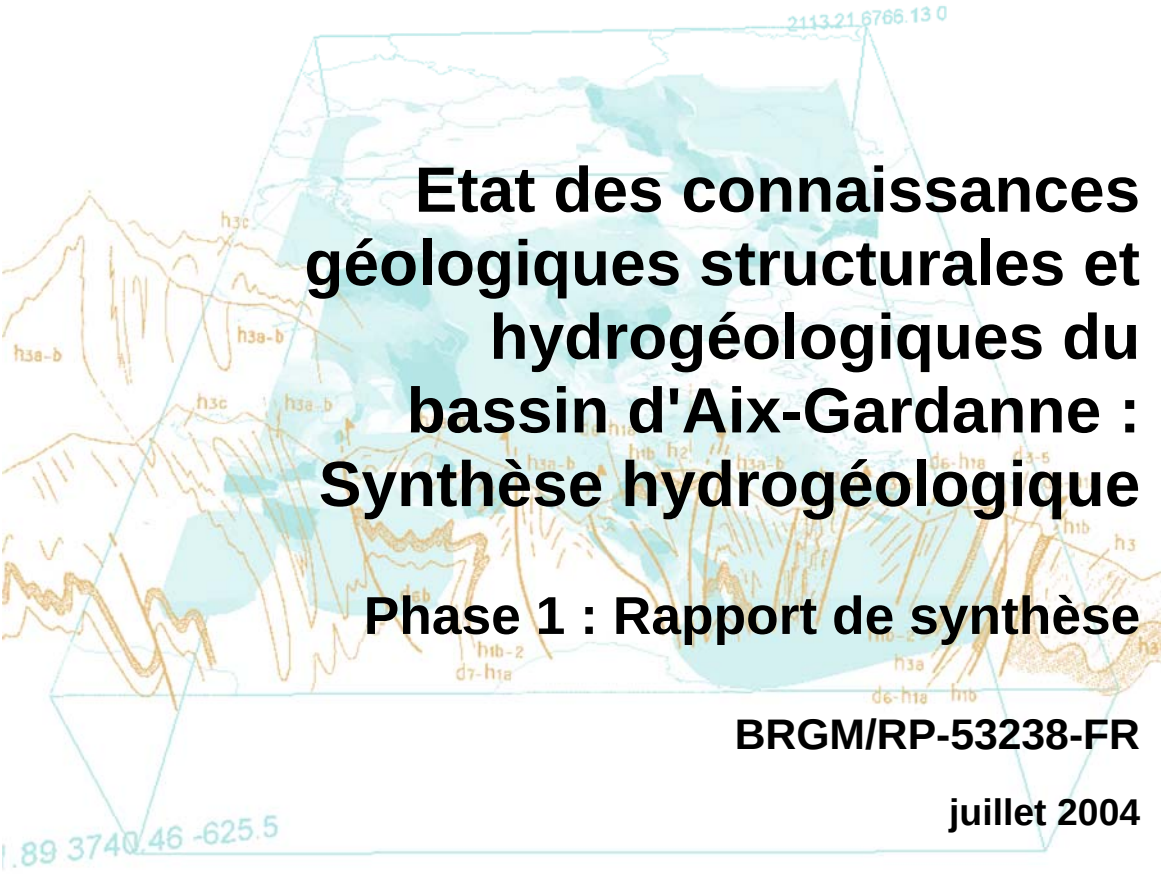


Document public



Etat des connaissances géologiques structurales et hydrogéologiques du bassin d'Aix-Gardanne : Synthèse hydrogéologique

Phase 1 : Rapport de synthèse

BRGM/RP-53238-FR

juillet 2004

CONSEIL GENERAL BOUCHES-DU-RHÔNE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Etat des connaissances géologiques structurales et hydrogéologiques du bassin d'Aix-Gardanne

Phase 1 : Rapport de synthèse

BRGM/RP-53238-FR
juillet 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 03EAUC68

A. Ancel, M. Moulin, N. Rampnoux
Avec la collaboration de
M. Terrier, F. Hanot, B. Ladouche, G. Gonzalez

CONSEIL GENERAL BOUCHES-DU-RHÔNE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Bassin de l'Arc, Bassin d'Aix-Gardanne, Jurassique, Crétacé, Géologie, Géophysique, Karstification, Fracturation, Stratigraphie, Piézométrie.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
A. Ancel, M. Moulin, N. Rampnoux (2004). Bassin d'Aix-Gardanne : état des connaissances géologiques structurales et hydrogéologique. Rapport de phase 1 : Synthèse des données hydrogéologiques. Rapport BRGM/RP-53238-FR. 114 pages, 38 illustrations, 2 annexes.

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

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

C'est dans ce cadre que ce travail a été mené par le brgm, en partenariat technique et financier entre le Conseil Général des Bouches-du-Rhône et la DIREN PACA.

Afin d'obtenir l'adhésion des acteurs locaux, et pour rendre compte de l'avancement de l'étude, un Comité de Pilotage a été créé, comprenant, outre les représentants des trois organismes précités :

- l'Agence de l'Eau RM&C ;
- les Charbonnages de France ;
- la DDAF des Bouches-du-Rhône ;
- la DDASS des Bouches-du-Rhône ;
- la DRIRE PACA ;
- le SABA ;
- la Société du Canal de Provence ;
- la Société des Eaux de Marseille ;
- l'Université de Provence ;
- l'Université Paris VIII.

Ce rapport constitue la première des quatre phases de l'opération et consiste en une synthèse des données géologiques et hydrogéologiques existantes sur le Bassin d'Aix-Gardanne .

Les trois autres phases - qui ont par ailleurs fait l'objet de rapports distincts - concernent :

- les résultats d'une enquête de terrain venant en complément de la synthèse bibliographique ;
- la définition d'un programme d'acquisition et de mesures complémentaires ;
- la mise en place d'une base de données numériques permettant entre autres d'insérer les données recueillies dans un S.I.G.

La collecte et la synthèse des données disponibles concernant les différents aquifères superposés au sein du bassin de l'Arc, objet de la première phase de ce travail, ont permis de cerner les problématiques sans toutefois atteindre un niveau de détail poussé, du fait de l'hétérogénéité de ces données.

Des unités ont ainsi pu être mises en évidence, qui s'appuient sur la lithostratigraphie définie par de nombreux auteurs dans le passé.

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

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

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

Pour appréhender la structure et l'enveloppe de ces réservoirs, l'analyse géo-structurale a été complétée par la réinterprétation de sondages sismiques anciens présents sur le secteur.

Les données recueillies, ainsi que les références bibliographiques, ont été stockées dans une base de données numériques, construite dans ce but sous Microsoft Access®.

Il ressort de l'analyse des données existantes :

- d'une part, que les ressources les plus importantes sont bien à rechercher au sein de l'aquifère du Jurassique supérieur et du crétacé inférieur ;
- d'autre part, que les limites des bassins hydrogéologiques liés à ces aquifères sont à rechercher au delà les limites du bassin hydrologique. Il est probable que la structure synclinale du bassin serve de "guide" aux écoulements souterrains, qui s'évacueraient en grande partie dans la mer en suivant l'axe est / ouest de la gouttière synclinale.

Des lacunes d'informations demeurent à l'issue de ce travail, et ne permettent ni une évaluation quantitative des ressources en eau et de leur renouvellement, ni une délimitation des aires d'alimentation des aquifères profonds, dont la connaissance est fondamentale pour protéger au mieux ces ressources de pollutions anthropiques.

Cette phase de l'étude débouche ainsi sur la proposition d'un programme d'acquisition de données complémentaires permettant d'atteindre ces objectifs.

Ainsi, à l'issue de la réalisation de ce programme, les décideurs pourront-ils choisir, en connaissance de cause, la meilleure politique de gestion de ces ressources, qui alliera prélèvement et protection dans ces aquifères.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Contexte géologique 11

2.1. Situation géographique et hydrographie du Bassin d'Aix-Gardanne 11

2.2. contexte géologique général 13

2.2.1. Evolution géodynamique 13
2.2.2. Les formations affleurantes du bassin de l'Arc 15
2.2.3. Coupes nord-sud à travers la couverture et le socle 15

2.3. Les principales structures tectoniques 17

2.3.1. La chaîne de l'Etoile 17
2.3.2. Le Régagnas 20
2.3.3. L'Olympe-Aurélien 23
2.3.4. La cuvette et l'anticlinal d'Ollières 23
2.3.5. La montagne de Sainte-Victoire 25
2.3.6. Le massif de la Nerthe 31
2.3.7. Le chaînon de la Fare – Coudoux 31
2.3.8. Les accidents décrochants 33

2.4. Les apports de la géophysique 37

2.4.1. Inventaire des données sismiques existantes 37
2.4.2. Principe du retraitement sismique et de son interprétation 38

3. Hydrogéologie du bassin 43

3.1. Présentation générale 43

3.2. Synthèse hydrogéologique issue de la bibliographie 44

3.3. Synthèse par aquifère 48

3.3.1. Aquifères alluviaux 48

3.3.2. Aquifères des calcaires tertiaires 49

3.3.3. Systèmes aquifères du Rognacien 55

3.3.4. Systèmes aquifères du Bégudien 62

3.3.5. Aquifère du Fuvélien 69

3.3.6. Aquifère du Crétacé supérieur 80

3.3.7. Aquifère du Crétacé inférieur 83

3.3.8. Aquifère du Jurassique 88

4. Bilan général du Bassin 93

4.1. Synthèse du fonctionnement des aquifères profonds 93

4.2. Etude des karsts profonds et/ou sous couverture 93

4.3. Bilan qualitatif et quantitatif des eaux du bassin 94

4.3.1. Exutoires et pertes 94

4.3.2. Apport des données géochimiques issues de la bibliographie 96

5. Conclusion 101

Liste des illustrations

Illustration 1 : Localisation du Bassin d'Aix-Gardanne et présentation des limites d'étude. 12
Illustration 2 : Contexte géologique du bassin d'Aix-Gardanne. 14
Illustration 3 : Coupes nord-sud au niveau de bassin de Gardanne et au niveau de bassin de Berre (d'après Tempier, 1987). 16
Illustration 4 : Coupe nord-sud à travers la chaîne de l'Etoile et le bassin de Marseille (d'après Guieu, 1977) 18
Illustration 5 : Coupes au niveau du chevauchement de l'Etoile (d'après Durand et Guieu, 1980). 21
Illustration 6 : Coupe nord-sud au niveau du Régagnas (d'après Durand et Guieu, 1980). 22
Illustration 7 : Coupes nord-sud au niveau des massifs de l'Olympe et de l'Aurélien (d'après Durand et Guieu, 1966 et 1980). 24
Illustration 8 : Position des coupes sériées N30 (illustration suivante) sur le schéma structural simplifiée (d'après Biberon, 1988). 27
Illustration 9 : Coupes sériées N30 au nord du bassin de Gardanne, synthèse des données factuelles (observations de terrain, forages pétroliers, données sismiques), d'après Biberon (1988). 28
Illustration 10 : Interprétation des structures au nord du bassin de Gardanne. 30
Illustration 11 : Coupes nord / sud au niveau des chaînons de la Nerthe et de la Fare (d'après Durand et Guieu, 1980). 32
Illustration 12 : Carte géologique simplifiée au niveau de la faille d'Aix et de la faille de Meyreuil (d'après Gonzales, 1980). 33
Illustration 13 : Représentation de la faille d'Aix, depuis Meyrargues au nord jusqu'à Bouc-Bel-Air, au sud (d'après Gonzales, 1989). 34
Illustration 14 : Carte de localisation de l'ensemble des profils géophysiques recensés sur la zone d'étude. 39
Illustration 15 : Quelques exemples de profils géophysiques interprétés, pour y caler les interfaces. 41
Illustration 16 : Ensemble des ouvrages issus de la BSS de thématique EAU sur le bassin d'Aix. 45
Illustration 17 : Carte de localisation des ouvrages issus de la BSS d'une profondeur supérieure à 100 m. 46
Illustration 18 : Thèmes abordés dans la synthèse hydrogégologique et origine des informations. 47
Illustration 19 : Diagramme de Piper des eaux provenant des calcaires du Tertiaire. 52
Illustration 20 : Carte synthétique des systèmes aquifères du Tertiaire et des alluvions. 54

Illustration 21 : Diagramme de Piper des eaux provenant des calcaires du Rognacien. 58
Illustration 22 : Carte synthétique des aquifères du Rognacien. 60
Illustration 23 : Extention et tographie du toit du Rognacien sous couverture. 61
Illustration 24 : Diagramme de Piper des eaux issues des formations du Bégudien. 66
Illustration 25 : Carte synthétique de l'aquifère du Bégudien. 68
Illustration 26 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Fuvélien. 73
Illustration 27 : Carte synthétique de l'aquifère du Fuvélien. 75
Illustration 28 : Extension et topographie du toit du Fuvélien sous couverture. 76
Illustration 30 : Carte de localisation des exploitations minières : zones dépilées, galeries et puits miniers. 79
Illustration 31 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Crétacé. 85
Illustration 32 : Carte synthétique des aquifères du Crétacé supérieur et du Crétacé inférieur. 87
Illustration 33 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Jurassique (Jurassique supérieur et Lias). 90
Illustration 34 : Carte synthétique des aquifères du Jurassique. 92
Illustration 35 : Schéma de synthèse des écoulements souterrains au sein des aquifères du Crétacé inférieur ou du Jurassique supérieur, tels que connus à l'issue de la phase 1 de l'étude. 95
Illustration 36 : ACP : corrélation variables - facteur principaux. Projection dans le plan F1-F2 de l’espace des variables. 97
Illustration 37 : ACP : projections des échantillons dans le plan principal F1-F2 98
Illustration 38 : Evolution des sulfates en fonction des concentrations en strontium 99

Liste des Annexes

Annexe 1 : Glossaire 107
Annexe 2 : Analyses chimiques issues de la bibliographie 111

1. Introduction

Par 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.

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

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

Cette étude a porté sur l'ensemble identifié dans le SDAGE RMC comme portant le n° 165 (code SANDRE BRGM), ensemble dit "Crétacé et Jurassique du Bassin d'Aix", couvrant une superficie d'environ 250 km² (voir Illustration 1).

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

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

- Phase 1 : état des connaissances du bassin d'Aix-Gardanne

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

Une réinterpétation d'anciennes données géologiques, géophysiques, hydrochimiques doit être effectuée, de façon à prendre en compte les progrès des connaissances.

Un rapport doit être fourni à la fin de cette phase, qui en reprend les éléments, avec des illustrations cartographiques.

Ce rapport constitue le présent document .

- Phase 2 : enquête et acquisition de données de terrain

Afin de compléter les informations acquises lors de la phase 1, il était prévu de réaliser cette phase d'investigations auprès de sources très variées (particuliers, foreurs, administrations, collectivités…). Grâce à cette phase de travail, des données

complémentaires furent acquises, et intégrées à la base de données numériques décrite ci-dessus.

La réalisation de ce travail a donné lieu à l'édition d'un rapport brgm (RP-53031-FR) ;

- Phase 3 : Synthèse et définition d'un programme de mesures et d'investigation complémentaires

Après une première synthèse hydrogéologique de l'ensemble du bassin (moins développée que dans le présent rapport), les définitions technique et financière d'un programme de mesures et d'investigations complémentaires, avec, notamment la définition de réseaux de suivi quantité et qualité, la proposition d'actions à mener dans les domaines de la géologie et de l'hydrogéologie, et plus spécifiquement pour mieux connaître le fonctionnement des karsts sont présentées dans ce document.

Le rapport publié à l'issue de cette phase porte la référence RP-53239-FR.

- Phase 4 : Mise sous SIG des données

Ce SIG comprend la base de données numériques décrite précédemment, ainsi qu'un jeu de données cartographiques intégrées, élaborées avec le logiciel Mapinfo ®, et intégré à la base. La notice d'installation et d'utilisation de ce SIG fait l'objet d'un rapport brgm (à paraître).

2. Contexte géologique

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET HYDROGRAPHIE DU BASSIN D'AIX-GARDANNE

Le bassin d'Aix-Gardanne se situe à l'est d'Aix-en-Provence, et correspond au bassin versant amont de l'Arc (le Bassin versant de l'Arc a une superficie d'environ 740 km^2 et s'étend du massif de Pourrières à l'est à l'étang de Berre).

Il s'agit d'une cuvette topographique aux formes régulières, bordée :

- au Nord par le massif de la Sainte-Victoire,
- à l'Est par le massif du Bois de Pourrières et le mont Aurélien,
- au Sud par les massifs de l'Etoile, du Régagnas et de l'Olympe.

Cette cuvette de 250 km^2 s'ouvre à l'ouest vers l'étang de Berre dans lequel se jette l'Arc. Le bassin d'Aix-Gardanne est néanmoins limité vers l'ouest par une ligne reliant Aix-en-Provence à Bouc-Bel-Air, et qui correspond à une limite topographique marquée par la présence d'une zone de collines la faille d'Aix. A l'ouest de cette limite se développe le bassin de Berre, et, au delà, la plaine de la Crau.

Dans la pratique, la partie orientale du bassin de l'Arc est dénommée « bassin de Gardanne », tandis que la partie occidentale répond à l'appellation de « bassin de l'étang de Berre ». La limite entre ces deux régions se situe approximativement sur le méridien d'Aix-en-Provence.

Long de 80 km, l'Arc s'écoule d'est en ouest, prenant sa source aux environs de Pourrières et creusant son lit dans les terrains fluvio-lacustres du bassin d'Aix-Gardanne. Cette rivière est parfois sujette à des variations considérables de débits mais son lit, qui est large, permet le passage de grandes masses d'eau, évitant des inondations importantes, sauf au sud d'Aix.

Dans sa partie inférieure, le débit moyen de l'Arc est de 5 m^3/s. Le débit d'étiage est de 1 m^3/s et le débit de crue de 700 m^3/s. Comme nombre de rivières du sud de la France, les affluents sont de simples ruisseaux qui peuvent se transformer en torrents. Ces affluents sont les suivants :

rive gauche :	Ruisseau de Peynier	rive droite :	Ruisseau de Pourrières
	Ruisseau de Fuveau		Ruisseau de Rousset
	Ruisseau de Lyunes		Ruisseau de Bajou
	Ruisseau du Grand Vallat		Ruisseau de l'Infernet
			Ruisseau de Torse
			Ruisseau des Pinchinats

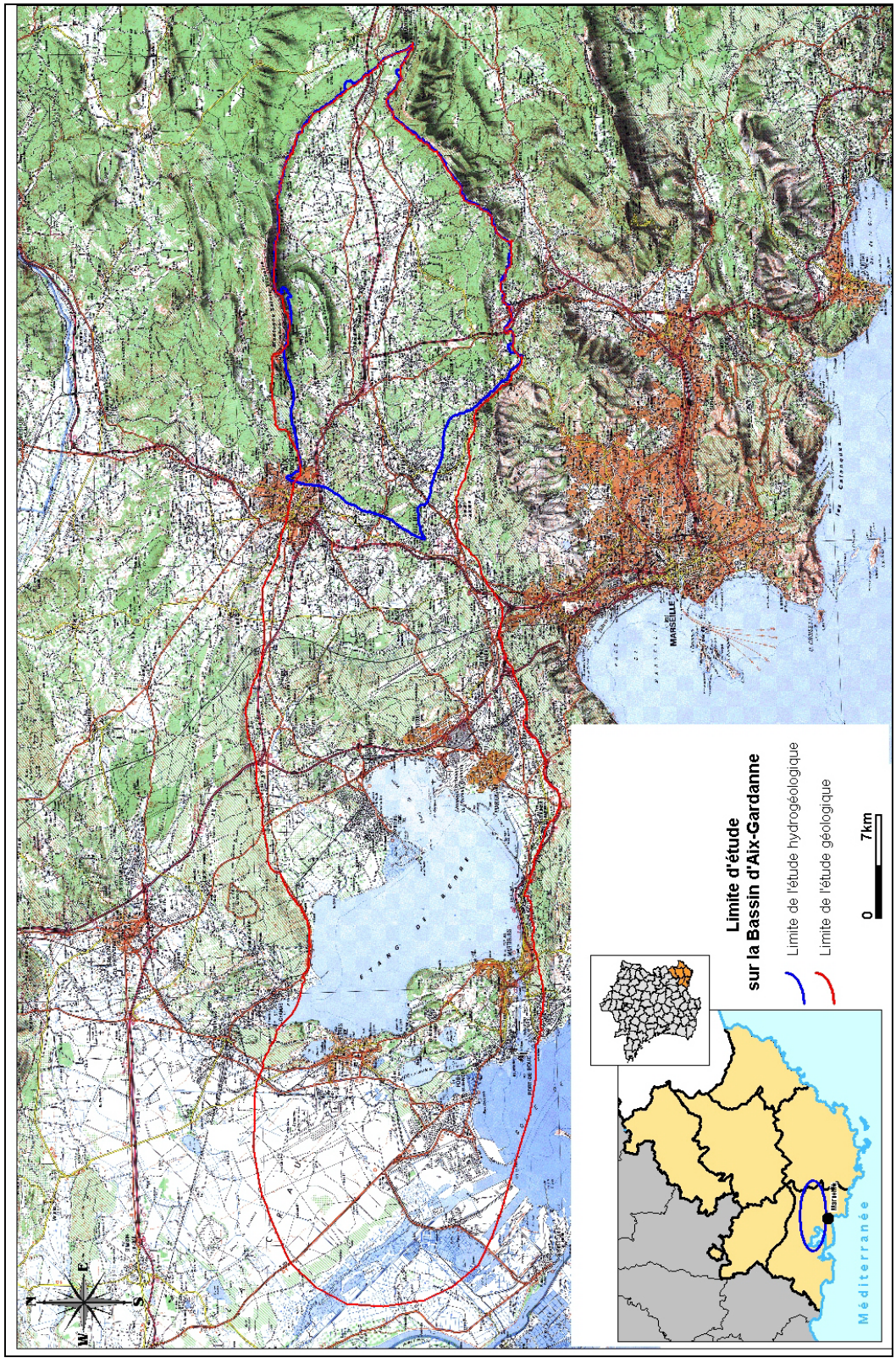


Illustration 1 : Localisation du Bassin d'Aix-Gardanne et présentation des limites d'étude.

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

Le bassin de l'Arc est une cuvette synclinale d'allure tectonique simple, individualisée dès le Crétacé supérieur (-100 Ma environ). Elle est limitée au sud et au nord par des structures plissées et des chevauchements plus ou moins complexes (Illustration 2).

2.2.1. Evolution géodynamique

Après l'édification suivie de l' « effondrement » de la chaîne hercynienne à la fin de l'ère primaire, puis l'ouverture de l'océan atlantique et de la Téthys au début de l'ère secondaire, l'évolution régionale est marquée par le rapprochement des plaques Europe et Afrique dès la fin de l'ère secondaire. La structuration actuelle de la région est le résultat d'une lente évolution géodynamique, constituée de périodes de distension ou de compression, tantôt étendues à l'ensemble de la région, tantôt plus localisées. Ainsi, des plus anciens aux plus récents, les évènements suivants se succèdent :

- *Carbonifère supérieur, début du Permien* (vers -330 à -270 millions d'années) : fin de l'édification de la chaîne hercynienne, apparition de grandes failles (à mouvement normal ou décrochant) : faille de la Durance, faille de Salon - Cavaillon (et au-delà vers l'ouest, failles de Nîmes et des Cévennes) ;

- *Fin du Permien, début du Crétacé supérieur* (entre -270 Ma et -80 Ma) : ouverture et fermeture de la Téthys ; période de sédimentation en Provence ; jeu normal des grandes failles tardi-hercyniennes ;

- *A partir du Crétacé supérieur* (vers -80 Ma) *mais surtout à l'Eocène inférieur et supérieur* (-53 à -34 Ma) : collision continentale Europe-Afrique. En Provence occidentale, c'est la tectogénèse pyrénéo-provençale.

- *Pendant le Paléocène et l'Eocène* (entre -65 et -35 Ma), la formation de la chaîne pyrénéenne sous l'action d'une compression nord / sud s'accompagne de plis, de failles inverses et de chevauchements de direction sensiblement **est / ouest**, tandis que les anciennes failles nord-est / sud-ouest rejouent en décrochements. La couverture sédimentaire décollée au niveau du Trias est plissée et faillée. Les structures chevauchantes de l'Etoile, la Sainte Baume, l'Olympe - Aurélien, la Sainte-Victoire, Eguilles et la Nerthe se sont mises en place à cette époque.
- *Eocène terminal – Oligocène inférieur* (-35 à -30 Ma) : une phase de distension intra continentale affecte le pourtour de la Méditerranée (tandis que la compression est généralisée dans la chaîne alpine).
- *Oligocène supérieur – Miocène inférieur* (-30 Ma à -16 Ma environ) : ouverture du bassin Ligure, accompagnée de la rotation du bloc corso-sarde de 25 à 30° vers l'est. Les bassins apparus lors de l'Oligocène inférieur (bassins de Marseille, d'Aix, de Salon, de Manosque) continuent à fonctionner.

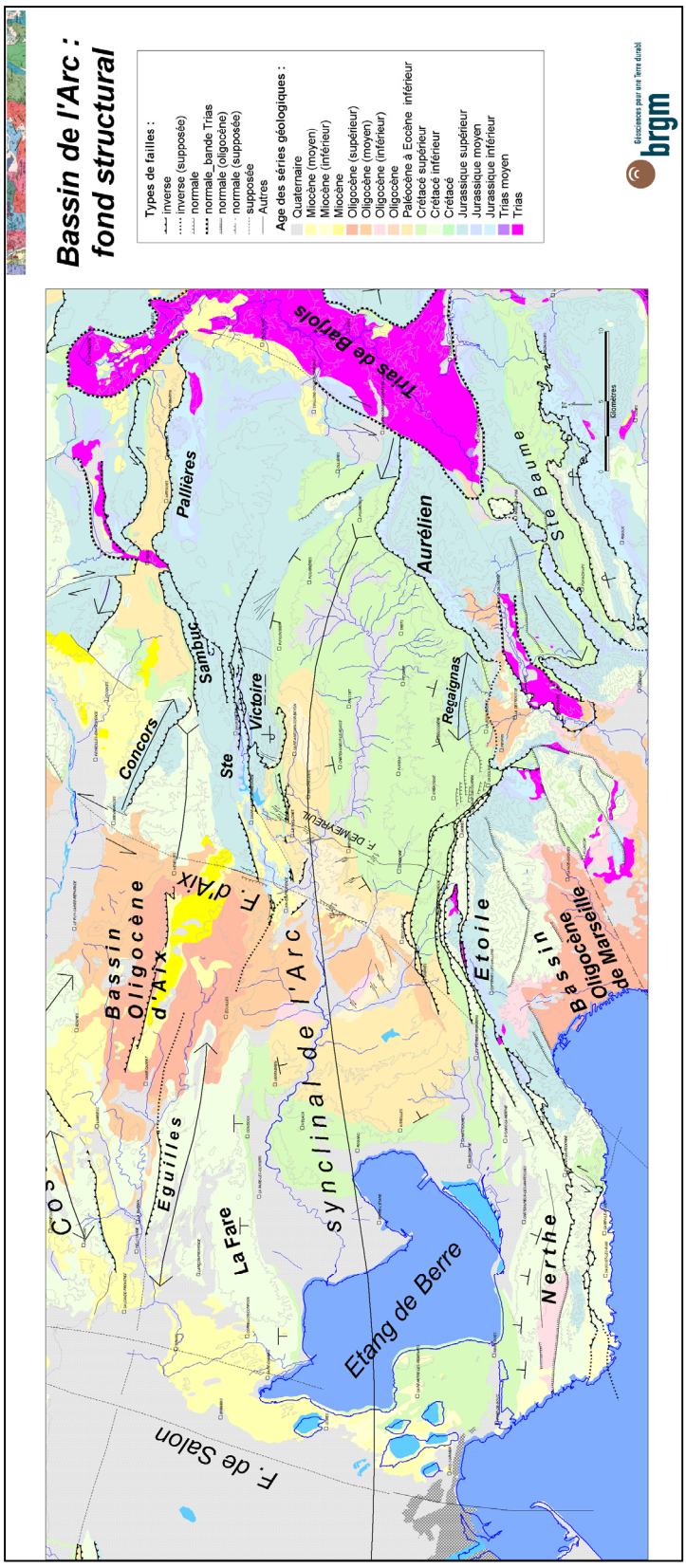


Illustration 2 : Contexte géologique du bassin d'Aix-Gardanne.

- *Mio-Pliocène* (-25 à -2 Ma) : la compression alpine qui affectait jusque-là uniquement les Alpes internes, migre vers les Alpes du sud et la Provence (mise en place des arcs de Digne, de Castellane et de Nice). Certaines structures est / ouest (failles et plis) héritées de la tectonique pyrénéenne sont réactivées (Lubéron, Costes, Alpilles). Le sud de la Provence méridionale est beaucoup plus épargné par les déformations alpines si l'on excepte quelques réactivations de failles d'ampleur limitée (rejeu de la faille de la Sainte-Victoire, faille de la Trévaresse).

  A l'ouest, dans la vallée du Rhône et la Camargue, le régime extensif apparu à l'Oligocène semble se poursuivre.
- *Fin du Pliocène – Quaternaire* (depuis -2 Ma à aujourd'hui) : uniformisation du régime de contrainte compressif.

2.2.2. Les formations affleurantes du bassin de l'Arc

Dans cette unité synclinale se sont régulièrement accumulées sur un substratum jurassique ou Crétacé inférieur, les formations marines du **Santonien** (-87 Ma), puis les dépôts fluvio-lacustres du Campanien (-83 Ma), du **Maastrichtien** (-72 Ma) et de l'Eocène (-53 à -40 Ma). Dans la partie orientale du bassin, ces affleurements décrivent de larges auréoles concentriques autour du demi-dôme du Régagnas.

A l'ouest du méridien d'Aix et jusqu'aux environs d'Eguilles, les assises **éocènes** et **crétacées** disparaissent sous les épaisses formations discordantes de l'**Oligocène moyen**. Au delà, dans la région de l'Etang de Berre, les terrains éocènes et crétacés réapparaissent et dessinent une gouttière synclinale d'axe sensiblement est-ouest.

Le retour de la mer au Miocène est attesté par la présence locale (secteurs de Martigues, Aix, Luynes) de dalles molassiques ou de surfaces d'abrasion marine.

Sur la bordure méridionale du bassin de l'Arc, on observe de part et d'autre du massif du Régagnas : à l'est, le chevauchement de l'Olympe – Aurélien, à l'ouest, les unités allochtones de l'Etoile et de la Nerthe. Au nord, l'anticlinal chevauchant de la Sainte-Victoire et ses brèches de piedmont affectent largement la bordure du bassin.

Le bassin de Gardanne est séparé du synclinal de l'Etang de Berre par un accident sub-méridien : la faille d'Aix.

2.2.3. Coupes nord-sud à travers la couverture et le socle

L'épaisseur de la couverture qui recouvre le socle antétriasique est très épaisse à l'ouest (plusieurs milliers de mètres), tandis qu'elle diminue très rapidement à l'est de la faille d'Aix.

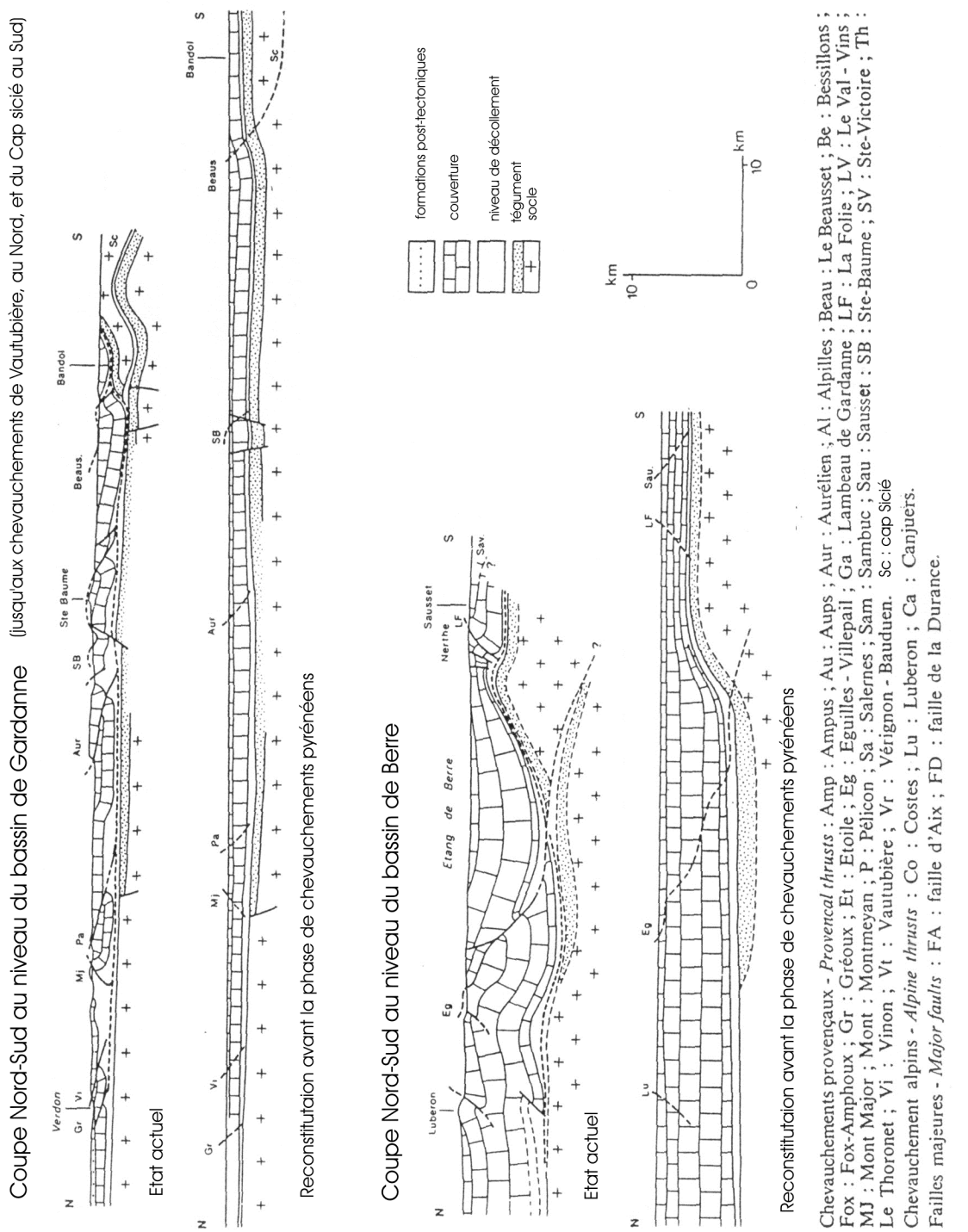


Illustration 3 : Coupes nord-sud au niveau de bassin de Gardanne et au niveau de bassin de Berre (d'après Tempier, 1987).

Tempier (1987) propose une reconstitution de la couverture et du toit du socle avant la grande phase de chevauchement pyrénéo-provençale. Les coupes réalisées au niveau du bassin de l'Arc (Illustration 3) montrent ainsi la différence de style tectonique entre la partie orientale du bassin (au niveau du bassin de Gardanne et des structures chevauchantes qui le limitent), et la partie ouest du bassin (au niveau de l'étang de Berre).

A l'est, les Chevauchements de la Sainte Baume, de l'Aurélien, de l'Etoile, de Pallières et de Sambuc, sont assez plats. Ils déforment une couverture relativement peu épaisse par comparaison avec celle située à l'ouest du bassin. La surface du décollement implique très généralement les séries triasiques situées à la base du socle. Selon Tempier (1987), la valeur du déplacement tangentiel serait de l'ordre de 25 km (dont l'essentiel résulterait de la période Eocène supérieur), par contre, pour Rousset (1975) et Guieu et Rousset (1978), le déplacement de la couverture du sud de la Provence occidentale aurait pu atteindre 70 km.

Au nord et à l'ouest, les structures chevauchantes sont plus redressées. Certaines n'atteignent pas le socle. La valeur du déplacement tangentiel est plus faible, de l'ordre de la dizaine de kilomètres au maximum (5 km pour le chevauchement d'Eguilles). Par contre, ces structures déforment une couverture de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur.

2.3. LES PRINCIPALES STRUCTURES TECTONIQUES

2.3.1. La chaîne de l'Etoile

Ce massif s'étend sur une vingtaine de kilomètres entre Peypin, à l'est et Septèmes, à l'ouest. La chaîne de l'Etoile sépare le bassin de Marseille, au sud, du bassin de l'Arc, au nord. Cette nappe de recouvrement débitée en écailles, chevauche vers le nord-est les formations du bassin de l'Arc. Le déplacement total est probablement d'une quinzaine de kilomètres. En effet, déplacée tangentiellement, la couverture jurassique et crétacée de l'Etoile est à replacer paléogéographiquement dans une région occupée actuellement par le bassin de Marseille (Durand et Guieu, 1980). La déchirure provoquée en arrière du chevauchement serait à l'origine de la dépression Oligocène (Guieu, 1967).

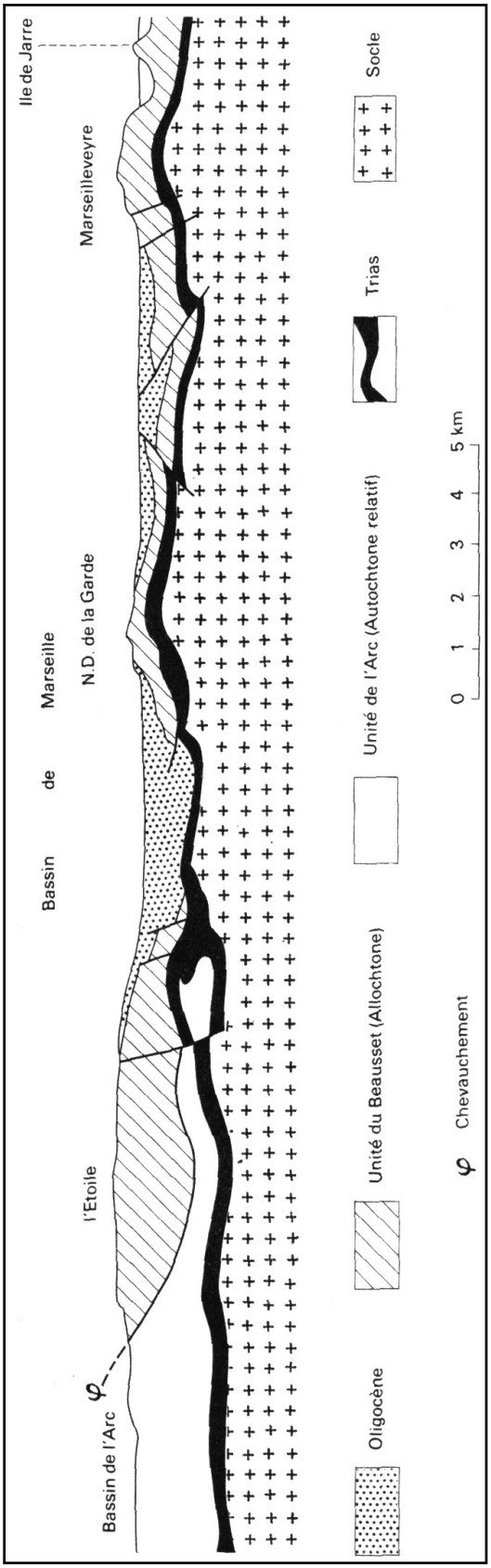


Illustration 4 : Coupe nord-sud à travers la chaîne de l'Etoile et le bassin de Marseille (d'après Guieu, 1977)

La couverture allochtone du massif de l'Etoile est structurée en plusieurs unités tectoniques, plus ou moins fortement déformées et constituées de séries d'âge différent, ces unités tectoniques sont du sud vers le Nord, c'est à dire de l'arrière du chevauchement vers la partie frontale (Illustration 5) :

- *L'unité du versant méridional* : les séries sont d'âge essentiellement Néocomien et urgonien (Crétacé inférieur). Elle est bordée au sud par les formations Oligocènes du bassin de Marseille.

- *L'unité de la zone centrale dolomitique* : les formations essentiellement d'âge Jurassique à Triasique dessine un synclinal, dit de la Grande Etoile. Cette unité est séparée de celle du versant méridional par la faille de la Mure, faille subverticale, qui affaisse de près de 300 m l'unité méridionale par rapport à la zone centrale dolomitique. Il s'agit de la plus grosse unité du massif de l'Etoile. Les terrains y sont relativement peu déformés comparés aux terrains de unités situées au nord. Cette unité est séparée des terrains autochtones du bassin de l'Arc par la faille majeure de l'Etoile.

- *L'unité du synclinal du Pilon du Roi* : il s'agit d'une petite unité constitué de terrains Jurassiques, coincés entre les failles du Pilon du Roi, au sud, et la faille chevauchante majeure de l'Etoile (reconnue de Septèmes jusqu'à Peypin).

La faille majeure de l'Etoile est soulignée à sa base par une semelle triasique qui a servi de surface de décollement de la couverture secondaire sur les terrains autochtones du bassin de l'Arc. Les failles qui structurent les unités du versant méridional de la zone centrale et du Pilon du Roi se raccordent à cette structure principale.

Les écailles frontales, situées à l'avant du chevauchement principal de l'Etoile :

- *Le lambeau de Sousquières* : il s'agit d'un morceau du flanc nord de la Nerthe entraîné sous le chevauchement. Les séries sont subhorizontales ;

- *L'écaille de Simiane – Mimet* : les séries sont d'âge essentiellement aptien et albien (fin Crétacé inférieur). Ils sont visibles depuis Saint-Savournin jusque dans le massif de la Nerthe. Les terrains y sont très plissés et écaillés (présence de nombreuses failles chevauchantes). L'unité est limitée au nord par la faille du Safre

- *Le Trias de Saint Germain : il s'agit d'une klippe (lambeau de terrains chevauchants) qui repose sur les unités de Simiane-Mimet et de Sousquières. Les terrains triasiques étaient vraisemblablement en contact avec le Trias situé à la base de l'unité de la zone centrale dolomitique (surface de décollement liée à la faille majeure de l'Etoile) ;*

- *L'écaille de Gardanne* : c'est l'unité la plus au nord de la structure chevauchante du massif de l'Etoile. Il s'agit d'une écaille para-autochtone, c'est à dire d'un lambeau de poussée, arraché à la partie centrale du synclinal de l'Arc par le chevauchement principal de l'Etoile. Les séries arrachées correspondent à des terrains d'âge Valdo-Fuvélien et bégudo-Rognacien (Crétacé supérieur). Cette écaille est limitée

au sud par la faille du Safre, et au nord par la faille de la Diote, lesquelles doivent se rejoindre en arrière du chevauchement pour ce connecter ensuite au chevauchement principal de l'Etoile.

Cette écaille para-autochtone s'enracine (disparaît) à l'ouest aux environs de Cabriès. Son déplacement tangentiel ne semble pas excéder 1,5 km (Durand et Guieu, 1980).

Terminaison est de l'Etoile :

A l'avant de l'écaille de Gardanne, les terrains autochtones ont pu être plissés et renversés, et cela depuis le « pli de Bouc - Bel - Air », à l'ouest, jusqu'aux environs de Cadolive, à l'est.

Entre l'Etoile et le Regagnas, le bassin est bordé par les collines du Terme et de Peypin. Les klippes du Jurassique appartenant à l'allochtone de l'Etoile reposent sur le Fuvélien autochtone, sur les conglomérats du Bégudien du Terme et sur l'Oligocène de base de Peypin.

La chaîne de l'Etoile a ainsi recouvert toute la partie méridionale du bassin de l'Arc. Celui-ci n'est plus à la fin de l'Eocène qu'une dépression réduite dont l'axe est largement déporté vers le nord.

2.3.2. Le Régagnas

A l'est de l'Etoile, s'étend le massif du Régagnas. Il s'agit d'un anticlinal faillé dans lequel apparaissent deux structures : un demi-dôme et un pli-faille (Corroy et Mercier, 1949).

Sur le demi-dôme, le Portlandien (Jurassique supérieur) s'ennoie sous les affleurements concentriques du Crétacé supérieur marin et fluvio-lacustre. Ces formations périclinales plongent de 10 à 15° vers le nord (illustration 5).

Dans sa partie méridionale, le Régagnas est effondré par un réseau de failles est-ouest à regard sud. Ces dernières se détachent dans le paysage sous les traits d'un escarpement de plusieurs kilomètres de long.

Au sud-est, le pli-faille est un compartiment de terrain autochtone déformé par l'avancée du front chevauchant des collines d'Auriol (Guieu, 1968). Le chevauchement de l'Olympe est venu buter contre ce pli-faille au Pas de la Couëlle.

La structure générale du bassin de Gardanne est commandée par la forme particulière du pli du Régagnas. Celui-ci existait déjà lors de la mise en place des chevauchements de l'Etoile et de l'Olympe-Aurélien au Lutétien terminal (Eocène moyen). A cette époque, le Régagnas formant obstacle à ces structures chevauchantes s'est à nouveau plissé sous l'effet de la compression. C'est une des hypothèses qui permet d'expliquer les failles normales observées au niveau du pli, puisqu'il s'agirait dans ce cas de déformations d'extrados (fissures ouvertes dans l'axe d'un anticlinal).

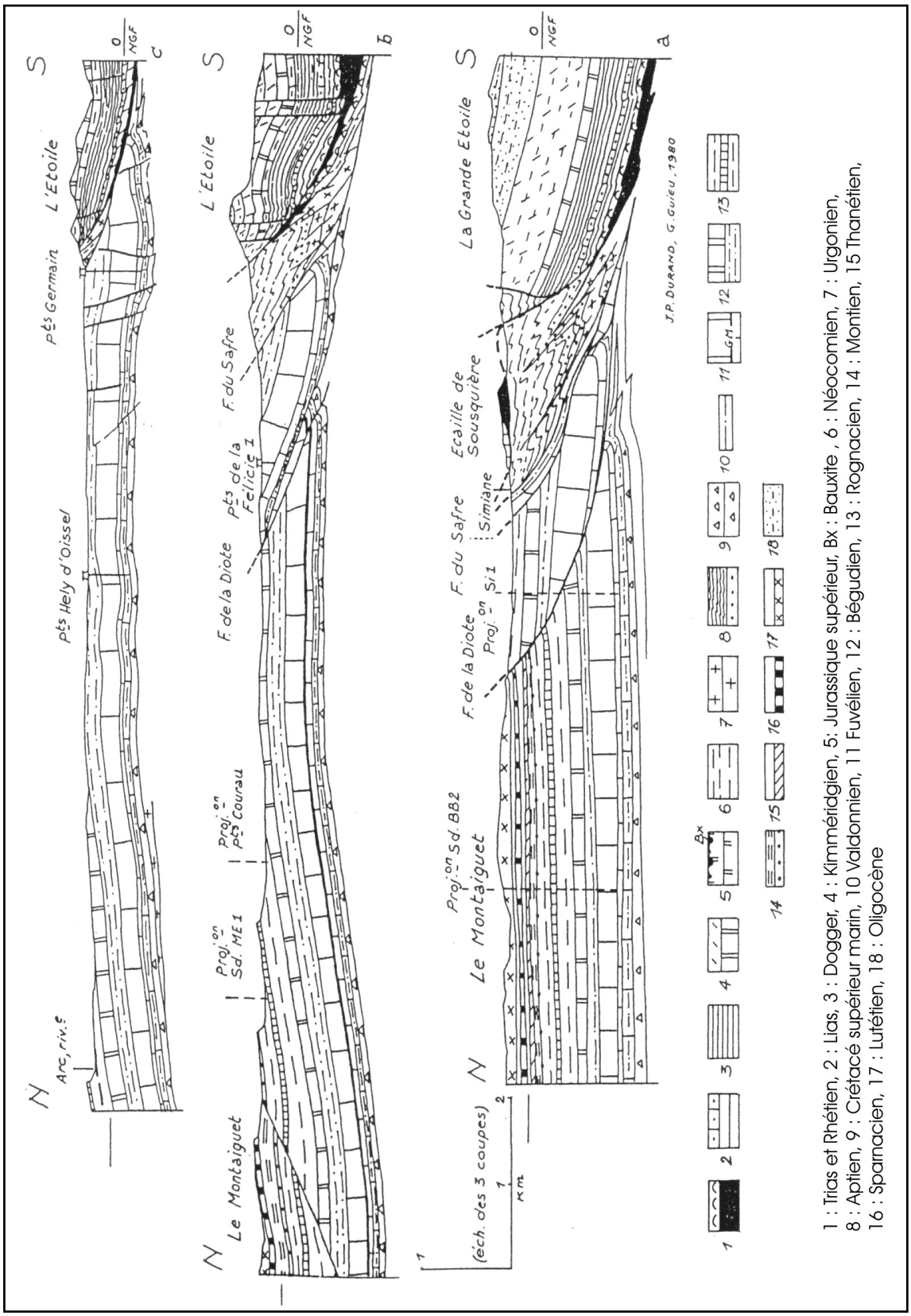


Illustration 5 : Coupes au niveau du chevauchement de l'Etoile (d'après Durand et Guieu, 1980).

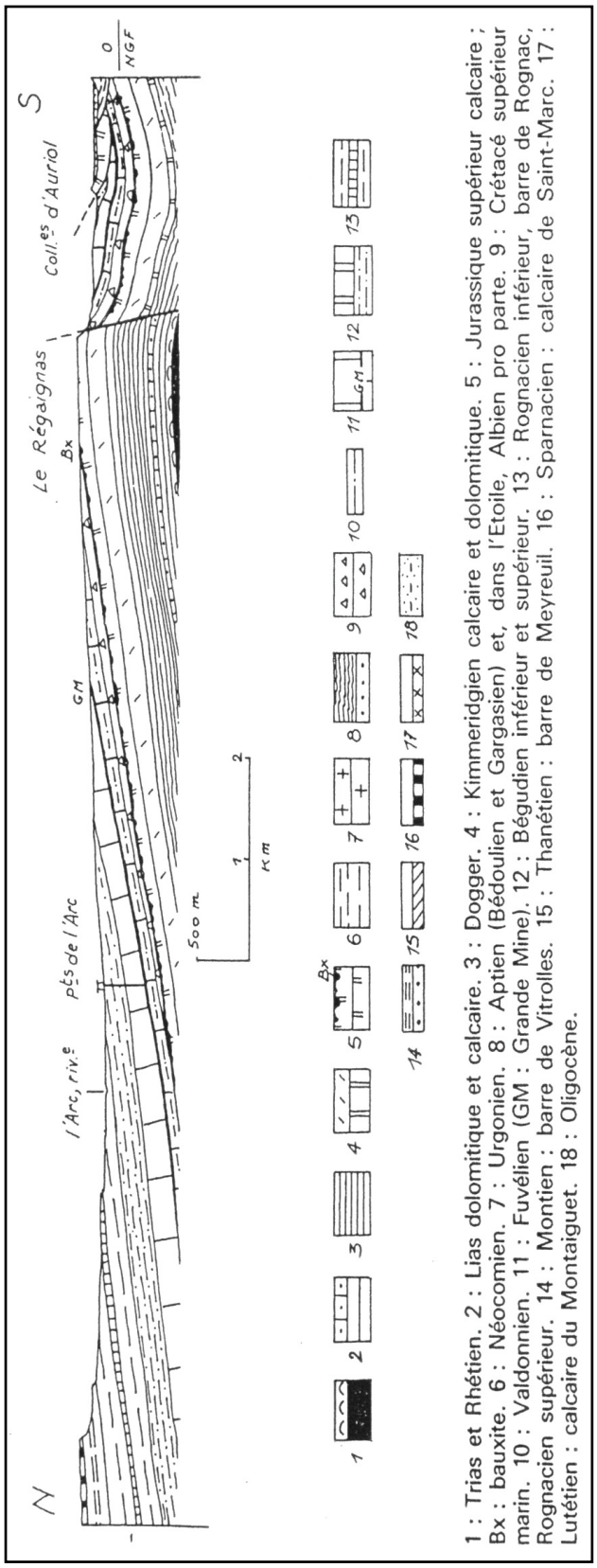


Illustration 6 : Coupe nord-sud au niveau du Régagnas (d'après Durand et Guieu, 1980).

Au sud du massif, au niveau de la vallée de l'Huveaune, entre Pont de l'Etoile et Saint Zacharie, le Trias affleurant peut soit appartenir à la couverture autochtone (Trias « enraciné ») soit être plutôt lié à la couverture allochtone (c'est à dire recouvrir des terrains plus récents). Selon Rouire (1979), il s'agirait plutôt de Trias « enraciné ».

Selon Guieu et Rousset (1979), les massifs de l'Olympe-Aurélien étant plutôt à rattacher à la structure chevauchante de la Sainte Baume, dans ce cas, le Trias de l'Huveaune serait plutôt allochtone.

Au sud, ces terrains triasiques pourraient être affectés par un grand accident nord-est / sud-ouest, lequel rejoindrait au nord-ouest l'arc triasique de Barjols, et au sud-est, la faille d'Allauch.

2.3.3. L'Olympe-Aurélien

Les massifs de l'Olympe et de l'Aurélien s'avancent entre le Pas de la Couëlle et Saint Maximin sur le fluvio-glaciaire du bassin de l'Arc, en demi-klippe et par faille plate (). Le recouvrement s'accroît d'ouest en est (Guieu, 1968). Pour atteindre un maximum d'au moins 5 km dans l'Aurélien (Durand et Guieu, 1980).
A l'ouest, les terrains allochtones de l'Olympe-Aurélien semble reposer par contact anormal sur les anticlinaux jurassiques du Régagnas et du Défends de Saint-Maximin, ainsi que sur le Trias de Rougiers (Guieu et Rousset, 1978).

La paléogéographie, la tectonique, la similitude des faciès du Jurassique permettent également d'interpréter ces massifs comme étant la partie la plus avancée du chevauchement de la Sainte Baume. (Guieu et Rousset, 1978).

A la base et au front du chevauchement, des écailles de Jurassique, de Crétacé supérieur marin et lacustre, de brèches de bauxite remaniée sont visibles. Témoignant ainsi du rabotage de l'Olympe-Aurélien au cours de son avancée sur la bordure méridionale du bassin en voie d'érosion.

2.3.4. La cuvette et l'anticlinal d'Ollières

A l'est, la bassin de l'Arc est bordé par un anticlinal à grand rayon de courbure d'extension nord-ouest / sud-est, connu sous le nom de « bandes d'Ollières ». Cette structure anticlinale ne limite pourtant pas vers l'est les dépôts du Valdo-Fuvélien et du Bégudien (Crétacé supérieur), puisqu'ils réapparaissent dans la cuvette d'Ollières à 1km au nord-est du bassin.

La bande d'Ollières est un anticlinal complexe dont la structure se modifie en allant du nord-ouest au sud-est :

- Dans la région de Pourrières, le Jurassique constitue une unité monoclinale inclinée vers le sud-ouest ;
- Plus à l'est, près de Pourcieux, les calcaires Portlandiens (Jurassique supérieur) plongent très fortement sous le Valdo-Fuvélien du bassin, lui-même surmonté par les épaisses séries discordantes du bégudo-Rognacien (Crétacé supérieur).

Au contact de l'Aurélien, l'anticlinal se disloque et donne le pli-faille du Défends de Saint-Maximin (Durand et Guieu, 1966).

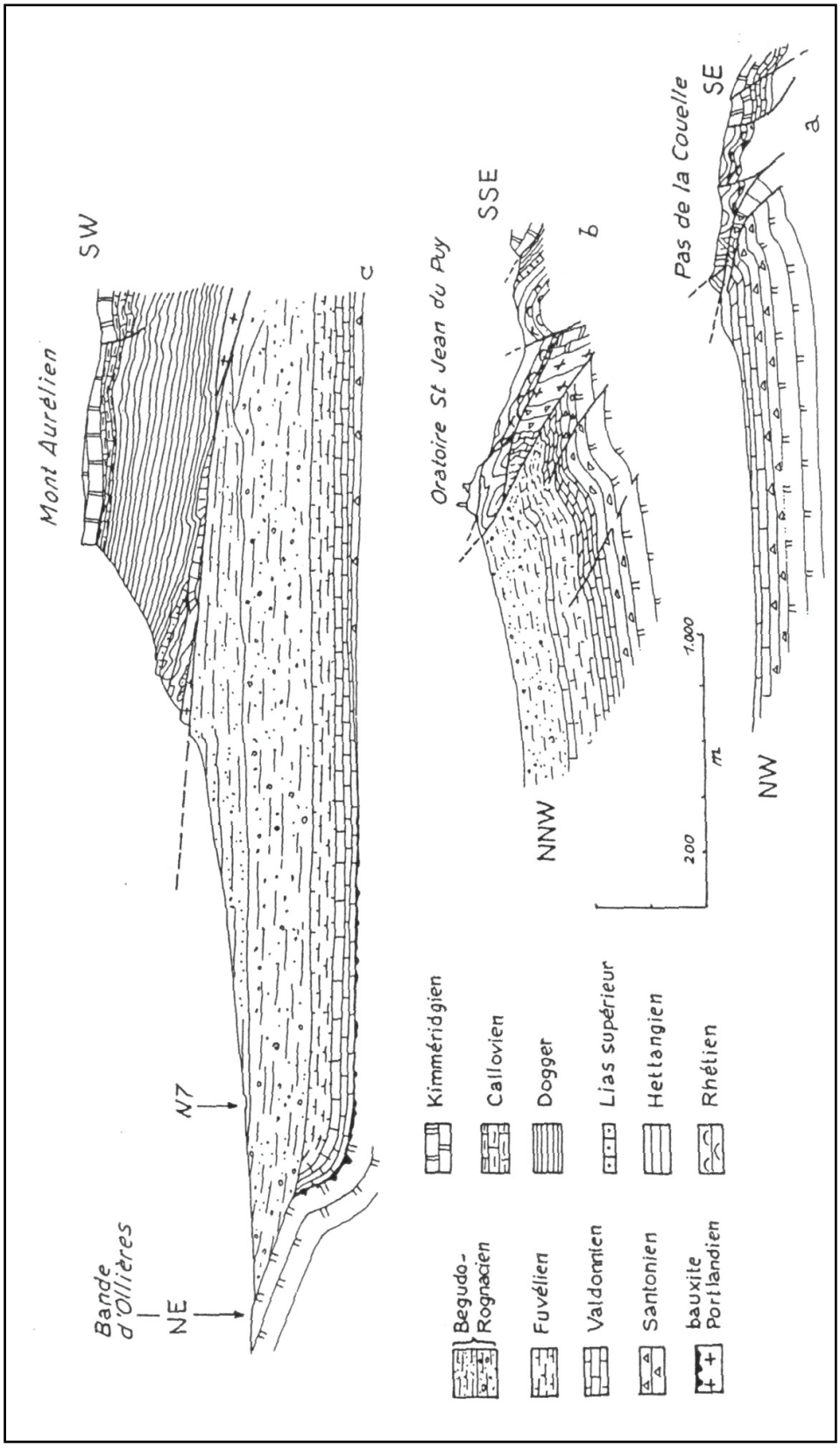


Illustration 7 : Coupes nord-sud au niveau des massifs de l'Olympe et de l'Aurélien (d'après Durand et Guieu, 1966 et 1980).

2.3.5. La montagne de Sainte-Victoire

Parmi les principales structures que l'on peut distinguer au nord du bassin de Gardanne, il s'agit :

- des structures de direction globalement est-ouest, avec principalement, la Sainte-Victoire et les Ubacs. Ces structures forment un massif complexe constitué de terrains Jurassiques et limité au sud par le synclinal de l'Arc et au nord, par le chevauchement des Ubacs.

- des structures de direction nord-ouest / sud-est, ce sont les deux synclinaux, de Rians (à l'est) et du bois de Concors (à l'ouest), et les deux anticlinaux, de Mont major – Vautubière et de Concors

2.3.5.1. La Sainte-Victoire :

Dans la région de Pourrières, le Portlandien de l'unité monoclinale s'incline faiblement vers le sud-ouest, et se termine par une légère flexure recouvert par les séries fluvio-lacustres. En se dirigeant vers l'ouest, la pente du Jurassique supérieur augmente progressivement pour atteindre la verticale au Pic des Mouches. Plus à l'ouest, les puissantes séries du Portlandien et du Berriasien se renversent vers le sud et dominent de plus de 500 m le plateau Eocène du Cengle. La flèche du recouvrement de Sainte-Victoire atteindrait 2,5 km au niveau de la Croix de Provence.

Schématiquement on se trouve en présence d'une seule grande structure anticlinale composée pour l'essentiel de Jurassique supérieur : la Sainte-Victoire au sens large. Mais une évolution apparaît latéralement : **en 15 km et d'est en ouest, on passe d'un vaste bombement monoclinal à faible pendage sud, à un pli coffré symétrique à flancs verticaux dont le flanc sud se déverse.** A l'ouest, ce flanc sud se complique en deux unités renversées.

La structure anticlinale de la Sainte-Victoire est affectée par trois failles inverses principales de direction est-ouest qui s'amortissent vers l'est :

- le chevauchement de Vauvenargues. Il affecte le cœur du pli ;
- Le chevauchement à vergence sud de la Sainte-Victoire. Il cisaille le flanc inverse du pli et donne son individualité à la bordure septentrionale du synclinal de l'Arc. Il fait chevaucher des brèches du Crétacé supérieur sur les terrains autochtones du bassin de l'Arc. Par ailleurs, Tempier et Durand (1981) lui attribue un âge post-Lutétien (plans de cisaillements subhorizontaux dans les argiles rouges) ;
- La faille du vallon de Bimont. L'existence de cette faille est aujourd'hui confirmée grâce aux datations stratigraphiques des terrains. Cependant, plusieurs interprétations existent sur le pendage et le jeu de la faille : a) ancien chevauchement à vergence nord, dont le plan a ensuite été basculé et est en l'état actuel penté nord ; b) ou ancien chevauchement à vergence sud, par la suite replissé et qui pourrait être raccordé au nord au chevauchement de Vauvenargues.

En plus de ces chevauchements d'orientation est / ouest, le massif de la Sainte-Victoire est aussi affecté par :

- des failles est / ouest subverticales, à compartiment nord effondré. Ces failles sont antérieures au Miocène supérieur car elles sont scellées par le tortonien ;
- des failles nord-est / sud-ouest, moins bien exprimées, plutôt à jeu décrochant.

2.3.5.2. Autres structures au nord du bassin de Gardanne :

La structure de la Sainte-Victoire se poursuit vers le nord-est par le pli anticlinal à cœur de lias (Jurassique inférieur) des Ubacs, d'orientation est-nord-est / ouest-sud-ouest, déversé vers le nord et chevauchant le synclinal de Rians. Il s'agit du chevauchement des Ubacs. A l'ouest, la structure des Ubacs disparaît en se diverticulant en deux replis anticlinaux qui s'amortissent dans le flanc nord de la structure de la Sainte-Victoire (Illustration 8 et Illustration 9).

Parmi les autres structures visibles au nord du bassin de Gardanne, il s'agit des plis du Mont Major et de la Vautubière, de direction nord-ouest / sud-est, ces plis se développent en chevauchement à vergence sud. Ces plis sont séparés de l'anticlinal du Concors par le synclinal de Rians.

2.3.5.3. Hypothèses permettant d'expliquer la coexistence des chevauchements à vergences opposées :

Située dans le prolongement de la faille de la Durance, la faille d'Aix, de direction N30 contrôle une importante différence de la profondeur du socle : faible profondeur à l'est et plus grande profondeur à l'ouest. Selon Biberon (1988), pour expliquer l'absence de création de bassin parallèle à la faille, lors du chevauchement de la couverture mince vers le nord, il faut envisager une direction de déplacement de la couverture parallèle à celle de l'accident, soit N30, et non pas oblique, c'est à dire nord-sud comme il est plus classiquement proposé.

Biberon (1988) suppose donc que la direction générale du déplacement des unités décollées est N30°E. En outre, elle suppose que les chevauchements à vergences opposées visibles au nord du bassin de l'Arc, ont du se mettre en place dans le même temps (tout du moins pour une partie). Tenant compte de cela, Biberon (1988) a ensuite réalisé des coupes équilibrées sériées parallèles à la direction de déplacement.

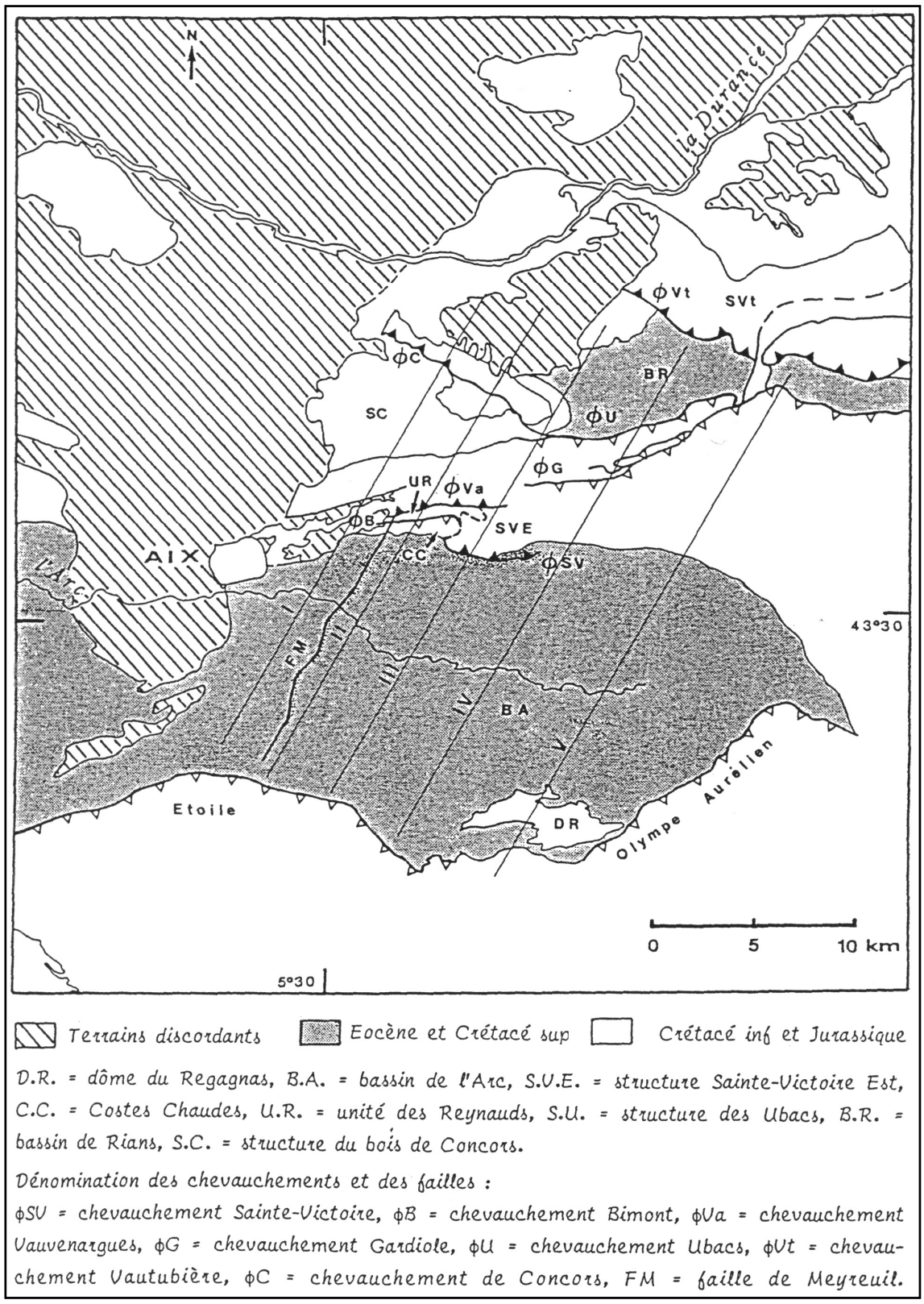


Illustration 8 : Position des coupes sériées N30 (illustration suivante) sur le schéma structural simplifiée (d'après Biberon, 1988).

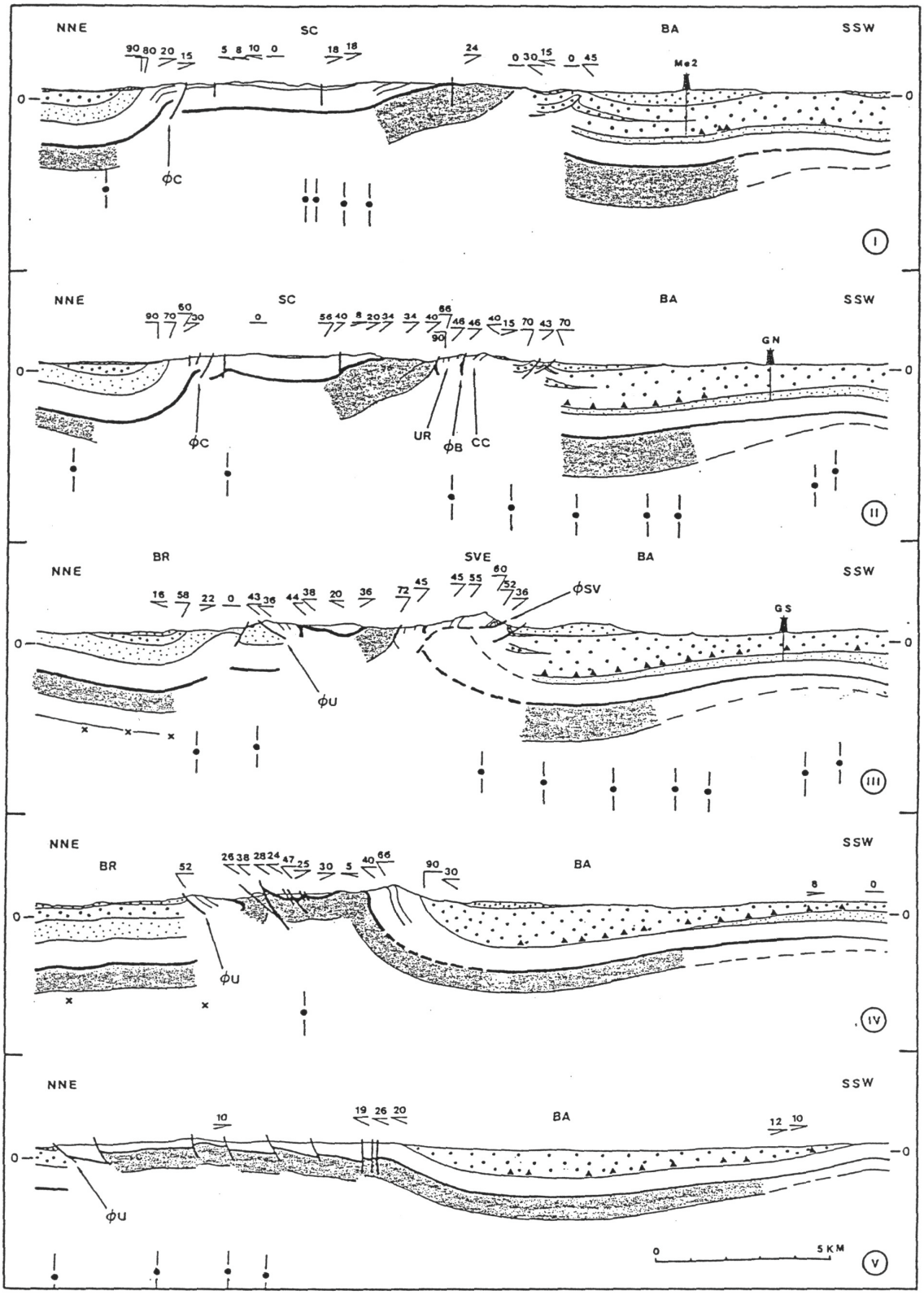


Illustration 9 : Coupes sériées N30 au nord du bassin de Gardanne, synthèse des données factuelles (observations de terrain, forages pétroliers, données sismiques), d'après Biberon (1988).

Ces coupes font apparaître, d'est en ouest, une évolution latérale d'un pro-chevauchement[1] de grande amplitude (chevauchement vers le nord) vers des rétro-chevauchements[2] (chevauchements vers le sud) à l'approche de la faille d'Aix.

Ainsi d'est en ouest, la structuration suivante est envisagée :

- A l'est, une série complète effectue un simple passage en direction du nord sur une rampe (pro-chevauchement). La rampe correspond en surface à la flexure entre le Jurassique de Pourrières et le Crétacé du bassin de l'Arc.

- Puis, ces chevauchements à vergence nord (chevauchements de la Gardiole et des Ubacs) diminuent progressivement de flèche (amplitude du mouvement). Cette diminution de flèche est compensée par l'apparition du développement croissant de chevauchements à vergence sud (structure du bois de Concors et de la Sainte-Victoire). La structure peut alors être interprétée comme un simple pli coffré plus ou moins symétrique, faillé en ses flancs.

- Concernant la partie ouest de la Sainte-Victoire, l'auteur propose alors deux interprétations :

Cas 1) Il postule l'existence d'une flexure de socle à pendage sud, d'orientation est / ouest ou nord-ouest / sud-est qui aurait provoqué des variations d'épaisseur importantes lors de la sédimentation des séries du Jurassique inférieur et moyen. En effet, au nord de la Sainte-Victoire, le socle est situé à 3 km de profondeur environ, alors qu'au sud il se trouverait à 4 km.

La série très épaisse initialement au sud de l'accident de socle aurait été transportée vers le nord, sous le bois de Concors (ce qui expliquerait la surélévation du Jurassique supérieur dans cette zone). Le bassin de Rians correspondrait à la série mince située au nord de la flexure.

Dans cette hypothèse, les chevauchements à vergence sud pourraient être interprétés comme des accidents qui auraient permis d'accommoder le passage de la rampe. Autrement dit, la partie épaisse méridionale de la couverture a été déplacée en masse par dessus la flexure, puis tardivement affectée par un rétro-chevauchement.

Cas 2) il n'existe qu'un unique rétro-chevauchement (grande écaille intercutanée) d'amplitude comparable au pro-chevauchement à l'est (Illustration 10).

---

[1] Pro-chevauchement : on utilise ce terme lorsque les vergences des chevauchements sont dans le sens du transport général. Dans le cas d'espèce il s'agit de charriage en direction du nord.

[2] Rétro-chevauchement : les vergences des chevauchements sont dans le sens opposé du sens de transport généra. Dans le cas d'espèce vers le sud, comme le chevauchement de la sainte Victoire proprement dit.

Dans cette hypothèse, la structure du bois de Concors s'explique par le redoublement d'une série complète réduite. Une écaille intercutanée glisse sur les niveaux incompétents du Trias et s'enfonce sous la structure de Concors qui se soulève passivement. C'est le chevauchement de Vauvenargues qui limite l'ensemble e la série soulevée. La largeur de l'écaille correspond grossièrement en carte à la largeur De la structure du Concors.

Quelle que soit l'interprétation, les coupes intermédiaires entre pro-chevauchement, à l'est, et rétro-chevauchement, à l'ouest, indiquent une structure symétrique (analogue à un "pop-up") à déplacements pro et rétro équivalents.

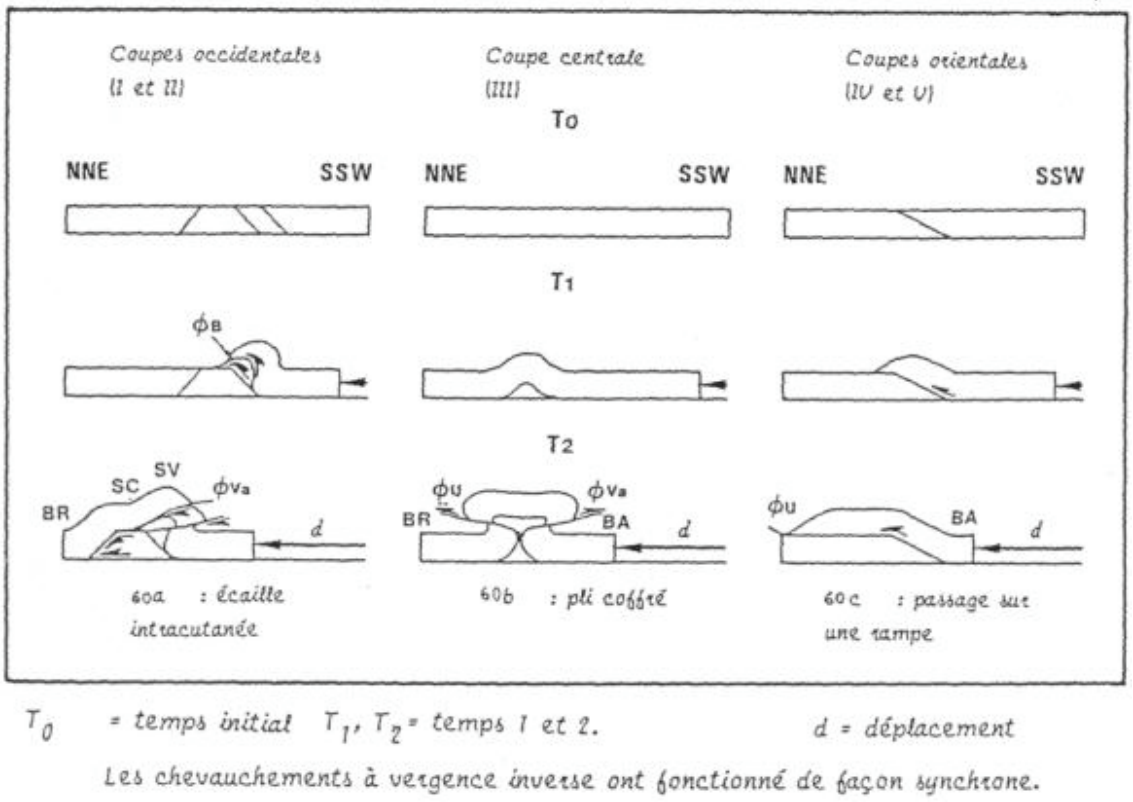


Illustration 10 : Interprétation des structures au nord du bassin de Gardanne. A l'est, un pro-chevauchement, au centre, un pli coffré faillé sur ces flancs, à l'ouest, une hypothèse d'une écaille inter-cutanée sous le chevauchement de la Sainte-Victoire (d'après Biberon, 1988).

2.3.6. Le massif de la Nerthe

Le massif de la Nerthe est un chaînon d'orientation est-ouest, marqué par la surface de pénéplaination anté-Miocène.

Très complexe dans le détail, ce chaînon peut être découpé en trois unités principales (Durand et Guieu, 1980), comme le montrent les coupes de l'Illustration 11.

- La partie centrale et le versant nord de la Nerthe, qui représente l'autochtone du bassin de l'Arc,
- La Nerthe sud-orientale, en recouvrement de l'unité précédente, elle représente le prolongement du massif chevauchant de l'Etoile,
- La Nerthe méridionale, en recouvrement sur les deux premières unités. Elle constitue le reliquat d'un chevauchement issu d'une région plus méridionale, aujourd'hui affaissée et cachée sous les eaux du golfe de Marseille.

Schématiquement, le flanc nord du chaînon de la Nerthe, très calme dans le secteur de Martigues, tend à se redresser vers l'est, sous la poussée du chevauchement de l'Etoile.

Dans la région des Pennes Mirabeau, les couches du bassin de l'Arc sont renversées et écaillées. Le flanc nord de la Nerthe est superposé aux couches du bassin par un cisaillement incliné au sud, ce qui témoigne d'une poussée dont est responsable le chevauchement de l'Etoile. Ce dernier relaye en effet vers l'est, à partir du méridien de Septèmes, le chaînon de la Nerthe pour constituer la bordure méridionale du bassin.

La discordance angulaire observée entre les couches du Crétacé inférieur et du Crétacé supérieur (aussi bien sur le flanc nord que sur le flanc sud) indique la formation d'un pli à grand rayon de courbure apparu à la fin du Crétacé inférieur au niveau du synclinal de Berre. Cette déformation synclinale a été reprise à la fin du Crétacé (Maastrichtien). Le flanc sud du synclinal a ensuite était chevauché et écaillé sous la poussée de l'Etoile, à l'Eocène.

2.3.7. Le chaînon de la Fare – Coudoux

Ce chaînon, au relief aplani et peu élevé, s'allonge entre Saint-Chamas et Eguilles selon une direction en gros est / ouest, et sur 25 km environ (Illustration 11).

Selon Durand et Guieu (1980), cette structure serait en continuité structurale avec le flanc nord du synclinal de Berre, portant alors les séries du début du Crétacé inférieur à l'affleurement (plongement des séries de 10° environ vers le sud). A l'ouest, la structure disparaît sous le Miocène discordant.

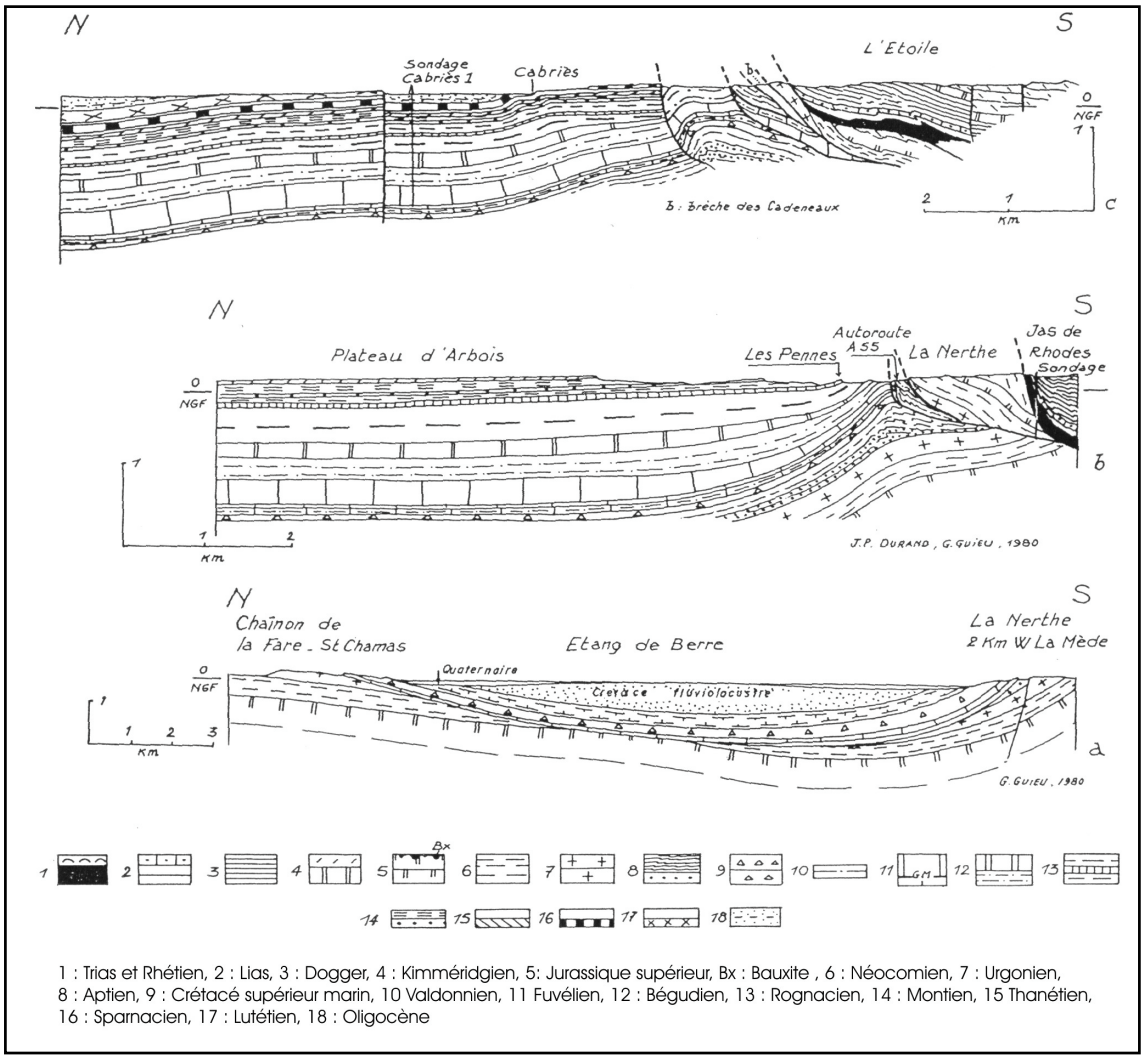


Illustration 11 : Coupes nord / sud au niveau des chaînons de la Nerthe et de la Fare (d'après Durand et Guieu, 1980).

Actuellement, on connaît mal la tectonique faillée du massif. Certains supposent l'existence d'une faille inverse à vergence sud et qui borderait le flanc sud du chaînon. Si cet accident existe, deux hypothèses peuvent alors être avancées :

- Soit la faille de la Fare est une faille distincte du grand chevauchement d'Eguilles (à vergence nord et localisé au nord du chaînon de la Fare) ;
- Soit elle constitue une faille antithétique au chevauchement d'Eguilles, lequel correspond à la structure majeure à vergence opposée.

Il reste néanmoins à prouver l'existence de cet accident.

A l'est, les formations calcaires crétacées du chaînon de la Fare sont recouvertes par des dépôts éocènes à miocènes ; il s'agit de la zone des collines d'Eguilles et des coteaux d'Aix.

Le bassin Crétacé et Eocène de l'Arc est à cet endroit masqué sur sa bordure nord par l'extension d'une cuvette Oligocène dont le centre constitué de terrains du Miocène supérieur (Tortonien) est situé plus au nord vers Puyricard.

2.3.8. Les accidents décrochants

Au niveau du bassin de l'Arc, il s'agit de deux structures principales :

- la faille d'Aix (prolongement vers le sud de la faille de la Moyenne Durance),
- la faille de Salon – Cavaillon.

Ces accidents limitent des panneaux de couvertures provençales structurées par des chevauchements orientés grossièrement est-ouest et formés, soit durant la compression pyrénéo-provençale, soit durant la compression alpine (Illustration 12 et Illustration 13).

Les accidents chevauchants sont systématiquement recoupés par ces grands décrochements.

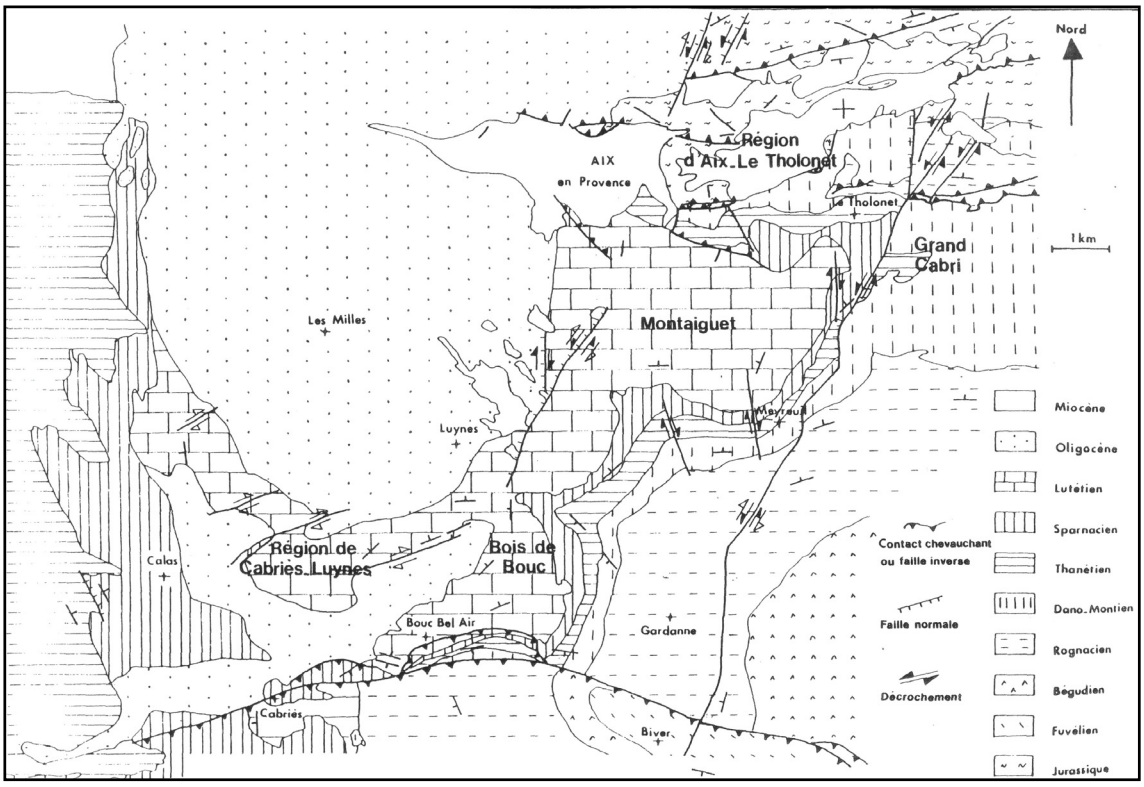


Illustration 12 : Carte géologique simplifiée au niveau de la faille d'Aix et de la faille de Meyreuil (d'après Gonzales, 1980).

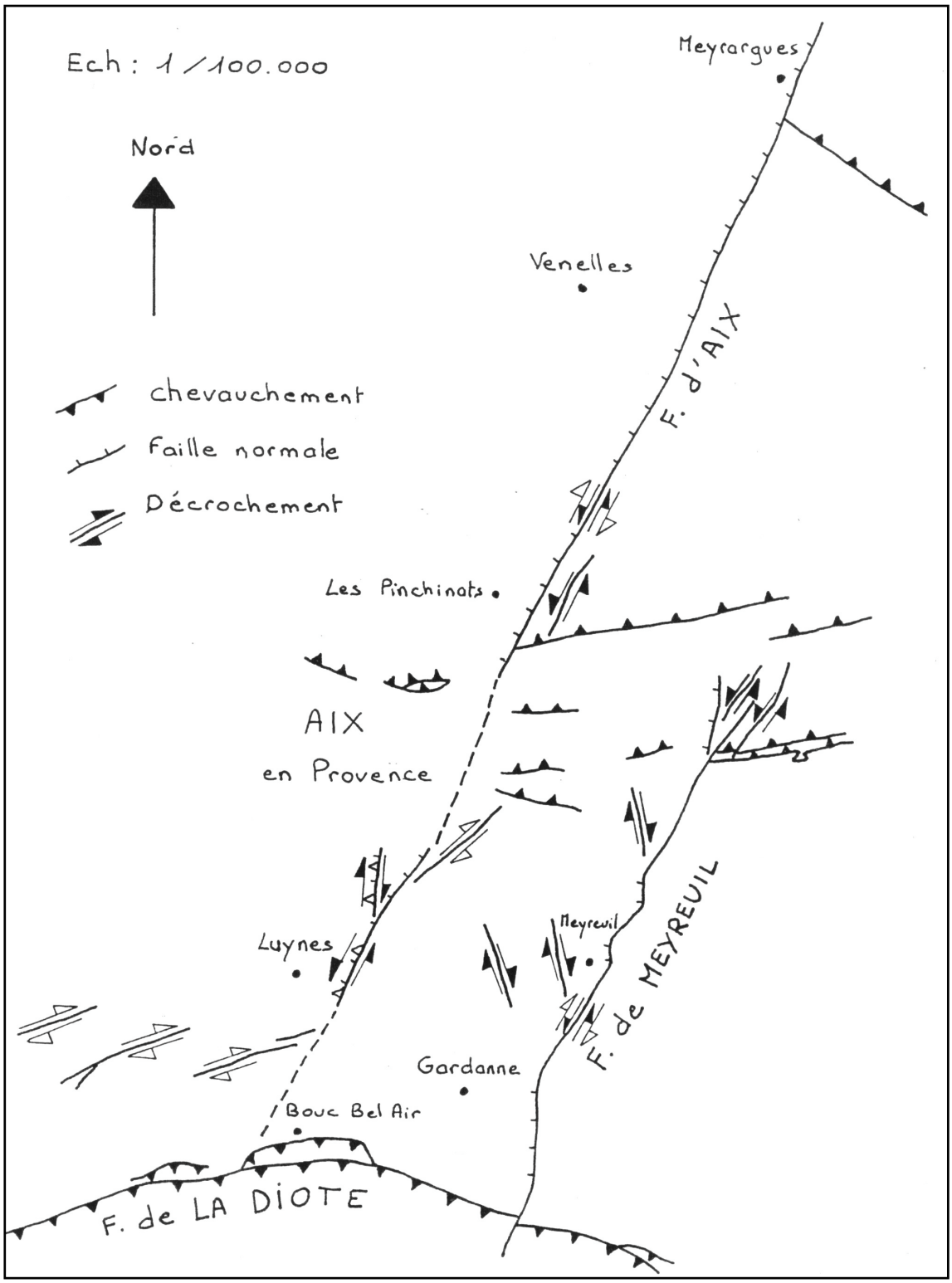


Illustration 13 : Représentation de la faille d'Aix, depuis Meyrargues au nord jusqu'à Bouc-Bel-Air, au sud (d'après Gonzales, 1989).

2.3.8.1. La faille d'Aix : terminaison occidentale du bassin de Gardanne

La faille d'Aix correspond à un système d'accidents de direction N0 à N20-N30. Elle sépare le bassin de l'Arc en deux unités structurales distinctes : le bassin de Gardanne et le bassin de l'Etang de Berre.

Les résultats de sondages de reconnaissance (réalisés par les houillères de Provence) et de sismique réflexion ont montré l'existence dans les assises fluvio-lacustres du Crétacé supérieur, entre Cabriès et Bouc-Bel-Air, d'un abaissement structural d'est en ouest donnant une bande flexurée et faillée (Glintsboeckel, 1980).

En surface, cette bande faillée, nommée faille d'Aix, met en contact les formations Eocènes, à l'est, avec les formations Oligocènes ou Miocènes, à l'ouest.

La faille d'Aix correspond au prolongement vers le sud de la faille de moyenne Durance. Ce système faillé majeur (failles d'Aix et de la moyenne Durance) atteint près de 100 km de longueur. Il s'agit d'un ancien accident hérité de l'orogenèse hercynienne ou de la tectonique tardi-hercynienne, et qui a joué depuis durant chacune des grandes phases tectoniques compressives et distensives du secondaire et du Tertiaire.

Cet accident qui s'étend jusqu'au socle hercynien, décale de plusieurs milliers de mètres le compartiment ouest affaissé par rapport au compartiment est. Ainsi, la partie ouest du bassin de l'Arc est constituée par plus de 8000 m de sédiments, tandis qu'à l'extrême est de bassin, l'épaisseur de la couverture sédimentaire recouvrant le socle avoisinerait 2000 m.

Structure et jeux de la faille d'Aix dans le bassin de Gardanne :

Au nord, entre Luynes et les Pinchinats, les différents tronçons visibles de la faille d'Aix sont caractérisés par un jeu décrochant, parfois normal ou même inverse. Ces structures se manifestent par la présence de plans striés verticaux, d'extension hectométrique répartis selon eux directions principales : N0 et N20-N30.

De nombreuses fractures sont associées à la faille d'Aix, elles témoignent également de la tectonique polyphasée de l'accident.

Au nord d'Aix-en-Provence , cette bande faillée constitue la limite de deux structures chevauchantes situées dans le compartiment est de la faille : le chevauchement de la Sainte-Victoire, et la faille inverse de la Tour de César située plus en avant.

Au sud, entre Luynes et Bouc-Bel-Air, la déformation en surface liée à la faille est moins fréquente. Elle paraît se manifester uniquement par la présence d'éléments bréchiques au contact entre l'Eocène, à l'est, et l'Oligocène.

La faille chevauchante de la Diote, située au front du massif de l'Etoile ne présente aucune trace de décalage cartographique significative.

Il semblerait donc que la faille d'Aix, zone de cisaillement senestre d'importance régionale, s'amortirait en surface au sud de Luynes.

2.3.8.2. La faille de Meyreuil

Plusieurs auteurs, dont Gaviglio (1985) et Gonzales (1989), ont décrit la faille de Meyreuil comme étant une structure prolongeant vers le sud, avec la faille d'Aix, la faille de la moyenne Durance. Cette faille traverse le bassin de Gardanne depuis Saint-Marc-Jaumegarde au Nord, jusqu'à Biver au sud. Elle affecte à la fois les terrains autochtones du bassin de l'Arc et le lambeau charrié (écaille de Gardanne).

La faille de Meyreuil disparaît au nord sous le Miocène supérieur (Tortonien). Au sud, on perd sa trace dans le massif de l'Etoile.

Cet accident est constitué d'une succession de branches N0, à jeu plutôt normal ou dextre et N30-N40, à jeu plutôt sénestre (suivi dans la partie sud du bassin par un jeu dextre).

Gonzales (1989) interprète ce système de fractures de la façon suivante :

- les segments N30 à N40 correspondent aux jeu décrochants sénestres de la faille,
- les segments N0 sont assimilés à des zones de relais en distension, entre deux segments décrochants.

Ce schéma est cohérent avec une direction de compression nord-sud, telle que celle liée à la phase orogénique pyrénéo-provençale (fini-crétacée à éocène) ou bien celle plus récente, liée à l'orogenèse alpine (mio-Pliocène).

Le couloir défini par la zone de cisaillement n'excèderait pas la centaines de mètres.

Selon Gaviglio (1985), le rejet apparent de l'accident serait maximal au nord du Tholonet (environ 300 m). Puis ce rejet diminuerait vers le sud, il serait de 120 m près de Meyreuil et n'atteindrait que 50 m près de Gardanne.

2.3.8.3. La faille de Salon–Cavaillon

La faille de Salon–Cavaillon correspond à un trait structural majeur de la région PACA. Il s'agit d'une structure apparue à la fin de l'orogenèse hercynienne (environ -270 millions d'années) et qui a rejoué au cours de toutes les phase tectoniques successives (distension jurassique, orogenèse pyrénéo-provençale, distension Oligocène, orogenèse alpine). Cette accident correspond à une véritable limite morphologique et géologique avec, à l'est, le plateau calcaire du Vaucluse et les chaînons provençaux et, à l'ouest, les plaines alluviales du Comtat et de la Crau.

En dépit de cette importance géologique, la cartographie de cet accident est très hypothétique.

Au niveau du bassin de l'Arc, les formations du Crétacé supérieur (Bégudien) situées entre Martigues et Fos-sur-Mer ne paraissent pas avoir enregistrées de déformations

importantes. Le Miocène visible à l'affleurement et discordant sur les séries crétacées semble lui aussi s'ennoyer tranquillement sous les formations Quaternaires.

Néanmoins, quelques profils sismiques réalisés dans les séries Miocènes, ont permis de localiser des petites failles à jeu normal et de les interpréter comme étant éventuellement liées à la grande faille de Salon-Cavaillon (Dellery et al., 1964).

Il n'est pas exclu que cet accident limite l'extension vers l'ouest du bassin de l'Arc, ceci devant être confirmé ou infirmé par l'interprétation des profils sismiques pétroliers.

2.4. LES APPORTS DE LA GÉOPHYSIQUE

Du fait de la faible densité de forages profonds et bien renseignés, la cartographie des différents interfaces utiles a la modélisation nécessite l'utilisation des profils sismiques. La sismique réflexion fournit en effet une image en continu (distance entre points de mesure comprises entre 30 et 100 mètres) qui permet d'interpoler entre les points de calage que sont les forages

Les niveaux cartographiés furent les suivants :

- Base du Quaternaire
- Toit du Crétacé supérieur (Rognacien) → limite Crétacé/Tertiaire
- Toit du Fuvélien → réservoir Bégudien
- Grande Mine → calage géophysique
- Toit du Valdonnien → réservoir Fuvélien
- Mur Crétacé supérieur → réservoir Crétacé supérieur
- Toit du Jurassique → réservoir Crétacé inférieur
- Mur du Malm ou toit du Dogger ou toit des Marnes du Jurassique moyen

2.4.1. Inventaire des données sismiques existantes

On dispose sur le bassin d'Aix des campagnes sismiques suivantes :

1. Campagne réalisée en 1978 à l'aide de camions vibrateurs par la CGG pour le compte des houillères HBCM : 6 profils (78G1 à 78G6 pour un total de 80 km), localisés dans le bassin minier de Gardanne. Les profils ont été exploités sous leur forme papier et vectorisés ;
2. Campagne shallow water (explosif) réalisée en 1966 par la CGG pour le compte de CFP sur l'étang de Berre : 12 profils (B1 à B12 totalisant 111 km). Exploitables (mais pas exploités) à partir des documents papier non vectorisables ;
3. Campagne explosif réalisée en 1964 par la CGG pour le compte de CEP sur le permis Provence : 3 profils (RE1, RE2 et RE2B) dans le secteur défini comme celui de l'étude hydrogéologique. Les profils existent sous forme analogique, pourront être numérisés et retraités et réinterprétés.

4. Campagne terrestre explosif enregistrée en 1965 sur le permis Berre par la CGG pour le compte de CFPM : 14 profils (A1 à A14 totalisant 155 km). Les profils sont enregistrés sur support analogique de qualité très médiocres, mais pourront être exploités sous leur forme papier et interprétée (cartes des isochrones) ;
5. Campagne terrestre camion vibrateur enregistrée en 1986 sur le permis Crau par la CGG pour le compte de Total : 9 profils (86CR2 à 86CR10). Le profil 86CR7 est en cours de retraitement et sera disponible d'ici la in de l'année ;
6. Campagne terrestre camion vibrateur enregistrée en 1982 par la CGG pour l'IFP : lignes régionales, dont le profil 82SE4D, reconnaissant l'ensemble du bassin du sud-est sur un total de 2000 km. Le profil 81SE4D a été retraité et est en cours d'interprétation.

La carte de l'Illustration 14 permet de visualiser le travail effectué, montrant ainsi que :

- 6 profils sismiques ont été retraités ;
- 6 profils sismiques ont été scannés et vectorisés ;
- 29 profils ont été laissés en l'état (sismique ancienne).

2.4.2. Principe du retraitement sismique et de son interprétation

Le brgm dispose de la base de données topographiques des profils sismiques disponibles sur le territoire français (environ 600000 kilomètres).Ces profils enregistrés pour la plupart dans le cadre de l'exploration pétrolière voire minière permettent après retraitement d'obtenir une coupe en continu des niveaux géologiques superficiels (à partir de 50 mètres de profondeur). Elle précise l'image structurale (déformations, failles) et contraint le modèle géologique dans les zones complexes.

Le statut des données sismique est public au terme d'une période de 10 ans à partir de la date d'enregistrement mais porte uniquement sur les données brutes (tirs bruts non additionnés enregistrés sur le terrain). Ces données terrain nécessitent d'être retraitées pour obtenir une section sismique interprétable. Le brgm dispose des compétences (personnel et station d'interprétation) pour :

- organiser et superviser les retraitements sismiques
- interpréter les profils sismiques

Le retraitement comprend :

- La sélection des profils représentatifs des zones complexes et structurées (failles , déformations). Les profils actuellement retraités sont le 82SE4D, le 86CRAU07 et le 84MR01 ;
- Le déstockage des données numériques brutes (les points de tir) auprès des opérateurs pétroliers

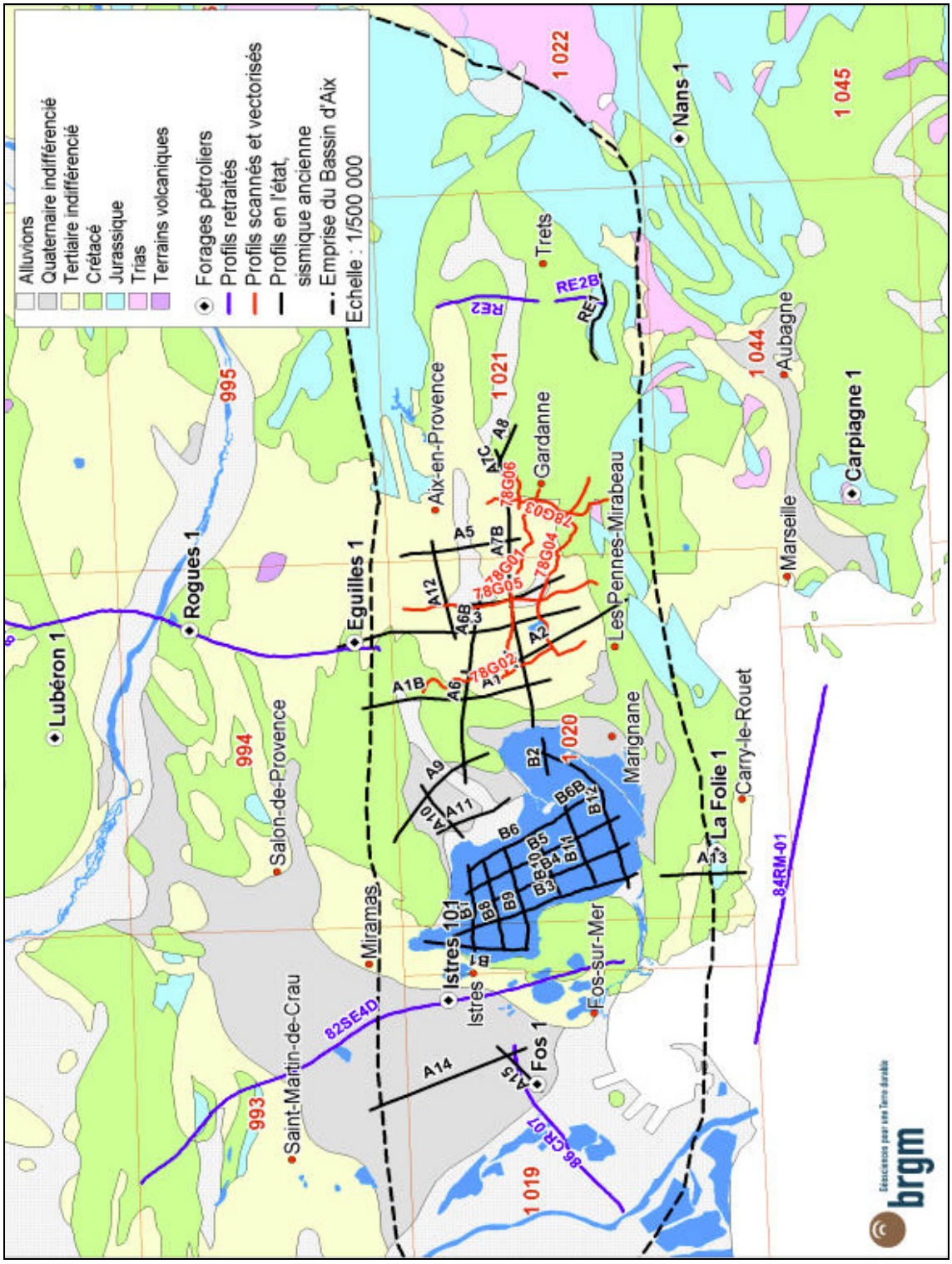


Illustration 14 : Carte de localisation de l'ensemble des profils géophysiques recensés sur la zone d'étude.

Une séquence comprenant, entre autres, la validation des corrections statiques, dynamiques, des mutes, de la déconvolution… ;

- La supervision du retraitement par le BRGM.

Les délivrables comprennent :

- Les sections papiers dans leurs versions "stack " et "migrée" ;
- Les fichiers SEGY des versions "stack" et "migrée" utilisables sur station d'interprétation.

Les sections sismiques sont calées sur les forages existants, pointées et intégrées dans la cartographie.

L'interprétation se décompose en quatre stades :

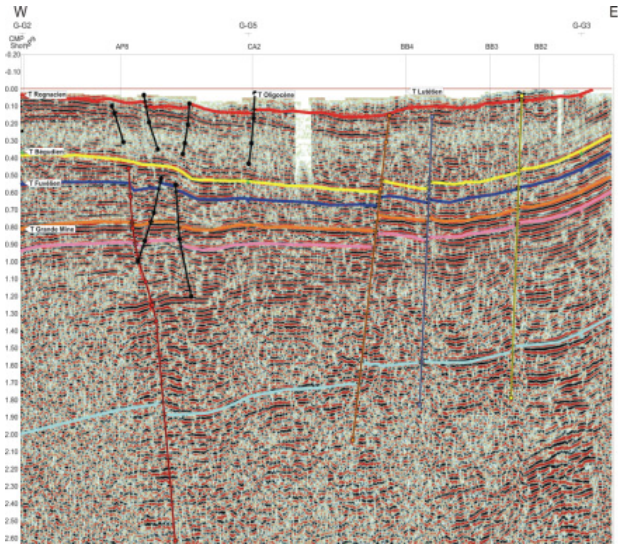
- **Le calage** : c'est à dire l'identification des réflecteurs visibles sur la sismique à partir de forages de calage disposant d'un suivi géologique et d'enregistrement de vitesses ;
- **Le pointé** des réflecteurs le long des profils sismiques ;
- **La cartographie** en isochrones des réflecteurs identifiés ;
- **La conversion** profondeur des cartes isochrones temps simples par multiplication avec les vitesses calculées aux puits.

L'interprétation sur le bassin d'Aix au stade actuel intègre :

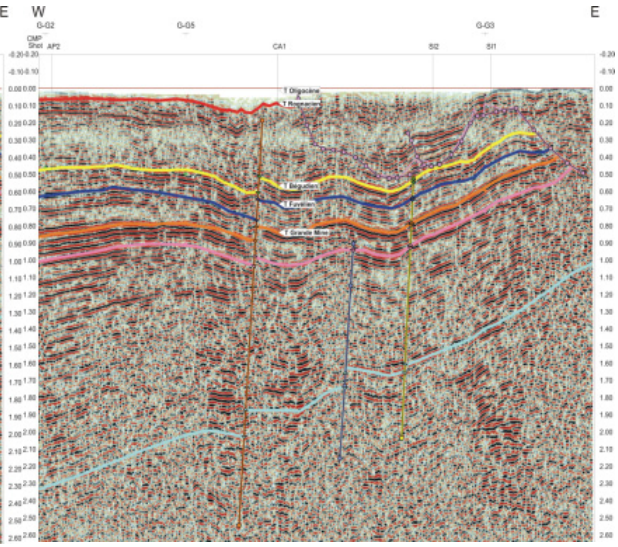
- Les profils des houillères 78GO 1 à 6 vectorisés à partir des documents papiers. Cette formule permet de charger les données dans une station d'interprétation sismique (séisvision)
- Les profils shallow water, la campagne enregistrée sur l'étang de Berre enregistrée en 1966 (profils B) ainsi que les profils terrestres de la campagne Berre 1965 (profils A) ont été intégrés dans leur version papier interprétée (carte des isochrones)
- Le profil 82SE4D a été calé sur le forage de Istres seul puits profond (atteignant le lias) disposant d'informations de vitesses. Le pointé de cette ligne a permis de réajuster le calage des cartes isochrones anciennes et d'effectuer une conversion profondeur. La carte concernée par cette conversion est la carte du toit du Jurassique (vitesse moyenne de 4300 mètres par seconde), présentée au paragraphe 3.3.8.

A titre d'exemple, l'illustration présente quelques profils géophysiques interprétés, sur lesquels ont été calés les interfaces prédéfinis.

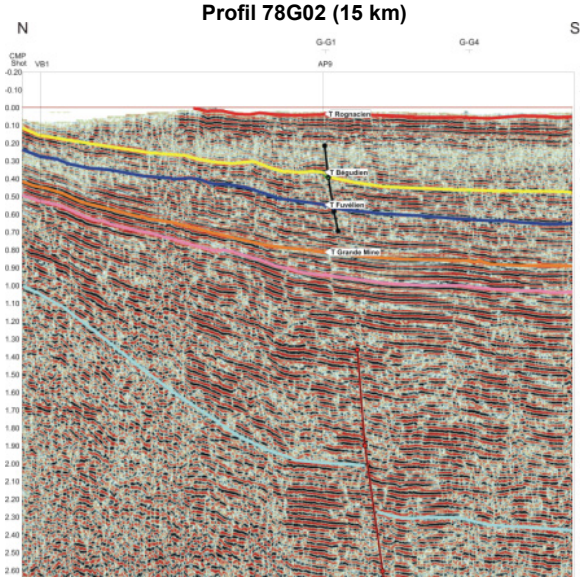
Profil 78G01 (16 km)



Profil 78G04 (16 km)



Profil 78G02 (15 km)



Profil 78G05 (15 km)

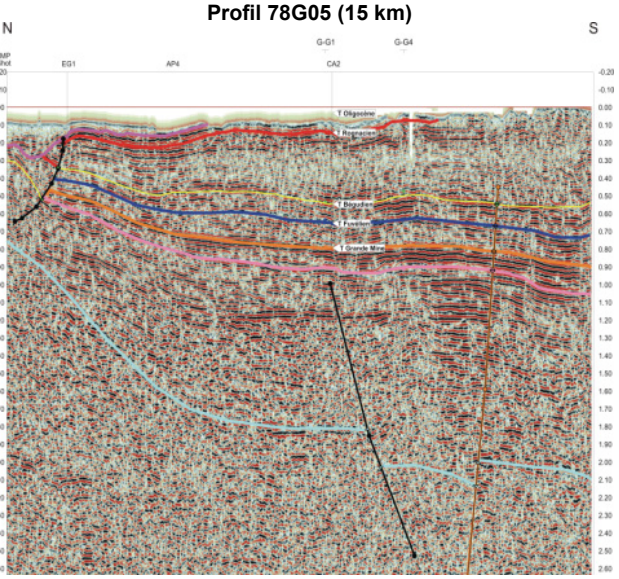


Illustration 15 : Quelques exemples de profils géophysiques interprétés, pour y caler les interfaces.

3. Hydrogéologie du bassin

3.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le bassin d'Aix-Gardanne correspond à un synclinal composé de formations jurassiques, crétacées et tertiaires (Paléocène – Eocène), bordé par des plis chevauchants formant les reliefs de bordure : massifs de la Sainte-Victoire, de l'Etoile et de l'Olympe - Aurélien.

Les formations jurassiques et crétacées inférieures présentent une dominante calcaire. Les formations du Crétacé supérieur et du Tertiaire sont essentiellement des formations fluvio-lacustres à dominante marneuse et argileuse, mais comprenant malgré tout des niveaux aquifères importants sous forme de lentilles gréseuses ou de petits bancs calcaires.

Le SDAGE* RMC a classé les formations du bassin d'Aix-Gardanne 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.

Conformément au cahier des charges de ce projet, la limite de l'étude hydrogéologique correspond à l'ensemble Crétacé et Jurassique du Bassin d'Aix identifié dans le SDAGE RMC :

- le "**Crétacé du bassin d'Aix**" (système aquifère 165) est défini comme le "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".

Les séries productives en eau correspondent aux deux horizons du Fuvélien et Bégudien (épais en moyenne de 300 m chacun). Le Valdonnien (70 m d'épaisseur) est la base imperméable de cet aquifère, le séparant de l'aquifère du Jurassique supérieur. L'épaisseur de la zone saturée varie de 100 à 200 m et la réserve est évaluée lors de la synthèse des aquifères karstiques patrimoniaux du Bassin Rhône Méditerranée Corse se situe entre 75 et 150.10^6 m^3. Il s'agit d'une nappe peu profonde, assez vulnérable surtout dans la partie méridionale, et sollicitée à raison de 500 000 m^3/an pour l'agriculture et l'industrie. Il n'existe pas d'exutoire naturel pour la nappe du Fuvélien, le drainage des eaux se fait majoritairement par la Galerie de la Mer.

- le "**Jurassique du bassin d'Aix**" (système aquifère n° 224), est défini comme le "système aquifère constitué de formations calcaires d'âge Jurassique moyen et supérieur". Il a été estimé lors de la synthèse des aquifères karstiques de décembre 2001 comme le principal aquifère de la zone d'étude d'une épaisseur de l'ordre de 1 000 m (épaisseur de la zone saturée : environ 300 à 400 m).

Il s'agit d'un système captif de type fissuré et karstifié s'étendant sur plus de 250 km^2 qui renferme des ressources potentielles importantes et exploitables (réserve estimée de l'ordre de 200.10^6 m^3) mais d'accès difficile. Le traitement des profils géophysiques en cours de finalisation permettra de connaître davantage la géométrie de cette formation dont le toit varie de 650 m sous Gardanne à une profondeur supérieure à 1300 m au niveau des Pennes Mirabeau. Il n'existe par d'exutoire naturel connu à cet aquifère. Par contre, certains débits d'eau issus de travaux miniers sont attribués à des venues ou des contributions du Jurassique.

3.2. SYNTHÈSE HYDROGÉOLOGIQUE ISSUE DE LA BIBLIOGRAPHIE

Ce chapitre a pour objet de décrire les connaissances hydrogéologiques concernant le bassin d'Aix-Gardanne, en abordant des thématiques concrètes telles que ressources disponibles, sens d'écoulement, qualité, exploitation actuelle et potentielle, …

Cette synthèse s'intéresse aux formations autochtones du bassin d'Aix-Gardanne, situées à l'est de la faille d'Aix. Les informations recueillies à l'extérieur de cette zone (zone thermale d'Aix, lambeau charrié de Gardanne, …) ont été utilisées pour préciser la description et le fonctionnement hydrogéologique du bassin. Outre l'enquête de terrain qui a été réalisée au cours de l'été 2003 (rapport BRGM/RP-53031-FR), un certain nombre de sondages ou forages de reconnaissance présents dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS*) du brgm ont été sélectionnés pour les informations géologiques qu'ils apportaient et utilisés. Ils proviennent, pour beaucoup, de la recherche de charbon dans le bassin entreprise par les HBCM*.

Au total, 5701 points BSS ayant pour thème l'eau ont été recensés dans l'emprise de l'étude ou à proximité immédiate de celle-ci. Ces points sont inclus dans la base de données numériques jointe au rendu de ce travail (voir rapport BRGM/RP-53416-FR).

Deux cartes, présentées en Illustration 16 (forages, sources et autres points BSS) et en Illustration 17 (points de plus de 100 m de profondeur), permettent de visualiser la densité de points disponibles.

La synthèse hydrogéologique est présentée par niveau aquifère ou groupe de niveaux aquifères, des plus superficiels aux plus profonds. Un chapitre final fait un bilan général du bassin en soulignant les zones d'ombre sur la connaissance du système qu'il faudrait éclaircir grâce à des mesures et investigations complémentaires, par ailleurs développées dans un rapport spécifique (rapport BRGM/FR-52239-FR).

Pour chaque niveau aquifère ou groupe de niveaux aquifères, différentes thématiques ont été abordées ; elles sont présentées dans l'Illustration 18.

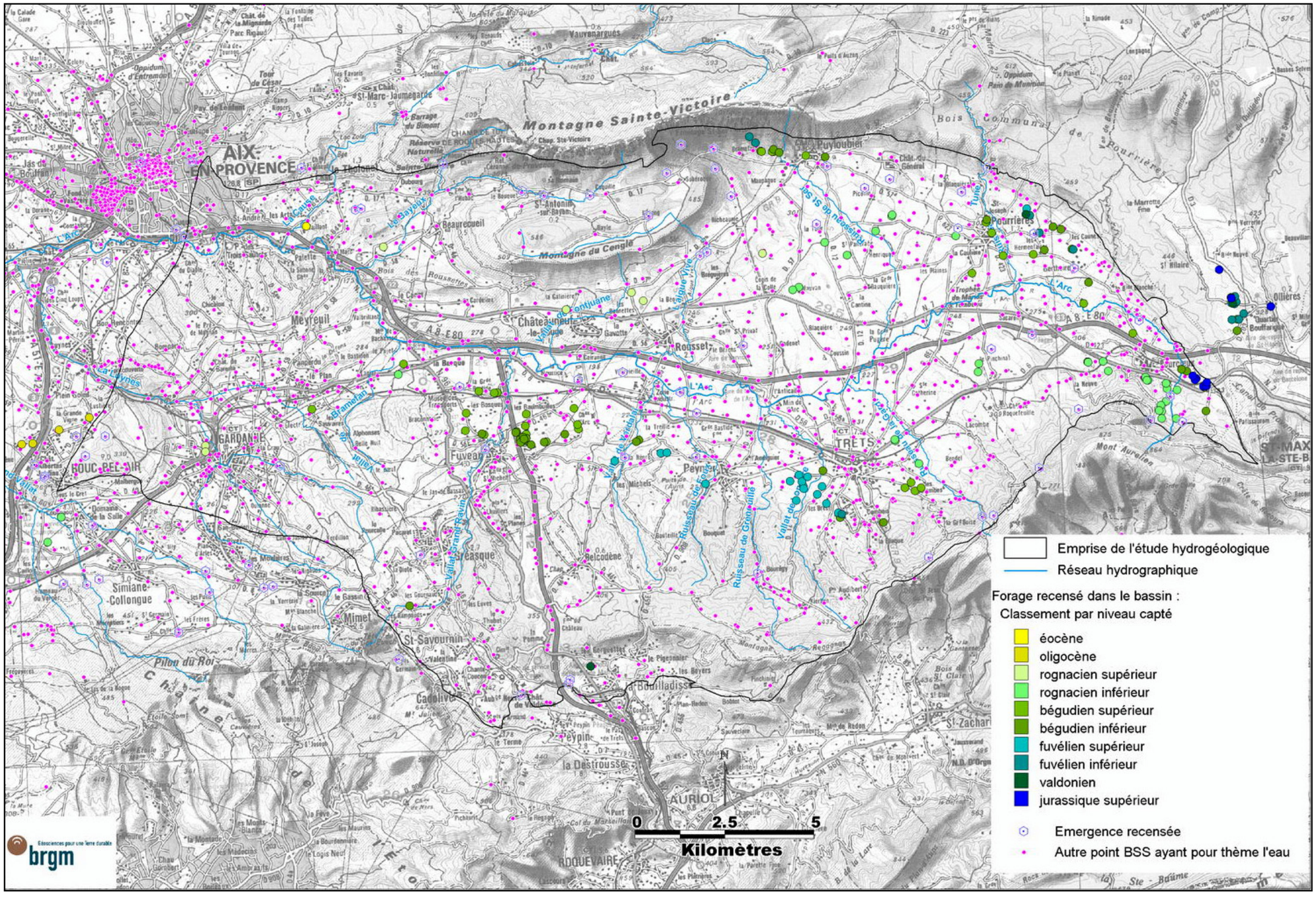


Illustration 16 : Ensemble des ouvrages issus de la BSS de thématique EAU sur le bassin d'Aix.

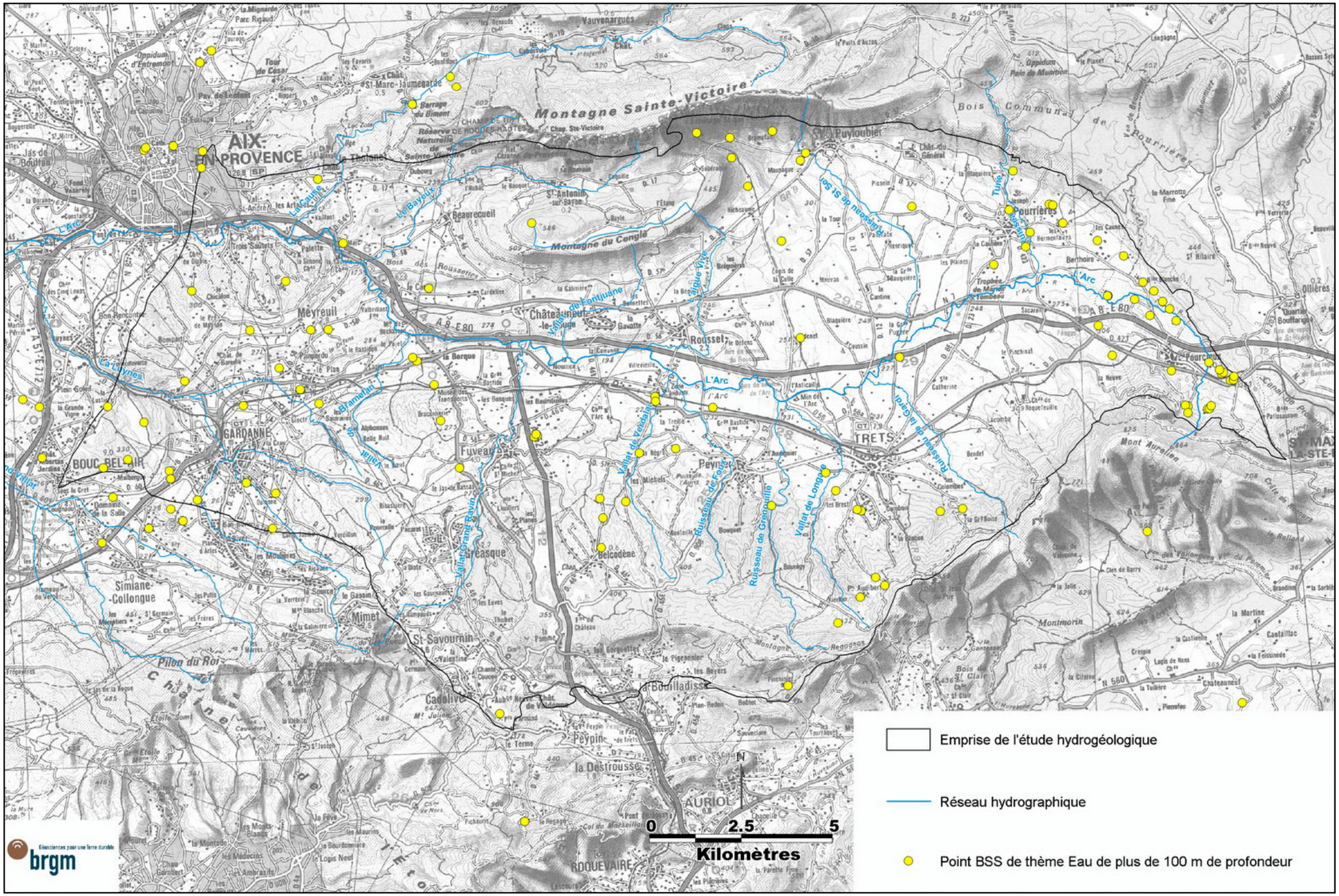


Illustration 17 : Carte de localisation des ouvrages issus de la BSS d'une profondeur supérieure à 100 m.

Thématiques abordées	Informations recherchées	Origine des informations (hors études générales)
Généralités	Repères géographiques Localisation forages	Cartes IGN Cartes géologiques BSS
Extension de l'aquifère	Affleurements Extension sous couverture	Cartes géologiques Logs de forages Interprétations GDM
Nature de l'aquifère	Faciès Puissance Fracturation – karstification	Cartes géologiques Logs de forage Interprétations GDM Recensement des cavités Recensement des failles et moulières
Circulation des eaux dans l'aquifère	Venues d'eau – débits Perméabilités Origine des eaux Niveaux piézométriques Sens d'écoulement Vitesses d'écoulement Exutoires de l'aquifère	Rapports de réalisation des forages Inventaire des sources Résultats de traçages Minéralisation des eaux Résultats de datation Mesures piézométriques
Relations entre aquifères	Mur et toit, Communications entre aquifères (hors tectonique traitée à part)	Logs de forages Résultats de traçage Signature chimique des eaux Recensement moulières et partens
Qualité des eaux	Pollutions éventuelles Vulnérabilité de l'aquifère	Résultats d'analyses Résultats de traçages
Exploitation de l'aquifère	Exploitation actuelle Exploitation potentielle Profondeur – cotes	Prélèvements connus Recensement d'ouvrages
Intérêt de l'aquifère	Intérêt par rapport à une exploitation de la ressource	Synthèse des informations recueillies
Etat des connaissances	Connaissances disponibles Connaissances nécessaires en vue de l'exploitation	Synthèse des données existantes
Mesures à prendre	Mesures nécessaire en vue d'une l'exploitation pérenne	brgm

Illustration 18 : Thèmes abordés dans la synthèse hydrogégologique et origine des informations.

3.3. SYNTHÈSE PAR AQUIFÈRE

3.3.1. Aquifères alluviaux

Ces aquifères se développent dans les alluvions anciennes ou récentes des cours d'eau qui traversent le bassin d'Aix-Gardanne.

3.3.1.1. Extension

Le principal aquifère alluvial situé dans le périmètre d'étude est celui de l'Arc. Les autres aquifère alluviaux ne présentent pas d'intérêt particulier compte tenu de leur faible extension.

L'aquifère alluvial de l'Arc accompagne le cours d'eau dans toute sa traversée du bassin d'Aix-Gardanne. Son extension est néanmoins maximale en aval de Chateauneuf-le-Rouge, avec l'apparition d'alluvions anciennes en terrasse. En amont de Chateauneuf, l'aquifère est limité aux alluvions récentes qui occupent le thalweg creusé par le cours d'eau.

La carte de l'*Illustration 20* permet de visualiser l'extension des alluvions dans le secteur d'étude.

3.3.1.2. Nature

Les alluvions récentes et anciennes de l'Arc sont constituées de sables, graviers et cailloutis. Leur puissance est faible, généralement limitées à quelques mètres.

3.3.1.3. Relations entre aquifères

L'Arc circule sur des formations allant de l'Eocène au Rognacien inférieur, qui sont des formations à dominante marneuse et argileuse, contenant localement des niveaux potentiellement aquifères. De ce fait, l'aquifère alluvial de l'Arc peut être considéré comme indépendant à grande échelle, même si localement, il peut être en relation avec quelques niveaux aquifères.

3.3.1.4. Circulation des eaux

L'aquifère alluvial de l'Arc est alimenté par les ruissellements et écoulements souterrains en provenance des bordures de son lit majeur, et par le cours d'eau lui-même lors des crues. En dehors des périodes de crues, cet aquifère est drainé par l'Arc, qui régule ainsi les débits et les niveaux piézométriques de cet aquifère.

3.3.1.5. Qualité des eaux

Nous ne disposons pas d'information concernant la qualité des eaux de cet aquifère

3.3.1.6. Exploitation

Utilisé par le passé pour des besoins agricoles de petite ampleur (exploitation locale par des puits à faible profondeur), cet aquifère ne semble pas exploité à l'heure actuelle.

Le potentiel d'exploitation de cet aquifère est limité du fait de la faible épaisseur des formations alluvionnaires.

3.3.1.7. Etat des connaissances - Besoins futurs

Compte tenu de la faible extension de cet aquifère, les connaissances que l'on en a, même si elles sont limitées, apparaissent suffisantes.

3.3.2. Aquifères des calcaires tertiaires

Ces aquifères se développent dans les formations tertiaires du bassin d'Aix-Gardanne, qui comprennent les formations du Montien (les plus anciennes), du Thanétien, du Sparnacien, et du Lutétien (les plus récentes).

3.3.2.1. Extension des formations tertiaires

Les formations tertiaires sont, à l'exception des alluvions fluviatiles, les plus récentes du bassin d'Aix-Gardanne. Elles affleurent :

- sur la bordure ouest et nord-ouest du bassin, le long de la faille d'Aix,
- au niveau du plateau de Cengle suivant un cercle qui passerait après Saint-Antonin, Beaurecueil, le Tholonet, Meyreuil et Bouc-Bel-Air.

Les formations du Lutétien affleurent dans ces deux secteurs.

Les formations du Montien, du Thanétien et du Sparnacien affleurent sous forme de liserés généralement étroits en bordure du Lutétien, sur le pourtour du plateau de Cengle, et entre Le Tholonet et l'ouest de Gardanne. Elles s'enfoncent sous le Lutétien en formant un synclinal d'axe est-ouest centré sur le plateau de Cengle, qui s'approfondit en direction de l'ouest.

3.3.2.2. Nature des formations

Les formations tertiaires comprennent des niveaux calcaires et/ou conglomératiques isolés au sein d'ensembles essentiellement argileux et marneux. Ainsi, on distingue des plus superficiels aux plus profonds les niveaux suivants :

- les calcaires du Lutétien , affleurants, dont la puissance atteint 140 m au sondage ME2 de Meyreuil, et 180 m au droit du plateau de Cengle, dans le forage de Saint-Antonin-sur-Bayon. Ils regroupent les Calcaires du Montaiguet et de Langesse ;
- les calcaires de Saint-Marc (Sparnacien), qui affleurent en bordure du Lutétien et se poursuivent sous couverture, et dont la puissance varie entre 45 et 65 m en

bordure ouest du bassin (nous ne disposons pas d'informations au droit du plateau de Cengle) ;

- les calcaires de Meyreuil (Thanétien) qui affleurent en bande étroite essentiellement entre Meyreuil et la Luynes, et plus localement au sud du Tholonet et à Beaurecueil ; ils se poursuivent vers l'ouest sous couverture, avec une puissance variant entre 20 et 40 m ; au sud de la Luynes, les calcaires passent à des calcaires marneux puis disparaissent sous le lambeau de Gardanne (12 m de calcaires argileux au sondage GW1 de Gardanne, et absence au sondage BB1 de Bouc-Bel-Air) ; les calcaires de Meyreuil se prolongent localement dans un niveau de conglomérat sous-jacent (toit du Montien) de quelques mètres, retrouvé dans les sondages GN1 et GW1 de Gardanne ; aucune information ne permet de confirmer la présence des calcaires et/ou conglomérat sous le plateau de Cengle ;
- les calcaires de Vitrolles (Montien), qui affleurent entre Gardanne et Beaurecueil, et de manière plus limitée au nord et au nord-est du plateau de Cengle ; ils se poursuivent en bordure ouest du bassin, sous couverture, avec une puissance de 20 à 30 m, et peut-être sous le plateau de Cengle (nous ne disposons d'aucune information à ce sujet) ; en descendant vers le sud-ouest du bassin, et comme pour les calcaires de Meyreuil, les calcaires de Vitrolles évoluent vers des calcaires argileux puis disparaissent sous le lambeau de Gardanne (2 m de calcaires argileux au sondage BB1 de Bouc-Bel-Air) ; les calcaires de Vitrolles se prolongent localement dans les conglomérats sous-jacents de La Galante (toit du Rognacien supérieur), qui affleurent en liseré très fin en bordure des calcaires, et plus largement entre Chateauneuf le Rouge et Puyloubier (en même temps que disparaissent les affleurements calcaires) ; on ne retrouve que rarement ces conglomérats sous couverture (uniquement au sondage GN1 de Gardanne).

Les calcaires et conglomérats des formations tertiaires semblent assez peu fracturés ou karstifiés, au vu des rapports ou dossiers BSS de réalisation des sondages qui les ont traversés. Ainsi :

- les calcaires du Lutétien apparaissent uniquement fracturés dans le sondage ME2 de Meyreuil, et karstifiés dans le sondage AP3 d'Aix,
- les sondages ayant traversé les calcaires de Saint-Marc ou de Vitrolles ne montrent aucun signe de fracturation ou de karstification,
- un seul indice de fracturation concerne les calcaires de Meyreuil et le conglomérat sous-jacent (sondage GN1 de Gardanne).

On peut noter que les seuls indices de fracturation ou de karstification ont été rencontrés dans des ouvrages implantés au droit des affleurements des formations concernées, et qu'aucun indice n'a été observé sous couverture. Les calcaires et/ou conglomérats des formations tertiaires semblent donc assez compacts et peu perméables, notamment sous couverture.

3.3.2.3. Circulation des eaux

Les circulations d'eaux dans les formations tertiaires du bassin d'Aix-Gardanne semblent très limitées sous couverture. En effet, aucun des ouvrages recensés en BSS

et ayant recoupé ces aquifères en profondeur n'a mis en évidence d'arrivées d'eau, à l'exception du forage du Tholonet, qui rencontre deux venues d'eau (3 et 10 m^3/h) dans les calcaires de Vitrolles, à près de 180 m de profondeur.

En affleurement, des circulations existent à faibles profondeurs, comme l'atteste la présence de sources ou de puits (rapport BRGM 69SGL193), mais ces circulations semblent limitées et donnent des sources de débit d'étiage inférieur à 1 L/s :

- les calcaires de Langesse (base du Lutétien) donnent naissance à 3 petites sources en bordure du plateau du Cengle (Fontaine Romaine, Subéroque et La Coquille sur la commune de Saint Antonin). , et quelques unes au niveau de Meyreuil (Pré de Magnan et Labouaou) ainsi qu'à Bouc-Bel-Air (La Simone et la Gratiane) taries lors de l'inventaire de 1969. Quelques puits recensés en 1969 par le brgm captaient cet aquifère ; lors de l'enquête de terrain, 1 seul ouvrage, situé au Tholonet, capte une arrivée d'eau provenant à priori du Lutétien, à 97 m de profondeur (arrivées d'eau significatives vers 82 m de profondeur : 15 m^3/h lors du forage) ;
- les calcaires de Saint-Marc (Thanétien) donnent naissance à 4 petites sources vers Beaurecueil, Le Tholonet et Meyreuil : la source de La Cascade qui alimente la commune de Beaurecueil, deux sources au Tholonet dite du Paradou et de la Crémade et la source Rambert à Meyreuil. Deux ou trois puits seulement captaient ces calcaires en 1969 ;
- aucune source ni puits ne sont recensés dans les calcaires de Meyreuil (Thanétien) ou les calcaires de Vitrolles (Montien) ;
- enfin, le poudingue de La Galante (Montien) donne naissance à 2 sources à l'ouest de Puyloubier, en bordure du plateau de Cengle : la source des Marquets exploitée par la Société des Eaux de Marseille (SEM) et la source de Richaume. Deux ou trois puits captaient également cette formation en 1969.

Les niveaux calcaires ou conglomératiques des formations tertiaires apparaissent donc faiblement aquifères. Ils sont surmontés ou reposent en concordance sur des formations à dominante argileuse ou marneuse de plusieurs dizaines de mètres (parties sommitales du Rognacien supérieur, du Montien, du Thanétien et du Sparnacien).

Les quelques venues d'eau recensées dans les niveaux aquifères du Tertiaire doivent donc provenir de l'infiltration des eaux de pluie sur les affleurements.

3.3.2.4. Potentialités – Exploitation de la ressource

Les faibles circulations d'eaux recensées au droit des affleurements, les circulations très ponctuelles observées sous couverture (forage du Tholonet), et le très faible nombre de forages particuliers recensés lors de l'enquête de terrain (1 seul ouvrage dans les calcaires de Vitrolles), montrent les potentialités limitées des aquifères du Tertiaire dans le bassin d'Aix.

L'exploitation des aquifères des formations tertiaires semble donc pouvoir difficilement aller au-delà de l'exploitation des sources et de quelques puits au droit des

affleurements. Sous couverture, les recherches d'eau semblent encore plus hasardeuses, et également difficiles du fait de l'augmentation rapide des profondeurs des aquifères (la profondeur des calcaires de Saint-Marc sous couverture dépasse vite 100 m, celle des calcaires de Meyreuil 200 m et celle des calcaires de Vitrolles 300 m).

3.3.2.5. Qualité des eaux

Trop peu d'analyses d'eau sont disponibles pour pourvoir apprécier la qualité des eaux de ces différents niveaux aquifères. Seules les sources de La Cascade (Saint Antonin sur Bayon) et des Marquets (Puyloubier) font l'objet d'un suivi de qualité régulier dans le cadre de leur exploitation pour des besoins AEP.

Ces aquifères doivent être assez vulnérables en affleurement puisqu'il s'agit de formations essentiellement calcaires. Sous couverture, ces aquifères sont par contre bien protégés par les terrains à dominante argileuse ou marneuse qui forment leur toit.

L'Illustration 19 permet de visualiser le faciès **bicarbonaté calcique** des eaux provenant des calcaires du Tertiaire :

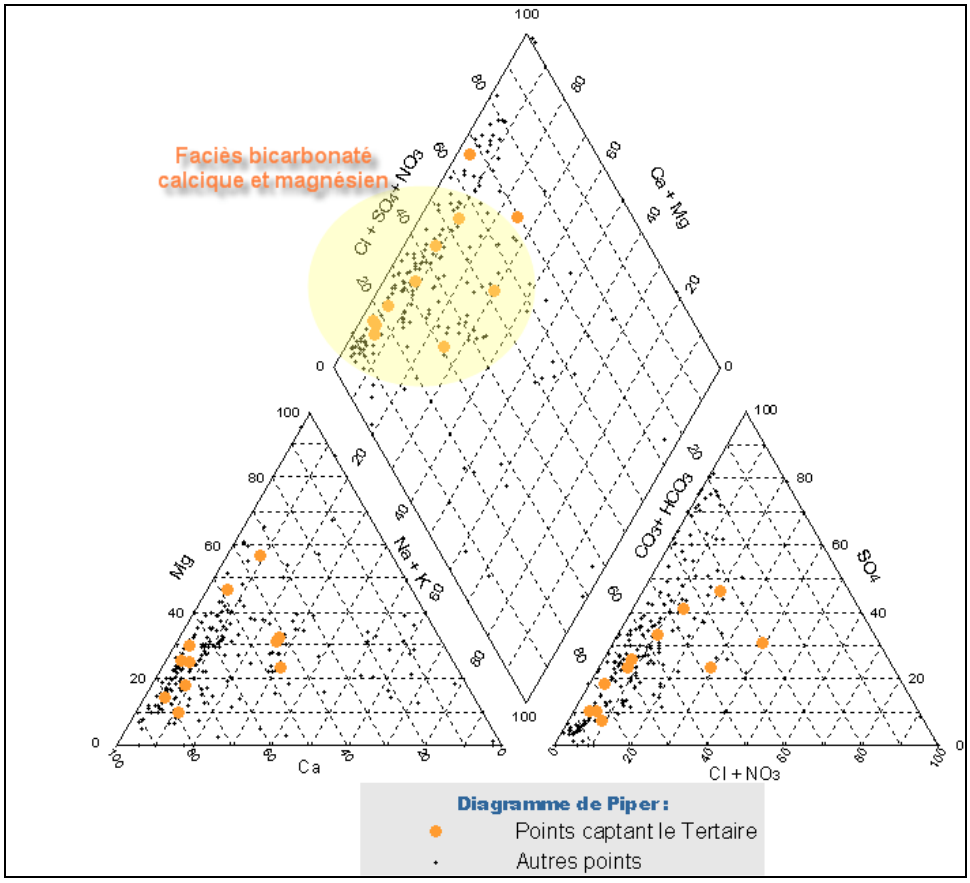


Illustration 19 : Diagramme de Piper des eaux provenant des calcaires du Tertiaire.

3.3.2.6. Intérêt des aquifères

Compte tenu des faibles venues d'eau recensées, les aquifères des formations tertiaires peuvent tout au plus présenter un intérêt local pour des besoins domestiques dans les secteurs d'affleurements, mais ne peuvent en aucun cas répondre à des besoins plus importants.

En profondeur, ces mêmes aquifères ne semblent présenter aucun intérêt, sauf circonstances locales particulières comme ce doit être le cas pour le forage du Tholonet : une faille à proximité permettant une alimentation par drainance des aquifères plus profonds peut être à l'origine des circulations d'eau souterraines observées.

3.3.2.7. Etat des connaissances

Les quelques informations dont nous disposons sont peu nombreuses, mais apparaissent suffisantes en regard de l'intérêt des aquifères concernés.

Aucune investigation complémentaire n'apparaît donc nécessaire sur ces aquifères.

3.3.2.8. Mesures à prendre pour la gestion de ces aquifères

Aucune mesure particulière ne semble nécessaire pour la protection ou la gestion des aquifères des formations tertiaires dans le bassin d'Aix-Gardanne.

L'ensemble des informations d'ordre hydrogéologique disponibles sur les aquifères alluviaux et les aquifères tertiaires est figuré dans l'*Illustration 20*.

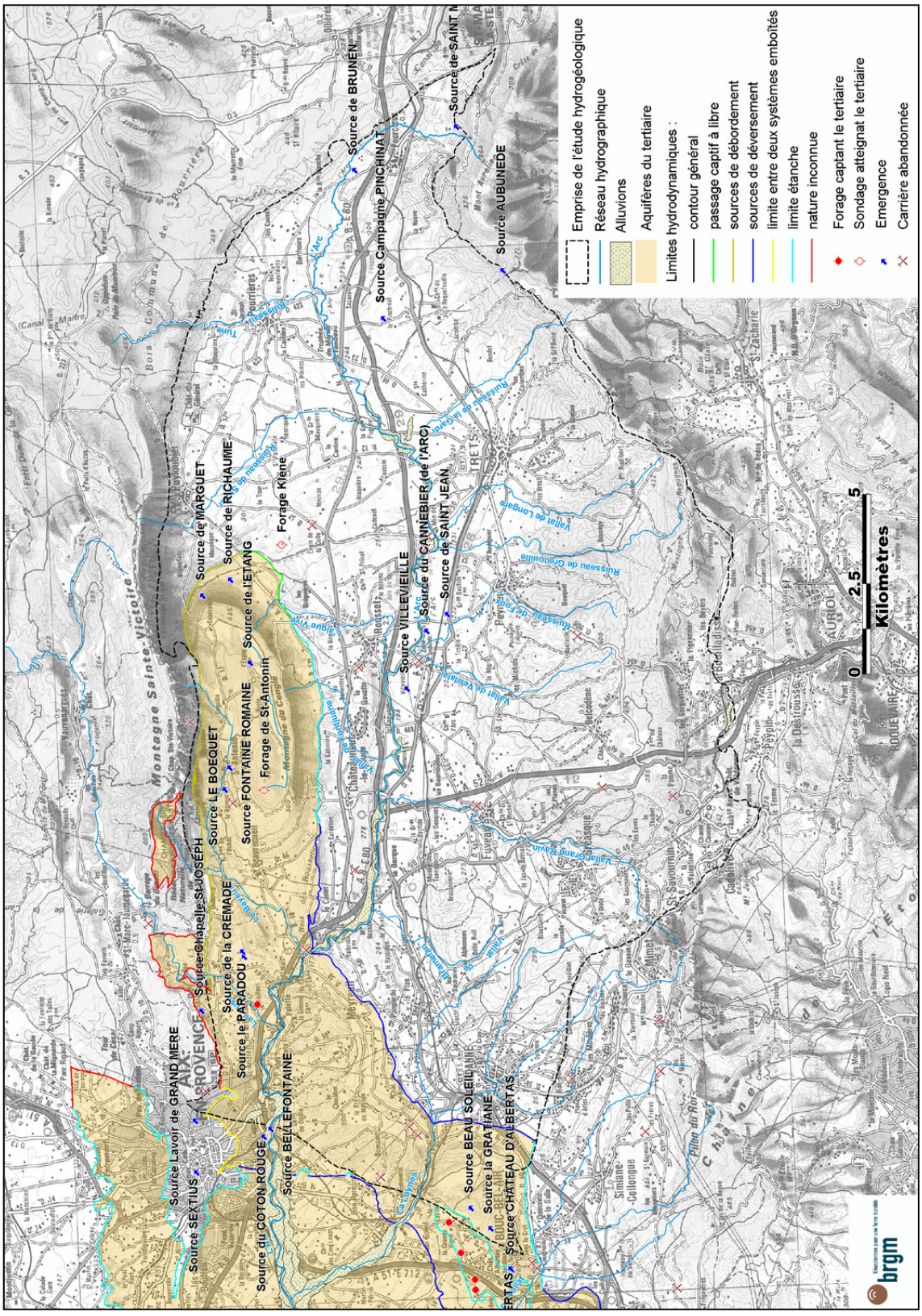


Illustration 20 : Carte synthétique des systèmes aquifères du Tertiaire et des alluvions.

3.3.3. Systèmes aquifères du Rognacien

Ces niveaux aquifères se développent dans les formations du Rognacien inférieur, moyen et supérieur.

3.3.3.1. Extension des formations

Les formations du Rognacien affleurent très largement à l'est du bassin, entre Puyloubier, Pourcieux, Trets et Rousset. Ces affleurements se poursuivent vers l'ouest entre Rousset et Gardanne, et de manière plus limitée au nord du plateau de Cengle, entre Puyloubier et Le Tholonet. Les illustrations 22 et 23 permettent de visualiser l'extension de ces formations.

Les formations s'enfoncent sous le plateau de Cengle, ainsi que vers l'ouest et le nord-ouest du bassin, sous les formations tertiaires, en formant un synclinal d'axe sud-est / nord-ouest entre Pourrières et Trets, puis est / ouest sous le plateau de Cengle et en bordure ouest du bassin. Ce synclinal s'approfondit en direction de l'ouest.

A l'ouest de la faille d'Aix, les formations du Rognacien se poursuivent en s'approfondissant, avant de remonter à partir d'une ligne reliant Les Milles à Cabriès.

3.3.3.2. Nature des formations

Les formations du Rognacien ont été traversées par plusieurs sondages situés en bordure ouest du bassin d'Aix-Gardanne. Elles présentent une puissance comprise entre 350 et 400 m. Dans l'est du bassin, l'épaisseur totale n'est pas connue avec précision mais elle est au moins de 100 m (forage de la Marseillaise). L'interprétation des profils géophysiques dans ce secteur, prévue en année 2, devrait permettre de mieux appréhender la géométrie et la puissance de ces formations.

Le Rognacien présente les caractéristiques suivantes :

- il abrite une multitude de petits niveaux potentiellement aquifères de sables, de grès, de conglomérats ou de calcaires, qui font généralement quelques mètres d'épaisseur, et qui sont "ennoyés" dans un ensemble à dominante argileuse ou marneuse ; plus rarement, des niveaux plus épais existent, c'est le cas notamment des calcaires de Rognac (Rognacien moyen) qui atteignent jusqu'à 70 m dans le sondage GW1 de Gardanne ;
- les variations de faciès sont rapides d'un sondage à l'autre, et il est difficile de dégager des tendances; les niveaux gréseux semblent néanmoins plus fréquents et plus importants au droit des affleurements du Rognacien inférieur (sondage GA2 de Gardanne, sondage GN de Fuveau, forages Coussin et La Marseillaise à Trets). A partir de Trets, la limite entre le Bégudien et le Rognacien est imprécise dans la série des argiles rouges et grès. La barre de Rognac s'effile presque totalement à l'est du plateau du Cengle ;

- les calcaires de Rognac représentent le niveau potentiellement aquifère le plus étendu des formations du Rognacien ; il se retrouve dans tous les sondages recoupant le Rognacien moyen ; son faciès évolue vers des calcaires argileux vers le sud-ouest du bassin et sous le lambeau charrié de Gardanne,
- les niveaux potentiellement aquifères peuvent localement être rares (ainsi, les sondages ME2 de Meyreuil, AP1 d'Aix ou encore SI3 de Simiane rencontrent essentiellement des marnes ou des argiles en dehors des calcaires de Rognac),
- la série s'achève dans la partie orientale du bassin par un épandage important de poudingues, dits "poudingues de la Galante",

Les niveaux potentiellement aquifères du Rognacien apparaissent assez peu fracturées dans l'ensemble. En effet, les seuls indices de fracturation mentionnés dans les dossiers BSS concernent des pertes de boue lors de la réalisation des sondages ME1 de Meyreuil (pour le Rognacien inférieur, moyen et supérieur), et AP1 d'Aix (Rognacien moyen).

3.3.3.3. Circulation des eaux

En affleurement, les niveaux aquifères du Rognacien donnent naissance à quelques petites sources vers Rousset, Puyloubier, Pourcieux et Pourrières, dont le débit n'excède pas 1 L/s à l'étiage (rapport BRGM 69SGL193). Par contre, ces niveaux sont captés à faible profondeur par de très nombreux puits.

Une seule source, située dans les brèches du Rognacien inférieur, montre un débit moyen important (60 L/s) : il s'agit de la source de Roques Hautes. Compte tenu des débits habituellement observés dans les niveaux du Rognacien, la source de Roques Hautes doit être suralimentée par un réservoir sous-jacent plus productif ou bien par des pertes du barrage de Bimont.

Les informations issues de la BSS mentionnent l'existence de 3 forages situés au droit des affleurements (forage KLENE à Puyloubier, et forages Coussin et La Marseillaise à Trets), qui captent des arrivées d'eau ponctuelles jusqu'à environ 100 m de profondeur (les débits de ces venues d'eau ne sont pas connus).

Lors de l'enquête de terrain, une cinquantaine d'ouvrages captant les niveaux aquifères du Rognacien ont été recensés. Les enseignements que l'on peut en tirer sont les suivants :

- ces ouvrages sont essentiellement localisés au droit des affleurements, et sont répartis sur l'ensemble de ces affleurements,
- quelques-uns uns sont des puits de faibles profondeurs, mais la majorité des ouvrages sont des forages de 60 à 120 m (exceptionnellement plus de 200 m),
- la profondeur des venues d'eau est aléatoire,
- les venues d'eau sont limitées à quelques-uns m^3/h (4 à 5 au maximum). Cette limite étant liée à la capacité des pompes chez les particuliers et les ouvrages étant

très rarement à sec, les venues d'eau doivent en réalité être légèrement plus importantes.

Sous couverture, aucun des dossiers de réalisation des ouvrages recensés en BSS ne mentionne d'arrivées d'eau, seuls 2 ouvrages recensés au cours de l'enquête de terrain semblent capter les niveaux aquifères du Rognacien, sous les formations du Montien.

Ainsi, des niveaux aquifères de capacité limitée semblent donc présents au droit de l'ensemble des affleurements du Rognacien, mais la profondeur de rencontre de ces niveaux est aléatoire. Sous couverture, les circulations semblent beaucoup plus limitées.

3.3.3.4. Origine des eaux et relations entres aquifères

Sauf accident tectonique, les niveaux aquifères du Rognacien sont généralement indépendants, car « ennoyés » dans des formations argileuses ou marneuses prédominantes. Ils sont donc à priori alimentés par l'infiltration des pluies sur les affleurements.

Les niveaux aquifères se trouvant au mur ou au toit de la formation peuvent cependant être localement en relation avec l'aquifère sus-jacent (aquifère des calcaires de Vitrolles et du poudingue de La Galante) ou sous-jacent (niveaux aquifères du Bégudien).

3.3.3.5. Potentialités - Exploitation

Sous couverture, les formations du Rognacien semblent peu aquifères. De plus, leur exploitation potentielle est rendue difficile par la profondeur des formations qui devient vite importante compte tenu de l'effet conjugué de l'épaisseur du recouvrement Tertiaire, et de l'approfondissement rapide des couches. Ainsi, on rencontre le toit de la formation du Rognacien à près de 100 m de profondeur dans les sondages GW1, GW2 et GN1 de Gardanne qui sont situés à proximité des affleurements, et entre 300 et 400 m dans les sondages AP3 d'Aix ou BB3 de Bouc-Bel-Air situés plus à l'ouest ou au nord-ouest.

Au droit des affleurements, des niveaux aquifères sont recoupés plus fréquemment même si la profondeur de rencontre de ces niveaux est très variable (dans certains ouvrages, les premières venues d'eau n'apparaissent pas avant plusieurs dizaines de mètres). La productivité de ces niveaux est faible, limitée à quelques m^3/h. Les prélèvements, effectués depuis plusieurs années par des particuliers au moyen de forages, peuvent vraisemblablement être poursuivis pour des besoins particuliers, mais sans perspective toutefois de trouver des débits supérieurs à quelques m^3/h.

3.3.3.6. Qualité des eaux

Seules les sources de Pierre de Moulins et des Joucas, alimentant pour partie en eau potable la commune de Rousset font l'objet d'analyses régulières. Elles sont exploitées

par la Société des Eaux de Marseille et montrent une bonne qualité avec un faciès à tendance bicarbonaté calcique (analyse 2001), comme le montre le diagramme de Piper présenté en Illustration 21 :

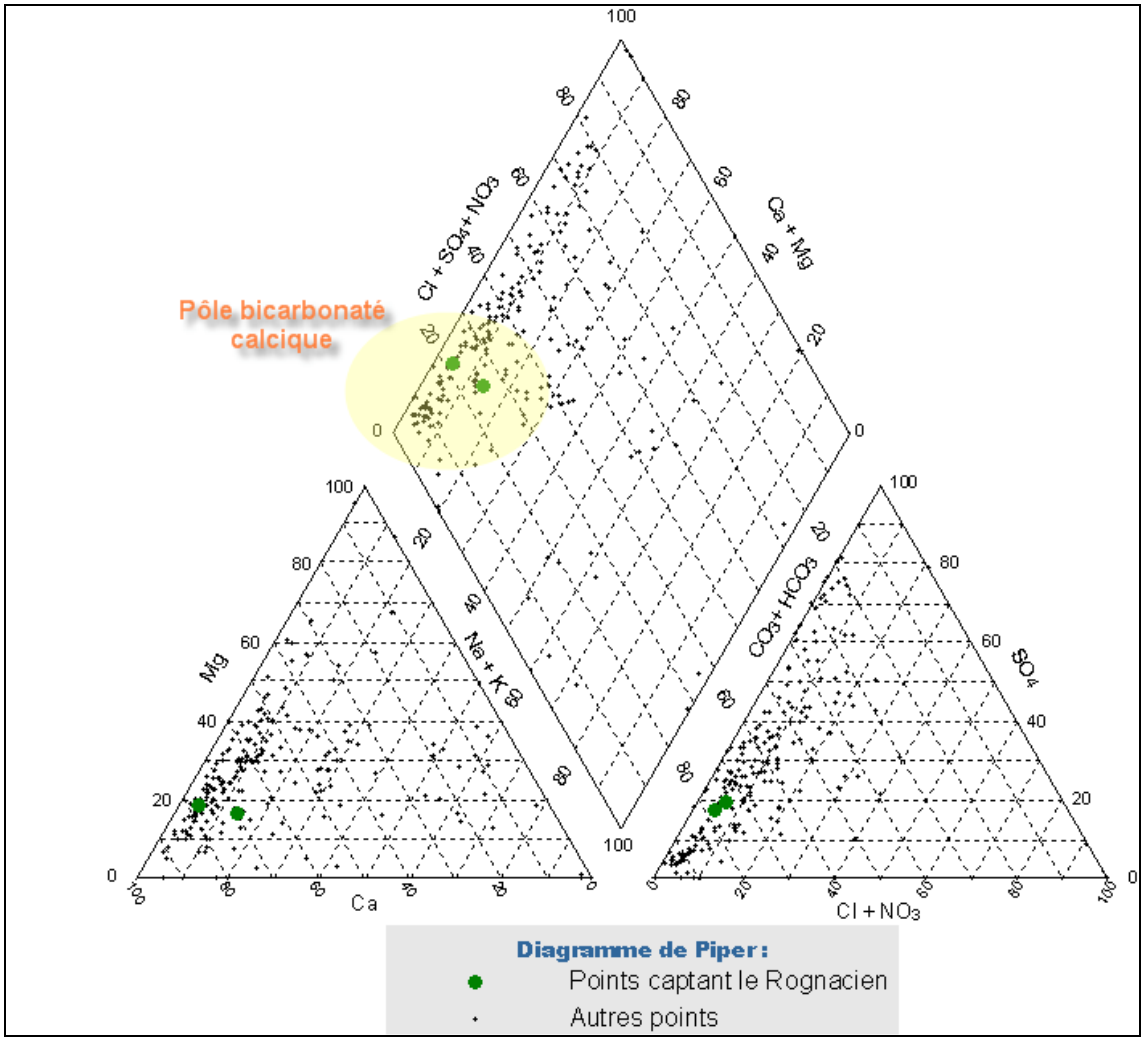


Illustration 21 : Diagramme de Piper des eaux provenant des calcaires du Rognacien.

3.3.3.7. Intérêt des niveaux aquifères du Rognacien

Au droit des affleurements, les niveaux aquifères du Rognacien semblent présenter un intérêt local pour les besoins des particuliers, sous réserve de réaliser des forages de plusieurs dizaines de mètres afin de recouper un maximum de petits niveaux aquifères. Par contre, ces niveaux aquifères apparaissent inexploitables pour répondre à des besoins plus importants du fait de leur trop faible productivité.

Sous couverture, les niveaux aquifères présentent peu d'intérêt, y compris pour les besoins des particuliers.

3.3.3.8. Etat des connaissances

Les connaissances disponibles sur les niveaux aquifères du Rognacien sont peu nombreuses à l'est de Chateauneuf-le-Rouge. Néanmoins, ces connaissances apparaissent suffisantes compte tenu de l'intérêt de cette ressource.

3.3.3.9. Mesures à prendre pour la gestion de ces niveaux aquifères

Les niveaux aquifères du Rognacien ne peuvent prétendre à répondre aux besoins d'une collectivité ou d'une activité socio-économique quelconque compte tenu de leurs potentialités limitées. Ils sont donc destinés à répondre aux besoins des particuliers, et ne justifient de ce fait aucune mesure particulière.

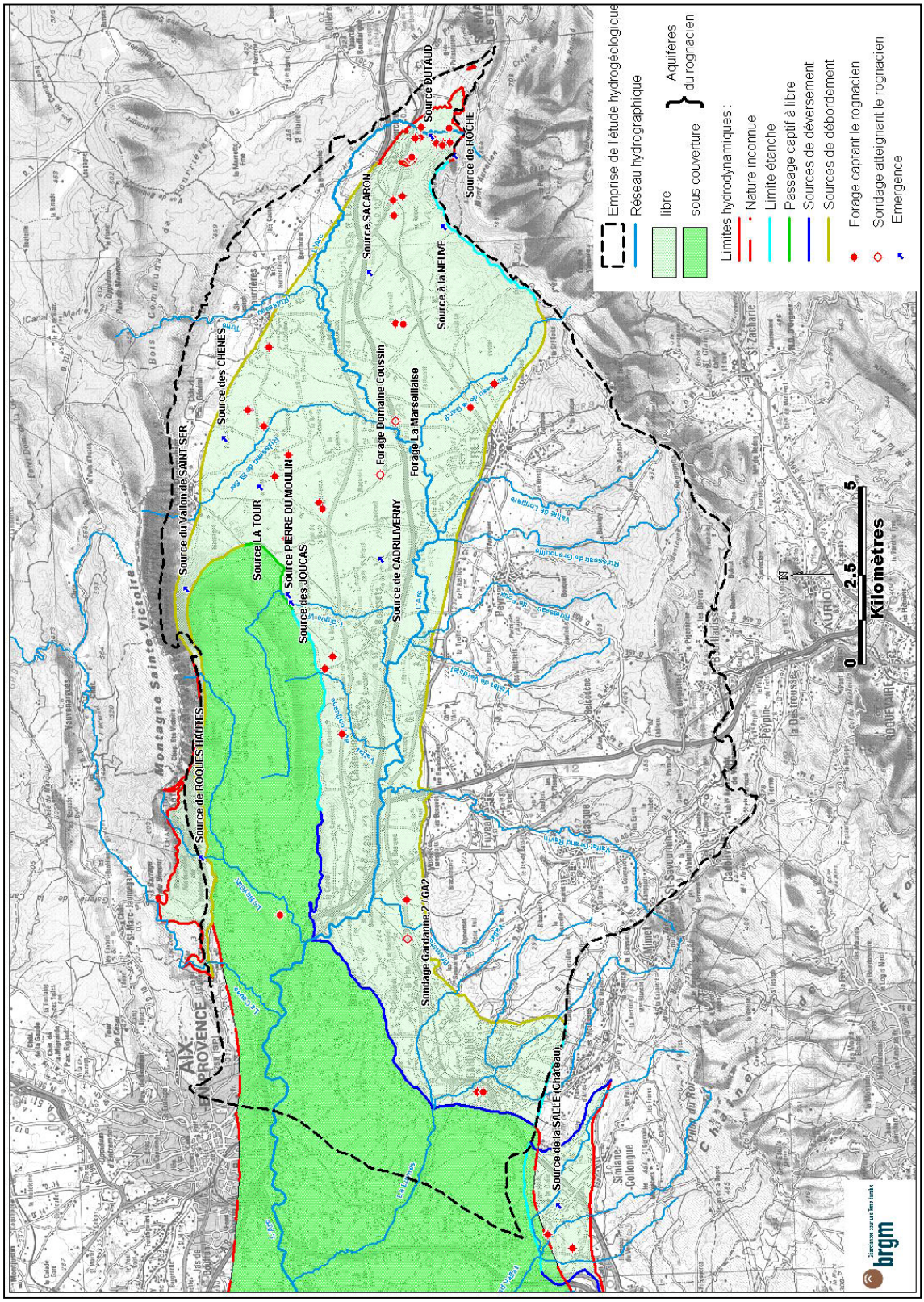


Illustration 22 : Carte synthétique des aquifères du Rognacien.

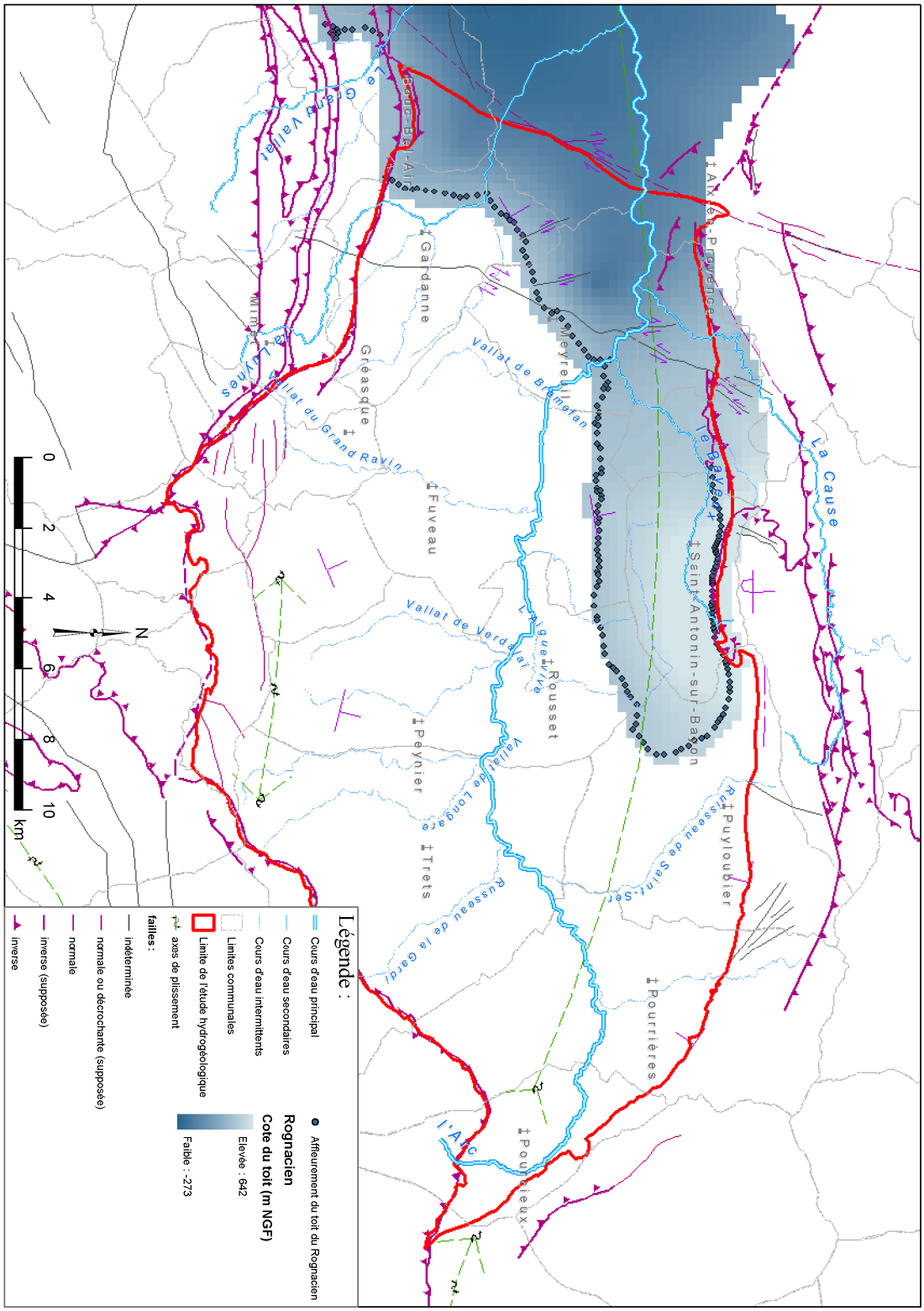


Illustration 23 : Extention et tographie du toit du Rognacien sous couverture.

3.3.4. Systèmes aquifères du Bégudien

Ces niveaux aquifères se développent dans les formations du Bégudien supérieur et du Bégudien inférieur.

3.3.4.1. Extension des formations

Les formations du Bégudien affleurent en auréole autour du massif du Régagnas, en allant de Trets à Gardanne puis à la Bouilladisse. La zone maximale d'affleurement se situe entre Mimet, Fuveau et Gardanne. Les formations du Bégudien affleurent également au nord-est et à l'est du bassin, entre Pourcieux et la Sainte-Victoire.

Ces formations s'enfoncent au centre du bassin, sous les formations du Rognacien. Elles forment en profondeur un synclinal d'axe nord-ouest / sud-est entre Pourrières et Trets, puis est / ouest sous le plateau de Cengle et en bordure ouest du bassin. Ce synclinal s'approfondit en direction de l'ouest. L'Illustration 25 permet de visualiser l'extension de ces formations.

3.3.4.2. Nature des formations

Les formations du Bégudien supérieur et inférieur contiennent une multitude de niveaux potentiellement aquifères calcaires, sableux ou gréseux ennoyés dans 300 m environ d'argiles et de marnes rouge à lie-de-vin. Les variations latérales de faciès* sont particulièrement nombreuses dans cet étage lithostratigraphique. Les informations recensées dans la BSS permettent de décrire trois secteurs géographiques dans lesquels les formations présentent des caractéristiques distinctes :

1. A l'ouest d'une ligne reliant Meyreuil à Gardanne :

- les formations du Bégudien sont sous couverture (sous au moins 300 m de terrains dans les sondages recensés). Elles ont cependant été reconnues par une quinzaine de sondages, et présentent une puissance assez homogène, comprise entre 300 et 350 m ;
- ces formations sont majoritairement calcaires dans leur partie supérieure (sur 100 à 160 m en général), puis présentent dans leur partie inférieure une dominante argileuse ou marneuse, associée à des niveaux calcaires, et localement des passées gréseuses (sur 160 à 220 m d'épaisseur) ;
- aucun indice de fracturation ou de karstification n'est mentionné dans les dossiers BSS ou les rapports de réalisation des sondages. Les calcaires qui composent sur plus de 100 m la partie supérieure du Bégudien apparaissent ainsi massifs.

2. Dans le secteur compris entre Gardanne, Meyreuil, Rousset et Peynier :

- les formations du Bégudien ont été reconnues au droit de 5 sites (sondage GS à Fuveau, sondages GN à Fuveau et GA2 et GA3 à Gardanne, puits des Sauvaires à Fuveau, sondage de Peynier et Puits de l'Arc à Rousset) ;

- les formations du Bégudien affleurent ou sont faiblement recouvertes (70 m au maximum) au droit de ces 5 sites ;
- elles sont constituées d'une alternance de marnes, de calcaires et de grès ;
- des indices de fracturations sont notés dans les dossiers BSS des sondages GS et GN de Fuveau, GA2 et GA3 de Gardanne.

3. En bordure sud-est du bassin :

- les formations du Bégudien ont été reconnues le long du tracé du canal de Provence par 3 sondages (sondages S33, S34 et S35 de Trets) ;
- au droit de ces 3 sites, les formations du Bégudien affleurent et présentent moins de 80 m d'épaisseur ;
- elles sont constituées d'une alternance d'argiles et de grès ;
- aucun indice de fracturation n'apparaît dans les dossiers BSS de ces 3 sondages.

4. Dans les secteurs nord et nord-est du bassin :

Au voisinage de Sainte-Victoire, le Bégudien prend un faciès conglomératique (brèches) d'une puissance d'environ 150 m.

D'une façon générale, dans la partie orientale du bassin, les faciès deviennent de plus en plus argileux et gréseux (les niveaux calcaires sont remplacés par des lentilles ou de petits bancs gréseux).

3.3.4.3. Circulation des eaux

Les niveaux aquifères du Bégudien donnent naissance à différentes petites sources dont le débit excède rarement 2 L/s (c'est le cas de la source de Brunen sur la commune de Pourcieux, servant en partie à l'alimentation de Pourrières, et de la source Notre-Dame sur la commune de Gardanne). Une émergence particulière doit néanmoins être soulignée en raison de son débit : il s'agit de la source de la Grande Bastide, située sur la commune de Fuveau, dont le débit d'étiage est estimé à 20 L/s et le débit moyen à 45 L/s (rapport BRGM 69SGL193).

De très nombreux puits captent des écoulements à faibles profondeurs au droit des affleurements.

Plus en profondeur, les informations issues des forages, puits ou sondages recensés en BSS apportent les indications suivantes :

- à l'ouest d'une ligne reliant Meyreuil à Gardanne, les formations du Bégudien sont sous couverture et semblent très peu aquifères (aucune venue d'eau n'est recensée dans les rapports de réalisation de la quinzaine d'ouvrages profonds ayant traversé les formations) ;
- dans le secteur compris entre Rousset, Peynier, Gardanne et Meyreuil, des venues d'eau successives sont recensées dans les dossiers BSS de réalisation de 6 des 7 ouvrages profonds du secteur :

- puits de l'Arc (venues non quantifiées) ;
- sondage GS (venues faibles) ;
- puits des Sauvaires (35 à 70 m³/h) ;
- sondages GA2 et GA3 (35 à 70 m³/h) ;
- sondage GN (230 m³/h).

Des niveaux piézométriques artésiens ont, de plus, été relevés dans les sondages GN, GA2 et GA3 (jusqu'à +20 m par rapport au sol dans le sondage GN), indiquant que ces eaux sont en charge sous le Rognacien et issues de chaque horizon calcaire du Bégudien, qui fonctionne comme un aquifère de type fissuré. C'est notamment le cas de la source de la Grande Bastide.

- en bordure sud-est du bassin, nous ne disposons d'aucune information.

Plus de quatre-vingt ouvrages recensés au cours de l'enquête de terrain captent les niveaux aquifères du Bégudien. Ils fournissent les informations suivantes :

- quelques puits sont de faible profondeur, mais la majorité des ouvrages est constituée de forages de 60 à 120 m de profondeur (exceptionnellement plus de 200 m) ;
- ces ouvrages profonds sont répartis sur l'ensemble des affleurements, ou en bordure de la zone de captivité ;
- les venues d'eau rencontrées en profondeur sont ponctuelles et imprévisibles, et expliquent les profondeurs très variables des ouvrages ;
- un niveau piézométrique artésien a été relevé à l'est du sondage GN de Fuveau, confirmant les observations faites dans les sondages profonds du secteur recensés en BSS ;
- des niveaux piézométriques artésiens ont également été relevés au sud et à l'est-sud-est de Pourrières, sous couverture mais également au droit des affleurements.

Ainsi, les niveaux aquifères du Bégudien semblent présents sur l'ensemble du bassin, au droit des affleurements ou à faibles distances des affleurements, et rencontrent de petites venues d'eau de quelques m^3/h à débits relativement constants. Dans une zone située entre Peynier et Le Plan, les venues d'eau sont nettement plus importantes (jusqu'à 230 m^3/h de débit artésien au sondage GN de Fuveau, et débit moyen de 50 L/s pour la source de La Grande Bastide). Nous disposons néanmoins de trop peu d'informations pour préciser l'extension exacte de cette zone. Plus en profondeur, sous couverture, le caractère aquifère des formations du Bégudien semble disparaître, tout au moins dans la partie ouest du bassin (nous ne disposons pas d'informations pour les parties centrales et est).

3.3.4.4. Origine des eaux et relations entre aquifères

Les eaux qui circulent dans les niveaux aquifères du Bégudien proviennent en grande partie de l'infiltration des eaux de pluie sur les affleurements. Ces niveaux aquifères sont isolés des niveaux aquifères sus-jacents du Rognacien car ces derniers sont « isolés » au sein de formations à dominante argileuse ou marneuse.

Par contre, il existe vraisemblablement des relations entre un ou plusieurs aquifères sous-jacents et les niveaux aquifères du Bégudien. Ces relations se manifestent tout d'abord dans le secteur situé entre Le Plan et la A52 par :

- des niveaux d'eau artésiens (+20 m par rapport au sol au sondage GN de Fuveau),
- des arrivées d'eau massives (débit artésien de 230 m^3/h au sondage GN de Fuveau, et débit moyen de 50 L/s pour la source de la Grande Bastide).

Des relations similaires pourraient exister également dans le secteur de Pourrières puisque l'on rencontre des niveaux artésiens dans 4 ouvrages, 2 d'entre eux étant situés au droit des affleurements. Néanmoins, les débits en jeu étant faibles (débits artésiens inférieurs à 2 L/s dans les 4 sondages recensés), ces venues d'eau pourraient simplement être liées à la mise en charge rapide de niveaux aquifères du Bégudien sous les marnes et argiles de la formation, compte tenu des pendages importants des couches.

3.3.4.5. Potentialités – Exploitation

Sous couverture, les formations du Bégudien semblent peu aquifères. Au droit ou en bordure des affleurements, on retrouve différentes venues d'eau en profondeur. Leur débit n'excède généralement pas quelques m^3/h, mais localement, entre Peynier et Le Plan, les débits en jeu deviennent très importants. Ainsi :

- un débit artésien de 230 m^3/h a été relevé au sondage GN de Fuveau ;
- un pompage d'essai a été réalisé à hauteur de 73 m^3/h dans le sondage GA2 de Gardanne pour un rabattement de 6 m (débit artésien de 48 m^3/h) ;
- un pompage d'essai a été réalisé à hauteur de 250 m^3/h dans le sondage GA3 de Gardanne pour un rabattement de 9,7 m (débit artésien de 70 m^3/h) ; cet essai de pompage a entraîné l'assèchement de la source de la Grande Bastide située à 3 km, ce qui démontre l'existence de communications hydauliques entre les secteurs.

Les niveaux aquifères du Bégudien semblent peu exploités, à l'exception de l'exploitation pour des besoins particuliers ou un approvisionnement AEP d'appoint de la commune de Pourrières.

3.3.4.6. Qualité des eaux

Les analyses collectées dans la bibliographie existante un faciès bicarbonaté calcique représentatif des eaux circulant dans les formations calcaires, mais très peu d'analyses sont disponibles et utilisables. Le diagramme de Piper permet de situer l'étendue des faciès des eaux issues des formations du Bégudien : pour l'essentiel bicarbonaté calcique et/ou magnésien, mais avec un déplacement vers le pôle sulfaté calcique et/ou magnésien (Illustration 24) :

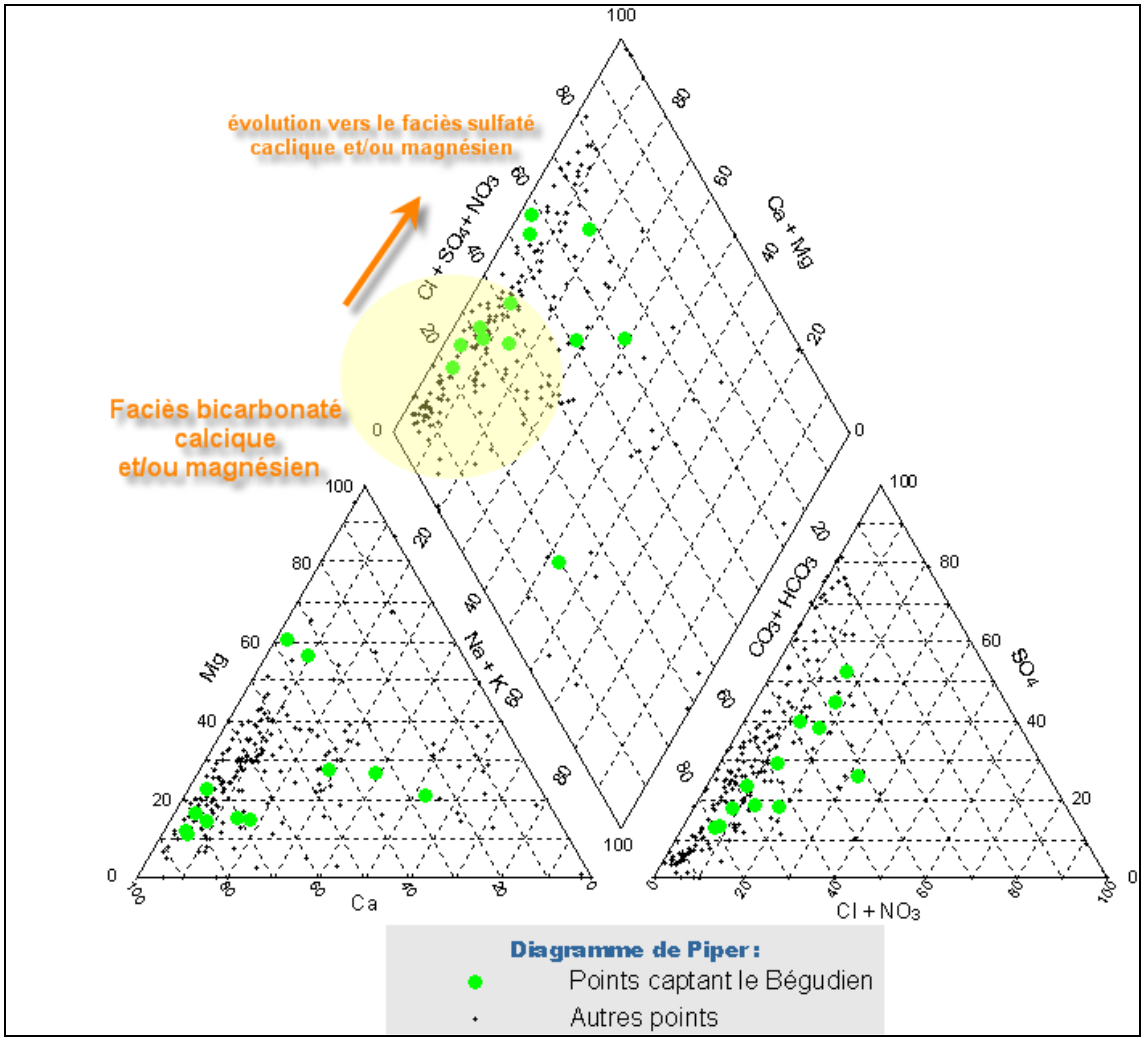


Illustration 24 : Diagramme de Piper des eaux issues des formations du Bégudien.

3.3.4.7. Intérêt des niveaux aquifères

Compte tenu de leurs caractéristiques, les niveaux aquifères du Bégudien peuvent répondre aux besoins des particuliers au droit de l'ensemble des affleurements ou en bordure de ces affleurements, sous réserve de faire des ouvrages de plusieurs dizaines de mètres de profondeur.

Ces niveaux aquifères pourraient également subvenir aux besoins plus importants d'une collectivité ou d'une activité économique dans le secteur situé entre Le Plan et Peynier (l'extension maximale de ce secteur n'est pas connue avec précision). *A noter cependant que toute exploitation importante par forage dans ce secteur pourrait entraîner l'assèchement de la source de la Grande Bastide.*

3.3.4.8. Etat des connaissances

Les connaissances disponibles sur les formations du Bégudien et les niveaux aquifères qu'ils renferment sont peu nombreux dans les parties centrale et orientale du bassin. Dans les secteurs où les ressources présentes dans les formations du Bégudien ne peuvent servir *a priori* qu'aux besoins des particuliers, il ne semble pas nécessaire de faire des investigations complémentaires, à l'exception d'analyses d'eau sur les ouvrages artésiens situés à Pourrières en vue de préciser l'origine des eaux (Bégudien ou aquifères sous-jacents).

Par contre, dans le secteur situé entre Gardanne, Meyreuil, Rousset et Peynier, il apparaît important de :

- recenser de manière la plus exhaustive possible les ouvrages existants, leur état, leurs niveaux piézométriques, et leur mode d'exploitation (veiller notamment à ce qu'il n'y ait pas d'ouvrages artésiens qui déversent en continu et évaluer les débits pompés) ;
- définir sur ces bases la zone d'artésianisme qui pourrait être assimilée en première approche à la zone fortement productive ;
- définir également les sens d'écoulements des eaux (drainage unique par la source de la Grande Bastide ?, autres directions d'écoulement ?) par la mise en place de piézomètres multi-aquifères ;
- faire un suivi de débit de la source Grande Bastide ;
- identifier les caractéristiques géochimiques de l'eau de cet aquifère pour mettre en évidence d'éventuelles similitudes de signatures avec les eaux du Jurassique ou le Fuvélien ;
- effectuer si possible un ou deux pompages d'essais sur des ouvrages de ces secteurs afin de déterminer si les potentialités aquifères recensés dans les sondages GN de Fuveau, et GA2 et GA3 de Gardanne, sont généralisables à la zone d'artésianisme.

3.3.4.9. Mesures à prendre pour la gestion de cet aquifère

Cet aquifère peut répondre aux besoins d'une collectivité ou d'une activité socio-économique dans le secteur situé entre Peynier et le Plan, et peut être un secteur plus étendu (zone délimitée par Gardanne, Meyreuil, Rousset et Peynier). Il convient donc de préserver les ressources présentes dans ce secteur en faisant l'acquisition de données complémentaires et en portant une attention particulière à l'exploitation de cette ressource dans ce secteur. En dehors de ce secteur particulier, aucune mesure particulière ne semble nécessaire.

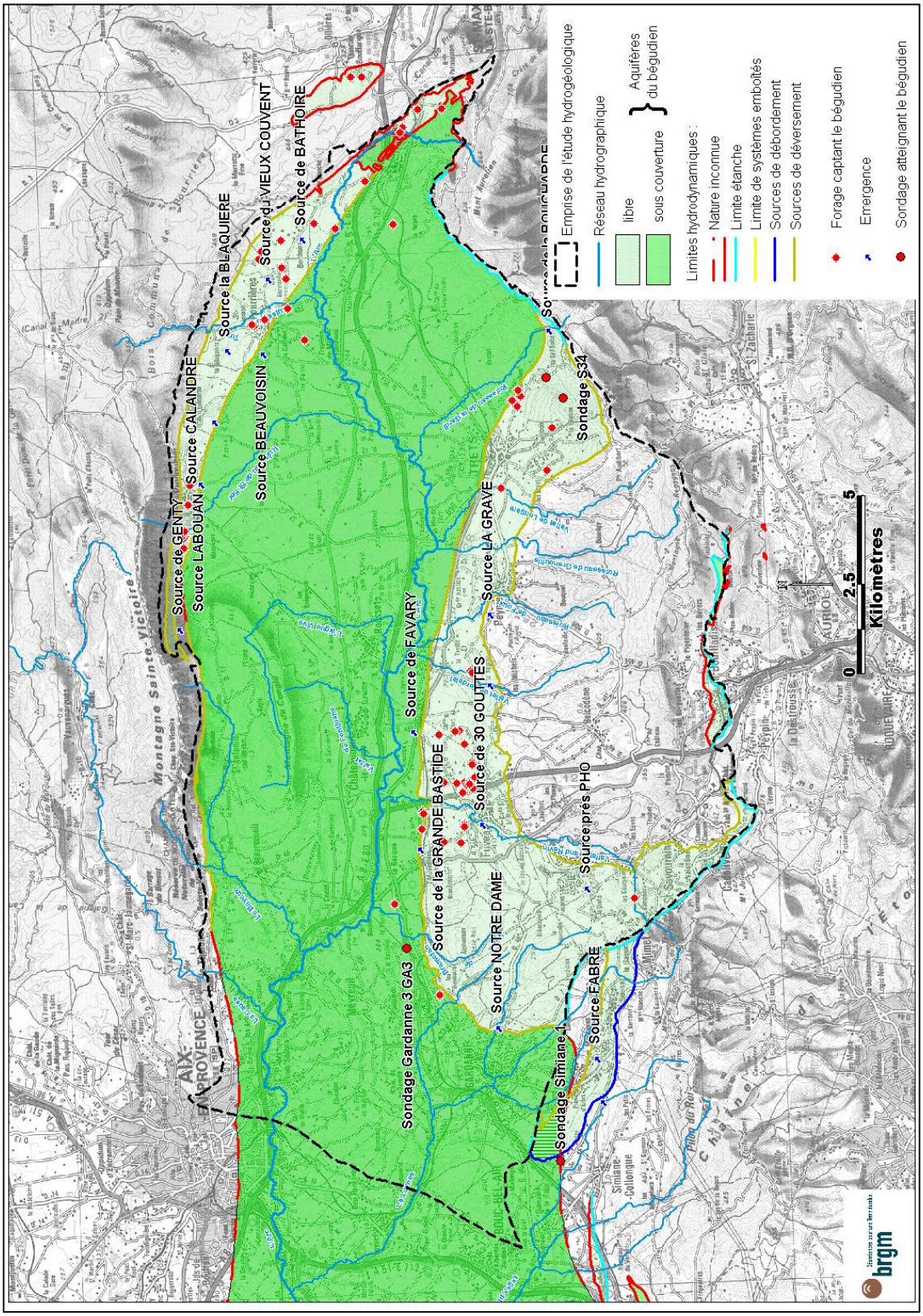


Illustration 25 : Carte synthétique de l'aquifère du Bégudien.

3.3.5. Aquifère du Fuvélien

Le Fuvélien est localisé entre deux étages imperméables : le Valdonnien (sous-jacent) et le Bégudien inférieur (sus-jacent). Il peut donc lui être attribué un réservoir hydrogéologique bien individualisé. D'autre part, il présente la particularité d'avoir fait l'objet d'exploitations minières qui ont créées un gisement artificiel localisé : le réservoir minier. L'emprise du réservoir minier correspond ainsi à l'emprise des exploitations.

3.3.5.1. Extension des formations

Les formations du Fuvélien affleurent au sud du bassin d'Aix-Gardanne, en auréole autour du massif du Régagnas, ainsi qu'au nord-est et à l'est du bassin, sous forme d'un liseré étroit entre Pourcieux et la Sainte-Victoire et dans le lambeau charrié de Gardanne (Illustration 27 et Illustration 28**Erreur! Source du renvoi introuvable.**).

Ces formations s'enfoncent au centre du bassin, sous les formations du Bégudien. Peu d'ouvrages recensés en BSS ont atteint le mur du Fuvélien. Aussi, l'allure générale des formations sous couverture est difficile à donner. Néanmoins, cette allure semble proche de celle des formations sus-jacentes, à savoir un synclinal d'axe nord-ouest / sud-est entre Pourrières et Trets, puis est / ouest sous le plateau de Cengle et en bordure ouest du bassin, ce synclinal s'approfondissant en direction de l'ouest.

On peut noter la position particulière du sondage S1 de Belcodène, dont le mur du Fuvélien est inférieur à la cote de +165 m NGF, alors que celle du sondage S1bis de Belcodène situé à 1,4 km à l'est-nord-est est de +301 m NGF. Le sondage S1 de Belcodène pourrait donc être situé au droit d'un panneau effondré (cette hypothèse pourra être vérifiée lors de la livraison du modèle géologique GDM* en seconde année).

3.3.5.2. Nature des formations

Le Fuvélien est constitué de calcaire à characées, en plaquettes ou en gros bancs. Dans la partie supérieure de l'étage, la barre rousse et la barre jaune témoignent d'apports détritiques. Plusieurs couches de lignites sont intercalées dans le calcaire ce qui a permis leur exploitation régionale dans le bassin minier.

Des informations précises sur des ouvrages ayant traversé les formations du Fuvélien sont disponibles pour les zones ouest, centrales et sud du bassin, mais aucun ouvrage n'est implanté au nord du bassin et un seul présente des informations exploitables dans la partie est (forage Le Gravier à Pourrières).

Les formations du Fuvélien sous couverture présentent une puissance comprise entre 250 et 300 m dans le centre et l'ouest du bassin (cette épaisseur peut atteindre 400 m dans l'écaille) ; leur puissance totale n'est pas connue vers l'est, mais celle-ci dépasse 160 m dans le sondage S35 de Trets ; elle serait de 150 m dans la région de Trets – Fuveau, et de 20 m seulement en bordure nord-est du bassin au niveau de Pourrières (rapport BRGM DSGR66A35).

Ces formations sont majoritairement calcaires ; localement, elles présentent quelques niveaux marneux, ou des faciès de calcaires argileux. Des variations latérales de faciès (passage à des niveaux argileux) existent dans la région de Peynier et de Trets rendant imprécise la distinction entre Valdonnien et Fuvélien.

Des indices de fracturation ou de karstification sont mentionnés dans les dossiers BSS ou les rapports de réalisation d'ouvrages situés au centre du bassin (sondage de Peynier, puits de l'Arc, sondage GS de Fuveau, et sondages S1, S2 et S3 de Peynier) ; les observations des mineurs qui notaient la présence de patterns* (fractures ouvertes qui allaient jusqu'à la surface) entre Fuveau et Peynier confirment cette analyse (cf. DSGR66A35),

D'autres indices de fracturation sont mentionnés dans les dossiers de réalisation d'autres sondages du bassin, mais concernent des secteurs plus localisés (au sud de Trets au niveau des sondages S17, S23 et S35, et au sud et au sud-ouest de Meyreuil au niveau des sondages GW2 et GN1).

3.3.5.3. Circulation des eaux

L'aquifère du Fuvélien donne naissance à peu de sources, qui sont par ailleurs de très faibles débits (inférieurs à 1 L/s). Quelques puits captent également des écoulements à faibles profondeurs au droit des affleurements, mais ils sont là encore peu nombreux (rapport BRGM 69SGL193).

Plus en profondeur, les informations issues des forages, puits ou sondages recensés en BSS nous donnent les indications suivantes :

- des arrivées d'eau très importantes et artésiennes ont été observées au centre du bassin (débit artésien maximal de 700 L/s dans le puits de l'Arc, débit artésien maximal de 65 L/s dans le sondage de Peynier, arrivées d'eau artésiennes non quantifiées dans le sondage GS de Fuveau) ;
- ces fortes arrivées d'eau sont confirmées par les arrivées d'eau en fond de mine, au niveau de la galerie de Fuveau (son débit moyen était de 300 L/s, et son débit maximal a atteint 1250 L/s), des travaux du Rocher Bleu ;
- les circulations d'eau sont très rapides dans ce secteur ; ainsi, un lien étroit a été mis en évidence entre le sondage GS de Fuveau et la galerie de Meyreuil située pourtant à 3 km de l'ouvrage (rapport BRGM DSGR66A35) ;
- à l'exception de cette zone centrale du bassin, les venues d'eau dans le Fuvélien semblent limitées ou inexistantes. Les rapports de réalisation des sondages situés dans l'ouest ne mentionnent ainsi aucune arrivée d'eau, à l'exception de celui du sondage GW2 de Gardanne (arrivées d'eau artésiennes non quantifiées) ;
- dans l'est du bassin, les sondages S17 et S35 de Trets, ainsi que le forage du Gravier à Pourrières, montrent des venues d'eau limitées dans les formations du Fuvélien ;

Une trentaine d'ouvrages recensés au cours de l'enquête de terrain captent les niveaux aquifères du Fuvélien. Ces ouvrages nous fournissent les informations suivantes :

- à trois exceptions près (N° de fiche 46, 48 et 113), les profondeurs des ouvrages sont comprises entre 60 et 160 m ;
- les ouvrages visités sont répartis en bordure des affleurements du Fuvélien : dans le Bégudien ou, pour quelques uns, à l'affleurement du Fuvélien ;
- les venues d'eau rencontrées sont de l'ordre de 3 - 4 m^3/h (peut-être plus, ces données correspondant au capacité des pompes et aux besoins des utilisateurs). De nombreux puits particuliers offrent une qualité et une constance suffisante pour constituer la seule source d'alimentation en eau potable. Des problèmes de recharge pendant la saison estivale sont cependant parfois rencontrés par les utilisateurs ;
- trois niveaux piézométriques devenant artésiens en automne ont été recensés : deux légèrement à l'extérieur de la bordure orientale du Bassin au niveau d'Ollière et un près de Trets. Ces trois ouvrages sont implantés sur couverture bégudienne.

Ainsi, les niveaux aquifères du Fuvélien sont présents sur l'ensemble du bassin, notamment sous couverture bégudienne et fournissent des débits de l'ordre de quelques m^3/h toute l'année. *Des débits très importants sont observés au centre du bassin entre Gardanne et Trets*. L'extension de cette zone très productive n'est pas déterminée en dehors de l'emprise des anciens travaux miniers.

D'après les traçages et analyses isotopiques réalisées par A. Chalumeau, les circulations horizontales (notamment au niveau de la grande Mine) sont beaucoup plus rapides que les circulations verticales.

Le peu d'ouvrages recensés en BSS ou lors de l'enquête dans la zone ouest ne permet pas de conclure sur le caractère aquifère de l'ensemble des formations du Fuvélien.

3.3.5.4. Origine des eaux – relations entre aquifères

La tectonique cassante dans le bassin de l'Arc, issue principalement de la phase de compression pyrénéo-provençale (responsable de la mise en place des chevauchements) s'accompagne, dans les calcaires du Fuvélien, d'une transformation de la roche par dissolution – recristallisation qui modifie ses propriétés matricielles (réduction du volume des vides et accroissement de la compacité de la roche). L'analyse tectonique qui a été menée par Gaviglio en 1985 montre que la surrection du massif du Régagnas est à l'origine de fractures qui sont restées ouvertes ou se sont fermées selon leur position dans le bassin. C'est ainsi que la notion d'une zone en extension (avec moulières et partens) se différencie d'une zone sèche en compression. En 1962, Vandenberghe relevait déjà des indices de karstification et de fracturation dans le réservoir minier.

La zone de transition entre ces deux zones est relativement bien localisée dans le secteur minier puisque les arrivées d'eau massives de la zone en distension ont limité l'extension du gisement de lignite de Gardanne à l'est de Fuveau. Ces importantes venues d'eau sont attribuées par de nombreux auteurs à une communication du réservoir Fuvélien avec celui du Jurassique, considéré comme beaucoup plus productif ; qui expliquerait les forts débits observés au niveau du Puits de l'Arc , du sondage de Peynier et du sondage GS de Fuveau.

Ainsi, des circulations d'eau entre les étages Fuvélien et Jurassique ont pu être mises en évidence. Très peu de forages atteignent cependant les niveaux sous-jacents au Fuvélien et aucun dans la zone d'exploitation du bassin minier. Ainsi, l'origine de ces circulations (par le biais de failles ou d'un amincissement du mur du réservoir, le Valdonnien et les niveaux crétacés sous-jacents) n'a pu être déterminée exactement. Il est probable qu'une combinaison des deux facteurs soit à l'origine du phénomène.

3.3.5.5. Potentialités – Exploitation

L'exploitation actuelle de l'aquifère par les particuliers se différencie en :

- une utilisation saisonnière pendant la saison chaude. Dans ce cas, si les ouvrages ne sont jamais à sec, des problèmes de recharge ont été signalés,
- une utilisation tout au long de l'année. Dans ce cas, l'ouvrage constitue souvent la seule alimentation en eau potable du particulier.

L'aquifère est également sollicité par le puits de l'Arc qui alimente la zone industrielle de Rousset, la Centrale thermique de Gardanne et l'usine d'Aluminium Pechiney à Gardanne à raison de 2500 m^3/h environ (installation dimensionnée pour 3500 m^3/h). Des essais de pompage ont été réalisés sur cet ouvrage en 1994 : pompages par paliers jusqu'à 4050 m^3/h puis pompage longue durée de 22 jours à 2100 m^3/h. L'interprétation a mis en évidence une dérive de la nappe attribuée à la situation d'étiage sur la période du pompage et un important effet de capacité lié à l'ouvrage. La ré-alimentation possible par un aquifère très productif comme le Jurassique n'a, en revanche, pas été mis en évidence sur la durée de l'essai.

3.3.5.6. Qualité des eaux

Une grande majorité des analyses physico-chimiques des eaux du Fuvélien proviennent des analyses qui ont été faîte au fond de la mine. Elles font apparaître un faciès de type particulier témoignant d'une circulation rapide des eaux au sein des assises calcaires. Beaucoup d'échantillons sont en effet plus proches du faciès chloruré et/ou sulfaté calcique (et/ou magnésien) Elles sont cependant à considérer avec précaution à cause des risques de contamination dus au niveau de lignite exploité.

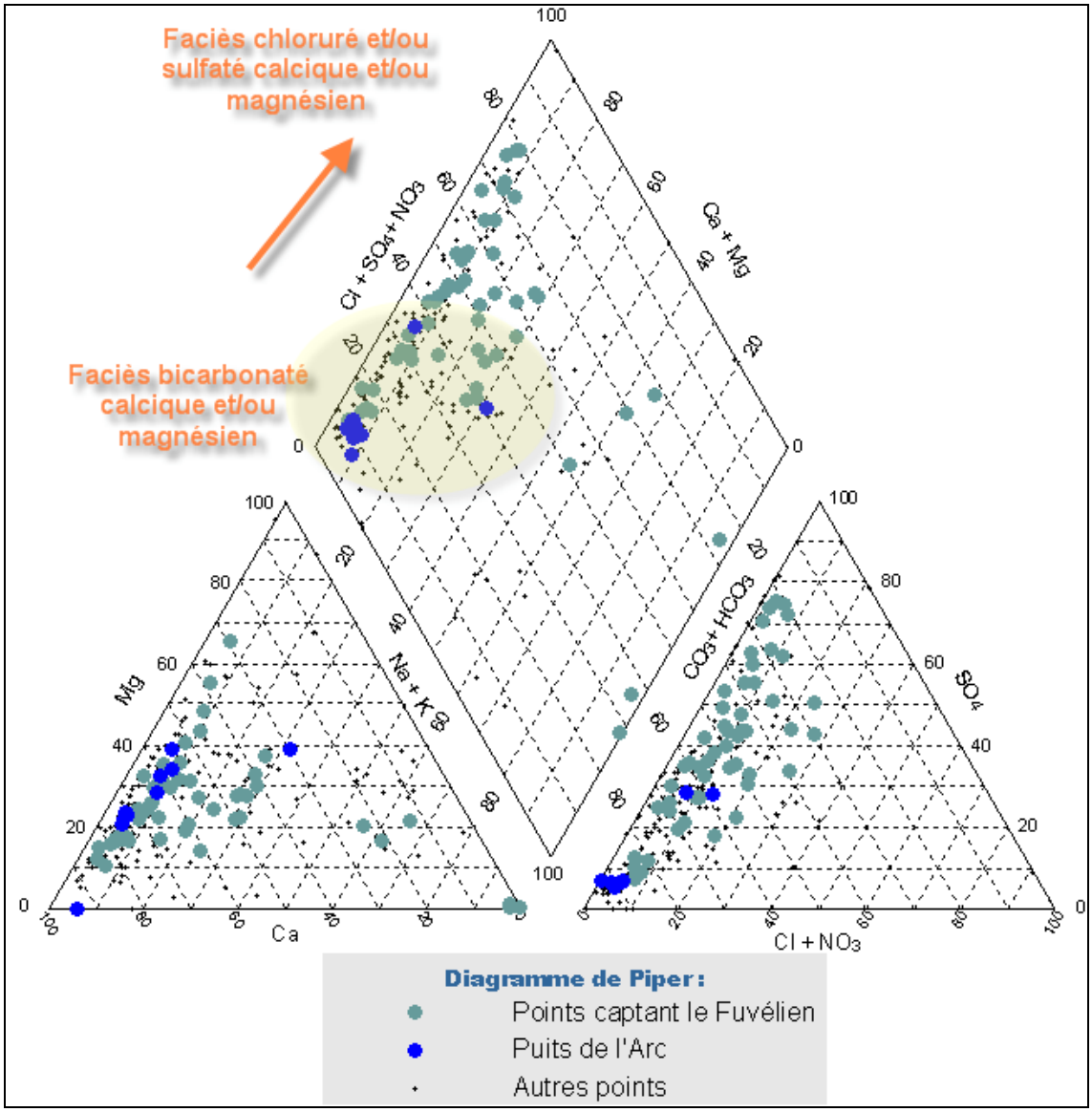


Illustration 26 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Fuvélien.

3.3.5.7. Intérêt des niveaux aquifères

En regard des ouvrages existants, on peut penser que les niveaux aquifères du Fuvélien offrent des potentialités satisfaisantes pour les particuliers sous réserve qu'ils soient situés à l'affleurement ou sous des formations du Bégudien. La potabilité des eaux reste variable sur les ouvrages particuliers recensés.

3.3.5.8. Etat des connaissances

Il apparaît important de :

- recenser de manière la plus exhaustive possible les ouvrages existants dans la zone la plus productive :zone où des réseaux de partens interconnectés ont été mis en évidence entre Meyreuil et Gréasque + la zone de karst ou se sont développées également des cassures aquifères entre Belcodène et Peynier. Il faudra notamment vérifier leur état, leurs niveaux piézométriques, et leur mode d'exploitation (veiller notamment à ce qu'il n'y ait pas d'ouvrages artésiens qui déversent en continu et évaluer les débits pompés) ;

- rechercher plus de données dans la partie ouest pour voir comment se comporte cet aquifère à mesure de l'approfondissement du bassin. Des informations concernant ce point lorsque les profils géophysiques auront été réinterprétés et que le modèle géologique sera livré ;

- définir également les sens d'écoulements des eaux via une campagne piézométrique dans le bassin ;

- effectuer un suivi piézométrique multi-aquifères (Bégudien - Fuvélien - Jurassique) sur un ou deux cycles hydrologiques pour mettre en évidence les communications possibles entre ces trois réservoirs ;

- mener une campagne de prélèvements pour analyses géochimiques d'eau afin d'identifier les faciès hydrochimiques propres à chaque niveau stratigraphique et de préciser les éventuels échanges entre les réservoirs aquifères ;

- effectuer quelques pompages d'essais sur des ouvrages de ces secteurs afin de vérifier si les potentialités aquifères recensés dans les puits de l'Arc et le sondage de Peynier sont généralisables à la zone d'artésianisme ou pas ;

- suivre le débit de la galerie à la mer (en amont et en aval du massif de l'Etoile).

Des pertes dans les ruisseaux circulant sur les affleurements du Fuvélien ont été mis en évidence lors d'un traçage en 1994. Il conviendrait donc également de quantifier et de localiser ces pertes sur l'ensemble du réseau hydrographique présent sur le Fuvélien, d'appréhender la vulnérabilité de cet aquifère vis à vis des eaux superficielles.

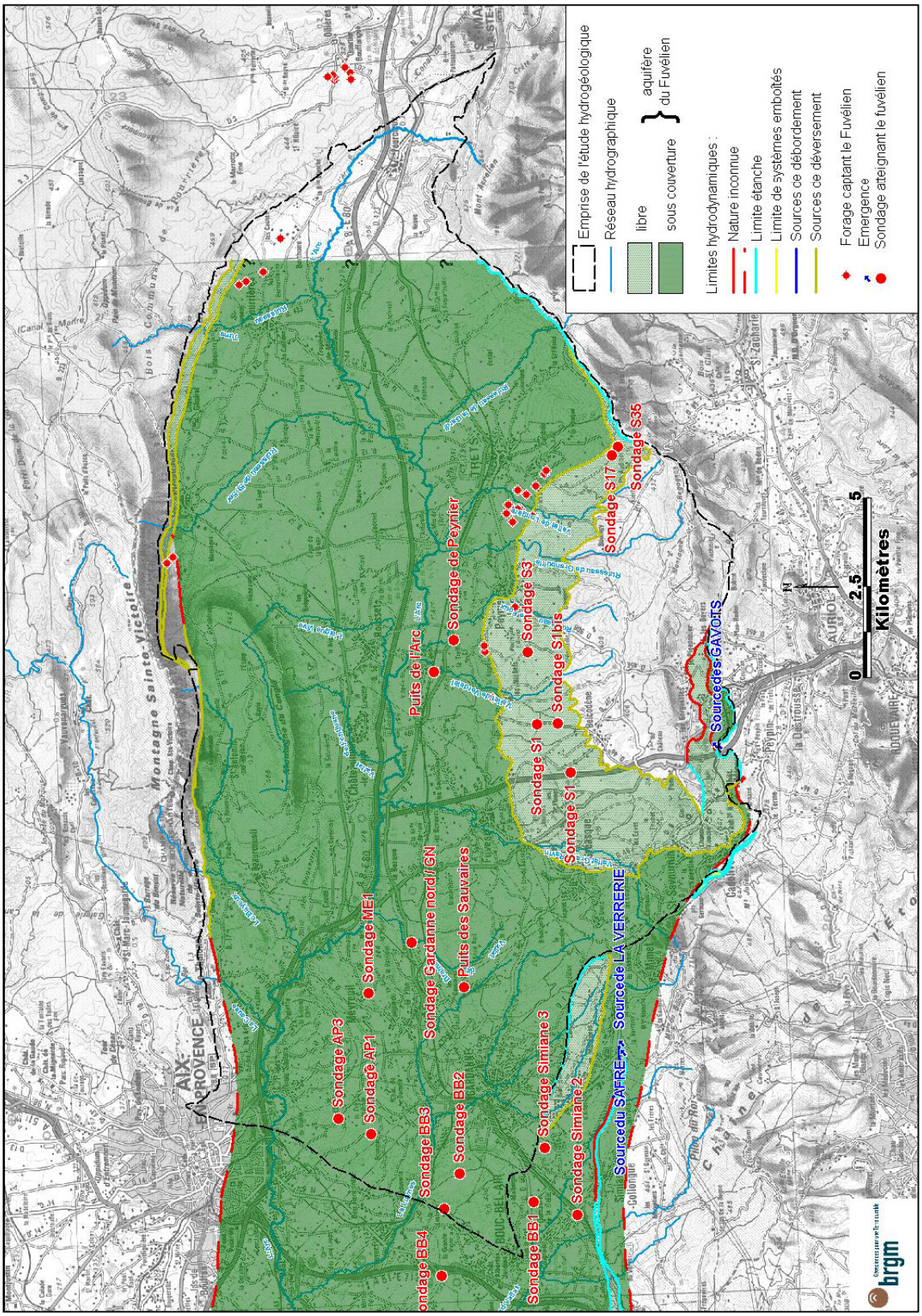


Illustration 27 : Carte synthétique de l'aquifère du Fuvélien.

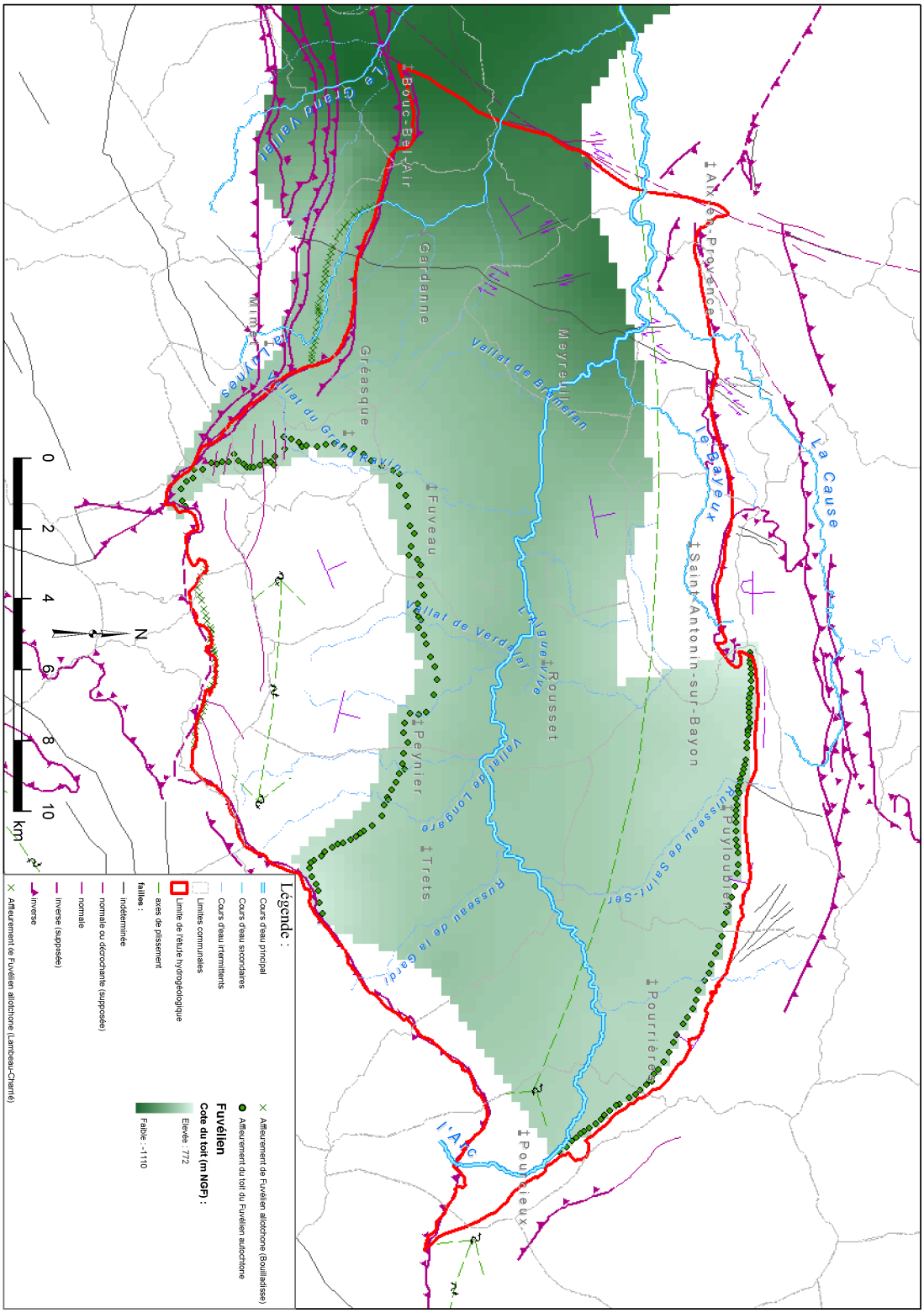


Illustration 28 : Extension et topographie du toit du Fuvélien sous couverture.

3.3.5.9. Le cas particulier de la remontée des eaux dans l'ancienne exploitation minière

Le réservoir minier correspondant aux zones dépilées de l'ancienne exploitation de lignite par les HBCM constitue une zone d'observation très particulière. L'emprise de ce réservoir est visible sur l'Illustration 29.

La remontée des eaux dans la mine est suivie par l'intermédiaire de capteurs situés sur 4 puits miniers:

- le puits Y (1021-5X-0187) qui atteint le Valdonnien. Actuellement seul ce puits a commencé l'enregistrement depuis janvier 2004,
- les puits Z (1021-5X-0186), Gérard (1021-5X-0107) et des Sauzaires (1021-6X-0063) atteignent le Fuvélien. Les cotes fond se situant respectivement 200 m, 350 m et 600 m au-dessus du puits Y, les capteurs ne se sont pas encore déclenchés.

Par rapport à la modélisation qui a été faite, depuis l'arrêt des pompes de refoulement et le début du suivi, la vitesse de remplissage des travaux situés sous la côte +18 m NGF (niveau de la galerie de la mer restée ouverte) est moins rapide que ce qui a été estimé (il avait été avancé (HBCM, 2002) une durée de 3 à 7 ans pour que l'eau remonte de la cote -1150 m NGF à la cote +18 m NGF).

Le suivi de cette remontée *via* les données transmises par les HBCM est une source d'informations importantes qui permettra, a priori, d'évaluer les caractéristiques hydrodynamiques de la partie de l'aquifère Fuvélien constituée par l'ancienne exploitation minière.

3.3.5.10. Mesures à prendre pour la gestion de cet aquifère

Les mesures et propositions d'investigations complémentaires prévues pour les deux années à venir permettront d'apprécier et de quantifier les venues d'eau dans le Fuvélien et leurs origines et amèneront à une meilleure connaissance de la dynamique de cet aquifère et de sa vulnérabilité.

L'importance de ces venues d'eau rencontrées dans les exploitations de charbon du bassin de Gardanne, à l'est du méridien de Fuveau, amène à penser qu'elles ont, au moins en partie, pour origine une drainance appelant les eaux de la nappe circulant dans les calcaires du Jurassique supérieur. Cependant ce réservoir est également alimenté par une infiltration très forte depuis la surface : plusieurs cours d'eau s'infiltrent totalement (50 à 100 m^3/h) dans les calcaires fracturés du Fuvélien affleurant en surface et le pompage d'essai longue durée réalisé sur le puits de l'Arc a montré une baisse du niveau piézométrique attribuable à la situation d'étiage.

Aussi, il paraît important dans le cadre d'une exploitation éventuelle de cet aquifère d'identifier et de répertorier les zones infiltrations importantes sur les affleurements en

surface du Fuvélien, afin de prévoir des recommandations pour la préservation de cette ressource.

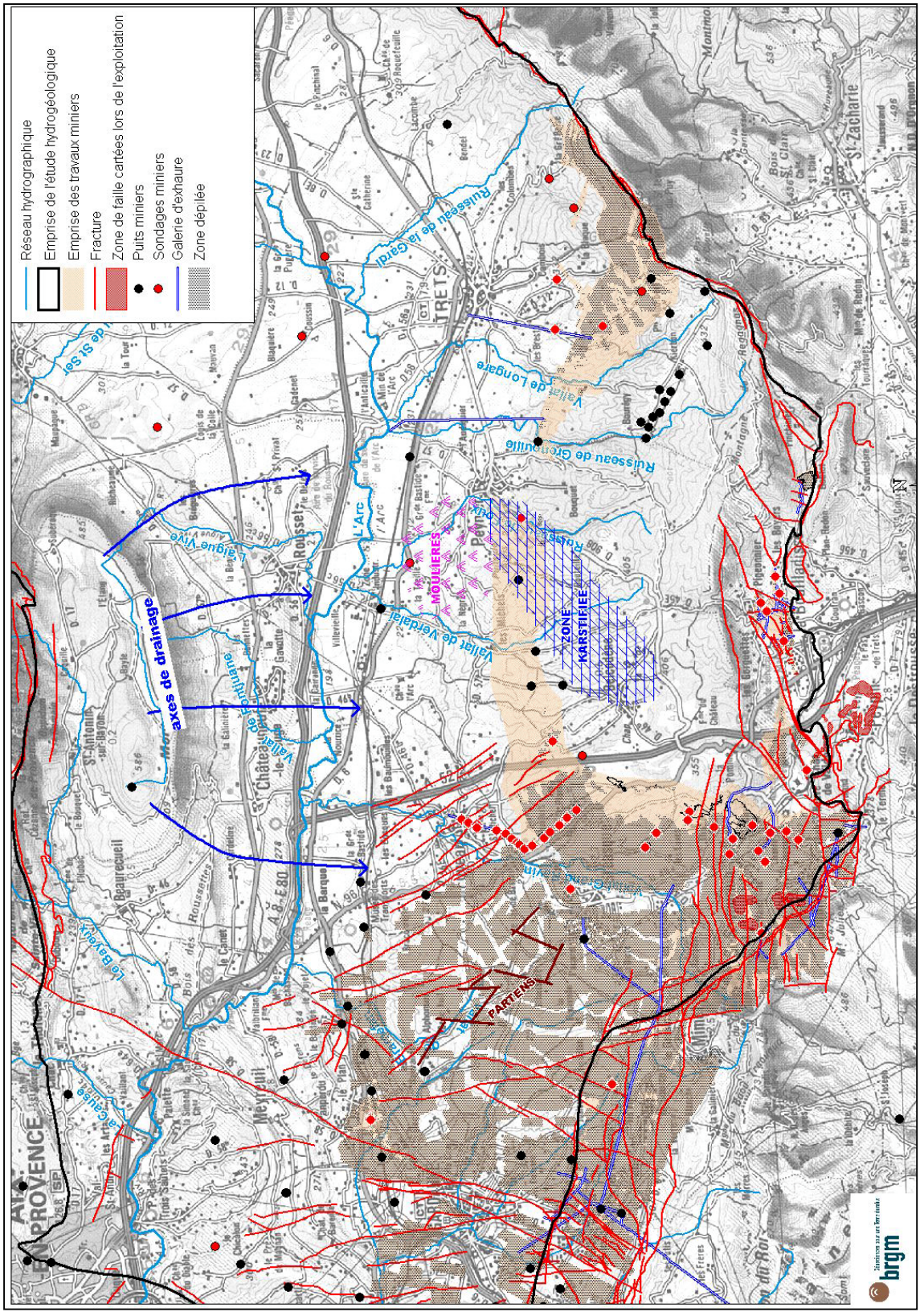


Illustration 29 : Carte de localisation des exploitations minières : zones dépilées, galeries et puits miniers.

3.3.6. Aquifère du Crétacé supérieur

Plusieurs niveaux présentant des faciès lithologiques proches ont été regroupés : sous le Valdonnien, qui joueun rôle d'écran imperméable de par son faciès à forte proportion d'argiles, les étages du Crétacé supérieur correspondent, pour notre zone d'étude, au Sénonien inférieur (du Coniacien au Santonien) caractérisé par un faciès marin.

3.3.6.1. Extension des formations

Les formations du Crétacé supérieur marin affleurent en une auréole de 2 à 5 km d'épaisseur autour du massif du Régagnas puis en un fin liseré dans le nord du Bassin à l'ouest depuis la base du massif de la Sainte-Victoire jusqu'à Pourcieux à l'extrémité l'est du Bassin. En limite est du bassin, le Valdonnien affleure également sous la forme d'une ceinture entourant la cuvette d'Ollières.

Ces formations s'enfoncent sous les formations du Fuvélien et forment en profondeur un synclinal d'axe sud-ouest / nord-est qui se calque sur la direction du massif du Régagnas.

3.3.6.2. Nature des formations

Le Valdonnien correspond à la régression amenant la disparition du golfe de Basse-Provence il y a 71 millions d'années (Ma) et montre par conséquent un faciès lacustre : il se présente sous la forme d'une alternance de calcaire argileux, de marnes et d'argiles. Cette formation constitue ainsi une semelle étanche entre le Fuvélien et le toit de l'aquifère du Sénonien inférieur calcaire sous-jacent (puissance moyenne = 70 m).

A la base du Sénonien, le Coniacien se présente sous la forme d'un calcaire fossilifère à joints stylolithiques et correspond à une extension de la transgression marine crétacée à l'ouest. C'est vers cette époque également que l'on suppose le changement d'orientation du bassin : une inflexion de l'axe synclinal vers le sud-ouest qui se calque sur le massif du Régagnas.

Le Santonien affiche clairement un faciès marin avec notamment des calcaires pseudo bréchiques, des calcarénites et des calcaires fossilifères. A cette époque, les limites du bassin s'étendaient au sud-ouest du bassin actuel de Gardanne et formaient le golfe de Basse-Provence. Le Santonien est totalement absent du massif de la montagne Sainte-Victoire. Sur la bordure du Régagnas, à l'est, des argiles et des grès se développent au détriment des calcaires.

Le Coniacien se présente sous la forme d'un calcaire fossilifère à joints stylolithiques et correspond à une extension de la transgression marine crétacée à l'ouest. C'est vers cette époque également que l'on suppose le changement d'orientation du bassin : une inflexion de l'axe synclinal vers le sud-ouest qui se calque sur le massif du Régagnas.

Trop peu de forages descendent suffisamment profondément pour qu'on puisse avoir une idée de la puissance du Crétacé inférieur dans le Bassin. Les sondages S6 et S23 au pied de la montagne du Régagnas dans la commune de Trets montrent respectivement une épaisseur de 66 m de Santonien et de 120 m de Crétacé supérieur dont 33 m de Valdonnien. Dans le bassin minier de Gardanne plus à l'ouest, cet étage fait 110 m d'épaisseur. Et enfin, au niveau du sondage GW2 en limite ouest du Bassin, cette épaisseur atteint plus de 210 mètres. Ainsi, les quelques ouvrages atteignant le Crétacé confirment l'épaississement des formations en profondeur selon l'axe du bassin.

3.3.6.3. Circulation des eaux

Les terrains du Crétacé couvrant une large zone du périmètre de l'étude, de nombreuses petites sources (débit de quelques L/s) y ont été observées (Arvois et Durozoy, 1969). Ainsi, on peut noter dans le Santonien, la source pérenne de Bourrilly (0,02 L/s) et celle de Mimet dans le Valdonnien (0,5 L/s)

Peu d'informations existent sur cet aquifère. En effet, à part le sondage S6 près de Trets, les forages existants sur le Bassin atteignent parfois le Valdonnien mais rarement les formations sous-jacentes. Cependant, on peut noter :

- des pertes totales d'injections dans les forages GW2, S6 et GN attribuées à l'existence de parterns* ;
- à l'est d'un méridien passant par Fuveau, le rôle d'écran imperméable joué par le Valdonnien cesse du fait de nombreuses fractures ce qui permet la communication avec le réservoir Fuvélien ;
- un biseautage des niveaux du Crétacé à mesure que l'on se déplace vers l'est du bassin, ce qui limite l'extension de l'aquifère.

Seuls 5 ouvrages atteignant les argiles du Valdonnien ont été recensés lors de l'enquête de terrain. Ils sont situés sur des affleurements de Bégudien ou de Fuvélien. Ces ouvrages, qui ont 30 à 100 m de profondeur, sont à des cotes piézométriques qui varient de +350 m NGF à +340 m NGF. Les venues d'eau rencontrées sont de l'ordre de quelques m³/h quelle que soit la saison. L'eau est généralement potable et sert d'approvisionnement en eau potable.

Il convient enfin de noter l'existence de niveau artésien en période de hautes eaux un peu à l'extérieur du bassin, vers Ollières.

Ainsi, les niveaux aquifères du Sénonien sont présents dans l'est du bassin au niveau de la ceinture de Valdonnien affleurant autour d'Ollières. Ces niveaux sont généralement en charge et jaillissant de façon temporaire. Le biseautage et la fracturation de cette formation à l'intérieur même du bassin permet certainement les circulations entre niveaux aquifères et une suralimentation par des niveaux plus aquifères.

3.3.6.4. Origine des eaux – relations entre aquifères

La reconnaissance de l'extension du gisement de lignite de Gardanne a montré l'absence d'écran efficace à l'est de Fuveau entre le Jurassique supérieur et le Fuvélien. A l'est de Fuveau, le rôle d'écran joué par le Valdonnien cesse du fait de la présence de nombreuses cassures. De plus, l'Urgonien est probablement absent (DSGR 66 A35). Cette absence locale de toit imperméable favorise les échanges entre l'aquifère du Crétacé supérieur et les aquifère sous-jacents.

Situé à l'extérieur de la frontière nord-ouest du Bassin, les forages réalisés pour les thermes Sextius à Aix-en-Provence nous donnent cependant des renseignements intéressants sur le faciès physico-chimique des eaux captées dans l'aquifère du Crétacé et sur le degré de karstification / fracturation de ce réservoir :

- les débits sont de l'ordre de plusieurs dizaine de m³/h ;
- des réseaux de fractures ont été mis en évidence ;
- la minéralisation des eaux thermales d'Aix laisse penser à un transfert par un karst fossile relativement ouvert (les teneurs en Ca et Mg sont relativement faibles) ;
- les teneurs en O^{18} montrent que les eaux thermales d'Aix proviennent d'une zone d'alimentation située entre 340 et 500 m, qui ne peut donc être située que dans le massif de la Sainte-Victoire. Cela implique un transfert des eaux en profondeur *via* les karts jurassiques et crétacés avec un réseau de failles et fractures.

3.3.6.5. Potentialités – Exploitation

Les niveaux aquifères du Sénonien représentent un intérêt local dans la zone d'affleurement du Valdonnien à l'est du bassin où il donne lieu à des ouvrages artésiens dans le cadre d'une exploitation individuelle.

Vers le centre du bassin, le Sénonien se biseaute presque entièrement et se limite à l'étage Valdonnien servant de limite étanche entre le Fuvélien et l'aquifère jurassique sous-jacent. La formation reprend de la puissance vers l'ouest.

3.3.6.6. Qualité des eaux

Le faciès de ces eaux est classiquement bicarbonaté calcique, comme le montre le diagramme de Piper, présenté dans l'Illustration 30. *A priori* , elles ne se distinguent pas de celles qui circulent au sein des formations carbonatées sus-jacentes.

3.3.6.7. Intérêt des niveaux aquifères

Disparaissant presque entièrement dans le bassin, l'aquifère sénonien ne présente qu'un intérêt très restreint en dehors de la limite du bassin dans le cadre d'une exploitation individuelle.

3.3.6.8. Etat des connaissances

Les connaissances disponibles sur les niveaux aquifères du Santonien sont peu nombreuses mais semblent suffisantes vu l'intérêt que représente cet aquifère pour une exploitation régionale.

3.3.6.9. Mesures à prendre pour la gestion de cet aquifère

Aucune mesure particulière de protection n'apparaît nécessaire compte tenu du niveau de connaissance actuel de cet aquifère.

3.3.7. Aquifère du Crétacé inférieur

Epoque de l'individualisation du bassin provençal avec une phase de compression provoquant les bombements provençaux, le Crétacé inférieur a donné naissance à une série d'anticlinaux et de synclinaux à grand rayon de courbure. A la fin du Crétacé inférieur, l'émersion du bassin est à l'origine d'un dépôt de Bauxite.

3.3.7.1. Extension des formations

Dans le bassin d'Aix-Gardanne, le Crétacé inférieur est essentiellement présent dans le massif de l'Etoile. Il affleure de manière très réduite dans le massif de Sainte-Victoire.

Cette formation présente de nombreuses variations stratigraphiques observées selon le secteur géographique:

- Massif de la Ste-Victoire et Ollières : présence de Valanginien sans Hauterivien ni urgonien, absence de Santonien ;
- Massif de l'Etoile : présence de Valanginien / Hauterivien et d'Urgonien peu épais, présence de Santonien ;
- Massif du Régagnas : absence de Valanginien, d'Hauterivien et d'Urgonien, présence de Santonien.

A l'intérieur de la zone d'étude, le Crétacé inférieur a été remarqué au niveau des sondages de Gardanne sud et Gardanne nord (Hauterivien). Les calcaires urgoniens (faciès lithologique rattaché au Crétacé inférieur dans la région), peu épais, ont été rencontrés en sondage dans le bassin de l'Arc, à l'ouest de Fuveau. Ainsi, de part et d'autre d'un méridien passant par Fuveau,

- à l'ouest, les aquifères du Fuvélien et et du Crétacé inférieur sont indépendants (écran imperméable joué par le Valdonnien), de même que les aquifères de l'Urgonien et du Jurassique (écran imperméable joué par le Valanginien-Hautrerivien) ;
- à l'est, le rôle d'écran joué par le Valdonnien cesse, du fait de la présence de nombreuses cassures et de la disparition probable de l'Urgonien.

Au delà de cette "limite de Fuveau" des hypothèses existent sur la présence en banc peu épais ou l'absence (lacune de sédimentation ou érosion) du Crétacé inférieur. Les résultats de l'interprétation des profils géophysiques dans cette partie, prévus en deuxième année, pourront apporter des éléments nouveaux quant à la présence ou non de cette formation dans le bassin.

3.3.7.2. Nature des formations

Le Crétacé inférieur regroupe plusieurs niveaux, d'un faciès majoritairement calcaire, entre le Néocomien constituant une semelle étanche, mur de l'aquifère et le dépôt de Bauxite en formant le toit, on trouve :

- le Berriasien (50 m de puissance au niveau de la Sainte-Victoire → 10 m au massif de l'Etoile) : calcaire gris noduleux à silex ;
- le Valanginien : calcarénites blanches massives et de calcaires en petits bancs (25 m Sainte-Victoire → 200 m au massif de Etoile) ;
- l'Hauterivien : calcarénites blanches massives, calcaires noduleux et calcaires argileux ;
- le Barrémien (faciès urgonien) : calcarénites blanches massives avec des intercalations dolomitiques ;
- le Bédoulien : calcarénites glauconieuses, marno-calcaires gris et calcaires siliceux noirs ;
- le Gargasien : marnes et calcaires noirâtres avec lentilles calcaréo-glauconieuses à Orbitolines.

Des remplissages bauxitiques de poches karstiques peuvent être observés au niveau du massif du Régagnas.

3.3.7.3. Circulation des eaux

L'écaille jurassique et crétacée de Simiane – Collongue nourrit une série de petites émergences le long du chevauchement.

La zone centrale dolomitique de l'Etoile et le plateau de la Mure sont drainés par la galerie à la mer. Cependant, les résultats du traçage réalisé par le bureau d'étude Géomidi en 1982 ont mis en évidence un drainage des eaux circulant dans l'autochtone Urgonien du Plateau de la Mure vers le centre du bassin (le traçeur a été retrouvé au niveau du bassin minier de Gardanne).

Il semble donc que les eaux météoriques du massif de l'Etoile aient deux directions de drainage : l'une vers le bassin de Marseille et l'autre vers le bassin minier de Gardanne. Il est possible qu'il y ait , soit une alternance saisonnière, soit des directions préférentielles de drainage le long des failles de chevauchement, communiquant avec le réservoir jurassique vers le nord qui se superpose à un écoulement gravitaire des niveaux crétacés vers le sud.

3.3.7.4. Origine des eaux – relations entre aquifères

Les eaux du Crétacé inférieur de l'Etoile proviennent des eaux météoriques drainées par ce massif bordier de la zone d'étude.

3.3.7.5. Potentialités – Exploitation

Non présent à l'affleurement et hypothétique en profondeur, l'aquifère du Crétacé inférieur n'est pas exploité à l'intérieur de la zone d'étude du bassin d'Aix-Gardanne.

3.3.7.6. Qualité des eaux

Peu d'analyses sont disponibles pour caractériser le faciès de ces eaux. Leur faciès est bicarbonaté calcique et/ou magnésien, comme le montre le diagramme de Piper de l'Illustration 30. Elles ne sont *a priori* pas discernables des eaux issues du Crétacé supérieur.

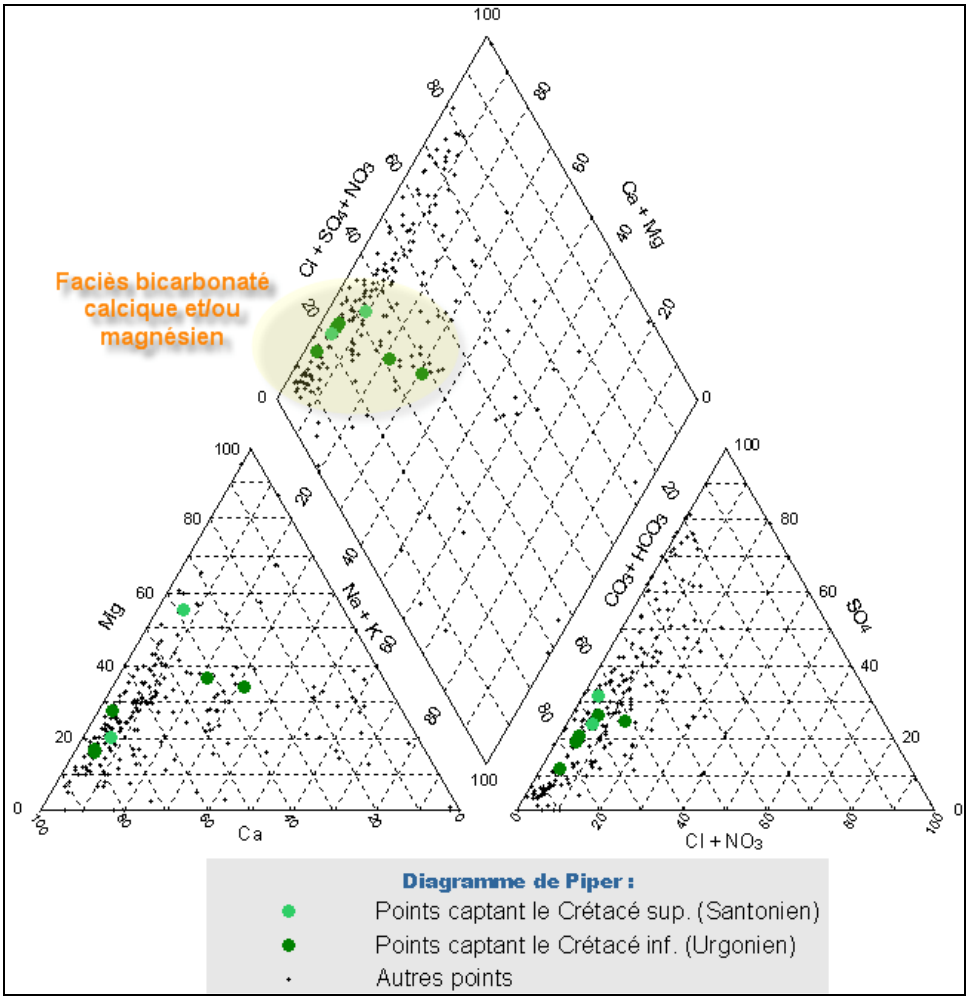


Illustration 30 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Crétacé.

3.3.7.7. Intérêt des niveaux aquifères

Le Crétacé inférieur est très peu présent à l'intérieur de la zone d'étude, il ne présente pas d'intérêt pour une exploitation.

3.3.7.8. Etat des connaissances

Les connaissances de cette formation devraient être nettement améliorées par l'apport de la géophysique et du modèle de géologique numérique (prévus en phase 2 de l'étude).

Il semble important caractériser les échanges qui peuvent exister entre le centre du bassin et le massif de l'Etoile au sud-ouest de la zone d'étude qui pourrait s'avérer être une zone de réalimentation des niveaux inférieurs (Jurassique) via les failles chevauchantes. Les outils hydrochimiques et piézométriques pourront être déployés pour comprendre ces communications.

3.3.7.9. Mesures à prendre pour la gestion de cet aquifère

En l'état actuel des connaissances, aucune mesure particulière n'est à prendre concernant cet aquifère.

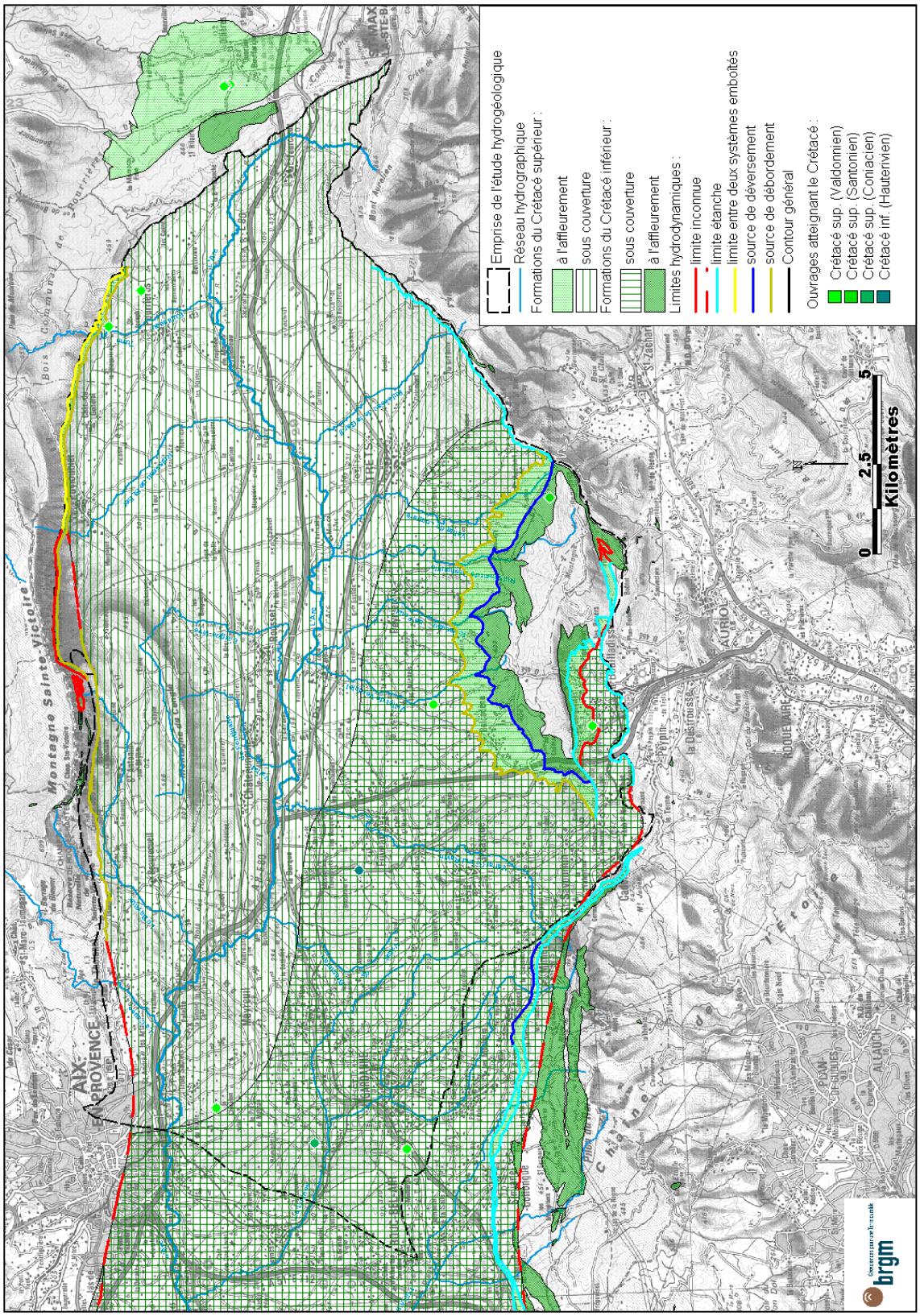


Illustration 31 : Carte synthétique des aquifères du Crétacé supérieur et du Crétacé inférieur.

3.3.8. Aquifère du Jurassique

3.3.8.1. Extension des formations

Il regroupe l'Argovien, le Kimméridgien, le Portlandien. Ces formations forment les crêtes des différents massifs bordiers : la Sainte-Victoire au nord, le Bois de Pourrières au nord-est, l'Etoile au sud-ouest et l'Aurélien au sud-est mais également le Régagnas.

Chronologiquement, à partir de l'Oxfordien, la subsidence qui affecte la Basse Provence se généralise. L'extension maximale de la mer se situe au Kimméridgien. Au Portlandien, le domaine marin se restreint. Une barrière récifale s'installe et sépare la mer Dauphinoise (faciès Tithonique*) d'une zone provençale très peu profonde dans laquelle se forment des calcaires souvent dolomitisés. La carte présentée en permet de visualiser l'extension de ces formations.

3.3.8.2. Nature des formations

- l'Argovien est constitué de calcaire gris noduleux. D'une puissance de 75 m au nord du bassin, il disparaît ou s'amoindrit fortement au sud.
- le Kimméridgien se présente sous la forme d'un calcaire gris à grains fins avec quelques lentilles dolomitiques. D'une puissance d'environ 500 m à la Sainte-Victoire, il s'amoindrit très fortement au sud.
- enfin, le Portlandien est formé de calcaires gris à grains fins ou calcaires blancs d'un ensemble récifal très important ; ils forment notamment la crête de la Sainte-Victoire (550 m de puissance). On note également quelques intercalations dolomitiques.

A noter que le Jurassique peut être, soit **allochtone** (amené par les nappes de charriage, ses épaisseurs peuvent être très importantes et on peut assister à des doublements, voire à des triplements de série, au gré des mises en place de ces nappes tectoniques), soit **autochtone**, c'est à dire en place dans le bassin.

3.3.8.3. Circulation des eaux

Peu d'ouvrages atteignant le Jurassique sont disponibles sur la zone d'étude. En BSS, seul le sondage S6 au sud-est de Trets atteint le Portlandien du dôme du Régagnas à 66,50 m de profondeur (côte altimétrique : +382 m NGF)

Six ouvrages recensés lors de l'enquête atteignent les niveaux aquifères du Jurassique supérieur. Ils sont tous situés dans l'est de la zone d'étude sur les communes de Pourcieux et Ollières, là où le Jurassique est situé à moindre profondeur (100 – 150 m) :

- les niveaux piézométriques varient de la côte +280 m NGF à +360 m NGF ;
- l'aquifère jurassique est atteint sous des formations argileuses en affleurement (Argile du Bégudien marnes du Fuvélien) ;

- l'eau est généralement utilisée comme unique alimentation en eau de la propriété, sans problème de recharge.

Ainsi, l'aquifère jurassique est peu accessible sur le bassin mais les arrivées d'eau massives dans les niveaux stratigraphiques sus-jacents lui sont souvent attribuées. Il constitue l'aquifère le plus méconnu mais le plus productif de la zone d'étude.

3.3.8.4. Origine des eaux – relations entre aquifères

Le rôle d'alimentation de la limite nord du bassin *via* le Massif de la Sainte-Victoire et les Bois de Pourrières a souvent été présumé et cité dans la littérature. En effet, ces massifs sont drainés par l'exurgence du Gour de la Tune (nord de Pourrières) qui ne fonctionne qu'en période de crue et les sources de l'Argens et de Sceaux. Le large affleurement du Jurassique supérieur au nord de Puyloubier confèrerait alors à cet aquifère une grande capacité d'infiltration. Cependant aucun traçage de vérification n'y a été effectué.

Le massif de l'Etoile n'a pas d'exutoire connu. Il est drainé par la galerie à la mer qui sert également d'évacuation aux eaux d'exhaure du bassin minier.

L'Olympe est en partie drainé par l'Huveaune à l'est de Saint-Zacharie.

Le puits de l'Arc et les sources 90 ont une origine jurassique signée par leur hydrochimie (Chalumeau, 1999) :

- l'altitude moyenne de l'impluvium des eaux du puits de l'Arc est de 665 m en période d'étiage et de 620 m en période de crue (argument supplémentaire d'une alimentation jurassique puisque l'altitude des affleurements du Fuvélien du massif du Régagnas est de 350 m) ;
- les eaux prélevées au sondage de Fuveau et aux sources 90 révèlent que leurs altitudes moyennes d'impluvium sont respectivement de 600 m et de 610 m. Ces niveaux, un peu plus faibles, indiquent une proportion des eaux issues du Fuvélien plus important dans les eaux situées à l'est des zones exploitées que dans les eaux du puits de l'Arc.

Les campagnes isotopiques ont ainsi montré que les sources 90 et le puits de l'Arc étaient alimentées par le Jurassique ; leurs eaux sont faiblement minéralisées et à circulation rapide. En période de crue, l'aquifère Fuvélien apporte un volume d'eau supplémentaire.

3.3.8.5. Potentialités – Exploitation

Peu exploité à part par quelques particuliers en bordure est du bassin, l'aquifère du Jurassique présente cependant de fortes potentialités.

3.3.8.6. Qualité des eaux

Le diagramme de Piper permet de visualiser le faciès des eaux issues de cet aquifère :

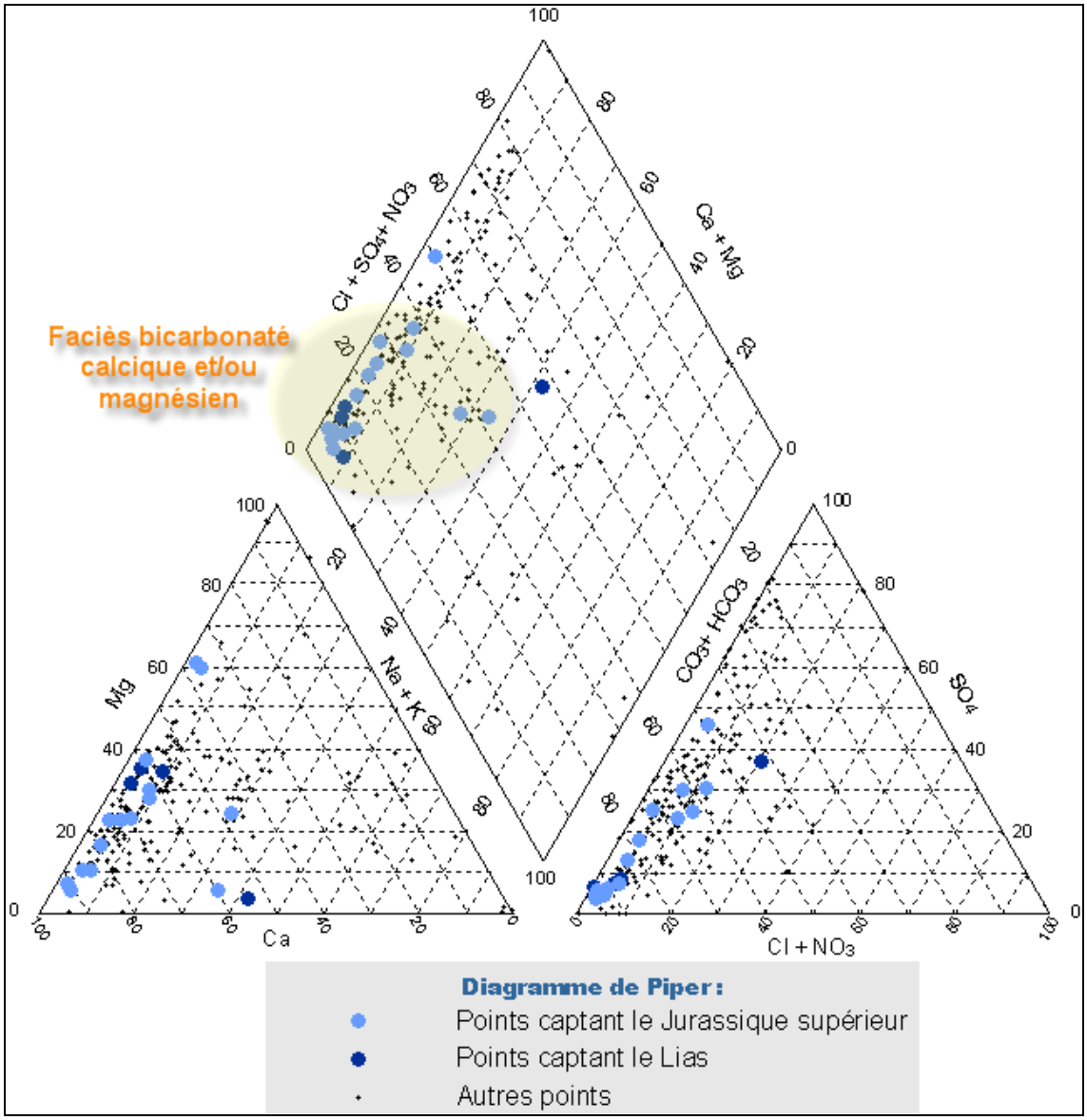


Illustration 32 : Diagramme de Piper des eaux provenant des formations du Jurassique (Jurassique supérieur et Lias).

Si le faciès paraît similaire (au moins pour le Jurassique supérieur) aux eaux issues des autres formations, à savoir bicarbonaté calcique et/ou magnésien, ces eaux recèlent des teneurs en fluor élevée, liées à leurs conditions de résidence en milieu réducteur, qui permet de les "tracer".

Ce sont en effet les analyses des éléments traces et des teneurs isotopiques de l'eau et de ses espèces dissoutes qui permettent (et permettront en seconde phase de l'étude) de différencier l'origine des eaux.

3.3.8.7. Intérêt des niveaux aquifères

L'aquifère Jurassique est de loin le plus productif de la zone d'étude et présente un potentiel élevé en vue d'une exploitation régionale. Très peu connu dans son fonctionnement, il nécessitera des investigations complémentaires afin de connaître plus précisément son hydrodynamisme (aire d'alimentation, modalité de renouvellement, réserve…). Cela fait l'objet d'un programme d'investigation proposé dans le cadre de la seconde phase de cette étude.

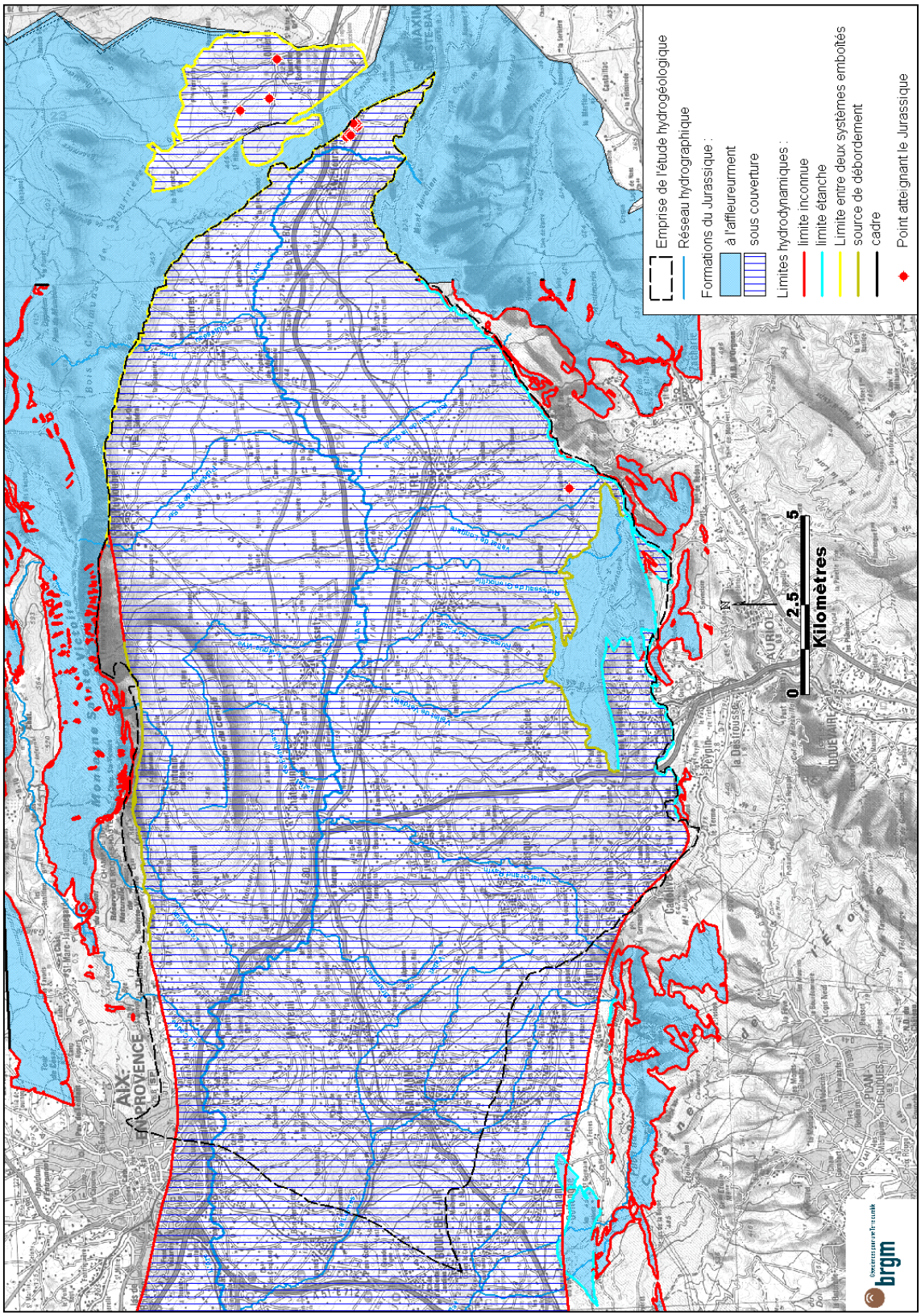
3.3.8.8. Etat des connaissances

L'aquifère du Jurassique étant l'aquifère majeur de la zone d'étude, il semble important d'améliorer la connaissance de la structure du réservoir, de comprendre son fonctionnement d'ensemble en vue de dégager le potentiel exploitable de cette ressource. Il s'agira notamment :

- de prévoir une campagne pour caractériser le degré de fissuration et de karstification du Jurassique ;
- d'identifier les directions d'écoulement via un suivi piezométrique ;
- de vérifier les hypothèses d'alimentation aux limites du bassin grâce aux outils piézométriques et de traçage ;
- d'appréhender les mélanges entre aquifères par le biais de l'hydrochimie ;
- de réaliser des pompages d'essai pour approcher les paramètres hydrodynamiques locaux de l'aquifère.

3.3.8.9. Mesures à prendre pour la gestion de cet aquifère

En l'état actuel des connaissances, aucune mesure n'est à prendre. Cependant si les zones karstiques du nord et du nord-est du bassin sont démontrées être des aires d'alimentation pour l'aquifère jurassique, des études de vulnérabilité de la zone et des préconisations pour la protection de la ressource seront à prévoir. De même, en l'absence d'information, il est difficile d'appréhender l'impact de l'arrêt des exploitations minières du Fuvélien sur le fonctionnement de l'aquifère du Jurassique. Il faudra peut-être envisager le cas où ces modifications de flux au sein des formations du Crétacé ont des répercutions sur la charge dans le réservoir du Jurassique.



Ilustration 33 : Carte synthétique des aquifères du Jurassique.

4. Bilan général du Bassin

4.1. SYNTHÈSE DU FONCTIONNEMENT DES AQUIFÈRES PROFONDS

On a vu, au cours des chapitres précédents, que les réservoirs contenus dans les formations du Crétacé inférieur ou du Jurassique supérieur étaient les plus prometteurs en termes de ressources mobilisables. De nombreuses zones d'interrogations restent cependant sans réponse, au vu de la rareté des informations à ce jour disponibles.

Ainsi, alors que pour ce qui concerne les aquifères les moins profonds (jusqu'au crétacé supérieur), il peut être admis que la recharge se fait à l'intérieur des limites du bassin superficiel de l'Arc, pour ce qui est de la recharge des niveaux du Crétacé inférieur et, *a fortiori*, du Jurassique, une partie au moins des zones de recharge sont implantées en dehors de ces limites. Les contours des bassins hydrogéologiques sont donc variables en fonction des aquifères considérés.

Ainsi, pour les aquifères du Crétacé inférieur ou du Jurassique supérieur, le schéma de l'Illustration 34 peut-il être retenu :

Les lignes de partage des eaux supposées (issues des travaux de thèses, comme celle de Chalumeau, 1999) et des résultats des quelques traçages) sont à rechercher à l'extérieur du bassin hydrologique de l'Arc :

- au nord de la Montagne de la Sainte-Victoire (la source de la Papeterie, rejoint le cours de la Durance) ;
- au nord-est des bois de Pourrières (la source de l'Argens draine une partie des écoulements) ;
- au sud est du Mont Aurélien.

4.2. ETUDE DES KARSTS PROFONDS ET/OU SOUS COUVERTURE

Les aquifères karstiques possèdent des vides organisés en une structure hiérarchisée de drainage. La mise en place de ces vides dépend du contexte géologique (lithologie, géométrie, fracturation), de l'organisation des bassins versants de surface ainsi que la géomorphologie régionale avec la position du niveau de base hydraulique.

Le processus de karstification, processus dynamique, est ainsi conditionné par un facteur « géologique » (état du massif carbonaté, joints de stratification, fractures ouvertes…) et par un facteur « hydrogéologique – hydrogéochimique », à savoir le potentiel de karstification. Le potentiel de karstification est défini par une différence de potentiel hydraulique indispensable entre la zone d'alimentation et le point d'émergence, et par l'existence d'un flux de solvant de la roche encaissante (eau agressive chargée en CO_2). La géomorphologie et le climat (précipitations, couvert végétal notamment) conditionnent la quantité d'eau, de CO_2 et l'énergie nécessaire à

l'écoulement pour le transport des matières dissoutes au travers de la zone d'infiltration.

Le développement de la karstification est ainsi fonction en partie de la gravité, donc de la différence d'altitude entre la zone d'infiltration et le niveau de base. D'autres facteurs tels que le gradient thermique et le gradient chimique interviennent également dans le processus de karstification.

La karstification en profondeur est à mettre en relation, soit avec des mouvements tectoniques verticaux (subsidence par exemple, tectonique de distension,…), soit avec des variations importantes du niveau de base, soit encore avec l'existence d'hydrothermalisme. Dans les régions péri-méditerranéennes, le niveau de base hydraulique du système ou de l'aquifère karstique est relié au niveau de base de la Méditerranée. Au cours de l'histoire géologique, de nombreuses périodes favorables au développement karstique se sont développées comme par exemple le début du Miocène (-23,5 Ma). La crise de salinité du Messinien a engendré un abaissement du niveau de base, ayant pour conséquence une accentuation de l'érosion, du creusement de vallées et de canyons au niveau des cours d'eau. Les réseaux karstiques se sont ainsi approfondis et réorganisés. L'action conjuguée de ces deux phénomènes a créé notamment le massif des Calanques.

4.3. BILAN QUALITATIF ET QUANTITATIF DES EAUX DU BASSIN

4.3.1. Exutoires et pertes

D'une façon générale, l'hydrologie du secteur (bassin de l'Huveaune, hydrologie de la Nerthe, hydrologie de l'Arc), caractérisée par des cours d'eau aux variations de débit important et par de nombreuses petites vallées sèches, souligne bien l'incompatibilité de débit superficiel et de la quantité des précipitations annuelles, montrant de par la même l'importance des débits souterrains en liaison avec le cadre hydrogéologique de type karstique de ce secteur de Basse Provence.

En massif calcaire, seulement 25 à 30 % des précipitations se retrouvent aux différents exutoires, le reste constituant le ruissellement de surface.

Les essais de bilans hydrogéologiques réalisés montrent généralement un déficit d'écoulement révélateur parfois de pertes en mer de plusieurs m³/s (Nerthe, Marseilleyre), les quelques exutoires connus ne reflétant pas la totalité des eaux infiltrées.

Les données existantes sont toutefois trop éparses et hétérogènes pour permettre de dresser un bilan chiffré à l'échelle du bassin de l'Arc.

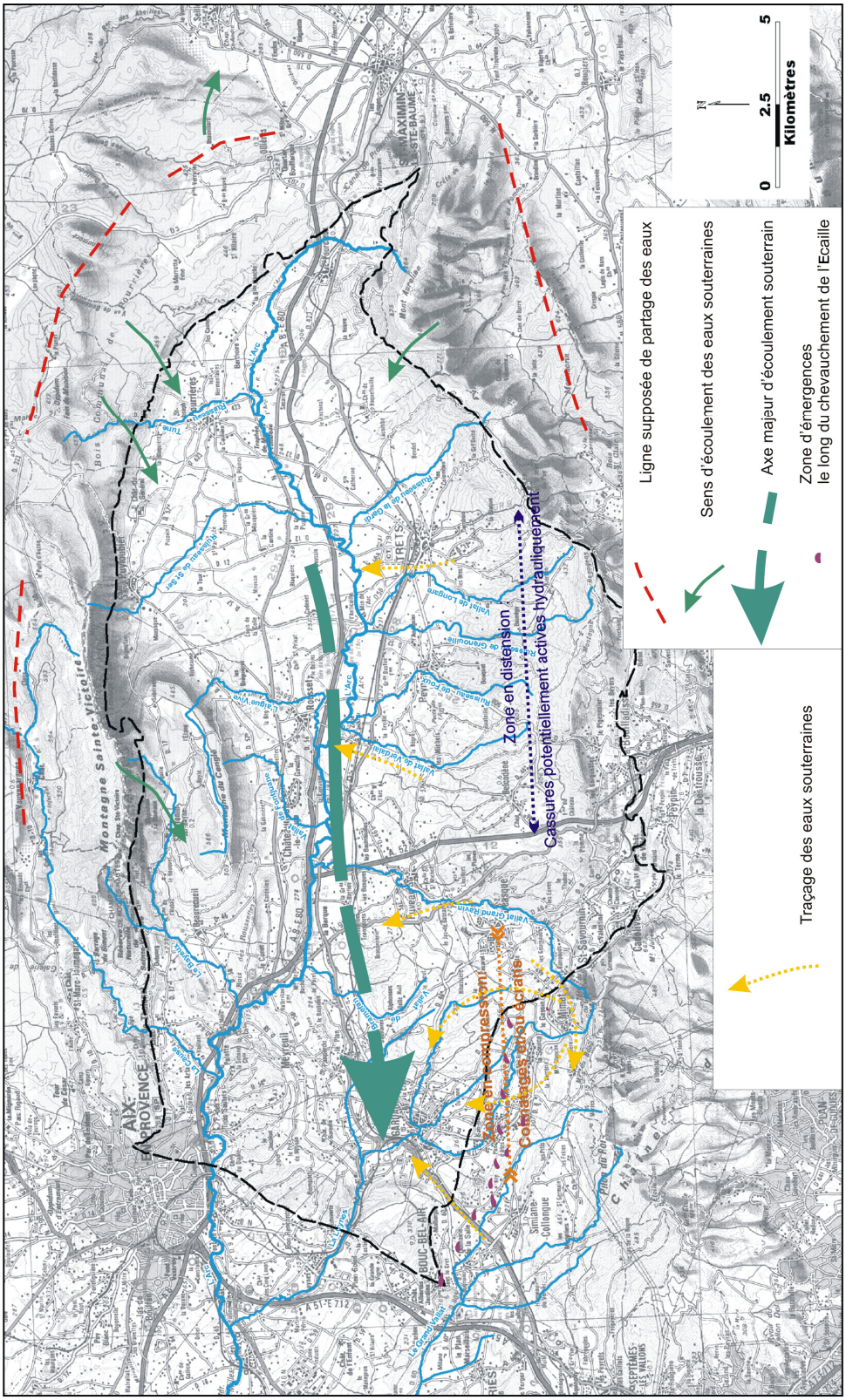


Illustration 34 : Schéma de synthèse des écoulements souterrains au sein des aquifères du Crétacé inférieur ou du Jurassique supérieur, tels que connus à l'issue de la phase 1 de l'étude.

4.3.2. Apport des données géochimiques issues de la bibliographie

Le recueil et la synthèse des informations géochimiques existantes sur les points d'eau du secteur d'étude a permis la constitution d'une base de données géochimiques présentée sous forme de tableau dans l'annexe 2.

La base de données constituée (363 analyses) est très hétérogène (cf. tableau). Les paramètres physico-chimiques (conductivité, température, pH) ne sont pas systématiquement connus. Il en va de même pour les éléments majeurs, mineurs et traces. Les éléments chimiques les mieux représentés sont les suivants :

- **Ca, Mg, Na + K, HCO3, SO4 et Cl :** nous disposons de 322 échantillons d'eau pour lesquels ces paramètres sont tous connus.

- **Sr, F, Fe, Si (quelques analyses)**

- **métaux lourds (Cu, Zn … quelques analyses)**

L'examen de la base de données permet de faire les constations suivantes :

- l'analyse des éléments majeurs : compte tenu du nombre suffisant de données, il est envisageable de procéder à une analyse statistique multivariable pour déterminer les caractéristiques chimiques du/des aquifères de la zone d'étude ;
- l'analyse des éléments mineurs : les données sur les éléments traces sont rares ou alors peu fiables (seuils de détection insuffisants). Il est donc impossible de procéder à une analyse statistique.

4.3.2.1. Méthode employée

L'analyse multivariables des données permet de donner une image synthétique de l'ensemble des données en tenant compte de leur structure interne. Les analyses multivariables facilitent l'interprétation des données en présentant l'information contenue dans le tableau des résultats analytiques sous une forme plus condensée et généralement plus significative. Pour décrire un ensemble d'individus (ou d'échantillons) caractérisés par plusieurs variables (ou paramètres), une analyse en composantes principales (ACP) peut être réalisée. Dans ces ACP, le nuage de points (à N dimensions, "N" étant le nombre de paramètres) est projeté dans un certain nombre de plans qui représentent plus ou moins bien sa forme. On choisit les plans les plus représentatifs (qui expriment le mieux la variance des échantillons, c'est à dire la forme du nuage)

L'ACP (analyse en composantes principales) a été utilisée pour discriminer des groupes d'individus au comportement homogène. L'emploi de ces outils statistiques permet, entre autre, d'isoler les différents fonds géochimiques naturels, des apports anthropiques lorsqu'ils existent.

Cette méthode permet d'analyser plus finement les populations de points que ne le font les diagrammes de Piper présentés dans les chapitres précédents.

4.3.2.2. Résultats du traitement des données de la bibliographie

Dans un premier temps, les facteurs qui permettent d'identifier et de séparer les différents types d'eau en présence dans le secteur d'étude ont été sélectionnés. L'analyse a porté sur les paramètres suivants : Ca, Mg, Na+ K, Cl, HCO_3 et SO_4.

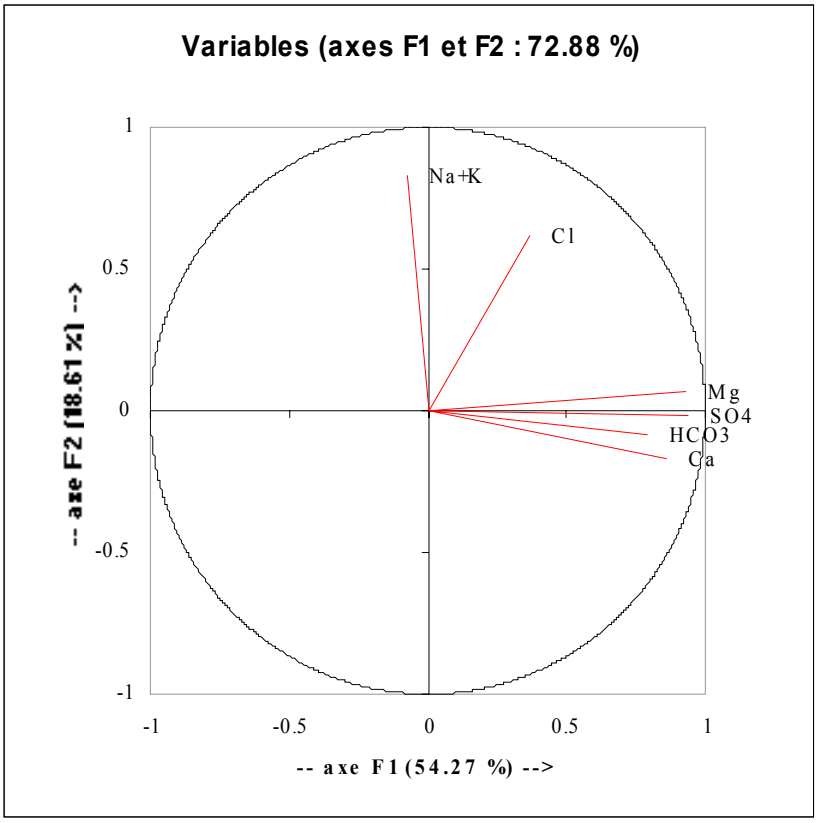


Illustration 35 : ACP : corrélation variables - facteur principaux. Projection dans le plan F1-F2 de l'espace des variables.

- Les deux premiers facteurs permettent d'expliquer près de 73 % de la variance totale. L'axe 1 permet de qualifier la minéralisation des eaux tandis que l'axe 2 permet de distinguer les eaux par leurs teneurs en chlorure, sodium et potassium. La conductivité des eaux est principalement expliquée par les paramètres Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^- et SO_4^{2-}.
- La projection dans l'espace des individus permet de distinguer très nettement les différents types d'eau et d'interpréter certain des résultats en terme de mélange. Ainsi, 4 populations peuvent être distinguées dans cette projection :
  - Population 1 : fortement influencée par les gypses du Trias (Lambeau Charrié)
  - Population 2 : Karst étoile, Mure, eau bicarbonaté calcique

- Population 3 : sodique et potassique (Les Louvas, les Roquettes-Fuveau)
- Population 4 : chloruré (TB Gréasques , TB nord sud puits Boyer, sondage 590 vidange vieux travaux) ou chloruré sodique-potassique (Sce Garry dans le Miocène)

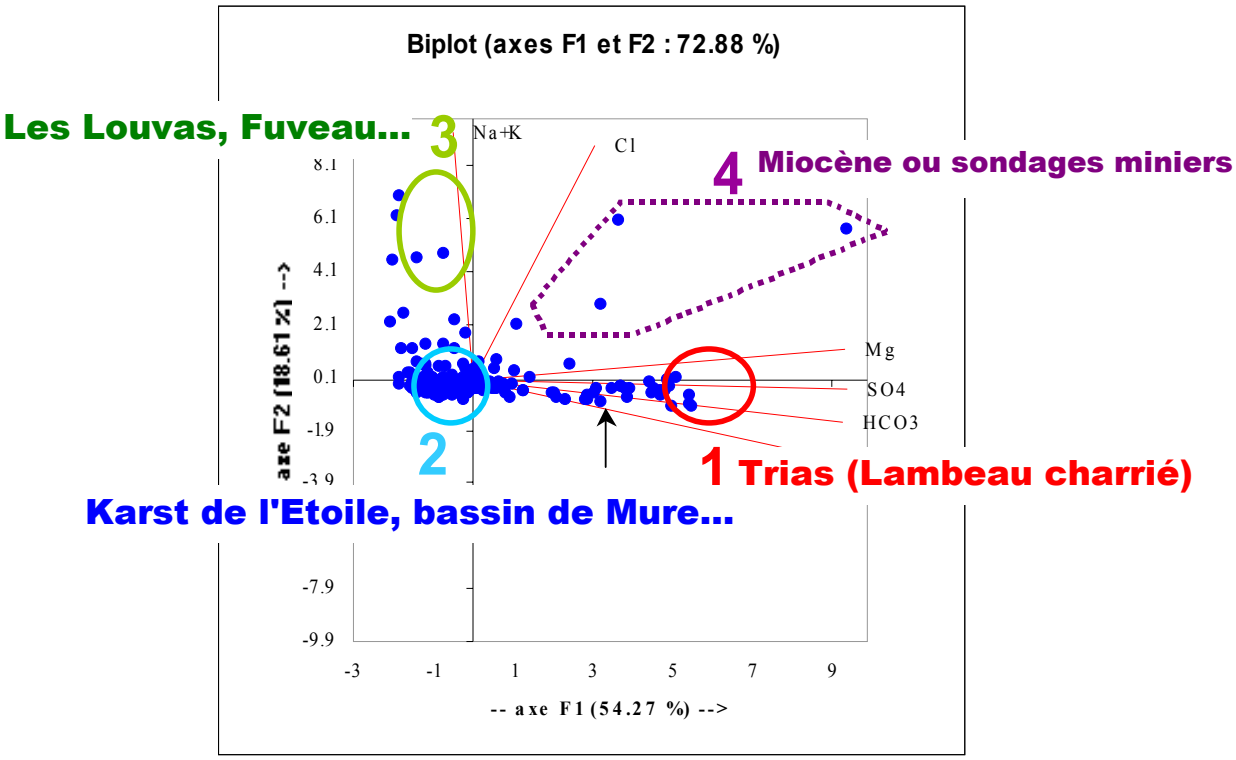


Illustration 36 : ACP : projections des échantillons dans le plan principal F1-F2

L'analyse en composante principale permet de différencier les types d'eau en présence au sein de l'hydrosystème complexe. Les résultats indiquent que les problèmes de teneurs élevées en sulfate (>300 mg/L), rencontrées pour un certain nombre d'échantillons, ne sont pas uniquement liés à la présence de pyrites dans le milieu. En effet, les résultats obtenus indiquent la participation d'eau ayant été au contact avec les évaporites (gypses) du Trias. Ces eaux sont également caractérisées par de très fortes teneurs en Strontium (> à l'eau de mer).

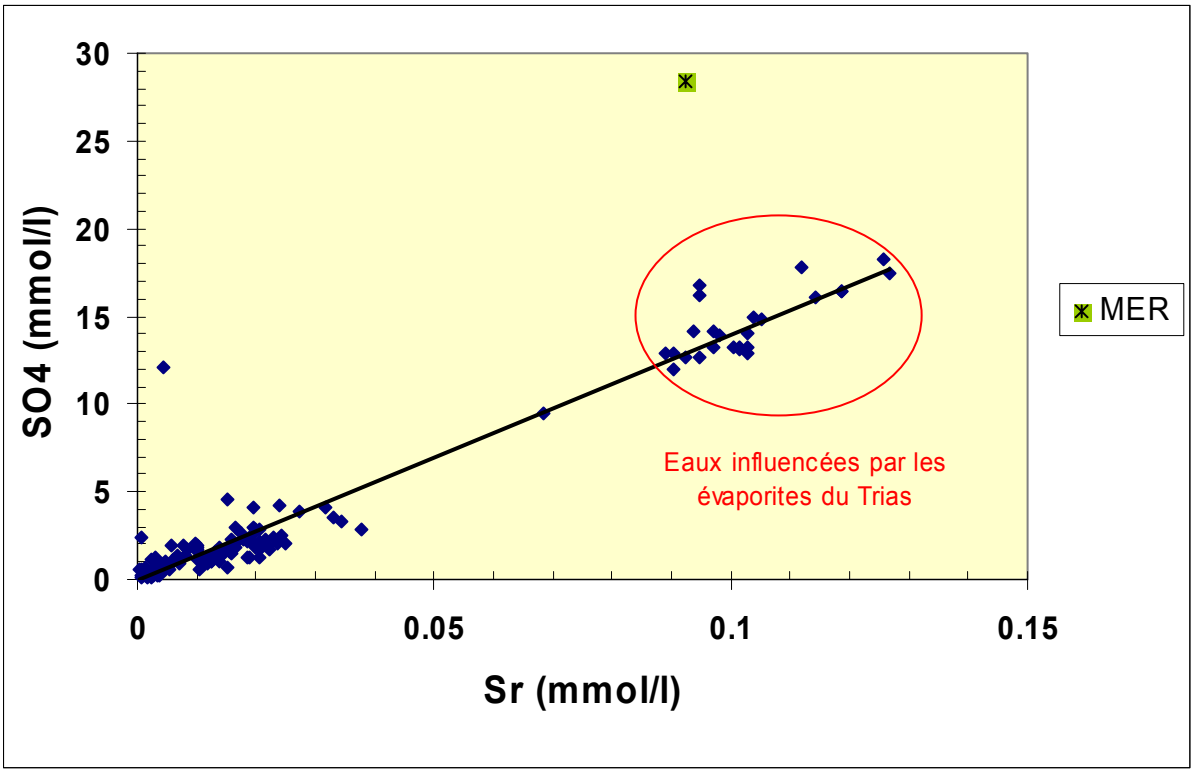


Illustration 37 : Evolution des sulfates en fonction des concentrations en strontium

La présence de Fluor a des teneurs parfois très importantes (jusqu'à 9 mg/l), notamment dans les eaux du Lambeau charrié et du puits Gérard, suggèrent la participation d'eau issue du Jurassique profond.

La problématique des interactions entre les eaux du karst et les aquifères profonds peut être abordée par l'approche géochimique. En effet, l'interprétation et la valorisation des données géochimiques existantes apportent des informations intéressantes pour la compréhension de cet hydrosystème complexe. Les résultats indiquent la participation d'eau profonde ayant été en contact avec les formations du Trias et d'eaux vraisemblablement issues des formations profondes du Jurassique. La compréhension du fonctionnement devra être abordée par une étude géochimique détaillée (éléments majeurs et traces) couplé à l'utilisation de traceurs isotopiques, isotopes du strontium notamment.

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

phénomènes de mélange et de participation de différents réservoirs évoluant au cours du cycle hydrologique.

5. Conclusion

La collecte et la synthèse des données disponibles concernant les différents aquifères superposés au sein du bassin de l'Arc, objet de la première phase de ce travail, ont permis de cerner les problématiques sans toutefois atteindre un niveau de détail poussé, du fait de l'hétérogénéité de ces données.

Des unités ont ainsi pu être mises en évidence, qui s'appuient sur la lithostratigraphie définie par de nombreux auteurs dans le passé.

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

Les aquifères les plus profonds sont donc ceux du Jurassique, qui constitue l'étage le plus bas de ce modèle de réservoirs empilés.

Du plus superficiel (récent) au plus profond (ancien), les réservoirs identifiés sont les suivants :

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

Pour appréhender la structure et l'enveloppe de ces réservoirs, l'analyse géo-structurale a été complétée par la réinterprétation de sondages sismiques anciens présents sur le secteur.

Les données recueillies, ainsi que les références bibliographiques, ont été stockées dans une base de données numériques, construite dans ce but sous Microsoft Access®.

Il ressort de l'analyse des données existantes :

- d'une part, que les ressources les plus importantes sont bien à rechercher au sein de l'aquifère du Jurassique supérieur, ou du crétacé inférieur ;
- d'autre part, que les limites des bassins hydrogéologiques liés à ces aquifères sont à rechercher au delà les limites du bassin hydrologique. Il est probable que la

structure synclinale du bassin serve de "guide" aux écoulements souterrains, qui s'évacueraient en grande partie dans la mer en suivant l'axe est / ouest de la gouttière synclinale.

Cela dit, l'établissement d'un bilan hydrologique est impossible à partir des données existantes, et encore moins l'estimation fiable des ressources mobilisables dans les réservoirs profonds.

Si la structure et la géométrie des réservoirs aquifères profonds du bassin d'Aix-Gardanne sont ainsi mieux connus, il reste donc à en caractériser le fonctionnement hydrodynamique afin de dresser un premier bilan et d'estimer le potentiel exploitable de l'aquifère. C'est l'objet de la phase 2 de ce travail, qui débutera en 2005.

Il sera notamment nécessaire d'appréhender :

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

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

- l'étude par traitement du signal de la Galerie à la Mer et de quelques exutoires (sources de trop plein) ;
- le suivi de la remontée des eaux des mines de Gardanne ;
- une campagne piézométrique avec :
    - des relevés selon un axe est / ouest pour déterminer un gradient d'écoulement dans le bassin ;
    - des relevés multi-niveaux pour appréhender les communications entre réservoirs ;
- des datations isotopiques ;
- des traçages ciblés sur les zones aux limites où subsistent des incertitudes.

Les tâches décrites ci-dessus devraient permettre de mieux appréhender les volumes et le fonctionnement des réservoirs souterrains profonds du bassin d'Aix-Gardanne.

Bibliographie

ANTEA & BURGEAP (2001) - Etude préliminaire des aquifères patrimoniaux karstiques du bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Arvois R. & Durozoy G. (1969) - Inventaire des ressources hydrauliques du bassin de Gardanne (Bouches-du-Rhône-Var). Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31 Décembre 1968 - Rapport BRGM 69 SGL 193 PRC.

Banton O., Bangoy L. (1999) - Hydrogéologie. Multiscience environnementale des eaux souterraines - Presse de l'Université du Québec, 460 p.

Biberon B. (1988) - Mécanismes et évolution de chevauchements à vergences opposées. Exemple des structures de la Sainte-Victoire (Provence) . thèse Univ. J. Fourier, Grenoble.

Bassin Rhône - Méditerranée - Corse (1999) - Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques - Guide Technique n°3.

Castany G. & Margat J. (1977) - Dictionnaire français d'hydrogéologie, BRGM, 249p.

Chalumeau A. (2000) - Fonctionnement hydrogéologique des exploitations de lignite du bassin de Fuveau (Bouches-du-Rhône) - Université de Franche-Comté. 128 p.

Durand J.P., Guieu G. (1966) - La région sud-orientale du bassin de l'Arc et la bordure de l'Aurélien et du Défens de Saint Maximin (Var). Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille t26, 53-68

Durand J.P., Guieu G. (1980) - Cadre structural du bassin de l'Arc. Industrie minérale. Supplément juin 1980, Edition BRGM.

Durozoy G. (1978) - Etablissements Sellier-Leblanc. Bassin de Gardanne - Puits de l'Arc (Bouches-du-Rhône). Données hydrogéologiques.- Rapport BRGM 78 SGN 648 PAC.

Durozoy G. & Gouvernet Cl. (1966) - Esquisse hydrogéologique du bassin de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Programme de reconnaissance de la nappe du Jurassique - Rapport BRGM DSGR.66A.45.

Durozoy G., Gouvernet Cl., Guieu G., Sauzedde E. (1966) - Le Bassin de Gardanne (Bouches-du-Rhône). Nouvelles données sur l'hydrogéologie et compléments d'études possibles - Rapport BRGM DSGR66.A.35

Gaviglio P. (1985) - La déformation cassante dans les calcaires Fuvéliens du bassin de l'Arc (Provence) - Thèse de doctorat d'Etat, 219p.

Glintzboeckel Ch. (1980) - Reconnaissance de l'extension du gisement de lignite de Gardanne. Synthèse des résultats - Rapport BRGM 80 SGN 357 PAC.

Gonzales J.F. (1989) - La déformation cassante dans le bassin de Gardanne (Provence). Aspect microtectonique de l'influence structurale du Régagnas. Thèse Univ. De Provence, Aix-Marseille 1.

Guieu G. (1967) - Un exemple de tectonique tangentielle : l'évolution du cadre montagneux de Marseille. Bull. Soc. Géol. France, 7, IX, 4, 610-630.

Guieu G., Rousset Cl. (1978) - Structures, paléostructures, paléogéographie et genèse des bauxites en Provence. Bull. BRGM (2), section II, n°3, p 311-322.

HBCM - D.S.A. (2002) - Ensemble de 12 concessions du bassin de Provence : C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10, C13, C14, C16, EG. Mémoire, 95 p.

Rousset C. (1975) - Le front de chevauchement nord-provençal à la Barben (Bouches-du-Rhône) : interprétations générales. C.R. Acad. Sci. Fr. t 280 p. 2195 - 2198.

Tempier C., Durand J.P. (1981) - Importance de l'épisode tectonique d'âge Crétacé supérieur dans la structure du versant méridional de la montagne Sainte-Victoire (Provence). C.R. Acad. Sc. Paris, t293, p629-632

Tempier C. (1987) - Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. Bull. Soc. Géol. France, (8), tIII, n)3, PP 533-540.

Vandenberghe A. (1962) - Etude hydrogéologique de la région de Gardanne et du bassin crétacé d'Aix-en-Provence - Extrait des annales de la société géologique du nord, T. LXXXI, Séance du 7 Juin 1961, p. 121.

Annexes

Annexe 1 - Glossaire

Annexe 2 - Analyses chimiques issues de la bibliographie

Annexes

Annexe 1 : Glossaire

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.

Anticlinal : Pli où les éléments situés à l'intérieur de la courbure étaient, à l'origine, les plus bas.

Aquifère : terrain perméable contenant une nappe* d'eau souterraine.

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.

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.

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.

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).

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.

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'autre renseignements sur le sous-sol (sondage, géophysique).

Ecaille : ensemble chevauchant en forme de lame (épaisse de quelques dizaine 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.

Faciès : catégorie dans laquelle on peut ranger une roche ou un terrain, et qui est déterminée par un ou plusieurs caractères lithologiques (lithofaciès) ou paléontologiques (biofaciès). Ce terme est également employé pour désigner une catégorie correspondant à un milieu ou à un domaine de sédimentation**.**

Faciès Tithonique : Faciès du Portlandien (Jurassique) représenté par des calcaires fins pélagiques, à calpionelles et à ammonites, et qui passe vers le haut au Crétacé Inf. également matin et pélagique.

Faille : 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).

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.

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

HBCM : Houillères du Bassin du Centre et du Midi.

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

Karst : plateau calcaire affecté par le modelé karstique*.

Lithologie : Nature des roches d'une formation géologique.

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

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.

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 (Cas du Jurassique dans le Bassin d'Aix-Gardanne ?).

Mur : terme de mineur désignant la surface inférieure d'une formation, ou bien les terrains situés immédiatement sous elle.

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 "***vadose***s", et vers le bas de laquelle l'eau mont 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***).

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.

Patterns : Fractures ouvertes jusqu'à la surface et karstifiées, sans rejet. Dans le bassin minier de Gardanne, s'ils sont le siège d'infiltration d'eau, ils deviennent des crevasses aquifères nommées "Moulières" par lesquelles se produit un phénomène d'oxydation et d'altération du charbon.

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 plis 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.

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.

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.

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

Toit : terme de mineur désignant la surface supérieure d'une formation, ou bien les terrains la surmontant immédiatement.

Annexe 2 : Analyses chimiques issues de la bibliographie

Annexe 2 : Analyses chimiques

Origine biblio	N° BSS	Date	localisation	Etages géologiques	coordonnées			Paramètres physico-chimiques					cations (mg/l)						Anions (mg/l)					Anions (mg/l)				
					X	Y	Z	pH	résistivité à 20° (Ω/m)	dureté	TAC	résidu sec (mg/l)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Na^+	K^+	Fe^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	$CO_3H^{2-} + CO_3^-$	SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_3^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	PO_4
Vandenberghe (1962)		1961	Meyreuil, TB Meyreuil Gréasques à -85, à 100m du Pts Courau		855300	134 880	-85	7.8	766	20		800	48.0	19.5	7.0	161.0	3.5	2.3	-	268.0	268.0	116.0	156.0	24.8			
		1961	Meyreuil, TB Meyreuil Greasque à -85m, à 331m du Pts Courau		855 630	134 700	-85	7.7	830	25		690	12.0	53.5	4.8	165.0	3.0	0.4	-	317.0	317.0	145.0	120.0	24.8			
		1961	Meyreuil, quartier Nord amont, taille 8 , côté vierge N		856 630	134 340	-270	7.6	1140	24		627	32.0	39.0	18.0	110.0	6.5	1.3	-	562.0	562.0	-	32.2	24.3			
		1961	Meyreul, 75m de l'extrémité Est de la reconnaissance 80		856 740	135 160	-370	7.8	880	22		607	24.0	39.0	9.8	165.0	8.0	1.5	-	709.0	709.0	-	27.0	25.3			
		1961	Meyreuil, TB Nord, à 55mW de la gare des Pleins		856 100	134 880	-370	7.1	400	110		2080	224.0	131.0	2.7	200.0	12.5	-	-	366.0	366.0	1 118.0	48.0	16.5			
		1961	Meyreuil, TB Nord, à 753m du puits		855 900	134 720	-370	8	340	92		2532	128.0	146.0	1.7	380.0	20.0	0.7	-	524.0	524.0	1 015.0	160.0	34.7			
		1961	Meyreuil TB Sur à 625m du puits Boyer		855 000	134 430	-370	7.2	390	60		1512	32.0	126.0	8.6	330.0	20.0	2.0	-	823.0	823.0	129.0	373.0	31.7			
		1961	Meyreuil Nord, voie 80, à 50mW de la taille=520m de l'axe8		856 540	135 200	-370	7.8	766	21		854	48.0	24.3	-	255.0	9.0	0.2	-	830.0	830.0	10.0	37.0	36.2			
		1961	Meyreuil Nord, TB Nord, limite W de la gare		856 140	134 980	-370	8.3	650	41		1151	56.0	65.6	0.4	241.0	10.0	0.2	-	478.0	478.0	440.0	47.0	19.5			
		1961	Meyreuil Sud, carrefour des voies M6, 32 et 320		854 110	133 700	-429	7.7	163	155		3600	236.0	233.0	23.3	690.0	20.5	0.3	-	378.0	378.0	66.6	?	41.5			
		1961	Gardanne, recette, puits Gérard		853 660	130 210	229	7.5	1300	24		530	96.0	-	-	22.0	2.0	-	-	232.0	232.0	58.2	21.0	8.8			
		1961	Gardanne, recette, puits Biver1		853 650	130 620	229	7.9	1240	35		450	96.0	26.8	-	25.0	4.0	-	-	306.0	306.0	116.0	32.0	5.4			
		1961	Gardanne, recette, puits Félicie 2		855 960	130 300	229	7.7	1130	42		663	100.0	41.3	-	15.0	5.0	-	-	244.0	244.0	236.0	10.0	9.2			
		1961	Gardanne, recette, puits Félicie3		855 510	130 600	229	7.6	700	79		1160	172.0	87.2	-	20.0	5.0	-	-	379.0	379.0	477.0	9.0	4.8			
		1961	Puits des Trois Sautets		853 400	139 550	142	7.3	930	40		700	136.0	14.6	-	56.0	5.0		-	415.0	415.0	72.0	75.0	5.0			
		1961	Fontaine du cours Mirabeau		851 600	141 070	187	7.6	1630	26		503	48.0	34.0	-	43.0	3.5	-	-	290.0	290.0	55.6	30.0	7.8			
		1961	Galerie Gardanne-Bier à 1550m de la galerie au jour		853 590	130 880	229	7.4	1060	53		590	124.0	53.5	-	16.0	4.0	-	-	444.0	444.0	160.0	21.0	4.8			
		1961	Galerie Gardanne-Biver à 1450m de la galerie au jour		853 520	131 000	229	7.5	1130	49		550	108.0	53.5	-	16.0	3.0	-	-	454.0	454.0	120.0	18.0	8.4			
		1961	Galerie Gardanne-Biver à 1250m de la galerie au jour		853 380	131 160	229	7.5	1030	48		640	112.0	48.6	-	9.0	3.0	-	-	427.0	427.0	100.0	18.0	5.9			
		1961	Galerie Gardanne-Biver à 1070m de la galerie au jour		853 260	131 320	229	7.3	1130	48		520	120.0	43.6	-	16.0	2.0	-	-	378.0	378.0	144.0	35.0	8.2			
		1961	Gardanne-galerie St Pierre-extrémité du tronçon venant du jour		853 500	131 480	229	7.5	800	58		600	120.0	68.0	-	13.0	2.0	-	-	272.0	272.0	332.0	19.0	4.8			
		1961	Puits de l'Arc		865 060	134 720	221	7.4	1710	29		287	80.0	21.8	-	12.0	1.0	5.0	-	342.0	342.0	20.0	11.0	5.0			
		1961	Puits Desfarges à Peynier		868 400	134 200	226	7.4	1832	26		300	84.0	12.2	-	18.0	1.3	1.0	-	271.0	271.0	55.0	14.0	8.5			
		1961	TB St Jean à Trets		870 690	133 110	239	7.5	1028	35		550	100.0	24.3	-	85.0	5.5	2.0	-	354.0	354.0	166.4	37.0	10.0			
		1961	Gardanne - TB3 entre Mauvaise mine et 4 pans, à 35m de MM		853 780	130 420	18	7.2	673	64		1050	140.0	70.5	-	50.0	16.0	-	-	622.0	622.0	200.0	29.0	14.0			
		1961	Gardanne-Traçage Mauvaise mine, 20mW du TB3 Castellante		853 860	130 530	18	7.1	749	60		840	132.0	65.6	-	43.0	14.5	6.0	-	488.0	488.0	250.0	18.0	12.0			
		1961	Gardanne - Pied de la remonté Félicie 2		855 800	129 890	18	7.2	982	52		780	152.0	34.0	-	11.0	3.0	-	-	402.0	402.0	165.0	13.0	12.5			
		1961	Gardanne - Traçage Mauvaise mine à 1900m du TB3		855 560	130 030	18	7.3	673	96		1460	296.0	53.5	-	18.0	3.0	-	-	329.0	329.0	670.0	10.0	12.0			
		1961	Gardanne - Traçage Mauvaise mine à 1200m du TB3		855 040	130 150	18	7.2	563	111		1310	244.0	122.0	-	22.0	11.5	-	-	427.0	427.0	776.0	13.0	15.6			
		1961	Galerie Desfarges à Trets		868 420	134 540	220	7.5	1746	30		300	88.0	19.6	-	6.0	3.0	-	-	349.0	349.0	12.5	9.0	9.5			
		1961	Gardanne - Taille Mauvaise mine à 3300m de l'origine		856 660	129 080	-117	7.6	900	54		700	84.0	80.5	7.9	45.0	16.0	-	-	506.0	506.0	208.0	13.0	15.8			
		1961	Gardanne à 3175m dans le roulage		856 380	129 170	-126	7.7	1350	40		460	40.0	73.0	-	51.0	11.5	-	-	464.0	464.0	66.6	16.0	15.2			
		1961	Gardanne à 2865m dans le roulage		856 140	129 300	-126	7.9	1103	45		500	24.0	94.5	6.0	49.0	16.0	-	-	586.0	586.0	57.5	14.0	15.2			
		1961	Gardanne à 20m dans TB à 2200 du roulage		855 570	129 520	-126	7.5	1049	51		819	124.0	48.6	1.6	25.0	7.0	-	-	366.0	366.0	225.0	14.0	12.5			
		1961	Gardanne à 1290m dans le roulage		854 720	129 800	-126	7.3	545	116		1684	288.0	107.0	3.2	37.0	9.0	-	-	400.0	400.0	861.0	15.0	12.0			
		1961	Gardanne 40m W du TB 1700 dansla voie de tête de la Taille Gros Rocher		855 160	129 650	-126	7.7	1183	46		640	64.0	73.0	3.7	36.0	13.0	-	-	464.0	464.0	141.0	15.0	11.2			
		1961	Gardanne à 1050m dans le roulage		854 480	129 810	-126	7.5	470	158		2170	464.0	102.0	-	14.0	5.0	-	-	342.0	342.0	1 237.0	13.0	10.5			
		1961	Gardanne à 415m dans le roulage		853 840	130 000	-126	7.3	526	136		1820	256.0	175.0	-	15.0	9.0	-	-	500.0	500.0	903.0	14.0	17.1			
		1961	Gardanne - E du montage entre -250 et nv A		854 910	129 410	-241	8	1220	21		650	21.0	39.0	4.3	130.0	15.0	-	-	464.0	464.0	140.0	2.6	16.5			
		1961	Gardanne-nouveau TB Est à 380m de l'ancien TB		854 550	129 500	-250	7.2	664	110		1680	260.0	109.0	7.7	57.0	11.5	-	-	522.0	522.0	740.0	2.0	19.5			
		1961	Gardanne - nouveau TB Est à 200m		854 360	129 500	-250	7.7	567	162		2500	360.0	174.0	3.3	72.0	14.0	-	-	504.0	504.0	1 300.0	2.0	21.3			
		1961	Gardanne 70m E du bure O		853 700	129 700	-250	7.2	550	149		2240	420.0	107.0	1.2	58.0	9.0	-	-	380.0	380.0	1 240.0	2.0	19.5			
		1961	Gardanne 50 m W du bure O		853 560	129 810	-250	6.9	550	162		2120	410.0	121.0	2.3	50.0	8.5	-	-	488.0	488.0	1 160.0	1.8	25.8			
		1961	Gardanne 300m E du puits		853 560	129 970	-250	7.5	677	115		1640	290.0	102.0	3.5	55.0	16.0	-	-	586.0	586.0	760.0	2.2	21.5			
		1961	Gardanne à 850m dans galeire W		852 820	130 200	-250	8.1	616	41		1320	35.0	72.0	4.8	285.0	25.0	0.4	-	900.0	900.0	240.0	10.2	17.0			
		1961	Gardanne à 180m dans galeire W		853 390	129 980	-250	7.4	563	127		1980	268.0	146.0	8.5	72.0	17.5	0.5	-	536.0	536.0	980.0	0.9	24.1			
		1961	Puits 1 , de campagne Girard		856 300	133 100	331	7.9	1670	38		474	128.0	12.1	0.1	12.0	4.5	0.4	-	305.0	305.0	120.0	1.8	12.9			
		1961	Puits 2 , de campagne Girard		856 300	133 220	326	7.8	1406	52		130	168.0	24.3	3.2	3.0	4.0	0.5	-	420.0	420.0	160.0	1.2	13.8			
		1961	Greasque - Puits naturel au N de l'aval de -85		857 920	133 160	-85	7.4	1870	37		487	128.0	12.1	1.0	24.0	1.5	0.5	-	342.0	342.0	80.0	1.6	34.2			
		1961	Greasques- 2eme cassure dans TB Greasque-Meyreuil		857 380	132 890	-85	7.7	2477	23		250	49.0	26.0	0.8	24.0	2.0	-	-	330.0	330.0	-	1.4	15.2			
		1961	Greasques- 3eme cassure dans TB Greasque-Meyreuil		857 220	133 000	-85	7.7	2410	25		250	64.0	25.0	3.4	21.0	0.5	0.4	-	317.0	317.0	10.0	1.4	14.2			
		1961	Greasque - eau des Vt en amont de +113		857 520	129 480	113	7.6	1807	37		455	128.0	12.1	-	10.0	-	0.5	-	356.0	356.0	80.0	1.6	9.4			
		1961	Puits de Belle Nuit		857 090	133 540	300	7.5	2070	29		360	92.0	14.4	-	9.0	1.0	-	-	220.0	220.0	104.0	11.0	10.4			
		1961	Puits 3 de campagne Girard		856 850	132 860	318	7.5	1700	36.5		470	126.0	11.0	-	8.0	-	-	-	293.0	293.0	127.0	7.5	10.4			
		1961	Eau de mer, Callelongue				0	8.1	23	698		39810	400.0	1 450.0	-	11 250.0	617.0	-	-	166.0	166.0	2 732.0	21 000.0	0.3			
		1961	Puits de la Gasté		859 160	135 840	190	7.5	1480	38		570	134.0	10.2	-	20.0	-	-	-	305.0	305.0	133.0	19.5	10.7			
		1961	Puits des Louvas		859 800	134 310	261	7.5	2150	27		320	100.0	4.9	-	12.0	4.0	-	-	232.0	232.0	71.0	7.0	9.0			
		1961	Puits de la Bégude		859 770	132 960	298	7.8	1210	44		730	160.0	9.7	-	35.0	13.0	-	-	232.0	232.0	245.0	41.5	12.3			
		1961	Puits W des Rajols		861 890	132 940	292	7.7	1780	33		450	112.0	12.9	-	18.0	4.0	-	-	244.0	244.0	122.0	20.0	12.3			
		1961	Puits E des Rajols		862 110	133 000	307	7.3	1370	42		570	148.0	12.1	-	20.0	1.5	-	-	305.0	305.0	162.0	30.0	14.0			
		1961	Puits W de Bellevue		862 610	133 300	292	7.3	1590	36		470	134.0	6.5	-	20.0	4.0	-	-	273.0	273.0	146.0	12.0	14.6			
		1961	Puits SE de Bellevue		863 580	133 230	269	7.5	1590	38		420	114.0	23.0	-	20.0	4.0	-	-	371.0	371.0	77.0	14.5	12.0			
		1961	Puits du Château de l'Arc		863 680	134 390	228	7.6	1860	36		380	84.0	36.3	-	7.5	6.5	-	-	268.0	268.0	94.0	18.5	12.0			
		1961	Puits W de la Chapelle		863 690	134 220	237	7.2	1330	44		550	160.0	9.7	-	22.5	6.0	-	-	416.0	416.0	104.0	21.0	14.6			
		1961	Puits E du Tholonet		857 520	140 780	209	7.3	1480	32		550	124.0	2.8	-	47.0	3.3	-	-	342.0	342.0	46.0	67.4	6.3			
		1961	Puits entre Pourrières et Puyloubier		872 000	140 620	294	7.4	1390	50		600	132.0	41.0	-	21.0	0.5	-	-	420.0	420.0	76.5	67.4	6.7			
		1961	Puits SE de Pourrières		875 020	139 060	280	7.6	960	50		800	138.0	25.4	-	90.0	22.0	-	-	464.0	464.0	150.0	74.5	6.7			
		1961	Sources des Moulières à Pourcieux		880 700	134 400	415	7.5	1830	33		380	76.0	31.3	-	4.5	1.6	-	-	383.0	383.0	4.0	10.6	6.3			
		1961	Puits des Moulières à Pourcieux		880 900	134 450	410	7.2	1650	35		390	92.0	29.1	-	4.5	3.3	-	-	402.0	402.0	21.0	11.0	7.0			
		1961	Puits du Défens Neuf à Trets		874 350	135 230	280	7.3	1400	50		570	140.0	36.3	-	6.0	1.1	-	-	396.0	396.0	129.0	31.2	6.3			
Enquête (135)	1021-2X-0180	1988	Puits de La Barque		858 416	135 853	193	7.5	559	32.7	23.4		111.0	12.0	<0,01	12.6	0.4	-	285.0	285.0	92.0	28.0		9.7	<0,01	0.0
Durozoy G., Gouvernet Cl., Guieu G., Sauzedde E. (1966)	1021-2X-0012	1966	S1 Les Roquettes - Fuveau - GN	Bégudien (-117m)	857 510	135 425	204	8	3275			320	93.0	17.5			5.6		-		160.0	30.0	10.8				
	1021-2X-0012	1966	S1 Les Roquettes - Fuveau - GN	Bégudien (-300m)	857 510	135 425	204	8	1950			400	36.0	17.5			83.0		-		150.0	19.0	7.8				
	1021-2X-0012	1966	S1 Les Roquettes - Fuveau - GN	Urgonien	857 510	135 425	204	8.2	2300			306	44.0	26.5			46.0		-		140.0	44.0	18.0				
	1021-6X-0003	1966	S2 Les Louvas - Fuveau - GS	Bégudien (-140m)	859 610	133 930	279.8	8	1625			330	30.0	14.2			39.0		-		72.0	68.0	20.0				
	1021-6X-0003	1966	S2 Les Louvas - Fuveau - GS	Fuvélien (-300)	859 610	133 930	279.8	8.4	1500			500	38.0	20.0			105.0		-		140.0	75.0	32.0				
	1021-6X-0003	1966	S2 Les Louvas - Fuveau - GS	Fuvélien (-404)	859 610	133 930	279.8	8.5	1500			482	33.0	15.5			110.0		-		115.0	130.0	62.0				
	1021-6X-0003	1966	S2 Les Louvas - Fuveau - GS	Urgonien	859 610	133 930	279.8	8	2475			340	44.0	23.0			26.0		-		125.0	38.0	7.0				
78 SGN 648 PCA	1021-7X-0088	1978	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	7.3	1980			330	86.0	17.0			6.0		-		340.0	18.0	6.0				
	1022-2X-0007	1978	Source d'Argens		888 650	140 070	278	7.7	1946			349	100.0	5.4			3.6		-			18.0	3.6				
	1022-2X-0006	1978	Source de Seaux		887 540	138 050		7.8	1937			360		17.0			5.0		-		340.0	13.0	5.0				
SCP	1021-7X-0088	2003	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	7.5	580	32	28	530	102.0	16.0	<0,1	6.5	0.5	0.0	-					5.9	1.6	<0,02	<0,1
	1021-7X-0088	10/2003	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	7.3	573	31	28.3	283	95.0	17.0		6.6	1.0	0.0	1.0	345.3		19.0	11.0	6.2			
	1021-7X-0088	12/2002	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	7.1	568	30.5	28.2	277	94.0			6.7	<1	0.0	<1	344.0		19.0	11.0	4.9			
	1021-7X-0088	09/2002	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	6.9	568	31.3	28.3	310	94.0	18.0		6.8	1.0	0.0	<1	345.3		20.0	11.0	6.2			
	1021-7X-0088	03/2002	Puits de l'Arc - Rousset	Fuvélien - Jurassique?	865 025	134 77	223.3	7.3	575	34.7	28	316	96.0	16.0		7.0	1.0	0.0	<1	342.0		19.0	11.0	6.2			

Origine biblio	N° BSS	Date	localisation	Etages géologiques	coordonnées			Paramètres physico-chimiques					cations (mg/l)						Anions (mg/l)				Anions (mg/l)				
					X	Y	Z	pH	résistivité à 20° (Ω/m)	dureté	TAC	résidu sec (mg/l)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Na^+	K^+	Fe^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	$CO_3H^{2-}+CO_3^-$	SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_3^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	PO_4
Chalumeau (1999)		1997	Sources 90 - S90	Fuvélien	860 295	133 212	49	7.53	592				96.6	14.3		8.7	0.8	0.1		296.5		27.5	12.1	2.9	-		
		1998	Sources 90 - S90	Fuvélien	860 295	133 212	49	8.08	661				116.0	15.2		9.1	1.0			336.7		22.5	15.6		1.4		
		1997	Sources 90 - 50	Fuvélien	860 295	133 212	-1	7.46	636				70.3	14.0		8.8	0.8	0.0		298.9		24.4	16.3	2.9	-		
		1996	Bure C - BuC	Fuvélien	856 391	133 133	-185	7.9					73.8	26.4		45.8	1.5	0.0		161.4		91.1	15.1	2.8	0.4		
		1996	Serrement à proximité Bure C - BuS	Fuvélien	856 667	133 125	-170	7.13					57.7	29.0		44.2	2.0	0.1		214.2		99.1	15.4	2.7	0.6		
		1997	Travers banc 235 - TB2	Fuvélien	856 050	131 770	235	7.76	801				70.7	27.9		13.7	1.7	0.1		329.4		97.4	14.9	3.4	0.5		
		1998	Travers banc 235 - TB2	Fuvélien	856 050	131 770	235	7.33	931				132.0	25.0		16.0	2.0			400.2		123.0	17.5		123.0		
		1996	La Plage - Pla	Fuvélien	854 589	130 405	18	7.84					148.5	41.9		17.4	4.0	0.1		135.3		396.1	21.1	3.6	0.3		
		1997	La Plage - Pla	Fuvélien	854 589	130 405	18	7.7	1141				133.1	28.9		17.0	2.9	0.1		305.0		256.5	19.5	4.4	-		
		1998	La Plage - Pla	Fuvélien	854 589	130 405	18	7.3	1255				178.0	36.0		34.0	5.0			224.5		407.9	54.2		2.2		
		1996	Lambeau charrié - LC	Fuvélien	853 644	129 796	250	6.69					16.4	16.6		87.0	16.4	0.0		327.2		909.9	29.0	6.4	2.1		
		1997	Lambeau charrié - LC	Fuvélien	853 644	129 796	250	6.73	2660				398.0	119.0		49.6	15.8	0.1		558.8		1 149.0	33.2	7.0	-		
		1998	Lambeau charrié - LC	Fuvélien	853 644	129 796	250	6.58	2850				800.0	95.0		49.0	14.0			661.2		1 612.8	29.4		18.7		
		1996	pompes 250 - Pom	Fuvélien	863 593	130 259	18	7.58					97.1	55.5		22.2	4.6	0.1		198.0		274.0	20.3	3.5	-		
		1996	pompes 250 - 250	Fuvélien	863 593	130 259	-232	7.91					52.0	32.9		45.1	1.0	0.0		142.5		78.5	23.8	2.2	1.3		
		1997	pompes 250 - 250	Fuvélien	863 593	130 259	-232	7.42	1431				161.9	50.4		24.1	4.9	0.1		385.5		373.3	16.9	4.3	-		
		1997	source à côté Tvx passage - 90t	Fuvélien	860 373	133 003	-19	8.17	842				81.5	28.2		22.9	2.6	0.1		180.6		206.0	17.5	3.5	-		
		1997	faille au toit - Fat	Fuvélien	860 594	132 474	52	8.1	790				73.4	24.9		16.5	1.4	0.0		185.4		137.5	15.8	3.3	2.8		
		1998	faille au toit - Fat	Fuvélien	860 594	132 474	52	7.86	768				99.0	23.0		14.0	1.0			231.8		129.8	20.7		2.2		
		1997	Barrage de l'Olympe - Bar	Fuvélien	859 983	131 774	44	6.92	1125				153.6	36.8		21.4	3.8	0.1		366.0		280.4	51.6	3.8	6.3		
		1998	Barrage de l'Olympe - Bar	Fuvélien	859 983	131 774	44	7.86	1172				200.0	28.0		21.0	4.0			419.7		214.6	35.0		4.5		
		1997	Source proche du barrage - Sba	Fuvélien				7.02	1258				122.4	36.3		42.9	4.8	0.0		384.3		276.8	42.5	4.0	-		
		1998	Source proche du barrage - Sba	Fuvélien				7.97	1721				223.0	31.0		100.0	7.0			427.0		285.5	168.8		0.5		
		1996	Gal. Mer zone centrale dolomitique - GMZ	Fuvélien	849 549	125 132	10	7.56					26.9	36.6		5.5	0.5	0.1		187.6		21.7	10.2	2.1	0.4		
		1998	Gal. Mer zone centrale dolomitique - GMZ	Fuvélien	849 549	125 132	10	7.1	644				88.0	27.0		5.9	-			385.5		20.0	10.4		1.2		
		1996	Gal.Mer, plateau de la Mure - GMM	Fuvélien	847 261	122 087	7	7.88					67.1	32.5		12.2	1.0	0.1		139.1		73.1	21.0	2.2	0.7		
		1998	Gal.Mer, plateau de la Mure - GMM	Fuvélien	847 261	122 087	7	7.66	722				101.0	22.0		14.0	1.0			329.4		79.7	25.5		8.5		
	1021-6X-0212	1997	Galerie de Fuveau (puits Lhuiller) - Ful	Fuvélien	860 543	131 917		7.48	1130				209.7	18.1		10.5	2.1	0.1		296.5		442.2	15.1	3.7	11.4		
	1021-6X-0212	1998	Galerie de Fuveau (puits Lhuiller) - Ful	Fuvélien	860 543	131 917		7.43	776				155.0	12.0		13.0	1.0			302.6		133.3	22.7		9.7		
		1996	Galerie +229 - 229	Fuvélien	852 842	132 190	229	7.48					111.0	75.4		21.3	5.8	0.0		183.1		320.2	28.9	4.8	3.5		
		1997	Galerie +229 - 229	Fuvélien	852 842	132 190	229	7.53	1158				124.8	37.3		23.0	5.6	0.1		345.3		218.4	25.1	4.9	29.9		
		1998	Galerie +229 - 229	Fuvélien	852 842	132 190	229	7.42	1660				251.0	33.0		27.0	9.0			329.4		399.5	33.8		22.6		
		1996	Galerie de Fuveau - Fuv	Fuvélien	861 127	133 500	231	7.44					84.6	23.7		57.5	2.8	0.1		182.1		142.0	29.6	3.7	3.6		
		1997	Galerie de Fuveau - Fuv	Fuvélien	861 127	133 500	231	7.36	922				100.7	15.3		23.7	2.4	0.1		330.6		112.2	23.7	4.0	14.5		
		1997	Galerie de la Doria - Dor	Fuvélien	852 842	132 190	229	7.35	1710				85.9	16.1		23.2	13.1	0.1		196.4		171.8	24.6	0.0	1.1		
	1021-7X-0167	1998	Sondage de Pinchinier - Spi	Fuvélien	868 637	126 892	393 05	6.96	2600				183.0	67.0		22.0	2.0			478.2		344.9	66.3		8.0		
		1997	Galerie de Pinchinier - Pin	Fuvélien	866 398	126 897	273	7.12	1181				124.3	36.3		13.1	12.8	0.3		433.1		194.5	17.2	4.2	0.2		
		1996	Galerie Desfarges - Des	Fuvélien	868 398	134 617	214	7.89					87.9	39.3		70.3	2.1	0.1		160.9		162.0	56.7	3.3	6.1		
		1997	Galerie Desfarges - Des	Fuvélien	868 398	134 617	214	6.98	780				82.3	17.6		8.4	1.2	0.1		329.4		89.6	9.4	3.6	-		
		1998	Galerie Desfarges - Des	Fuvélien	868 398	134 617	214	8.01	1273				136.0	28.0		48.0	2.0			344.0		165.2	65.9		23.8		
	1021-6X-0065	1997	Puits minier Germain - Ger	Fuvélien	858 872	127 580		6.85	2510				463.0	97.0		44.4	9.1	0.1		427.0		1 165.7	37.5	5.2	86.5		
	1021-7X-0088	1996	Puits de l'Arc - Arc	Fuvélien	865 030	134 770	224	7.36	580				32.5	26.0		39.7	0.6	0.0		177.3		66.1	22.8	2.4	1.1		
	1021-7X-0088	1997	Puits de l'Arc - Arc	Fuvélien	865 030	134 770	224	7.3	611				50.8	16.5		6.5	0.6	0.1		334.3		14.7	8.6	2.7	-		
	1021-7X-0088	1998	Puits de l'Arc - Arc	Fuvélien	865 030	134 770	224	7.38	643				92.0	17.7		6.7	1.0			341.6		14.9	9.0		-		
	1021-7X-0107	1997	Sondage de Peynier - Pey	Fuvélien				7.36	822				64.4	23.9		41.9	2.3	0.0		294.0		101.6	27.4	3.5	5.8		
	1021-8X-0097	1996	Puits minier des Blaques - Bla	Fuvélien	871 257	131 432		10.46	790				3.3	1.4		221.6	8.6	0.2		147.6		228.4	70.2	9.4	17.0		
	1021-8X-0097	1997	Puits minier des Blaques - Bla	Fuvélien	871 257	131 432		10.46	875				0.2	0.2		168.0	7.5	0.1		268.4		58.3	19.7	10.3	6.4		
	1021-8X-0097	1998	Puits minier des Blaques - Bla	Fuvélien	871 257	131 432		10.38	914				3.8	0.1		158.0	28.0			290.4		64.0	47.1		6.8		
	1021-6X-0234	1998	Sondage de Fuveau - Sfu	Fuvélien	860 930	133 850	255	7.72	754				77.0	29.0		53.0	4.0			156.2		180.8	39.1		-		
	1021-2X-0032	1996	Puits agricole des Amandiers - Ama	Begudien	858 300	135 530	209	7.41	1995				146.5	19.2		42.7	0.7	0.1		141.5		186.8	35.8	3.9	14.5		
	1021-2X-0032	1997	Puits agricole des Amandiers - Ama	Begudien	858 300	135 530	209	7.47	1125				155.4	155.4		11.8	0.8	0.1		236.7		114.3	44.2	0.1	107.2		
	1021-2X-0032	1998	Puits agricole des Amandiers - Ama	Begudien	858 300	135 530	209	7.43	1171				165.0	14.4		10.0	2.0			275.7		184.7	35.9		47.3		
	1021-4X-0110	1996	Puits agricole de La Bouaou - Lab	Begudien	870 130	141 390	328	7.28	915				80.8	30.4		51.2	15.4	0.0		179.8		117.3	24.7	5.2	5.7		
	1021-4X-0110	1997	Puits agricole de La Bouaou - Lab	Begudien	870 130	141 390	328	7.05	1191				108.0	108.0		24.9	15.1	0.0		408.7		160.7	30.4	4.8	40.5		
	1020-7X-0046	1996	Source de La Cadière - LaC (Infernet)	Eocène	839 075	130 010	116	7.31	638				80.1	6.2		11.7	1.6	0.2		168.1		118.1	19.9	2.8	14.4		
	1020-7X-0046	1997	Source de La Cadière - LaC (Infernet)	Eocène	839 075	130 010	116	7.85	554				70.4	70.4		19.9	1.8	0.0		192.8		58.4	12.5	1.1	-		
	1021-5X-0101	1996	Source de St Savournin - Sav	Jurassique	858 300	127 625	480	7.5					81.4	30.7		5.1	0.9	0.1		171.4		125.0	9.8	1.1	0.4		
	1021-5X-0101	1997	Source de St Savournin - Sav	Jurassique	858 300	127 625	480	7.51	759				81.4	81.4		6.2	0.9	0.1		300.1		83.1	8.6	11.7	-		
	1021-5X-0101	1996	Source de La Roque - LaR	Jurassique	853 010	129 500	400	7.19	1654				70.9	20.4		10.0	0.6	0.0		220.9		83.4	15.3	12.6	0.3		
	1021-5X-0101	1997	Source de La Roque - LaR	Jurassique	853 010	129 500	400	8.06	812				71.0	71.0		9.1	0.6	0.1		372.1		66.2	12.6	12.1	0.3		
	1021-3X-0106	1996	Source de St Antonin - Ant	Eocène	862 350	140 530	450	7.11	754				57.9	27.0		40.8	1.1	0.1		212.2		56.6	13.5	2.9	0.3		
	1021-3X-0106	1997	Source de St Antonin - Ant	Eocène	862 350	140 530	450	7.18	694				79.4	17.3		7.5	1.5	0.2		351.4		33.5	10.4	3.1	-		
	1021-3X-0106	1998	Source de St Antonin - Ant	Eocène	862 350	140 530	450	7.28	1370				174.0	26.0		8.0	27.0			373.3		173.7	39.0		4.0		
	1021-5X-0100	1996	Fontaine de Venel - Fve	Jurassique	852 155	128 381	350	7.66					58.1	15.3		9.1	0.9	0.1		182.9		49.9	15.8	6.9	0.3		
	1021-5X-0100	1997	Fontaine de Venel - Fve	Jurassique	852 155	128 381	350	7.75	840				68.5	13.6		7.9	1.2	0.1		378.2		24.8	13.7	7.0	0.2		
	1021-5X-0100	1998	Fontaine de Venel - Fve	Jurassique	852 155	128 381	350	7.58	1080				144.0	10.2		6.9	1.0			436.8		53.4	13.4		0.2		
	1021-3X-0122	1996	Source de Vauvenargues - Vau	Jurassique	863 760	144 590	600	7.32					51.8	15.7		34.9	0.2	0.0		196.9		60.6	17.5	2.2	8.5		
	1021-3X-0122	1997	Source de Vauvenargues - Vau	Jurassique	863 760	144 590	600	7.21	652				48.9	9.3		4.1	0.5	0.1		366.0		10.8	5.2	2.1	0.0		
	1021-3X-0107	1997	Bayon - Bay	Eocène	863 640	140 530	550	8.1	762				57.6	33.9		7.1	0.5	0.1		351.4		66.4	10.4	2.8	-		
	1021-4X-0164	1996	Source du Gour de la Tune - Gtu	Jurassique	874 700	141 300	440	7.21	479				58.1	3.0		38.2	0.6	0.0		136.8		57.3	15.0	1.3	2.9		
	1021-4X-0164	1997	Source du Gour de la Tune - Gtu	Jurassique	874 700	141 300	440	7.07	1242				99.3	3.4		4.4	0.8	0.1		427.0		16.7	5.1	2.5	-		
	1043-2X-0022	1996	Source de Carry-le-Rouet - CLR	Miocène	830 970	118 820	25	7.28	1033				76.5	33.4		50.7	3.7	0.0		151.0		120.1	111.8	3.8	0.5		
	1043-2X-0022	1997	Source de Carry-le-Rouet - CLR	Miocène	830 970	118 820	25	7.44	1210				88.9	27.5		66.8	3.8	0.7		280.6		107.8	100.5	4.1	-		
		1997	Trias Etoile - Tri	Trias				8.29	665				58.7	27.2		9.0	0.6	0.1		268.4		73.8	10.6	3.5	0.9		
		1996	Eau du Canal de Provence - SCP	Trias				8.2					36.7	9.3		49.3	1.9	0.1		92.1		97.0	25.7	1.8	1.1		
		1997	Eau du Canal de Provence - SCP	Trias				8.37	414				57.1	6.2		14.2	1.8	0.1		213.5		20.3	18.8	2.0	0.2		
		1996	Forage Martini - Mar	Fuvélien	863 142	127 101		7					81.4	22.7		37.9	3.3	0.0		249.2		154.1	12.3	3.7	-		
		1997	Forage Martini - Mar	Fuvélien	863 142	127 101		6.82	1340				116.7	14.9		8.9	2.7	0.1		439.2		155.3	13.5	4.3	-		
	1021-7X-0129	1997	Ruines de Pinchinier - Rui	Santonien	867 100	126 600	335	7.83	975				56.5	49.4		10.4	0.8	0.0		408.7		110.3	17.5	3.9	7.5		
	1021-7X-0036	1997	Braguier - Bra - Source de Boutilly	Santonien	868 290	130 000	338	7.11	1804				99.9	16.7		9.1	2.3	0.1		341.6		131.6	9.4	4.3	5.2		

Origine biblio	N° BSS	Date	localisation	Etages géologiques	coordonnées			Paramètres physico-chimiques					cations (mg/l)						Anions (mg/l)						Anions (mg/l)				
					X	Y	Z	pH	résistivité à 20° (Ω/m)	dureté	TAC	résidu sec (mg/l)	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	Na^+	K^+	Fe^{2+}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	$CO_3H^- + CO_3^-$	SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_3^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	PO_4
Galerie à la mer		oct 2001	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1270									0.2				531.0					
		nov 2001	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1160									1.5				460.0					
		déc 2001	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1330									1.2				513.0					
		janv 2002	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1060									0.9				296.0					
		Fév 2002	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1150									1.0				329.0					
		Mars 2002	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1090									0.8				347.0					
		Avril 2002	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						1070									1.3				289.0					
		Mai 2002	Galerie à la mer - PK 13,1 (eau d'exhaure)						969									1.1				304.0					
		oct 2001	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						50									0.1				139.0					
		nov 2001	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						663									0.3				114.0					
		déc 2001	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						784									0.1				130.0					
		janv 2002	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						690									0.2				100.0					
		Fév 2002	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						719									0.2				116.0					
		Mars 2002	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						634									0.2				121.0					
		Avril 2002	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						684									0.1				102.0					
		Mai 2002	Galerie à la mer - PK 1,3 (exhaure+sources avant GS)						734									0.2				128.0					
		oct 2001	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						707									0.1				147.0					
		nov 2001	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						700									0.3				120.0					
		déc 2001	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						801									0.1				138.0					
		janv 2002	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						673									0.2				121.0					
		Fév 2002	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						715									0.1				119.0					
		Mars 2002	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						651									0.2				120.0					
		Avril 2002	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						710									0.1				106.0					
		Mai 2002	Galerie à la mer - PK 0 (sortie vers la mer)						739									0.2				138.0					
Durozoy (1969)	1022-5X-0019	1969	Source de St Maximin	Lias	880 150	134 200		7.7	2597			230 à 105°	52.0	18.0		3.5					260.0	17.0	7.2				
	1022-5X-0022	1969	Source de la Neuve	Lias	877 250	134 550		7.15	2053			304 à 105°	72.0	21.0		4.0					320.0	24.0	11.0				
	0996-6X-0066	1969	Source de la Fontaine Vieille	Lias	883 400	149 680		7.8	1304			665 à 105°	90.0	3.1		80.0					240.0	165.0	34.0	60.0			
	1021-8X-0093	1969	Source de Cabassude	Lias	873 060	130 430	517	7.2	1751			390 à105°	105.0	14.0		6.5					320.0	80.0	11.0				
	1022-2X-0006	1969	Source de Seaux	Jurassique	887 540	138 050		7.8	1937			360	98.0	18.0		5.1					350.0	13.0	8.5				
	1022-2X-0007	1969	Source de l'Argens	Jurassique	888 650	140 070	278	7.7	1946			349	120.0	5.5		3.5					370.0	17.5	3.8				
	1021-3X-0121	1969	Source du Château de Vanvenargues	Jurassique	863 700	144 750	4.3	8.1	1972			367	110.0	7.9		8.5					350.0	18.0	8.4				
	1021-7X-0088	1969	Puits de l'Arc	Jurassique	865 025	134 770	1887.3						66.0	24.0		11.7					180.0	10.0	0.4				
	1021-5X-0096	1969	Source du Verger	Urgonien - Valanginien	848 940	139 750	235	7.7				460	108.0	26.0		6.0					390.0	42.0	13.0				
	1021-5X-0101	1969	Source de La Roque	Urgonien - Valanginien	853 010	129 500	330	7.8				460	115.0	15.0		7.4					330.0	64.0	13.0				
	1021-6X-0061	1969	Source communale du Lavoir Mimet	Urgonien - Valanginien	856 580	128 840	460	7.8				420	105.0	13.0		7.0					300.0	65.0	11.5				
	1022-1X-0043	1969	Source de l'Agasse	Fuvélien	882 170	137 350		7.7	1752			420	120.0	13.0		4.8					360.0	43.0	12.0				
	1021-8X-0085	1969	Puits Ste Marie à Trets	Fuvélien	870 315	131 477							135.0	36.0		88?					320.0	150.0	15.0				
	1021-4X-0127	1969	Source des Chênes	Bégudien	871 300	140 730	300	7.8				440	110.0	9.0		8.4					250.0	68.0	16.0	6.0			
	1021-2X-0029	1969	Source de la Grande Bastide	Bégudien	859 996	135 216	7	7.7				400	97.0	11.0		11.5					250.0	54.0	28.0				
	1021-4X-0126	1969	Source de la Tour	Bégudien	869 950	139 730	280	7.4	2476			243 à 105°	72.0	9.0		5.0					240.0	32.0	14.0				
	1021-5X-0045	1969	Source Notre Dame	Bégudien				7.8				370	92.0	12.0		21.5					250.0	57.0	43.0				
	1021-3X-0104	1969	Source de l'étang	Lutétien - Miocène	865 270	139 950	461	7.55	1902			335 à 105°	80.0	22.0		5.5					330.0	32.0	14.0				
	1021-1X-0084	1969	Source de Bellefontaine	Lutétien - Miocène	852 320	139 400	141	7.6				440 à 105°	100.0	22.0		6.5					37.0	40.0	13.0				
	1021-2X-0083	1969	Source Chapelle St Joseph	Lutétien - Miocène	855 600	141 320	291	8				310 à 105°	82.0	9.0		6.0					250.0	18.0	15.5				
Rapport ANTEA A08467	1021-1X-0426	janv 1996	Forage Sextius F3 avant pompage		851 108	141 507	199		523			376 à 180°	73.0	22.0	<0,01	13.5	2.1	0.0		284.0		35.0	30.0	10.7	3.6	0.1	
	1021-1X-0426	Fév 1996	Forage Sextius F3 après pompage		851 108	141 507	199		503			316 à 180°	72.0	22.0	<0,01	15.5	2.3	0.0		275.0		34.0	23.0	10.2	4.5	<0,01	
	1021-1X-0427	mars 1996	Forage Sextius F4 avant pompage		851 107	141 507	199		576			330 à 180°	72.0	23.0	<0,01	14.4	1.8	0.0		277.0		40.0	23.0	10.2	6.4	0.0	
	1021-1X-0427	avril 1996	Forage Sextius F4 après pompage		851 107	141 507	199		561			312 à 180°	70.0	23.0	<0,01	14.4	1.6	0.0		278.0		37.0	21.5	8.7	5.7	0.0	
Etude des eaux thermominérales d'Aix en Provence		1970	1 des puits romains d'aération qui jalonnent l'acqueduc de la Traconnade					7.7	1172			591	110.0	36.0		3.3						150.0	48.0		8.0		
	1021-1X-0196	1970	Pinchinats		852 550	143 700	265	7.65	1247			532	100.0	25.0		2.9						72.0	44.0		17.0		
	1021-1X-0360	1983	Forage Sextius F1		851 150	141 580	201	7.4	2335	21	0	315 à 180°	65.0	22.0	-	15.0	-				280.0	40.0	21.0		5.0	-	
	1021-1X-0395	1982	Forage Sextius F2		851 110	141 507	198	7.5	2430	23.5	0	320 à 180°	60.0	21.0	-	14.0	-				250.0	34.0	20.0		4.0	-	
Analyses transmises par la SEM	1021-3X-0051	1993	Puyloubier - Saint Sers - puits		867 030	141 880	398	7.2	760	47	40		152.0	22.0	<0,02	8.4	1.9	0.0	-	490.0		85.0	18.0	7.5	<0,5	<0,01	<0,05
	1021-3X-0050	1993	Puyloubier - Source Les Marquets		867 130	141 270	140	7.8	555	33	25		110.0	13.0	<0,02	5.0	0.7	0.0	-	310.0		85.0	14.0	6.5	3.0	<0,01	<0,05
	1021-3X-0050	1999	Puyloubier - Source Les Marquets		867 130	141 270	140	7.7	560	34	23		80.0	33.0	<0,1	4.0	0.6	0.1				95.0	9.0	6.5	2.0	<0,02	<0,1
	1044-3X-0224	2003	Source La Vède		868 760	124 020	231	7.4	778	48.1	26.3	801 à 180°	161.0	19.0	<0,05	8.7	2.2	0.1	-	320.9		211.8	22.6	6.4	12.0	<0,05	<0,05 en P2O5
	1021-3X-0097	2001	Source Joncas et Pierre Dumoulin		866 900	138 950	285	7.25	662			492 à 180°	130.0	25.1	-	11.5	0.5	0.1	-	383.1		87.0	26.0	8.0	11.0	-	<0,05 en P2O5
	1021-3X-0121	2003	Vauvenargue - Source du Lavoir		863 700	144 750	4.3	7.45	567	35	33.7	399 à 180°	123.0	10.4	<0,1	3.3	0.3	0.1	-	411.6		12.0	8.4	5.1	<1	<0,05	0,05 en P2O5
Analyses récupérées sur ADES	1021-8X-0183	2004	Saint Zacharie - Source de la Brise		873 860	126 260	265	7.56	547.5	30.55	28.4		97.0	15.2	-	3.9	0.3	0.0	0.1	346.3		16.2	8.0	4.6	1.3	0.0	
	1021-8X-0183	2004	Saint Zacharie - Source de la Brise		873 860	126 260	265	7.56	547.5	30.55	28.4		97.0	15.2		3.9	0.4	0.0	0.4	346.3		16.2	8.0	4.6	1.3	0.0	
	1021-3X-0097	2004	Rousset - Source des Joucas		866 900	138 950	285	7.25	662	42.8	31.4		130.0	25.1	-	11.5	0.5	-	-	383.1		87.0	26.0	8.0	11.0	-	
	0995-6X-0032	2004	Meyrargue - Source de la papeterie		858 600	154 030	215	7.55	516.5	32.92	29.9		108.2	1 375.0	-	5.5	0.4	-	-	364.8		15.0	9.0	7.0	3.0	-	
	1021-3X-0121	2004	Vauvenargues - Source du Lavoir		863 700	144 750	4.3	7.235	679.5	33.1	32	5.335	117.4	9.2	-	4.0	0.2	-	-	390.4		12.5	7.5	5.3	1.5	-	
	1044-3X-0224	2004	Auriol - Sondage du Pujol		868 760	124 020	231	7.42	716.467	35.4	24.5		141.3	22.6	-	7.9	1.2	0.0	-	318.0		166.7	15.7	6.1	11.7	-	
	1044-3X-0224	2004	Auriol - Sondage du Pujol		868 760	124 020	231	7.42	716.467	35.4	24.5		141.3	22.6	-	7.9	1.2	0.0	-	318.0		166.7	15.7	9.1	11.7	-	
	1021-2X-0020	2004	Saint Antonin - Source de la Cascade		861 730	140 640	380	7.6	790	46.3	29.3		139.6	27.6	-	7.0	0.8	-	-	357.5			17.0	5.5	13.0	-	
	1044-3X-0272	2004	Roquevair - Station de pompage puits N°2		865 060	122 360	158.91	7.395	700.533	39.775	27.375		128.7	19.8	-	15.5	1.7	-	-	338.8		111.2	24.3	6.8	11.1	-	



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

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