



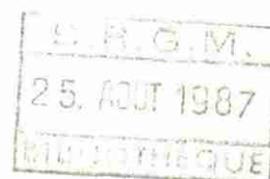
BRGM

VILLE DE MARSEILLE
Direction Générale
des services techniques

Station d'épuration de Marseille
Epandage des boues

Etude hydrogéologique
du plateau de Carpiagne
(Bouches du Rhône)

Mission de type 1
Synthèse bibliographique





VILLE DE MARSEILLE
Direction Générale
des services techniques

Station d'épuration de Marseille
Epandage des boues

Etude hydrogéologique
du plateau de Carpiagne
(Bouches du Rhône)

Mission de type 1
Synthèse bibliographique

J.P. Silvestre et O. Sedan
avec la collaboration de J.L. Garnier

Février 1986
86 SGN 074 PAC

S O M M A I R E

1. - <u>INTRODUCTION</u>	1
2. - <u>CADRE GEOLOGIQUE DE L'ETUDE</u>	5
2.1. - STRATIGRAPHIE - FACIES	5
2.1.1. - Permien - Permo-Trias - Trias inférieur	6
2.1.2. - Trias supérieur	6
2.1.3. - Lias supérieur - Jurassique moyen	6
2.1.4. - Jurassique supérieur	6
2.1.5. - Valanginien - Hautérvien	6
2.1.6. - Le faciès urgonien	6
2.1.7. - l'Aptien	8
2.1.8. - Crétacé	8
2.2. - STRUCTURE	8
2.3. - LA FRACTURATION	10
3. - <u>HYDROGEOLOGIE</u>	13
3.1. - GEOMETRIE DES AQUIFERES	13
3.2. - ETAT DU RESERVOIR	15
3.2.1. - La karstification	15
3.2.2. - Les exutoires connus de l'aquifère	18
3.2.3. - Extension de l'aquifère et de l'impluvium	18
3.2.4. - Expériences de coloration	20
3.2.5. - Essai de calcul d'un bilan d'eau	21
3.2.6. - Caractéristiques physico-chimiques de l'eau	22
3.2.7. - Rejets dans le karst	23
3.2.8. - Utilisation actuelle des eaux	23
4. - <u>CONCLUSIONS</u>	25
<u>Liste des figures</u>	
FIGURE 1 - SITUATION DE LA ZONE ETUDIEE	4
FIGURE 2 - SONDAGE PETROLIER DU VALLON DE VAUFREGES (MARSEILLE)	7
FIGURE 3 - COUPES DANS LE MASSIF DE CARPIAGNE	9
FIGURE 4 - EVOLUTION DES CIRCULATIONS KARSTIQUES	16
FIGURE 5 - EVOLUTION DU NIVEAU MARIN AU COURS DU QUATERNAIRE	16
FIGURE 6 - FRACTURATION DU MASSIF	18
FIGURE 7 - PRECIPITATIONS EFFICACES MOYENNES ANNUELLES (1946-1976) DU PLATEAU DE CARPIAGNE ET DES REGIONS VOISINES	21
<u>Liste des annexes</u>	
ANNEXE 1 - INVENTAIRE DES INDICES DE KARSTIFICATION (AVENS ET GROTTES)	
ANNEXE 2 - INVENTAIRE DES FORAGES REALISES SUR LA ZONE PROSPECTEE	
ANNEXE 3 - DONNEES CLIMATIQUES A CUGES-LES-PINS	
ANNEXE 4 - PHYSICO-CHEMIE DES EAUX	
ANNEXE 5 - BIBLIOGRAPHIE	
<u>Planche hors texte</u>	
PLAN DE SITUATION DES PRINCIPAUX INDICES HYDROGEOLOGIQUES	

1. INTRODUCTION

La ville de Marseille envisage d'épandre sur les plateaux de la Mûre et de Carpiagne les boues conditionnées provenant de la station d'épuration en cours de construction.

La filière de traitement des boues de la station d'épuration sera implantée au Sud de Marseille dans l'ancienne carrière de la Cayolle et les installations seront spécialement conçues pour permettre la réutilisation des boues en sylviculture et en agriculture.

Actuellement, la filière de traitement des boues qui répond le mieux à cet objectif ambitieux est une filière utilisant le conditionnement thermique des boues, précédée par une digestion anaérobie de celles-ci permettant de subvenir en grande partie aux besoins énergétiques de l'usine.

Dans une première phase d'études préalables, des boues de station d'épuration provenant de différentes origines ont été testées par la ville de Marseille. Ces essais en cases lysimétriques, puis sur des parcelles test sur le plateau de la Mûre ont conduit à des résultats concluants.

Une seconde phase d'études a donc été lancée, dans l'objectif de :

- * tester à l'échelle la plus grande possible les boues provenant de conditionnement thermique, et ce dans l'environnement réel de leur future utilisation en sylviculture. Ces essais ont commencé en 1982 sur le plateau de Carpiagne sur un champ d'essais de plusieurs hectares ;
- * apprécier avec le plus de précisions possibles les différentes incidences sur l'environnement de cet épandage de boues conditionnées sur les sites futurs de réutilisation : plateau de la Mûre et plateau de Carpiagne.

La mission confiée au Service géologique régional Provence-Alpes-Côte d'Azur du Bureau de recherches géologiques et minières porte sur l'examen de l'hydrogéologie du plateau de Carpiagne en vue de déterminer l'impact de ce projet d'épandage sur les circulations d'eau souterraine.

La présente étude est décomposée selon quatre missions particulières :

- * Mission de type 1 : Elle comporte le recueil des données et des études existantes portant sur l'hydrogéologie du secteur d'étude.

- * Mission de type 2 : Cette mission comprend l'élaboration d'un programme de mesures et d'essais détaillé en vue de parfaire la connaissance hydrogéologique.

- * Mission de type 3 : Cette mission comprend la réalisation du programme de mesures et la fourniture des résultats bruts des essais réalisés.

- * Mission de type 4 : Elle concerne l'analyse des résultats obtenus au cours de la mission de type 3 et la réalisation de la synthèse finale concluant à la fois les missions de type 1 et l'analyse ci-dessus.

Le présent rapport, dit rapport R1 conclut la mission de type 1. Les objectifs spécifiques à l'étude sont repris dans le tableau ci-après avec renvoi aux paragraphes plus particulièrement concernés.

Objectifs recherchés

- a - localiser les zones aquifères, de rechercher les niveaux piézométriques et reconnaître l'importance de leurs fluctuations.
- b - localiser les exutoires des différentes nappes repérées.
- c - repérer les drains internes possibles, couches à forte perméabilité ou zones particulières broyées.
- d - réunir les données géologiques permettant d'analyser le réseau karstique connu ou probable.
- e - faire l'inventaire des utilisations des nappes concernées, actuelles ou projet de valorisation de ces nappes aquifères.
- f - faire le recueil des données concernant la qualité de ces nappes, éventuellement de l'évolution de cette qualité dans le temps. Les paramètres qui feront l'objet de ce recueil sont les suivants:
 - (i) matières en suspension totales
 - (ii) turbidité
 - (iii) DCO
 - (iv) nitrates
 - (v) métaux lourds
 - (vi) pesticides et organoclorés
 - (vii) température
- g - réunir les connaissances acquises sur les fluctuations saisonnières de ces nappes et sur leur interconnection éventuelle.
- h - réunir les éléments du bilan hydrique sur la zone d'étude, en ce qui concerne:
 - (i) la pluviométrie
 - (ii) l'évapotranspiration
 - (iii) la pluie efficace
 - (iv) la répartition entre ruissellement et infiltration
 - (v) le transfert pluie - nappe.

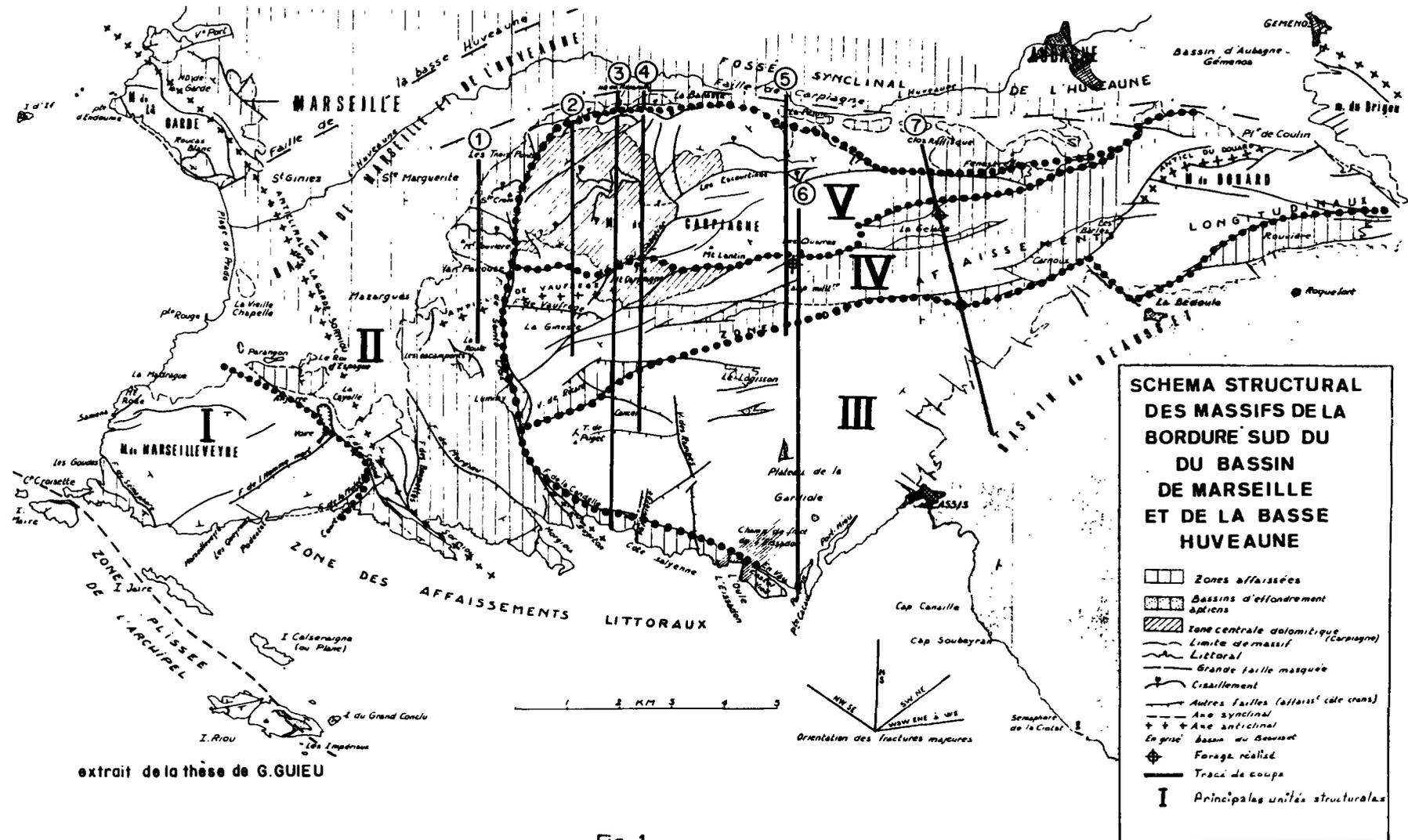


Fig. 1
SITUATION DE LA ZONE ETUDIEE

2. CADRE GEOLOGIQUE DE L'ETUDE (cf. fig. 1)

Le plateau de Carpiagne s'intègre dans un ensemble de reliefs limités au Nord par la vallée de l'Huveaune, à l'Ouest par le bassin de Marseille, au Sud par la mer et à l'Est par le bassin du Beausset. Cet ensemble constitue le cadre géographique de cette étude.

Cet ensemble, dénommé ci-après, massif de Carpiagne, est constitué, à l'affleurement, de terrains d'âge jurassique et crétacé. Il est bordé :

- * à l'Ouest par le bassin oligocène de Marseille,
- * au Nord, par un fossé synclinal qu'occupe le lit de l'Huveaune,
- * et à l'Est par le bassin peu plissé du Beausset, dont les terrains d'âge crétacé supérieur reposent globalement en continuité stratigraphique sur la série supérieure du massif de Carpiagne (Urgonien, Aptien).

2.1. - Stratigraphie - Faciès

Les terrains les plus agés constituant la base reconnue du massif de Carpiagne ont été attribués au Permien*. Ils ont été atteints par le sondage pétrolier du vallon de Vaufrèges (indice BRGM 1044-5X-2) qui a donc recoupé une série du Permien au Jurassique moyen.

Le Jurassique moyen affleure au coeur de l'anticlinal de Vaufrèges alors que le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur sont largement représentés à l'affleurement dans l'ensemble du massif.

* Signalons toutefois que 2 analyses palynologiques font référence à l'Eocène. Le résultat pose un problème quant à l'interprétation structurale du bassin de Marseille et serait en opposition avec l'anomalie gravimétrique suggérant une remontée du socle (communication inédite de G. GUIEU). Cette indétermination ne remet pas en cause le caractère imperméable du substrat.

2.1.1. - Permien - Permo-Trias - Trias inférieur

Ils sont représentés par une série détritique (grès, conglomérats, argilite) qui a été reconnue par le sondage de Vaufrèges sur une épaisseur d'environ 250 m (cf. fig. 2).

2.1.2. - Trias supérieur

Il est représenté par une alternance d'argilite et d'anhydrite massif (120 m environ), il est surmonté par une dizaine de mètres de calcaire et dolomie du Lias inférieur.

2.1.3. - Lias supérieur - Jurassique moyen

Une épaisse série marneuse (supérieure à 500 m), passant à des termes plus calcaires vers le sommet, est attribuée au Lias supérieur et au Jurassique moyen.

2.1.4. - Jurassique supérieur

Il est représenté à la base par 150 mètres de calcaires gris ou beiges et 10 m de calcaires à chailles surmontés par des dolomies et des calcaires dolomitiques.

2.1.5. - Valanginien - Hautérivien

. Dans la massif de Marseilleveyrè et du Puget, sur la bordure nord du massif de Carpiagne, ils sont représentés par des calcaires et des calcaires argileux ayant une épaisseur variant entre 200 et 250 m ;

. Au centre du massif de Carpiagne, l'ensemble des terrains (du Bathonien à l'Aptien) ont été dolomitisés ;

. A l'Est, la série hautérivienne et valanginienne se réduit à quelques mètres de marnes.

2.1.6. - Le faciès urgonien

Dans le massif du Puget, G. GUIEU (1968) a pu décrire une coupe comprenant quatre termes :

- dolomie inférieure à la base
- calcaire à silex des Rampes

Type	Zone	Numéro	An	Permis	Dep.	Opérateur	Nom	CARIAGNE
N	18	1237	61	M522	13	CEP		
x 852.585,49 3g4507 E							y 110.458,73 LIII Z _s +147,05 Z _i : 48g0567	
Début 13.5.61							Fin 16.6.61	
Fond 897,65 (Permien ?)							Tubages 9" 5/8 à 224,20	

2044-5-2

1

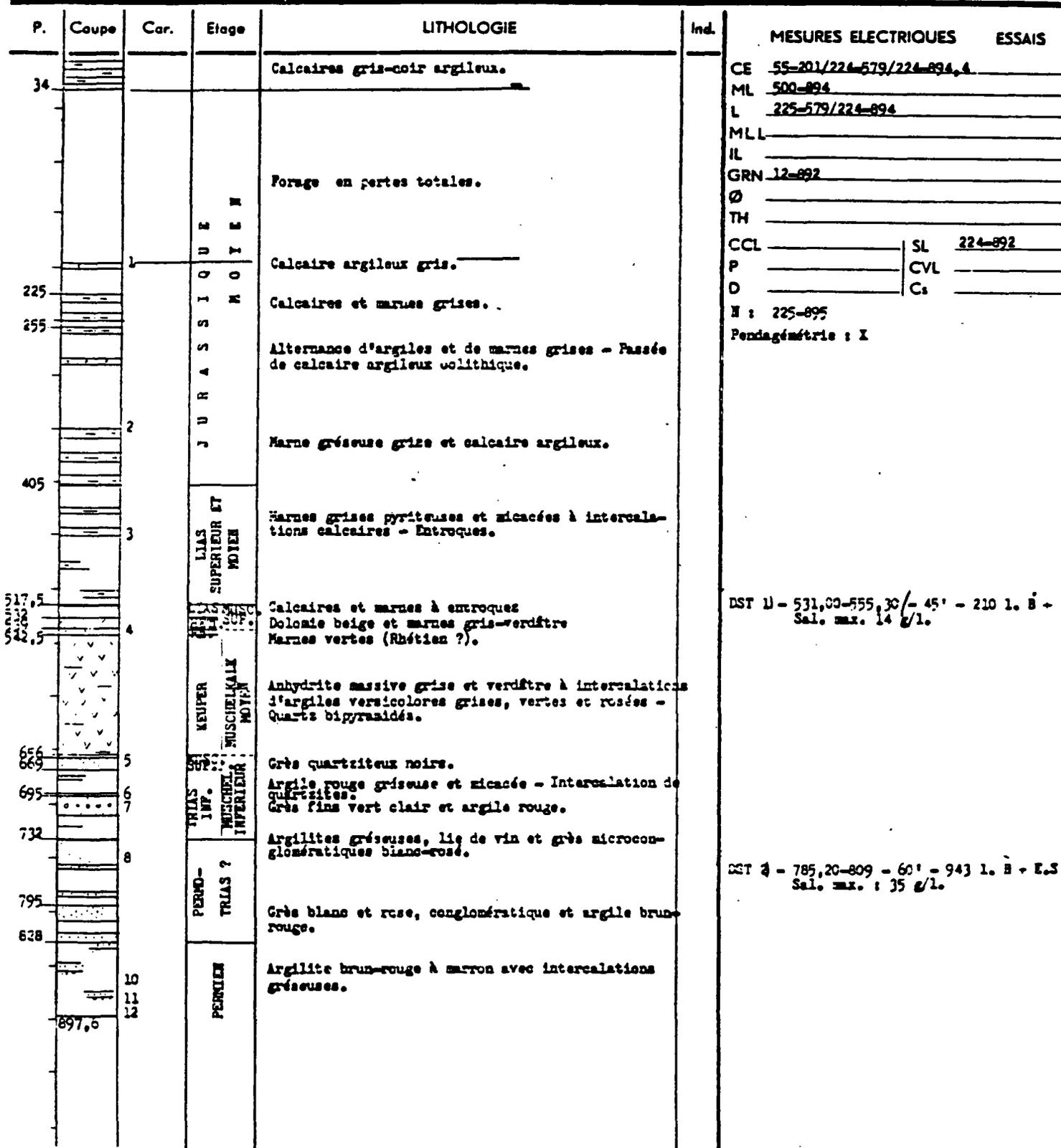


FIGURE 2

SONDAGE PETROLIER
DU VALLON DE VAUFREGES (MARSEILLE)

- série d'En Vau et de La Gardiole
- Urgonien supérieur de la pointe Cacao

où dominant les calcaires et les calcarénites L'ensemble a une épaisseur de 450 mètres environ.

2.1.7. - L'Aptien

L'Aptien inférieur (Bédoulien) a une épaisseur de 85 mètres environ. Il s'agit de calcaires gris marneux, parfois siliceux, dans lesquels s'intercalent des marnes dont l'épaisseur peut atteindre 40 m.

L'Aptien supérieur (Gargasien) correspond à des marnes noires où s'intercalent quelques petits bancs calcaires jaunâtres. Il affleure à Carnoux mais aussi à la périphérie du massif (vallée de l'Huveaune à Luminy).

L'Aptien diminue d'épaisseur vers l'Est.

2.1.8. - Crétacé

Il n'est représenté dans le massif de Carpiagne qu'au coeur du petit bassin de Carnoux par des calcaires grumeleux.

2.2. - Structure (voir aussi fig. 3)

Le massif de Carpiagne a subi plusieurs phases de déformations, soit "souples" (plissements), soit "cassantes" (failles).

La première de ces déformations souple s'est traduite par un bombement anticlinal qui a déterminé les grandes lignes de la géométrie du massif. Cette structure n'est visible qu'au vallon de Vaufrèges (à l'Ouest) et dans l'anticlinal du Douard (à l'Est).

Puis, une phase tectonique cassante est responsable du découpage du massif en plusieurs unités structurales formant des blocs affaissés ou surélevés les uns par rapport aux autres.

Nous pouvons distinguer cinq unités structurales principales :

- l'unité I ou massif de Marseilleveyre
- l'unité II ou zone des affaissements littoraux et occidentaux
- l'unité III ou dalle urgonienne
- l'unité IV ou zone des affaissements longitudinaux
- l'unité V ou zone nord.

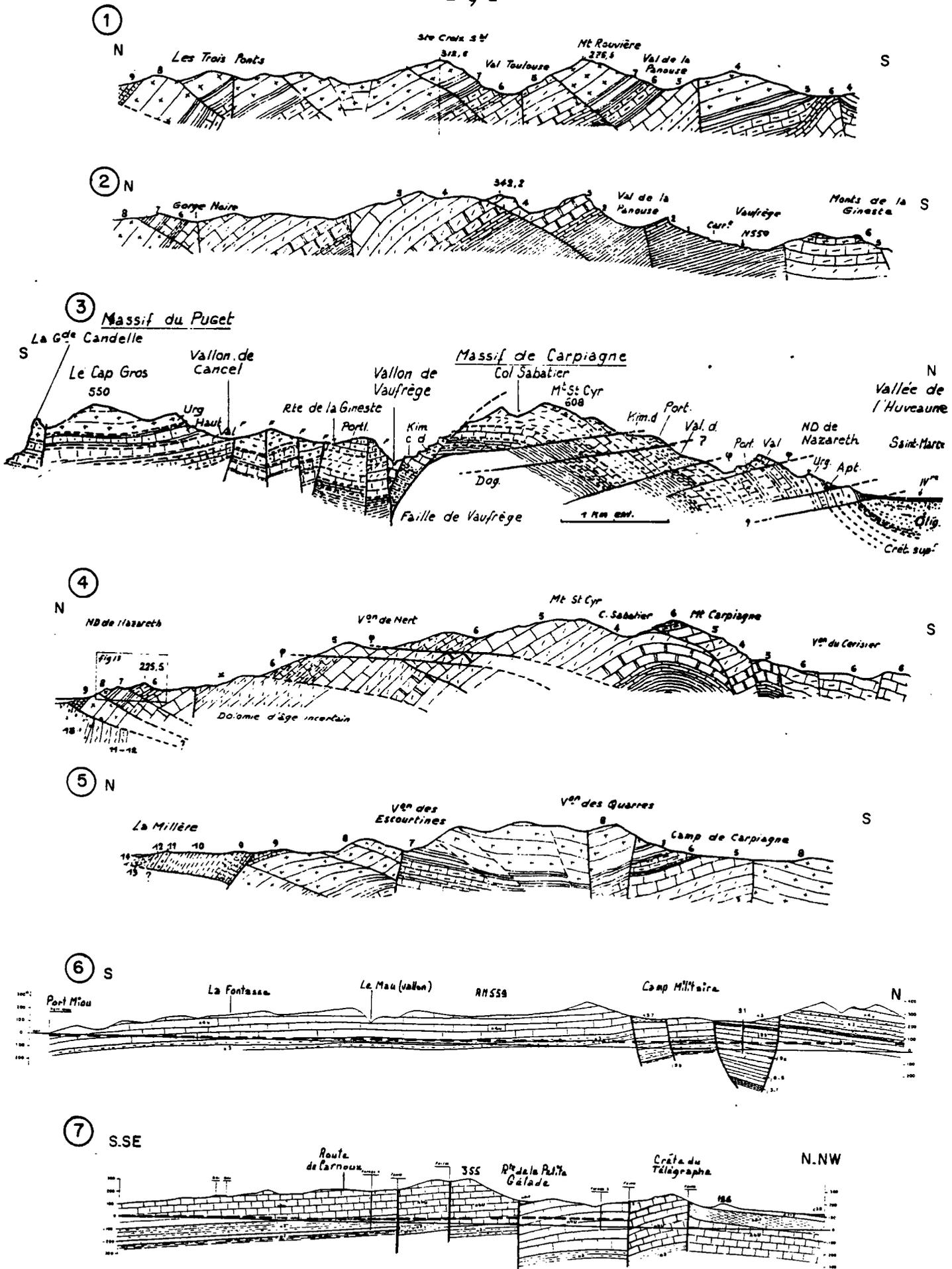


Fig. 3
 COUPES DANS LE MASSIF DE CARPIAGNE

L'unité_I est surélevée par rapport à l'unité II.

L'unité_II est séparée des autres unités III, IV et V par la faille de Luminy (Nord-Sud) et par la faille de la Candelle (NO - SE). Cette unité est en position affaissée par rapport aux unités III et V, mais en position haute par rapport à l'unité IV où la faille de Luminy a un rejet de 800 m environ.

L'unité_III correspond à la grande dalle urgonienne de Puget-plateau de la Gardiole, de pendage général Sud-Est, qui s'ennoie sous la série crétacée supérieure du bassin du Beausset. Cette dalle monoclinale est cependant largement fracturée et de nombreuses failles la recourent.

L'unité_IV, dite zone des affaissements longitudinaux est délimitée au Nord et au Sud par une série de failles orientées WSW-ENE. Cette zone est affectée par de petits décrochements qui décalent les fossés d'effondrement vers le Nord-Ouest. Elle a permis la conservation de terrains plus récents tels les alluvions du Quaternaire, le Cénomaniens, les marnes du Gargasien ou les calcaires du Bédoulien. L'affaissement est maximal dans la région de Carnoux.

L'unité_V est affectée par de multiples cisaillements obliques par rapport aux couches qui plongent avec un pendage important vers la vallée de l'Huveaune. A la terminaison nord-ouest du massif, ces couches peuvent être renversées et même chevaucher l'Oligocène de la vallée de l'Huveaune (coupes 3 et 4 de la figure 3) dans la région de Saint-Marcel-La Barasse. Vers l'Est, ce phénomène s'atténue et laisse la place vers La Gélade à une zone affaissée qui s'ennoie vers la plaine d'Aubagne-Gémenos.

2.3. - La fracturation

La planche hors texte synthétise les informations recensées concernant la fracturation du massif.

Sur l'auréole nord du bassin du Beausset une fracturation est particulièrement bien développée morphologiquement, de direction N 80°, qui pourrait correspondre à un grand linéament marquant le jeu d'un accident du socle produit par des mouvements en distension à la fin du Miocène.

Au niveau de Carnoux, du château de la Gélade et de l'entrée nord du tunnel du Mussuguet, les principales directions de fracturations sont pratiquement NE-SW et NW-SE ; elles semblent caractériser la zone maximale des affaissements.

Immédiatement à l'Ouest, à la Gélade, plusieurs familles ont une importance égale avec cependant une nette prédominance de la famille N 80°. Au Nord-Ouest une famille de direction NNE-SSW domine à la Candelle.

Sur la bordure ouest du massif, on remarque l'influence très nette de la faille de Sainte Croix, de même au Sud, les failles du Devenson et de la Candelle déterminent la principale direction de fracturation WNW-ESE.

Au centre de la zone une famille pratiquement NW-SE s'individualise nettement (Ravin du Mau) au Nord de Port-Miou.

Au voisinage immédiat de Port-Miou, l'étude de la fracturation a mis en évidence deux grandes tendances de directions de fractures qui vont de NW-SE à WNW et de NE-SW à ENE-WSW.



3. - HYDROGEOLOGIE

Un système aquifère peut être caractérisé par les éléments suivants :

- * La nature de son réservoir (calcaire, dolomie, grès, ...),
- * son substratum imperméable (argiles, marnes),
- * éventuellement son toit imperméable,
- * l'état de ce réservoir (faille, fracturation, karstification),
- * la présence d'un ou plusieurs exutoires matérialisant un niveau de base vers lequel se fait le drainage des eaux,
- * une alimentation qui est fonction de l'extension de l'aquifère et de son impluvium possible,
- * des caractéristiques physico-chimiques de l'eau relatives à l'aquifère concerné.

3.1. - Géométrie des aquifères

Les deux unités structurales occidentales (I et II) décrites au chapitre précédent semblent posséder leurs exutoires propres. Par contre, si leur alimentation paraît pour l'essentiel assurée par leur impluvium, il n'est pas impossible que l'unité II en particulier participe au drainage des unités orientales.

La partie orientale du massif de Carpiagne s'intègre dans un contexte hydrogéologique impliquant au moins les trois unités structurales III, IV et V.

Les marnes gargasiennes qui participent à l'auréole du bassin du Beausset forment un toit étanche pour le ou les aquifères de cette partie orientale du massif de Carpiagne. Les effets de cette limite se manifestent par les résurgences sous-marines de Cassis qui, à cette échelle, peuvent être considérées comme des sources de débordement de l'auréole aquifère urgonienne du bassin du Beausset, au même titre d'ailleurs que les petites sources issues des aquifères perchés du Crétacé supérieur de Roquefort-la-Bédoule.

A Cassis, ces résurgences sont probablement liées à la présence d'un "karst barré" par les différentes failles parallèles de la Candelle, du Devenson et de Morgiou qui déterminent une structure en touches de piano.

Deux hypothèses ont été successivement proposées pour définir la géométrie du ou des aquifères de la partie est du massif de Carpiagne. La première, historiquement la plus ancienne, suppose l'existence de deux aquifères de type karstique :

- le premier situé en position supérieure dans les terrains à faciès urgonien,
- le second en position basse dans les niveaux calcaires du Jurassique supérieur.

Cette hypothèse s'appuie sur la présence de niveaux de calcaires marneux hautériviens et valanginiens qui constituent le substratum étanche de la nappe urgonienne.

La seconde, émise par G. GUIEU, propose l'existence d'un seul système aquifère karstique installé dans les calcaires du Jurassique supérieur et de l'Urgonien, ayant pour substratum les calcaires et marnes du Jurassique moyen.

Les bancs plus marneux (et peu épais) de la série crétacée peuvent néanmoins arrêter localement les eaux dans leur infiltration et les translater suivant le pendage vers un point de drainage plus bas.

Dans cette dernière hypothèse, la cote du mur de l'aquifère à Vaufrèges se situerait vers - 50 NGF, si on prend pour référence la limite inférieure de la zone de pertes totales signalées dans le log du sondage.

Ailleurs, sur l'ensemble de la zone d'étude, on ne dispose que de peu d'éléments permettant de situer le mur des aquifères.

L'aquifère calcaire et dolomitique de la partie orientale du massif de Carpiagne comporte en définitive deux parties :

- une partie captive à l'Est où les terrains urgoniens s'enfoncent sous les marnes gargasiennes du bassin du Beausset,
- une partie libre, située au niveau des reliefs, où le toit imperméable a disparu à la suite des érosions successives.

3.2. - Etat du réservoir

3.2.1. - La karstification

En pays calcaire et dolomitique, les roches sont soumises à la karstification. Celle-ci se manifeste de différentes manières en surface comme en profondeur. Les principaux indices de karstification comprennent les avens, les grottes, les dolines, les poljes, les embuts, les ponors, les lapies et bien sûr les différents types d'exutoires karstiques (source vauclusienne par exemple), pertes de rivière.

Sur le massif ou à sa périphérie tous ces indices sont représentés. Parmi les plus importants citons le poljé de Cuges et ses ponors, les exutoires de Port-Miou, Bestouan et l'Oule, les embuts de Coulin et des Paluds sur la bordure sud de la plaine de Gémenos, et la petite doline circulaire située au sud-est de la Fontasse. Mais les plus nombreux sont, sans conteste, représentés par les avens.

Au total, nous avons dénombré une vingtaine de ce dernier type d'indices dont la profondeur varie de 5 à 173 m (cf. tableau annexe 1).

Bien souvent, ces avens sont colmatés à leur base par des argiles rouges de décalcification qui limitent l'exploration vers le bas. C'est le cas pour le plus profond d'entre eux (avens des Marseillais) qui est bouché à 173 m de profondeur, soit à la cote + 47 NGF.

De même, lors de la reconnaissance par le B.R.G.M. de la galerie du Mussuguet (située 30 m au-dessous du tunnel ferroviaire), on avait pu noter que la plupart des conduits karstiques étaient colmatés par des argiles rouges de décalcification en la cote + 90 NGF environ.

Au niveau de l'émergence sous-marine de Port-Miou, la karstification des terrains a été successivement reconnue par plongées jusqu'à la cote - 81 NGF abaissant par conséquent l'ancien niveau de base du système Cassis en-dessous de l'émergence sous-marine signalée par FOURNIER (1897) à 300 m au Sud de la pointe Cacao et situé à la cote - 45 m (fig. 4 et 5).

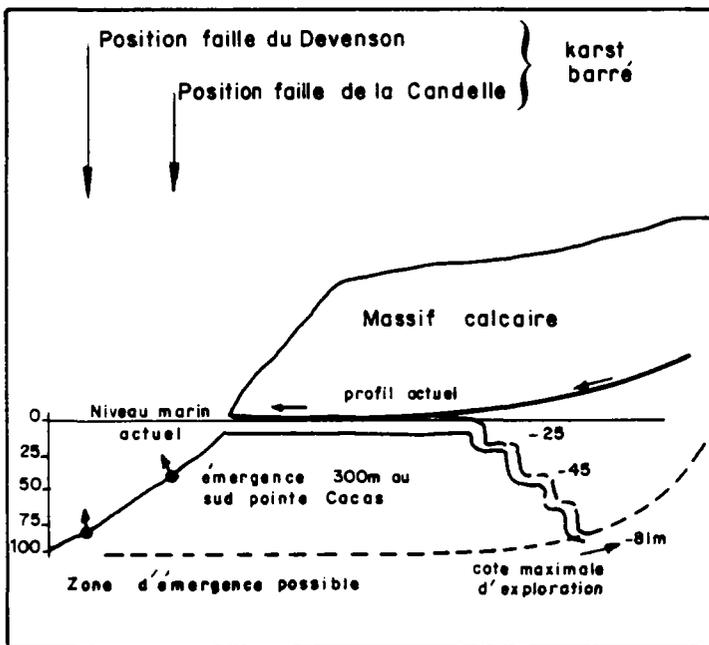


Figure 4

EVOLUTION DES CIRCULATIONS KARSTIQUES
au cours de la transgression Flandrienne
(d'après CORROY-GOUVERNET et réactualisation bibliographique)

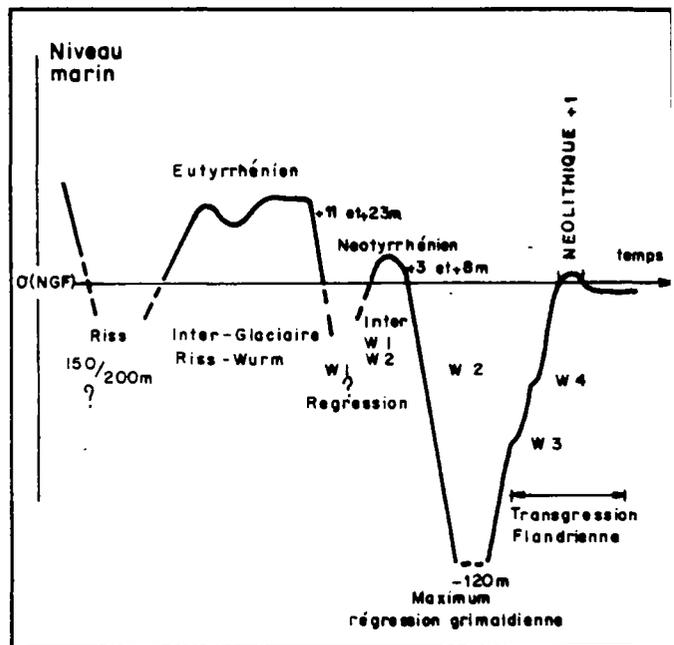


Figure 5

EVOLUTION DU NIVEAU MARIN
AU COURS DU QUATERNAIRE
Cycle Tyrrhénien
(d'après BONIFAY)

La plupart des indices de karstification inventoriés, en particulier les avens, se trouvent au Sud de la zone des affaissements longitudinaux sur la dalle urgonienne (unité III) ; ils n'affecteraient que la partie superficielle de l'aquifère (planche hors texte).

Cette karstification est dans beaucoup de cas "fossile" ; il s'agit souvent de paléokarst, comme l'a montré J. PHILIP (1975) par la découverte de sédiments hélvétiques (Miocène), piégés dans des chenaux situés dans le massif du Douard. De même, il existe des formes karstiques renfermant des remplissages d'Aptien ou de Crétacé supérieur remaniés, à l'Essaïdou, dans le vallon de l'Oule, sur le plateau de Fontasse, dans le vallon de la Fenêtre ou au plan de l'Homme mort.

En fait, cette karstification a débuté dès le Crétacé moyen (érosion des dépôts aptiens) et a été pratiquement ininterrompue jusqu'à nos jours, hormis pendant les périodes de transgression de la mer. Une karstification récente correspondrait aux premières régressions quaternaires (RISS). La dernière régression (Wurm 2) aurait entraîné un abaissement de la mer à la cote - 100 NGF.

La transgression qui a succédé à cette émergence, a amené, avec des arrêts secondaires, la mer à son niveau actuel ennoyant les karsts existants et créant ces résurgences sous-marines (fig. 4 et 5).

Il apparaît donc que les réseaux souterrains peuvent exister jusqu'à la cote - 100 NGF confirmée par l'exploration de la galerie de Port-Miou jusqu'à la cote - 81 NGF. Cependant, d'après des observations faites en plongée, il semblerait que la base du réseau karstique connu ne se développe plus. En effet, la circulation des eaux douces, du fait des différences de densité entre eau douce et eau de mer, se fait préférentiellement au toit des galeries ; les masses d'eaux salées qui stagnent au fond n'ont pratiquement pas de pouvoir d'érosion et, contrairement à ce qui se passe en milieu aérien, ce karst se développe actuellement vers le haut.

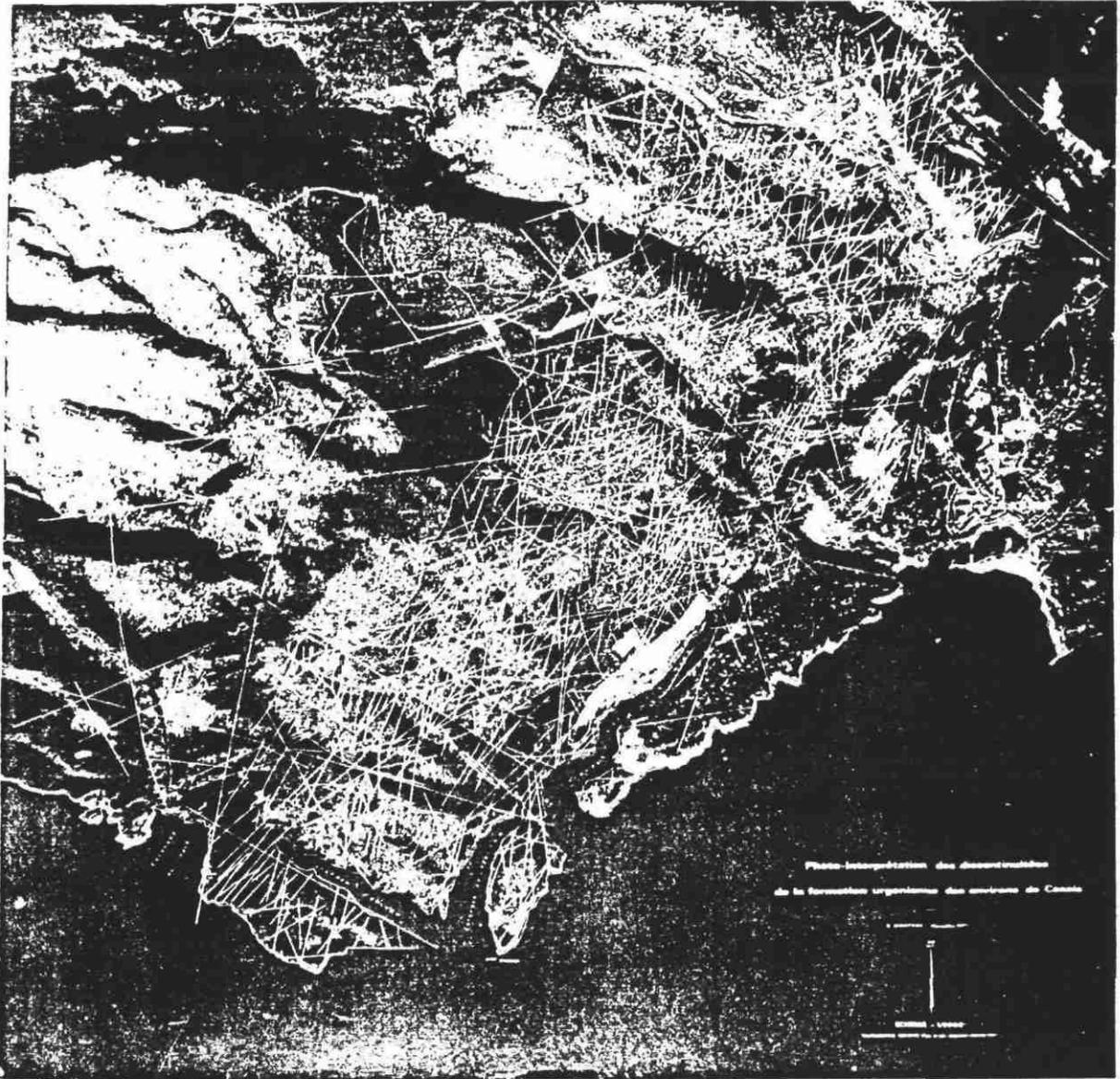
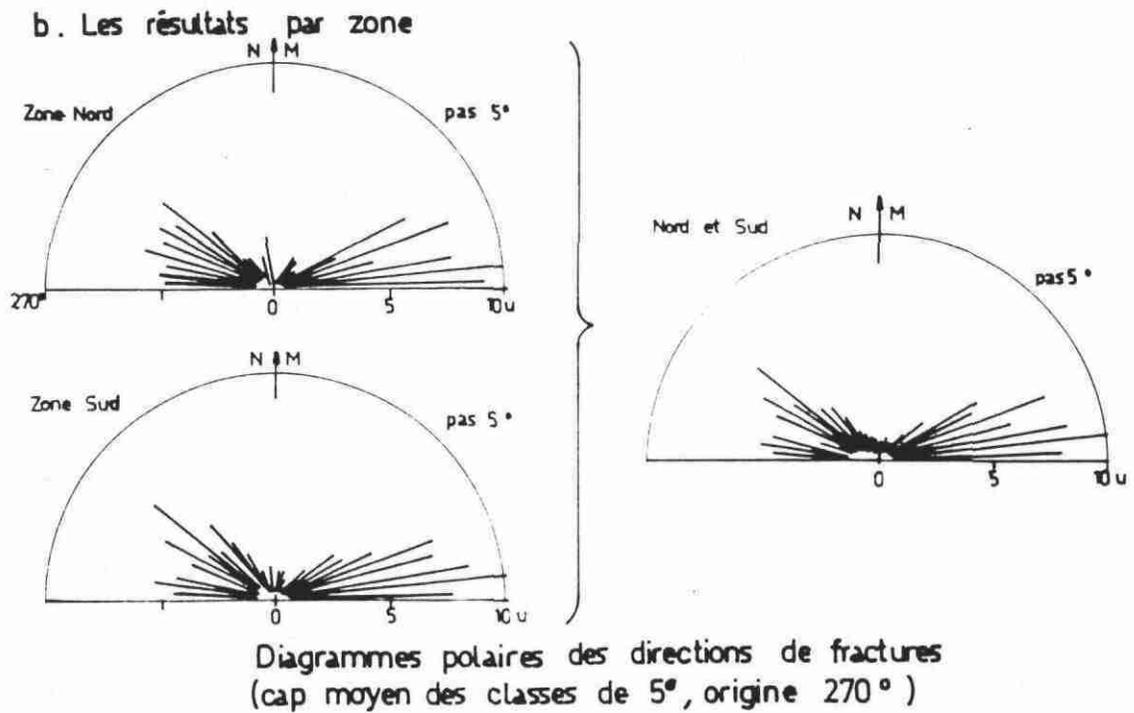


Figure 6 - FRACTURATION DU MASSIF



3.2.2. - Les exutoires connus de l'aquifère

Les principaux exutoires connus sont d'Ouest vers l'Est, ceux de Sormiou, Trou du Souffleur, Sugiton, l'Oule, Port-Miou et Bestouan. Il n'est pas exclu que participent au drainage de l'aquifère d'autres résurgences sous-marines telles celles de la baie de la Ciotat, localisées par ailleurs sur l'axe d'un accident probable. Dans la vallée de l'Huveaune, à la Barasse, des venues sous-alluviales issues du massif de Carpiagne ont été décelées. Elles expliquent :

- Le léger gonflement de la surface piézométrique de la nappe à cet endroit,
- Les débits importants exhaérés dans cette zone par rapport à d'autres secteurs de la nappe où la productivité est moindre ;
- Les différences de composition chimique de l'eau.

Enfin, signalons parmi les autres exutoires proches du secteur d'étude les importantes venues d'eau rencontrées lors de la construction de l'émissaire de la Ciotat, lors de la traversée de barres conglomératiques du Rocher de l'Aigle (venues d'eau très chargées en chlorures et sulfates) qui ne peuvent s'expliquer que par l'existence d'un grand accident en liaison avec le Trias.

Toutefois, il est très peu probable que les eaux infiltrées sur le massif de Carpiagne participent à ces débits en raison de la faible charge hydraulique observée en quelques rares points du massif.

3.2.3. - Extension de l'aquifère et de l'impluvium

Le massif étudié se caractérise par l'absence quasi totale de circulation en surface. Les vallées entaillant l'Urgonien sont sèches. En raison du régime méditerranéen des précipitations peu nombreuses mais intenses, les eaux s'infiltrent dans les fractures et le karst,

Deux méthodes d'approche permettent d'évaluer l'extension de l'aquifère et de l'impluvium :

- une méthode directe correspondant aux expériences de coloration ;
- une méthode indirecte faisant appel aux éléments de calcul du bilan d'eau.

3.2.4. - Expériences de coloration

Plusieurs expériences de coloration ont été réalisées : à partir du tunnel du Mussuguet, des embuts de Coulin (plaine de Gémenos), des ponors du polgé de Cuges et plus à l'Ouest coloration sur le réseau karstique de la Tête du Cade lors de la construction du tunnel du Canal de Provence entre Signes et le Beausset qui a permis de définir une ligne de partage des eaux souterraines au niveau du bassin du Beausset, au droit de la ville du même nom. Vers le Nord du système, l'impluvium a été étendu à la plaine d'Aubagne grâce à la coloration réalisée à l'embut de coulin et aux déductions faites de la piézométrie qui montre nettement un drainage de la nappe par la bordure du massif du Douard ainsi que par le massif de Brigoux.

Au niveau de Cuges, la coloration a été négative, mais cet échec pourrait être dû à la faible quantité de fluorescéine injectée : 1,5 kg contre 45 à 50 kg dans les autres cas. A l'appui de cette remarque signalons, qu'à Coulin, une première injection de 25 kg de fluorescéine s'était avérée négative.

3.2.5. - Essai de calcul d'un bilan d'eau

Pour les secteur considéré, deux études ont tenté d'approcher une valeur de la pluie efficace, c'est-à-dire la part des précipitations qui reste disponible pour le ruissellement et l'infiltration après avoir décompté l'évapotranspiration.

Ces études diffèrent par la méthode de calcul choisie : TURC et PENMAN, les périodes de référence : 46-76 et 71-80 et l'échelle considérée : grande (Cuges les Pins) et petite (niveau national). Néanmoins, les résultats obtenus sont comparables à la différence près de la réserve utile du sol : 100 mm (TURC), 150 mm (PENMAN).

L'extrait de la carte de précipitations annuelles efficaces de La France (cf. fig. 7) donne une pluie efficace moyenne au niveau de Carpiagne de 150 mm environ et comprise entre 200 et 300 mm au niveau de Cuges (méthode de TURC). La méthode PENMAN (annexe 3) donne 267 mm de pluie efficace pour la station de Cuges. Ce résultat est cohérent avec le précédent.

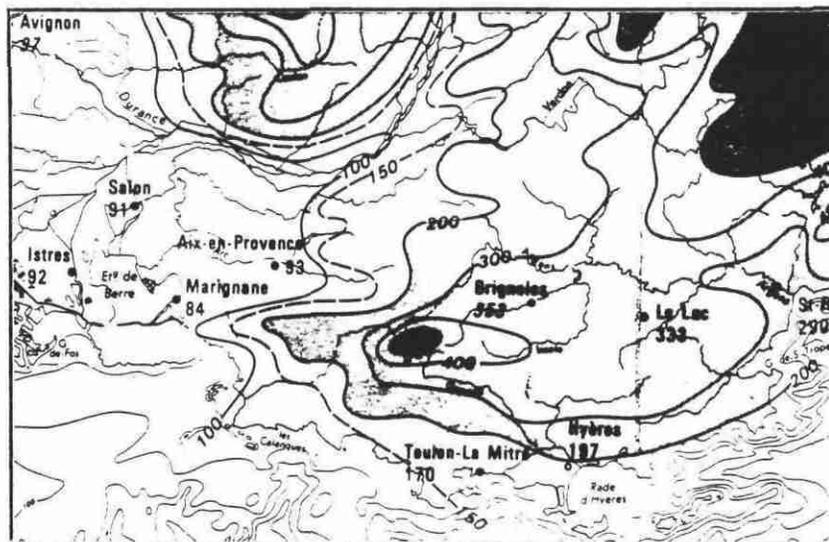


FIGURE 7

PRECIPITATIONS EFFICACES MOYENNES ANNUELLES (1946-1976)
DU PLATEAU DE CARPIAGNE ET DES REGIONS VOISINES

En retenant une valeur de pluies efficaces très élevée (voisine de 300 mm) qui correspondrait à un débit spécifique d'alimentation de 10 l/s/km² et si on affecte aux exutoires de Cassis l'intégralité du bassin versant présumé (de l'ordre de 135 km²), leur débit moyen annuel serait de l'ordre de 1,3 m³/s. Cette valeur est compatible avec un certain nombre de comptes-rendus du chantier de barrage faisant état de relevés à Port-Miou, à la suite d'épisodes pluvieux, de débits de l'ordre de 4 à 10 m³/s.

Par contre, est plus délicate la prise en compte de chiffres fréquemment cités dans des documents divers, faisant état de débits d'étiage de l'ordre de 3 m³/s, de débit moyen annuel de 10 m³/s et de débits de crues pouvant dépasser 100 m³/s.

Il reste que malgré tout pour expliquer l'importance des résurgences observées à Port-Miou, si on retient des valeurs de pluies efficaces plus faibles et donc plus conformes avec celles généralement estimées, il faut imaginer que le bassin versant réel est beaucoup plus large que celui habituellement considéré.

En cela des analyses isotopiques du soufre apportent quelques éléments de réponse qui laisseraient supposer des apports d'origine triasique. Ainsi, le bassin versant pourrait s'ouvrir vers des secteurs englobant la Sainte Baume et ceux de Rougiers ou Saint Zacharie situés au Nord.

Concernant les évolutions de débit au cours du temps, on dispose des quelques mesures faites à Port-Miou.

Par contre, concernant les évolutions piézométriques de la nappe, on ne dispose d'aucun point d'observation. Les seuls piézomètres régulièrement suivis sont dans la partie supérieure de l'aquifère de la plaine de l'Huveaune et ils n'apportent pas de renseignements significatifs pour le sujet.

3.2.6.- Caractéristiques physico-chimiques des eaux

L'annexe 4 donne les résultats d'analyses d'eaux prélevées sur le système Cassis, en particulier à Port-Miou et sur le forage Bronzo (massif du Douard).

L'eau est en général bicarbonatée calcique chlorurée et magnésienne.

3.2.7. - Rejets dans le karst

Plusieurs rejets d'eaux usées autorisés dans le karst ont été inventoriés. Il s'agit des rejets suivants :

- assainissement de la zone industrielle des Paluds à Gémenos-Aubagne.
- rejet de la station d'épuration de Carnoux,
- rejet des eaux du lotissement du Mussuguet à Cassis,
- rejet de la station d'épuration (comprenant des déshuileurs) du camp militaire de Carpiagne,
- stockage des boues rouges à la Barasse.

3.2.8. - Utilisation actuelle des eaux

Outre le projet d'utiliser les eaux de résurgence sous-marine de Port-Miou à des fins d'alimentation en eau potable ou d'irrigation dans un avenir plus ou moins lointain (Syndicat de Port-Miou), les eaux du système sont captées à Cassis (A.E.P. 2 forages: un lotissement) à l'auberge du Bois Joli sur le plateau de Carpiagne (forage à sec au cours de l'été 1983) et à la carrière Bronzo (fabrication de béton).



4. - CONCLUSIONS

On a voulu, dans ce qui précède, dégager une synthèse cohérente susceptible d'être en harmonie avec les analyses géologiques diverses et les rares observations à caractère hydrogéologique, tenant pour l'essentiel aux opérations conduites à Port-Miou et à la recherche d'eau pour le camp militaire.

Cette analyse peut schématiquement se résumer ainsi :

Le massif de Carpiagne au sens large est composé de trois parties :

- sa bordure nord qui draine localement les eaux vers la vallée de l'Huveaune,
- une partie ouest tournée vers le bassin de Marseille,
- une unité prédominante centrale et largement ouverte sur la mer dont les eaux sont drainées par les exutoires littoraux et principalement ceux de Cassis.

Les observations sur l'exutoire principal de Port-Miou tout au long de la conduite du projet de captage des eaux sous-marines de la société des Eaux de Marseille, font état de débits considérables (100 m³/s) qui s'ajoutent à ceux très importants repérés au Bestouan et dont il est difficile d'attribuer l'intégralité de l'origine au massif de Carpiagne qui restent à vérifier.

On sait déjà que le bassin de l'Huveaune participe à l'alimentation depuis les traçages dans l'embut de Coulin ; une autre hypothèse ouvre le bassin versant vers la bordure septentrionale du bassin du Beausset ; il n'est pas exclu que puissent être concernés tout ou partie de massifs tels la Sainte Baume, la Lare et le cours amont de l'Huveaune.

Il faut toutefois bien garder à l'esprit que cette organisation est fondée sur une succession d'hypothèses pour la plupart non confortées par des mesures directes.

Il faut rappeler en effet que :

* Concernant la localisation des zones aquifères et des niveaux piézométriques qui en rendent compte, on dispose en tout et pour tout des renseignements sur 5 sondages mal répartis géographiquement ayant identifié un niveau d'eau à des époques différentes et des informations recueillies à l'occasion de quelques traçages.

Ceci est notoirement insuffisant pour définir les zones réellement aquifères et a fortiori les mécanismes d'écoulement (sens, pentes, piézométrie).

* Concernant les exutoires, on connaît assez bien la localisation des exutoires marins, mais leur régime est souvent mal connu.

* Concernant les échanges souterrains vers le Nord et l'Ouest, ils ne sont ni localisés, ni estimés.

* Concernant les zones fracturées pouvant jouer un rôle drainant eu égard à leur forte perméabilité, on ne peut pas dégager d'ensemble particulier comme l'atteste le réseau très dense de fractures.

Toutefois, quelques séries d'accidents majeurs doivent jouer un rôle privilégié dans l'organisation des écoulements tels ceux de la bordure orientale du massif.

* Concernant le réseau karstique, les seules données disponibles résultent des traçages déjà mentionnés qui prouvent seulement la relation entre la plaine d'Aubagne-Gémenos et les sources de Cassis.

Les avens sont tous obturés à une cote très supérieure à celle présumée des niveaux aquifères.

* Concernant l'utilisation des eaux souterraines dans la partie terrestre, elles servent à l'alimentation de quelques particuliers ou collectivités. Par ailleurs, elles sont exposées aux risques de dégradation par les rejets de station d'épuration ou d'assainissements individuels et des rejets industriels (camp militaire, Carnoux, Aubagne, ...).

* Concernant la valorisation des eaux servant aux exutoires sous-marins le projet supporté par le Syndicat de Port-Miou paraît actuellement en sommeil. L'importance des débits disponibles nécessite qu'on considère qu'il existe là une ressource potentielle qu'il convient de ménager.

* Concernant la qualité des eaux et leur fluctuation saisonnière, on ne dispose que de quelques éléments ponctuels et très incomplets d'autant que peu de points permettent l'accès aux aquifères.

* Enfin, concernant le bilan hydrique, on a dit la difficulté de dégager un schéma d'écoulement souterrain cohérent.

Toutefois les hypothèses réalistes sur les apports météoriques propres au massif, conduisent à des interrogations sur les conditions d'alimentation des sources de Cassis, dont il semblerait que d'autres secteurs que celui traditionnellement admis participent à la collecte des eaux.

La prochaine étape constituera en l'élaboration d'un programme de travaux et de mesures susceptibles de combler les importantes lacunes qui viennent d'être énumérées.

A N N E X E S

1. Inventaire des indices de karstification (avens et grottes)
2. Inventaire des forages réalisés sur la zone prospectée
3. Données climatiques à Cuges-les-Pins
4. Physico-chimique des eaux
5. Bibliographie.

INVENTAIRE DES INDICES DE KARSTIFICATION (AVENS ET GROTTES)

Identification BRGM	Nom	x	y	z	Profond. en m	Géologie	Observations
1044.6.126	aven de la Gardiole	856,7	107,75		27		
1044.6.125	gouffre de la Gorguette	860,36	109,78	205	134	Urgonien	600 m à l'WNW entrée sud tunnel Munuquet
1044.6.124	grotte d'En Vau	857,05	105,24	50	10	Urgonien	
1044.6.123	gouffre des Camerlots	862,50	108,50	270	17	Urgonien	
1044.6.132	aven portail de la Gardiole	857,0	108,42	170	18	Urgonien	
1044.6.131	aven du Logisson(2	856,96	108,70	210	20	Urgonien	
1044.6.130	avec du cantonien	859,5	108,05	150	25	Urgonien	
1044.6.129	grotte des Colongues	862,20	108,7	128	155	Cénomancien	
1044.6.128	gouffre de Port-Miou	858,10	105,60	20,5	20,5	Urgonien	gouffres et grottes sous-marines, aquifères
1044.6.127	pertes du ruisseau des Barges	859,73	107,66	60		Urgonien	
1044.6.138	aven du Gic	857,18	108,82	22,6	38	Urgonien	
1044.6.137	aven des Marseillais ou des 4 trous	856,0	106,81	220	173	Urgonien	orienté sur diaclase NW-SE bouché à 173 m par argile de décalcification (terra rossa)
1044.6.136	aven de la Barrière	857,36	109,05	230	13	Urgonien	
1044.6.135	grotte de l'Oule	856,40	105,58	90	10	Urgonien	
1044.6.134	trou du Logisson	855,91	109,02	235	5	Urgonien	
1044.6.133	tunnel naturel Castel Vieil	857,08	104,74	80	10	Urgonien	Massif de Puget
1044.6.153	gouffre de la	856,175	112,73		520	Urgonien	développé sur diaclase N 110 dolomie en fond
1044.6.141	aven de Calderon	857,0	105,33	140	16	Urgonien	
1044.6.140	avec du Mont Lantin	856,05	111,35	510	70		
1044.6.139	gouffre du Logisson	856,56	109,36	285	107	Urgonien	ouvert sur réseau Port-Miou.

1044.	: embut de Coulin,	867,29	113,87	115		cf. rapport BRGM 69 SGL 212 PRC
1044.7.125	: aven					pas de dossier
1044.7.126	: aven					" "
1044.8.95	: embut de Carauguet					" "
1044.8.96	: " "					" "

INVENTAIRE DES FORAGES DU SECTEUR

Identification BRGM	Nom	x	y	z	Profond. en m	Cote niveau eau(NGF) en m	Géologie	Observations
1044.7.1.	forage	864,72	114,38	106	29	81	calcaire urgonien ?	brèche calcaire au fond forage avec trace circulation eau (concrétions calcaïques)
1044.7.118	forage	865,2	114,65	105	45			à partir 45 m dolomie gréseuse altérée en sable
1044.7.120	forage	864,93	114,38		21	sec	Urgonien	
1044.7.129	forage Bronzo	864,01	112,9	170	140 portés à 180	? + 30	cal.marneux Valanginien	forage +,cote eau fournie par Carrière Bronzo
1044.7.130	forage	868,34	113,54	125	100	65		à 90 m cal,90-100 sables blancs très fins(dolomie altérée et fracturée?) venue à + 48 m
1044.7.133	forage ZI-Aubagne Les Paluds	864,78	114,73	105	64	93,45	Urgonien	
1044.5.278	forage Morgiou	852,20	106,23	10	15	?	Urgonien	Q =1,5 m3/h,fracture aquifère entre 23 et 24 m
1044.7.175	forage ZI Les Paluds	865,51	114,09	131	90	88	Urgonien	Q =74 m3/h (essai d'absorption)
1044.7.203	forage	868,59	113,14	135	95	sec	?	
1044.7.204	forage	868,44	113,65	138	?	66,36	?	
1044.6.3.	forage Cassis	858,9	106,53	12	11,20	4,7		
1044.6.2	forage Cassis	860,21	107,06	33	35	4,30	Urgonien	Q = 15 m3/h
1044.6.12	puits Port-Pin Fontasse	158,14	106,19	54,2	48,15			
1044.6.122	sondage Port Pin				70	- 5,40		cf.rapport DSGR 67 A47
1044.6.122bis	puits d'accès Port-Miou				45			faille recoupée N 60°plongement NW
1044.4.26	forage Cuges							
1044.6.214	forage terrasses Cassis	859,65	107,95	158	192	-14 (?)	Urgonien	Q = 3 à 5 m3/h
1044.6.212	forage Bois Joli					?	Urgonien	à sec courant été 85
	forage Carpiagne S1							
	S2							
	S3							
1044.8.153	forage Cuges	873,34	114,63	230	130	213		Q= 30 m3/h
1044.8.152	forage Cuges	871,23	113,44	180	133	111,77	Urgonien	2 très fracturés entre -68 et -97m
1044.8.151	forage OK Coral	875,34	113,12	275	110	sec		
1044.8.131	forage Cuges vallon Madeleine	873,70	115,20	270	130	?	Bathonien Hettangien	Q= 36 m3/h de 33 à 35 m

A N N E X E 3

DONNEES CLIMATIQUES CUGES-LES-PINS 1971-1980 (ALTITUDE 185m)
ET CALCUL DE L'EAU UTILISABLE

	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Moyenne Année
Température de l'air (° C).	7,03	8,36	9,57	11,57	15,48	19,5	22,24	22,28	18,84	14,08	9,98	7,8	13,89
Température du sol (°C).	9,04	9,04				20,74	20,74	20,74				9,04	14,89
Nombre de jours de pluie par mois.	10	8,5	8,1	8,2	7,4	4,3	2,1	3,7	3,9	6,6	7,0	7,8	77,6
Hauteur des précipi- tations en mm. (P.).	113,99	96,03	79,17	81,17	64,79	28,12	14,04	38,89	47,8	121,62	70,94	96,28	852,81
Evapotranspiration potentielle (thorn- waith) en mm. (ETP)	17,01	19,68	30,6	43,68	79,38	111,36	135,45	126	84,24	51,3	26,73	18,48	
P - ETP mensuel.	96,98	76,35	48,57	37,49	-14,59	-83,24	-121,41	-87,11	-36,44	70,32	44,21	77,8	
P - ETP cumulé.	289,31	365,66	414,23	451,72	437,13	353,89	232,48	145,3	108,93	70,32	114,53	192,33	
Eau stockée à la fin du mois (mm).	150	150	150	150	135,41	52,17	0	0	0	70,32	114,53	150	
Evapotranspiration réelle (thornwaith) mensuelle (m.m.) - E.T.R.	17,01	19,68	30,6	43,68	74,79	92,12	56,04	52,89	52,8	51,3	26,73	18,48	536,12
E.T.R. journalière (mm.)	0,567	0,656	1,02	1,456	2,493	3,07	1,868	1,763	1,76	1,71	0,891	0,616	1,468
P.E.F.													317

Réserve sol 150 mm

A N N E X E 4

ANALYSES DES EAUX

RENSEIGNEMENTS RELATIFS AU PRÉLÈVEMENT

Lieu Carrière BRONZO - Lavabos bureaux Date 6/12/1971 heure
 Opérateur : Par vos soins
 Motif : Qualité de l'eau
 Conditions atmosphériques : température pression
 Nature et importance des précipitations de la période précédant le prélèvement
 Sécheresse, basses eaux, orages, pluies persistantes, crues, etc.
 Nature du point d'eau : Débit :
 Causes éventuelles de pollution :
 Traitement effectué

RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

EXAMEN SUR PLACE	DÉTERMINATIONS	EXAMEN AU LABORATOIRE Commencé le : 6/12/1971 Terminé le : 18/12/1971	
	Sur eau brute		
	Aspect		
	Turbidité		
	Couleur		
	Odeur		
	Saveur		
	Température en °C	20°	
	pH		
	Résistivité à 20 °C en ohm cm	1200	
mé par litre		mé par litre	mg par litre
	Anhydride carbonique libre	0,03	0,3
	Oxydabilité à chaud 10 mn (milieu alcalin)		
	Matières en suspension totales		
	Sur eau séparée des matières en suspension par filtration, décantation ou centrifugation.		
	Résidu sur eau filtrée à 105-110° C		
			Notations particulières
	Dureté totale	6,8	(TH) 34°
	Alcalinité { - à la phénolphtaléine - au méthylorange	0	(TA) 0°
		5,2	(TAC) 26°
	Dureté permanente		(THP)
mg par litre			mg par litre
	Oxydabilité à chaud 10 mn (milieu alcalin)		
	Silice totale		

CATIONS		mé par litre	mg par litre	ANIONS		mé par litre	mg par litre
Ca++		5	100	CO ₃ --		0	0
Mg++		1,8	21,6	HCO ₃ --		5,2	317
NH ₄ +		0	0	SO ₄ --			
Na+				F--			
K+				Cl--		4,7	114
Fe++				NO ₃ --		0,09	6
Mn++				NO ₂ --		0	0
				SiO ₃ --			
				PO ₄ --			
Somme :				Somme :			

ANALYSES BIOLOGIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

L'analyse complète comporte les recherches et numérations bactériologiques ci-après :

- Numération totale des germes avec indication du milieu de culture employé et de la température d'incubation. - Nutrient agar. 24 h. à 37° C. : 4 Colonies ml.
72 h. à 20-22° C. : 15 Colonies ml.

- Recherche et numération des coliformes avec identification d'Escherichia coli et indication de la technique employée. - Lactose Broth. 48 h. à 30° C. : 2 Coliformes/100 ml.
Repiquage sur eau peptonée et Brilliant green bile. 48 h. à 44° C. : 0 E. Coli/100 ml.

- Recherche et numération de l'entérocoque (Streptococcus faecalis) avec indication de la technique utilisée. - Milieu de Litzky à l'Ethyl-violet. 48 h. à 37° C. : 0 Streptocoques fécaux 100 ml.

- Recherche et numération de Clostridium perfringens. Gélose glucosée VF de l'Institut Pasteur. 48 h. à 37° C. : 0 Cl. Perfringens/100 ml.

CONCLUSIONS

Eau bactériologiquement potable

Marseille, le 3 Janvier 19 72

Le Chef de Laboratoire :

Bon

LABORATOIRE D'ESSAIS ET DE MESURES
MECANIQUES, PHYSIQUES ET CHIMIQUES

PLACE VICTOR-HUGO (III^{ème})

Téléphone (91) 50.61.12

DOSSIER N° 20331/

P.V. N° 31304

MARSEILLE, le 15 Juillet 1970

Essais demandés par :

CARRIERES BRONZO

Demeurant à

B. P. n° 10

13 - AUBAGNE

Nature de l'échantillon

I échantillon eau

et

indications fournies

Reçu 23.6.70

OBJET : MFG

ANALYSE D'UN ECHANTILLON D'EAU

I. INTRODUCTION

Nous avons reçu au Laboratoire un échantillon d'eau. Il s'agissait d'en effectuer l'analyse chimique en vue de rechercher sa potabilité et de déterminer si elle pourrait convenir pour le gâchage des bétons.

2. ANALYSE DE L'EAU

2.1 Détermination portant sur l'eau brute : caractères physiques et organoleptiques

Aspect : limpide

Couleur : Incolore

Odeur : Inodore

Résistivité à 20°C en ohms/cm/cm² : 1176

pH à 20°C : 6,7

.../...

2.2 Analyse chimique sommaire (sur l'eau filtrée)

Titre hydrotimétrique total (TH)	35,4
Titre alcalimétrique complet (TAC)	26,0
Titre hydrotimétrique permanent ou titre en sels d'acides forts	9,4
Matières organiques évaluées en mg d'oxygène (oxydation à l'ébullition en milieu alcalin)	1 mg/l
Azote ammoniacal : néant	
Azote des nitrites : néant	
Azote des nitrates : néant	

2.3 Analyse chimique - dosage des ions (sur l'eau filtrée)

	mg/l	mg/l
Fer Fe ⁺⁺	< 0,3	0
Calcium Ca ⁺⁺	87,5	4,38
Magnésium Mg ⁺⁺	25,5	2,21
Sodium Na ⁺ (par différence) ...	28,0	1,21
Manganèse	< 0,1	0
Cuivre	< 0,1	0
Total des cations	142,0	7,80
Bicarbonates CO ₃ H ⁻	317,0	5,20
Sulfates SO ₄ ⁴⁻⁻	54,0	1,12
Chlorures Cl ⁻	52,5	1,48
Total des anions	423,5	7,80
Salinité totale	565,5	15,60

2.4 Composition de l'eau déduite de l'analyse.

La composition est calculée suivant les règles d'association des ions, d'Arrhénius. Elle est communiquée à titre indicatif.

Bicarbonate de calcium Ca(CO ₃ H) ₂	354,5 mg/l
Bicarbonate de magnésium Mg(CO ₃ H) ₂	60,0 "
Sulfate de magnésium MgSO ₄	67,5 "
Chlorure de magnésium MgCl ₂	12,0 "
Chlorure de sodium Na Cl	71,5 "

.../....

2.5 Analyse bactériologique

Nous joignons à notre procès-verbal celui du laboratoire Départemental de la Santé Publique, dont le résumé est communiqué ci-après.

2.5.1. Numération des germes aérobies sur gélose nutritive.

Résultats : 2.000 germes par ml d'eau après 24 h à 37°C.
5.000 germes par ml d'eau après 72 h à 30°C.

2.5.2. Colimétrie

A - Test présomptif : 0 coliforme par 100 cm³ d'eau

B - Test confirmatif : 0 escherichia coli par 100 cm³ d'eau

2.5.3. Recherche et numération des streptocoques fécaux.

Résultats : 0 streptococcus faecalis par 100cm³ d'eau.

2.5.4. Dénombrement de clostridium sulfito-réducteurs.

Résultats : 0 Clostridium sulfito-réducteurs par 100 cm³ d'eau.

3. OBSERVATIONS.

Il s'agit d'une eau bicarbonatée calcique de pH voisin de la neutralité, assez peu chargée en sels, notamment chlorures et sulfates, et en matières organiques.

Elle peut donc convenir pour le gâchage des bétons.

D'autre part, les résultats de l'analyse bactériologique indiquent l'absence de tout organisme ou germe pathogène.

Enfin, les teneurs en fer, manganèse, cuivre, nitrates sont inférieures aux concentrations limites prévues par l'arrêté du 10 août 1961, relatif à l'application de l'article L 25.1 du Code de la Santé Publique pour les eaux potables.

D'une manière générale, cette eau satisfait donc aux conditions de potabilité prévues par cet arrêté : elle est potabi

Pr le Chef des Essais Chimiques

Le Directeur Technique

D. MARTINOLLI

R. BEYRANDY

1. 1

EAUX DE BASSE PROVENCE

NUM	G*	IDENTIFICATION	T	RD	PH	RS	MG/L CATIONS				MG/L ANIONS				
							CA	MG	NA	K	CL	SO4	CO3	HCO3	NO3*
1	1	CANDINS LES BAINS	14.6	436	7.4	2900	550.0	73.0	17.0	3.6	35.0	1350.0	0.0	323.0	0.4
2	2	GROTTE MONARD	14.6	1298	7.6	644	105.5	23.5	31.0	3.2	44.3	170.0	0.0	232.0	17.6
3	3	PUITS DE L ARC	18.8	2115	7.7	420	78.0	19.5	5.5	0.7	5.3	13.5	0.0	330.0	0.4
4	4	SCE CALISSANNE	19.0	375	7.7	2010	120.0	46.5	360.0	17.0	650.0	102.0	0.0	353.0	0.4
5	5	PTS ST VICTOR	15.6	1454	7.8	592	100.0	22.0	34.0	16.0	30.0	87.0	0.0	354.0	0.4
6	6	SCE PALM BEACH	19.7	32	7.8	4280	384.0	821.0	7000.0	316.0	13000.0	1800.0	0.0	173.0	0.4
7	7	CAR BRONZO	19.0	1210	7.7	766	82.0	34.0	52.0	3.3	112.0	68.0	0.0	300.0	1.2
8	8	GD EMISSAIRE	16.5	104	7.9	4560	156.0	175.0	1200.0	88.0	65.9	467.0	0.0	305.0	1.4
9	9	AIX THERMES	34.0	****	****	****	70.0	23.0	15.5	1.2	27.4	42.0	0.0	276.0	0.0
10	10	SCE SALEES	21.0	50	7.5	15295	380.0	420.0	5000.0	185.0	8080.0	1940.0	0.0	327.0	0.4
11	11	ST JOSEPH GALERIE	14.0	1155	7.9	****	128.0	140.0	14.8	3.1	18.0	220.0	0.0	300.0	0.8
12	12	ST JOSEPH NAPPE	15.0	1650	7.8	****	120.0	10.0	8.5	0.8	18.0	72.0	0.0	320.0	0.8
13	13	PORT MIQU	****	91	7.6	13100	150.0	325.0	2700.0	118.0	4400.0	760.0	0.0	256.0	0.6
14	14	BESTGUAN	****	167	7.5	3960	115.0	136.0	1260.0	78.0	2120.0	335.0	0.0	290.0	0.6
15	15	RLVE 24	18.0	65	7.6	13242	304.0	405.0	3500.0	136.0	6380.0	1025.0	0.0	257.0	0.4
16	16	KOVE 520	30.5	92	7.4	7874	254.0	108.0	2200.0	84.0	3050.0	468.0	0.0	288.0	0.5
17	17	NIOLON	17.9	53	7.0	11866	340.0	468.0	4060.0	184.0	7444.0	1425.0	0.0	266.0	0.4
18	18	UGINE KUHLMAN	****	92	7.6	8236	316.0	227.0	2112.0	83.0	3607.0	1002.0	0.0	288.0	0.4
19	19	SUGITON 1	16.2	34	7.6	29074	384.0	922.0	7640.0	330.0	4060.0	2250.0	0.0	187.0	0.4
20	20	SUGITON 2	16.2	46	7.5	19440	288.0	655.0	5210.0	208.0	9635.0	1300.0	0.0	205.0	0.4

2. 1

EAUX DE BASSE PROVENCE

NUM G*	IDENTIFICATION	T*	RD*	PH*	RS*	MG/L CATIONS				MG/L ANIONS				
						CA	MG	NA	K	CL	SO4	CO3	HCO3	NO3*
21	21 SCRMIQU	16.5	59	7.2	15184	260.0	504.0	3920.0	176.0	7180.0	1250.0	0.0	241.0	0.4
22	22 TROU DU SOUFFLEUR	17.0	37	7.7	26622	354.0	832.0	7215.0	328.0	13215.0	1850.0	0.0	194.0	0.4
24	24 EAU DE MER	18.0	20	7.8	41150	540.0	1356.0	11200.0	570.0	21090.0	3300.0	0.0	156.0	0.5
25	25 ST GERMAIN	21.5	450	7.0	2670	576.0	76.8	40.0	1.3	24.8	1680.0	0.0	155.0	0.4
26	26 SCE MASCARON	24.0	550	7.5	1130	112.0	19.2	245.0	10.5	390.0	55.0	0.0	334.0	0.6
27	27 GREGUX LES BAINS	34.2	246	7.6	2980	128.0	30.0	900.0	45.0	1410.0	232.0	0.0	273.0	0.4
28	28 AIX CHAUDRONNIERS	19.2	2860	7.8	265	64.0	48.0	200.0	19.0	284.0	300.0	0.0	1770.0	4.0
29	29 GOURS ALLAUCH	20.2	260	7.3	3250	580.0	120.0	52.0	12.0	95.7	1650.0	0.0	233.0	0.4
30	30 FGE ROGNES	18.0	1380	7.2	500	130.0	10.0	18.0	8.0	35.5	70.0	0.0	332.0	15.0
31	31 FGE ST CYR	17.4	810	7.2	1020	214.0	38.4	60.0	1.5	37.0	500.0	0.0	304.0	1.8
32	32 ST BARNABE	18.2	2250	8.1	268	80.0	84.0	150.0	10.0	195.0	900.0	0.0	1770.0	7.0
33	33 FGE LAMBESC	****	1731	7.3	502	112.4	11.8	12.0	1.0	23.0	47.0	0.0	332.0	2.0
34	34 ENTREE GDE NIME	20.0	905	7.4	980	170.0	80.0	19.0	8.6	20.0	380.0	0.0	500.0	0.0
35	35 ACCES GDE MINE	21.0	670	7.4	1390	210.0	30.0	60.0	10.0	27.0	510.0	0.0	260.0	0.4
36	36 INTERS TRAV BANC	17.0	665	7.7	1450	206.0	105.0	60.5	12.2	21.0	530.0	0.0	600.0	0.4
37	37 TRAV BANC BIVER 1	16.2	720	7.9	1355	180.0	115.0	27.0	10.0	25.0	600.0	0.0	381.0	0.4
38	38 QUARTIER STE VICTOIRE	19.5	1930	7.5	350	76.0	14.0	7.0	1.0	16.0	18.0	0.0	262.0	0.4
39	39 SCE ESCU	****	992	8.0	742	113.0	21.0	105.0	7.0	165.0	110.0	0.0	307.0	0.4
40	40 FGE JOLI BOIS	16.0	940	7.9	750	125.0	4.0	47.0	2.0	32.0	55.0	0.0	366.0	2.2
41	41 ANSE ARNETTE	31.0	42	7.5	29500	745.0	455.0	9900.0	6.9	16500.0	1700.0	0.0	242.0	0.4
44	44 FCNT CAUDG	16.5	1160	7.6	500	102.0	13.0	32.0	4.7	98.0	13.3	0.0	280.0	1.1

ANNEXE 5

BIBLIOGRAPHIE

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE
DES DOCUMENTS CONSULTÉS

- BLANC J., FROGET C., GUIEU G. (1967)
Géologie littorale et sous-marine dans la région de Marseille.
Relations avec les structures de Basse-Provence
Bull. Soc. Géol. Fr. (7), IX, 1967, pp. 561-571
- BONIJOLY D. (1982)
Recherche de ressources en eau pour le camp militaire de Carpiagne
(Bouches-du-Rhône). Etude de la fracturation et télédétection.
Rapport BRGM 82 SGN 092 GEO
- CLUSEAU R. (1965)
Mission expérimentale à La Ciotat et Cassis. Recherches des émergences
d'eau douce en mer.
Rapport BRGM DS 65 A 73
- COLL. (1958)
Les résurgences sous-marines de la région de Cassis.
Bull. Inst. Océan. de Monaco, 27 novembre 1958
- COLL. (1963)
La source sous-marine de Port-Miou. Etude par prospection géophysique.
Livret-guide hydrogéologique.
Rapport BRGM DS 63 A 107
- COLL. (1974)
Etat des connaissances sur les sources littorales et sous-marines.
Publication BRGM/SEM CNEXO
- COTE-REY F. (1982)
La nappe alluviale de l'Huveaune de Pont de l'Etoile à l'embouchure.
Rapport de stage; BRGM, juin 1982
- COULIER C. (1985)
Hydrogéologie karstique de la Sainte-Baume occidentale.
Thèse 3ème cycle, Université de Provence
- DELLERY B., DUROZOY G., GOUVERNET C.
Recherche d'un réservoir aquifère dans la région d'Aubagne.
Rapport BRGM DSGR 67 A 13

- DELLERY B., ARVOIS R., DUROZOY G., GOUVERNET C. (1967)
Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du
31 octobre 1966 sur la vallée de l'Huveaune à l'aval d'Aubagne.
Rapport BRGM DSGR 67 A 52
- DELLERY B., DUROZOY G., GOUVERNET C., JONQUET P. (1967)
Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du
31 décembre 1966. Inventaire des ressources hydrauliques du
bassin du Beausset.
Rapport BRGM DSGR 67 A 91
- DELLERY B., TALBOT H. (1982)
Recherche de ressources en eau pour le camp militaire de Carpiagne.
Rapport BRGM 82 SGN 080 PAC
- DEYDIER A. (1985)
Les circulations d'eau souterraine en relation avec la structure
des massifs de l'Olympe et de l'Aurélien.
Mémoire DEA 3ème cycle, Université de Provence
- DUPIRE S. (1985)
Etude cartographique à 1/25 000 de la zone sud du bassin de Marseille.
Les travertins de Marseille. Aperçu géomorphologique et néotectonique.
Thèse 3ème cycle, Université de Provence
- DUROZOY G., PALOC H. (1969)
Bassin du Beausset. Enseignements apportés par les expériences de
coloration.
Rapport BRGM 69 SGL 212 PAC
- GALOCHER P.
Contribution à l'étude de l'émergence sous-marine de Port-Miou.
- GUEYDON E., TERRIER M. (1985)
Massifs de Puget, Carpiagne, La Gardiole. Recherche des tracés
d'écoulement d'eaux.
Rapport de stage BRGM, août 1985
- GUIEU G. (1968)
Etude tectonique de la région de Marseille.
Thèse Doctorat d'Etat, 1968, Faculté des Sciences de Marseille
- GUIEU G. (1982)
Les possibilités des ressources inexploitées face aux données
structurales nouvelles d'une région plissée : La Provence.
Act. 4ème Conférence internationale Com. Europ. Méditer. de
Planification des Eaux, Marseille, 10-12 mai 1982

GIE

La résurgence d'eau douce sous-marine de Port-Miou, par Syndicat de recherche de Port-Miou - GIE - FRANKARST.
Rev. Chantiers de France, n° 104

GOUVERNET C., GUIEU G., ROUSSET C. (1971)
Guides géologiques régionaux : Provence

MATHIEU B. (1983)
Etude des possibilités d'épandage des résidus de stations d'épuration d'une collectivité. Application au cas de Cuges-les-Pins (Bouches du Rhône).
Thèse 3ème cycle, Université de Nice

NICOD J. (1967)
Recherches morphologiques en Basse Provence calcaire.
Rev. Géog. Pays Méditer. (1967)

ROUSSET C. (1968)
Contribution à l'étude des karts du Sud-Est de la France :
Altérations morphologiques et minérales.
Thèse Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Marseille

Syndicat de recherches d'eau de Port-Miou (1972)
La source sous-marine de Port-Miou. Bilan des études au
31 décembre 1971. Examen des problèmes de captage.
Rapport BRGM 72 SGN 028 AME

Syndicat de recherches d'eau de Port-Miou (1973)
Recherche et captage de résurgences sous-marines d'eau douce.
2ème colloque international sur les eaux souterraines

Documents techniques remis par la Station d'Épuration.