiques ($^{87}Sr/^{86}Sr$) des eaux en fonction du rapport SO4/Sr pondéré par les teneurs en chlorures.

Dans l'Illustration 15, les signatures des échantillons « Z : Puits de l'Arc » et « G : Fuveau » s'alignent sur une droite de mélange définie par le Fuvélien superficiel (éch. T) et l'eau du karst de la Sainte-Victoire.

Il faut noter la signature du forage profond « Pourcieux » ne permet pas d'expliquer la signature géochimique des points Z et G du Fuvélien. Ce point peut être considéré comme le pôle représentatif d'eaux profondes (de type « eaux thermales »), ce qui signifie que pour les eaux du puits de l'Arc, pas plus que pour celles issues du Fuvélien *s.s.*, il ne faut rechercher l'origine dans des remontées d'eaux thermales ou minérales.

Les informations de la droite de mélange indiquent que **la composante Jurassique permettrait d'expliquer à plus de 90% la signature des eaux « Z : Puits de l'Arc et G : Fuveau »**

L'Illustration 15 permet également de montrer que la signature de l'échantillon « F : La Pible » réputée issue des calcaires du Trias, peut être expliquée par une composante profonde (Trias), mais aussi par les eaux du Fuvélien. Ces résultats apparaissent cohérents au regard du contexte géologique du secteur du Massif de l'étoile (Vanderberghe, 1962).

Les proportions de ce mélange, donnés à titre indicatif, suggèrent que l'échantillon F est composée pour moitié d'eau du Fuvélien et du Trias.

En revanche, la signature de la source des Gavôts (Fuvélien) n'est pas parfaitement expliquée par le mélange entre les eaux du Trias profond et les eaux du Fuvélien. Le point s'écarte de la droite de mélange théorique en raison d'un enrichissement en chlorures. Les eaux de Oligocène permettraient d'expliquer ce phénomène comme le suggère la signature de l'échantillon U. Le contexte géologique local à la source des Gavôts semble conforter cette interprétation, l'oligocène est en effet présent à proximité immédiate (au sud) de la source des Gavôts.

3.2.4. Informations tirées des isotopes de la molécule d'eau

Activité en tritium des eaux du bassin d'Aix-Gardanne

L'isotope tritium, constitutif de la molécule d'eau, est instable dans le temps et est de ce fait fréquemment utilisé comme « chronomètre » pour dater les eaux. (^{3}H, isotope radioactif de l'hydrogène, de période de demi vie courte : 12,26 a)[2]. C'est donc un marqueur des masses d'eau contemporaines. En effet, une production artificielle s'est ajoutée à la production naturelle au cours des essais thermonucléaires aériens, pendant la période 1952-1963 ; les essais ont cessé depuis 1963. Par l'intermédiaire de cette production artificielle, on peut donc différencier les eaux qui résultent des précipitations sans tritium « nucléaire » (c.a.d. d'origine anthropique, avant 1952) des

[2] Production naturelle de 1 atome pour 10^{18} atomes

eaux de précipitations formées dans une atmosphère contenant du tritium « nucléaire ». *La présence de tritium dans une eau témoigne d'une alimentation récente*.

A titre d'information, les teneurs en tritium de quelques eaux de pluie de Perpignan échantillonnées dans les années 1960 sont données ci-dessous (source : BD-ISO, http ://infoterre.brgm.fr).

date	Unité Tritium
31/07/1965	394 (±16,0)
31/12/1965	190 (±10,0)
31/12/1966	113 (±8,0)

Les teneurs en tritium des pluies actuelles sont très faibles et globalement comprises entre 2 et 7 Unités Tritium (UT), les valeurs les plus élevées étant observées en hiver et au printemps (BD-ISO, http ://infoterre.brgm.fr).

Les eaux échantillonnées présentent des teneurs en tritium comprise entre 4 (± 1) et 9 (± 2) UT. Compte tenu des valeurs mesurées, on peut dire que **la recharge des eaux souterraines est assuré par des eaux infiltrées récemment dans le système**, tout au plus quelques années. **La composante profonde du système (Jurassique) est également constituée d'eau d'infiltration récente**.

Composition isotopique des eaux en ^{18}O et ^{2}H (isotopes stables)

La signature isotopique ($\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$) des eaux échantillonnées présente d'importante variabilité. L'Illustration 16 permet de montrer que les eaux souterraines se répartissent entre la droite mondiale et la droite locale des précipitations, définie pour le département de l'Hérault (Ladouche *et al.,* 2006). L'échantillon « P : Pourcieux » apparaît le plus enrichi en isotopes lourds. Ce constat est un indice supplémentaire de l'existence d'une composante profonde en provenance de socle mis en évidence à l'aide des isotopes du strontium et la chimie des éléments traces.

La détermination des altitudes présumées de recharge à l'aide des isotopes stable de l'eau nécessite plusieurs informations complémentaires, à savoir :

1. la signature isotopique de la pluie annuelle au niveau de la mer ;

2. du gradient isotopique altitudinal.

Sur la base des éléments de connaissance régionale des pluies Méditerranéennes (Ladouche *et al.,* 2006) le gradient isotopique altitudinal dans la zone d'étude est supposé varier entre -0.15 et -0.25 ‰/100 m en oxygène 18. La signature isotopique moyenne, de la pluie au niveau de la Mer est supposé égale aux valeurs mesurées dans l'Hérault et le Gard ($\delta^{18}O$ = -5.8 ‰).

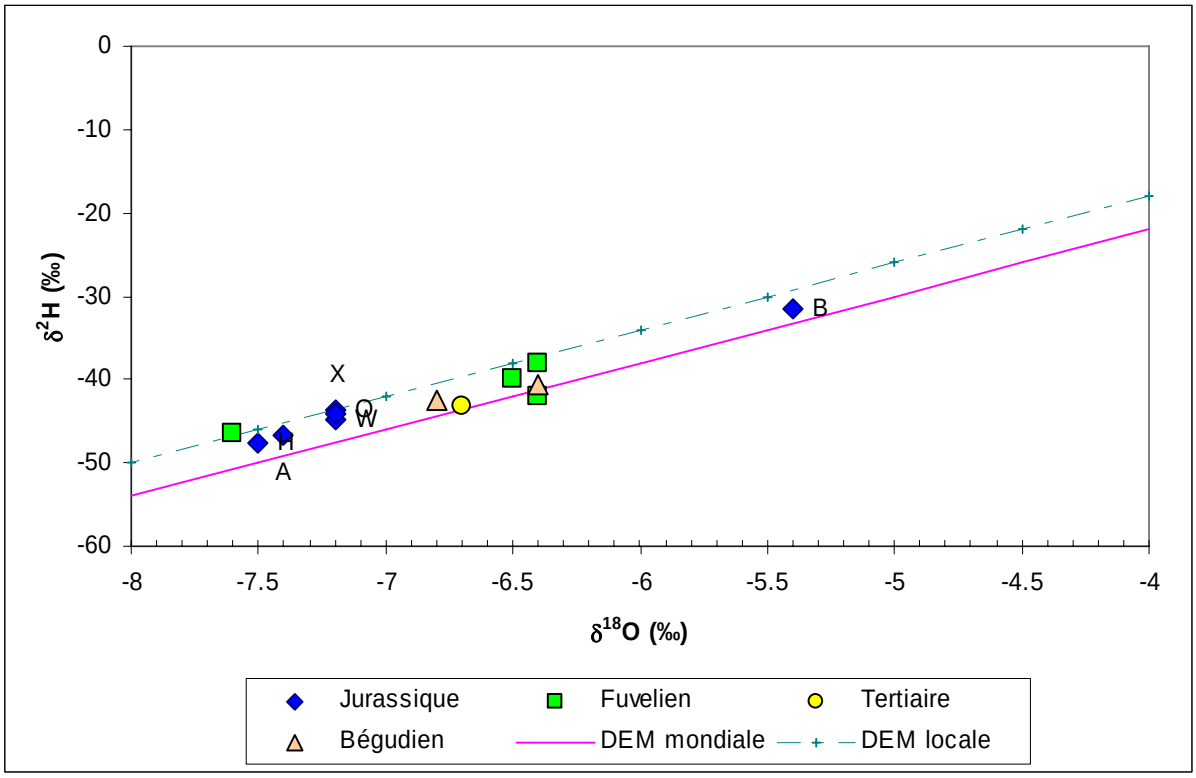


Illustration 16 : Position des points du bassin d'Aix-Gardanne vis-àvis des droites mondiale et locale des précipitations.

L'Illustration 17 permet d'estimer l'altitude de recharge des différentes eaux échantillonnées. Compte tenu des hypothèses de départ, il est possible d'estimer que les points « A, Z et H » ont une altitude moyenne de recharge comprise entre 800 ±200 m et 1000 ± 300 m, compatibles avec les altitudes des calcaires Jurassiques de la Sainte-Victoire.

De même, les altitudes moyennes de recharge pour les points « O, X et W » est de l'ordre de 700 ±200 m. Ces altitudes sont compatibles avec les altitudes du massif de l'Etoile.

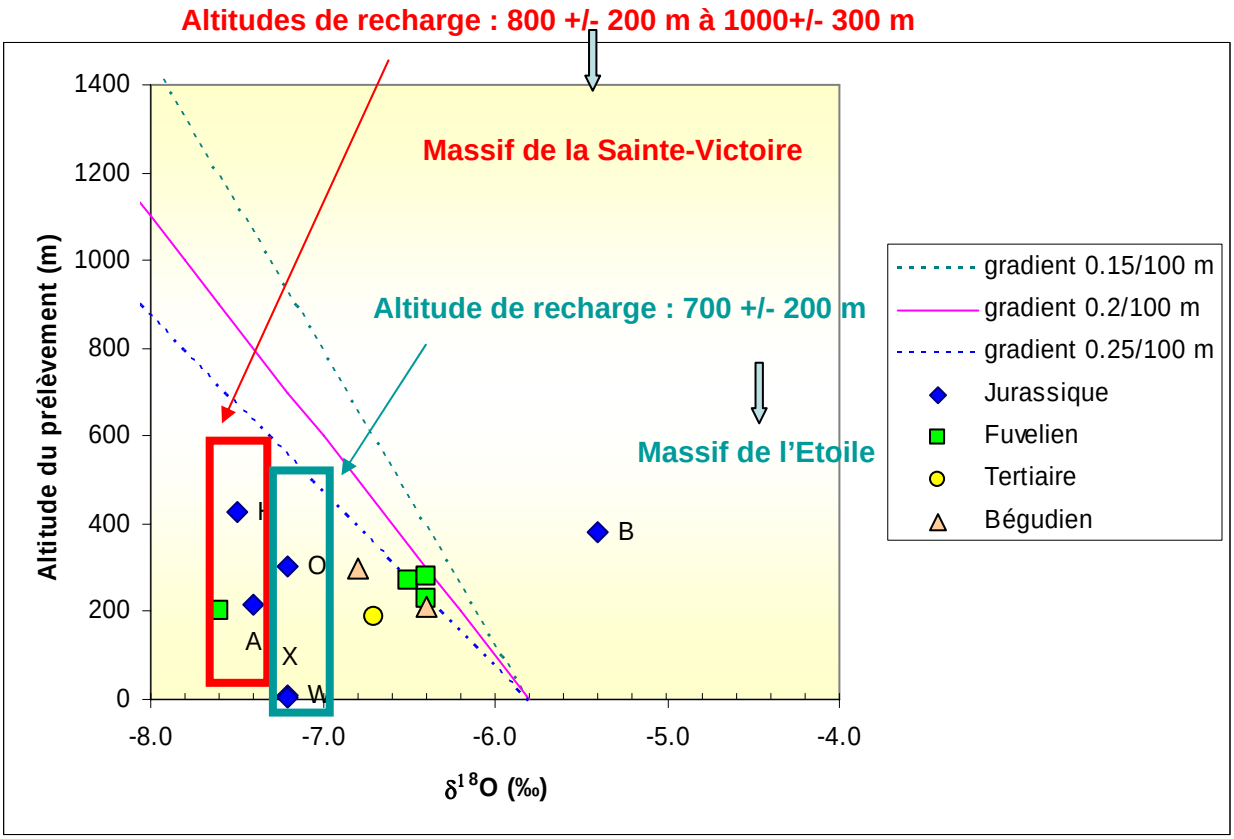


Illustration 17 : Estimation des altitudes de recharge des eaux souterraines dans le bassin d'Aix-Gardanne.

4. Conclusion

La première année de la seconde phase de l'étude hydrogéologique des ressources profondes du bassin d'Aix-Gardanne est achevée. La plupart des actions prévues par le cahier des charges a été menée à bien : élaboration et mise en place du réseau de surveillance piézométrique, constitué de 7 points de suivi, dont six ont accumulé des données depuis plus d'un an. Il reste un point à équiper, foré spécifiquement pour cette étude (équipé courant de l'été). Un point supplémentaire avait été prévu, mais il n'a pas produit les résultats escomptés, puisqu'aucune venue d'eau n'a été enregistrée durant la foration, qui n'a pas atteint l'horizon attendu.

Les premiers piézogrammes obtenus indiquent une cohérence dans la piézométrie propre à chaque niveau suivi (Jurassique, Fuvélien et Bégudien), et des comportements différents sont d'ores et déjà visibles : influence des précipitations ponctuelles sur le niveau du Fuvélien, plus grande inertie des aquifères du Jurassique et du Bégudien.

Les interprétations de ce thème seront plus étoffées au terme de la dernière année de suivi, prévue à partir de 2008.

Parallèlement, l'hydrochimie apporte d'ores et déjà des informations sur le fonctionnement des nappes :

- Les eaux souterraines dans le bassin d'Aix-Gardanne sont récentes (moins de 20 ans), et sont alimentées principalement par les reliefs bordant le bassin ;

- Des mélanges sont visibles entre les aquifères, notamment entre le Fuvélien et le Jurassique (participation très majoritaire du Jurassique au puits de l'Arc), mais aussi entre le Bégudien, le Fuvélien et le Trias ;

- Il semble que des eaux remontant du socle se mélangent aux eaux du Jurassique dans le secteur amont du bassin, elles laissent en effet une partie de leur signature chimique dans le point le plus en amont.

Il faut bien préciser que ces interprétations devront être confrontées à celles issues de la seconde campagne de prélèvements (dite de Basses Eaux), pour une confirmation (ou un abandon) de certaines hypothèses.

La dernière année de la seconde phase devra en effet permettre d'établir des bilans hydrologiques et de cerner les limites des impluviums des aquifères profonds du bassin, ainsi que le fonctionnement des entités karstiques en tant que systèmes. Pour ce faire, un programme détaillé de cette dernière partie sera remise au cofinanceurs et présentée en Comité de Pilotage conclusif de la première année.

5. Bibliographie

Ancel A., Dorfliger N., Rampnoux N., Moulin M., Solages S. (2004). Etat des connaissances géologiques structurales et hydrogéologiques du bassin d'Aix-Gardanne. Définition d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires. Rapport final. - BRGM/RP-53239-FR.

Ancel A., Moulin M., Rampnoux N. (2004). Bassin d'Aix-Gardanne : état des connaissances géologiques structurales et hydrogéologique. Rapport de phase 1 : Synthèse des données hydrogéologiques. Rapport BRGM/RP-53238-FR.

Ladouche B., Aquilina L., Dorfliger N. (2006, soumis). Chemical and isotopic investigation of rain water in southern France (1996-2002) : implication for karstic input signal. *Applied Geochemistry*.

Ladouche B., Dorfliger N., Izac J.L., Cubizolles J., Le Strat P., du Couedic C., Aunay B., Thomson P. (2004). Evaluation des ressources en eau des Corbières. Phase 1 : Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières Orientales. Vol. 2 - Caractérisation géologique et hydrogéologique du système karstique du "synclinal du Bas-Agly". Rapport final. BRGM/RP-52919-FR.

Maréchal J.C., Ladouche B., Courtois N., Dorfliger. N., Le Strat P., Bironne A., (2005). Modèle conceptuel de la structure et du fonctionnement du système karstique de la Fontaine de Nîmes. Rapport final. BRGM/RP-53827-FR

Meilhac A. (2004). Etat des connaissances géologiques, structurales et hydrogéologiques du Bassin d'Aix-Gardanne. Notice d'utilisation du système d'information géographique. Rapport final. - BRGM/RP-53416-FR.

Vandenberghe (1962). Coupe schématique du bassin minier d'Aix-Gardanne.

Annexe 1
Fiches des stations piézométriques :

PBA01 : Puyloubier – la Ferme Clément (Bégudien)

PBA02 : Fuveau – Les Longs cols (Fuvélien)

PBA03 : Trets – Les Espardinaux (Bégudien)

PBA04 : Pourrières – Le Gourd de la Tune (Fuvélien)

PBA05 : Pourcieux – La Truiterie Enchantée (Jurassique)

PBA06 : Trets – Kirbon (Jurassique)

PBA07 :Trets – Les Vauds (Fuvélien)

PBA08 : Fuveau – La Grande Bastide (Bégudien)

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA01**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Bégudien - Puyloubier (la Ferme Clément)	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Bégudien – Puyloubier (la Ferme Clément)

Code station : PBA01

N° BSS : 10213X0188/BA01

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage : 2006

Code du système aquifère :

Nom du système aquifère : Bégudien

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Calcaires bégudiens

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Puyloubier

Lieu Dit : la ferme clément

Coordonnée X : 869 122.7

N° carte IGN : n° 3244 ET Trets

Coordonnée Y : 1 841 773.6

N° carte géologique : 1021 Aix en Provence

Cote sol (m) : 392

Expression de l'altitude : NGF

Zone Lambert : 2E

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle : M. BAYLE Albert
La Ferme Clément, 13114 Puyloubier

Existence d'une convention : oui
Date : 23/05/06

Entreprise de forage : ?

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre : M. Bayle 06-63-19-52-39

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Nature des terrains et/ou lithologie traversée : Argiles, marnes, calcaires

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 110 mm

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/sol) : 30

Crépine de l'ouvrage : ?

Niveau statique (m/rep) : - 1 m
(m/sol) : - 1.3 m

Date : 21/03/06

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure : sommet du tube piézo, sous dalle de béton située au niveau du sol

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) : - 0.3 m

Côte NGF du repère de mesure (m) :

Date du repère :

Cote du point de nivellement NGF (m) :

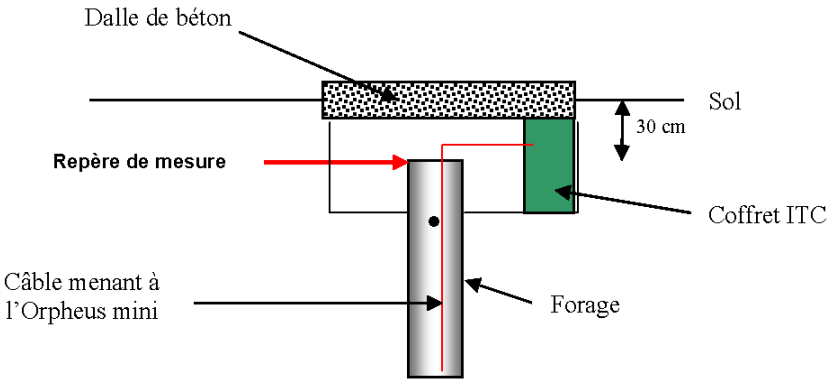
Date du nivellement NGF :

HISTORIQUE DES SUIVIS

Date de début des mesures piézométriques : 23/05/06

Réseau d'origine : BRGM

SCHEMA DE L'INSTALLATION



- Etude hydrogéologique du bassin d'Aix – Gardanne : fiche de piézomètre -

EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Abri :
Fermeture : ALEN de 5 mm
Fixation : bride vissée sur le piézo Ø 5 "

Boîtiers en place :
- un boîtier support ITC

CENTRALE

Marque : OTT
Type : Orpheus mini
Modèle : Base

N° série : 21138
Mise en service : 23/05/06

Capteur de niveau : Sonde pression Orpheus mini (profondeur = gamme 0-)

Alimentation extérieure :Non

Localisation / Situation : enterré le long d'un chemin.

TELETRANSMISSION

Modem : type : GSM
modèle : ITC
vitesse : 19200
param : 7N2

Opérateur : SFR

N° d'appel : 06-25-06-64-60

Date de mise en service : 23/05/06

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle :

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

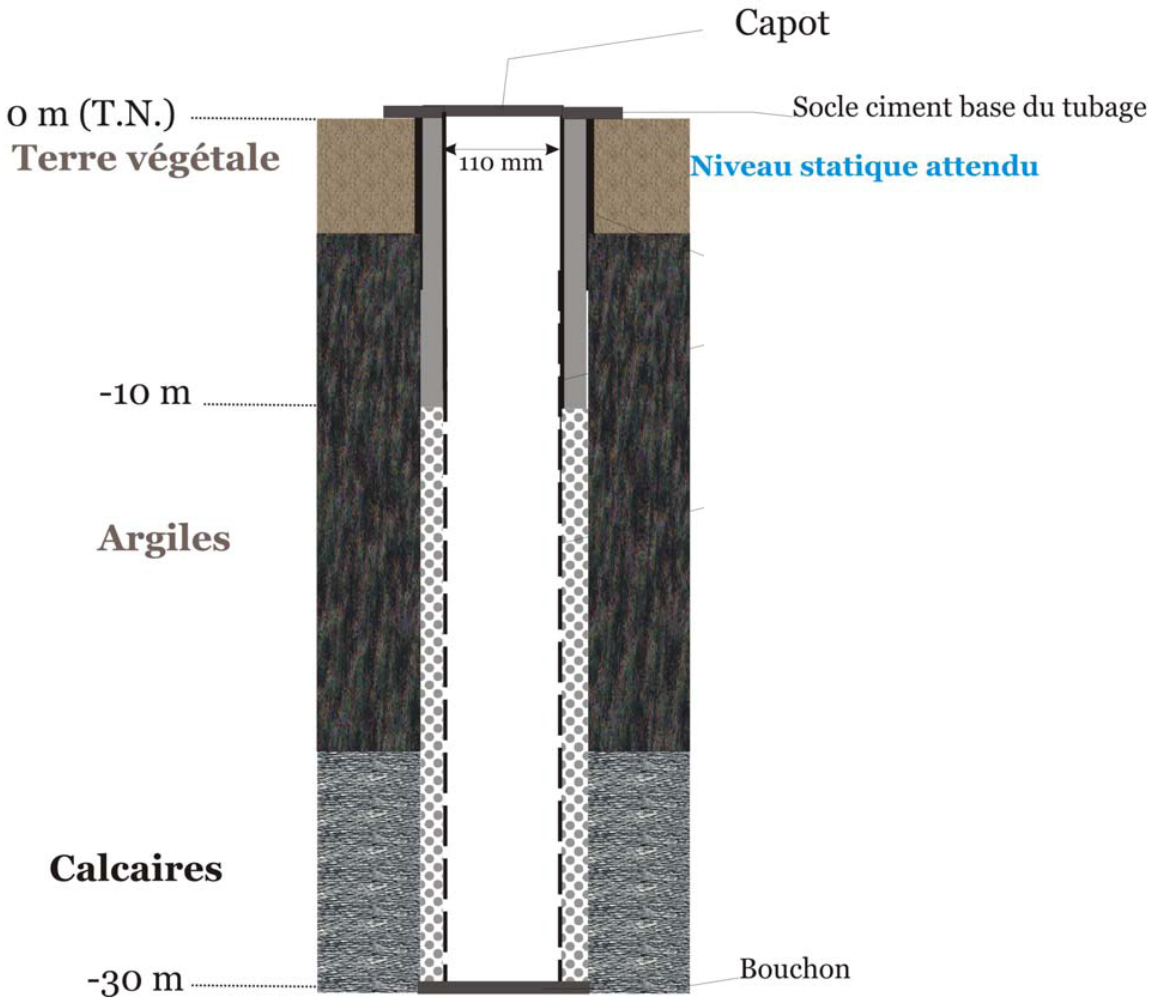
Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

Occupation des sols du bassin versant :

Environnement immédiat du captage : vignes

Coupe géologique : Oui

Coupe lithologique



CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE

Description du chemin d'accès :

Chemin menant à la ferme clément partant de la départementale D17

Conditions d'accès sur l'ouvrage : forage situé à 1 m sur la droite du chemin en montant vers la ferme

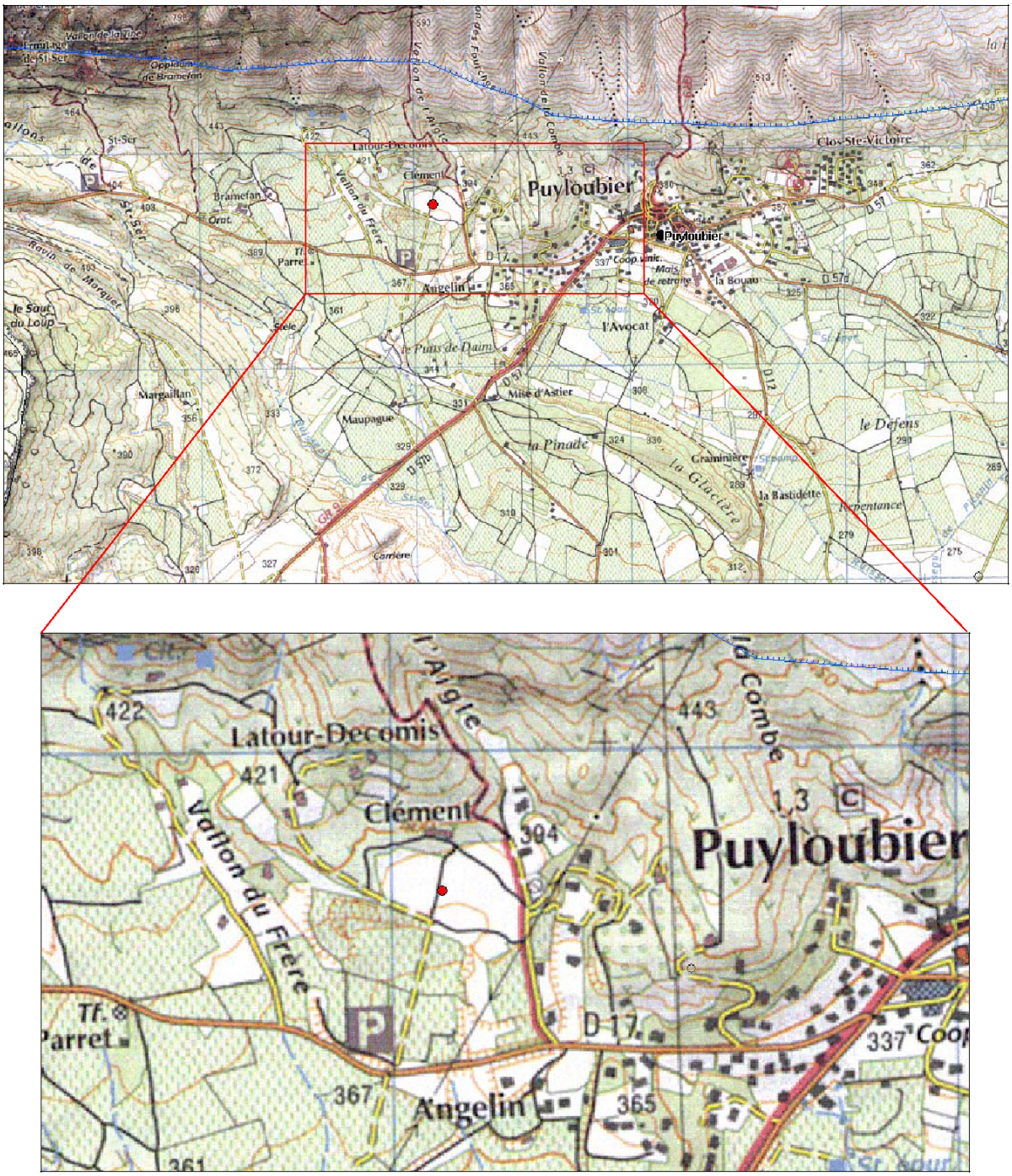


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA01

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements** **Station PBA02**	Unité responsable **SGR PACA** **Marseille**
	Fuvélien - Fuveau (les longs cols)	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Fuvélien – Fuveau (les longs cols)

Code station : PBA02

N° BSS : 10216X0252

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage : ?

Code du système aquifère :

Nom du système aquifère : Fuvélien

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Calcaires fuvéliens

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Fuveau

Lieu Dit : les longs cols

Coordonnée X : 862 091.4

N° carte IGN : n° 3244 ET Trets

Coordonnée Y : 1 833 666.9

N° carte géologique : 1021 Aix en Provence

Cote sol (m) : 285

Expression de l'altitude : NGF

Zone Lambert : 2E

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle : M. IHLER Jean-Bernard
37 chemin de la crête, quartier longs cols, 13710 Fuveau

Existence d'une convention : oui
Date : 23/05/06

Entreprise de forage : ?

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre :
M. IHLER 04 42 68 12 05 / 06-19-07-10-34
Mail : jbihler@newtec-group.com

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Nature des terrains et/ou lithologie traversée : Argiles, marnes, grès, calcaires

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 110 mm

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/sol) : 85

Crépine de l'ouvrage : ?

Niveau statique (m/rep) : - 49.90 m
(m/sol) : ?

Date : 20/04/06

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure : sommet du tube piézo, au niveau du sol (à vérifier)

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) : 0 m

Côte NGF du repère de mesure (m) :

Date du repère :

Cote du point de nivellement NGF (m) :

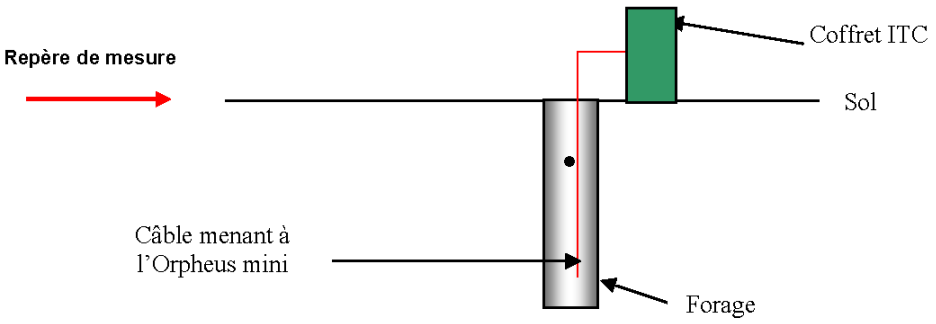
Date du nivellement NGF :

HISTORIQUE DES SUIVIS

Date de début des mesures piézométriques : 23/05/2006

Réseau d'origine : BRGM

SCHEMA DE L'INSTALLATION



EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Abri : forage situé dans un petit cabanon
Fermeture : ALEN de 5 mm
Fixation : bride vissée sur le piézo Ø 5 "

Boîtiers en place :
- un boîtier support ITC

CENTRALE

Marque : OTT
Type : Orpheus mini
Modèle : Base

N° série : 21136
Mise en service : 23/05/06

Capteur de niveau : Sonde pression Orpheus mini (profondeur : -53,4 m, gamme de mesures : 0-20 m)

Alimentation extérieure :Non

Localisation / Situation : Cabanon

TELETRANSMISSION

Modem : type : GSM
modèle : ITC
vitesse : 19200
param : 7N2

Opérateur : SFR

N° d'appel : 06-19-46-13-71

Date de mise en service : 23/05/06

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle :

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

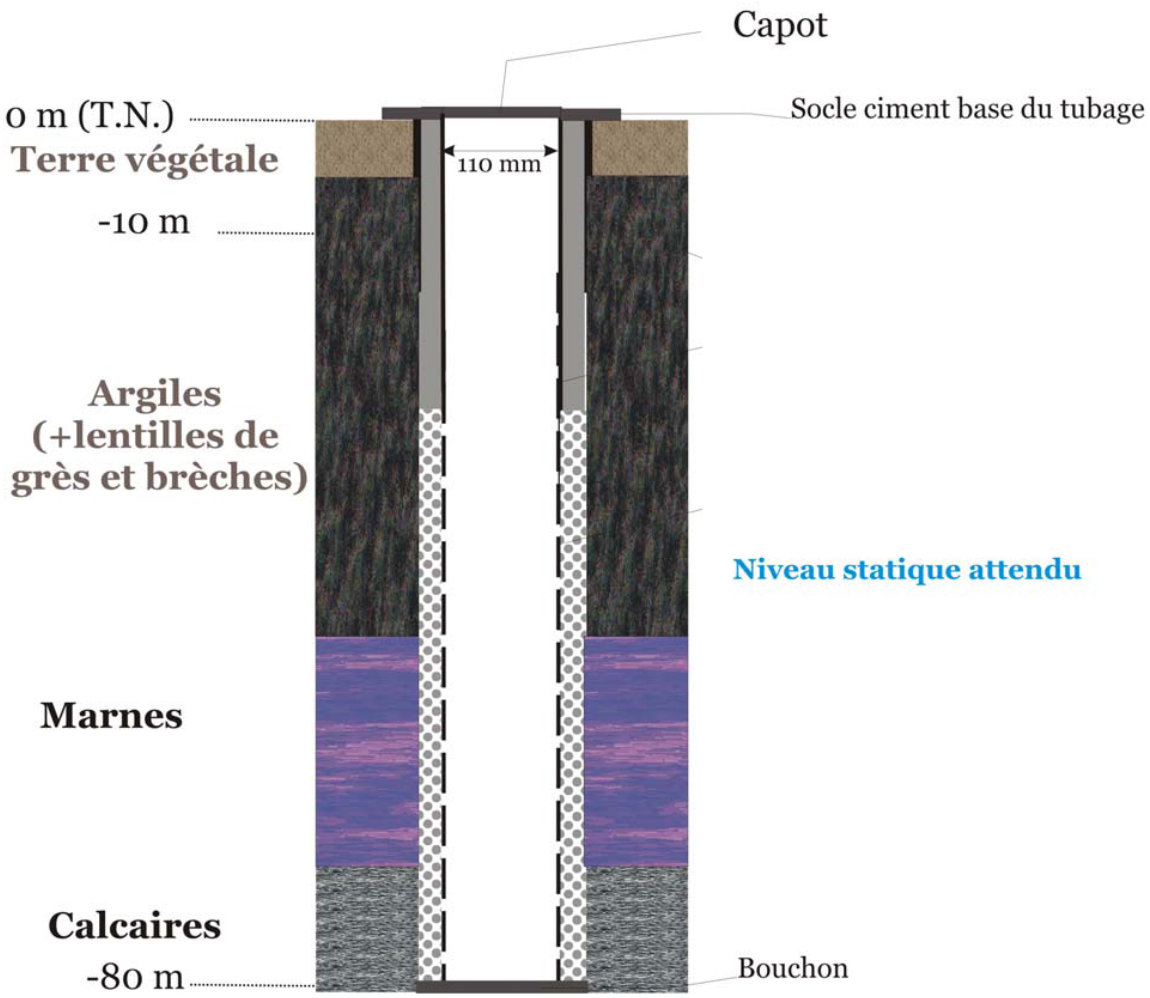
Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

Occupation des sols du bassin versant :

Environnement immédiat du captage : piscine

Coupe géologique : Oui

Coupe lithologique



CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE

Description du chemin d'accès :

Chemin de la crête, quartier longs cols, Fuveau

Conditions d'accès sur l'ouvrage : forage à une dizaine de mètres de la piscine

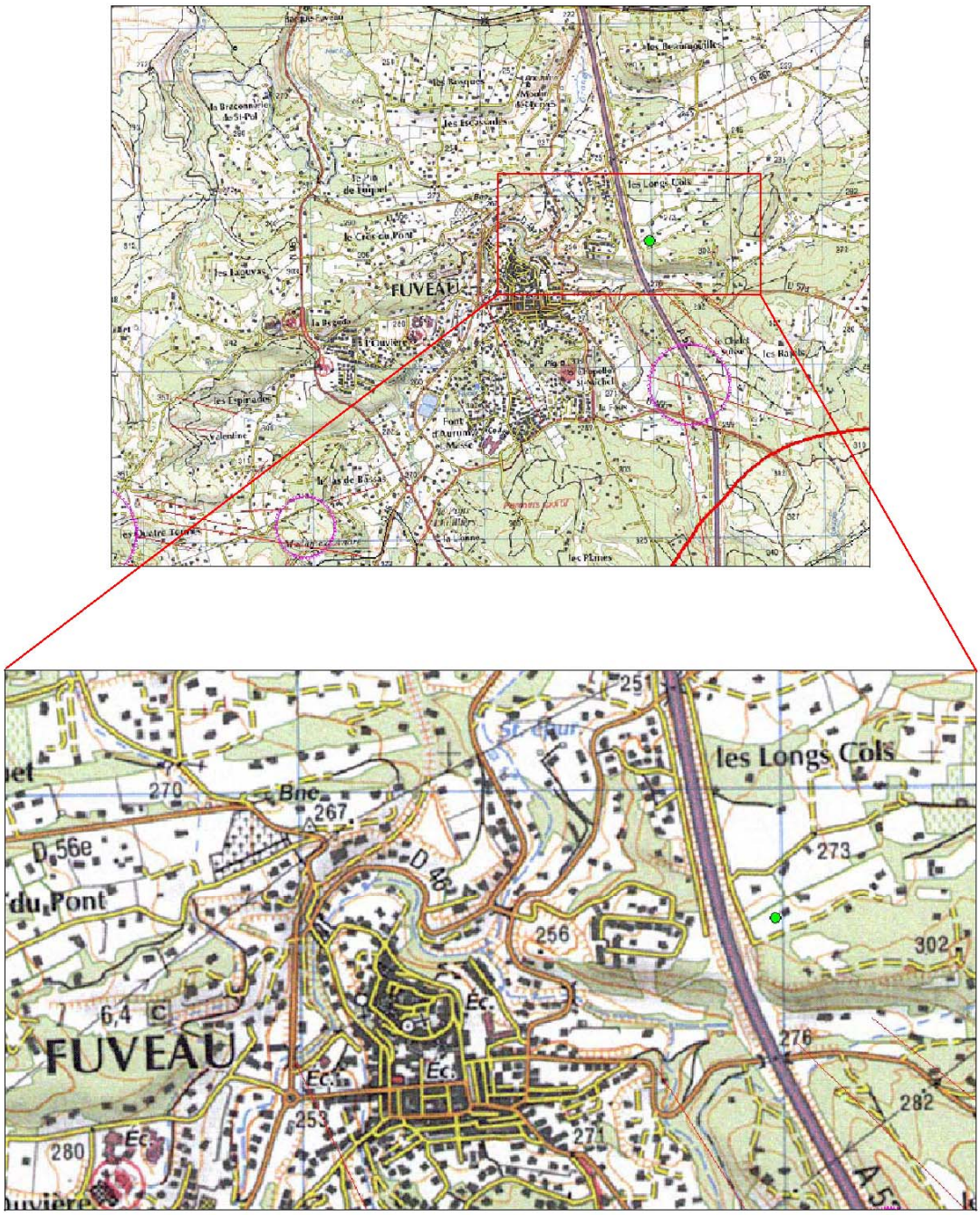


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA02

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA03**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Bégudien - Trets (les Espardinaux)	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Bégudien – Trets (les Espardinaux)

Code station : PBA03

N° BSS : 10218X0220/BA03

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage : 2006

Code du système aquifère :

Nom du système aquifère : Bégudien

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Calcaires bégudiens

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Trets

Lieu Dit : les espardinaux

Coordonnée X : 873 080.8

N° carte IGN : n° 3244 ET Trets

Coordonnée Y : 1 832 359.8

N° carte géologique : 1021 Aix en Provence

Cote sol (m) : 295

Expression de l'altitude : NGF

Zone Lambert : 2E

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle : M. Marzo Michel
Chemin de Grisole (les Espardinaux), 13530 Trets

Existence d'une convention : oui
Date : 23/05/06

Entreprise de forage : ?

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre : M. Marzo 04 42 29 22 46

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Nature des terrains et/ou lithologie traversée : Argiles, marnes, calcaires

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 110 mm

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/sol) : 55

Crépine de l'ouvrage : 4 m

Niveau statique (m/rep) : ?
(m/sol) : ?

Date :

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure : sommet du tube piézo, sous dalle de béton située au niveau du sol

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) :

Côte NGF du repère de mesure (m) :

Date du repère :

Cote du point de nivellement NGF (m) :

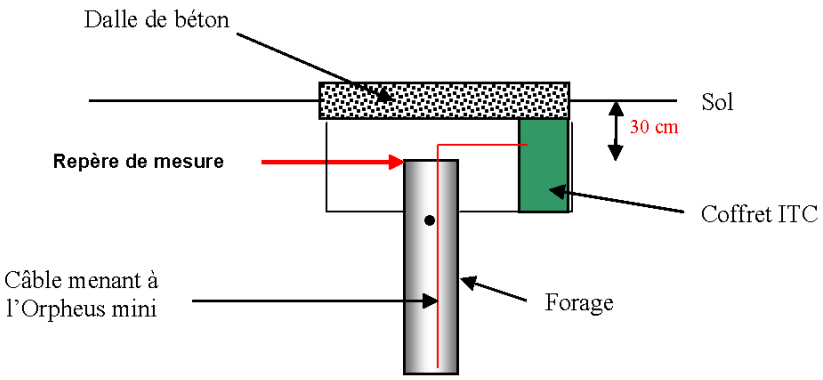
Date du nivellement NGF :

HISTORIQUE DES SUIVIS

Date de début des mesures piézométriques : 23/05/06

Réseau d'origine : BRGM

SCHEMA DE L'INSTALLATION



EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Abri : forage situé dans un petit cabanon
Fermeture : ALEN de 5 mm
Fixation : bride vissée sur le piézo Ø 5 "

Boîtiers en place :
- un boîtier support ITC

CENTRALE

Marque : OTT
Type : Orpheus mini
Modèle : Base

N° série : 21136
Mise en service : 23/05/06

Capteur de niveau : Sonde pression Orpheus mini (profondeur : -53,4 m, gamme de mesures : 0-20 m)

Alimentation extérieure :Non

Localisation / Situation : Cabanon

TELETRANSMISSION

Modem : type : GSM
modèle : ITC
vitesse : 19200
param : 7N2

Opérateur : SFR

N° d'appel : 06-19-46-13-71

Date de mise en service : 23/05/06

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle :

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

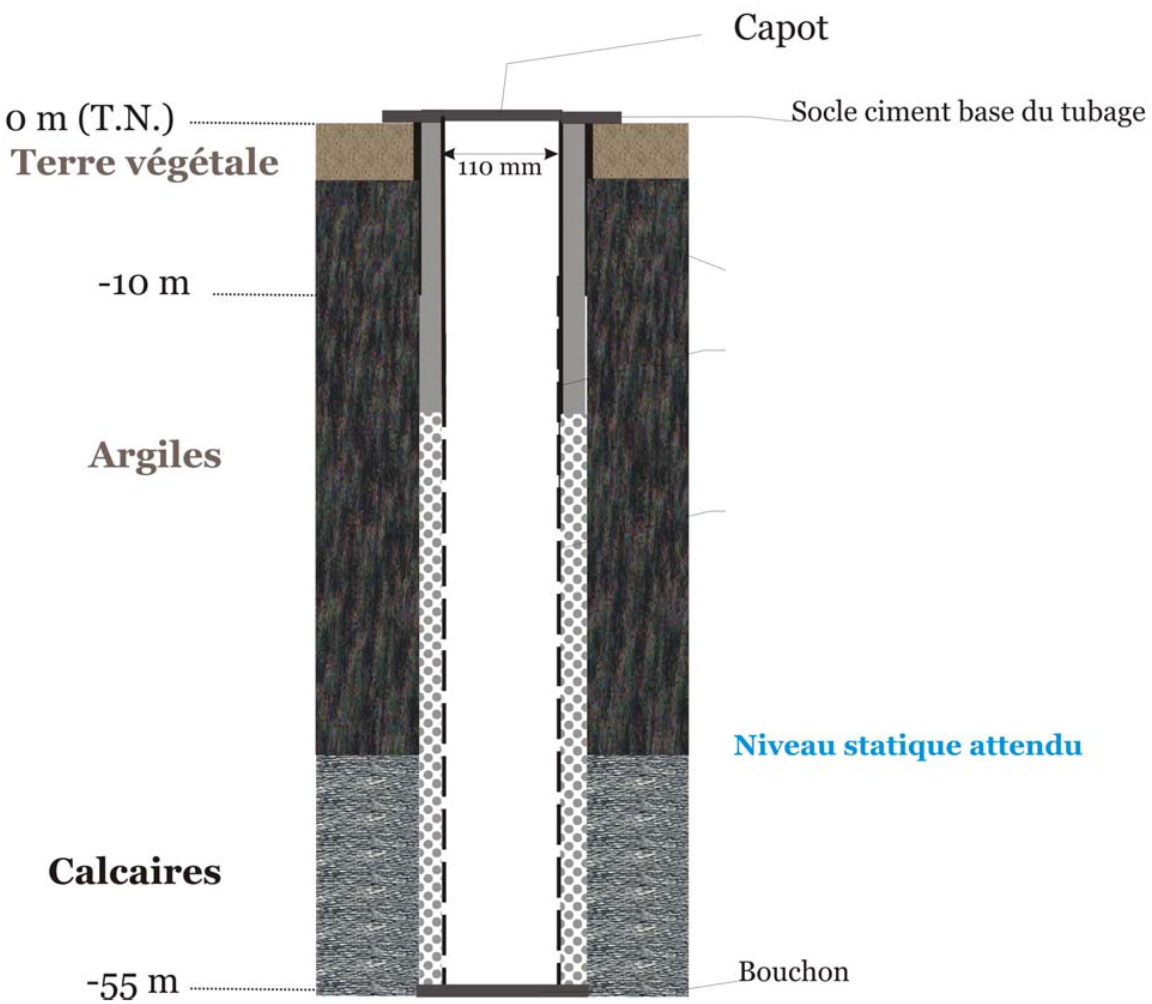
Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

Occupation des sols du bassin versant :

Environnement immédiat du captage : piscine

Coupe géologique : Oui

Coupe lithologique

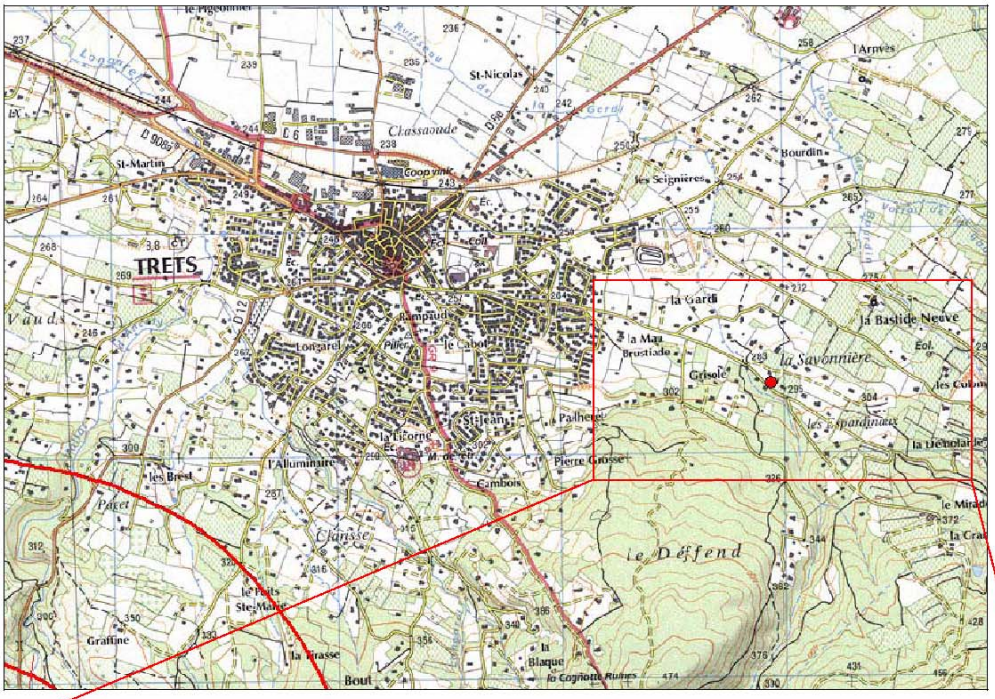


CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE

Description du chemin d'accès :

Route communale partant vers l'est de Trets (lieu dit : « la savonnière »)

Conditions d'accès sur l'ouvrage :



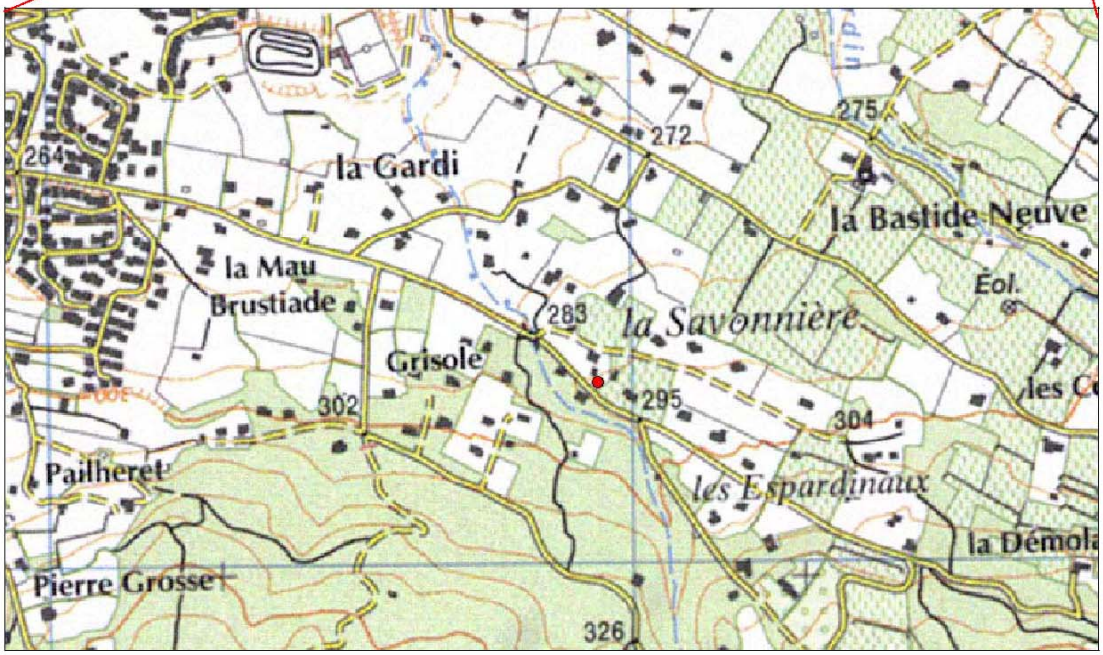


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA03

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA04**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Fuvélien - Pourrières	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Fuvélien – Pourrières (le Gourd de la Tune)

Code station : PBA04

N° BSS : 10214X0187/BA04

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage : 2006

Code du système aquifère :

Nom du système aquifère : Fuvélien

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Calcaires fuvéliens

LOCALISATION DE L'OUVRAGE

Région : PACA

Département : 83

Commune : Pourrières

Lieu Dit : le Gourd de la Tune

Coordonnée X : 874 847.4

N° carte IGN : n° 3244 ET Trets

Coordonnée Y : 1 841 192.7

N° carte géologique : 1021 Aix en Provence

Cote sol (m) : 340

Expression de l'altitude : NGF

Zone Lambert : 2E

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle : M. BOUSQUET Jérôme
Route de Rians, 83910 Pourrières

Existence d'une convention : oui
Date : 23/05/06

Entreprise de forage : ?

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre : M. Bousquet 06-12-04-44-46

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Puits

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Nature des terrains et/ou lithologie traversée : Calcaires

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 1 m 50

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/sol) : 6/7 m

Crépine de l'ouvrage : ?

Niveau statique (m/rep) : - 4 m 92
(m/sol) : - 4 m 12

Date : 21/03/06

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure : sommet du puits, 80 cm au dessus du sol

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) : + 0.8 m

Côte NGF du repère de mesure (m) :

Date du repère :

Cote du point de nivellement NGF (m) :

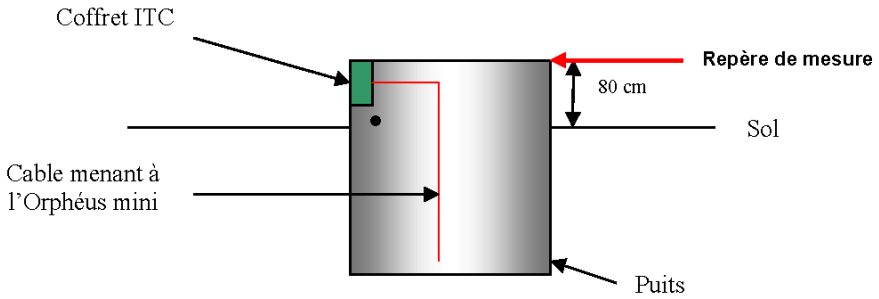
Date du nivellement NGF :

HISTORIQUE DES SUIVIS

Date de début des mesures piézométriques : 23/05/06

Réseau d'origine : BRGM

SCHEMA DE L'INSTALLATION



EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Abri :
Fermeture : ALEN de 5 mm
Fixation : bride vissée sur le piézo Ø 5 "

Boîtiers en place :
- un boîtier support ITC

CENTRALE

Marque : OTT
Type : Orpheus mini
Modèle : Base

N° série : 21137
Mise en service : 23/05/06

Capteur de niveau : Sonde pression Orpheus mini (profondeur = 6,20 m gamme 0-10 m)

Alimentation extérieure :Non

Localisation / Situation : à 20 m de la maison de M. Bousquet.

TELETRANSMISSION

Modem : type : GSM
modèle : ITC
vitesse : 19200
param : 7N2

Opérateur : Orange

N° d'appel : 06-74-53-70-12

Date de mise en service : 23/05/06

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle :

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

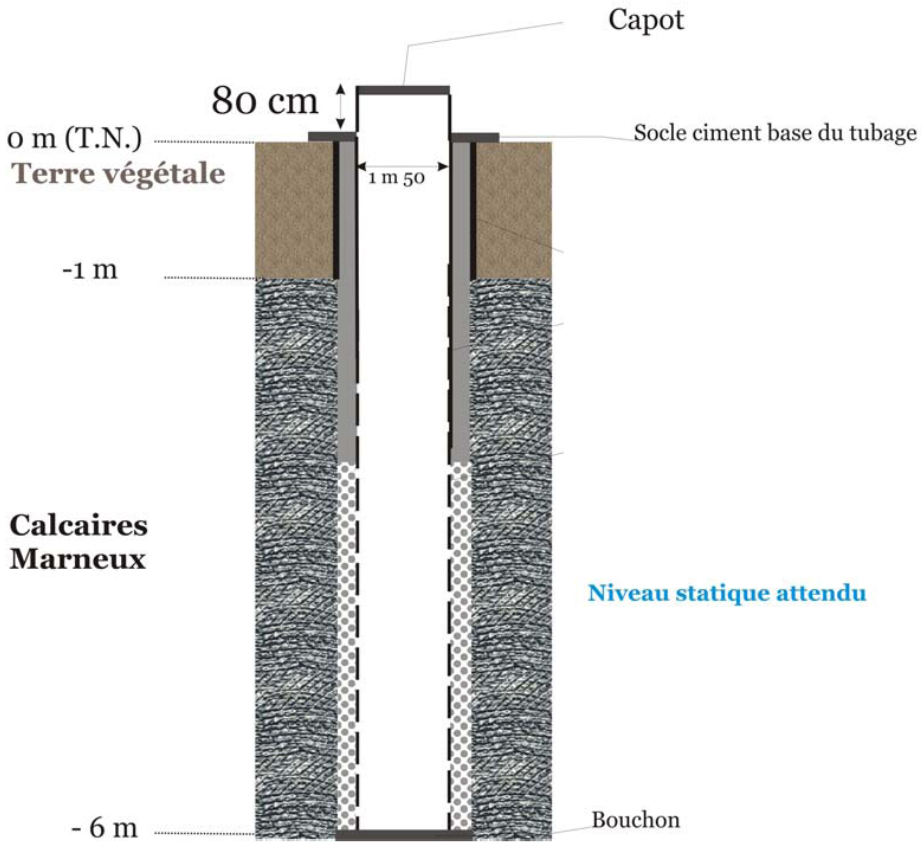
Occupation des sols du bassin versant :

Environnement immédiat du captage : Forêt

Coupe géologique : Oui

- Etude hydrogéologique du bassin d'Aix – Gardanne : fiche de piézomètre -

Coupe lithologique



CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE

Description du chemin d'accès :

Route de Rians

Conditions d'accès sur l'ouvrage : pas de clôture, accès libre

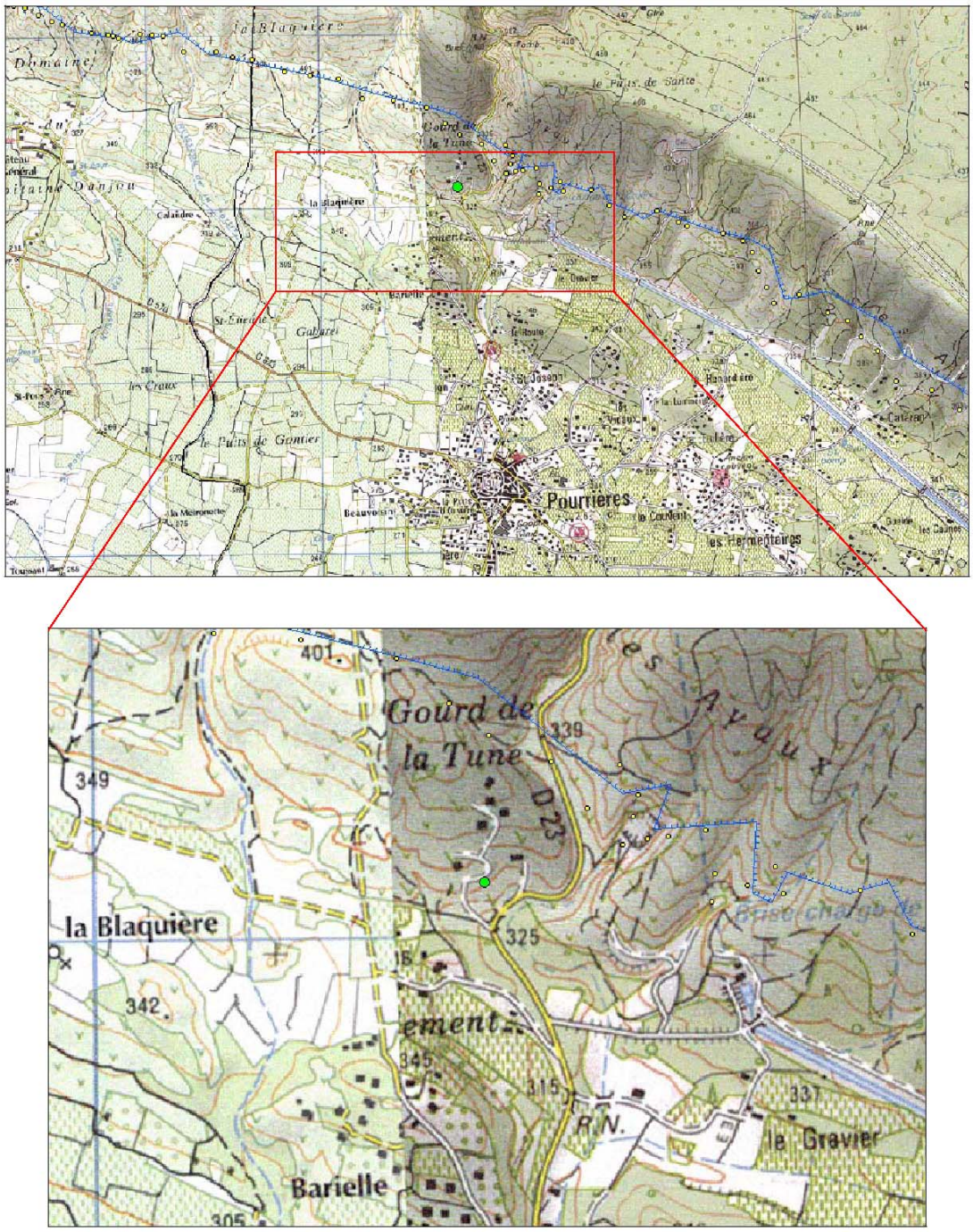


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA04

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA05**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Bassin de l'Arc	N° inventaire BRGM **PYXX**

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : « La Truiterie enchantée »

Code station : 165003

N° BSS : 10225X0008

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage :

P M :

Nom du système aquifère :

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Jurassique autochtone

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 83

Commune : Pourcieux

Lieu dit : Chemin de Barjols

Coordonnée X : 881 090

Numéro de parcelle :

Coordonnée Y : 1 835 210

N° carte géologique : 1021 E

Cote sol (m) : 383

N° carte IGN : 3344 O

Zone Lambert : 2 E

Expression de l'altitude : EPD

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle: M. Oliveira Tél.: 04 94 86 53 13
Adresse : la « Truiterie enchantée », chemin de Barjols, 83470 Pourcieux

Existence d'une convention : oui
Date :

Entreprise de forage :

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre :
Propriétaire M. Oliveira

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Lithologie traversée ou nature des terrains : Calcaires Jurassique sous le calcairebégudien

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage :

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/margelle) : 215 m

Crépine de l'ouvrage : 20/30 premiers m

Niveau statique (m/rep) :
(m/sol) :

Date de mesure : 20/10/2005

Pompe à -213 m

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure :

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) :

Côte NGF du repère de mesure (m) : 373

Date du repère :

Cote NGF du point de nivellement (m) :

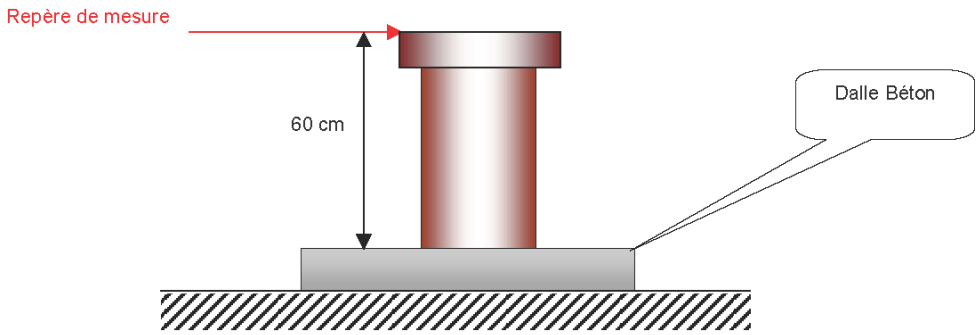
Date du nivellement :

HISTORIQUE DES PRELEVEMENTS

Date : 31/01/06

Infos récoltées : T°C, conductivité, PH, alcalinité, red/ox, élèments majeurs, traces, isotopes, ^{18}O

SCHEMA DE L'INSTALLATION



Station PBA05 *Pourcieux – la Truiterie Enchantée*

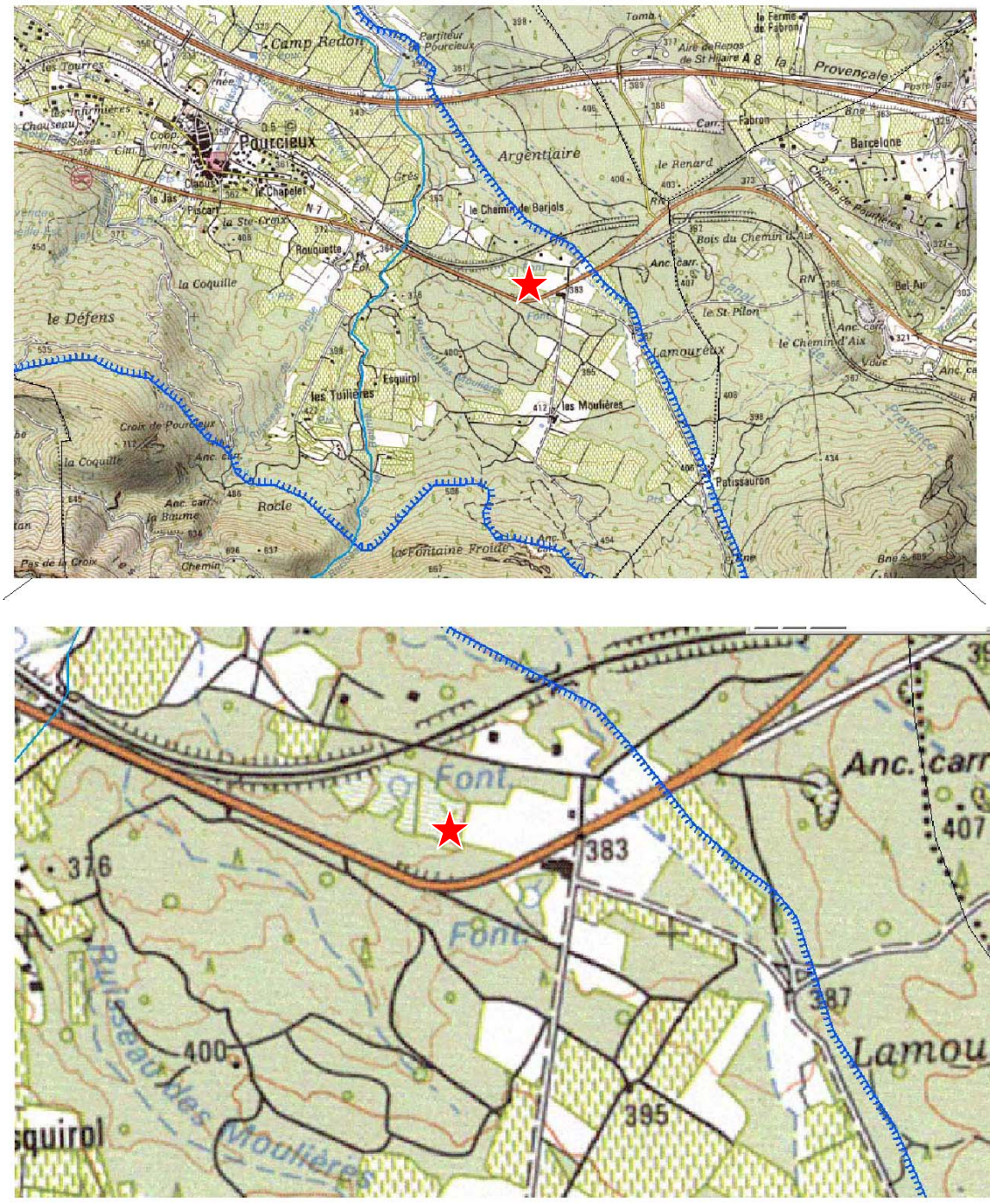


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA05

Pourcieux – la Truiterie Enchantée *Station PBA05*

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA06**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Bassin de l'Arc	N° inventaire BRGM **PYXX**

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Trets – Kirbon

N° BSS : 10217X0223

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage : 2006

Nom du système aquifère : Formations Bassin Aix

Nom du sous-système aquifère : calcaires du Jurassique

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Trets

Lieu dit : Kirbon

Coordonnée X : 869 757

Numéro de parcelle :

Coordonnée Y : 1 829 332

N° carte géologique : 1021 E

Cote sol (m) : 420

N° carte IGN : 3344 O

Zone Lambert : 2 E

Expression de l'altitude : EPD

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle: M. Jean-Pierre Hugues – Quartier Paget, Graffine – 13530 Trets

Existence d'une convention : oui
Date : 13-05-2006

Entreprise de forage : FORASUD

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre :
Accès libre

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Lithologie traversée ou nature des terrains : Calcaires Jurassiques

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 6''

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/margelle) : 150 m

Crépine de l'ouvrage : 30 premiers m

Niveau statique (m/rep) : 125
(m/sol) :

Date de mesure : 16/05/2006

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure : haut du tubage

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) :

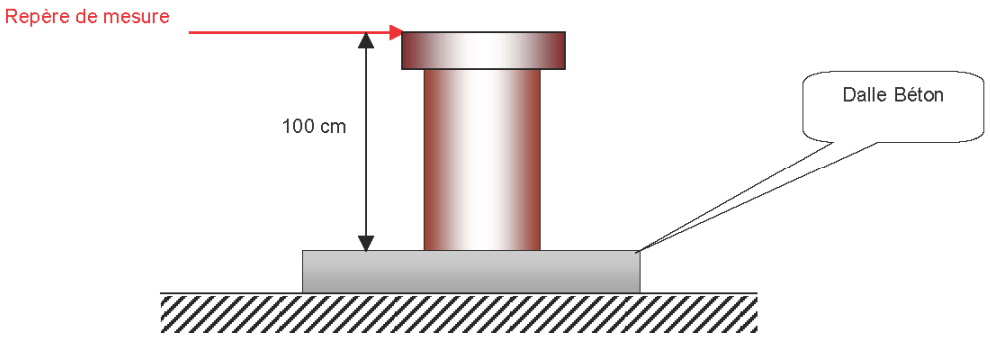
Côte NGF du repère de mesure (m) : 421

Date du repère :

Cote NGF du point de nivellement (m) :

Date du nivellement :

SCHEMA DE L'INSTALLATION



CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle : Aucun

Station PBA06 *Trets – Kirbon*

- Etude hydrogéologique du bassin d'Aix – Gardanne : fiche de piézomètre -

Sens d'écoulement de la nappe : *a priori* S - N

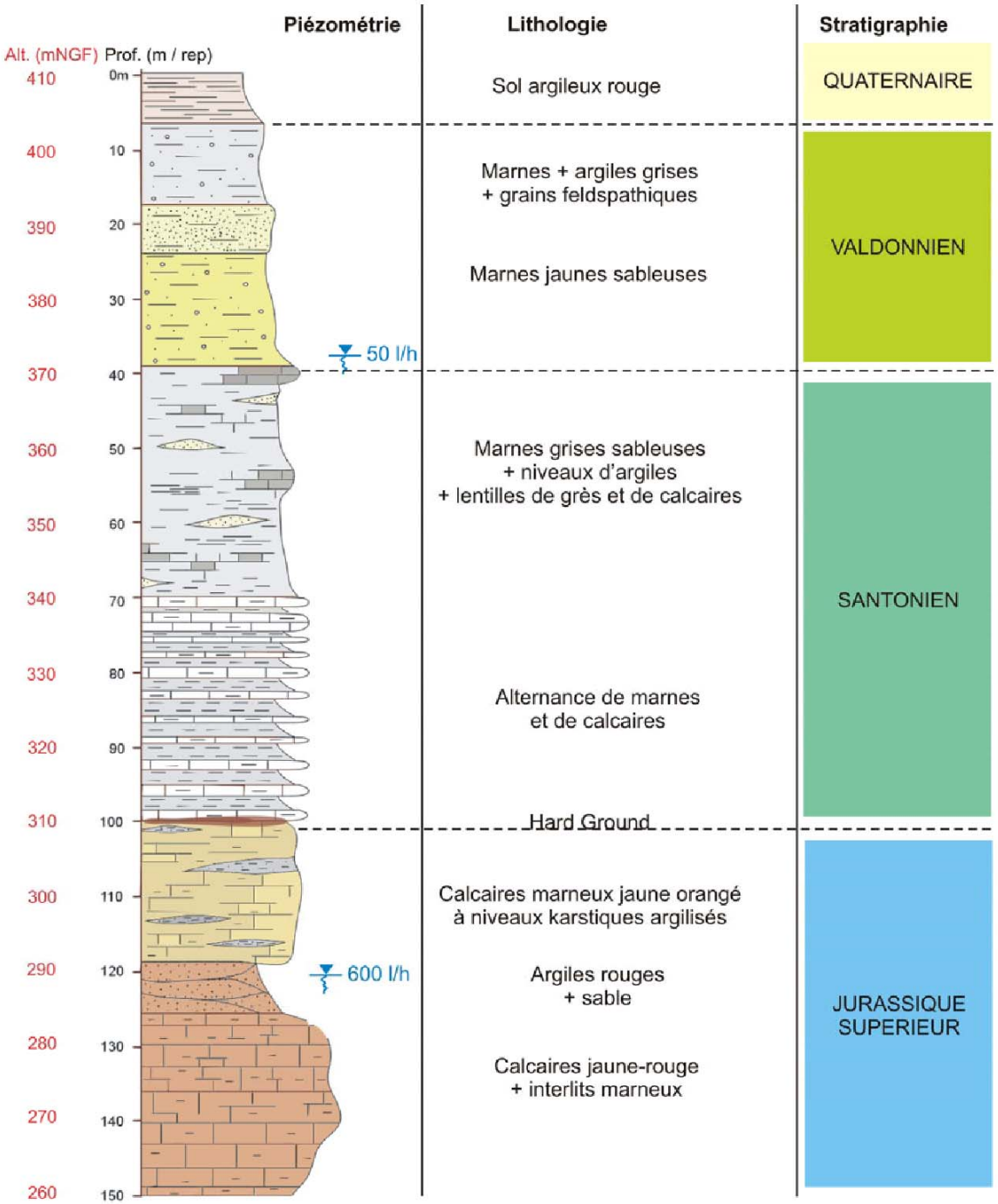
Recouvrement de l'aquifère : Quaternaire à Crétacé

Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage : environ 100 m

Occupation des sols du bassin versant : parcelles agricoles

Environnement immédiat du captage : vignes et parcelles cultivées

Coupe géologique :



Trets – Kirbon *Station PBA06*

CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE	Plan de situation :
Description du chemin d'accès : Petit chemin de terre sur 400 m depuis la RD 12 avant l'entrée dans Kirbon Conditions d'accès sur l'ouvrage : chemin un peu défoncé dans les vignes : attention par temps de pluie.	Voir ci après

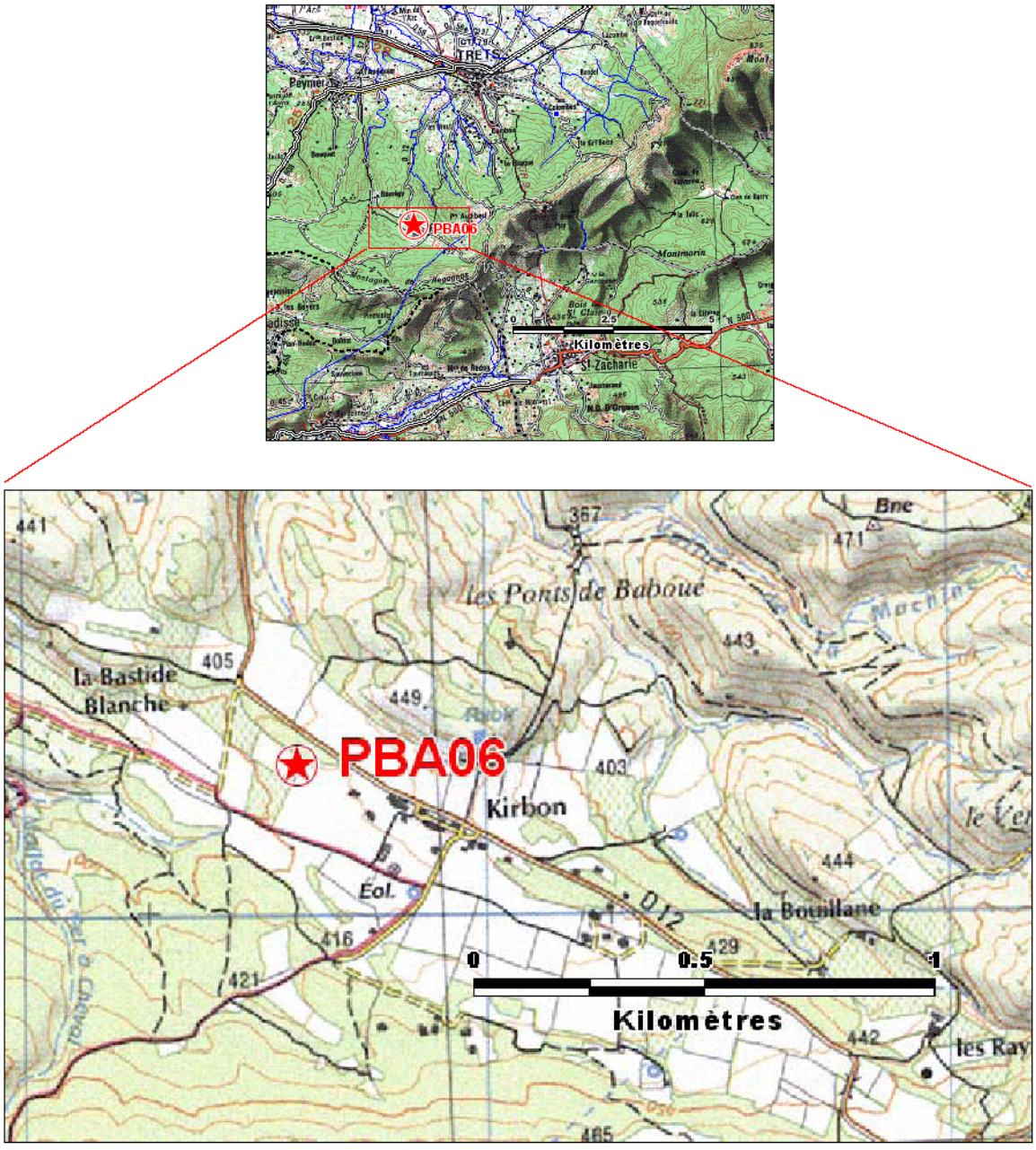


ILLUSTRATION : LOCALISATION DU PIEZOMETRE PBA06

Station PBA06 *Trets – Kirbon*

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements** **Station PBA07**	Unité responsable **SGR PACA** **Marseille**
	Bassin de l'Arc	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Trets « Les Vauds »

Code station : 165004

N° BSS : 10218X0195

Nature de l'ouvrage : Forage

Année de réalisation de l'ouvrage :

P M :

Nom du système aquifère :

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Fuvélien

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Trets

Lieu dit : Les vaux

Coordonnée X : 869 988

Numéro de parcelle :

Coordonnée Y : 1 832 456

N° carte géologique : 1021

Cote sol (m) : 278

N° carte IGN : 3344 E

Zone Lambert : 2 E

Expression de l'altitude : EPD

Statut administratif de l'ouvrage

Propriétaire de la parcelle: M. Boyer

Existence d'une convention : oui
Date :

Entreprise de forage :

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre :
M. Boyer 04 42 61 46 92 boyer.jeanrene@neuf.fr

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Forage

Usage de l'ouvrage : Domestique

Lithologie traversée ou nature des terrains : Fuvélien

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage :

Profondeur maximale de l'ouvrage (m/margelle) : 60

Crépine de l'ouvrage :

Niveau statique (m/rep) : 13.5
(m/sol) :

Date de mesure :

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure :

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) :

Côte NGF du repère de mesure (m) :

Date du repère :

Cote NGF du point de nivellement (m) :

Date du nivellement :

HISTORIQUE DES PRELEVEMENTS

Date : 06/02/06

Infos récoltées : T°C, conductivité, PH, alcalinité, red/ox, élèments majeurs, traces, isotopes, ^{18}O

SCHEMA DE L'INSTALLATION

- Etude hydrogéologique du bassin d'Aix – Gardanne : fiche de piézomètre -

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle :

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

Occupation des sols du bassin versant :

Environnement immédiat du captage :

Coupe géologique :

CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE

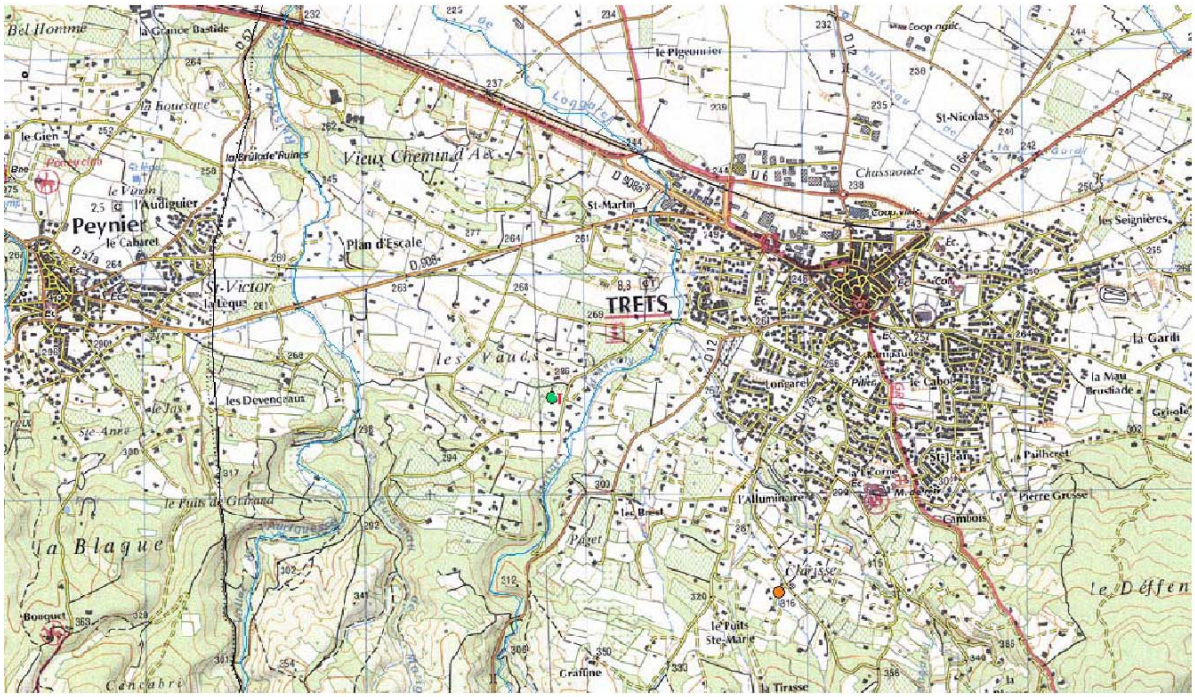
Description du chemin d'accès :

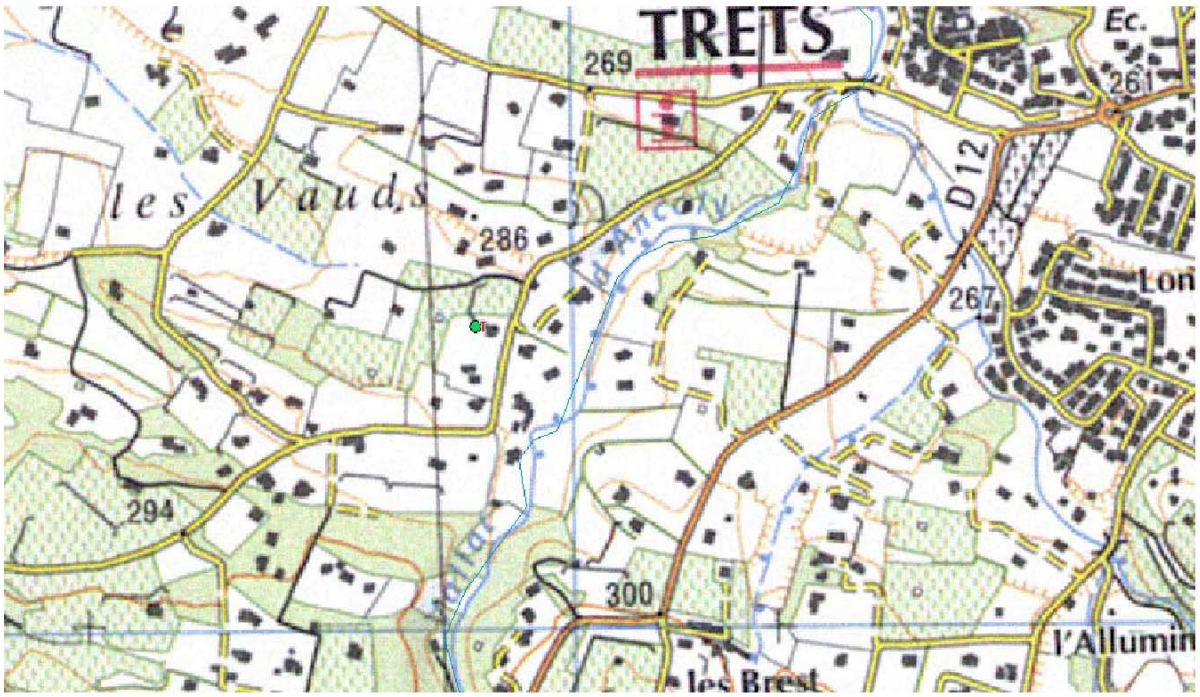
Route

Conditions d'accès sur l'ouvrage :

Plan de situation :

Voir page suivante.





Trets – les Vauds *Station PBA07*

BRGM Qualité	**Fiche de renseignements Station PBA08**	Unité responsable **SGR PACA Marseille**
	Fuveau – la Grande Bastide	

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE

Nom usuel : Fuveau – la Grande Bastide

Code station : 165001

N° BSS : 10212X0029/P1

Nature de l'ouvrage : Puits

Année de réalisation de l'ouvrage : 1968

Code du système aquifère : 165

Nom du système aquifère : Bassin d'Aix

Nom du sous-système aquifère :

Nom de l'aquifère : Niveaux grèseux du Bégudien

LOCALISATION DE L' OUVRAGE

Région : PACA

Département : 13

Commune : Fuveau

Lieu Dit : Grande Bastide

Coordonnée X : 860 009

N° carte IGN :

Coordonnée Y : 3 135 225

N° carte géologique :

Cote sol (m) : 214,50

Expression de l'altitude : NGF

Zone Lambert : 3

STATUT ADMINISTRATIF DE L'OUVRAGE

Propriétaire de la parcelle : Mme EEKOUT
Mas de la Grande Bastide
13040 FUVEAU

Existence d'une convention : non
Date :

Entreprise de forage :

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage ou accès libre :

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Type d'ouvrage : Puits

Usage de l'ouvrage : Piézomètre

Nature des terrains et/ou lithologie traversée : Niveaux grèseux du Bégudien

Diamètre int. tête de puits :

Diamètre int. utile de l'ouvrage : 9 m

Profondeur maximale de l'ouvrage (m) : 7,50 (sous margelle)

Crépine de l'ouvrage :

Niveau statique (m/rep) : - 3,28
(m/sol) : - 2,78

Date de mesure : 04/04/05

COTES DES REPERES

Nature du repère de mesure avec la sonde : Bord de la margelle au droit du capteur

Hauteur du repère de mesure par rapport au sol (m) : 0,50

Côte NGF du repère de mesure (m) : 215

Date du repère : 09/07/98

Cote NGF du point de nivellement (m) : 215

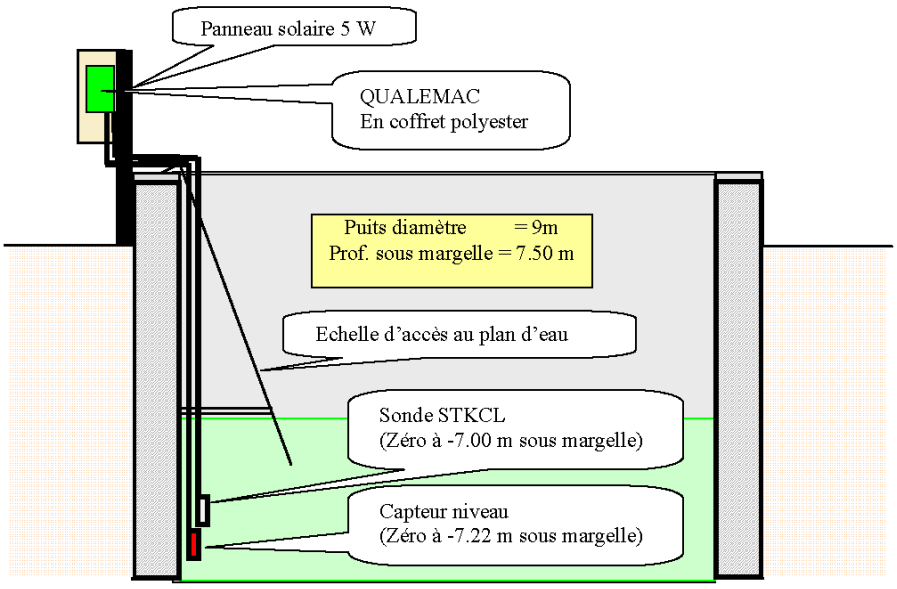
Date du nivellement :

HISTORIQUE DES SUIVIS

Date de début des mesures piézométriques : 09/07/98

Réseau d'origine : DIREN

SCHEMA DE L'INSTALLATION



Station PBA08 *Fuveau – la Grande Bastide*

EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE

Abri : Coffret polyester
Fermeture : RONIS
Fixation : sur châssis

CENTRALE

Marque : OTT
Type : Logosens

N° série : 197874

Mise en service : 15/09/07 (remplacement matériel AUTEG

Capteur de niveau : DRUCK type PTX 110D N°3124
Zéro à – 7,22m sous margelle

Alimentation extérieure : Panneau solaire n° 960221

Localisation / Situation : dos coffret

TELETRANSMISSION

Modem : Type : GSM
Modèle : GENER
Vitesse : 9600b/s
Param. :

Opérateur : SFR

N ° d'appel : 06.23.21.08.76 (data)
06.23.21.02.95 (vocal)

Date de mise en service : 12/06/03

CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUVRAGE

Relation nappe / eau superficielle : Niveaux gréseux du Bégudien

Sens d'écoulement de la nappe :

Recouvrement de l'aquifère :

Epaisseur du recouvrement au droit de l'ouvrage :

Occupation des sols du bassin versant :

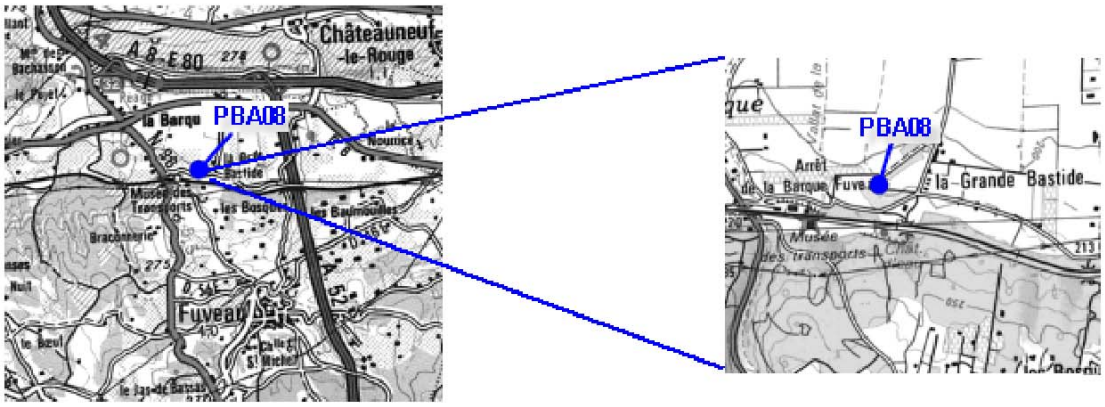
Environnement immédiat du captage :

Coupe géologique : non

Fuveau – la Grande Bastide *Station PBA08*

- Etude hydrogéologique du bassin d'Aix – Gardanne : fiche de piézomètre -

CONDITIONS D'ACCES A L'OUVRAGE	Plan de situation :
Description du chemin d'accès : Prendre le chemin de terre à gauche, avant le hameau et contourner la maison par la gauche. Portail fermé à clef. Aller chercher la clé chez Mme Eekout dans le hameau. Se procurer la clé du boîtier RONIS. Faire élagage de temps en temps pour dégager le panneau solaire Conditions d'accès sur l'ouvrage : En voiture jusqu'au puits.	Voir ci-dessous



Annexe 2

Campagne de prélèvements des eaux du bassin d'Aix-Gardanne en janvier 2006 : bordereaux d'analyses du laboratoire du BRGM

Géosciences pour une Terre durable
brgm

LE N° 1-0251
cofrac
ESSAIS

RAPPORT D'ESSAIS 06-6-008-A / 2

Provenance : BASSIN AIX	**Demandeur :** MOULIN Marc
Nature échantillon : EAU **Nombre:** 25	**Adresse:** SAR/GGR ME/SGR PAC 117, avenue de Luminy B.P. 168 13276 MARSEILLE CEDEX 09 France
Echantillons réceptionnés le : 09/02/2006	
Analyses commencées le : 10/02/06	
Référence commande : PSP05PAC08|1	

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Analyse chimique des eaux et micropolluants métalliques	T.CONTE
Réception et préparation des échantillons	V.RUFFIER

Résultats validés par le(s) responsable(s) de laboratoire

Visa: F.AUGUSTIN Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17 Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 20-AVR-2006

Nombre de pages: 17

>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation qui sont identifiés par le symbole *. Laboratoire agréé par le Ministère de l'écologie et du developpement durable au titre de l'année 2006 (Analyse d'eaux ou des sédiments - agrément 1-2-3-4-5-9-10). Les incertitudes des paramètres accrédités peuvent être fournis sur demande.

Siège
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique
3, avenue Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2 - France
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02.38.64.35.18

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

brgm

LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : Analyse chimique des eaux et micropolluants métalliques

Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO002**	**MAR-04**	Analyse des métaux en infratraces par ICP-MS.
Bore		Brome	
Iode		Strontium	
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**MO108**		Analyse d'éléments traces par ICP/MS.
*Al (Aluminium)		*Ba (Baryum)	
*Li (Lithium)			
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 10304**		Méthode par chromatographie ionique(DIONEX)selon NF EN ISO 10304-1 (Juin 1995) pour les eaux faiblement contaminées et NF EN ISO 10304-2 pour les eaux usées (Sept 1996). Evaluation des aires des pics.
*Cl (Chlorures)		*F (Fluorures)	
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)		*SO4 (Sulfates)	
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 11732**	**AOU-97**	Détermination de l'azote ammoniacal dans les eaux par analyse en flux(FFA et FIA) et détection spectrométrique.
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)			
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 11885**	**MAR-98**	Analyse par ICP - spectrométrie d'émission.
*Ca (Calcium)		*Fe (Fer)	
*K (Potassium)		*Mg (Magnésium)	
*Na (Sodium)		*SiO2 (Silice)	
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 6878**	**AVR-05**	Analyse des orthophosphates selon §4 et du phosphore total selon §7 de la norme : méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)			
Le mode opératoire est utilisé pour doser :	**NF EN ISO 9963-1**	**FEV-96**	Alcalinité TA/TAC par potentiométrie selon NF EN ISO 9963-1, CO3/HCO3 calculés à partir des valeurs de l'alcalinité (hypothèse alcalinité uniquement due à CO3, HCO3)
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)		CO3 (Carbonates)	
HCO3 (Bicarbonates)			

le : 20-AVR-2006 Page 2

brgm
LISTE DES MODES OPERATOIRES

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

* : éléments analysés dans le cadre de l'accréditation COFRAC

Le mode opératoire est utilisé pour doser : *NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	**NF EN 26777**	**MAI-93**	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.
Le mode opératoire est utilisé pour doser : *PH (pH)	**NF T 90-008**	**FEV-01**	Méthode à l'électrode de verre.

Commentaire du laboratoire :

Ce rapport annule et remplace celui édité le 24/03/2006 (ajout du paramètre TAC et rectification valeurs Cl, NO3 et SO4 sur échantillons 4, 6 et 8).

Br analysé par chromatographie ionique.
I analysé par colorimétrie.

Commentaire général :

Les échantillons reçus non conditionnés selon les recommandations en vigueur (normes d'analyses ou norme NF EN ISO 5667-3) font l'objet d'un commentaire du laboratoire. Le mode et la durée de conservation avant réception au laboratoire sont de la responsabilité de l'organisme préleveur.
Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client.
Pour les solides : résultats exprimés sur matière sèche.
RESULTATS : les limites de quantification ont été estimées sur des matrices synthétiques ou des solutions étalon. Elles sont susceptibles d'être modifiées en fonction de la nature des échantillons
Les résultats sont donnés avec une incertitude estimée de 5 à 20% relative selon le paramètre considéré et son niveau de concentration. Les incertitudes propres à chaque paramètre peuvent être fournies sur demande.
UNITES : elles peuvent être différentes selon les éléments
g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l), ng/l (1ng/l=0.001µg/l)
% (pourcentage massique)
mg/kg (1mg/kg=0.0001%), µg/kg (1µg/kg=0.001mg/kg)
µg=microgramme, ng=nanogramme

le : 20-AVR-2006 Page 3

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058896 1 A-Source de la papeterie 31/01/20	200058897 2 B-Pourcieux 01/02/2006	200058898 3 C-Source de l'Argens 01/02/200	200058899 4 D-Source des Gavôts 01/02/200
*PH (pH)	U	3	8.10	7.35	7.95	8.15
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	6.13	6.04	6.81	6.86
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	102.2	116.3	128.7	243.0
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	13.9	13.0	6.6	30.5
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	4.9	13.0	3.1	26.4
*K (Potassium)	mg/l	0.5	< 0.5	0.6	< 0.5	9.7
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	374	369	415	419
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	9.6	25.6	7.7	53.9
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	2.5	2.7	2.7	14.3
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	13.1	33.0	11.1	305
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.5
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	0.01	< 0.01	0.01	0.03
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	< 0.1	0.2	< 0.1	0.3
Brome	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
*Al (Aluminium)	µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	10.8	17.0	8.5	282.1
*Ba (Baryum)	µg/l	5	16	114	9	43
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02

le : 20-AVR-2006 Page 4

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	2000589005 E-Les roques hautes 31/01/200	2000589016 F-La Pible 30/01/2006	2000589027 G-Fuveaux 30/01/2006	2000589038 H-Bouteille 31/01/2006
*PH (pH)	U	3	8.20	7.70	8.05	8.10
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	5.24	6.73	6.80	4.89
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	99.6	253.5	160.8	71.3
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	6.8	32.0	20.6	11.9
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	6.8	16.7	13.3	3.5
*K (Potassium)	mg/l	0.5	< 0.5	2.3	0.8	0.9
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	319	411	415	298
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	13.9	38.2	32.5	6.0
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	2.0	15.9	15.2	< 0.5
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	17.0	356	98.8	< 0.5
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	< 0.01	0.01	< 0.01	< 0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	< 0.1	0.2	0.2	0.3
Brome	mg/l	0.1	< 0.1	0.3	< 0.1	< 0.1
*Al (Aluminium)	µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	11.7	119.4	71.6	10.1
*Ba (Baryum)	µg/l	5	17	60	114	5
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	3.06

le : 20-AVR-2006 Page 5

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058904 9 I-Chemin des savoyards 31/01/2	200058905 10 J-La Grande Bastide 01/02/200	200058906 11 Rebrond 31/01/2006	200058907 12 L-Arc Aval 02/02/2006
*PH (pH)	U	3	7.85	7.75	8.40	8.45
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	4.84	6.30	6.24	5.68
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	149.8	163.9	13.1	154.2
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	5.9	19.5	8.1	18.9
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	28.1	23.1	207.1	22.7
*K (Potassium)	mg/l	0.5	0.9	1.0	2.0	3.3
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	0.5
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	296	384	381	346
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	77.4	50.7	86.7	47.3
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	1.1	27.9	1.2	21.8
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	99.7	117.1	87.9	129.5
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.3
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	< 0.01	< 0.01	0.03	0.12
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	0.2	0.2	2.7	0.2
Brome	mg/l	0.1	< 0.1	0.5	0.3	0.2
*Al (Aluminium)	µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	50.1	165.7	207.9	53.6
*Ba (Baryum)	µg/l	5	27	136	22	64
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	0.10	< 0.02	< 0.02	< 0.02

le : 20-AVR-2006 Page 6

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058908 13 M.Bouc 2 31/01/2006	200058909 14 N-M.Sambuc 02/02/2006	200058910 15 O-S.Sambuc 02/02/2006	200058911 16 P-La Nourrice 01/02/2006
*PH (pH)	U	3	9.75	8.00	7.65	7.55
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	9.76	4.82	6.25	6.27
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	10.5	79.3	100.3	186.6
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	0.9	12.3	17.1	38.2
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	338.7	5.8	4.0	23.6
*K (Potassium)	mg/l	0.5	0.6	< 0.5	< 0.5	0.6
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	124	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	344	294	381	382
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	33.0	12.4	10.0	68.4
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	2.1	2.3	1.8	149.5
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	208.4	15.0	15.6	131.9
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	4.9	< 0.1	< 0.1	0.2
Brome	mg/l	0.1	0.2	< 0.1	< 0.1	0.2
*Al (Aluminium)	µg/l	10	1258	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	171.3	6.4	6.5	73.3
*Ba (Baryum)	µg/l	5	6	11	13	109
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02

le : 20-AVR-2006 Page 7

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058912 17 Q-St Jean 31/01/2006	200058913 18 R-Sceaux 02/02/2006	200058914 19 S-Arc amont 02/02/2006	200058915 20 T-Les Vaux 06/02/2006
*PH (pH)	U	3	8.00	7.65	8.60	7.40
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	5.55	6.39	6.06	7.97
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	110.4	109.2	117.8	168.8
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	13.9	19.1	17.4	59.2
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	15.6	7.8	9.1	101.2
*K (Potassium)	mg/l	0.5	10.8	1.5	1.7	3.5
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	0.2
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	339	390	370	486
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	25.3	19.0	21.7	120.4
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	9.2	14.3	8.7	16.3
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	50.9	23.3	47.1	275.4
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	0.7	< 0.1	0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	0.03	< 0.01	0.07	0.04
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	0.5	< 0.1	0.1	0.2
Brome	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.4
*Al (Aluminium)	µg/l	10	12	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	209.6	16.7	18.9	150.4
*Ba (Baryum)	µg/l	5	50	27	57	60
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02	< 0.02	0.03	0.07

le : 20-AVR-2006 Page 8

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058916 21 U-Bouc 30/01/2006	200058917 22 V-Galerie PM:7.2 07/02/2006	200058918 23 W-Galerie PM:8.9 08/02/20	200058919 24 X-Galerie PM:9.9 09/02/2006
*PH (pH)	U	3	8.15	8.40	8.05	8.20
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	5.96	5.50	6.34	5.82
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	200.2	80.0	89.4	85.2
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	19.6	28.3	27.4	25.5
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	69.9	7.7	5.4	5.0
*K (Potassium)	mg/l	0.5	1.2	< 0.5	< 0.5	0.6
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5	< 5	< 5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	364	336	387	355
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	156.5	18.4	12.0	9.9
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	25.8	3.1	1.9	6.7
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	167.3	31.3	26.1	26.5
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Brome	mg/l	0.1	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1
*Al (Aluminium)	µg/l	10	< 10	< 10	< 10	< 10
Bore	µg/l	1	134.1	13.3	11.5	13.0
*Ba (Baryum)	µg/l	5	88	13	13	13
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02

le : 20-AVR-2006 Page 9

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	200058920 25 Z-P.Arc 01/02/2006
*PH (pH)	U	3	8.35
*TAC (Titre Alcalimétrique Complet)	me/l	0.05	5.73
*Ca (Calcium)	mg/l	0.5	91.4
*Mg (Magnésium)	mg/l	0.5	17.6
*Na (Sodium)	mg/l	0.5	6.7
*K (Potassium)	mg/l	0.5	0.7
*NH4 (Ammonium exprimé en NH4)	mg/l	0.1	< 0.1
CO3 (Carbonates)	mg/l	5	< 5
HCO3 (Bicarbonates)	mg/l	5	349
*Cl (Chlorures)	mg/l	0.5	11.3
*NO3 (Nitrates exprimés en NO3)	mg/l	0.5	2.0
*SO4 (Sulfates)	mg/l	0.5	19.3
*PO4 (OrthoPhosphates en PO4)	mg/l	0.1	< 0.1
*NO2 (Nitrites exprimés en NO2)	mg/l	0.01	0.11
*F (Fluorures)	mg/l	0.1	< 0.1
Brome	mg/l	0.1	< 0.1
*Al (Aluminium)	µg/l	10	< 10
Bore	µg/l	1	12.6
*Ba (Baryum)	µg/l	5	15
*Fe (Fer)	mg/l	0.02	< 0.02

le : 20-AVR-2006 Page 10

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058896 1 A-Source de la papeterie 31/01/20	200058897 2 B-Pourcieux 01/02/2006	200058898 3 C-Source de *Argens 01/02/200	200058899 4 D-Source des Gavôts 01/02/200
*Li (Lithium)	µg/l	10		< 10	< 10	< 10	18
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		6.9	6.7	5.2	17.5
Strontium	µg/l	1		273	227	121	1812
Iode	µg/l	2		< 2	11	< 2	6

le : 20-AVR-2006 Page 11

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058900 5 E-Les roques hautes 31/01/200	200058901 6 F-La Pible 30/01/2006	200058902 7 G-Fuveaux 30/01/2006	200058903 8 H-Bouteille 31/01/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		< 10	28	< 10	< 10
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		4.9	18.9	9.1	2.4
Strontium	µg/l	1		147	2921	819	245
Iode	µg/l	2		2	4	5	33

le : 20-AVR-2006 Page 12

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058904 9 I-Chemin des savoyards 31/01/2	200058905 10 J-La Grande Bastide 01/02/200	200058906 11 Rebrond 31/01/2006	200058907 12 L-Arc Aval 02/02/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		< 10	11	41	12
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		8.6	9.5	9.0	7.5
Strontium	µg/l	1		395	691	442	535
Iode	µg/l	2		6	8	163	16

le : 20-AVR-2006 Page 13

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058908 13 M.Bouc 2 31/01/2006	200058909 14 N-M.Sambuc 02/02/2006	200058910 15 O-S.Sambuc 02/02/2006	200058911 16 P-La Nourrice 01/02/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		< 10	< 10	< 10	13
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		2.2	4.0	4.5	9.2
Strontium	µg/l	1		47	92	84	1850
Iode	µg/l	2		970	77	< 2	7

le : 20-AVR-2006 Page 14

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058912 17 Q-St Jean 31/01/2006	200058913 18 R-Sceaux 02/02/2006	200058914 19 S-Arc amont 02/02/2006	200058915 20 T-Les Vaux 06/02/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		15	< 10	< 10	26
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		13.3	7.0	6.6	6.9
Strontium	µg/l	1		504	176	256	3100
Iode	µg/l	2		3	< 2	2	7

le : 20-AVR-2006 Page 15

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058916 21 U-Bouc 30/01/2006	200058917 22 V-Galerie PM:7.2 07/02/2006	200058918 23 W-Galerie PM:8.9 08/02/20	200058919 24 X-Galerie PM:9.9 09/02/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		15	< 10	< 10	< 10
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		14.4	5.4	5.1	5.4
Strontium	µg/l	1		796	129	91	109
Iode	µg/l	2		8	< 2	< 2	< 2

le : 20-AVR-2006 Page 16

brgm **TABLEAU DE RESULTATS**

Id soumission : 100008513 Rapport d'essais : 06-6-008-A / 2

Elément	Unité	LQ*	Lims Labo Client	200058920 25 Z-P.Arc 01/02/2006
*Li (Lithium)	µg/l	10		< 10
*SiO2 (Silice)	mg/l	0.5		6.2
Strontium	µg/l	1		204
Iode	µg/l	2		< 2

* LQ : Limite de quantification

FIN DU RAPPORT D'ESSAIS

le : 20-AVR-2006 Page 17

Géosciences pour une Terre durable
brgm

RAPPORT D'ESSAIS 06-6-008-B

V/Réf. : **Informations sur le(s) échantillon(s) :** - Date début d'analyse : 24/04/06 - Date de réception : 19/04/2006 - Nombre: 13 - Nature : EAU SOUTERRAINE - Auteur prélèvement:	**A l'attention de :** MOULIN Marc SAR/GGR ME/SGR PAC 117, avenue de Luminy B.P. 168 13276 MARSEILLE CEDEX 09 France **Télécopie n°** .

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire thermoionisation et comptage alpha	C.GUERROT

Validé le 22-MAI-2006 par Catherine GUERROT

Approuvé par Françoise AUGUSTIN, Responsable enregistrement et suivi des dossiers d'analyses

Nbr pages : 2

REÇU
Le 29 MAI 2006
Répondu le .....

Note importante :
Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.
Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.

BRGM - 3, avenue Claude Guillemin - BP 6009 - 45060 Orléans, cedex 2, France
Service Métrologie, Monitoring, Analyse - Unité Chimie Isotopique
Téléphone : (33) 02.38.64.35.57 - Télécopie : (33) 02.38.64.37.11

SERVICE METROLOGIE,
MONITORING, ANALYSE
Id soumission : 100008981
N° Etude : 06-6-008-B

Laboratoire de thermoionisation et comptage alpha

Orléans le 22/05/2006

RESULTATS D'ANALYSES

Objet : Analyse isotopique du Sr sur 13 échantillons d'eau du bassin d'Aix.
Demandeur : Marc MOULIN SAR / SGR / PAC

Demande du : 19/04/2006
Fait le : 22/05/2006

Détermination des rapports isotopiques $^{87}Sr/^{86}Sr$
Analyse sur mono filament W

n°Labo	n°Client	$^{87}Sr/^{86}Sr$	2σ(m)
253	A - Source de la papeterie 31/01/06	0.707848	0.000008
254	B - Pourcieux 01/02/06	0.709751	0.000009
255	D - Source des Gâvots 01/02/06	0.708000	0.000009
256	F - La Pible 30/01/06	0.707768	0.000008
257	G - Fuveaux 30/01/06	0.708254	0.000009
258	H - Bouteille 31/01/06	0.707450	0.000007
259	J - La Grande Bastide 01/02/06	0.708347	0.000007
260	O - S. Sambuc 02/02/06	0.708077	0.000008
261	T - Les Vaux 06/02/06	0.708922	0.000010
262	U - Bouc 30/01/06	0.708341	0.000007
263	W - Galerie PM : 8.9 07/02/06	0.708250	0.000008
264	X - Galerie PM : 9.9 07/02/06	0.708226	0.000008
265	Z - P. Arc 01/02/06	0.707946	0.000009

La valeur obtenue sur 5 déterminations du standard NBS987 analysé durant cette période est de 0.710243 ± 11 (2σ)
La valeur certifiée du standard est de 0.710240. Les rapports mesurés sont normalisés à cette valeur.

103612709.XLS

C. GUERROT

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Orléans, le 10/11/2006

SERVICE METROLOGIE, MONITORING, ANALYSE
Laboratoire Isotopes stables et faible radioactivité

Rapport d'essais 06-6-008-D

Demandeur : M. MOULIN
Projet : PSP05PAC08
tache : 1
Réf. labo : 06E 141 à 153

RESULTATS D'ANALYSES ISOTOPIQUES

Eaux

Destinataire(s) : M. MOULIN SAR/SGR PAC

Archivage : MMA / ISO (06E141-153TDO.doc)

BRGM
MMA / ISO
B.P. 6009 - 45060 Orléans cedex 2 - France

2

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Rapport d'essais 06-6-008-D

Isotopes - eau

Echantillons

Nature : eaux
Date de réception : 14/04/2006

Analyses

Opérateur(s): M ; BOURGEOIS, C. FLEHOC
Date de réalisation : mai –nov. 2006

Mode d'analyse

Mesure des rapports isotopiques de l'hydrogène et de l'oxygène par spectrométrie de masse en phase gazeuse, par la méthode d'équilibration avec un gaz (H_2 pour l'hydrogène, CO_2 pour l'oxygène).

Mesure de l'activité du tritium, après enrichissement électrolytique, par comptage β sur compteur à scintillation liquide (TRI-CARB 2250 CA PACKARD).

Résultats

Nb	Réf. Labo	ECHANTILLON	DATE de Prélèvement	δD ‰ vs SMOW (± 0.8‰)	$\delta^{18}O$ ‰ vs SMOW (± 0.1‰)	Tritium UT
1	06 E 141	A-SOURCE DE LA PAPETERIE	31/01/2006	-46.8	-7.4	5 ± 2
2	06 E 142	B- POURCIEUX	01/02/2006	-31.6	-5.4	6 ± 2
3	06 E 143	D- SOURCE DES GAVOTS	01/02/2006	-38.1	-6.4	5 ± 2
4	06 E 144	F- PIBLE	30/01/2006	-42.5	-6.8	6 ± 2
5	06 E 145	G- FUVEAUX	30/01/2006	-40.0	-6.5	5 ± 2
6	06 E 146	H- BOUTEILLE	31/01/2006	-47.7	-7.5	4 ± 1
7	06 E 147	J- LA GRANDE BASTIDE	01/02/2006	-40.7	-6.4	6 ± 2
8	06 E 148	O- S.SAMBUC	02/02/2006	-43.7	-7.2	4 ± 1
9	06 E 149	T- LES VAUX	06/02/2006	-42.0	-6.4	6 ± 2
10	06 E 150	U- BOUC	30/01/2006	-43.2	-6.7	5 ± 2
11	06 E 151	W- GALERIE	08/02/2006	-44.9	-7.2	6 ± 2
12	06 E 152	X- GALERIE	09/02/2006	-44.2	-7.2	9 ± 2
13	06 E 153	Z- P.ARC	01/02/2006	-46.5	-7.6	6 ± 2

Conservation des échantillons après analyse

Les échantillons (non consommés lors des analyses) sont conservés six mois à compter de la date d'envoi des résultats. Leur destruction est ensuite systématique, sauf avis contraire de la part du demandeur.

c flehoc

C. FLEHOC

3



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional de Provence - Alpes - Côte d'Azur
117 avenue de Luminy BP 168
13276 – Marseille cedex 09 - France
Tél. : 04-91-17-74-77