

Bassin d'Aix-Gardanne : état des connaissances des ressources en eaux souterraines

Rapport d'avancement

BRGM/RP-525/647-FR

octobre 2003

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2003EAUC68

A. Chanut, N. Rampnoux, G. Gonzalez, J. Prévot

Avec la collaboration de
S. Solages, A. Meilhac, N. Dörfliger et F. Hanot

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

Mots clés : Bassin de l'Arc, Bassin d'Aix-Gardanne, Jurassique, Crétacé, GDM, Bibliographie, Inventaire, Forages, SIG.

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

A. Chanut, N. Rampoux, G. Gonzalez, J. Prévot avec la collaboration de S. Solages, A. Meilhac, N. Dörfliger et F. Hanot. Bassin d'Aix-Gardanne : état des connaissances des ressources en eaux souterraines. Rapport d'avancement. BRGM/RP-5252647-FR. Octobre 2003. 114 pages. 11 figures.

© BRGM, 2003, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le BRGM a été chargé de dresser l'état des connaissances des ressources en eau souterraine du Bassin d'Aix Gardanne et de définir un programme d'acquisitions de données complémentaires.

Cette opération a fait l'objet d'une convention de partenariat technique et financier tripartite entre le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, la DIREN Provence-Alpes-Côte d'Azur et le BRGM.

Le bassin d'Aix-Gardanne présente un potentiel en eaux souterraines important mais relativement peu connu, tant sur le plan quantitatif, qualitatif que de ses conditions d'alimentation.

Il s'agit de 2 aquifères superposés : un aquifère multicouche créacé surmontant un aquifère profond jurassique.

Cet ensemble 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.

Ce rapport fait état de l'avancement de l'étude au 31 octobre 2003 : 3 des phases ont été démarrées, sur les 4 que prévoit la convention.

Il s'agit des phases suivantes :

- Phase 1 : Etat des connaissances
- Phase 2 : Enquêtes
- Phase 4 : Elaboration du SIG.

Le présent rapport d'avancement a été établi à l'issue de la première réunion du comité technique restreint qui s'est tenu le 13/11/2003 au Conseil Général.

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

Sommaire

1	INTRODUCTION	7
2	DÉROULEMENT ET AVANCEMENT	9
2-1	DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	9
2.1.1.	État des connaissances géologiques et hydrogéologiques du bassin	9
2.1.2.	Enquête et acquisition des données de terrain	9
2.1.3.	Synthèse et définition d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires	9
2.1.4.	Elaboration du SIG et rapport de synthèse	10
2-2	AVANCEMENT DE L'ÉTUDE	10
3	ETAT DES CONNAISSANCES (PHASE 1)	13
3-1	GÉOGRAPHIE ET LIMITE DE L'ÉTUDE	13
3.1.1.	Limite de l'étude hydrogéologique	13
3.1.2.	Limite de l'étude géologique	13
3-2	GÉOLOGIE	15
3.2.1.	Contexte géologique	15
3.2.2.	Crétacé/Tertiaire	18
3.2.3.	Données géologiques existantes	22
3-3	GÉOPHYSIQUE	27
3-4	EXPLOITATION DES DONNÉES GÉOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES	29
3.4.1.	Intégration dans le programme national de référentiel géologique et de modélisation en 3D	29
3.4.2.	Présentation du logiciel GDM	30
3.4.3.	Modélisation du bassin de l'Arc	31
3-5	HYDROGÉOLOGIE	33
3.5.1.	Contexte hydrogéologique du bassin	33
3.5.2.	Analyse bibliographique	35
3-6	RESTE À FAIRE SUR L'ÉTAT DES CONNAISSANCES	38
4	ENQUÊTES DE TERRAIN (PHASE 2)	39
4-1	MÉTHODOLOGIE	39
4.1.1.	Orientation des enquêtes	39
4.1.2.	Fiche type	40
4.1.3.	Prises de contacts	40
4.1.4.	Visites de terrain	40
4.1.5.	Mise en forme des données	41
4-2	DÉROULEMENT DES ENQUÊTES	41
4.2.1.	Enquêtes auprès des entreprises de forages	41
4.2.2.	Enquêtes auprès des mairies	42
4.2.3.	Autres contacts	43
4-3	PREMIERS RÉSULTATS DES ENQUÊTES DE TERRAIN	45
4.3.1.	Statistiques	45
4.3.2.	Equipement des ouvrages	46
4.3.3.	Potentialités aquifères	46
4.3.4.	Répartition spatiale des ouvrages	46
4.3.5.	Reste à faire sur l'enquête de terrain	49
5	PRÉSENTATION DU SIG (PHASE 4)	51
5-1	MODÈLE CONCEPTUEL DE DONNÉES (MCD) DE RÉFÉRENCE	51
5-2	DONNÉES	51
5-3	AVANCEMENT ET RESTE À FAIRE	54
6	CONCLUSION	55

Liste des figures

FIGURE 1: PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE	12
FIGURE 2 : CADRE GÉOLOGIQUE DU BASSIN	14
FIGURE 3 : COUPE SYNTHÉTIQUE DU BASSIN (D'APRÈS M. BATHIARD)	16
FIGURE 4 : LITHOSTRATIGRAPHIE DE L'ENSEMBLE DU BASSIN.....	17
FIGURE 5: LOGS SYNTHÉTIQUES DES TERRAINS DU BASSIN DE L'ARC ET DU FUVÉLIEN (MONTAUD 1990).....	18
FIGURE 6 : COUPES GÉOLOGIQUES DU BASSIN DE L'ARC	20
3.2.3.2. FIGURE 7 : POSITIONNEMENT DES SONDAGES BSS (SUPÉRIEURS À 100 M) ET HBCM	23
FIGURE 8 : CARTES GÉOLOGIQUES VECTORISÉES	24
FIGURE 9 : COURBES DE NIVEAU DE LA GRANDE MINE.	26
FIGURE 10 : TRACÉ DES COUPES GÉOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE	26
FIGURE 11 : TRACÉS DES PROFILS GÉOPHYSIQUES.....	28
FIGURE 12 : COUPE HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN (CHALUMEAU 2000).....	32
FIGURE 13 : LOG HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN (D'APRÈS CHALUMEAU, 2000).....	34
FIGURE 14 : RÉPARTITION DES OUVRAGES.....	44
FIGURE 15 : RÉSEAU DE LA SCP ET RÉPARTITION DES FORAGES	48
FIGURE 16 : STRUCTURE DU SIG.....	50
FIGURE 17 : RELATIONS ENTRE LES TABLES DE LA BASE DE DONNÉES.	52

Liste des annexes

ANNEXE 1 LEXIQUE	59
ANNEXE 2 GÉOLOGIE	65
<i>Annexe 2-1 Sédiments fluviolacustres du Crétacé supérieur, du Paléocène et de l'Eocène dans le synclinal de l'Arc (Région d'Aix-en-Provence)</i>	67
<i>Annexe 2-2 Présentation de GDM : illustrations</i>	96
ANNEXE 3 BIBLIOGRAPHIE : EXEMPLE DE FICHE	99
ANNEXE 4 ENQUÊTES DE TERRAIN	101
<i>Annexe 4-1 Fiche d'enquête</i>	102
<i>Annexe 4-2 Exemple de fiche de terrain renseignée</i>	107
<i>Annexe 4-3 Liste des mairies contactées</i>	110

1 Introduction

Par la convention n° 3608 du 25 mars 2003, signée avec la DIREN PACA et le Conseil Général des Bouches-du-Rhône, le BRGM a été 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.

Ont été créés, pour mener à bien cette opération :

Un comité de suivi technique comportant :

- **Conseil Général 13** : Mme Béatrice ORELLE, Mme Claudine TREZZY, M. Sauveur AMICO, M. Benjamin DURAND, M. Olivier DUBOUT, M. Eric SCHHMOUL, M. Christian BERIDOT ;
- **DIREN PACA** : M. Guy VALENCIA,
- **BRGM** : M. Nicolas RAMPNOUX, M. Serge SOLAGES ;
- **Université de Provence** : M. Jean PHILLIP ;
- **Université Paris VIII** : M. Eric GILLI ;
- **Conseil Régional PACA** : M. Claude HOLYST ;
- **SGAR Préfecture de Région** : M. Philippe LASALLE ;
- **HBCM** : M. Jean-Henri STOVEN ;
- **Agence de l'Eau RMC** : M. Laurent CADILHAC, M. Alain BRANDEIS ;
- **SCP** : M. Jean-François CLOAREC ;
- **DDASS** : M. Gérard GIROUIN ;
- **Chambre d'Agriculture 13** : M. Claude BAURY ;
- **SEM** : M. Thierry JALABERT, M. Jean FOULQUIER ;
- **MISE** : M. Gaël LE SCAON ;
- **DRIRE** : M. Robert MOUNIER ;
- **SABA** : Mme Célin VAIRON.

Un comité technique restreint comportant :

- **Conseil Général 13** : Mme Béatrice ORELLE, Mme Claudine TREZZY ;
- **BRGM** : M. Nicolas RAMPNOUX, M. Serge SOLAGES ;
- **DIREN PACA** : M. Guy VALENCIA ;
- **Université de Provence** : M. Jean PHILLIP ;
- **Université Paris VIII** : M. Eric GILLI ;
- **Conseil Régional PACA** : M. Claude HOLYST ;
- **HBCM** : M. Jean-Henri STOVEN ;
- **Agence de l'Eau RMC** : M. Laurent CADILHAC

Le bassin d'Aix-Gardanne correspond à l'amont de la vallée de l'Arc. C'est une cuvette topographique aux formes régulières, s'insérant entre les chaînes montagneuses de Sainte Victoire au Nord, des Bois de Pourrières à l'Est de l'Aurélien et de l'Etoile au Sud ; une zone de collines, franchie par l'Arc, la limite à l'Ouest.

Ce bassin 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 que la sécurisation de l'alimentation soient étudiées.

Cette idée a d'ailleurs été reprise dans le "Schéma d'alimentation en eau potable des Bouches du Rhône" réalisé par le Conseil Général des Bouches-du-Rhône.

Enfin, la fermeture prévue en 2005 de la Mine de Gardanne, apporte des interrogations concernant l'évolution des niveaux piézométriques et des débits drainés par les travaux ainsi que son impact sur les ressources du bassin, en fonction des options qui seront prises.

Les données issues de l'exploitation de la mine (prospection, travaux, comptes-rendus, études.....) sont exploitées comme appui important à la connaissance de la géologie et de la structure du système.

En ce qui concerne l'aquifère du Crétacé, les mesures de la remontée des eaux actuellement observées et programmées apporteront des informations très importantes sur ce réservoir.

Ce rapport est un **rapport d'avancement** de l'étude, il est destiné à faire le point sur les réalisations et le reste à faire à fin du mois d'octobre 2003.

2 Déroulement et avancement

Sont présentés, dans ce chapitre, le déroulement de l'étude, ainsi que l'état d'avancement, qui seront développés dans les chapitres suivants.

2-1 DEROULEMENT DE L'ETUDE

L'étude est scindée en 4 phases, prévues initialement dans la convention tripartite pour, initialement, quasiment s'enchaîner les unes à la suite des autres :

2.1.1. État des connaissances géologiques et hydrogéologiques du bassin

Il s'agit d'une phase de rassemblement des données géologiques et hydrogéologiques existantes auprès des différents organismes : DIREN, Agence de l'Eau, BRGM, Conseil Général, Universités, les services compétents dans le cadre de la MISE, le SABA, la SEM, la SCP, les HBCM ainsi que les communes du périmètre de l'étude.

Ceci en vue de dresser **l'état des connaissances du bassin aquifère**.

Ces données sont soit ponctuelles (coupe de sondages, analyses d'eau – mesures piézométriques et débits), soit synthétiques (rapports d'étude, de synthèse, expertises, notes, dossiers administratifs sur les ouvrages existants –puits, forages-,...).

2.1.2. Enquête et acquisition des données de terrain

Il s'agit d'un inventaire des points d'eau existants, les informations sont acquises chez les particuliers et/ou d'autres sources d'information (foreurs, DDAF, DDASS, syndicats...).

L'enquête vise à recenser de la manière la plus homogène possible, conforter et compléter les données existantes sur les ouvrages privés en général non déclarés dans la Banque des Données du Sous-sol (forages/puits) et à rechercher des informations supplémentaires.

2.1.3. Synthèse et définition d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires

Cette partie de l'étude visera d'une part à établir, à partir des informations recueillies, une première synthèse hydrogéologique de l'ensemble du bassin.

D'autre part, on établira la faisabilité technique et financière d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires en vue d'approfondir la connaissance des ressources potentielles du Bassin d'Aix. Ce programme sera soumis à l'ensemble des partenaires de l'opération.

2.1.4. Elaboration du SIG et rapport de synthèse

Dans le cadre de l'opération, on conçoit et instruit un système d'information géographique comportant l'ensemble des informations organisé en modèle conceptuel de données qui pourra être enrichi avec l'avancement des connaissances.

Ce SIG sera remis, à terme, aux partenaires de l'opération qui le souhaiteront

2-2 AVANCEMENT DE L'ETUDE

Lors du démarrage de l'étude, il est apparu nécessaire de démarrer simultanément les phases 1 et 2, afin de permettre une meilleure complémentarité des informations recueillies.

En outre, lorsque les premières données ont commencé à être recueillies et interprétées, il est apparu nécessaire de les stocker aux moyens d'outils adaptés à leur utilisation future, c'est à dire un SIG qui initialement devait être élaboré en phase 4.

La phase 4 a donc démarré plus tôt que prévu avec la définition de la structure du SIG et son élaboration. Ceci permet aux données récoltées en phases 1 et 2 d'être directement exploitables par le SIG dès l'engagement du projet.

Les phases 1, 2 et 4 sont donc en cours actuellement (au 31 octobre 2003).

Leur avancement est présenté dans les chapitres ci-après.

En revanche, la phase 3 ne pourra démarrer qu'une fois les phases 1 et 2 achevées.

A l'issue de ces 4 phases, un rapport synthétique final sera rédigé et fourni avec les différents documents graphiques et les fichiers de données ponctuelles, ainsi que les fichiers informatiques.

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

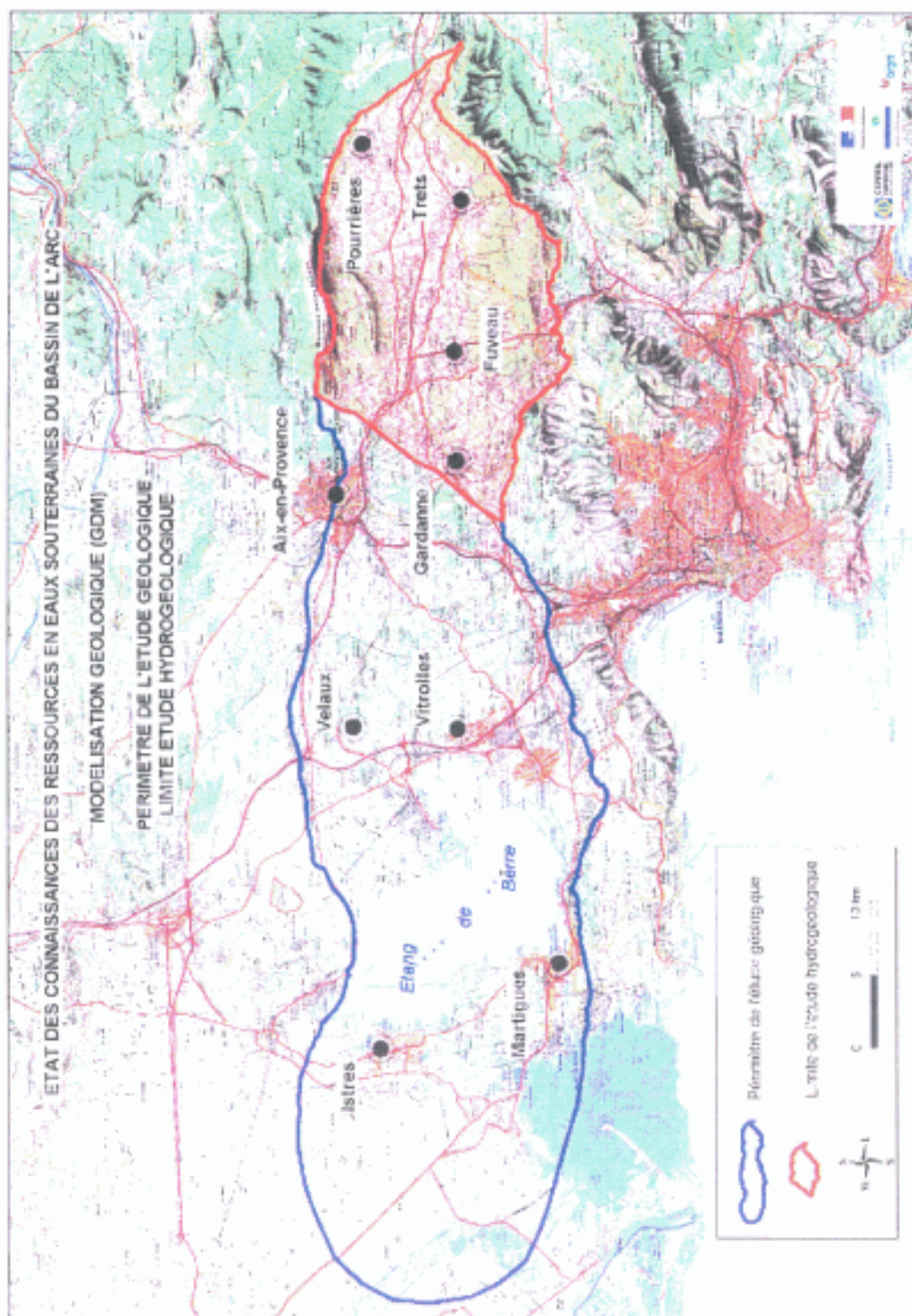


Figure 1: Périmètre de l'étude géologique et hydrogéologique

3 Etat des connaissances (phase 1)

3-1 GEOGRAPHIE ET LIMITE DE L'ETUDE

Le bassin de l'Arc prend le nom de la rivière qui le traverse sur 60 kilomètres de long, de Pourcieux à l'Est à l'Etang de Berre à l'Ouest (Figure 1).

Ses bordures méridionales et septentrionales correspondent à des reliefs peu élevés près de l'Etang de Berre, plus vigoureux plus à l'est et côté nord :

- Près de l'Etang: collines de la Fare et d'Eguilles au Nord, de la Nerthe au Sud
- A l'Est : chaînons de l'Etoile, de l'Olympe, de l'Aurélien,
- Côté Nord : Montagne de la Sainte Victoire, culminant à 1 011 m, alors que la plus grande partie du bassin présente une altitude comprise entre 0 et 300 m.

La ville d'Aix-en-Provence est bâtie en bordure du bassin.

3.1.1. Limite de l'étude hydrogéologique

La limite de l'étude hydrogéologique (Figure 1 ci-contre) correspond à l'ensemble Crétacé et Jurassique du Bassin d'Aix, identifié dans le SDAGE RMC :

- "**Crétacé du bassin d'Aix**", défini comme "système aquifère du bassin d'Aix constitué d'une alternance de couches calcaires, argileuses ou marneuses d'âge crétacé et tertiaire formant un système multicouche".
- "**Jurassique d'Aix**", "système aquifère constitué de formations calcaires d'âge jurassique moyen et supérieur".

Ces entités, dont les limites se superposent, couvrent une superficie d'environ 250 km².

L'étude hydrogéologique se limite donc à la partie amont du bassin versant de l'Arc, en intégrant la zone d'alimentation des réserves aquifères qui sera délimitée en première approche.

3.1.2. Limite de l'étude géologique

Le périmètre de l'étude géologique s'étend vers l'Ouest, largement au-delà de la limite de l'étude hydrogéologique (voir Figure 1 ci-contre).

Les raisons sont d'ordre :

- géologique : le remplissage Tertiaire et Crétacé supérieur du bassin de l'Arc va au delà de l'Etang de Berre ; son extension a été reconnue par sondages et prospection géophysique à l'Ouest d'Istres et de Martigues,
- mais également d'ordre hydrogéologique afin de reconnaître l'extension et/ou les limites de l'aquifère et identifier, en première approche, son exutoire naturel.

L'étude géologique épouse donc le bassin versant de l'Arc.

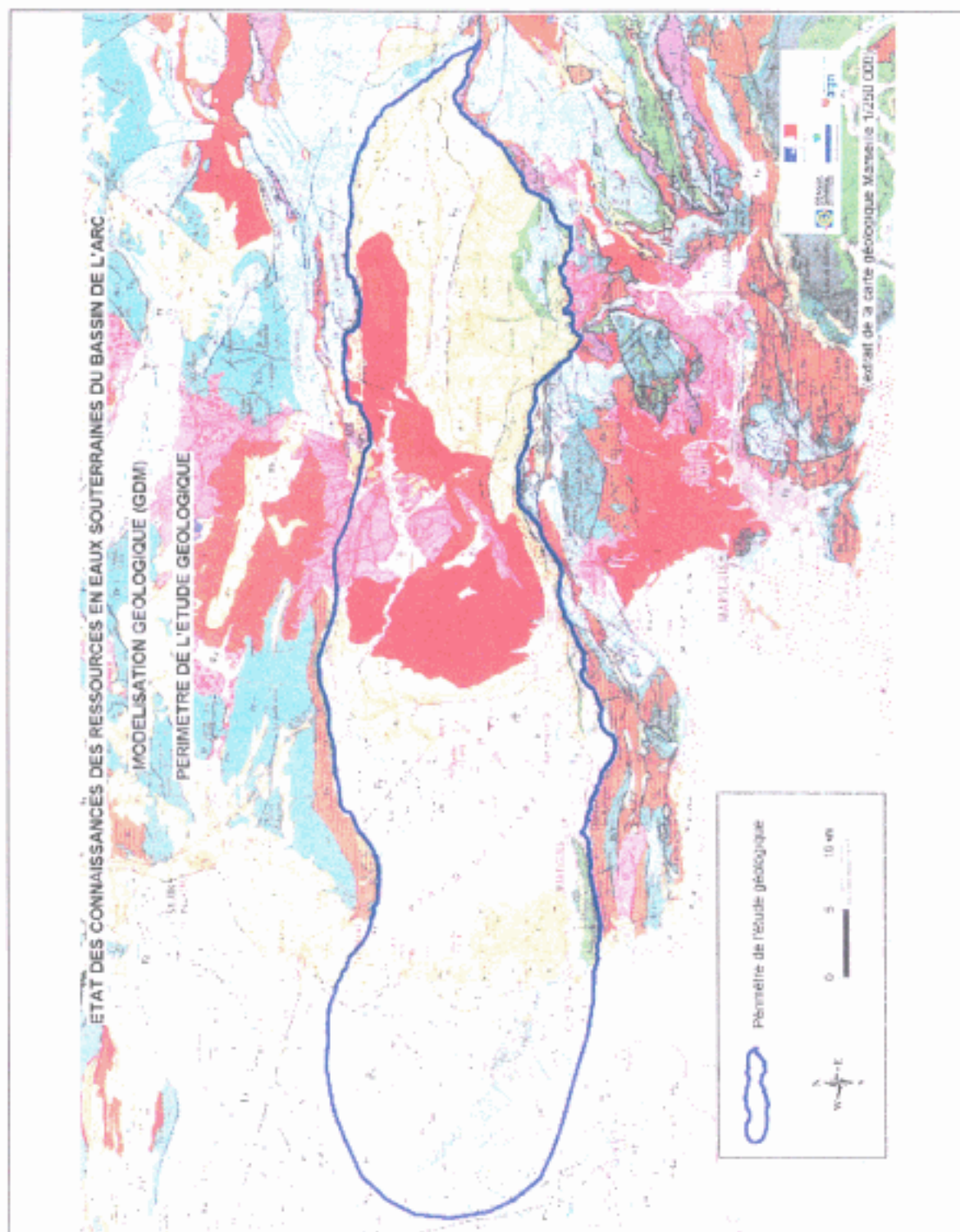


Figure 2 : Cadre géologique du bassin

3-2 GEOLOGIE

3.2.1. Contexte géologique

Le synclinal de l'Arc, qui est la structure géologique de ce type la plus importante de la Provence, s'étend sur plus de 75 kilomètres d'est en ouest et sur 20 kilomètres au maximum du nord au sud dans la région de l'étang de Berre.

Dans ce synclinal, se sont accumulés, sur un substratum jurassique ou créacé, les dépôts fluvio-lacustres qui ont permis de définir les étages locaux Valdonnien et Fuvélien, Bégudien et Rognacien, correspondant probablement au Campanien et au Maestrichtien, puis le Vitrollien représentant dans son acception primitive le Paléocène et l'Eocène.

Presque tous les chaînons bordant le synclinal de l'Arc sont des plis anticlinaux affectés de chevauchements plus ou moins complexes ; ils sont constitués par des couches d'âge jurassique et créacé, de faciès marins variés, les formations calcaires ou dolomitiques les plus massives correspondant au Kimmeridgien-Portlandien et à l'Urgonien.

Le cadre géologique du Bassin est présenté sur la Figure 2 ci-contre,

Une coupe synthétique du bassin figure ci-après Figure 3, ainsi que sa litostratigraphie complète (Figure 4).

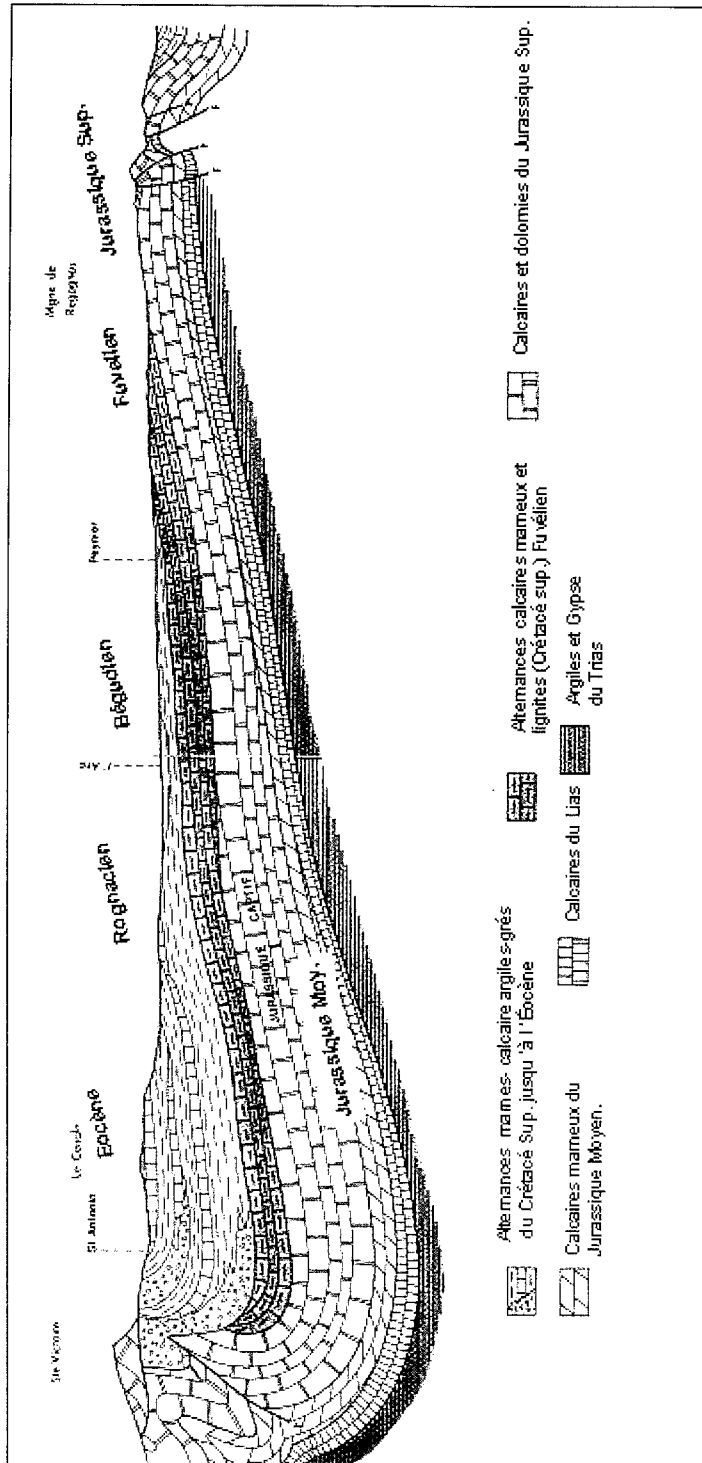


Figure 3 : Coupe synthétique du bassin (d'après M. Bathiard)

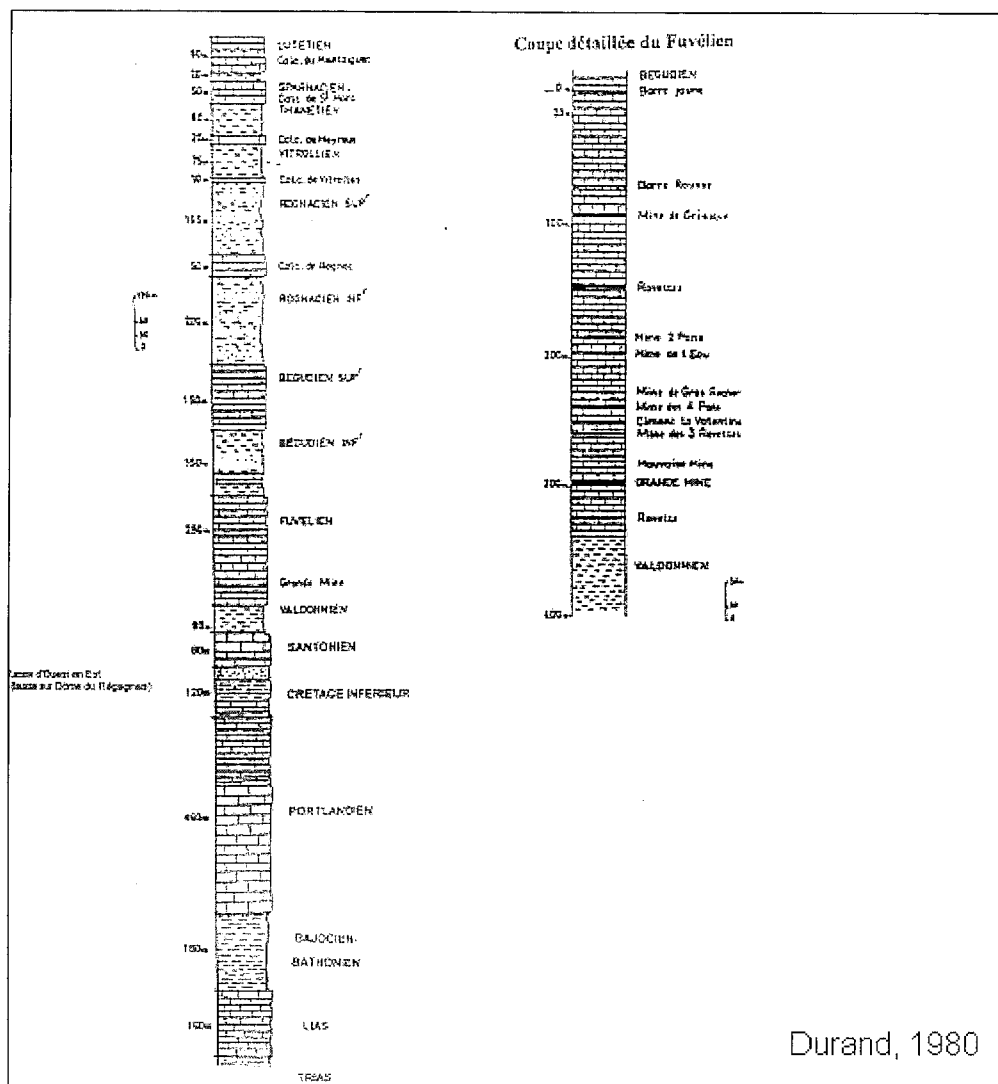


Figure 4 : Lithostratigraphie de l'ensemble du bassin

3.2.2. Crétacé/Tertiaire

Ce remplissage est le mieux connu car il a fait de nombreux travaux de reconnaissance liés à l'exploitation des niveaux de lignite du Fuvélien (Cf. log synthétique en Figure 5, d'après les sondages de reconnaissance, et coupe géologique en Figure 6 ci-après).

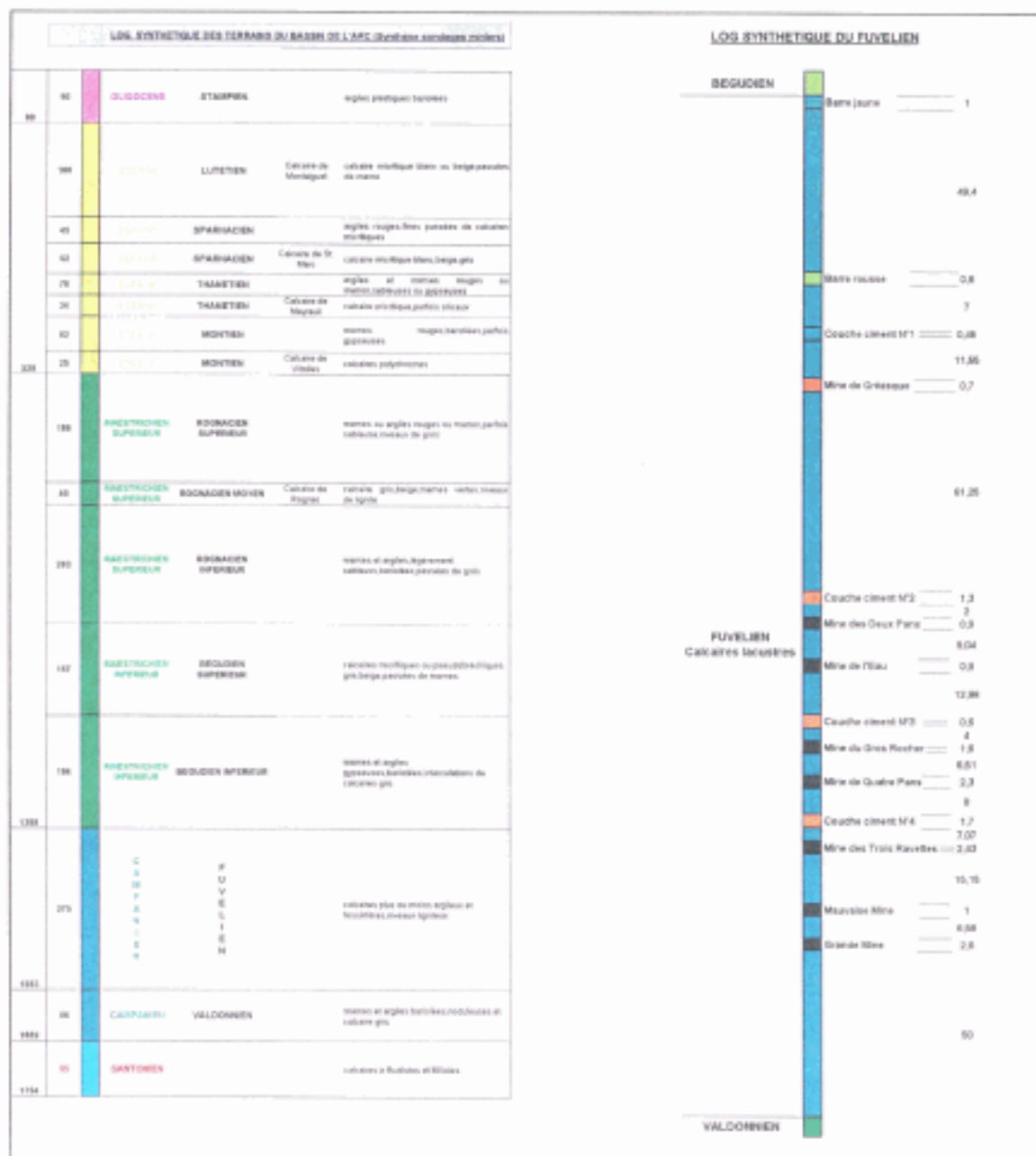


Figure 5: Logs synthétiques des terrains du bassin de l'Arc et du Fuvélien (Montaud 1990).

La stratigraphie synthétique est la suivante :

- Crétacé inférieur :
 - au Nord, marnes, calcaires marneux et calcaires du Valanginien. (Hauterivien et Urgonien sont absents.)
 - Au Sud, série calcaire attribuée au Valanginien, à l'Hauterivien (avec intercalations noduleuses :160 à 200 m) et à l'Urgonien.
- Crétacé moyen : calcaires intercalés de lits noduleux à silex et grès glauconieux, peu épais et présents seulement au Sud.
- Crétacé moyen :
 - Marin : Santonien, calcaires grumeleux présents seulement sur la bordure Sud.
 - Fluvio-lacustre : au Nord, il repose en discordance sur le Crétacé inférieur et le Jurassique ; il comprend à la partie supérieure des brèches au flanc Sud de la Sainte Victoire. Au Sud, on trouve le Valdonnien, qui a une puissance de 70 m et comprend des argiles, grès, calcaires noduleux et marneux. Le Fuvélien (250 m) se compose de de calcaires et calcaires marneux à lignite. Le Bégudien et le Rognacien inférieur (300 m) sont formés de grès, marnes gréseuses et calcaires pisolithiques. Le Rognacien (200 m) est représenté par des calcaires.

Une synthèse de l'état des connaissances du remplissage Crétacé/Tertiaire du bassin est proposée en annexe (Sédiments fluviolacustres du Crétacé supérieur, du Paléocène et de l'Eocène dans le synclinal de l'Arc, P. DURAND, G. GONZALEZ, R. MONTEAU).

3.2.2.1. Jurassique

Les données concernant le sous-bassement jurassique du bassin sont très peu nombreuses.

Il n'a été atteint sous sa couverture que par un seul sondage pétrolier profond dans la région d'Istres¹ et par 18 autres sondages, relativement courts situés en bordure du bassin au sud de Trets et sur la commune de Pourcieux.

Les principales informations lithologiques et géométriques que l'on possède donc sont données par les affleurements jurassiques en bordure de bassin.

En limite Sud, le Jurassique présente les faciès suivants :

- Jurassique moyen :
 - Bajocien : calcaires marneux (puissance 20 à 30 m),
 - Bathonien : calcaires marneux intercalés de calcaires à miches (puissance 200 m).
- Jurassique supérieur :
 - Callovien-Oxfordien : calcaires et calcaires marneux, série plus calcaire à l'Est qu'à l'Ouest.
 - Séquanien, Kimméridgien : calcaires et calcaires dolomitiques.
 - Portlandien : calcaire sub récifal (puissance totale : 350 à 400 m).

En limite Nord, le Jurassique moyen et le Jurassique supérieur se présentent sous la forme d'une très puissante série passant graduellement d'un faciès marneux à la base à un faciès calcaire massif et compact au sommet. Sous les calcaires du Portlandien on trouve des dolomies et des calcaires dolomitiques.

De nombreuses incertitudes subsistent donc sur cette série, notamment ses variations de faciès, son raccordement sous le bassin de l'Arc, son éventuel degré de karstification.

Le dépouillement et l'interprétation des prospections géophysiques devraient fournir des données importantes sur la nature et la géométrie du Jurassique.

¹ Istres 101 : BSS n°10194X0117

3.2.3. Données géologiques existantes

Les données permettant d'appréhender la géologie du bassin sont relativement nombreuses, mais elles proviennent essentiellement de l'exploration et l'exploitation du lignite de Gardanne. Elles sont donc surtout centrées sur la Mine de Gardanne, et elles concernent plus le Crétacé supérieur que le Jurassique.

D'une façon générale ces informations sont issues respectivement :

- des coupes géologiques des ouvrages (forages, sondages, puits, galeries),
- de la cartographie géologique de la zone (coupures au 1/50 000 après harmonisation),
- des données géophysiques interprétées,
- des données géologiques structurales (structures et accidents géologiques),
- de l'exploration et de l'exploitation minière (lignite de Gardanne),
- des interprétations géologiques anciennes (coupures géologiques de référence).

3.2.3.1. Les logs² géologiques de sondages, forages et puits

3.2.3.1.1. La procédure en cours

Dans le cadre des opérations de service public, le BRGM a permis l'établissement systématique de logs stratigraphiques de référence sur l'ensemble du territoire.

La validation des données de la BSS, réalisée par les géologues régionaux du BRGM, consiste à contrôler, pour chaque puits ou sondage, la description lithologique et les attributions stratigraphiques des logs (ou coupes géologiques verticales) décrivant l'ouvrage.

Un log est considéré comme validé lorsque d'une part la lithologie est suffisamment détaillée pour caractériser les niveaux décrits et d'autre part lorsque la stratigraphie proposée est conforme aux données de la carte géologique ou aux connaissances géologiques actuelles.

Pour pouvoir être traités par des logiciels informatiques (établissement de coupes géologiques), chaque niveau décrit est encodé conformément à un lexique lithostratigraphique régional. Cette étape est précédée par la création de ce lexique régional où sont inventoriées, décrites et codées toutes les formations géologiques présentes dans les cartes géologiques à 1/50 000. Ils s'y rajoutent des niveaux géologiques remarquables, tels l'ensemble des mines exploitées dans le bassin de l'Arc.

Au terme de son encodage, le log est considéré comme validé et peut être utilisé dans le cadre du référentiel géologique établi au niveau national et local.

² Voir lexique en Annexe 1

3.2.3.1.2. L'application au bassin d'Aix

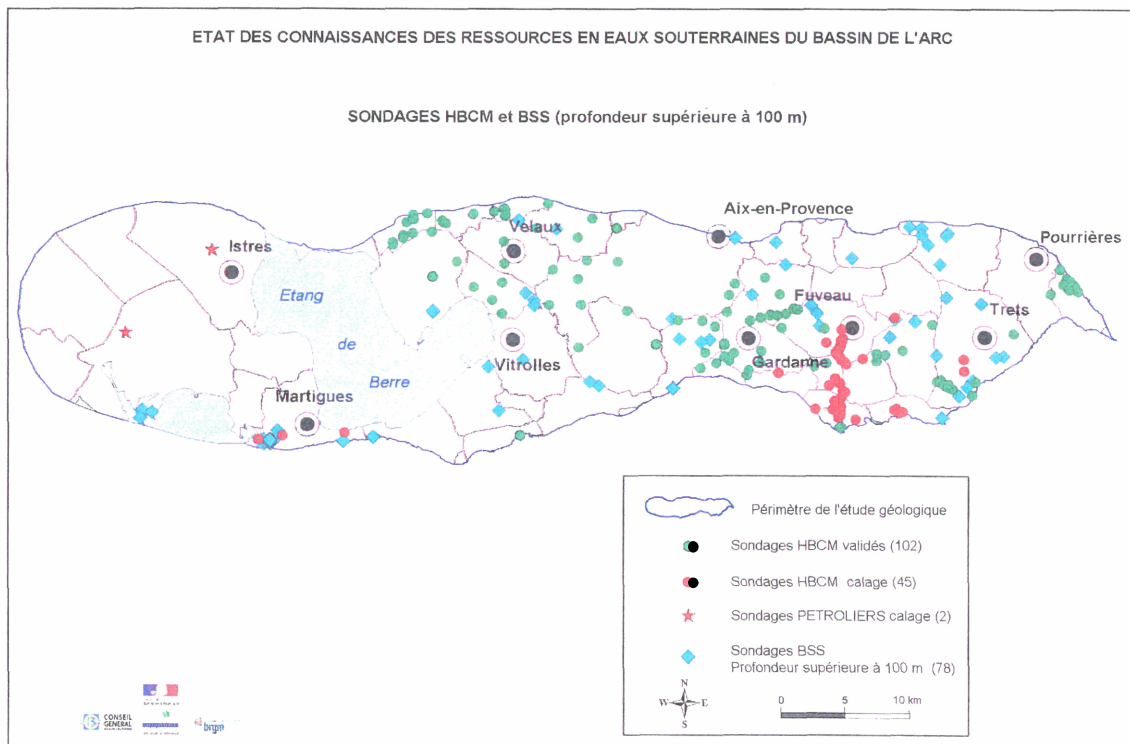
Conformément à cette procédure, sur la zone de l'étude, **102 logs** géologiques de sondages et de puits des Houillères des Bassins du Centre et du Midi (HBCM) ont été validés et encodés en utilisant le lexique lithostratigraphique régional.

En outre, il existe sur le bassin **47 logs** géologiques de calage dont 45 des HBCM et 2 sondages pétroliers.

Les logs de calages sont des logs dont la stratigraphie est bien connue, extrêmement utiles pour la compréhension de la géologie du bassin mais dont la description lithologique trop sommaire n'autorise pas leur validation.

Il faut ajouter à ces logs plus de **70 sondages** d'une profondeur supérieure à 100 m qui sont en cours de validation et qui seront également utilisés à élaborer le modèle géologique.

Le positionnement de l'ensemble de ces sondages est représenté sur la Figure 7 ci-dessous.



3.2.3.2. Figure 7 : Positionnement des sondages BSS³ (supérieurs à 100 m) et HBCM

³ Voir lexique en Annexe 1

3.2.3.3. Les cartes géologiques vectorisées

Les cartes géologiques à 1/50 000 qui couvrent le bassin de l'Arc (feuilles d'Istres, Martigues, Aix et Brignoles) ont été vectorisées et sont en cours d'harmonisation ⁴(voir Figure 8 ci-dessous).

L'étude du bassin de d'Aix bénéficie de cet apport notamment pour l'analyse des données géophysique, pour le calage et l'interprétation du modèle géologique ; et au même titre de la création du lexique lithostratigraphique régional créé pour la numérisation et l'harmonisation des cartes géologiques.

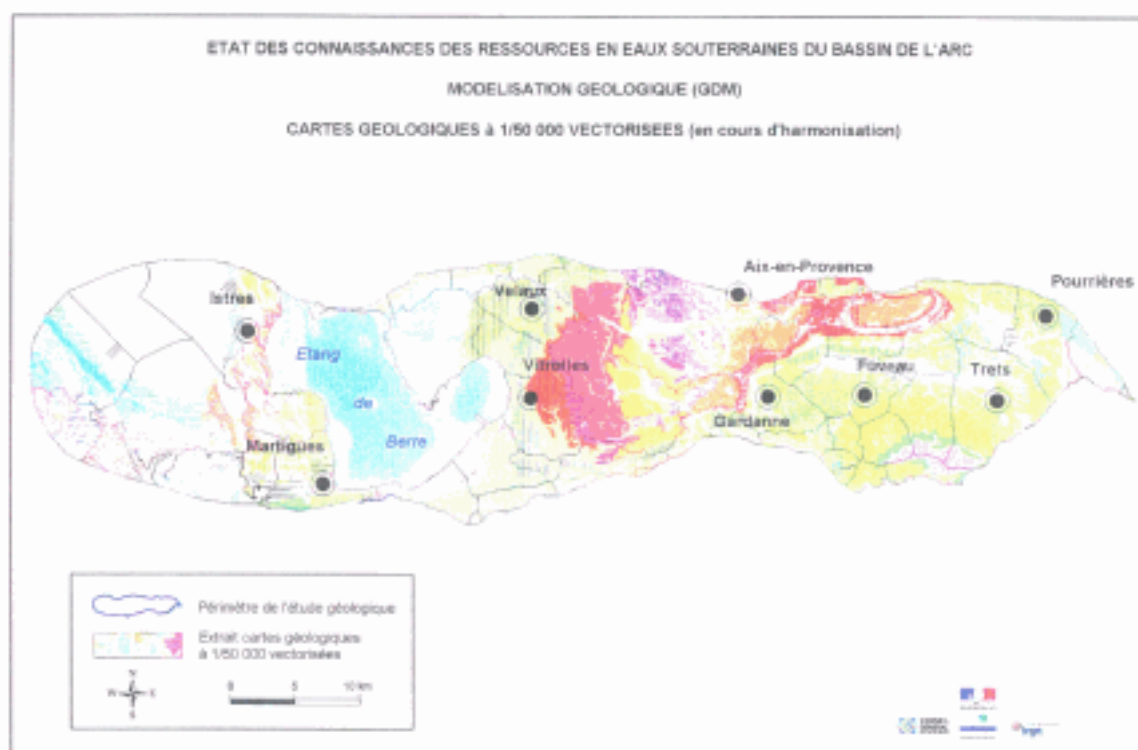


Figure 8 : Cartes géologiques vectorisées

⁴ Les cartes géologiques régulières à 1/50 000 ayant été établies à différentes époques, les contours et limites des cartes ne coïncident pas nécessairement du fait de l'évolution des connaissances.

3.2.3.4. Lignes d'affleurement des horizons miroirs

La construction de ces cartes géologiques intégrera les informations ponctuelles des forages interprétés et codifiés ainsi que l'interprétation des profils sismiques.

Une présélection de niveaux géologiques remarquables (appelés horizons miroirs), susceptibles de représenter de forts contrastes lithologiques nettement visibles sur les profils sismiques, est réalisée en concertation avec les géophysiciens du BRGM.

Ces horizons représentent également des niveaux pertinents en terme d'hydrogéologie (murs et toits⁵ des réservoirs aquifères).

Ces horizons miroirs qui pourront être utilisés pour l'interprétation des données géophysiques sont les suivants :

- le mur (limite inférieure) du Quaternaire
- le mur du Miocène
- le mur de l'Oligocène
- le toit (limite supérieure) du Rognacien (=mur de l'Eocène)
- le toit du Fuvelien
- le toit du Valdonnien
- le toit du Jurassique.

3.2.3.5. Les accidents géologiques

Les failles sont directement issues de la cartographie vectorisée à 1/50 000, parfois calée grâce aux données des sondages, tel est le cas de la faille de la Diote.

⁵ Voir lexique en Annexe 1

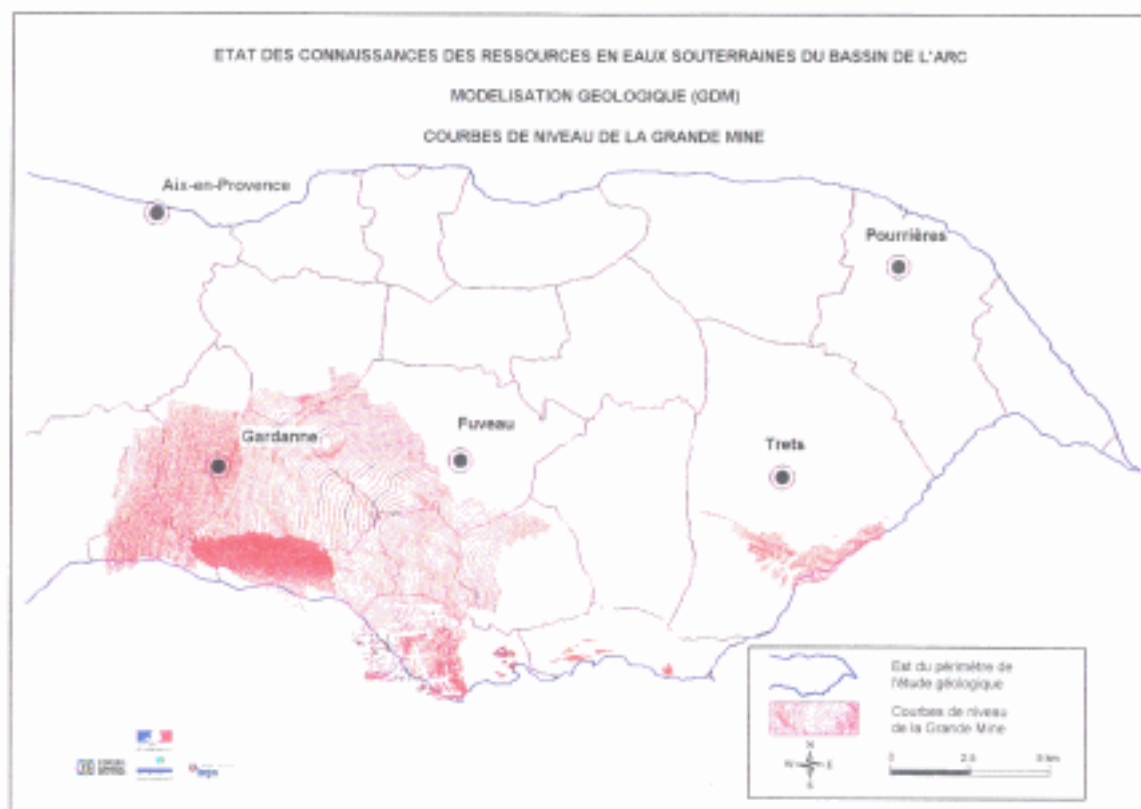


Figure 9 : Courbes de niveau de la Grande Mine.

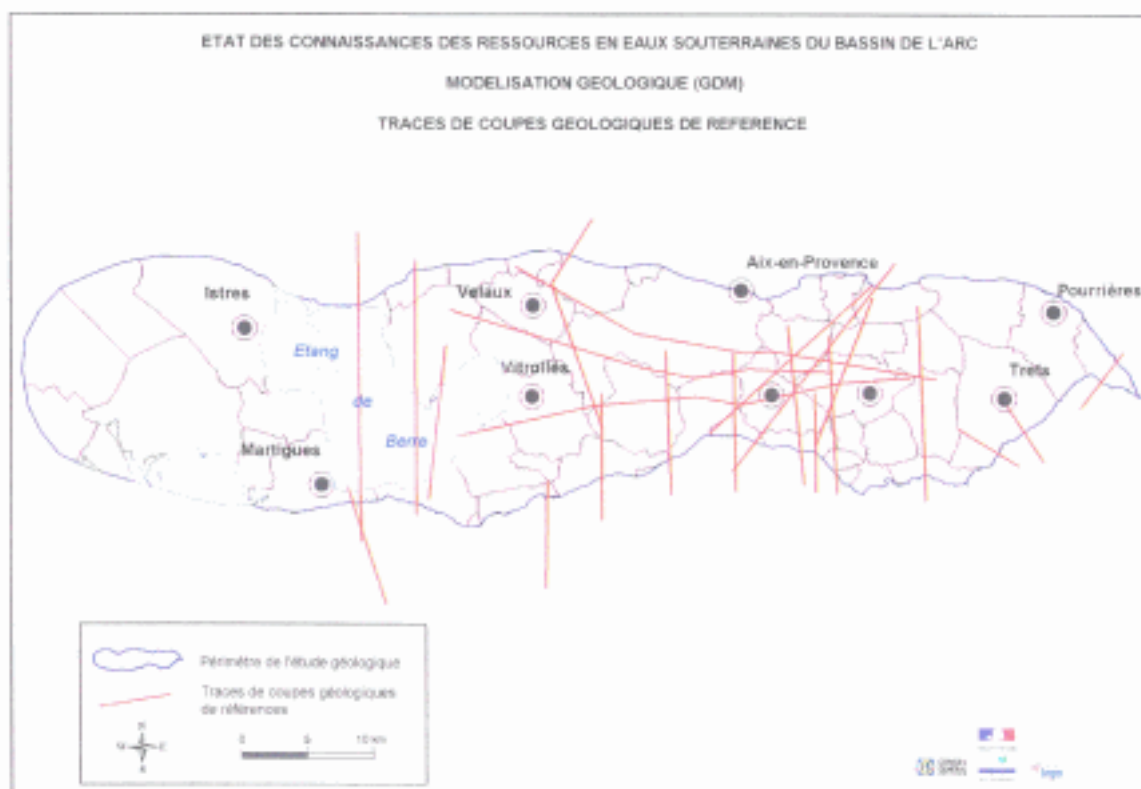


Figure 10 : Tracé des coupes géologiques de référence

3.2.3.6. Les données minières

Les courbes de niveaux (maillage numérique en XYZ) de la Grande Mine exploitée nous ont été fournies par les HBCM (voir ci-contre Figure 9).

Les HBCM ont également relevé des accidents lors de l'exploitation de la Grande Mine : ce sont les failles et les " mouillères⁶".

3.2.3.7. Les coupes géologiques de référence

Vingt-deux coupes géologiques de référence ont été établies sur le Bassin d'Aix. Leur tracé figure ci-contre (Figure 10).

Ces coupes ont été réalisées par :

- G. Guieu, Etude tectonique de la région de Marseille-Thèse 1968,
- J.P. Durand et G Guieu, supplément au numéro de juin 1980 de la Revue de l'industrie Minérale consacré au " Gisement de charbon du bassin de l'Arc (Houillères de Provence)".
- Ch. Glintzboeckel, Reconnaissance de l'extension du gisement de Gardanne, rapport BRGM 80GGN357PAC, 1980.

Ces données ne sont pas factuelles, car interprétées en fonction des données disponibles lors de leur établissement.

Le dépouillement de nouvelles informations postérieures à leur établissement, si nécessaire l'acquisition de nouvelles données dans le cadre du présent rapport, permet de vérifier, conforter ou modifier les hypothèses initiales.

3-3 GEOPHYSIQUE

Une sélection de profils sismiques a été faite en fonction de leur position géographique et de leur disponibilité. Elles apportent une contribution à la compréhension du bassin de l'Arc et notamment le sous-bassement Jurassique, très mal connu.

Les profils sismiques sont issus de :

- la campagne 1964 Elf (profils R2, R2B, PR7)
- la campagne GARDANNE 1978 CGG pour HBCM (profils G 1 à G 6 : 80 kilomètres)
- la campagne FSH 1982 CGG pour IFP (profils 82 SE 4D : 20 kilomètres)
- la campagne CRAU 1986 CGG pour Total (profils 86 CR 07 : 20 kilomètres)

⁶ Voir lexique en Annexe 1

Les lignes sismiques des deux premières concernent la moitié est du bassin ; les deux autres l'extrémité occidentale du bassin à l'ouest de l'étang de Berre (Cf. fig 8).

Ces profils peuvent être obtenus de 2 manières :

- par traitement des données brutes (bandes terrain), c'est la méthode classique car seules les données brutes tombent dans le domaine public.
- par numérisation des profils sous leur forme papier.

Les profils des 3 dernières campagnes sont disponibles et exploitables.

Les profils de la campagne la plus ancienne seront exploitées sous leur forme papier (ils ne sont pas actuellement consultables).

Les profils ainsi restitués seront interprétés sur une station d'interprétation de type Landmark. Cette interprétation se décompose en 3 phases :

1. le chargement des profils sismiques
2. le pointé des réflexions en temps
3. la conversion en profondeur.

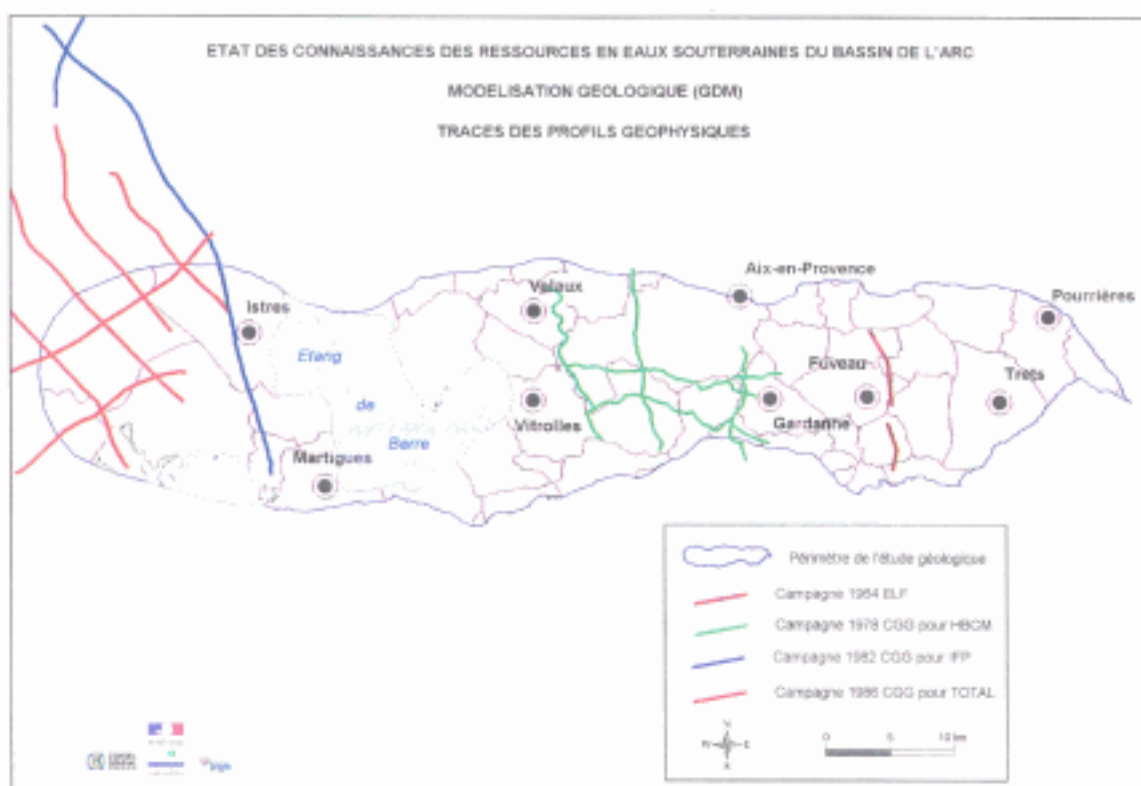


Figure 11 : Tracés des profils géophysiques

3-4 EXPLOITATION DES DONNEES GEOLOGIQUES ET GEOPHYSIQUES

Les données géologiques et géophysiques présentées ci-avant sont utilisées dans la phase 1 de l'étude dans le but de construire **un modèle géologique 3D du bassin d'Aix**.

Ce modèle, en utilisant au maximum les diverses informations existantes, permettra d'appréhender la géométrie du bassin, notamment son sous-bassement jurassique.

Nous disposerons donc d'un outil pour la compréhension de l'hydrogéologie du bassin.

3.4.1. Intégration dans le programme national de référentiel géologique et de modélisation en 3D.

La modélisation géologique du bassin de l'Arc s'inscrit dans le projet national du BRGM, appelé « Référentiel géologique de la France » (RGF) :

Ce projet comprend trois volets :

- la validation des informations de la Banque des données du sous-sol (BSS) qui comporte des descriptions de quelque 300 000 forages sur tout le territoire national,
- la numérisation vectorielle des cartes géologiques au 1/ 50 000 et au 1/250 000 ,
- la modélisation en 3 dimensions des principaux bassins sédimentaires du territoire avec GDM comme outil de modélisation.

La modélisation des bassins sédimentaires a débuté par celles du bassin de Paris et du bassin d'Aquitaine.

L'engagement de la présente opération a permis de traiter en priorité le Bassin d'Aix Gardanne dans le cadre du programme national du BRGM.

Des moyens supplémentaires spécifiques au projet mis en œuvre par le BRGM permettront d'aboutir, au terme de la présente opération à une première modélisation en trois dimensions du bassin de l'Arc.

3.4.2. Présentation du logiciel GDM

La modélisation du bassin de l'Arc sera réalisée au moyen du logiciel GDM (**G**eological **D**ata **M**anagement).

Ce logiciel créé par le BRGM permet de :

- gérer ses données.
 - quelque soit leur type : sondages, profils, contours géologiques et topographiques, échantillons ponctuels, photos (cf. Annexe 2-2, Fig. a)
 - quelque soit leur forme : texte de description des échantillons, résultats d'analyses, diagraphies, codes géologiques ou structuraux, coordonnées, mesures de déviation,
 - et quelque soit leur nombre.
- produire des graphiques de qualité :
 - cartes et sections (documents multi-couches) (cf. Annexe 2-2 Fig. b)
 - logs de sondages (documents multi-colonnes) (cf Annexe 2-2 Fig. c)
- interpoler et modéliser ses données.
 - sur cartes et sur sections
 - avec prise en compte des failles et autres limites géologiques (cf. Annexe 2-2, Fig. d)
 - de façon automatique (interpolation) ou manuelle (digitalisation à la souris).

Le logiciel GDM est utilisé pour :

- l'exploration et l'exploitation de ressources minérales,
- la conception de tunnels, barrages, sites de stockages souterrains (cf Annexe 2-2, Fig. e)
- l'aménagement urbain,
- les diagnostics de pollution des sols,
- la gestion des ressources en eau, etc.

3.4.3. Modélisation du bassin de l'Arc

Les éléments naturels pris en compte pour définir la géométrie du modèle sont :

- pour la géologie essentiellement la stratigraphie (logs) et certains niveaux-repères lithologiques,
- pour la géophysique les horizons miroirs définis au paragraphe 3-3.

Les logs de sondages et de puits constituent les données de base factuelles et certaines à partir desquelles le modèle est élaboré.

Le niveau-repère le mieux connu est le niveau "Grande Mine" du Fuvélien, de part ses propriétés minières ; bien qu'il ne soit pas intéressant pour notre étude au point de vue hydrogéologique, il constitue un niveau repère pour la modélisation géologique.

Pour les horizons miroirs, les points de calage sont :

- leurs lignes d'affleurement créées à partir de la vectorisation des cartes géologiques à 1/50 000 et des courbes de niveaux des cartes topographiques de l'IGN à 1/25 000,
- leurs côtes indiquées dans les logs de sondages et de puits.

Les courbes de niveaux de la Grande Mine fournies par les HBCM seront également exploités dans GDM car elles constituent une des données de calage factuelle du modèle géologique

Les vingt-deux coupes géologiques de référence serviront à l'interprétation du modèle.



Figure 12 : Coupe hydrogéologique du bassin (Chalumeau 2000)

3-5 HYDROGEOLOGIE

3.5.1. Contexte hydrogéologique du bassin

Les deux aquifères principaux du bassin de l'Arc sont (voir Figure 12 ci contre et Figure 13 ci-après) :

- **le Crétacé du bassin d'Aix** (Code SANDRE⁷ n°165), qui constitue un système aquifère multicouche d'âge crétacé et tertiaire.
- **le Jurassique d'Aix** (Code SANDRE n°224) aquifère sous couverture d'âge jurassique moyen et supérieur.

3.5.1.1. Crétacé

L'aquifère multicouche crétacé est en relativement bien connu et en particulier dans le périmètre d'exploitation des HBCM.

Les principaux niveaux aquifères du Crétacé sont les suivants :

Le Bégudien est constitué de grès, de calcaire et de marnes. Les calcaires sont peu tectonisés et ne donnent lieu qu'à de faibles venues d'eau. Les grès, plus développés dans le secteur NO du bassin, peuvent donner naissance à des arrivées importantes, parfois artésiennes (forages privés à la périphérie du bassin).

Le Fuvélien est constitué d'alternances de calcaires et marnes, et vers sa base, d'alternances de calcaires et de lignite. Il est aquifère dans ses zones fissurées.

L'ensemble Santonien-Urgonien est séparé du Fuvélien par le niveau imperméable du Valdonnien. L'Urgonien, formé de calcaires cristallin est plus fissuré que le Santonien (calcaires et grès) et plus aquifère. Certaines venues d'eau importantes dans l'Urgonien, observées notamment sur le puits de l'Arc, sont attribuées à une alimentation provenant du réservoir jurassique (différentiel de pression et drainage).

⁷ Voir lexique en Annexe 1

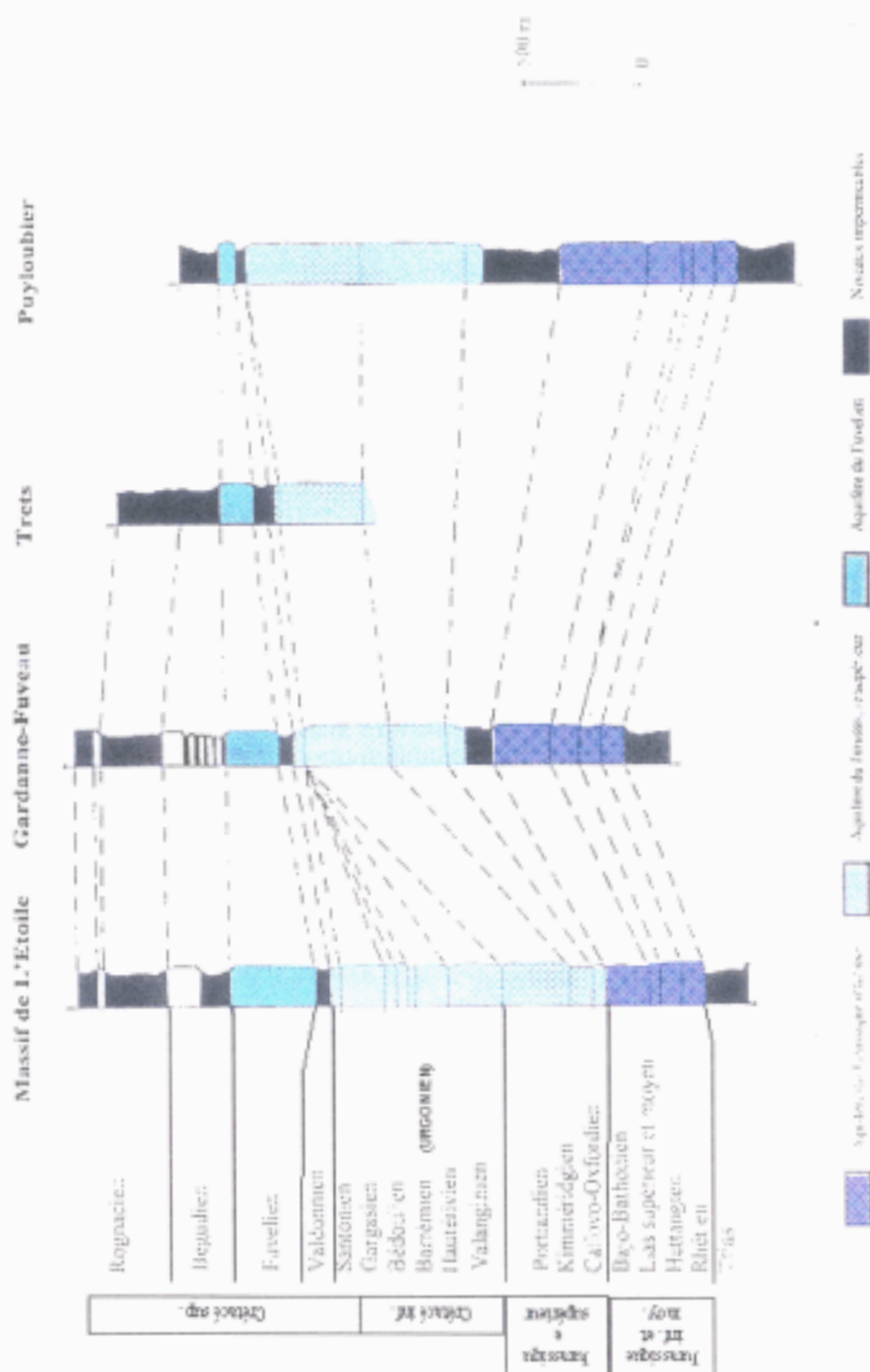


Figure 13 : Log hydrogéologique du bassin (d'après Chalumeau, 2000).

3.5.1.2. Le Jurassique

Le Jurassique, peut accessible car très profond, est beaucoup moins bien connu que le réservoir crétacé.

Il n'existe que très peu de puits à l'intérieur des massifs jurassiques septentrionaux.

A l'intérieur du bassin de l'Arc, en revanche, on répertorie plusieurs forages qui, s'ils n'ont pas atteint le Jurassique proprement dit, semblent être alimentés par des circulations jurassiques. Les deux plus importants sont :

- le sondage minier de Peynier (cote 230,7, exécuté en 1880) code BSS : 10217X0107 arrêté à 322 m vers la base du Fuvélien a rencontrés des venues d'eau dans le Bégudien et le Fuvélien (notamment à la base vers -315 m). Ces venues pourraient avoir pour origine un drainage du Jurassique par le Fuvélien.
- le puits de l'Arc, envahi à 425 m de profondeur par des venues d'eau importantes (1,5 m³/s, essai par pompage longue durée = 425 l/s) qui ne peuvent s'expliquer que par une alimentation par le karst jurassique sous-jacent.

Cette hypothèse de sur-alimentation jurassique repose sur plusieurs observations au niveau du puits de l'Arc :

- débits très importants,
- température invariable de 18°C témoignant d'une origine profonde,
- délai de répercussion peu important après des précipitations
- chimie des eaux.

Ce phénomène ne s'observe qu'à l'Est du méridien de Fuveau.

A l'heure actuelle, ce ne sont que des hypothèses et, faute de données, le rôle des circulations dans le Jurassique n'est complètement éclairci.

3.5.2. Analyse bibliographique

L'analyse bibliographique prévue en phase 1 de l'étude a pour but la collecte des données existantes sur le bassin de l'Arc et leur analyse d'un point de vue essentiellement hydrogéologique.

Ceci permet de faire le point sur les connaissances acquises, les lacunes et les différentes hypothèses existantes pour expliquer les phénomènes observés.

3.5.2.1. Recueil des données

Les recherches bibliographiques ont débuté par une interrogation de bases de données bibliographiques :

- Saphir, la base de données des ouvrages du BRGM,
- Cambridge Scientific Abstracts, une base de données externe de couverture internationale.

Les listes bibliographiques établies au cours de divers travaux ont également été consultées : par exemple, la liste bibliographique propre au bassin d'Aix-Gardanne établie lors de la synthèse des aquifères karstiques du bassin Rhône Méditerranée Corse pour l'Agence de l'Eau, ou les références bibliographiques de la thèse d'A. Chalumeau.

En prenant contact avec diverses institutions, nous avons également récupéré des ouvrages supplémentaires; citons par exemple :

- DIREN : étude des eaux thermo-minérales d'Aix-en-Provence
- DRIRE : dossier de fermeture de la Mine de Gardanne
- ANTEA : réalisation de forages pour la ville d'Aix
- SABA : SAGE du bassin de l'Arc
- etc.

3.5.2.2. Résultats

En tout, plus de 260 ouvrages ont été référencés, environ 75 sont véritablement intéressants pour la compréhension de l'hydrogéologie du bassin.

Les ouvrages répertoriés sont de 3 types :

- Thèses, publications scientifiques
- Rapports techniques, par exemple les rapports du BRGM ou d'ANTEA
- Rapports d'ordre réglementaire, comme le SAGE, le dossier de fermeture d'HBCM.

A l'exception des documents dits «réglementaires», on trouve peu de documents récents.

3.5.2.3. Traitement

Une fiche bibliographique a été établie par rapport (voir exemple en Annexe 3).

Cette fiche comprend, outre les informations permettant l'identification du document (Code interne unique, Titre, Auteur, Année de publication), différents thèmes :

- Origine du document : par quel biais ce document nous est-il parvenu (BRGM, DIREN, Université, etc...)
- Zone géographique concernée : ce thème permet de visualiser la zone d'étude sur le logiciel Map Info. Différentes zones géographiques seront définies, avec un nom spécifique associé (ex= bassin minier, ville d'Aix).
- Contenu de l'ouvrage : bref résumé du contenu et du contexte.
- Aquifère(s) concerné(s) : code de l'aquifère dans la codification nationale SANDRE. Il s'agit soit de l'aquifère 165 (Crétacé) soit du 224 (Jurassique) soit des deux.
- Géologie du réservoir : description de la géologie des réservoirs aquifères
- Hydrogéologie : aperçu des propriétés aquifères des entités, des caractéristiques des eaux souterraines, des captages.
- Indices de karstification : liste des indices permettant d'attribuer un caractère de karst aux réservoirs: par exemple, présence de moulières, de cavités, perte de boues lors du forage, etc...
- Conditions aux limites : informations sur les zones d'alimentation, les exutoires, les relations avec les cours d'eau, les drainages par les galeries.
- Relation entre aquifères : informations sur les échanges entre les aquifères
- Ouvrages BSS: à chaque fois qu'un ouvrage de captage des eaux souterraines est cité dans un rapport, son code unique BSS est renseigné dans le champ prévu à cet effet. Il est ainsi établi une liaison avec la BSS, ce qui permet de consulter l'ensemble des données liées à cet ouvrage.
- Analyses: les analyses d'eau dont les résultats figurent dans une étude sont renseignées au format SANDRE.

3.5.2.4. Déroulement et avancement

Avant de commencer le traitement des études, la structure des fiches avait été ébauchée.

Au fur et à mesure que les premières études ont été dépouillées, la structure de la fiche a été adaptée.

Il est notamment apparu la nécessité de pouvoir rentrer les analyses d'eau au format SANDRE.

Dans le même temps, il nous a semblé indispensable de saisir ces données sous un format qui soit directement exploitable par le SIG. Aussi, les formats Word, puis Excel d'abord utilisé, ont été remplacés par des formats Access.

Une base de données sous Access a donc été créée. Etablie sur une structure prédéfinie (table avec plusieurs champs) avec une identifiant unique (clé = le code bibliographique interne), elle permet la saisie des données (formulaires) et le rendu des fiches bibliographiques sous un format aisément consultable (état). Un exemple de ce rendu figure en Annexe 4-2).

A ce jour (31/10/2003), 37 fiches bibliographiques ont été renseignées sous Access, l'essentiel provenant de la base de données SAPHIR.

3-6 RESTE A FAIRE SUR L'ETAT DES CONNAISSANCES

La réalisation de la modélisation géologique du bassin de l'Arc se poursuivra par :

- la validation et l'encodage des logs de la BSS supérieurs à 100 mètres de profondeur,
- le recueil des profils géophysiques,
- l'interprétation des profils géophysiques,
- l'intégration des résultats de la géophysique dans GDM,
- la restitution du modèle brut,

L'interprétation géologique du modèle et l'intégration des coupes géologiques de référence : problèmes posés, inconnu, proposition de reconnaissance.

Au niveau de l'analyse bibliographique, le reste à faire est le suivant :

- Analyse complète d'environ 25 nouveaux rapports
- Pour les 37 fiches déjà renseignées : saisie des bordereaux d'analyse d'eau et des limites de l'étude.
- Recherche bibliographique à l'échelle nationale et internationale sur des études karst sous couverture.

4 Enquêtes de terrain (phase 2)

Exécutées en complément de l'analyse bibliographique, les enquêtes de terrain visent à vérifier et compléter les connaissances hydrogéologiques sur le bassin.

Elles consistent à répertorier les ouvrages d'exploitation des eaux souterraines et à recueillir un maximum d'informations sur ceux-ci :

- niveau piézométrique (certains ouvrages peuvent être jaillissants),
- débits prélevés (ou débits rejetés dans le milieu naturel par les ouvrages jaillissants),
- usages des eaux,
- détermination de la température et de la conductivité de ces eaux de forages,
- analyses physico-chimiques des eaux,
- coupes géologiques et techniques des ouvrages, et autres documents pouvant renseigner sur les caractéristiques de l'ouvrage.

De plus, il s'agit de répertorier les ouvrages intéressants qui pourront être, si nécessaire, intégrés dans le réseau de mesures qui sera défini en phase 3. On observe donc les possibilités d'équiper ces ouvrages pour des mesures qualitatives et/ou quantitatives.

Afin de recueillir les informations les plus complètes possibles, il a été décidé d'effectuer une visite de l'essentiel des ouvrages répertoriés.

4-1 METHODOLOGIE

4.1.1. Orientation des enquêtes

La BSS répertorie sur le bassin de l'Arc un certain nombre d'ouvrages qui ont été déclarés aux services compétents par le maître d'œuvre, le maître d'ouvrage ou le particulier :

Nature de l'ouvrage	Total sur le bassin*
SONDAGE	297
SOURCE	38
PUITS	566
FORAGE	71
STATION-JAUGEAGE	20
PUITS-COMPLEXE	1
PUITS-MINE	41
SONDAGE-INCLINÉ	1
STATION-PIEZO	6

** On considère la limite de l'étude hydrogéologique.*

Malheureusement cette déclaration, bien qu'obligatoire, est rarement respectée par les particuliers, ainsi de nombreux ouvrages existants (surtout des ouvrages récents) ne sont pas répertoriés en la Banque des données du Sous-sol.

Ainsi il a été décidé d'orienter cette enquête de terrain comme **complément de la BSS**.

Les ouvrages utilisés pour l'Alimentation en Eau Potable des collectivités sont bien connus et répertoriés par la DDASS dans sa base de données SISE-Eaux⁸, qui est en cours d'interfaçage avec la BSS.

Pour ces raisons les enquêtes de terrain ont été orientées vers des ouvrages privés.

4.1.2. Fiche type

Des "fiches-type" à remplir lors des visites ont été élaborées au préalable. Elles sont axées à la fois sur l'évaluation de la ressource et les possibilités d'inclure ces ouvrages dans un réseau de suivi (accessibilité et équipement).

Ces fiches ayant guidé les enquêtes de terrain sont présentées en Annexe 4-1.

4.1.3. Prises de contacts

Pour démarrer ces enquêtes, 2 types de contacts ont été pris : les entreprises de forages et les communes.

Tous les foreurs n'ont pas été contactés dès le début, de même que nous avons commencé par certaines mairies pour lesquelles nous avons plus de renseignements.

Ces contacts nous ont permis de commencer les premières enquêtes de terrain, qui débouché sur d'autres contacts avec les acteurs intervenant dans le domaine de l'eau sur le bassin.

Le détail des contacts pris figure au §4-2.

4.1.4. Visites de terrain

Dans la majorité des cas, ces différents contacts ont abouti à des listes de personnes possédant des ouvrages (ou susceptibles d'en posséder) avec leur adresse, parfois le numéro de téléphone et la profondeur de l'ouvrage.

Les informations fournies étant sommaires, une visite de terrain s'est donc avérée obligatoire.

Notons que certains employés des services de l'Etat ont pris le temps de venir visiter les ouvrages avec nous.

⁸ Voir lexique en Annexe 1

Dans la mesure du possible, nous avons essayé de contacter par téléphone ou par courrier les propriétaires, au préalable, pour convenir d'un rendez-vous.

Lors des visites, la fiche type de l'ouvrage est remplie à partir des observations sur place et de l'entretien avec son propriétaire ; ces données sont ensuite complétées au retour du terrain avec les informations de la carte géologique.

Une photographie de l'ouvrage est en général prise.

La visite d'un ouvrage permet bien souvent d'identifier d'autres ouvrages aux alentours, de par les informations fournies par les propriétaires.

4.1.5. Mise en forme des données

Lors de la mise en forme des données récoltées lors des visites, il s'est avéré nécessaire de les saisir sous un format directement exploitable par la suite, c'est à dire sous le logiciel Access, comme pour les données bibliographiques.

Des masques de saisie (formulaires) ont été créés, permettant à l'enquêteur une saisie rapide et aisée. Access permet également une mise en forme des sorties papier (voir exemple Annexe 4-2 page 107).

Les données sur les ouvrages visités ainsi que leur photographie seront ainsi intégrées dans le SIG.

4-2 DEROULEMENT DES ENQUETES

4.2.1. Enquêtes auprès des entreprises de forages

Les entreprises de forages sont généralement au courant de la législation en vigueur et de la nécessité de déclarer les ouvrages qu'elle effectue, néanmoins il nous a semblé utile de devoir prendre contact avec eux.

Seules les entreprises travaillant sur la zone ont été contactées par téléphone :

- Méridionale de Forage (anciennement Forages Martinez)
- Forages HUTAN (Ets)
- Forasud
- Etablissements Garcia
- Gardanne Forages
- Azur Forages
- Provence forages

Les résultats ont été très inégaux :

- certains foreurs, qui déclarent régulièrement leurs ouvrages, n'ont pas d'information supplémentaire à nous faire parvenir ;

- pour certains, nous n'avons jamais réussi à parler directement au responsable, peut être par méfiance envers un organisme "officiel" ;
- deux entreprises nous ont donné rendez-vous pour nous localiser leurs ouvrages :
 - l'une a du annuler le rendez-vous pour raisons de santé graves ;
 - la deuxième nous a fourni la liste des ouvrages qu'il a effectué sur le bassin (**47 forages** en tout) avec des informations complémentaires : profondeurs des ouvrages, des arrivées d'eau, niveau piézométrique, débit et lithologie sommaire des terrains traversés.

La plupart de ces forages ont été localisés sur les cartes topographiques IGN au 1/25 000° avec le foreur lui-même.

Ces ouvrages sont exécutés sans étude géologique préalable, en général on ne dispose pas des coupes géologiques ni des essais de pompage, mais cette liste de forage avec leur localisation nous a été très utile pour avoir une idée de la répartition de la demande sur le bassin, ainsi qu'une première approximation du potentiel hydrogéologique.

Cependant, il s'est avéré lors des enquêtes de terrain que la technique employée par le foreur pour l'équipement du forage (pompes immergées équipée d'une plaque métallique obstruant le tubage) rend les mesures piézométriques impossibles, et à fortiori l'installation de matériel d'enregistrement.

4.2.2. Enquêtes auprès des mairies

L'ensemble des mairies dans la limite de la zone d'étude ont été contactées par téléphone. Ceci représente 25 mairies. Nous avons demandé à être mis en contact avec le service d'urbanisme ou une personne ayant une bonne connaissance du contexte local.

La liste des mairies figure en Annexe 4-2 page 107.

Là encore, le taux de réponse a été très différent selon les communes.

- Dans le cadre de la mise en place de la réglementation sur l'assainissement individuel, les communes de **Trets, Fuveau, Peynier et Bouc-Bel-Air** ont lancé la réalisation d'enquêtes de terrain chez les particuliers, qui répertorie les ouvrages de captage des eaux souterraines. Ces mairies nous ont aimablement fourni la liste des propriétaires d'ouvrages. Il est important de souligner le fait que ceci concerne uniquement les propriétés non raccordées au réseau d'assainissement collectif, et non l'ensemble de la commune.
- Les rendez-vous obtenus avec les représentants des communes de **Pourcieux, Ollières, Pourrières, le Tholonet, Puylobier, la Bouilladisse** ont abouti à l'obtention de listes de noms de propriétaires de forages dans ces communes, répartis par quartiers.
- Enfin, certaines mairies, malgré leur bonne volonté évidente, ne possédaient que peu d'informations, ou des informations sur des puits uniquement.

4.2.3. Autres contacts

Lors des enquêtes auprès des mairies, il nous a été fait de nombreuses fois mention des syndicats distributeurs d'eau sur le bassin :

- S.I.B.A.M (Syndicat Intercommunal du Bassin Minier)
- S.E.E.R.C (Société d'Equipement et d'Entretien des Réseaux Communaux)
- S.E.M (Société des Eaux de Marseille)

Afin de compléter les informations de la DDASS, ces syndicats ont été contactés :

- La SEERC et le SIBAM n'exploitent pas d'ouvrage de captage des eaux souterraines sur le bassin et achètent l'eau à la SCP (Canal de Provence).
- La SEM exploite (ou a exploité) l'essentiel des ouvrages de captage AEP sur le bassin :

INDICE BSS	N° SISE EAUX	COMMUNE	NOM	NATURE	REM.
10443X0224	13000021	AURIOL	LE PUJOL/LA VEDE	Forage	
10443X0289	13000022	AURIOL	SOURCE ST PIERRE/DU CLOS	Source	
10215X0099	13000160	SIMIANE-COLLONGUE	SOURCE DE LA PIBLE/DE L'ENCOVEN	Source	Hors-service
10213X0051	13000275	PUYLOUBIER	PUITS AU VALLON DE ST SER	Puits	
10213X0050	13000276	PUYLOUBIER	SOURCE DE MARGUET	Source	
10213X0097	13000321	ROUSSET	SOURCE DES JOUCAS	Source	
10213X0096	13000322	ROUSSET	PIERRES DES MOULINS	Source	
10213X0121	13000335	VAUVENARGUES	SOURCE DU LAVOIR	Source	
10212X0020	13000636	SAINTE-ANTONIN-SUR-BAYON	SOURCE DE LA CASCADE	Source	Pas en service
10221X0086	83001198	POURCIEUX	MOULIN DE VITALIS	Forage	
10216X0195	?	BOUC BEL AIR	LA GRATIANNE	Source	Source rétrocedée à la mairie

Tableau 1 : Captages exploités par la SEM

Les données qualitatives et quantitatives relatives à ces captages collectées auprès de la SEM seront intégrées dans le SIG.

Sur les conseils des mairies, le SABA, l'APAVE (bureau d'études en charge du zonage pour l'assainissement individuel dans certaines communes) et M. Deschamps (géologue) ont également été contactés, mais sans que nous en retirions d'information utile.

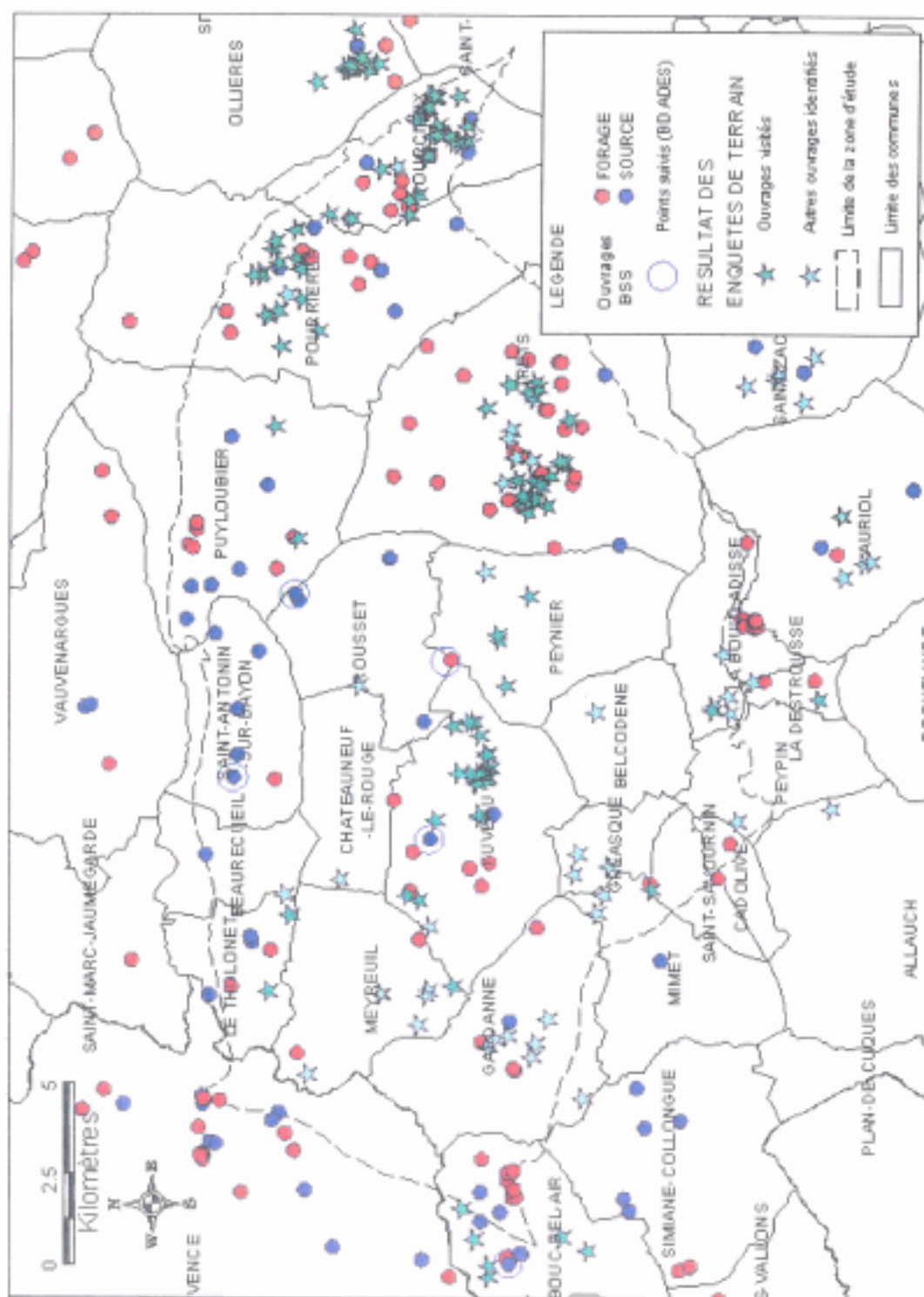


Figure 14 : Répartition des ouvrages.

4-3 PREMIERS RESULTATS DES ENQUETES DE TERRAIN

Les investigations de terrain ont permis de répertorier et géo-référencer plus d'une centaine d'ouvrages (forages, puits et sources) sur la partie amont du bassin versant de l'Arc.

A la date jour du 31 octobre 2003, 124 ouvrages ont été répertoriés, comprenant :

Nature de l'ouvrage	Nombre d'ouvrages visités
SOURCE	2
PUITS	20
FORAGE	102

L'ensemble de ces ouvrages a été répertorié dans la BSS et un numéro d'identification unique lui a été donné.

La liste des ouvrages figure en annexe.

4.3.1. Statistiques

L'ensemble des ouvrages est exploité pour les besoins familiaux : alimentation en eau potable, arrosage du jardin, remplissage de la piscine. Les forages sont généralement équipés avec des pompes de 2 à 3 m³/h, et munis de réservoirs de stockage de capacité variable.

Les statistiques suivantes peuvent être dégagées :

- Les forages ont été réalisés en moyenne il y a 20 ans ; pour les puits, beaucoup sont très anciens et on ignore totalement la date de leur construction.
- Les forages ont une profondeur allant de 12 à 215 m, avec une moyenne de 80 m, ce qui est relativement important.
- La profondeur des puits va de 2.6 à 15 m.
- Les niveaux piézométriques des forages, mesurés lors des enquêtes, vont de – 96.5 m à +0.5 m par rapport au niveau du sol.
- 5 ouvrages sont artésiens, ils ont été rescencés au lieu-dit « La Barque », au nord de Fuveau, et sur la commune de Pourrières.

4.3.2. Equipement des ouvrages

Sur l'ensemble des forages visités, la moitié peut faire l'objet de mesures piézométriques, les autres sont enterrés ou équipés d'une plaque métallique de protection obstruant la tête de forage. 45% se prêtent à un suivi qualitatif, pour le reste le point de prélèvement accessible se trouve après les équipement hydrauliques (ballon ou surpresseur).

L'ensemble des puits visités se prête sans aménagement à un suivi piézométrique, mais ils ne sont pas équipés de pompe et le prélèvement d'échantillons ne peut être que manuel.

4.3.3. Potentialités aquifères

Sur la base des seules données de l'enquête, on peut "avancer" que les parties Est et Nord-Est de la zone d'étude sont plus aquifères que la partie Ouest : on y trouve de nombreuses sources et de nombreux puits "intarissables" (selon leurs propriétaires) et toujours productifs, même suite à l'importante sécheresse de cet été.

Cette zone est une traditionnellement très agricole, plusieurs domaines viticoles et châteaux anciens, remontant jusqu'au XVI^e siècle, y sont implantés, et même l'époque romaine (vestiges de thermes à Puylobier) semble attester l'abondance de l'eau dans le secteur.

La présence de puits sur le reste de la zone d'étude est également importante, mais ces derniers récoltent majoritairement uniquement les eaux de ruissellement. Ils ne présentent donc qu'un intérêt très limité pour l'étude.

4.3.4. Répartition spatiale des ouvrages

Ce chapitre a pour but d'expliquer et d'interpréter la répartition géographique des ouvrages visités.

La répartition spatiale des différents ouvrages recensés est peu homogène. Cela est la conséquence à la fois :

- des besoins en eau non satisfaits (AEP, irrigation),
- de la méthode d'enquête employée : effet "boule de neige" d'une visite de terrain qui en entraîne d'autres dans le même secteur,
- de données nombreuses dans les mairies possédant des listes de propriétaires et très difficile à avoir dans d'autres,
- en dernier lieu du contexte hydrogéologique local.

4.3.4.1. Communes du SIBAM

Les communes constituent le SIBAM⁹, au nombre de 8, sont situées dans la partie sud de la zone d'étude.

A la Bouilladisse, nous avons été reçus par M. Pelissier, Maire Honoraire et Conseiller Général, très au fait de la géologie de la zone d'étude et du fonctionnement de la mine de Gardanne ; il nous a indiqué de nombreux forages sur la commune.

A cette exception près, les mairies nous ont directement renvoyé au SIBAM, ce qui montre la solide implantation et la bonne image qu'a ce syndicat auprès des collectivités dans le domaine de l'eau et de l'assainissement.

Il s'est avéré que le SIBAM ne gère aucun captage et ne possède pas d'information relative aux ouvrages privés.

De ce fait, sur les 7 autres communes, le seul moyen d'obtenir des informations sur la présence d'éventuels ouvrages étant le " porte à porte", méthode qui se heurte à la méfiance des propriétaires. Ils sont en général peu au courant de la législation sur la déclaration des ouvrages et des prélèvements¹⁰.

4.3.4.2. Communes à l'Ouest de la zone

Sur les communes situées à l'Ouest de la zone d'étude (Meyreuil, Gardanne, Bouc-Bel-Air), les propriétaires se sont révélés peu disposés à collaborer.

Ce manque de collaboration est caractéristique des zones à tendance urbaine ; lors de notre visite, les propriétaires affirment ne posséder aucun ouvrage alors que la mairie, les voisins ou le foreur nous l'ont indiqué comme propriétaire d'un forage. Il faut ajouter à cela que dans ces zones de nombreuses propriétés sont en location, les locataires sont souvent peu au courant et/ou peu impliqués.

Pourtant, la mairie de Bouc-Bel-Air nous avait fourni une liste de propriétaires, ce qui aurait du faciliter les enquêtes, mais de nombreux propriétaires ne nous ont montré qu'un puits alors que l'enquête effectuée par la mairie laissait à penser qu'ils possédaient un forage relativement profond.

⁹ Syndicat Intercommunal du Bassin Minier comprenant : Peypin, La Destrouse, La Bouilladisse, Gréasque, Cadolive, St Savournin, Mimet et Belcodène. Directeur : **M. GAROT**.

¹⁰ **Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992**- modifié par le Décret n°2003 868 du 11 septembre 2003.

Prélèvements permanents ou temporaires issus d'un forage, puits ou ouvrage souterrain dans un système aquifère à l'exclusion de nappes d'accompagnement de cours d'eau, par pompage, drainage, dérivation ou tout autre procédé :

1° Capacité totale maximale des installations de prélèvement supérieure ou égale à 80 m³/heure : Autorisation ;

2° Capacité totale maximale des installations de prélèvement supérieure à 8 m³/heure mais inférieure à 80 m³/heure : Déclaration

4.3.4.4. Peynier-Fuveau-Trets-Ollières

La répartition peu homogène des ouvrages dans ces communes est probablement le résultat de besoins en eau non satisfaits par les opérateurs.

Dans les communes de Fuveau et Peynier, les enquêtes mettent en évidence de nombreux captages à la limite entre ces deux communes. Ce quartier n'est pas desservi par un réseau d'eau potable, ni par le réseau de la SCP (irrigation) et la solution de forages individuels s'est imposée.

Il en est de même pour la commune de Trets, même si l'on peut estimer que la répartition des ouvrages est plus homogène. La grande majorité des ouvrages est localisée dans la partie Sud de la commune, zone à relief plus marqué, et comportant de nombreux quartiers non raccordés à un réseau qu'il soit AEP ou d'irrigation.

D'après ce que nous avons observé sur le terrain, les propriétaires de ces forages ont généralement étudié la possibilité de se raccorder au réseau d'irrigation lorsqu'il est à proximité. Ce raccord, à la charge des usagers, est en général plus coûteux que la création de forages individuels et ce même si les propriétaires se regroupent pour commander les travaux.

Les mêmes observations peuvent être attribuées à la commune d'Ollières, dans le Var.

4.3.4.5. Pourrières, Pourcieux et Puylobier

La répartition des ouvrages visités sur les communes de Pourrières et de Pourcieux est moins limitée à des quartiers, mais s'étend à l'ensemble du territoire communal. Ceci vient du fait de la collaboration efficace du personnel de mairie qui a su nous donner le maximum d'informations, et ainsi, faciliter les recherches, mais aussi à celle des propriétaires qui étaient tout disposés à nous recevoir et à élargir nos recherches en nous informant sur la localisation d'autres ouvrages.

Les enquêtes menées actuellement sur le territoire communal de Puylobier se déroulent de manière similaire, laissant espérer d'obtenir une répartition des ouvrages véritablement représentative des besoins et des ressources en eau.

4.3.5. Reste à faire sur l'enquête de terrain

A ce jour, la phase d'enquête de terrain proprement dite est quasiment terminée. On estime le temps nécessaire à sa finalisation à une semaine.

Il reste maintenant à exploiter des données, notamment à l'aide du modèle géologique GDM, qui contribuera à identifier l'aquifère capté, ce qui permettra de définir la répartition de l'exploitation des différents niveaux aquifères.

5 Présentation du SIG (phase 4)

D'après l'économiste Michel Didier (1990), un Système d'Information Géographique est un "ensemble de données repérées dans l'espace, structuré de façon à pouvoir en extraire commodément des synthèses utiles à la décision".

Lors de l'élaboration des phases 1 et 2, la structuration des données dès le démarrage du projet est apparue indispensable. Ainsi, à ce jour, la structure du SIG du bassin de l'Arc est définie (voir Figure 16 ci-contre).

Ce SIG est composé d'une base de données sous le logiciel Access en liaison avec une cartographie sous MapInfo et qui pourra être interfacée avec le logiciel GDM qui permet de connecter des horizons lithologiques et stratigraphiques entre forages.

5-1 MODELE CONCEPTUEL DE DONNEES (MCD) DE REFERENCE

L'architecture du SIG se base sur celle de la Banque des Données du Sous-sol (BSS), base de données qui présente l'avantage d'être un produit abouti et complet, point central au BRGM et pour les services DRIRE, DIREN, DDASS de nombreux projets importants qui fédèrent des informations relatives au sous-sol.

La BSS possède, dans sa structure actuelle, l'ensemble des entités et des lexiques que le SIG du bassin de l'Arc doit posséder: ouvrages, points d'eau, analyses, bibliographie, logs, etc... La structure de type "BSS" impose la nécessité de l'existence d'un n° BSS unique (clé) pour chaque ouvrage de captage répertorié lors des enquêtes, des visites de terrain, ou de l'analyse bibliographique. Cela signifie que si ce numéro n'existe pas, il sera créé selon la procédure normalisée¹¹ et l'ouvrage apparaîtra dans la BSS.

5-2 DONNEES

Les données associées à ce SIG sont de deux types : tabulaires ou cartographiques, sachant qu'une donnée peut contenir à la fois des informations de type tabulaire et cartographique.

Il s'agira des données suivantes (listes non exhaustives).

A. Données tabulaires :

- Géologie et géophysique : logs géologiques validés et logs de calage
- Fiches bibliographiques
- Résultats des enquêtes de terrain
- Extrait de la BSS sur la région PACA

¹¹ L'attribution d'un code s'effectue sous la responsabilité du BRGM par le correspondant BSS de chaque Service Géologique Régional concerné.

B. Données cartographiques :

- Fonds scannés
 - Scan géologique 1/50 000
 - Scan IGN 1/25 000
 - Scan IGN 1/100 000
- Carte géologique vectorisée
- Géologie
 - Courbes de niveau Grande Mine
 - Mur et toit des formations
 - Failles
 - Profils sismiques (HBCM)
 - Profils géophysiques
 - Tracé des coupes géologiques
 - Moulrières
- Entités hydrogéologiques
- BD carto
- MNT
- Occupation des sols (Corine Land Cover)
- Concessions minières
- Limite d'étude des ouvrages bibliographiques
- Stations hydro-météo
- Données environnementales :
 - ZNIEFF
 - Contrats de rivière
- Données liées à l'hydrologie de surface :
 - Bassins versants
 - Hydrographie
 - Canaux

L'ensemble de ces données est rassemblé dans des "entités" ou "tables" reliées entre elles par des jointures qui bâtissent la structure du SIG.

Les relations entre les tables sont présentées ci-contre (Figure 17).

5-3 AVANCEMENT ET RESTE A FAIRE

Au 31 octobre 2003, la structure du SIG est arrêtée et le SIG lui-même a été construit.

Il est interfacé avec la BSS PACA, ce qui permet de récupérer et de mettre à jour les données de la BSS.

Le SIG utilise actuellement des fonds cartographiques à 1/25 000 de l'IGN, il reste donc à y insérer l'ensemble des fonds géologiques et topographiques. En outre, certaines données cartographiques (hydrologie de surface par exemple) doivent y être adjointes.

Les tables relatives à la bibliographie et aux enquêtes de terrain doivent y être insérées.

Il reste enfin du travail de mise en forme et d'interfaçage à effectuer. Ce travail est prévu lors d'une mission de l'expert du BRGM au début du mois de janvier.

6 Conclusion

A la fin du mois d'octobre, l'avancement du projet est le suivant :

- phase 1 :
 - analyse des principaux documents et exploitation en cours
 - codage et validation des sondages réalisés, identification des profils sismiques terminée, le traitement des profils commandé est en cours
- phase 2 : partie sud terminée, partie nord entamée
- phase 4 : architecture établie

Le reste à faire se décline donc comme suit :

- phase 1 :
 - poursuite de l'analyse, prise en compte des données qualitatives et quantitatives (format SANDRE)
 - exploitation des profils sismiques, modélisation de la géologie du bassin, interprétation et restitution
- phase 3 : proposition de travaux d'acquisition de données supplémentaires. Phase qui reste à réaliser entièrement. Notons qu'il est nécessaire, en liaison avec DRIRE et HBCM, de prendre en compte les propositions de réseau de suivi de mise en sécurité des travaux miniers,
- phase 4 : poursuite et fin de l'instruction du SIG puis chargement des données.

On prévoit pour fin mars 2004 le rapport final des phases 1, 2 et 4.

ANNEXES

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

ANNEXE 1 LEXIQUE

ADES : banque nationale d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines qui rassemble sur un site Internet public (<http://ades.rnde.tm.fr>) des données quantitatives et qualitatives relatives aux eaux souterraines. Cette banque est le fruit d'un travail collectif associant le ministère de l'Ecologie et du Développement, le ministère de la Santé, de la Famille et des Personnes Handicapées, les Agences de l'eau, les DIREN, et le groupement des DRIRE. Son développement informatique est confié au BRGM. (source : site Internet ADES).

Anticlinal : Pli où les éléments situés à l'intérieur de la courbure étaient, à l'origine, les plus bas (source : *Dictionnaire de Géologie*, A. Foucault, J-F Raoult, éd. Masson 1980).

Aquifère : terrain perméable contenant une nappe* d'eau souterraine (source : *Dictionnaire de Géologie*, A. Foucault, J-F Raoult, éd. Masson 1980).

Aquifère karstique : aquifère dont les conditions et le comportement correspondent au karst : hétérogénéité, discontinuités (compartimentage du réservoir), prédominance de l'écoulement des eaux souterraines par chenaux et conduits de grande dimension (conduits karstiques) à fonction collectrice et ou distributrice, large prépondérance de l'écoulement souterrain dans l'écoulement total du domaine correspondant (source : *Dictionnaire français d'hydrogéologie*, G. Castany, J. Margat, éd. du BRGM, 1977).

Artésien (puits -) : au sens large, puits dans lequel l'eau monte plus haut que le niveau où on l'a rencontrée. Au sens restreint, puits où l'eau jaillit alors à la surface (syn. Alors de puits jaillissant). Dans les deux cas, ce puits exploite une nappe captive (source : *Dictionnaire de Géologie*).

Bassin : dépression ovale ou circulaire à fond plat ou concave, et largement évasée, à flancs en pente douce, de dimension très variable (du km à plusieurs milliers de km), qui est ou a été un lieu de sédimentation (source : *Dictionnaire de Géologie*).

BSS : La Banque de données du Sous-Sol contient des informations brutes à caractères administratif et géologique : propriétaire, localisation, objet, logs géologiques, documents scannés, équipement technique des forages. Le code minier (Titre VIII du Code Minier français, Articles 131 à 136) rend obligatoire la déclaration des ouvrages d'une profondeur supérieure à 10 m. Le BRGM est chargé, par ses ministères de tutelle, de gérer ces données et de les mettre à disposition d'un large public.

Charriage : chevauchement de grande amplitude (de la dizaine à la centaine de km et au delà) ; on considère généralement qu'il y a charriage à partir du moment où les séries mise en contact par le chevauchement ont, à âge égal, des caractères très différents (cf. écaille) (source : *Dictionnaire de Géologie*).

Chevauchement : 1- mouvement tectonique conduisant sur l'ensemble des terrains à en recouvrir d'autres par l'intermédiaire d'un contact anormal peu incliné (surface de chevauchement). 2- recouvrement résultant de ce mouvement. Un chevauchement de grande amplitude devient un charriage (source : *Dictionnaire de Géologie*).

Coupe géologique : représentation de la section de terrain par rapport à un plan vertical. Une coupe géologique peut se construire à partir de la carte géologique,

complétée dans les cas favorables par d'autres renseignements sur le sous-sol (sondage, géophysique) (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Ecaille : ensemble chevauchant en forme de lame (épaisse de quelques dizaines à quelques centaines de mètres, longue et large de quelques hectomètres ou kilomètres), qui a été peu déplacé par rapport à un autre ensemble de référence (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Faïlle : cassure de terrain avec déplacement relatif des parties séparées. En pratique, ce terme désigne le plus souvent des accidents verticaux, ou à pendage fort, et n'impliquant pas de recouvrement (voir chevauchement, charriage) (*source : Dictionnaire de Géologie, A. Foucault, J-F Raoult, éd. Masson 1980*).

Forage : puits de petit diamètre creusé mécaniquement et destiné à l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine, d'un gisement de pétrole. Lorsque le puits est destiné à la reconnaissance du sous-sol, par exemple pour déterminer la constitution d'un gisement minier, on parle plutôt de sondage (*source : Dictionnaire de Géologie*).

GDM : Geological Data Management, logiciel créé et développé par le BRGM, qui permet la modélisation géologique en 3D de bassins sédimentaires.

Joint : toute surface de discontinuité au sein d'une roche ou d'un terrain, qui n'est pas un contact anormal avec déplacement (faïlle) (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Karst : plateau calcaire affecté par le modelé karstique* (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Lithologie : Nature des roches d'une formation géologique (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Log : anglicisme utilisé pour désigner 1- une colonne stratigraphique (tirée de l'étude d'une région ou correspondant à un forage) 2-une diagraphie (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Modelé karstique : type de relief affectant les pays calcaires, et principalement dû à la dissolution de leur roches par les eaux météoritiques chargées de gaz carbonique. On peut distinguer des formes de surface (lapiez, relief ruiniforme, doline, poljé, vallées sèches, avens) et des formes souterraines (pertes, résurgences, exurgences etc...) diagraphie (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Moulières : Les "moulières" sont des désordres lithologiques (remplissage divers d'argiles, de calcaires, de charbon, etc.) qui pourraient être attribués à des phénomènes d'effondrement liés à une karstification profonde (du Jurassique ?).

Mur : terme de mineur désignant la surface inférieure d'une formation, ou bien les terrains situés immédiatement sous elle (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Nappe (d'eau souterraine) : eaux souterraines remplissant entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère) de telle sorte qu'il y ait toujours liaison d'eau entre les pores. Une nappe se forme par accumulation des eaux d'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit sa progression vers le bas. L'eau remplit par gravité toutes les cavités accessibles jusqu'à un niveau dit **surface libre** qui est la surface à laquelle l'eau se stabilise dans les puits atteignant cette nappe. Par un phénomène de capillarité, l'eau remplit encore, un peu plus haut, les pores des roches

jusqu'à un niveau appelé "**surface de la nappe**". Cette tranche de terrain où toute les cavités accessibles sont remplies d'eau, est appelée "**zone de saturation**". Au-dessus vient une zone non saturée ou "**zone d'aération**" où circulent des eaux "**vadoses**", et vers le bas de laquelle l'eau monte par capillarité. La partie contenant l'eau capillaire est la "**frange capillaire**". Ce type de nappe est appelé "**nappe libre**" par opposition aux "**nappes captives**", ou "**nappes artésiennes***" qui sont emprisonnées entre deux terrains imperméables et ne comprennent qu'une zone saturée (**voir niveau piézométrique**) (source : Dictionnaire de Géologie, A. Foucault, J-F Raoult, éd. Masson 1980).

Niveau piézométrique : niveau auquel peut monter l'eau d'une nappe* souterraine dans un tube (**piézomètre**) qui y est enfoncé. Pour une nappe libre, ce niveau se confond avec celui de la surface libre de la nappe. Pour une nappe captive, le niveau piézométrique est plus élevé que la surface de la nappe qui est limitée vers le haut par une formation imperméable et est alors sous pression (source : Dictionnaire de Géologie).

Piézomètre : dispositif consistant en un tube enfoncé verticalement dans le sol par sondage et servant à mesurer la pression de l'eau, avec laquelle il est en relation à son extrémité inférieure.

Pli : déformation résultant de la flexion ou de la torsion de roches. Un pli ne peut être mis en évidence que s'il existe dans le matériel qui l'affecte un repère dont la forme antérieure à la déformation est connue. En toute rigueur, un pli doit correspondre à un épisode unique de déformation et il faut, dans toute la mesure du possible, séparer les plis successifs affectant le même matériel (source : Dictionnaire de Géologie).

SAGE : Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, instrument juridique institué par la loi sur l'eau du 03 janvier 1992, permettant de concilier la protection quantitative et qualitative des ressources en eau superficielle et souterraine, des écosystèmes aquatiques et des zones humides avec les différents usages de l'eau et favorisant une gestion locale et partenariale de la ressource en eau.

SDAGE : Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, documents réglementaires élaborés de 1992 à 1995, pour chacun des 6 grands bassins hydrographiques français. Ils déterminent les orientations fondamentales d'une gestion équilibrée de la ressource en eau et les aménagements à réaliser pour les atteindre.

SANDRE : Le Secrétariat d'Administration Nationale des Données Relatives à l'Eau élabore le langage commun des données sur l'eau. A ce titre, il est chargé au sein du Réseau National des Données sur l'Eau (R.N.D.E.) d'établir la normalisation des données afin de rendre compatible et homogène la définition et l'échange des données entre les producteurs, les utilisateurs et les banques de données. Le SANDRE a pour mission :

- de proposer un vocabulaire commun au domaine de l'eau,
- de gérer et de diffuser des listes de référence,
- de promouvoir un format d'échanges techniques standard.

Sise-Eaux : La base de données SISE-EAUX de la Direction générale de la Santé répertorie les analyses de potabilité réalisées par la DDASS.

Stratification : fait d'être composé de strates. Une stratification est d'autant mieux visible que les contrastes lithologiques entre les couches sont plus importants(*source : Dictionnaire de Géologie*).

Stratigraphie : science qui étudie la succession de dépôts sédimentaires généralement arrangés en couches ou "strates". Elle permet d'établir une chronologie stratigraphique relative notamment par l'utilisation raisonnée de 2 principes : le principe de continuité et le principe de superposition (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Synclinal : pli* où les éléments situés à l'intérieur de la courbure étaient, à l'origine, les plus hauts (*source : Dictionnaire de Géologie*).

Toit : terme de mineur désignant la surface supérieure d'une formation, ou bien les terrains la surmontant immédiatement (*source : Dictionnaire de Géologie*).

ANNEXE 2 GÉOLOGIE

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

Annexe 2-1 SÉDIMENTS FLUVIO-LACUSTRES DU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR, DU PALÉOCÈNE ET DE L'EOCÈNE DANS LE SYNCLINAL DE L'ARC (RÉGION D'AIX-EN-PROVENCE)

JP. DURAND, G. GONZALEZ, R. MONTEAU

Le synclinal de l'Arc, le plus important de Provence, s'étend sur plus de 75 kilomètres d'est en ouest et sur 20 kilomètres au maximum du nord au sud dans la région de l'étang de Berre. Dans ce synclinal, en bordure duquel est bâtie la ville d'Aix-en-Provence, se sont accumulés, sur un substratum jurassique ou crétacé, les dépôts fluvio-lacustres qui ont permis de définir les étages locaux Valdonnien et Fuvélien, Bégudien et Rognacien, correspondant probablement au Campanien et au Maestrichtien, puis le Vitrollien représentant dans son acception primitive le Paléocène et l'Eocène.

LE BASSIN SYNCLINAL DE L'ARC ET SES BORDURES

Le bassin synclinal de l'Arc prend le nom de la rivière qui le traverse d'est (Pourcieux) en ouest (Etang de Berre) sur 60 kilomètres de long. Ses bordures méridionales et septentrionales correspondent à des reliefs peu élevés auprès de l'Etang de Berre (collines de la Fare et d'Eguilles au Nord, de la Nerthe au Sud), plus vigoureux plus à l'est (chaînes de l'Etoile, de l'Olympe, de l'Aurélien, et côté nord, de Sainte Victoire, culminant à 1.011 m, alors que la plus grande partie du bassin présente une altitude comprise entre 0 et 300 m) En fait presque tous les chaînes bordant le synclinal de l'Arc sont des plis anticlinaux affectés de chevauchements plus ou moins complexes ; ils sont constitués par des couches d'âge jurassique et crétacé, de faciès marins variés, les formations calcaires ou dolomitiques les plus massives correspondant au KimmeridgienPortlandien et à l'Urgonien.

HISTOIRE GEOLOGIQUE DU SYNCLINAL DE L'ARC

1) Avant le Campanien

Vers la fin de l'Albien, il y a cent millions d'années, environ, s'est faite une émergence d'une partie de la Basse Provence, en liaison avec une phase tectonique dite "ante-cénomaniennne", créatrice de reliefs rapidement érodés. De par cette érosion se produisit le dépôt dans des zones karstiques du sédiment qui se transforma ensuite, plus ou moins complètement, en Bauxite. Aux alentours du synclinal de l'Arc et au centre de celui-ci, comme l'a montré un sondage à l'est de Gardanne, le mur de la Bauxite est d'âge barrémien ou hauterivien (faciès urgonien) et, plus à l'est (Regagnas, Pourcieux) portlandien.

Pendant le Cénomaniennne, le Turonien, le Coniacien et le Santonien se succédèrent plusieurs transgressions et régressions dans le golfe de Basse Provence, ouvert vers l'Ouest en direction du bassin Nord-Pyrénéen, limité au sud, croit-on, par un micro-continent regroupant Pyrénées, Corse et Sardaigne, fermé à l'est sur le méridien de Toulon et bordé au nord par une zone haute dite "isthme durancien" ou "bombement durancien".

Pendant le Santonien des sédiments marins variés (calcaires à hippurites, marnes, grès) s'accumulèrent surtout dans la région Nord-toulonnaise (actuellement synclinal

du Beausset) et près de la Sainte Baume (Plan d'Aups, Mazaugues) avec en général de plus en plus de formations détritiques vers l'est. Dans le synclinal de l'Arc les dépôts santoniens sont bien développés et surtout calcaires en bordure méridionale de l'Etang de Berre, et ne reparaissent que très réduits au nord de Berre. Plus à l'est les niveaux santoniens paraissent sur la bordure méridionale du synclinal de l'Arc, autour du Regagnas, dôme constitué de calcaires portlandiens, et de part et d'autre de celui-ci, dans les écaillés visibles sous les chevauchements de l'Etoile et de l'Aurélien. Cependant ces niveaux santoniens s'effilent vers le nord, à faible distance des affleurements, dans la partie orientale du synclinal de l'Arc, comme l'ont montré des sondages pour Bauxite dans la région de Pourcieux, et n'atteignent pas les abords de Sainte Victoire. La limite Nord du golfe pyrénéo-provençal correspondait donc probablement au Santonien à une ligne Aix-en-Provence Pourcieux.

La fin de la série santonienne est marquée par l'apparition de faciès margino-littoraux constituant la zone du Plan d'Aups, peu développée dans le synclinal de l'Arc, avec cependant quelques mètres de grès, marnes avec niveaux ligniteux, calcaires avec faune saumâtre (Glauconia coquandi, Cardium itieri).

2) Campanien

Le premier ensemble constitué par les dépôts fluvio-lacustres du synclinal de l'Arc, a été l'ensemble subdivisé lithostratigraphiquement par Matheron en 1878 en Valdonnien et Fuvélien. Valdonnien~Fuvélien correspond sans doute approximativement au Campanien.

A - Valdonnien

Le Valdonnien est constitué au sud-est de Gardanne vers Valdonne, sur 70 m de puissance, de grès, d'argiles, et de calcaires lacustres, ces derniers étant peu développés dans la région de Valdonne. Les grès fluviaux sont lenticulaires, feldspathiques, à ciment spathique, blancs ou roux à l'affleurement mais parfois gris-bleu et pyriteux dans la masse. Les minéraux lourds d'origine métamorphique (staurotide, grenat etc.) sont comparables à ceux des micaschistes des Maures. Les argiles sont des limons fluviaux rouges ou marmorisés, à Smectite dominante. Les calcaires, plus ou moins argileux, et les marnes lacustres contiennent dans un fond micritique de très nombreuses oncolithes constituées par des Cyanophycées, ainsi que des Charophytes, et des restes à sections identiques à celles des Algues Munieria, mais aussi à celles de Clavatoracées du genre Septorella défini par Grambast pour des fossiles d'âge maestrichtien (bégudo-rognacien). En plus des Ostracodes, la faune est représentée par des Lamellibranches (Unio, Corbicula) et des Gastropodes variés dont Campylostylus (Melanopsis) Gallo-provincialis. Des débris de Chéloniens sont également présents. Des variations latérales de faciès apparaissent cependant dans le Valdonnien au sud-ouest de Peynier les calcaires à Cyanophycées sont très développés et au sud de Trets, également dans la partie orientale du synclinal, comme près de Coudoux dans la partie occidentale, des sondages ont montré un Valdonnien présentant seulement des faciès marneux de milieu lacustre, riches en Mollusques. Sur les bordures nord-est et est du bassin, le Valdonnien, transgressif sur la Bauxite et son mur portlandien, se réduit à 15 à 30 m d'argiles bariolées et grès fluviaux, avec quelques mètres de calcaires noduleux.

La présence d'abondants pollens du genre Ephedra dans le Valdonnien paraît indiquer, d'après J. Medus, l'existence de zones relativement arides dans l'environnement proche. Peut-être sous un climat sub-tropical à saisons contrastées, l'importance de la saison sèche se faisait-elle plus sentir au Valdonnien que pendant le Fuvélien, caractérisé par des calcaires lacustres à lignite. Les affleurements

valdonniens et fuvéliens se retrouvent au-delà du synclinal de l'Arc actuel jusque vers la Sainte-Baume au sud et la région du Val-Vins le Thoronet au nord et à l'est de Brignoles, ce qui correspondrait à des dépôts fluviolacustres dans une dépression de plus de 100 kilomètres de long d'est en ouest sur 30 kilomètres du nord au sud. D'autres dépressions avec sédimentation fluvio-lacustre existaient aussi eu même temps dans la région des Alpilles et dans le synclinal du Beausset.

B – Fuvélien

1 - LES AFFLEUREMENTS FUVÉLIENS

Compte tenu de la structure du Bassin de l'Arc et la place du Fuvélien vers la base des couches fluvio-lacustres dans cette unité on peut s'attendre à trouver les affleurements de cette formation près des bordures du synclinal. En fait le Fuvélien est souvent masqué par des terrains déposés en discordance ou sous des chevauchements.

Le principal affleurement fuvélien, s'étend en demi-auréole au nord du Massif du Régaignas. Les calcaires fuvéliens peuvent être suivis d'ouest en est depuis Valdonne, Belcodène, Peynier et au sud de Trets. A l'ouest de Valdonne l'affleurement fuvélien est caché par le chevauchement majeur du Massif de l'Etoile. Cependant, ce chevauchement en rabotant les couches de la bordure sud du synclinal, est à l'origine du Lambeau de Gardanne (M. BERTRAND, 1898)

A l'est du Regaignas, les affleurements passent sous le chevauchement du Massif de l'Olympe. Au nord les affleurements d'un fuvélien réduit apparaissent et se poursuivent par Pourrières et Puylobier. Plus à l'ouest jusqu'à Aix, c'est le chevauchement du flanc normal du pli du Massif de Sainte-Victoire qui masque la bordure Nord du synclinal, alors que d'Aix à Eguilles c'est l'oligocène détritique.

Les affleurements de calcaires fuvéliens reprennent de part et d'autre de Coudoux pour disparaître sous les alluvions quaternaires de la Basse Vallée de l'Arc.

2 – LES SONDAGES MINIERS

Nous avons validé 81 logs de sondage miniers, le plus ancien est le sondage de Peynier (1880) A l'est du bassin des sondages furent exécutés entre 1924 et 1965, vers l'ouest (Coudoux) la C° des Houillères de La Fare fore 15 sondages (1922-1925)

Dans les dernières campagnes effectuées par les Houillères de Provence 1965 (2 sondages), 1976-1979 (18 sondages) et depuis 1982 (15 sondages), le Fuvélien a été carotté de son toit jusqu'à un niveau situé à une dizaine de mètres sous la couche exploitable. Les informations recueillies ont été complétées par la réalisation de diagraphies permettant de mieux corréler l'ensemble de la série.

Différentes sondes ont été utilisées, le tableau ci –après les résume par sondage.

	Gam.Ray Neutron	Gamma- Gamma	P.S. Résistiv.	Diiamet.	Sonique	Carrottage. sismique	Thermo.	Carottage acoustique	Scintillo.	Laterlog
AP1	X						X			
AP2	X						X			
AP3	X						X			
AP4	X	X	X		X	X	X	X		
AP5	X		X				X			
AP6	X		X				X			
AP7	X		X							
AP8	X			X						
AP9	X			X	X	X	X	X		
BB1	X		X							X
BB2	X						X			
BB3	X						X			
BR1	X						X			
CA1	X									
CA2	X						X			
EG1	X		X							
GN1	X						X			
GS1	X	X		X	X	X		X		
GS2	X									
GW1	X									
GW2	X	X	X	X			X	X		
ME1	X						X			
ME2	X						X			
MP1	X	X							X	
RC1	X						X			
RC2	X						X			
RC3	X	X					X			
SI1										
SI2	X						X			
SI3	X	X		X	X					
VB1	X		X				X		X	X
VB2	X									
VB3	X						X			
VX1	X						X			
VX2	X	X					X			

3 – LES TRAVAUX DE GEOPHYSIQUE

Une campagne de géophysique a été réalisée en 1978 par la Compagnie Générale de Géophysique, elle a consistée en six profils (G1 à G6) d'une longueur totale de 80km. L'enregistrement a été fait en couverture 24 et le traitement a été effectué au centre C.G.G. de Massy par méthode « slalom line »

Les Houillères de Provence souhaitent mieux connaître la géométrie du gisement, en particulier au niveau du Fuvélien et de la couche Grande Mine destinée à être exploitée.

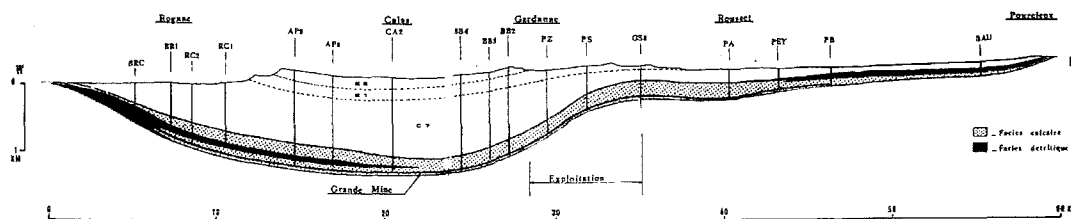
Les sections sont généralement de bonne qualité permettant de tracer cinq horizons (H1 à H5) correspondant à des réflexions continues et caractéristiques. Deux d'entre eux (H1 et H3) ont donné lieu à l'établissement de cartes en isochrones ; l'horizon 1 est situé au toit du Bégudien inférieur marneux et l'horizon 3 qui est appuyé sur la réflexion la plus énergétique de l'étude, correspond approximativement au niveau de la Grande Mine. A partir de cette carte en isochrones une carte en isobathes du niveau « Grande Mine » a été établie par la C.G.G.

4 - LES SEDIMENTS FUVÉLIENS

Connus à l'affleurement surtout dans la partie orientale du bassin de l'Arc, les séries fuvéliennes sont accessibles grâce aux nombreux sondages de reconnaissance réalisés par les Houillères du Bassin du Centre et du Midi. Les résultats des différentes campagnes (1976, 1979, 1982-83) ont permis de donner une image assez précise du bassin fluvio-lacustre (DURAND et alii, 1984 – GLINTZBOECKEL et BESSON, 1984).

Les sédiments du Fuvélien (équivalent d'une partie du Campanien) sont principalement des micrites lacustres, argileuses (Sm, I-Sm, I, K), pyriteuses, grises ou bicolores, parfois sapropéliennes. Au voisinage des couches de lignite de base, des bancs contiennent 7 à 8% de SO₃. Plusieurs niveaux sont à « ciment naturel ». Dans l'ensemble les bancs sont bien réglés, avec de rares joints argileux, malgré, très localement, un aspect bréchoïde ou à gravelles, des marques de tassements et exceptionnellement, un litage oblique ou des traces de bioturbation.

Dans la partie occidentale du bassin, une formation détritique (apport latéral) s'intercale dans la série fuvélienne. Elle est surtout argileuse, mais contient également des niveaux gréseux.



5 - PUISSANCE DU FUVÉLIEN

L'épaisseur des calcaires fuvéliens dépasse 350 m à St. Savournin (Puits Germain) et dans le Lambeau de Gardanne sous le chevauchement de l'Etoile. Mais sur le flanc nord du synclinal de l'Arc, près de la Sainte-Victoire, elle est de 50 m et moins. Vers l'ouest, le Fuvélien, réduit en bordure du Massif de la Nerthe, dépasse 200 m près des collines de La Fare, mais s'y développent, au sein des calcaires plus marneux, des argilites et grés d'origine fluviatile. Vers l'est, le sommet des calcaires passe latéralement à des sédiments fluviatiles ; des affleurements se retrouvent jusqu'à Vins, près de Brignoles, et vers le sud, jusqu'à la Sainte-Baume. Ainsi le lac principal s'étendait au Fuvélien au moins sur 100 km d'est en ouest et 30 km du sud au nord.

6 - LES CALCAIRES FUVÉLIENS

Les calcaires fuvéliens ont un grain généralement fin, ils contiennent toujours une certaine quantité de matières organiques charbonneuses ainsi que de la pyrite.

L'examen macroscopique des calcaires de la série fuvélienne à permis de distinguer cinq types pétrographiques (GAVIGLIO, 1985). Chaque type correspond à une composition et à une texture différentes ainsi qu'à des caractéristiques de densité et de porosité assez précises.

La distribution verticale de ces faciès est irrégulière, cependant à l'échelle du bassin, les calcaires ont une composition remarquablement constante.

Lithologie	Type	%	Pétrographie	CoC3	densité	porosité
Calcaire gris	I	53	Calcaire lité grumeleux	85/90	2,32	9
Calcaire gris	II	1	Calcaire bréchifié	75/90	2,14	-
Calcaire gris	III	30	Calcaire homogène fin	83	2,54	4,5
Calcaire gris	IV	8	Calcaire lité coquiller	60/75	2,32	-
Calcaire crème	V	4	Calcaire grossier poreux	99	2,30	12
Lignite		4		-	-	-

7- PROPRIETES GEOMECANIQUES DES CALCAIRES FUVELIENS

7.1 – Caractéristiques géomécaniques par types pétrographiques (Valeurs moyennes des sondages GW2-SI1-SI2), GAVIGLIO-1985 :

Essais mécaniques	Type I	Type III	Type IV	Type V
Résistance à la compression(Mpa)	124	110	85	116
Module d'élasticité statique(10 ³ Mpa)	15	33	14,6	43,2
Coefficient de Poisson	0,28	0,24/0,32	0,25	0,28
Résistance à la traction(Mpa)	7,3	4,6	3,3/4,6	5,9
Vitesse du son(m/s)	4200	4500	3480	4640

Dans l'ensemble les caractéristiques mécaniques évoluent dans le même sens : augmentation des résistances, du module d'élasticité et de la vitesse du son.

7.2 – Bilan des recherches antérieures :

Essais	Conditions	Valeurs
Rc	Compression uni axiale	De 80 à 140 Mpa
Rc	Compression tri axiale	De 120 à 200 Mpa
Es	Compression uni axiale	De 7500 à 15000 Mpa
Es	Compression tri axiale	De 10000 à 20000 Mpa
Es	Compression in-situ	De 10000 à 80000 Mpa
v		De 0,20 à 0,30
Rt		De 3 à 8 Mpa
Vp		De 3000 à 5000 m/s

Rc : Résistance à la compression
(ARCAMONE 1978 et 1980 – TRITSCH et WATELET 1985)

Es : Module d'élasticité statique :
(ROUMIGUIERES 1954 – BELIN et altri 1971)

v : Coefficient de Poisson :
(PIGUET 1980 – LEBRETON 1980)

Rt : Résistance à la traction :
(ARCAMONE 1978 – TRITSCH et WATELET 1983)

Vp : Vitesse du son :
LEBRETON 1980

La comparaison des deux tableaux montre une bonne concordance sur l'ensemble des caractéristiques, les ordres de grandeur sont les mêmes. L'image moyenne des caractéristiques du calcaire fuvélien n'est donc pas modifiée, la dispersion signalée par l'ensemble des auteurs est bien réelle, mais cache une juxtaposition de résultats homogènes si l'on prend en considération les différents types pétrographiques.

8 – LES CHARBONS FUVÉLIENS

Dans les calcaires lacustres fuvéliens, les charbons se présentent sous forme de nombreux niveaux de quelques centimètres d'épaisseur appelés « Ravettes » et de sept couches de lignite (de haut en bas : mine de Gréasque ou Fuveau, Mine des Deux Pans, Mine de l'Eau, Mine du Gros Rocher, Mine de Quatre Pans, Mauvaise Mine, Grande Mine) La plus ancienne, la plus épaisse, est la seule actuellement exploitée.

La sédimentation du charbon s'est effectuée avec une ou plusieurs intercalations calcaires « les stériles »

8-1 – Les stériles : Les couches de charbon, en particulier la Grande Mine, contiennent des niveaux calcaires assez continus et des lentilles argileuses.

- a) Les calcaires : Dans la Grande Mine ils forment divers niveaux muritiques, à Ostracodes ou Charophytes (Characées et Clavatoracées, à moins que les clavatoracées supposées soient des algues du genre *Munieria*), à débris de Lamellibranches et de Gastéropodes. Les phénomènes de sédimentation y sont variés (Travaux de G. GONZALEZ - 1981 et de JF. GONZALES - 1983) Cependant le passage du lignite aux bancs calcaires intercalés n'est pas tranché et il existe fréquemment un passage progressif, le mélange pouvant être à dominante carbonatée ou charbonneuse. On a parfois une alternance d'ordre millimétrique de ces deux constituants appelée souvent « charbon barré » dans les coupes des couches exploitées. De plus il existe dans le charbon des débris minuscules de tests de Lamellibranches et de Gastéropodes et de fragments sphathiques de Charophytes ou d'Algues, formant de très minces lits ou disséminés (le dépôt des matières végétales n'était donc pas un milieu acide). Dans certains calcaires fuvéliens la présence de dolomite calcaire associée à la calcite a été trouvée ; il n'en a pas été de même pour l'instant dans les stériles calcaires de la Grande Mine, dans lesquels les tests calcaires étudiés contiennent encore parfois l'aragonite originelle. Par ailleurs on ne connaît pas de « clayats »(dépôts carbonatés autour de racines) dans le charbon.
- b) Les argiles : Dans les couches de charbon et en particulier dans la Grande Mine s'intercalent des lentilles d'argiles grises d'importance très variable, pyriteuses, très peu calcaires, ces argiles sont constituées de kaolinite, d'illite et plus accessoirement d'intercalations illite-smectite. Les calcaires fuvéliens, encaissants du charbon, sont en réalité constitués d'une alternance de bancs de calcaires et de bancs de calcaires argileux, d'épaisseur métrique en moyenne. Dans la partie inférieure du Fuvélien de la couche Gros Rocher à la couche Grande Mine, qui contient les quatre plus importantes couches de charbon et de nombreuses petites couches ou Ravettes, l'association des minéraux des calcaires argileux est en général du même type : kaolinite, illite et illite-smectite (avec parfois d'autres interstratifiés), c'est à dire avec absence de smectite, celle-ci devenant en revanche prépondérante plus haut dans la série des bancs fuvéliens, dès lors plus pauvres en charbon. Les charbons sont

parfois un peu argileux et grisâtres surtout dans les secteurs où les argiles prennent un développement considérable, comme c'est le cas dans les anciennes exploitations de Trets et de Coudoux. A Trets la partie inférieure de la Grande Mine était localement remplacée latéralement par une épaisseur d'argile atteignant jusqu'à 1,6 m d'épaisseur ; alors que la Grande Mine avait en moyenne 2 m d'ouverture, elle dépassait par endroit 4 m lorsque s'y intercalaient plusieurs niveaux argileux. Cette surépaisseur actuelle des zones plus argileuses est peut être due à un tassement moins important pour l'ancien sédiment argileux que pour les matières végétales, malgré des épaisseurs initiales identiques, dans un marécage avec, près de la bordure des marigots envasés, où étaient remaniées de nombreuses feuilles de lotus.

- c) Le Quartz et la silice : Des quartz détritiques sont présents dans les calcaires intercalés dans le charbon et dans le charbon lui-même mais en quantité minimale. Or dans les cendres obtenues après combustion du lignite, la teneur en silice est telle, par rapport à la teneur en alumine (plus encore dans les résultats donnés par l'APAVE que ceux fournis par le CHERCHAR), que cette silice ne paraît pas provenir uniquement des associations de minéraux argileux indiqués ci-dessus, ni même de quartz détritique. Il est possible qu'il existe de la silice à l'état sub-microscopique ce qui a amené à chercher, comme source éventuelle, sans résultat pour l'instant, des diatomées dans le charbon et dans les intercalations (car celles-ci sont très peu carbonatées et l'on pourrait penser que des diatomées pourraient y être conservées) Cependant il y a quelques années ont été découverts dans la Grande Mine des fragments de troncs silicifiés dans les cellules du bois, cette silicification s'étant faite après le tassement. L'origine de la silice ayant épigénisé ces bois flottés peut être recherchée soit en relais dans l'opale des diatomées ou de phytolites aujourd'hui disparues, soit plus avant encore dans des transformations de minéraux argileux, par exemple par dégradation de smectite, absente dans les niveaux charbonneux comme c'est pratiquement la règle partout (alors que les sols riches en matières organiques sont l'un des milieux de néoformation de la smectite) Or la smectite est parmi les principaux minéraux argileux le plus sensible à une élévation de température et il est très possible que la transformation des matières organiques en charbon se soit accompagnée d'une telle élévation de température.
- d) La Pyrite : Dans les calcaires fuvéliens, les charbons, les stériles intercalés, calcaires ou argileux, la pyrite est présente partout. Elle se trouve sous forme de framboïdes ou de cubes, microscopiques ou non, de dendrites (sans doute trace de colonies bactériennes) d'épigenie de tests de Lamellibranches ou de Gastéropodes (parfois à partir de perforations dans ces tests) Elle est particulièrement abondante dans les lentilles calcaires gris-bleu visibles localement dans la Grande Mine sous le Rocher, principal banc stérile calcaire.
- e) Le Gypse : D'origine secondaire, du gypse apparaît localement dans des fissures ou dans les tests de Gastéropodes ; il est dû à l'oxydation de pyrites en milieu carbonaté au voisinage de fissures aquifères.
- f) Les Phosphates : Des débris phosphatés divers apparaissent dans la Grande Mine et plus généralement dans les divers bancs du Fuvélien. Ce sont des carapaces ou de plaques de tortues, des dents et des écailles de poissons, des fragments osseux indéterminés, des coprolithes de tortues ou de crocodiles. La couleur en est jaunâtre ou brune.

8-2 - Les charbons

a) Analyse élémentaire.

On possède de très nombreuses analyses de charbon du bassin de l'Arc, malheureusement étant données d'une part l'hétérogénéité du matériel, avec des stériles variés et triages plus ou moins poussés, d'autre part la définition généralement très vague de l'origine des échantillons analysés, il est difficile d'en comparer les résultats. Passons sur les écarts fournis par les laboratoires d'analyse pour un même matériau (manque d'homogénéité réelle de l'échantillon et différences de méthodes), les résultats sont quand même beaucoup plus précis que la localisation des échantillons, à part quelques 1976/1979 exceptions, par exemple dans le cas d'un échantillon de carottes de sondages.

Analyses élémentaires	Alpern 1959	Alpern 1959	Alpern 1963	Alpern 1963	Lurgi 1976	Sondages
	brut	Pur et sec	Sur sec	Sur pur	Sur sec	
Carbone fixe					41,9	
Mat. volatiles		50,2	39	44,1	40,3	43 à 45
Cendres	11,8		11,6		8,2	16 à 30
Perte au feu	10,5		7,6		9,6	7 à 14
P.C.S.	6923		6960		6168	4000/5000
C	77,35		65,5	74,1	61,81	
H	5,2		4,6	5,2	4,37	2 à 4,5
N			1,7		1,37	
Soufre comb			5,5		4,31	
Chlore					0,04	
Bitume		1,4		0,5		
Acide humiq.		3,65				

- On ne connaît pas la provenance exacte de l'échantillon de « lignite de Gardanne » étudié par Alpern en 1959 dans sa thèse.
- Par contre celui de 1963 provient du Puits Gérard à Biver, au niveau -250, dans le montage 87 et dans la Mine du Toit (c'est à dire dans le niveau le plus élevé de la Grande Mine), B. Alpern indique après un essai au tambour rotatif une résistance mécanique très élevée.
- L'échantillon analysé par Lurgi en 1976 est un échantillon de type industriel, c'est à dire prélevé dans le stock accumulé sur le carreau de la mine (30kg) Une analyse spéciale du soufre a donné : soufre total 5,03 – soufre pyrite 0,69 – soufre organique 4,32 – soufre sulfate 0,02.
- En étudiant les résultats d'analyse des carottes des sondages effectués pendant la campagne de prospection de 1976 à 1979 on peut faire quelques constatations sur l'évolution latérale de la couche Grande Mine (bien que les différences soient parfois notables entre les données du CHERCHAR et celles de l'APAVE) Si l'on échantillonne sur toute la hauteur de la couche, qui diminue de puissance du sud au nord, de Simiane (sondage SI2) à Bouc Bel Air (BB2, BB3), Gardanne (GW2, GN1), Meyreuil (ME1) puis en direction d'Aix (AP1 ,AP3) on constate, après avoir enlevé seulement le banc de rocher principal, que les « Fines Brutes », type « échantillon de centrale », fournissent un Pouvoir calorifique sur sec compris en général entre 5000 cal/g et 4000 cal/g. Ce P.C.S. est décroissant du sud au nord alors que les cendres augmentent de 16 à plus de 30 % dans la même direction (tandis que l'humidité totale passe de 7 à 14 % la teneur en soufre total varie irrégulièrement entre 2 et 4,5 % (pour le CHERCHAR) en général de 3 à 3,5 %. La région de Simiane correspond à la zone axiale du bassin lors du dépôt du lignite au Fuvélien il y a 80 millions d'années, et en direction d'Aix on se rapproche de la bordure de ce bassin, comme le montrent la hauteur de la couche et la teneur en cendres.

On peut également comparer les résultats pour les mêmes sondages en ne retenant que le matériel calibré et lavé jusqu'à obtenir une densité inférieure à 1,45 (échantillon de type « commerce »), le Pouvoir Calorifique Supérieur décroît du sud au nord de près de 7000 cal/g à moins de 6000, avec une teneur en cendres sur sec passant de 9 à 15 % (l'humidité totale variant dans la même direction de 7,5 à plus de 15). L'indice de gonflement reste toujours nul et la teneur en Matières Volatiles varie peu, il est en général de 43 à 45 %.

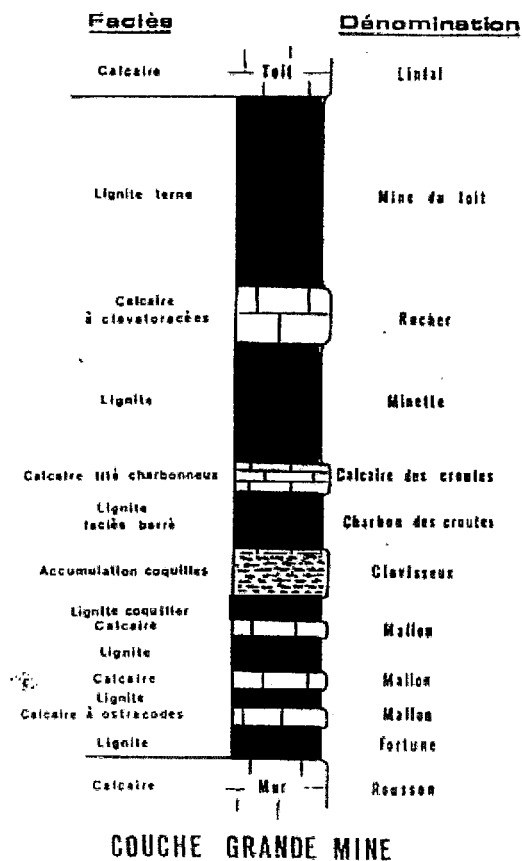
Dans l'ensemble les variations de composition de la Grande Mine semblent déterminées par la forme du bassin de sédimentation au Fuvélien, qui dépassait largement au sud les contours du synclinal de l'Arc actuel, s'étendant jusqu'à la Sainte-Baume, mais les plissements et les érosions de la fin du Crétacé et de l'Ere tertiaire ont fait disparaître presque totalement 35 à 40 % du gîte.

Près de la bordure nord-occidentale du bassin de l'Arc le sondage de Moulin du Pont (MP1) au sud de Coudoux a retrouvé une Grande Mine haute de 2,42 m voisine de celle qui a pu être observée dans une ancienne descenderie à l'est de Coudoux (2,19 m) Le charbon ne représente qu'environ 50 % de la couche et les stériles sont assez argileux. Le pourcentage de cendres sur sec est d'ailleurs maximal dans le sondage MP1, quelques soient les fractions choisies par densitomètre (coupures à 1,4-1,6-1,9) Par ailleurs l'humidité y est maximale également. Dans les cendres on constate une augmentation forte (de 1,5 à 2 fois) de la teneur en Fe₂O₃, K₂O et Li₂O et surtout Na₂O (x6) par rapport aux cendres de la même fraction densitométrique (<1,6) et granulométrique (0,5-10) du lignite donné par les sondages (SI1, GW1, BB1) alors que la teneur en soufre ne paraît pas varier.

En fait au sud de Coudoux le fonçage d'un puits de mine fut autrefois interrompu par des venues d'eau nettement salées et il existe à l'ouest de La Fare une source salée dite de la Calissanne. C'est la variation de teneur en Fe_2O_3 qui paraît la plus difficile à expliquer d'autant que la teneur en soufre est constante (5 % environ) mais on ne connaît pas l'importance relative du soufre provenant de pyrites et de celui qui est combiné avec des matières organiques.

La plus orientale des anciennes exploitations de lignite du bassin de l'Arc est celle de Trets, arrêtée en 1935. Le charbon y était particulièrement riche en cendres (rarement moins de 10 %, souvent entre 20 et 30 %) avec des stériles argileux représentant parfois les trois quart d'une couche alors particulièrement épaisse. En revanche l'humidité était faible dans les lignites cendreux. A Trets le soufre était particulièrement abondant, de 6 à 9 % et même jusqu'à 12 % (exemple d'analyse : soufre total 6,5 %, soufre organique 4,12 %, soufre pyritique 2,18% et soufre de $CaSO_4$ 0,2 %) C'est cette teneur en soufre qui avait donné à Save de Beurecueil (Thèse 1935) l'idée qu'on pourrait extraire ce corps en même temps que fabriquer des carburants de synthèse à partir des lignites. De fait (d'après G. HULOT et L. BLUM-PICARD 1960, dans un livre à la mémoire de G. CRUSSART) des essais furent, en 1937-1938, effectués à Liévin ou l'on traita près de 1000 t de lignite de Provence et l'on conclut que 1t de « carbolignite » « pur et sec » pouvait donner 530 kg d'essence d'hydrogénation raffinée. Une usine fut même construite par la suite près du puits de l'Arc (actuellement zone industrielle de Rousset) mais ne fut jamais utiliser.

En dehors de nombreuses analyses élémentaires du lignite, l'étude de chimie la plus détaillée est celle de Save de Beurecueil en 1935 avec les méthodes de l'époque. Plus récemment en 1961 M. VERCESI a réalisé une étude sur les cires du lignite, concluant que l'acide gras principal pourrait être un acide en C20 et que 20 kg de lignite pourrait donner 0,5 kg de cire. Cependant MJ. KISTER nous a signalé que les cendres de la Centrale Thermique de Meyreuil contenaient des cires imbrûlées entre C24-C30 (communication orale), la cire montanique d'Allemagne et USA étant en C29.



b) Macéraux des lignites de la Grande Mine.

On dispose d'une étude d'une partie de la couche effectuée par B. ALPERN en 1963 au sud de Biver et de Gardanne et de trois coupes détaillées effectuées par G. GONZALEZ pour son doctorat de 3^e cycle (Marseille 1981)

b1) L'échantillon prélevé par Alpern près du puits Gérard de Biver, au niveau -250 dans le montage 87, dans la Mine du Toit, a donné une analyse chimique indiquée ci avant. La composition en macéraux est la suivante :

- Vitritinite 54 % (presque uniquement de l'Humo-collinite, c'est à dire un gel vrai)
 - Exinite 13,4 % (cutinite 0,8 – sporinite 6,2 – résinite 6,4)
 - Inertinite 26 % (dont 9,5% pour sclérotinite et semi-fusinite)
- Le pouvoir réflecteur de la vitritinite est de $0,49 \pm 0,04$.

b2) Les trois coupes détaillées effectuées par G. Gonzalez dans la Grande Mine sont situées : log 5 dans la voie 22 quartier de l'Etoile, au sud de Gardanne – log 1 dans la voie 25 dans la partie nord du même quartier, à 2,5km au nord-est de la coupe précédente – log 13 voie 86 quartier de Sainte-Victoire à 4km à l'est nord-est de la coupe précédente et à 4 km à l'est de Gardanne. On retrouve dans ces trois coupes de la Grande Mine la même succession de banc, l'épaisseur de la couche varie du sud-ouest au nord-est de 3 à 2 m :

On constate qu'en moyenne le lignite est constitué pour 50 à 55 % de Huminite-Vitritinite, pour 10 à 40 % de Liptinite-Exinite (surtout Cutinite et Sporinite) et pour 10 à 30 % d'Inertinite (principalement Inertodétrinite puis Semi-Fusinite et Fusinite, la Sclérotinite se remarquant surtout dans la coupe la plus méridionale (log5).

Dans le détail pour l'ensemble des trois coupes en moyenne la Liptinite-Exinite est plus abondante dans la partie inférieure de la couche (sous la Minette) 34 à 40 % au lieu de 11 à 21, la Vitritinite est plus développée dans la Mine du Toit (60 % au lieu de 53), l'Inertinite varie en moyenne de 9% dans la base à 28 % dans la Minette et 24 % dans la Mine du Toit.

Si l'on considère maintenant les variations entre les trois points d'étude, du sud-ouest au nord-est, on observe :

- Pour la partie inférieure de la couche constance de la Huminite-Vitritinite vers 53 %, un peu plus de Leptinite-Exinite 34 à 40 %, moins d'Inertinite 12,8 à 6,4 %.

- Pour la Minette, plus d'Inertinite (22,8 puis 31,4 et 30,5 %) moins de Vitrinite (60 puis 47 et 52 %) autant de Leptinite-Exinite ou à peu près (14±3) mais sans régularité.
- Pour la Mine du Toit, moins d'Inertinite (29 puis 21,6 et 21,8 %) plus de Liptinite-Exinite (13,7 puis 13,3 et 21,6 %) et pour la Huminite-Vitrinite (57 puis 65 et 57 %)
- La Huminite-Vitrinite du **log5**, le plus méridional, a été analysée à l'I.F.P. par B. DURAND sur 8 échantillons : C 64,19 à 68,75 – H 4,62 à 5,09 – N 1,56 à 1,93 – O 17,8 à 18,45 – S 4,32 à 6,10 – Fe 1,71 dans un échantillon.

A Trets dans les vieux travaux on a également autour de 50 % de Vitrinite, plus de Liptinite-Exinite dans le bas de la couche, plus d'Inertinite dans le haut.

G. Gonzalez, qui a pratiqué ses déterminations au CHERCHAR et à la Faculté des Sciences de Lille a également étudié le charbon des diverses couches dans plusieurs sondages, sauf la Grande Mine dont les carottes ont été dévorées par les analyses chimiques. Des échantillons de la Mine de Gréasque-Fuveau prélevés sur l'autoroute A52 ont donné 45 à 55 % de Huminite-Vitrinite, 35 à 50 % de Liptinite-Exinite et en particulier de la Fluorinite, moins de 10 % et parfois moins de 5 % d'Inertinite.

En fait nous savions par la bibliographie entreprise que la couche de Gréasque-Fuveau est particulière, son charbon, moins altérable, était le seul utilisé par les maréchaux-ferrants. Une étude de cires pourrait y être effectuée.

c) Rang du charbon de Gardanne

L'évolution du charbon est définie par divers paramètres en particulier le pouvoir réflecteur (P.R.) de la Huminite-Vitrinite. Pour l'échantillon de la Mine du Toit étudié par B. Alpern et déjà cité ci-avant le P.R. est de $0,49 \pm 0,04$.

Au quartier de l'Etoile G. Gonzalez indique pour la base de la couche un P.R. de 0,35 à 0,38 ($\pm 0,04$), pour la Minette $0,42 \pm 0,04$ et pour la Mine du Toit $0,48 \pm 0,04$. On voit donc que d'après ce paramètre la lignite de Gardanne serait à la limite des Houilles si cette limite n'avait été portée de 0,50 à 0,60.

D'autres paramètres atteignent la limite des Houilles pour tel ou tel échantillon mais dans l'ensemble le charbon du bassin de l'Arc est un « lignite brillant », « high volatile », flambant, mais dont la teneur en soufre a posé des problèmes techniques pour la désulfuration des rejets de la nouvelle centrale thermique.

Des différentes couches de charbon du Fuvélien ont été extrait dans le bassin de l'Arc 140 millions de tonnes. A l'ouest des travaux actuels une première campagne de sondages a découvert 47 Mt de réserves exploitables dans le cadre des infrastructures actuelles et 25,5 millions de tonnes de ressources identifiées situées à la périphérie des précédentes. Une deuxième campagne a montré au sud de Ventraben et de Coudoux sous le plateau d'Arbois 62 Mt de ressources identifiées à moins de 1050 m de profondeur (ou 85 Mt à moins de 1200 m) Tous ces chiffres sont obtenus après prise en compte d'un taux de défrètement du charbon en place d'environ 45 %.

Cependant depuis le dépôt du Fuvélien il y a 80 millions d'années, les plissements et les érosions de la fin de Crétacé et de l'Ere Tertiaire ont fait disparaître ou morcelé sans doute 40 % d'un gîte, qui devait correspondre à plus d'un milliard de tonnes de charbon.

3) Maestrichtien

Après le Fuvélien s'est produit un renouvellement important de la faune de Mollusques et de la flore (Charophytes et pollens) d'où la définition d'un nouvel ensemble fluviolacustre, le Bégudo-Rognacien, représentant le Crétacé terminal c'est-à-dire le Maestrichtien. Cependant il n'est pas certain que la limite Fuvélien-Bégudien corresponde exactement à la limite Campanien-Maestricien, des essais de magnétostratigraphie n'ayant pas donné pour l'instant de résultats décisifs.

A - Bégudien

La fin de la biostasie fuvélienne peut être due à une variation climatique vers le semi aride, d'où la réapparition des argiles et grès fluviatiles, dominants dans le Bégudien inférieur, à la place des calcaires lacustres ; mais elle peut être due à une rhexistasie d'origine tectonique car la phase maestrichtienne" de G. Denizot a ébauché la plupart des structures plissées existant aujourd'hui en Basse Provence.

Dans le synclinal de l'Arc cette phase d'orogénèse a amené la formation de brèches au pied des reliefs apparus (Nerthe, Etoile, Sainte Victoire), encore que la structure de l'Etoile se trouvait alors à une dizaine de kilomètres au moins plus au sud, au niveau de l'actuelle vallée de l'Huveaune. Ces brèches à ciment marneux rouge ou à encroûtements calcaires montrent souvent en quantité des Microcodium semblant carier les blocs et cailloux ; ces prismes de calcite paraissant, en section, disposés en rosaces ou symétriquement répartis de part et d'autre d'un axe, pris d'abord pour des Algues, seraient la trace de mycorhizes de champignons et n'apparaissent bien en effet que dans les anciens sols. Les encroûtements calcaires formant localement le ciment des brèches contiennent en abondance des Microcodium. Comme les brèches, sont discordants sur leur substratum et en particulier sur le Fuvélien, sur la bordure Nord des chaînons de l'Etoile et de la Nerthe, des poudingues fluviatiles postérieurs aux premières brèches et surtout développés en énormes lentilles entre Martigues et Fos. Les galets de ces poudingues sont des calcaires avec des faciès parfois inconnus ailleurs en Provence, des quartzites métamorphiques et des grès sériciteux paléozoïques rouges ou verts, des quartz d'origine filonienne. A l'est du synclinal de l'Arc, près de Pourcieux, le Bégudien argilo-gréseux est nettement discordant sur le Valdo-Fuvélien redressé et le Portlandien de la "bande d'Ollières" exhaussé par flexures et failles. Dans l'ensemble le Bégudien inférieur est représenté principalement par 150 à 200 m de limons argileux rouges ou marmorisés, à Smectite dominante, avec lentilles gréseuses parfois à pisolithes. Des bancs de calcaire lacustre à Chara et Septorella (genre de Clavatoracées) existent cependant à l'Est de Gardanne, avec une faune de Gastéropodes en grande partie renouvelée et absence des Corbicules si abondantes au Fuvélien. C'est dans cette région à 1 kilomètre à l'Ouest de Fuveau sur la R.N. 96 Aix - Toulon que se trouve la ferme de la Bégude ; Villot a défini le terme Bégudien en 1883 sans donner de coupe détaillée du secteur, mais par référence aux affleurements visibles le long de la R.N. 96, de part et d'autre de la ferme de la Bégude, et que l'on peut donc considérer comme formant le stratotype. Le Bégudien supérieur correspond à des calcaires lacustres épais de 200 m environ autour de Gardanne. Riches en Charophytes et Gastéropodes, ces calcaires s'effilent complètement vers le sud dans le "lambeau de Gardanne" en passant à des niveaux à pisolithes construites par des Cyanophycées et des marnes à Smectite et Attapulгите. Vers l'est ils disparaissent également avant Peynier passant latéralement à des dépôts fluviatiles. A l'ouest ils affleurent localement, très amincis, près de la bordure de la Nerthe et plus largement entre Berre et Ventabren, du gypse étant fréquent dans les calcaires et les marnes et argiles intercalées.

B - Rognacien

Le Rognacien inférieur est représenté sur plus de 300 m par des argiles et des marnes rouges ou marmorisées (à Smectite dominante, quartz détritiques et cristaux de gypse) avec lentilles gréseuses. On y trouve des oeufs de Dinosaures et localement des ossements roulés d'où le nom ancien de "Grès à Reptiles". Les affleurements sont visibles dans la moitié orientale du synclinal de l'Arc et dans la région de Rognac (Villot a créé le terme Rognacien en 1883 mais Matheron avait déjà utilisé le terme d'étage de Rognac") Dans les argiles, entre Velaux et Rognac, s'intercalent sur quelques mètres d'épaisseur des calcaires et des gypses, c'est le niveau dit du "Moulin de Velaux" ou de "la gare de Rognac".

Au-dessus de ces argiles et grès se trouve la principale formation calcaire, correspondant à la "Barre de Rognac" formant falaise au-dessus de cette localité. Sur 60 m d'épaisseur deux ou trois ensembles de bancs calcaires, riches en Gastropodes (Bauxia, Pyrgulifera (Hantkenia) armata, etc) sont séparés par une ou deux intercalations d'argiles et grès fluviatiles. A la base des ensembles calcaires ou en leur sein apparaissent souvent des horizons marneux riches en matières organiques, voire du lignite. L'affleurement du calcaire rognacien se poursuit vers l'est dans le synclinal de l'Arc formant une "cuesta" régulière à la base du plateau du Cengle et se perd dans les brèches auprès de Sainte Victoire (Roques-hautes, Gorges de l'Infernet).

Le Rognacien se termine par une centaine de mètres d'argiles et de grès a "Reptiles" bien que l'on y trouve entre Rognac et Vitrolles trois niveaux lenticulaires de calcaire lacustre à faune rognacienne. Dans la partie orientale du synclinal de l'Arc, les derniers oeufs de Dinosaures ont été trouvés sous des lentilles de calcaire crayeux situées à quelques mètres seulement sous le "poudingue de la Galante". Celui-ci correspond à une nappe d'épandage de 2 à 4 m d'épaisseur de galets de grès sériciteux, quartzites, quartz, phanites et calcaires, pris dans un ciment gréseux (contenant quelques débris d'œufs de Dinosaures)D'après la taille des galets il est clair que cet amas détritique provenait de l'est du synclinal de l'Arc et il disparaît par amincissement vers l'Ouest sur le méridien de Gardanne. Pour l'instant on peut dire seulement que le "poudingue de la Galante" est proche de la limite Crétacé-Tertiaire.

Si l'on considère l'histoire géologique du synclinal de l'Arc pendant le Bégudo-Rognacien, on constate que la phase maastrichtienne a joué un rôle très important, non seulement par l'apparition de brèches en bordure des anticlinaux, (ces brèches pouvant localement correspondre à la totalité du Bégudo-Rognacien) mais aussi par le déplacement des zones de subsidence en contrebas des anticlinaux en cours de surrection, c'est ainsi que l'épaisseur du Bégudo-Rognacien dépasse mille mètres entre Vitrolles et Cabriès en avant du pli de la Nerthe. L'étendue des lacs successifs a également varié si au Fuvélien le lac débordait largement, surtout au sud et à l'est, les limites du synclinal de l'Arc actuel pour atteindre 100 kilomètres sur 30 kilomètres, au Bégudien supérieur il se restreignait à 35 kilomètres d'est en ouest de Peynier à Berre, en mordant seulement un peu au sud sur l'emplacement du front actuel de l'Etoile, alors qu'au Rognacien sa limite méridionale se déplaçait encore un peu vers le nord à proximité de Gardanne.

4) Dano-montien

Le synclinal de l'Arc était déjà défini au Crétacé supérieur comme le montre le biseautage périphérique des divers calcaires lacustres intercalés dans les argiles et grès fluviatiles ; la diminution d'extension des lacs successifs s'y est poursuivie pendant le Paléocène et l'Eocène. Les travaux récents des Houillères de Provence (sondages et puits de mine) ont fourni des renseignements sur les épaisseurs des divers faciès existant dans la zone centrale. Les équivalences avec les étages stratigraphiques classiques sont assez imprécises, malgré les travaux de Matheron, Collot, Vasseur, etc

Au-dessus du « poudingue de la Galante », quelques mètres d'argiles rouges supportent au niveau calcaire, visible à Vitrolles et qui forme une "cuesta" ou "barre" à l'ouest et au sud du synclinal, de Ventabren à Vitrolles et Chateauneuf-le-Rouge, puis reparaît à l'est et au nord du plateau du Cengle au pied de la montagne Sainte-Victoire. En sondage ce calcaire dépasse 30 m d'épaisseur à l'est de Meyreuil.

Parfois marmorisé, rouge et jaune, autrefois exploité pour la décoration, il présente souvent des traces de pédogenèse (Microcodium), traces de racines, fissures de dessiccation, géodes remplies de calcite ou de "silt vadose") Localement, comme à Valabre, il devient dolomitique avec cristaux de Gypse et Attapulgite. Au sud-est d'Aix-en-Provence dans la tranchée de l'autoroute A8, les calcaires gris du sommet de l'assise contiennent des débris de Charophytes, d'Ostracodes, de Gastropodes et de Microcodium. Au sud de Vitrolles, aux Pinchinades, de petites Physes furent découvertes à 3 m au-dessus du calcaire et assimilées à Physa monteusis par Vasseur en 1898, qui attribua de ce fait au "Calcaire de Vitrolles" un âge montien.

Au voisinage de Sainte-Victoire un important niveau de brèches surmonte directement le calcaire de Vitrolles, indiquant un nouvel épisode de tectogenèse au début de l'Ere Tertiaire. On y trouve des galets de calcite concrétionnée de type "plancher de grotte" et des encroûtement à Microcodium de type "caliche" la genèse des cailloux des brèches est probablement liée à une pédogenèse et à une karstification des calcaires, associée peut-être à une fissuration d'origine tectonique.

5) Thanétien

Marnes et calcaires argileux au sud-est de Vitrolles sur la D9, alternent sur cent mètres des niveaux rouges ou marmorisés à Microcodium, calcaires argileux et marnes en séquences négatives rythmiques, avec quelques horizons bréchoïdes. Aux Pinchinades Vasseur découvrit Physa prisca d'âge thanétien à 9 m seulement au-dessus du "calcaire de Vitrolles". Ailleurs quelques lentilles de poudingues d'origine fluviale sont visibles dans les marnes rouges, à Smectite en général dominante.

"Calcaires du Réal-Tort et de Meyreuil" au sud-est de Vitrolles sur la D9, deux niveaux de calcaire lacustre blanchâtre (à Physa prisca, Charophytes, Ostracodes, débris de Microcodium, traces de racines) épais de quelques mètres sont séparés par une douzaine de mètres de calcaires argileux et de marnes rouges. Un kilomètre plus à l'est sur le plateau du Réal-Tort, un sondage implanté sur le niveau lacustre supérieur a traversé deux cent mètres de calcaire clair, avec quelques niveaux plus marneux roses ou jaunes. La presque totalité des calcaires argileux et des marnes marmorisées superposées au "Calcaire de Vitrolles" passe donc latéralement à des calcaires lacustres nettement plus épais, comme on peut d'ailleurs le voir plus au nord dans les gorges de l'Arc près de l'aqueduc de Roquefavour.

Dans la partie orientale du synclinal l'épaisseur des calcaires dits de Meyreuil ne dépasse pas 40 m dans les sondages et beaucoup moins dans les affleurements périphériques, où apparaissent localement, au puits Y par exemple, des faciès à évaporites (dolomie, gypse) avec Smectite et Attapulgite, et parfois silicification. La faune en plus de Physa prisca comprendrait, d'après Rey (1962), Megaspira exarata, Limnea cf. rollandi, Vivipara aspersa, Rillya michaudi.

Marnes rouges des oeufs d'oiseaux, à coquille mince de type Ornitholithus biroï Dughi et Sirugue 1962, ainsi que Physa prisca, ont été découverts dans les marnes du Thanétien supérieur, épaisses de 60 à 80 m, à Smectite dominante et traces de gypse, avec quelques lentilles de grès ou de poudingue.

6) Sparnacien s.l.

Le terme "Sparnacien" ayant été seul utilisé par les géologues provençaux et l'équivalent du Cuisien n'ayant pas été caractérisé, on peut considérer que ce "Sparnacien" s.l. correspond en Provence à l'Yprésien.

"Calcaires de Saint-Marc et du Cengle". Dans la partie orientale du synclinal de l'Arc ces calcaires lacustres gris ou blanchâtres, à Charophytes et débris de Microcodium, atteignent dans un sondage 65 m d'épaisseur. Dans le plateau du Cengle ces calcaires s'effilent à l'Est en devenant roses, noduleux, très riches en Microcodium et disparaissent complètement vers le Nord au pied de Sainte-Victoire. Dans la partie occidentale du synclinal de l'Arc, la même formation calcaire passe, en diminuant de puissance, à des faciès noduleux et marneux visibles au-dessus du bassin du Réal-Tort. La faune comprend d'après R. Rey Physa draparnaudi, Physa colujnnaris, Planorbis sparnacensis etc.

Marnes sparnaciennes. Ces marnes rouges sparnaciennes, illitiques, épaisses de 20 à 60 m, contiennent quelques lentilles de poudingue fluviatile et des gisements d'œufs d'Oiseaux, à coquilles épaisses dites "Ornitholithus arcuatus" (Dughi et Sirugue 1962)

"Calcaires de Langesse". Cette formation, épaisse de 30 à 40 m, forme le soubassement des calcaires du Montaignet. Gris ou blancs, les calcaires de Langesse contiennent des Charophytes et des débris de Microcodium. Au sommet, à Château Simone, près de Palette, un horizon marno-ligniteux a fourni des Vertébrés Lophaspis maurettei et des restes de crocodiliens, de tortues, d'oiseaux. Sur le plateau du Cengle, les calcaires culminants et les marnes intercalées contiennent des Charophytes, sparnaciennes d'après Mme Feist-Castel (1975) alors que pour F. Touraine toute la formation serait oligocène d'après quelques Gastropodes.

7) Lutétien

“Calcaires du Montaiquet”. Ces calcaires à Charophytes (d’après Mme Feist-Castel (1975) Nitellopsis (Tectochara) thaleri, Harrisichara sp. et Maedleria sp.) et débris de Microcodium, contiennent quelques intercalations marno-ligniteuses. La faune de Gastropodes comprend Romanella (Bulimus) hopei, Planorbis pseudoammonius puis, dans les calcaires de Cuques en bordure Sud d’Aix-en-Provence, Limnaea michelini, Strophostoma golfieri. Au total la puissance des calcaires lutétiens paraît dépasser 100 m sans que l’on sache si tout le Lutétien est représenté. La lacune qui vient ensuite est classiquement liée au principal épisode de la tectogenèse provençale et au sud-ouest d’Aix-en-Provence l’Oligocène, dont la base paraît manquer, est discordant sur le Lutétien. Il est représenté par des argiles à lentilles de conglomérats puis des calcaires et des gypses autrefois exploitées à Aix-en-Provence. Au Miocène un bref retour de la mer laissa des molasses jaunes, puis le régime fluvial a repris temporairement, alors qu’un épisode de tectogenèse exhaussait certaines structures de la région. Le rôle des érosions quaternaires est de première importance dans la géomorphologie du centre du synclinal de l’Arc, ces érosions ayant créé un remarquable relief de “cuestas” et la transformation du Cengle en synclinal perché asymétrique, par déblayage des argiles et création de falaises dans les calcaires lacustres, à partir de leurs bordures effilées qui correspondaient à la périphérie des anciens lacs.

BIBLIOGRAPHIE SUR LE BASSIN A LIGNITE DE FUVEAU

- ARCHAMBAULT J.** – 1950, Etudes hydrogéologiques en Basse Provence ; *Eau France* t37, (12), p197-9
- ARLAUD H.** – 1935, Le Turonien des environs de Cassis et les mouvements Crétacé en Provence Occidentale ; *C.R.Ac.Sc.* t200, (24), p20-31
- BABINOT J.F.** – 1980, Les Ostracodes du Crétacé supérieur de Provence ; *Thèse - Marseille.*
- BABINOT J.F. et DURAND J.** – 1980, Les étages français et leurs stratotypes Valdonnien, Fuvélien, Bégudien, Rognacien, Vitrollien ; *Mémo BRGM N°109*, p.171-192.
- BAILEY EB.** – 1951, Some features of provençal tectonics (France) ; *Géol.Soc.London Q.J.v108,pt2,430,p.133-55.*
- BASTIEN C.** – 1960, Contribution à l'étude géologique du bassin d'Aix en Provence ; *D.E.S. Marseille*
- BEAURECUEIL** – 1935, Constitution des lignites fuvéliens. Contribution à l'étude des lignites de Provence ; *Thèse Sc. Marseille, in 8° 111 p.*
- BELLAIR P.** – 1938, Sur le style tectonique des accidents provençaux ; *C.R.Ac.Sc. Paris* t206, (12),p924-5 et t207,(22),p1054-6
- BERTRAND L.** – 1943, Sur le rôle des glissements tangentiels par gravité et des décollements dans la tectonique provençale ; *C.R.Soc.Géol.Fr.*, (3),p24-5
- BERTRAND M.** – 1897, La Basse Provence ; *Ann. De Géogr.*, t□, p 212-229 et t□, p 14-33.
- BERTRAND M.** -- 1898, Le bassin crétacé de Fuveau et le bassin houiller du Nord ; *Ann. des Mines*, 9s, t14, p 5-8.
- BERTRAND M.** – 1900, Livret guide ; *Congrès de Géol. Intern*, 2° part, p 7-41.
- BLAVIER** – 1825, Notice sur la constitution géologique du bassin des B. du Rh. et sur les diverses qualités de houilles qu'il renferme ; *in 8° 186p.*
- BOISTEL A.** – 1905-1906, Résultats géologiques du percement de la galerie de Gardanne à la mer ; *Bul.Soc.Géol.Fr.*, 4s, p 724-740, 749 et t□, p117, p224-245.
- CATZIGRAS F.** – 1956, Autoroute Nord de Marseille. Observations tectoniques et stratigraphiques ; *Ann.Fac.Sc.Marseille*, p 135-143.
- CATZIGRAS F.** – 1956-1957, Passées de sédimentation marine dans les assises fluvio-lacustres du bassin d'Aix ; *C.R.Soc.Géol.Fr.* 1956, 16, p309 et 1957, 7, p121-4
- CAZIOT** – 1890, Etude stratigraphique et nouvelles recherches sur les Mollusques du terrain lacustre inférieur de Provence (Danien) ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (3), p223
- CAZIOT (Commd+)** – 1894, Indication des mémoires parus et des fossiles signalés dans le terrain lacustre d'âge crétacé du Midi de la France ; *Feuille des jeunes naturalistes*, p.282-3.
- CHALUMEAU A.** – 1995, Synthèse hydrogéologique du bassin minier de Fuveau (Bouches-du-Rhône), *D.E.S.S. Univ. Franche-Comté*, 48p.
- CHARLES R.P. et PERISSE N.H.** – 1949, Les faciès dans le département des B.-du-Rh. et contrées limitrophes ; *Bull.Mus.Hist.Nat.Marseille*, p.191-201.

- COLLOT L.** – 1880, Description géologique des environs d'Aix-en-Provence ; *Thèse Fac.Sc.Marseille Montpellier, 234p.*
- COLLOT L.** – 1884, Sur une grande oscillation des mers crétacées en Provence, *C.R.Ac.Sc., t.101, p824-6.*
- COLLOT L.** – 1890, Description du terrain crétacé dans une partie de la Basse Provence. 2ème partie couches d'eau douce et généralités ; *Bull.Soc.Géol.Fr., (3), tXIX, p 39-92.*
- COQUAND H.** – 1833, Rapports qui existent entre les groupes de la Craie moyenne et de la Craie supérieure de la Provence et du Sud-ouest de la France ; *Bull.Soc.Géol.Fr., (2), p.133.*
- COQUAND H.** – 1875, Comparaison des diverses divisions adoptées par M. Hébert pour la Craie du Midi de la France avec celles de M. Coquand ; *Bull.Soc.Géol.Fr., (3), t3, p265.*
- CORROY G.** – 1938, Les écailles de Liquelette au N.O. de la Sainte Baume (feuille d'Aix) ; *Bull.Soc.Géol.Fr., t39, p203-207.*
- CORROY G.** – 1939, Le massif de la Sainte Baume ; *Bull.Soc.Géol.Fr., t41, n°201, 124p.*
- CORROY G. et DENIZOT G.** – 1938, Guide géologique de la Provence Occidentale ; *Ann.Fac.Sc.Marseille, t□, fasc.1, 172p.*
- CORROY G. et DENIZOT G.** – 1943, La Provence Occidentale ; *Actualités scientifiques et industrielles, n°267, 182p.*
- COTTEAU** – 1864, Faune du Crétacé de Provence ; *Réunion de la Soc. Géol.*
- COURT N.** – 1947, Monographie d'une exploitation minière, la mine de Biver ; *t1, Géologie et histoire.*
- DELLERY B.** – 1976, Note sur la reconnaissance géologique complémentaire des Houillères du Centre et du Midi.— Rapport de fin de sondage Gardanne Ouest (GW.1) (13) ; *Rapport SGN 546 PRC*
- DELLERY B.** – 1977, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) - Sondage Bouc-Bel-Air I (BB.1) ; *Rapport 77 SGN 290 PRC*
- DELLERY B.** – 1977, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Sondage Bouc-Bel-Air 2 (BB.2) ; *Rapport 77 SGN 451 PRC*
- DELLERY B.** – 1977,— Rapport de fin de sondage —Sondage de Simiane I (SI.1) (13) ; *Rapport 77 SGN 183 PRC*
- DELLERY B.** – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Aix-en-Provence 2 (AP.2) ; *Rapport 78 SGN 702 PCA*
- DELLERY B.** – 1978, Résultats de l'approfondissement du sondage GW.2 à Gardanne (13) ; *Rapport 78 SGN 299 PRC.*
- DELLERY B.** — 1979, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) -- Rapport de fin de sondage Meyreuil 3 (ME 1) ; *Rapport 79 SGN 260 PCA*
- DELLERY B.** — 1979, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) -- Rapport de fin de sondage — Aix—en—Provence 3 (AP 3) ; *Rapport 79 SGN 317 PCA*
- DELLERY B.** — 1979, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) -- Rapport de fin de sondage — Meyreuil 2 (ME 2) ; *Rapport 79 SGN 496 PCA*

- DELLERY B. et GLINTZBOECKEL C.** – 1979, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Gardanne Nord I (GN 1) ; *Rapport 79 SGN O81 PCA*
- DENIZOT G.** – 1935, Les conditions géologiques du Bassin de lignite de Fuveau ; *Bull. St. Scient. et Ind. Marseille.*
- DENIZOT G.** – 1936, Note sur les sondages de Port de Bous (B. du Rh.) et sur la géologie de l'étang de Berre ; *Bull.Sc.Géol.Fr., fasc. 6-7-8, p459-72.*
- DENIZOT G.** – 1941, Bassin de Fuveau et de l'Arc – Feuilles d'Aix et Martigues 1/50000 ; *C.R.B.S.G.F., (3), t45, p417-24, 137-144.*
- DENIZOT G.** – 1953, Observations dans la Provence Occidentale ; *Bull.Serv.S.G.F., (4), s1, n°239, p421-4.*
- DEPAPE G.** – 1954, Flore secondaire et tertiaire de la France ; *8°Cong.Intern.Bot., s2,4,5,6, p200-8.*
- DIEULAFAIT L.** – 1879, Etude géologique des terrains traversés par un tunnel de 14400m, destiné à mettre en communication directe avec la mer, le bassin de lignite de Fuveau ; *C.R.Ac.Sc., p351-352.*
- DIEULAFAIT L.** – 1880, Galerie souterraine des mines des B. du Rh. à Marseille. Projet, profil en long, coupe géologique ; *1 feuille, Soc.Anon.des Charb. Des B. du Rh., Marseille.*
- DOMAGE H.** – 1900-1905-1906, Etude sur le bassin à lignite des B. du Rh. Tunnel de 14859m ; *Monographie de la Soc.Nouv.des Charb.des B. du Rh., Marseille 1900, 44p.- Marseille 1905, 51p.- Liège 1906, 15p.*
- DUBOUL** – 1947, La faune saumâtre du Campanien inférieur de la Basse Provence occidentale ; *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille, t□, n°1,2,3,4.*
- DUGHI R. et SIRUGUE F.** – 1962, Distribution verticale des oeufs d'oiseaux fossiles de l'Eocène de Basse Provence. *Bull. Soc. Géol. Fr. (7), 4, p69-78.*
- DUGHI R., REY A. et SIRUGUE F.** – 1959, La limite supérieure du Crétacé continental dans le bassin d'Aix en Provence ; *C.R.Acad.Sci., t249, p 2370-2.*
- DUPARQUE A.** – 1926, La structure microscopique des lignites. Comparaison avec la structure microscopique de la houille ; *Ann.Soc.Géol.Nord, tLI, 2° liv., p 179-180.*
- DURAND J. et GUIEU G.** – 1980, Cadre structural du bassin de l'Arc ; *Rev. Industrie minérale. Suppl. au n° de juin 1980, 3-12.*
- DURAND J.P.** – 1980, Les sédiments fuvéliens du synclinal de l'Arc (Provence) ; *Rev. Industrie minérale. Suppl. au n° de juin 1980, 13-25.*
- DURAND J-P. et GUIEU G.** – 1966, La région sud-orientale du bassin de l'Arc et la bordure de l'Aurélien et du défend de St-Maximin (Var) ; *Bull. Mus. Nat. (Marseille), t.26, p53-68.*
- DURAND J-P. et GUIEU G.** -- 1980 Cadre structural du bassin de l'Arc ; *Rev. Ind. Min., Suppl. n° juin, p3-12.*
- DURAND J-P., GAVIGLIO P., GONZALEZ G. et VETTER P.** – 1980, Le gisement de Gardanne ; *Livret guide excursion 26em congrès géologique international*
- DURAND J-P., GAVIGLIO P., GONZALEZ J.F. et MONTEAU R** – 1984, Essai de modélisation des déformations tectoniques dans le bassin de l'Arc ; *Compte-rendu scientifique - Université de Provence*

- DUROZOY G.** -- 1980, Hydrogéologie du bassin de l'Arc ; *Rev. Ind. Min., Suppl. n° juin*, p 69-74.
- DUROZOY G., GOUVERNET C. et ROUSSET C.** -- 1969 Les exutoires du massif calcaire de Ste-Victoire ; *Bull B.R.G.M.*, 3, p13-24.
- DUROZOY G., GOUVERNET C., GUIEU G. et SAUZEDDE E.** -- 1967, Données nouvelles sur l'hydrogéologie du bassin de Gardanne, *Bull B.R.G.M.*, 4, p 55-72.
- FABRE S.** -- 1940, Le Crétacé supérieur de la Basse Provence occidentale ; *Ann.Fac.Sc.Marseille* p 1-355.
- FABRE S.** -- 1942, Catalogue des types de la collection Philippe Matheron ; *Ann.Mus.Sc.Marseille*, t \square , n°2, p.121-40.
- FABRE-TAXY S.** -- 1951, Faunes lagunaires et continentales du Crétacé Supérieur de Provence \square Le Campanien fluvio-lacustre ; *Ann. de Paléontologie*, t VII.
- FABRE-TAXY S.** -- 1959, Faunes lagunaires et continentales du Crétacé supérieur de Provence. III Le Maestrichtien et le Danien ; *Ann. Paléo.Fr.*, tXLV.
- FABRE-TAXY S. et RAT P.** -- 1959, Le domaine mésogéen au crétacé supérieur ; 84° *Congrès des So. Sav*, p.839-55.
- FALLOT** -- 1885, Etude géologique sur les étages moyens et supérieurs du terrain Crétacé dans le Sud Est de la France ; *vol. in8°*, 262p.
- FARJANEL C.** -- 1977, Etude palynologique du sondage VB.1 — Bassin de Fuveau (13) Résultats stratigraphiques ; *Rapport 77. 07. N.*
- FARJANEL G.** -- 1976, Etude palynologique du sondage MP.I — Résultats stratigraphiques — Bassin de Fuveau (13) ; *Rapport 76.68.N.*
- FEIST et CASTEL M.** -- 1975, Répartition des Charophytes dans le Paléocène et l'Eocène du bassin d'Aix-en-Provence ; *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), 17, 88-97.
- FOURNIER E.** -- 1890, Esquisse géologique des environs de Marseille ; *vol. In8°*, 102p.
- FOURNIER E.** -- 1895, Compte rendu des excursions géologiques faites en Provence par les élèves des Facultés de province sous la direction de Monsieur Vasseur ; *Ann.Fac.Sc.Marseille*, n°4,47p.
- FOURNIER E.** -- 1896, Note sur la tectonique de la chaîne de l'Etoile et de Notre Dame des Anges ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (3), t24, p.255-66.
- FOURNIER E.** -- 1899, Les chaînes de la bordure septentrionale du bassin de Marseille ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (3), t27, p.336-43.
- FOURNIER E.** -- 1906, L'hypothèse des grandes nappes charriées détruites par la vérification pratique fournie par la galerie de la mer à Gardanne (B. du Rh.) ; *Bull.Soc.Belge de Géol.*, t20, p.163-70.
- FOURNIER E.** -- 1906, Sur les terrains rencontrés par la galerie de Gardanne à la mer et sur les conclusions que l'on peut en tirer relativement à la tectonique de la Basse Provence ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (4), t6, p.101-117.
- FRITTEL P.H.** -- 1927, La flore aturienne de Fuveau d'après les matériaux de la collection de Saporta ; *Bull.Mus.Nat.Hist.Nat.*, n°5, p.404-10.
- GAUTHIER** -- 1880, Faune du Crétacé de Provence ; *Asso.Fr.Reims.*
- GAVIGLIO P.** -- 1980, La fracturation dans le gisement de lignite du bassin de l'Arc *Rev. Industrie minérale ; Suppl. au n° de juin 1980*, p.93-99.

GAVIGLIO P. et MONTEAU R. – 1991, Les structures géologiques au front de la faille de la Diote; *Rapport U.E.Provence*.

GAVIGLIO P., GONZALES JF., DAYRE M., ORENGO Y. et MONTEAU R. -- 1986, Essai de modélisation des déformations tectoniques dans le bassin de l'Arc; *Compte rendu scientifique – Université de Provence*.

GAVIGLIO P., REDONDO C., CERCLIER O. et MONTEAU R. – 1995, Conservation d'aragonite dans des tests de mollusques du Campanien de Provence; *Géologie Méditerranéenne*, p.85-91.

GEORGE – 1952, Mises au point géologique sur la Basse Provence; *Etudes Rhodan.* (*Rev. Géogr. Régionale*), v.21, n°3-4, p.142-4.

GLINTZBOECKEL C. – 1975, Possibilités d'extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Etude de synthèse préliminaire; *Rapport 75 SGN 228 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1976, Rapport de fin de sondage — Sondage Moulin du Pont (MP.1) (13); *Rapport 76 SGN 281 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1976, Rapport de fin de sondage de Ventabren (VB.1) (13); *Rapport 76 SGN 291 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1977, Etude structurale du bassin de l'Arc; *Rapport 77.15.N.*

GLINTZBOECKEL C. – 1977, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Sondage Simiane 2 (Sl.2); *Rapport 77 SGN 593 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1977, Proposition de valorisation hydrogéologique et géothermique de sondages profonds H.B.C.M.; *Rapport 77.45.N.*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, De l'eau chaude à faible profondeur à Calas (13) — Données géothermiques fournies par le sondage Cabriès 2 (CA.2); *Rapport 78 SGN 293 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Sondage Gardanne ouest 2 (GW.2); *Rapport 78 SGN 134 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Cabriès 1 (CA.1); *Rapport 78 SGN 414 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Cabriès 2 (CA.2); *Rapport 78 SGN 415 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage de Bouc-Bel-Air 4 (BB.4); *Rapport 78 SGN 486 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Aix-en-Provence I (AP.1); *Rapport 78 SGN 563 PCA*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Extension du gisement de lignite, de Gardanne (13) — Rapport de fin de sondage Bouc-Bel-Air 3 (BB.3); *Rapport 78 SGN 296 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Proposition de valorisation géothermique du sondage Cabriès 2 (CA.2); *Rapport PR 78-49*

GLINTZBOECKEL C. – 1978, Résultats de l'essai de valorisation géothermique du sondage Cabriès 2 (CA.2); *Rapport 78 SGN 406 PRC*

GLINTZBOECKEL C. – 1980, Le gisement du charbon du bassin de l'Arc (Houillères de Provence) Reconnaissance de l'extension du gisement; *Rev. Industrie minière. Suppl. au n° de juin 1980*, p.41-53.

- GLINTZBOEGKEL C.** – 1982, Reconnaissance du soubassement du bassin fluvio-lacustre de l'Arc (Bouches-du-Rhône) ; *Coll. natn. "Programme géologie profonde de la France"*, Paris, B.R.G.M. Ed., p.415-419.
- GOGUEL** – 1943, Essai d'une synthèse tectonique de la Provence ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (5), t13, p.367-82.
- GONZALEZ G.** – 1980, Pétrologie de la Grande Mine de Gardanne ; *Rev. Ind. Minér.*, suppl. n° juin, p 37-40.
- GONZALEZ G.** – 1981, Etude sédimentologique du lignite fuvélien du bassin de l'Arc et de l'encaissant calcaire ; *Thèse 3ème cycle. Univ. Provence. Marseille*, 109p.
- GONZALEZ J.F.** – 1983, Gisement de lignite de Gardanne. Etude du Rocher de la Grande Mine dans le quartier des Sambucs ; *DEA Univ. Provence. Marseille*.
- GOURRET** et **GABRIEL** – 1888, Faune du Crétacé supérieur de Provence ; *Bull.Soc.Belge de Géol.*
- GUIEU G.** – 1968, Etude tectonique de la région de Marseille ; *Thèse. Marseille*.
- GUIEU G.** – 1980, Perspectives de recherche du gisement lignitifère au Sud du massif de l'Etoile en bordure du bassin de Marseille ; *Rev. Industrie minière Suppl. au n° de juin 1980*, p75-79.
- HAUG E.** – 1925, Les nappes de charriage de la Basse Provence. Monographies tectoniques. Historique et bibliographie ; *Mém. pr. serv. à l'expl. de la car. géol. dét. de Fr.*
- HEBERT E.** – 1872, Documents relatifs au terrain crétacé du Midi de la France ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (2), t29, p.393-415.
- HEBERT E.** – 1875, Classification du terrain crétacé supérieur ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, (3), t11, p.595.
- JULIEN** – 1908, Esquisse de la tectonique du pays d'Aix en Provence ; *in 8°, 12p.*
- LANQUINE A.** – 1940, Quelques précisions structurales et stratigraphiques en plusieurs secteurs des chaînes provençales ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, t42, n°203, p.173-186.
- LAPPARENT (A.F. de)** – 1938, Etude de paléontologie stratigraphique sur les faunes continentales de Provence ; *Mém.Soc.Géol.Fr.*, t15, fasc.4, mem. 35, 36p.
- LAPPARENT (A.F. de)** – 1950, Types variés de plis de couverture en Basse Provence orientale ; *Bull. Soc. Géol. Fr.*, t20, n°7-9, p. 323-33.
- LAURENT L.** – 1932, Esquisse de la végétation des Bouches du Rhône pendant les temps géologiques ; *Encyclopédie départementale des B. du Rh.*, t1, p.352.
- LAURENT L.** – 1932, Flores fossiles des environs de Marseille ; *Encyclopédie des Bouches du Rhône*
- LEBAULT** – 1957, Etude pétrographique des faciès du Maestrichien dans une partie du bassin d'Aix ; *D.E.S. Marseille*.
- LUTAUD** – 1928, Une excursion en Provence. Compte rendu et observations ; *Revue Géogr. Phys. et Géol. Dynam.*, vol.1,fasc.4, p.309-323.
- LUTAUD** – 1932, Excursion en Provence (Centenaire) ; *Bull.Soc.Géol.Fr.*, t304, fas10, p.1261-66.
- LUTAUD** – 1957, La tectogenèse et l'évolution structurale de la Provence ; *Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn.*, (2), vol1, fas2, p.103-12.

- MARGERIE (E. de)** – 1927, Œuvres géologiques de Marcel Bertrand ; *Publiés sous les auspices de l'Académie des Sciences, t1.*
- MARION** – 1872, Géologie et paléontologie de la Provence ; *Revue Scientifique, p.584-90.*
- MATHERON P.** – 1812, Catalogue méthodique et descriptif des corps organisés fossiles du département des Bouches du Rhône ; *Marseille.*
- MATHERON P.** – 1830-1848, Essai sur la constitution géognostique du département des Bouches du Rhône ; *Répertoire des travaux Sc. de Stat. de Marseille.*
- MATHERON P.** – 1832, Observations sur les terrains tertiaires des Bouches du Rhône et description des coquilles fossiles inédites ou peu connues qu'ils renferment ; *Ann. Sc ; et Industr. du Midi de la Fr., tIII.*
- MATHERON P.** – 1842, Réunion extraordinaire à Aix. *Compte rendu des excursions ; Bull.Sc.Géol.Fr., (1), p.412-451, 509.*
- MATHERON P.** – 1864, Age de la grande série des couches lacustres de Fuveau ; *Bull. Soc. Géol. Fr., (2), tXXII.*
- MATHERON P.** – 1864, Réunion extraordinaire à Marseille de la Société Géologique de France 9-17 octobre ; *Bull. Soc. Géol. Fr., (2), tXXV, p. 109.*
- MATHERON P.** – 1869, Notice sur les reptiles fossiles des dépôts fluviolacustres crétacés du bassin à lignite de Fuveau ; *Mém.Acad.Ing. des Sc.Lettres et Arts. Marseille*
- MATHERON P.** – 1876, Dépôts crétacés lacustres et d'eau saumâtre du midi de la France ; ; *Bull. Soc. Géol. Fr., (3), tIV, p. 415-37.*
- MATHERON P.** – 1878, Recherches paléontologiques dans le midi de la France. 15ème partie. Terrain tertiaire ; *Chez l'auteur Bd Notre Dame N°86 (ouvrage inachevé)*
- MATHERON P.** – 1891, Sur l'age de la série saumâtre et d'eau douce de Fuveau et de Rognac ; ; *Bull. Soc. Géol. Fr., réunion extraordinaire de la Société de Provence, p. 1046.*
- MEDUS J.** – 1972, Palynological zonation of the Upper Cretaceous Southern France and. Northeastern Spain; *Review of Paleobotany and Palynology - Elsevier Amsterdam, p.287-295.*
- MONTEAU R.** – 1982, Rapport de fin de sondage. Sondage de Gardanne Sud 1 (GS.1) ; *Rapport Houillères de Provence.*
- OPPERMANN N.** – 1892, Memoire sur le bassin de Fuveau ; *Bull.Sc.Min., (3), tII, p.833-76.*
- PERRON** – 1879-1880, Classification du terrain crétacé supérieur du Midi ; *Bull. Soc. Géol. Fr., (3), t8, p.88-106.*
- REPELIN J.** – 1930, Description géologique succincte du département des Bouches du Rhône ; *Encyclopédie départementale. Marseille, tI, 359p.*
- REPELIN J.** – 1930, Quelques observations au sujet des faunes saumâtres du Crétacé moyen et supérieur en Provence ; *Bull. Soc. Géol. Fr., (4), tI, p.350-4.*
- REPELIN J.** – 1930,, Sur la découverte de fossiles dans les assises qui constituent en Provence la formation dite étage de Vitrolles et sur la limite des terrains crétacés et tertiaires dans le bassin d'Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône) ; *C.R.Ac. Sc. Paris, 127, p. 890.*

REY R. – 1962, Remarques historiques et paléontologiques sur l'Eocène inférieur de Provence ; *J. Conchyliologie, CII, p.141-168.*

SAPORTA (de) – 1862 1889, Flores fossiles du Sud Est de la France ; *Ann. des Sc.Nat., (4-5), 1862 à 1874, (7), 1888-1889.*

SAUZEDDE E. et VETTER P. – 1965, Rapport sur les sondages de Gardanne Nord et Sud n° 65 ; *Rapport H.B.C.M. AY 1 n° 429/R 521 G/H.*

SAVE DE BEAURECUEIL J. – 1935, Contribution à l'étude des lignites de Provence ; *Ann.Fac.Sc.Marseille, (2), t8, fasc3, p.193-295.*

Sédimentologie des calcaires lacustres et des lignites fuvéliens du synclinal de l'Arc (bassin d'Aix-en-Provence) ; *Résumés Comm. 5° Cong. Eur. Sédim. (Marseille), p146-147.*

VANDERBERGHE – 1961, Etude hydrologique de la région de Gardanne et du Crétacé d'Aix en Provence ; *Soc.Géol. du Nord Fr., t81, p.121-134.*

VASSEUR G. – 1897-1900, Description de la série fluviolacustre Fuveau Arc ; *Ann.Fac.Sc.Marseille, 1897, t□, p.163 – C.R.Ac.Sc. 28 nov. 1898 – 8° Congrès géol. Intern., 1900, 2°part., p.744.*

VIE G. – 1931, Les exploitations de lignite du département des B. du Rh. ; *Min.Carrières. Grandes Entreprises. Paris, a10, n°105, p.13-18.*

VILLOT L. – 1883, Etude sur le bassin de Fuveau et sur un grand travail à y exécuter ; *Ann. Mines, (8), IV, p5-66.*

Annexe 2-2 PRÉSENTATION DE GDM : ILLUSTRATIONS

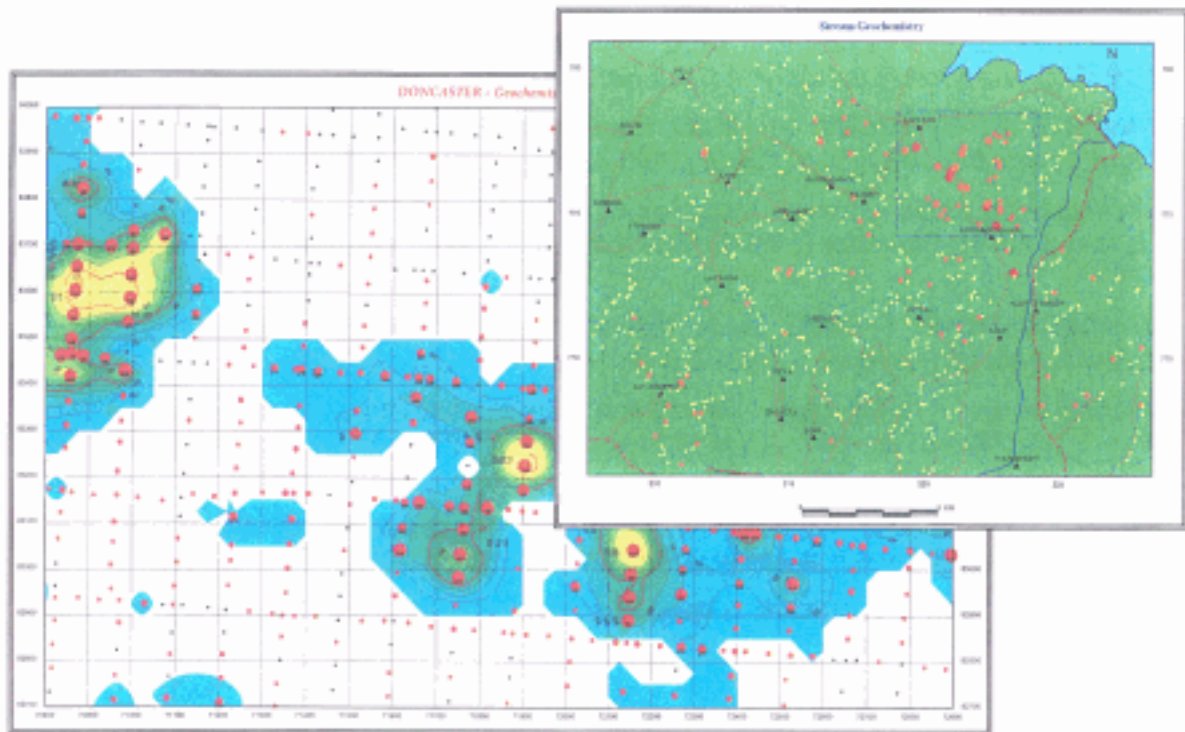


Fig. a : Exemple de données géochimiques

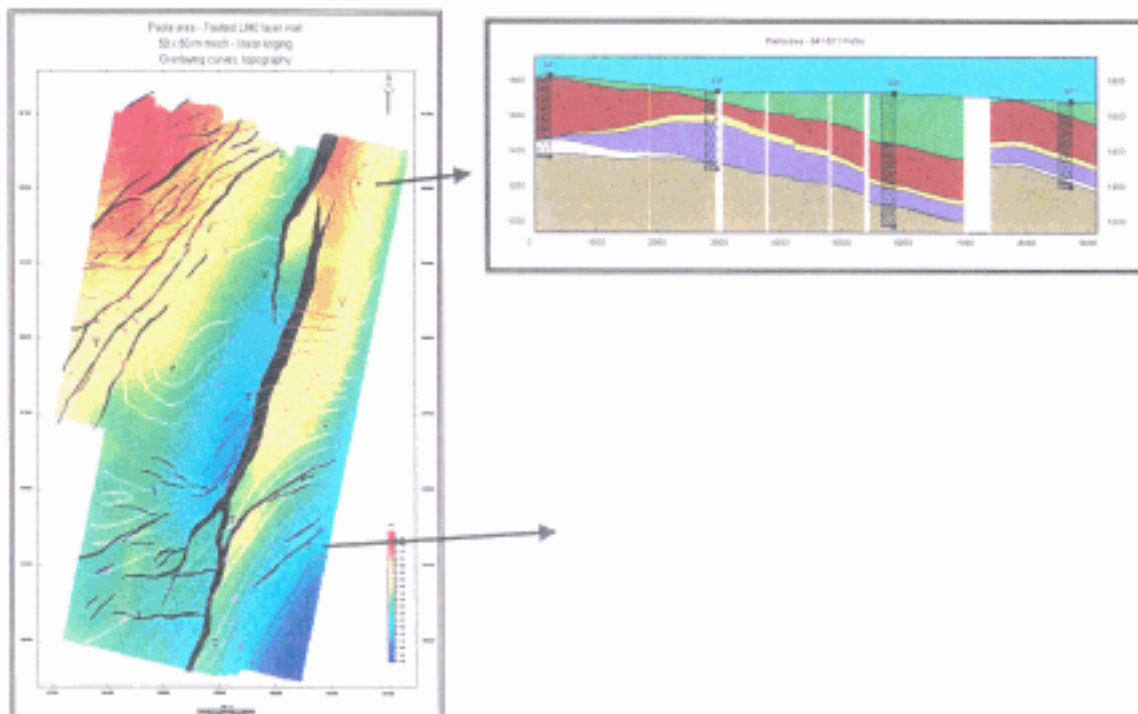


Fig. b : Couplage carte/section

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement

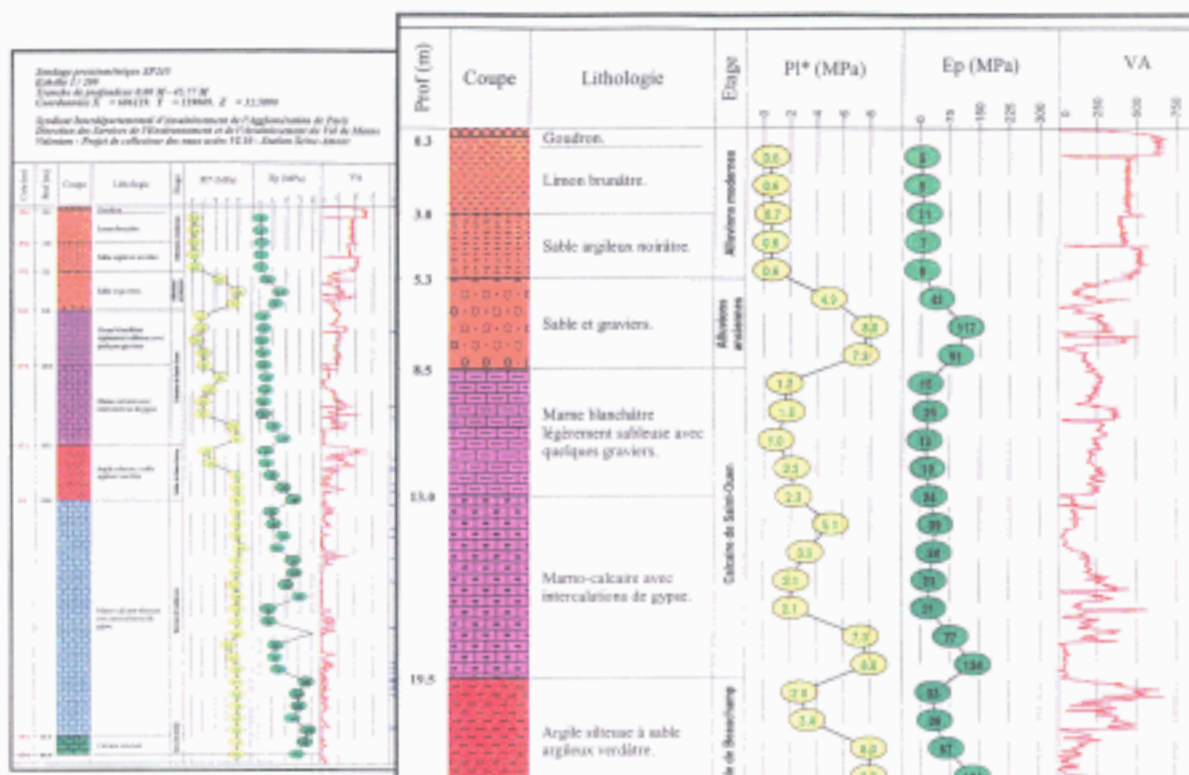


Fig. c :Données des sondages pressiométriques

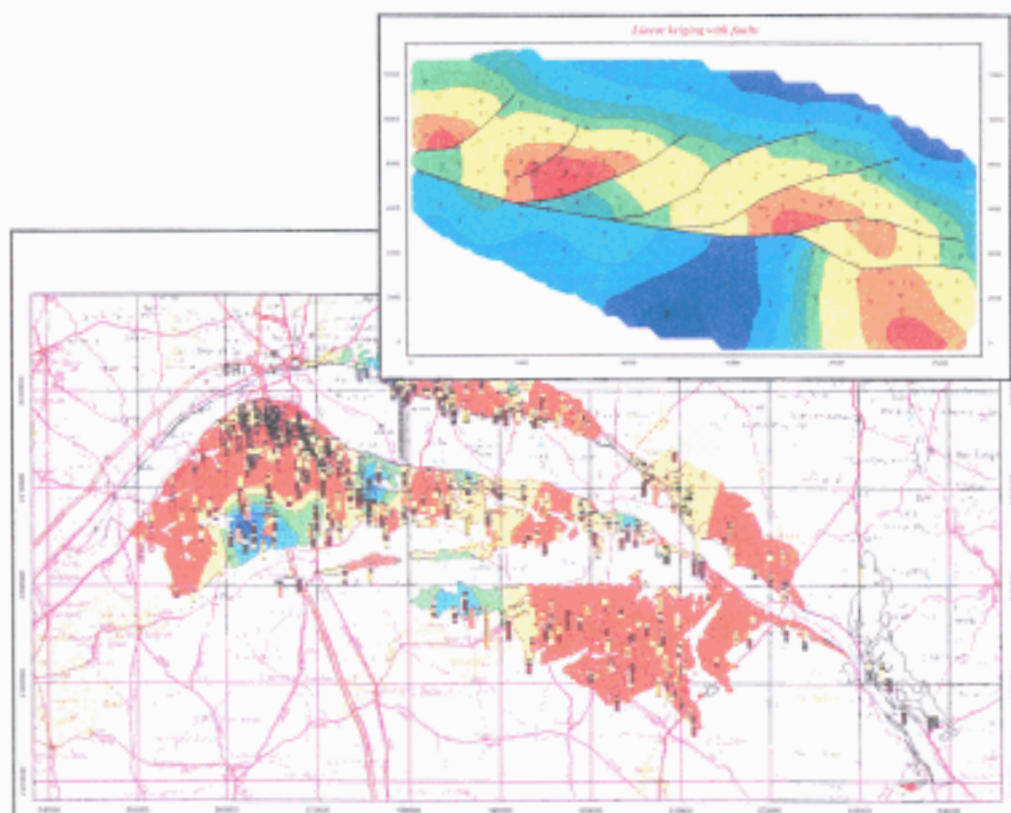


Fig. d :Modélisation à grande échelle

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement

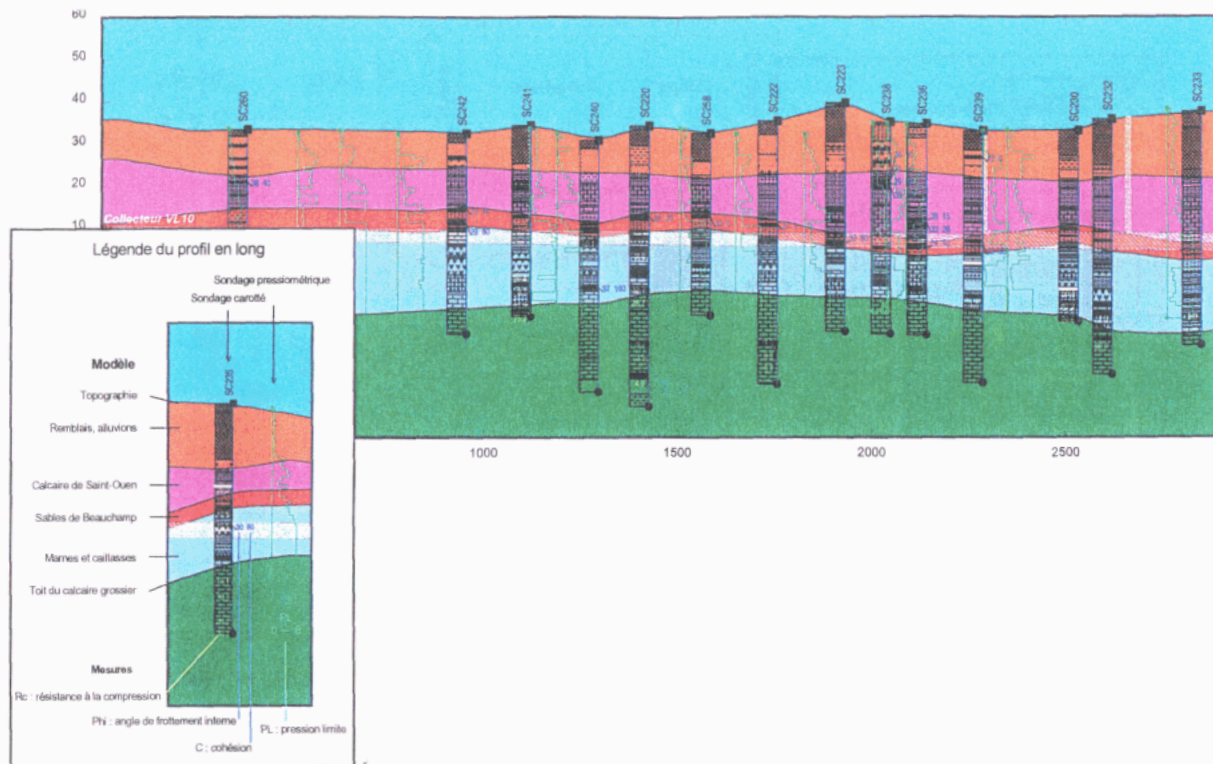


Fig. e : Profil géologique calculé le long du tracé d'un collecteur

ANNEXE 3 BIBLIOGRAPHIE : EXEMPLE DE FICHE

Code biblio.	82 SGN 542 PAC
Titre	COMPTE-RENDU DES TRAVAUX DE FORAGE À L'ÉTABLISSEMENT THERMAL (CAMPAGNE 81-82). PROPOSITIONS DE RECHERCHES ET D'AMÉLIORATION.
Auteur	BELLERY, B.
Année	1982
Origine	BRGM
Zone	55 Aix-en-Provence (ville)
Contenu	La ville d'Aix a confié au BRGM la réalisation d'un nouveau captage d'eaux thermales. Le document constitue un compte-rendu des travaux.
Aquifère	165 Crétacé
Géologie	Calcaires très tectonisés dans une structure anticlinale. Le toit de la nappe est constitué d'une dizaine de m. de marnes grises.
Hydrogéologie	Deux sondages (S4 et S6) n'ont rencontré aucune venue d'eau du fait d'un matériau très compact.
Indices de karstification	Des fissures très localisées ont été rencontrées entre 70 et 82 m (S5, F2)
Conditions aux limites	Les griffons traditionnellement exploités pour le thermalisme sont un émergence de la nappe d'un débit naturel de 13 m ³ /h. Il est constaté que la charge de la nappe baisse régulièrement.
Relations entre aquifères	La nappe du Miocène, surmontant la nappe du Crétacé, est vulnérable (exposée aux activités humaines). Lorsque la charge de la nappe crétacé est supérieure à celle du Miocène, elle est protégée des pollutions c'est pourquoi le captage des eaux thermales ne doit être envisagé qu'à condition que la nappe du crétacé soit en charge par rapport aux nappes superficielles.

Fig. f: Bibliographie - exemple de fiche.

*Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement*

ANNEXE 4 ENQUÊTES DE TERRAIN

Annexe 4-1 FICHE D'ENQUÊTE

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances géologiques, structurales et hydrogéologiques

ENQUETE DE TERRAIN : FICHE DE RENSEIGNEMENTS DES OUVRAGES

RENSEIGNEMENTS GENERAUX		
<u>Enquêteur</u> :	<u>Date de saisie de la fiche</u> :	
<u>Source information</u> :	<input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Autre (préciser)	
<u>Documents récupérés</u> :		
<u>Visite du site</u> :	<input type="checkbox"/> Oui → <input type="checkbox"/> Non	Si oui <u>Date de visite</u> : <u>N^{os} des photographies prises</u> :

IDENTIFICATION DE L'OUVRAGE		
<u>N° BSS</u> :	<u>Nom de l'ouvrage</u> :	
<u>Nature de l'ouvrage</u> :	<input type="checkbox"/> Drain <input type="checkbox"/> Galerie <input checked="" type="checkbox"/> Tranchée <input type="checkbox"/> Source captée <input type="checkbox"/> Source non captée <input type="checkbox"/> Source karstique <input type="checkbox"/> Forage <input type="checkbox"/> Puits <input type="checkbox"/> Sondage	<u>Date de réalisation de l'ouvrage</u> : <u>Ouvrage réalisé dans le cadre de l'exploration minière</u> : <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
<u>Entreprise de forage</u> :	<u>Nom</u> : <u>Adresse</u> : <u>Tél</u> : <u>Fax</u> : <u>E-mail</u> :	
<u>Propriétaire actuel</u> :	<input type="checkbox"/> Particulier <input type="checkbox"/> Collectivité <input type="checkbox"/> Etablissement public <input type="checkbox"/> Etablissement privé	<u>Nom</u> : <u>Adresse</u> : <u>Tél</u> : <u>Fax</u> : <u>E-mail</u> :
<u>Locataire ou occupant actuel (éventuellement)</u> :	<input type="checkbox"/> Particulier <input type="checkbox"/> Collectivité <input type="checkbox"/> Etablissement public <input type="checkbox"/> Etablissement privé	<u>Nom</u> : <u>Adresse</u> : <u>Tél</u> : <u>Fax</u> : <u>E-mail</u> :

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances géologiques, structurales et hydrogéologiques

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE			
<u>Structure de l'ouvrage :</u>	<input type="checkbox"/> Cuvelage béton	<u>Nature écoulement :</u>	<input type="checkbox"/> Libre
	<input type="checkbox"/> Puits maçonné		<input type="checkbox"/> Artésien
	<input type="checkbox"/> Tubage acier		<input type="checkbox"/> Artésien jaillissant
	<input type="checkbox"/> Tubage PVC		
<u>Diamètre intérieur utile de l'ouvrage :</u>		<u>Diamètre extérieur de l'ouvrage :</u>	
<u>Profondeur maximale de l'ouvrage :</u>		<u>Hauteur margelle ou tête de puits/sol :</u>	
<u>Nature tubage :</u>		<u>Protection ouvrage :</u>	

GEOLOGIE	
<u>Lithologie ou nature des terrains traversés :</u>	<u>Nature information :</u> <input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/> Observation enquêteur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Autre :
<u>Formation géologique à l'affleurement :</u>	<u>Nature information :</u>

HYDROGEOLOGIE	
<u>Niveau aquifère exploité ou capté :</u>	<u>Nature information :</u>
<u>Profondeur des arrivées d'eau :</u>	<u>Nature information :</u>
Mesure in-situ	
<u>Date de la mesure :</u>	<u>Niveau statique /repère :</u>
<u>Nature et niveau repère/sol :</u>	→ <u>Niveau statique / sol :</u>
<u>Température :</u>	<u>Conductivité :</u>

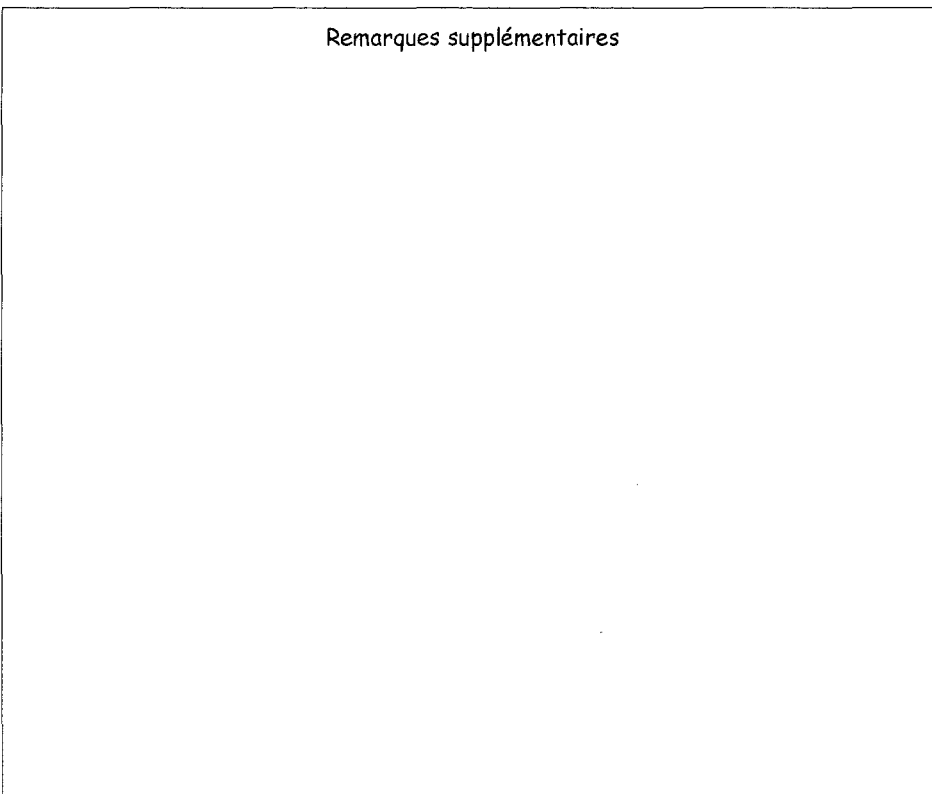
Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances des ressources en eaux souterraines
Rapport d'avancement

Bassin d'Aix-Gardanne : Etat des connaissances géologiques, structurales et hydrogéologiques

EQUIPEMENT DE L'OUVRAGE			
<u>Equipement de pompage :</u>	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Si oui : <u>Type d'équipement en place :</u>	<input type="checkbox"/> Pompe immergée <input type="checkbox"/> Pompe de surface
<u>Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage et coordonnées ou accès libre :</u>			
<u>Contraintes liées au suivi piézométrique :</u>			
<u>Pour l'ouvrage non équipé, matériels à mettre en œuvre pour le suivi piézométrique :</u>			
<u>Contraintes liées à la prise d'échantillons :</u>			
<u>Pour l'ouvrage non équipé, matériels à mettre en œuvre pour l'échantillonnage :</u>			

EXPLOITATION DE L'OUVRAGE			
<u>Ouvrage en exploitation:</u>	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	Si oui, <u>Usage :</u>	<input type="checkbox"/> AEP <input type="checkbox"/> Domestique <input type="checkbox"/> Surveillance <input type="checkbox"/> Agricole <input type="checkbox"/> Industriel <input type="checkbox"/> Loisirs <input type="checkbox"/> Irrigation <input type="checkbox"/> Autre
<u>Débit d'exploitation :</u>			
<u>Durée d'exploitation (en h/jour, mois/an) ou période d'utilisation (saisonnier, etc.) :</u>			
<u>Problèmes connus (baisse, assèchement, dégradation de qualité)?</u>			

Remarques supplémentaires



Annexe 4-2 EXEMPLE DE FICHE DE TERRAIN RENSEIGNÉE

Code BSS	10221X0101	n° fiche	28
RENSEIGNEMENTS GENERAUX			
Enquêteur	Julien Prévot	Date de saisie de la fiche	20/08/2003
Source de l'information	<input type="checkbox"/> Foreur <input checked="" type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Autre (préciser)		
Documents collectés	Aucun		
<input checked="" type="checkbox"/> Site visité	Si oui, date	20/08/2003	Nombre de photographies prises
			2
IDENTIFICATION			
Désignation de l'ouvrage		Date des travaux	1990
	<input type="checkbox"/> Ouvrage réalisé dans le cadre de l'exploration minière		
Nature de l'ouvrage	Forage		
Entreprise de forage	?		
Installateur de la pompe			
Propriétaire	Particulier	Coordonnées	Mme ALICARI Adresse : quartier « St Hilaire » Tél : 04-94-59-89-08
Locataire		Coordonnées	
LOCALISATION			
Département	83	Commune	Ollières
		Lieu-dit	St Hilaire
Coordonnées	X	881594	Projection Lambert
	Y	3137481	III
	Z	345	Référence altitude
			NGF
Carte IGN	33440	ST MAXIMIN LA STE BEAUME	1/25 000
Carte géologique	1022	BRIGNOLES	1/50000
ACCES			
Conditions d'accès à l'ouvrage	Chemin goudronné et chemin de terre		
Conditions d'accès sur l'ouvrage	Proche de la piscine, dans un puits de décoration avec un capot en métal non cadenassé.		
Aménagement de la tête de puits existante	Tuyau de la pompe		
jeudi 30 octobre 2003		Page 83 sur 394	

DESCRIPTION

Structure <input type="checkbox"/> Cuvelage béton <input type="checkbox"/> Puits maçonné <input type="checkbox"/> Tubage acier <input checked="" type="checkbox"/> Tubage PVC		Type d'écoulement <input type="checkbox"/> Libre <input checked="" type="checkbox"/> Artésien <input type="checkbox"/> Artésien jaillissant		Profondeur maximale (m) <input type="text" value="80"/> Hauteur margelle ou tête de puits/sol (m) <input type="text" value="0.9"/> Nature du tubage <input type="text"/>
Diamètre intérieur utile de l'ouvrage (mm) <input type="text" value="125"/> Diamètre extérieur de l'ouvrage (mm) <input type="text" value="175"/>		Protection de l'ouvrage <input type="text" value="Non cadenassée"/>		

GEOLOGIE

Lithologie ou nature des terrains traversés

Nature de l'information <input checked="" type="checkbox"/> Foreur <input checked="" type="checkbox"/> Observation enquêteur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Carte géologique <input checked="" type="checkbox"/> Autre (préciser) _____		
Formation géologique à l'affleurement <input type="text" value="Argile du Bégudien"/>		
Nature de l'information <input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/> Observation enquêteur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input checked="" type="checkbox"/> Carte géologique <input type="checkbox"/> Autre (préciser) _____		

HYDROGEOLOGIE

Niveau aquifère exploité ou capté

Nature de l'information <input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/> Observation enquêteur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Carte géologique <input type="checkbox"/> Autre (préciser) _____		
Profondeur des arrivées d'eau <input type="text" value="?"/>		
Nature de l'information <input type="checkbox"/> Foreur <input type="checkbox"/> Observation enquêteur <input type="checkbox"/> Propriétaire <input type="checkbox"/> Carte géologique <input type="checkbox"/> Autre (préciser) _____		

Mesures in situ	Date de la mesure	<input type="text" value="20/08/2003"/>	Niveau piézo/sol (m)	<input type="text" value="12.5"/>
	Niveau repère/sol (m)	<input type="text" value="0.9"/>	Température (°C)	<input type="text" value="16"/>
	Niveau piézo/repère (m)	<input type="text" value="13.4"/>	Conductivité (uS/cm)	<input type="text" value="610"/>

EQUIPEMENT

Ouvrage équipé

Type d'équipement en place

Personne à contacter pour accéder à l'ouvrage (ou accès libre)

Contraintes liées à un suivi piézométrique futur aucune
Contraintes liées à la prise d'échantillons aucune
Pour l'ouvrage non équipé, matériels à mettre en place pour l'échantillonnage

EXPLOITATION

Ouvrage en exploitation

Utilisation

- | | |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> AEP | <input type="checkbox"/> Agricole |
| <input checked="" type="checkbox"/> Domestique | <input checked="" type="checkbox"/> Loisirs |
| <input type="checkbox"/> Surveillance | <input type="checkbox"/> Irrigation |
| <input type="checkbox"/> Industriel | <input checked="" type="checkbox"/> Jardin |
| <input type="checkbox"/> Autre | |

Débit d'exploitation Durée

Eventuels problèmes d'exploitation connus

REMARQUES COMPLEMENTAIRES



Annexe 4-3 LISTE DES MAIRIES CONTACTÉES

NOM DE LA COMMUNE	PERSONNE CONTACTEE ET SERVICE
BEAURECUEIL	Mme ROCCHIA Maire adjoint - assistance environnement et agriculture
BELCODENE	-
BOUC-BEL-AIR	Mlle Servières - Bureau de l'urbanisme
CADOLIVE	Standardiste
CHATEAUNEUF-LE-ROUGE	Mme Delemaire et M. Girard - Assainissement
FUVEAU	Mlle Guillot - Bureau de l'urbanisme
GARDANNE	M. Bossy - Eaux pluviales
GREASQUE	M. Amalbert - 1 ^{er} adjoint
LA BOUILLADISSE	Mme Barek -bureau de l'urbanisme- et M. Pellissier, Maire Honoraire et Conseiller Général.
LE THOLONET	Céline -bureau de l'urbanisme- et M. Magnan -garde champêtre-
MEYREUIL	Mme Guiral - Bureau de l'urbanisme
MIMET	M. Molina
OLLIERES	M. Battut - 1 ^{er} adjoint
PEYNIER	-
PEYPIN	Mme Roatta - Bureau de l'urbanisme
POURCIEUX	M. Niola - Maire
POURRIERES	Mme Cuccia - Bureau de l'urbanisme
PUYLOUBIER	M. Mistre - 1 ^{er} adjoint
ROUSSET	Mme Bruix - Bureau de l'urbanisme
SAINT-ANTONIN-SUR-BAYON	Mme Bourrelly - Standard
SAINT-MARC-JAUMEGARDE	M. Henry – 1 ^{er} adjoint eau/assainissement
SAINT-SAVOURNIN	Mme Lamberti - Bureau de l'urbanisme
SIMIANE-COLLONGUE	M. Germain
TRETS	M. Delange - Bureau de l'urbanisme
LA DESTROUSSE	-



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 33 (0)2 38 64 34 34

Service Géologique Régional Provence-Alpes-Cote d'Azur
117 avenue de Luminy
BP 168 - 13276 Marseille cedex 9
Tél: 04 91 17 74 77