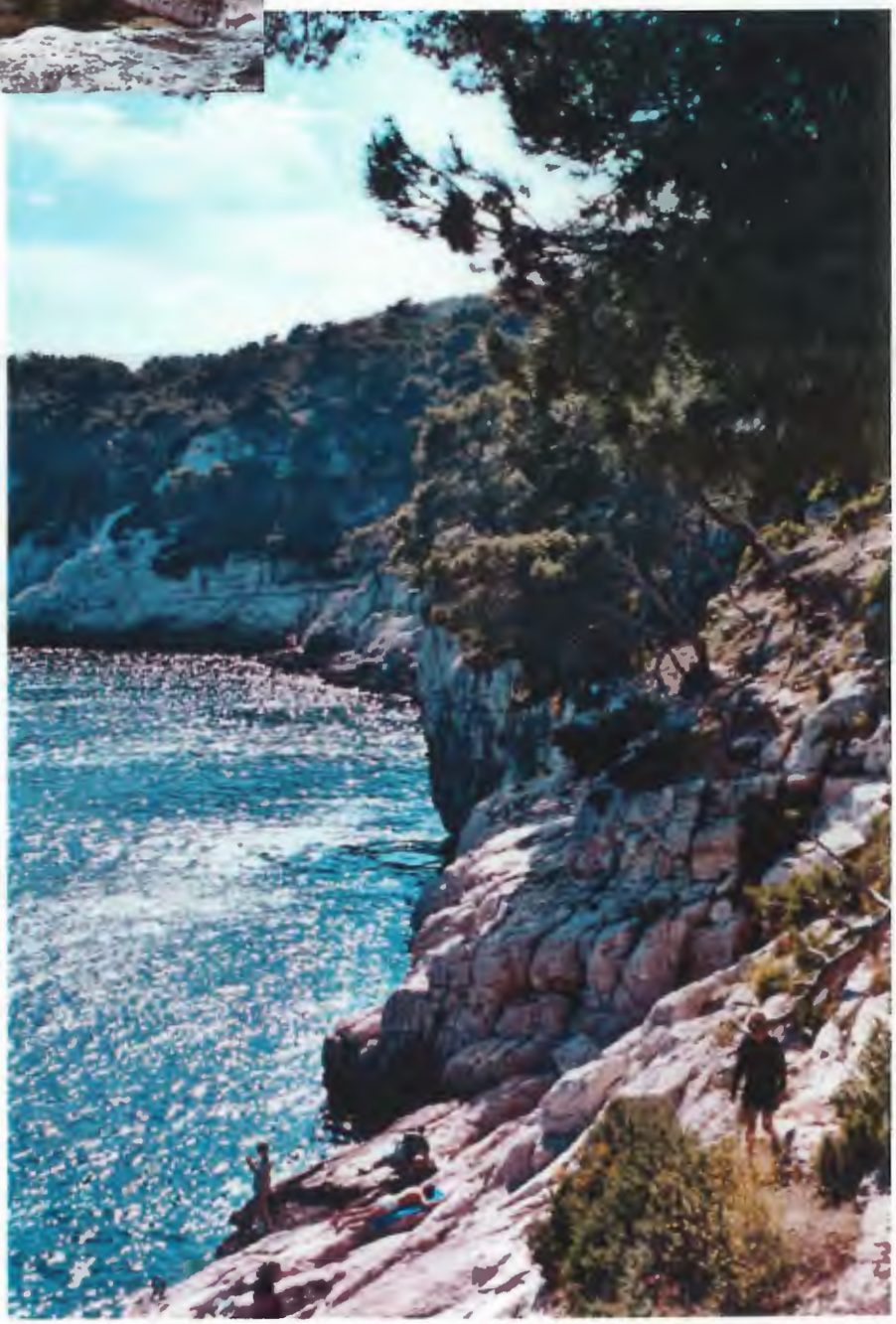
MRS D 1552.

Agence de l'Eau
rhône méditerranée corse

Éric Gilli
Karstologue
Professeur à l'Université Paris 8
8, place Garibaldi 06300 Nice
tél. 04 93 55 90 07 fax. 04 93 55 97 06
e-mail : e.gilli@wanadoo.fr
URL : http://www.karstology.com



Étude préalable sur le drainage des karsts littoraux

A - Bouches du Rhône et Var : entre l'étang de Berre et Toulon
B - Corse : régions de Bonifacio et St Florent

janvier 2002

Etude préalable sur le drainage des massifs karstiques littoraux des Bouches-du-Rhône, du Var et de la Corse.

Résumé

PROVENCE

Le sud de la Basse Provence est riche en massifs karstiques dont l'hydrogéologie a été peu étudiée. L'importance des façades littorales laisse supposer l'existence de fuites importantes vers la mer, dont certaines sont déjà bien connues dans la région de Cassis. Leur détection et l'évaluation de leur importance est un préalable nécessaire à toute synthèse hydrogéologique sur les karsts de cette zone. Une étude a donc été conduite à la demande de l'Agence de l'Eau Rhône - Méditerranée - Corse afin de collecter les données existantes, de les vérifier et de les compléter par des enquêtes de terrain.

L'est et l'ouest de la zone étudiée offrent peu d'intérêt.

A l'ouest, la partie sud du Massif de la Fare est drainée par la source de Calissane légèrement salée et vers l'ouest par les Laurons, groupe d'émergences sous-marines et littorales saumâtres dans l'Etang de Berre. Ceci révèle l'existence d'un aquifère karstique profond contaminé par la mer. Les bilans y paraissent correctement équilibrés.

Les massifs de la Nerthe et de l'Estaque pour lesquels plusieurs émergences littorales sont signalées ont vu leur drainage profondément modifié par le creusement du canal du Rove qui collecte aujourd'hui d'importantes quantités d'eau. La plupart des indices signalés en bibliographie sont aujourd'hui taris et le bilan est difficile à réaliser. Cependant compte tenu des débits du canal du Rove, des quelques sources existantes et des prélèvements qui auraient été effectués par forage en différents secteurs, il est peu probable que d'importantes ressources puissent être mobilisées dans ce secteur, d'autant plus qu'une partie de cet ensemble est vraisemblablement drainée vers le nord, vers le secteur de Bolmon.

A l'est de la zone d'étude, les calcaires jurassiques de la région de Bandol dont la superficie est réduite, semblent partiellement drainés vers la source sous-marine de Portissol, et aucune ressource importante n'est envisageable à ce niveau. Autour de Toulon, les bilans paraissent équilibrés hormis pour les calcaires triasiques qui pourraient alimenter une émergence sous-marine dans la rade. Les possibilités y sont cependant réduites compte tenu de la superficie des affleurements

A l'inverse la partie centrale de la zone d'étude apparaît particulièrement intéressante.

Autour de Marseille, les massifs de l'Etoile et d'Allauch sont dépourvus d'exutoire. D'importantes quantités d'eau ont été rencontrées lors du percement de la Galerie de la Mer des mines de Gardanne, révélant l'existence d'un aquifère karstique profond. La destination naturelle des eaux est inconnue. Il se peut qu'une partie se dirige vers la source du Roucas Blanc, mais son débit est insuffisant pour permettre d'équilibrer le bilan de ces unités.

Plus à l'est d'importantes sorties d'eau sont connues à Cassis dans le massif des Calanques : Port Miou et le Bestouan. A partir des données collectées lors des travaux effectués pour le captage expérimental de Port Miou, le débit moyen de ces sources a été évalué à près de 8 m^3/s. Or un tel débit ne peut s'expliquer par le drainage du seul massif des Calanques. Et bien que des travaux sur le Massif de la Sainte Baume aient révélé un déficit à ce niveau, ceci reste insuffisant. A partir des données disponibles dans la littérature, une analyse sommaire a donc été conduite sur les massifs karstiques situés plus au nord, jusqu'à la Sainte Victoire. Elle révèle un déficit quasi général. Si une partie de l'eau alimente quelques sources comme celle de l'Árgens, il semble qu'une part importante participe à l'alimentation d'un aquifère profond. Les sources de Cassis pourraient donc drainer un gigantesque aquifère karstique comprenant la plupart des unités karstiques situées au sud de la Sainte Victoire, entre le massif de l'Etoile à l'ouest et la région de Brignoles à l'est et incluant donc le Bassin de l'Arc où, sous les terrains imperméables du Crétacé, d'importantes venues d'eau provenant du Jurassique ont été rencontrées lors de la foration du Puits de l'Arc. Un tel système aurait pu se mettre en place au Messinien, à grande profondeur, ce qui est corroboré par l'existence de drains à grande profondeur dans la grotte noyée de Port Miou et par la présence, à plus de 250 m de profondeur, de la tête du canyon sous-marin de la Cassidaigne qui présente les caractéristiques d'une reculée karstique.

Dans la région de la Baie de la Ciotat, la présence d'émergences sous-marines signalées par le BRGM pour expliquer le drainage du Bassin interne du Beausset n'a pu être confirmé et il est probable que ce secteur participe aussi à l'alimentation de Port Miou.

Sous réserve de s'intéresser à des zones isolées de la mer, de nouvelles ressources pourraient être mobilisées par forage au niveau de cet aquifère profond. Cependant, le raisonnement qui conduit à admettre son existence repose principalement sur les valeurs de débit de Port Miou, ainsi que sur celles des différentes sources karstiques des massifs situés au nord. Ces valeurs doivent donc être vérifiées.

CORSE

En Corse les zones karstiques sont rares et se résument à des massifs de calcarénites dans les régions de Bonifacio et de St. Florent. Très peu d'études consacrées à ce thème sont disponibles et aucune venue d'eau littorale ou sous-marine n'a été signalée. La pluviosité réduite, l'importance du couvert végétal et de l'évapotranspiration permettent facilement d'expliquer le débit des sources existantes et des prélèvements actuels. Une vérification d'éventuelles venues d'eau douce le long des falaises de Bonifacio et du littoral de St. Florent pourrait être conduite mais il semble peu probable de pouvoir mettre en évidence une ressource exploitable à ce niveau. D'autres formations, les bandes de cipolins intercalées dans les séries métamorphiques du Cap Corse, sont plus intéressantes. Par analogie avec les sources de Brando issues de ces formations carbonatées on peut voir que les cipolins drainent les unités qu'ils traversent. Les affleurements littoraux de la région de Sisco pourraient faire l'objet d'une recherche spécifique, d'autant plus qu'une importante grotte y est connue qui est certainement un exutoire fossile.

ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX

E. Gilli - janvier 2002

SOMMAIRE

A / INTRODUCTION **6**

A / 1. - OBJECTIFS DE L'ETUDE 6
A / 2. - DOCUMENTATION DISPONIBLE 6
A / 2.1. - Ouvrages de synthèse : *6*
A / 2.2. - Thèses : *7*
A / 2.3. - Cartes géologiques : *7*
A / 2.4. - Inventaires spéléologiques : *7*
A / 2.5. - Etudes hydrogéologiques : *7*

B / BOUCHES-DU-RHONE ET VAR **8**

B / 1. - PRESENTATION 8
B / 1.1. - Zone d'étude *8*
B / 1.2. - Contexte géographique *9*
B / 1.2.1. - Climatologie : 9
B / 1.2.2. - Hydrographie : 10
B / 1.3. - Contexte géologique *11*
B / 1.3.1. - Structure géologique de la Basse Provence occidentale : 11
B / 1.3.2. - Lithologie : 13
B / 1.4. - Hydrogéologie générale *14*
B / 1.4.1. - Formations aquifères 14
B / 1.4.2. - Nappes alluviales : 14
B / 1.4.3. - Bassin fuvélien d'Aix -Gardanne : 14
B / 1.4.4. - Unités karstiques : 14
B / 1.4.5. - Emergences littorales : 15
B / 1.5. - Karstologie et spéléologie : *16*
B / 1.5.1. - Age de la karstification 16
B / 1.5.2. - Rapports entre karstification régionale et variations du niveau marin. 17
B / 1.5.3. - Historique de la karstification de la région de Marseille-Toulon. 18
B / 1.5.4. - Remontée du niveau de la mer à l'Holocène : 18
B / 2. - PRINCIPAUX INDICES HYDROGEOLOGIQUES 20
B / 2.1. - Bassin de l'Arc *20*
B / 2.2. - Chaîne de la Sainte-Victoire, Bois de Concors et Bois de Pourrières. *21*
B / 2.3. - Chaîne de la Fare - Etang de Berre *22*
B / 2.4. - Chaînes de l'Estaque, de la Nerthe et de l'Etoile *23*
B / 2.4.1. - Massif de l'Etoile 23
B / 2.4.2. - Massifs de la Nerthe et de l'Estaque. 23
B / 2.5. - Bassin de Marseille *25*
B / 2.6. - Ile de Riou *25*
B / 2.7. - Massifs des Calanques et de Marseilleveyre *25*
B / 2.7.1. - Description. 25
B / 2.7.2. - Sources diffuses 26
B / 2.7.3. - Les sources de Cassis (cf. fig . 10) 26
B / 2.8. - Bassin interne du Beausset *36*
B / 2.8.1. - Unité du Bec de l'Aigle 36
B / 2.8.2. - Baie de la Ciotat 37
B / 2.8.3. - Ollioules - Evenos 38
B / 2.8.4. - Essai de bilan sur le Bassin interne du Beausset 38
B / 2.9. - UNITE DE BANDOL - TOULON *39*
B / 2.9.1. - Description 39
B / 2.9.2. - Baie de Bandol 39
B / 2.9.3. - Sanary 39
B / 2.9.4. - Jurassique de Toulon 39
B / 2.9.5. - Le Trias de Toulon 41
B / 2.9.6. - Essai de bilan sur l'unité Bandol -Toulon 42

B / 3. - REFLEXIONS GENERALES SUR L'HYDROGEOLOGIE DU LITTORAL DE BASSE PROVENCE 43
B / 3.1. - Essai de bilan : ... *43*
B / 3.2. - Apport de la piézométrie ... *45*
B / 3.3. - REFLEXION SUR LA KARSTIFICATION PROFONDE ... *46*
B / 3.3.1. - Evidences ... 46
B / 3.3.2. - Bathymétrie ... 46
B / 3.3.3. - Conclusion sur la bathymétrie ... 49
B / 3.3.4. - La crise du Messinien ... 51
B / 3.4. - CONCLUSION SUR LA BASSE PROVENCE ... *53*
B / 3.4.1. - Hydrogéologie générale ... 53
B / 3.4.2. - Conséquences sur la structure géologique de la Provence ... 53
B / 3.4.3. - Conséquences économiques ... 53

C / LA CORSE ... 55

C / 1. - PRESENTATION ... 55
C / 2. - SECTEUR DU CAP CORSE ... 57
C / 2.1. - Zones karstiques ... *57*
C / 2.2. - Source de la Glacière et grotte de Brando. ... *57*
C / 2.3. - Grotte de Cisco ou Sisco ... *59*
C / 2.4. - Cipolins de Maccinagio ... *60*
C / 3. - SECTEUR DE BONIFACIO ... 61
C / 3.1. - Présentation ... *61*
C / 3.2. - Indices de la région de Bonifacio ... *62*
C / 3.2.1. - Grotte du Sdragonato ... 62
C / 3.2.2. - Puits St Barthélémy ... 62
C / 3.2.3. - Source de Cala di Labra ... 63
C / 3.2.4. - Source de Capello ... 63
C / 3.2.5. - Vallon de Saint Julien ... 64
C / 3.2.6. - N 196 ... 64
C / 3.2.7. - Grotte sous marine de la Cala de Bonifacio ... 64
C / 3.3. - Conclusion ... *64*
C / 4. - SECTEUR DE SAINT FLORENT ... 64
C / 5. - AUTRES SECTEURS ... 66
C / 6. - CONCLUSION ... 67

D / INVESTIGATIONS COMPLÉMENTAIRES À ENVISAGER ... 68

D / 1. - LES BOUCHES DU RHÔNE ... 68
D / 1.1. - Hydrogéologie générale ... *68*
D / 1.2. - Etang de Berre ... *69*
D / 1.3. - Estaque, Nerthe et Etoile ... *69*
D / 1.4. - Marseille ... *69*
D / 1.5. - Calanques de Cassis ... *69*
D / 1.6. - Baie de la Ciotat ... *70*
D / 2. - LE VAR ... 70
D / 2.1. - Beausset externe ... *70*
D / 2.2. - Bassin interne du Beausset ... *70*
D / 2.3. - Secteur Bandol-Sanary ... *70*
D / 2.4. - Toulon ... *70*
D / 3. - LA CORSE ... 70
D / 3.1. - Bonifacio ... *70*
D / 3.2. - Saint Florent ... *71*
D / 3.3. - Série des calcschistes ... *71*

E / BIBLIOGRAPHIE ... 72

F / ANNEXES ... 84

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : IMAGE SATELLITE DE LA ZONE D'ÉTUDE 8
FIGURE 2 : PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE MOYENNE DU VAR ET DES BOUCHES DU RHÔNE 10
FIGURE 3 : CARTE STRUCUTRALE SIMPLIFIÉE DE LA PROVENCE (D'APRÈS ROUIRE, 1979) 11
FIGURE 4 : ALTERNANCES DES PÉRIODES FROIDES ET CHAUDES SUR 1 MILLION D'ANNÉES, À PARTIR DE DOSAGES ISOTOPIQUES SUR UNE CAROTTE DE GLACE POLAIRE. 16
FIGURE 5 : DÉTAIL DES VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER DURANT 150000 ANS 17
FIGURE 6 : DISTRIBUTION DES ENCOCHES MARINES RENCONTRÉES LE LONG DU LITTORAL DES B. DU RHÔNE. 19
FIGURE 7 : SCHÉMA GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉ DU CENTRE DU BASSIN DE L'ARC (CHALUMEAU, 2000). 20
FIGURE 8 : LOGS STRATIGRAPHIQUES DU BASSIN DE L'ARC (D'APRÈS CHALUMEAU, 2000) 21
FIGURE 9 : POSITION DES SOURCES DE ST CHAMAS :. 22
FIGURE 10 : LOCALISATION DES DIFFÉRENTES SORTIES D'EAU DE CASSIS 26
FIGURE 11 : THERMOGRAPHIE AÉRIENNE DU LITTORAL DE CASSIS EN FÉVRIER 1971 27
FIGURE 12 : COUPE DE LA SOURCE DU BESTOUAN À CASSIS 27
FIGURE 13 : COUPE DE LA SOURCE DE PORT MIOU À CASSIS 28
FIGURE 14 : PLAN DE LA GALERIE DE PORT MIOU (CORROY, 1958 ET DOUCHET, 1992) 29
FIGURE 15 : COURBE DES DÉBITS DE PORT MIOU. AUTOMNE 1973. 31
FIGURE 16 : SCHÉMA GÉOLOGIQUE DE L'UNITÉ DU BEAUSSET. 34
FIGURE 17 :PRINCIPAUX GOUFFRES EXPLORÉS EN AMONT DE PORT MIOU ET DU BESTOUAN DANS LE MASSIF DES CALANQUES 35
FIGURE 18 : PRINCIPALES CAVITÉS EN AMONT DE PORT MIOU ET DU BESTOUAN 36
FIGURE 19 : SOURCES SIGNALÉES PAR LE BRGM DANS LA BAIE DE LA CIOTAT. 37
FIGURE 20 : THERMOGRAPHIE AÉROPORTÉE (FÉVRIER 1971) 38
FIGURE 21 : PLAN ET COUPE DE LA SOURCE TEMPORAIRE DU RAGAS (D'APRÈS COURBON & PAREIN, 1991) 40
FIGURE 22 : PLAN ET COUPE DE LA SOURCE ST. ANTOINE (D'APRÈS COURBON & PAREIN, 1991) 40
FIGURE 23 : BASSIN D'ALIMENTATION HYPOTHÉTIQUE DES SOURCES DE PORT MIOU 44
FIGURE 24 : CARTE GÉOMORPHOLOGIQUE SOUS-MARINE AU LARGE DES CALANQUES 47
FIGURE 25 : CARTE BATHYMÉTRIQUE DE LA RADE DE TOULON (D'APRÈS MANGAN ET GILLI, 1997) 48
FIGURE 26 : HYPOTHÈSE DE L'EXISTENCE D'UN DRAIN PROFOND À PORT MIOU 50
FIGURE 27 : SCHÉMA THÉORIQUE DE L'ABAISSEMENT DU BISEAU SALÉ LORS DE LA CONSTRUCTION DU 2ÈME BARRAGE DE PORT MIOU. 51
FIGURE 28 : CARTE GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉE DE LA CORSE 55
FIGURE 29 : LOCALISATION DES ZONES D'ÉTUDE 56
FIGURE 30 : LOCALISATION DE LA GROTTE DE BRANDO ET DE LA SOURCE DE LA GLACIÈRE 57
FIGURE 31 : PLAN ET COUPE DE LA GROTTE DE BRANDO D'APRÈS CALANDRI (1985) 58
FIGURE 32 : LOCALISATION DE LA GROTTE DE SISCO 59
FIGURE 33 : PLAN ET COUPE DE LA GROTTE DE SISCO D'APRÈS CALANDRI (1985) 60
FIGURE 34 : SCHÉMA GÉOLOGIQUE SIMPLIFIÉ DU CAUSSE DE BONIFACIO 61
FIGURE 35 : PLAN ET COUPE DE LA GROTTE ST BARTHÉLEMY 63
FIGURE 36 : PLAN DE LA GROTTE DE CASTIGLIONE D'APRÈS PÉREIRA (1999) 65
FIGURE 37 : LOCALISATION DES INDICES DE ST. FLORENT 66

Planche 1 : Carte hydrogéologique de la région de Marseille à 1/250000ème 19-20
Planche 2 : Carte hydrogéologique de la région de Toulon à 1/250000ème 38-39

A / INTRODUCTION

A / 1. - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude a été commandée par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. Elle a pour but de préciser l'état des connaissances sur l'hydrogéologie des massifs karstiques littoraux entre l'Etang de Berre et Toulon ainsi qu'en Corse.

Les sources sous-marines et littorales constituent pour les aquifères karstiques méditerranéens proches de la mer une importante fuite difficilement quantifiable. Une étude réalisée pour le compte de la DIREN PACA, entre 1995 et 1998 sur le littoral des Alpes Maritimes entre Cannes et Menton (Gilli, 1995) a permis de détecter plusieurs émergences karstiques littorales et sous-marines et de lever ainsi de nombreux points d'interrogation sur l'hydrogéologie des chaînons calcaires de l'Arc de Nice. L'identification et la quantification de ces émergences est en effet une étape nécessaire pour préciser le fonctionnement de ce secteur tributaire des aquifères karstiques et pour permettre une éventuelle utilisation de cette ressource inexploitée.

Une étude similaire a donc été menée dans les Bouches du Rhône, le Var et la Corse. A l'inverse des Alpes Maritimes, ces secteurs ont déjà donné lieu à de nombreuses études ponctuelles (SEM, Universités,...) qu'il convenait d'analyser pour identifier les besoins en études prioritaires.

La méthode retenue a donc été de procéder à analyse bibliographique complétée d'enquêtes locales et de terrain auprès de la population locale, des plongeurs et des spéléologues.

Cette analyse est un préalable à d'éventuelles campagnes de mesures en mer pour étudier *in situ* les émergences sous-marines et littorales de la zone d'étude et compléter ainsi la connaissance générale de ce secteur.

A / 2. - DOCUMENTATION DISPONIBLE

A / 2.1. - Ouvrages de synthèse :

Les principales synthèses hydrogéologiques sur la Basse Provence, sont les cartes hydrogéologiques à 1/200 000ème et leurs notices établies par le BRGM et la DDAF : Var et Bouches-du-Rhône. Elles regroupent des données acquises lors de l'établissement des Evaluations ou des Inventaires des Ressources Hydrauliques (ERH et IRH) du BRGM.

Concernant les sources karstiques littorales on peut citer l'étude BRGM sur les réservoirs aquifères entre Nice et Menton dont une part importante est consacrée aux massifs calcaires jurassiques (Durozoy G. et Gouvernet Cl., 1965).

A / 2.2. - Thèses :

Malgré la taille de la zone et l'importance supposée des problèmes hydrogéologiques relatifs à la présence de grands centres urbains (Marseille, Toulon, Aix), les thèses sont rares :

- Emergences littorales : approche géochimique par M. Vernet et B. Vernet (1980),
- Bassin de Fuveau : A. Chalumeau (2000),
- Chaîne de la Fare : G. Chevenier (1985),
- Sainte Baume : Ch. Coulier (1985) et P. Martin (1991)
- Massif des Maures : Combes (1976)

A / 2.3. - Cartes géologiques :

Hormis le secteur de Bonifacio où la carte est en cours de réalisation, l'ensemble de la zone d'étude, continent et Corse, est couvert par la carte géologique du BRGM à 1/50 000ème

A / 2.4. - Inventaires spéléologiques :

Plusieurs inventaires ont été publiés :

- Bouches du Rhône : R. Parein et P. Courbon (1991), J.C. Fait (1994)
- Var : CDS 83 (2001), R. Parein et P. Courbon (1991)
- Corse : P.A. Rémy (1950)

A / 2.5. - Etudes hydrogéologiques :

Il existe quelques monographies à l'échelle d'un massif parmi lesquelles :

- Plateau de Siou Blanc (Var) : P. Courbon , (1979) et SpéléH2O (2000)
- Bassin du Beausset (Var) : G. Durozoy et H. Paloc (1969), R. Monteau (1971 et 1978)
- Plateau d'Agnis (Var) : E. Gilli (2000)
- Sainte Baume (Var et B. du Rh.) : R. Monteau et P. Courbon (1983)
- Ville de Toulon (Var) : Ch. Mangan et E. Gilli (1997) (rapport DDE confidentiel).

On remarque donc que, hormis les travaux déjà anciens du BRGM, le secteur Var et Bouches-du-Rhône est pauvre en études hydrogéologiques et que ces dernières sont inexistantes pour la Corse.

B / BOUCHES-DU-RHONE ET VAR

B / 1. - PRESENTATION

B / 1.1. - Zone d'étude

La zone d'étude prévue au cahier des charges comprend les massifs calcaires littoraux entre l'étang de Berre à l'ouest et Toulon à l'est. Elle inclut donc :

- pour le continent : la chaîne de l'Estaque, le massif de Marseilleveyre, les Calanques, le Jurassique de Bandol, le Jurassique et le Trias de Toulon ainsi que les unités continentales rattachées à ces karsts, Chaîne de l'Etoile, Massif de la Ste Baume, Plateau de Siou Blanc, Bassin du Beausset et Mont Faron.
- pour la Corse : les calcaires miocènes des régions de St Florent et de Bonifacio, et les petites unités de calcschistes et cipolins de la côte orientale au sud du Cap Corse.

Figure 1 : Image satellite de la zone d'étude

Cependant, au cours de ce travail, il est apparu nécessaire de déborder le secteur d'étude initialement prévu pour la Basse Provence et d'inclure dans cette analyse les unités jurassiques du Bassin d'Aix, jusqu'à la Ste Victoire au nord.

B / 1.2. - Contexte géographique

La partie est de la basse Provence peut être décrite comme constituée d'une série de bassins bien individualisés (Bassin d'Aix, de Gardanne, de Marseille, Etang de Berre, Bassin du Beausset) ceinturés de chaînons calcaires (Ste Victoire, Etoile, Ste Baume,...). Cet ensemble est limité à l'est par la vaste dépression d'Hyères et à l'ouest par la vallée du Rhône.

La bordure sud est caractérisée par des reliefs vigoureux plongeant directement en mer avec parfois d'imposantes falaises (Calanques, Cap Canaille, Bec de l'Aigle).

B / 1.2.1. - Climatologie :

Le climat est de type méditerranéen avec une répartition bimodale des pluies, au printemps et à l'automne. Les étés sont secs avec des précipitations souvent inférieures à 10 mm. Les températures sont clémentes de 15 à 17°C en moyenne avec des hivers doux sur le littoral.
Les vents sont souvent violents (Mistral >100 km/h dans la vallée du Rhône).

Pluviométrie (moyenne annuelle 1951-1970 - cf. données Météorologie Nationale, en annexe):

La quantité d'eau, faible à l'ouest et au sud , augmente avec les reliefs vers l'est.

Bouches-du-Rhône		**Var**	
Cassis	725 mm	Agnis	900 mm
Nerthe	490 mm	Plan d'Aups	1058 mm
Marseille	560 mm	St Maximin	891 mm
Etoile	600 mm	Ste Victoire	900 mm
Berre	560 mm	Signes	970 mm
Gréasque	740 mm		

Tableau 1 : Pluviométrie du Var et des Bouches du Rhône (moyennes annuelles 1951-1970)

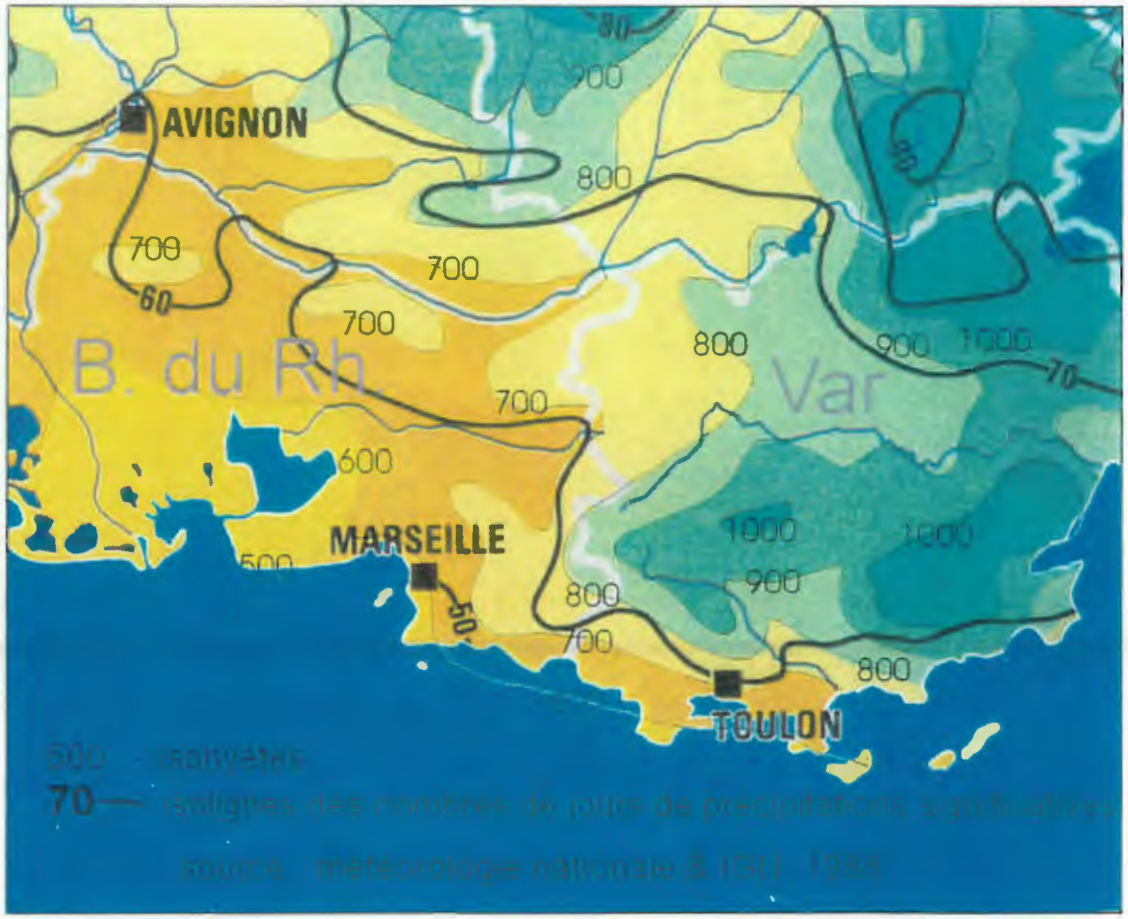


Figure 2 : Pluviométrie annuelle moyenne du Var et des Bouches du Rhône

B / 1.2.2. - Hydrographie :

Le secteur d'étude est pauvre en écoulements de surface pérennes. Le régime est de type méditerranéen avec des crues violentes et des étiages très prononcés. Les cours d'eau principaux sont :

- L'Arc (80 km) et la Touloubre (65 km) qui drainent vers le sud-ouest le bassin d'Aix et se jettent dans l'étang de Berre. Ce dernier se déverse en mer par un étroit chenal entre Martigues et Fos

- Au centre, l'Huveaune (46 km) qui prend sa source au nord de la Sainte Baume, près de Nans les Pins, traverse la dépression d'Aubagne et se jette en mer au niveau de Marseille.

- Le Gapeau qui draine vers le sud la partie orientale de la zone d'étude.

- Au nord-est et à l'est, l'Argens et ses affluents (Cauron, Caramy, Issole) assurent un drainage vers l'est en direction de Fréjus

- Sur la bordure sud on note la présence de petits fleuves côtiers : le Las à Toulon alimenté par la source du Ragas-Dardennes; l'Eygoutier à Toulon, la Reppe à Sanary alimentée par les sources d'Ollioules-Evenos, le Grand Vallat à Bandol.

D'une façon générale, les débits sont faibles et se réduisent considérablement, voire s'annulent en été, donnant un caractère aride à cette région.

B / 1.3. - Contexte géologique

B / 1.3.1. - Structure géologique de la Basse Provence occidentale :

La structure de la Basse Provence occidentale est très complexe et a donné lieu à d'importants affrontements entre géologues d'écoles variées dès le XIX ème siècle.

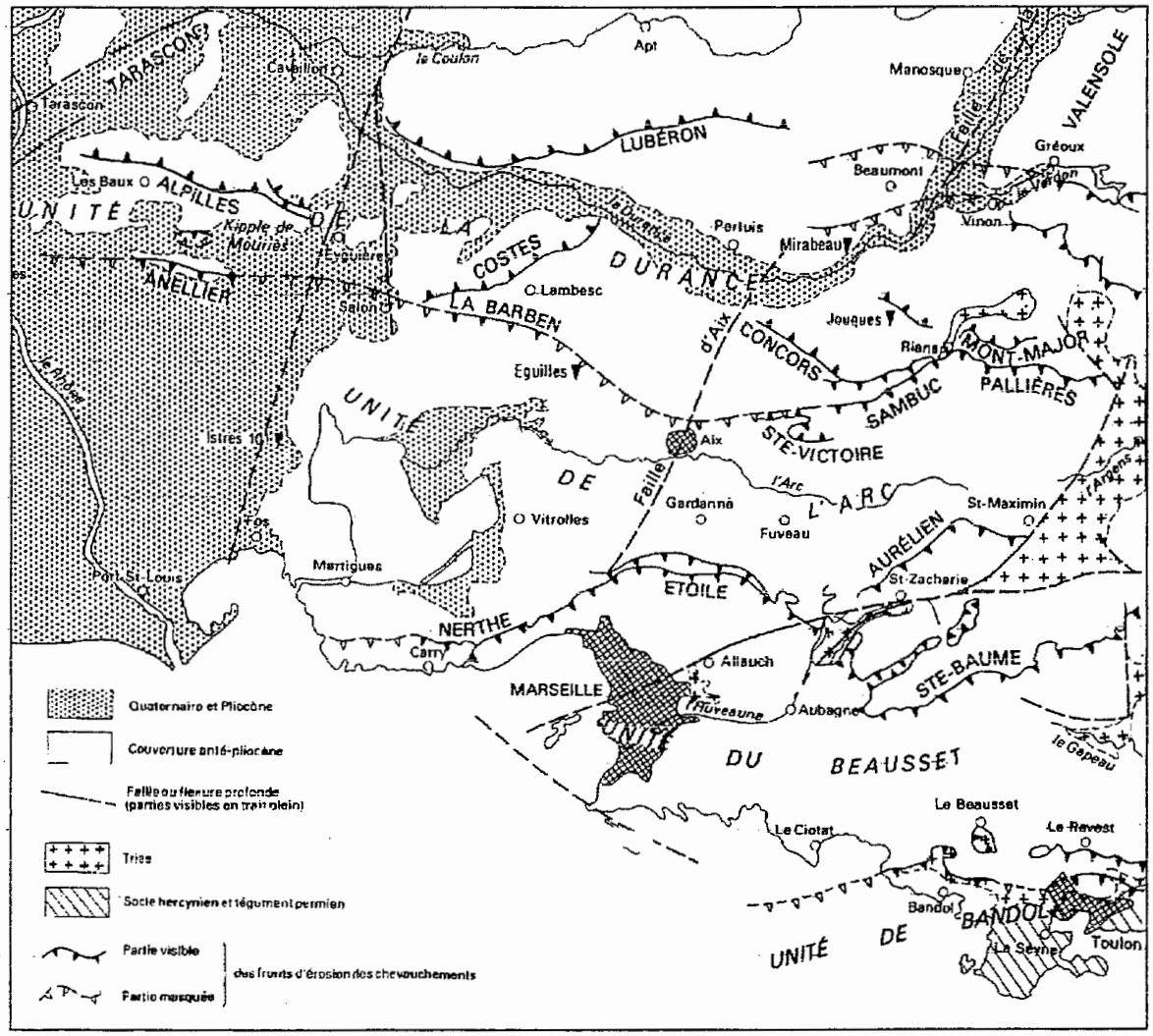


Figure 3 : Carte strucutrale simplifiée de la Provence (d'après Rouire, 1979)

La Basse Provence appartient à l'ensemble pyrénéo-corso-sarde qui a dérivé vers le sud-est à l'Oligocène. On y distingue un socle hercynien présent au Cap Sicié et une couverture sédimentaire, décollée sur le Trias inférieur et affectée par des charriages vers le nord (Rousset, 2000). Selon Rouire (1979), sur un plan structural, elle peut se résumer à une série de large synclinaux ou de zones tabulaires séparés par des montagnes à structure glissée dont la direction globale est est-ouest.

Cette structure est le résultat d'une tectonique tangentielle dans laquelle la couverture ante-oligocène forme une grande nappe de recouvrement composée de plusieurs unités se chevauchant vers le nord.

On peut distinguer, du sud vers le nord, 3 unités structurales :

- l'unité de Bandol, formée d'un synclinal de terrains jurassiques et triasiques s'appuyant sur un socle hercynien très écaillé. Cette unité chevauche vers le nord le bassin du Beausset,

- l'unité du Beausset, vaste synclinal à coeur crétacé qui s'étend de Toulon à l'étang de Berre et qui comprend le bassin du Beausset à coeur Crétacé, le bassin de Marseille à coeur Oligocène, la moitié sud de l'Estaque, les chaînes de l'Etoile et de la Sainte Baume qui chevauchent vers le nord l'unité de l'Arc.

- l'unité de l'Arc qui comprend, au sud, la Chaîne de la Lare, la Chaîne de la Nerthe septentrionale, au centre, le large bassin d'Aix à coeur éocène-oligocène se terminant à l'ouest par la dépression de l'étang de Berre, et au nord-est la Ste Victoire. L'unité de l'Arc forme la limite septentrionale de la Basse Provence. Sa position en nappe est prouvée par un forage profond qui a rencontré une brèche continentale de type éocène sous le Jurassique à 1800 m de profondeur .

L'architecture et la mise en place de ces différentes unités ont été l'objet de controverses.

Aux théories tangentialistes (Bertrand, 1899; Haug, 1925, 1930) dans lesquelles ces reliefs sont le résultats d'importants charriages de couverture, s'opposent les théories autochtonistes (Fournier, 1900; Corroy, 1939; Lapparent, 1950) qui minimisent les déplacements tangentiels de la couverture.

A la suite des travaux de l'école néo-marseillaise (Caron,1966; Guieu,1967; Tempier, 1968), C. Rousset (2000) propose le schéma suivant : une phase de compression, du Crétacé supérieur au Lutétien, entraîna une série de plissements soumis à l'érosion. La reprise de la compression, a induit le fonctionnement de rampes, provoquant l'individualisation de nappes qui ont poussé devant elles, vers le nord, les reliefs préexistants formant localement des séries renversées-entraînées comme celle de la Sainte Baume".

Il individualise 4 nappes :
- la nappe du Trias sur laquelle se sont décollées les suivantes,
- la nappe de l'Arc,

- la nappe du Beausset,
- la nappe de Bandol.

L'architecture des unités actuelles est liée, d'une part à la préstructuration est-ouest des bassins, et d'autre part aux rejeux tardifs des accidents lors du paroxysme alpin, scindant les chaînes en éléments difficiles à raccorder entre eux.

Mais ce schéma reste encore imparfait et ne suffit pas expliquer totalement le détail des affleurements et on notera ainsi les récents travaux d'Argyriadis (2000) qui avance l'hypothèse de l'autochtonie du vaste bassin du Beausset.

L'hydrogéologie pourrait jouer un rôle important en précisant les rapports entres les différentes unités. La question majeure étant de savoir si les différentes unités tectoniques correspondent à autant d'unités hydrogéologiques individualisées.

B / 1.3.2. - Lithologie :

La karstification intéresse principalement la série mésozoïque. Sur l'ensemble de la Basse Provence, la mise en place des différentes unités a induit un raccourcissement des séries sédimentaires de plusieurs dizaines de kilomètres, de ce fait les variations de faciès sont importantes et l'on peut notamment opposer une série sédimentaire complète au sud dans le Bassin du Beausset à une série réduite au nord affectée par une importante émersion au Crétacé avec des dépôts continentaux.

Plusieurs ensembles de calcaires karstifiables sont séparés par des horizons imperméables plus ou moins parfaits. On peut distinguer de la base vers le sommet :

- les grès imperméables du Coniacien,
- le Turonien plus ou moins calcaire,
- un maigre écran imperméable de marnes de l'Aptien et du Cénomanien,
- un épais ensemble calcaires très karstifiables de l'Urgonien au Malm,
- l'imperméable relatif du Dogger composé de marno-calcaires localement très calcaires,
- l'ensemble dolomitique Lias et Rhétien,
- le Keuper imperméable mais souvent raboté,
- le Muschelkalk calcaire,
- le Trias inférieur et le Permien imperméable.

Ce schéma n'est qu'indicatif car les variations de faciès sont très importantes et malgré la présence d'importants niveaux imperméables, les rabotages provoqués par la tectonique tangentielle ainsi que les nombreuses failles qui décalent les séries, autorisent des liaisons hydrauliques entre la plupart de ces unités.

B / 1.4. - Hydrogéologie générale

(cf. fichier des indices en annexe et planches 1 et 2 : Var et Bouches du Rhône)

B / 1.4.1. - Formations aquifères

Quatre ensembles aquifères peuvent être identifiés :

- le karst triasique, très tectonisé et riche en gypse, pouvant alimenter d'importantes sources, principalement dans le Var, mais où la ressource peut être sulfatée.
- le karst jurassique et crétacé alimentant les sources les plus importantes : Revest, Port Miou,
- le Crétacé supérieur et le Tertiaire formant les grands bassins généralement peu perméables mais pouvant localement renfermer quelques ressources,
- les nappes alluviales largement sollicitées (Arc, Huveaune) auxquelles peuvent être rajoutés les éboulis de versant.

La région est considérée comme pauvre en eau et d'importants travaux d'adduction ont été réalisés (canal de Marseille, canal de Provence) pour desservir les principales agglomérations à partir de la Durance, offrant ainsi une alternative à l'utilisation éventuelle de ressources souterraines.

B / 1.4.2. - Nappes alluviales :

Les principales nappes alluviales exploitées sont :

- la vallée de l'Arc exploitée pour l'irrigation, dans sa partie basse, près de l'Etang de Berre,
- la vallée de l'Huveaune vraisemblablement suralimenté par les massifs calcaires qui la bordent, mais présentant aussi un écoulement souterrain vers les calcaires de Carpiagne (Durozoy, 1972). Cette nappe est largement sollicitée dans les secteurs fortement urbanisés de Gemenos et Aubagne,
- la plaine de la Reppe près de Sanary,
- la plaine de la Garde près de Toulon.

B / 1.4.3. - Bassin fuvélien d'Aix -Gardanne :

Les ressources en eau de surface ou souterraine au niveau du Crétacé sont apparament réduites mais les travaux miniers de Gardanne ont recoupé des circulations importantes drainées par le Puits de l'Arc au nord et la Galerie de la Mer au sud. Ces venues d'eau proviennent essentiellement des calcaires jurassiques sous-jacents.

B / 1.4.4. - Unités karstiques :

Hormis les bassins imperméables, bassin de l'Arc autour d'Aix en Provence, bassin de Marseille, et partie centrale du bassin du Beausset à la Ciotat, l'ensemble du secteur d'étude est formé de massifs calcaires karstifiés jurassiques et crétacés. On note aussi d'importantes dépressions

triasiques dans lesquelles les calcaires du Muschelkalk sont eux aussi karstifiés (Auriol, Tourve-Bras-Barjols, La Roquebrussane -Signes, Toulon). Les liaisons entre ces différents ensembles restent mal définies.

Dans la partie sud, les principales unités calcaires sont, d'ouest en est :

- la Chaîne de l'Estaque sans émergence connue et vraisemblablement drainée en mer,
- la Chaîne de l'Etoile sans émergence connue,
- le massif d'Allauch sans émergence connue, mais au pied duquel se situe un important entablement de tuf (Beaumont-St Julien)
- les massifs de Marseilleveyre et des Calanques drainés en mer vers les sources de Port Miou et du Bestouan et probablement vers d'autres émergences sous-marines,
- les calcaires du bassin du Beausset au drainage inconnu sauf pour sa partie est, le plateau de Siou Blanc, drainé vers les sources du Ragas et d'Ollioules,
- l'unité de Bandol vraisemblablement drainée en mer
- le Trias de Toulon au drainage mal connu.

Plus au nord on distingue toujours d'ouest en est :

- la Chaîne de la Fare drainée par les sources de la Barben au nord et la source de Calissanne au sud près de l'Etang de Berre.
- la Montagne de Sainte Victoire et le Bois de Pourrière drainés par les sources de Meyrargues au nord et par les sources de l'Argens à l'est.

Enfin au centre :

- le Massif de la Sainte Baume drainé vers les sources de Saint Pons à l'ouest, le Caramy à l'est et la Foux de Nans au nord
- le Mont Aurélien au drainage inconnu
- le plateau d'Agnis ceinturé par un groupe de sources dont les principales les sources du Gapeau et du Caramy.

Ces différents secteurs font l'objet d'une analyse plus détaillée dans la suite du texte.

B / 1.4.5. - Emergences littorales :

D'importantes sorties d'eau karstiques littorales sont déjà connues dans ce secteur :

- la source du Roucas Blanc à Marseille
- les sources de Port Miou et du Bestouan à Cassis,

Seul ce dernier groupe a fait l'objet d'études détaillées.

B / 1.5. - Karstologie et spéléologie :

Le secteur d'étude est riche en phénomènes karstiques. Le modelé karstique de surface est bien développé avec plusieurs poljés importants (Gemenos, Cuges, Signes, Rougiers, Plan d'Aups). L'exploration spéléologique a permis la découverte de plusieurs réseaux dépassant le kilomètre de longueur dans le Var (Gouffre du Petit St Cassien, Réseau Sabre, réseau de la Tête du Cade, gouffre du Mouret..). Les Bouches du Rhône sont moins riches en cavités (Grand Draïoun, Port Miou, Bestouan,..)

B / 1.5.1. - Age de la karstification

La présence de nombreuses cavités anciennes démantelées par l'érosion traduit une histoire complexe qui remonte certainement au-delà du Miocène (Blanc, 1993). On notera ainsi que les bauxites de Provence se sont mises en place sur une topographie karstique dès le Cénomanien supérieur. L'âge des grands réseaux est donc difficile à définir car certaines portions de réseaux anciens ont pu être utilisées par des systèmes plus récents.

Le fonctionnement actuel des systèmes karstiques de la zone d'étude ne peut être dissocié des variations de niveau de la Méditerranée, niveau de base hydrogéologique de ce secteur.

La Méditerranée telle que nous la connaissons dans notre région était établie à la fin du Miocène. Elle a connu, après son ouverture et tout au cours de son histoire, de nombreuses variations de niveau :

- soit en relation avec les glaciations du Tertiaire et du Quaternaire, l'eau est alors piégée sur les continents et au niveau des calottes polaires, la récurrence de ces épisodes est de l'ordre de 100 000 ans.

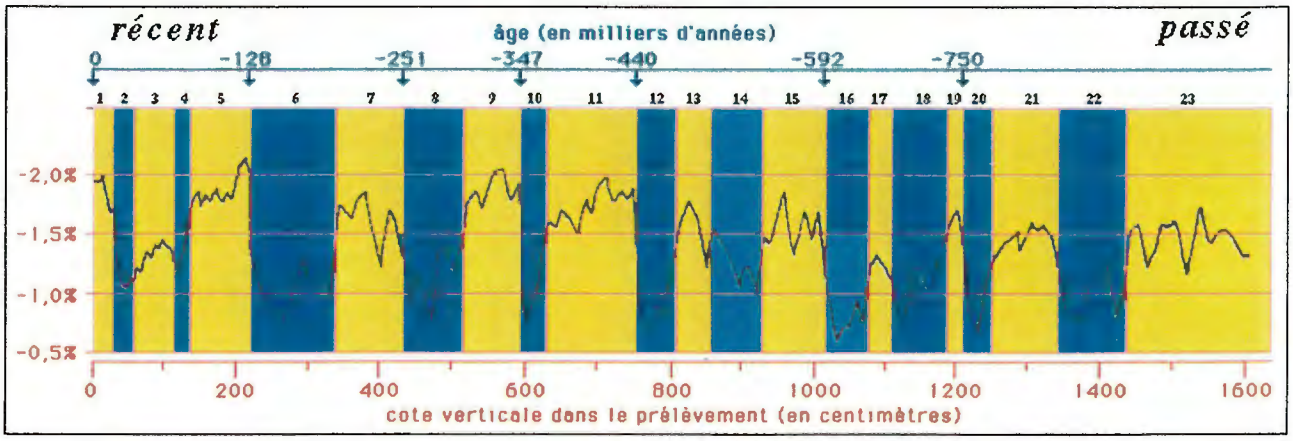


Figure 4 : Alternances des périodes froides et chaudes sur 1 million d'années, à partir de dosages isotopiques sur une carotte de glace polaire. On remarque une récurrence d'environ 100 000 ans. Aux périodes froides (pics inférieurs de la courbe) correspondent des niveaux bas de la mer (plus de 100 m sous le niveau actuel).

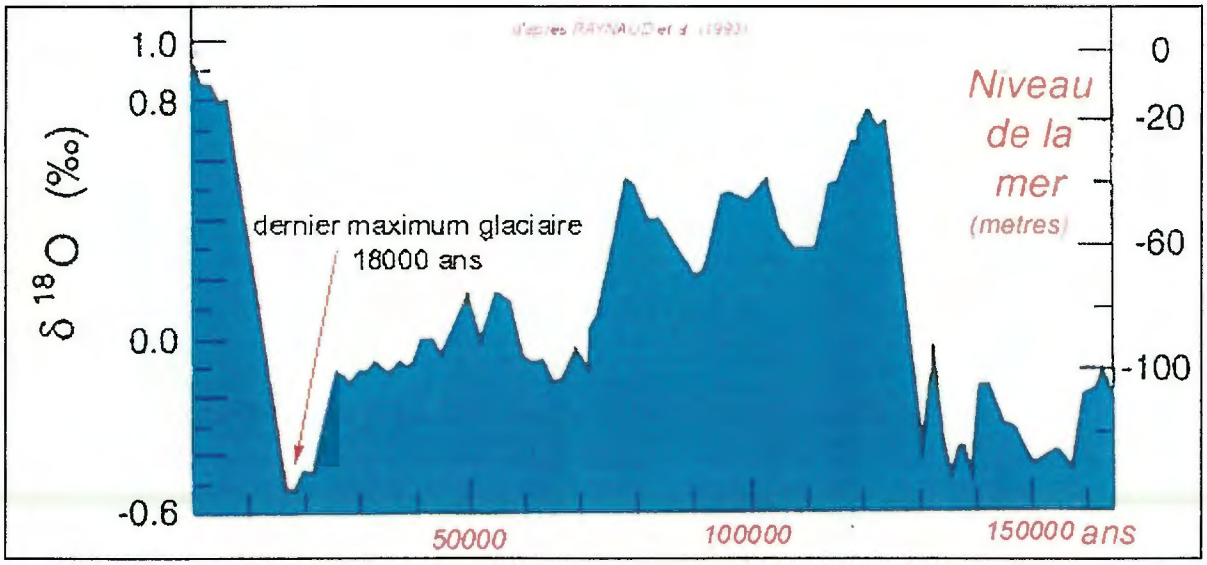


Figure 5 : Détail des variations du niveau de la mer durant 150000 ans

- soit par un assèchement quasi total de la Méditerranée, comparable à ce qui se passe pour l'actuelle Mer Morte, au Messinien, à la fin du Miocène. Ces variations de plusieurs centaines de mètres ne sont plus à démontrer et leur rôle dans la karstogenèse italienne a été décrit par Bini (1994) (cf. infra).

A la tendance générale liée à la fonte des glaciers se superposent de nombreux facteurs (décharge du continent du poids des glaces, surcharge de la plate-forme par les eaux qui l'envahissent, tendances tectoniques locales, etc.) qui font que les courbes régionales sont rarement identiques d'un point du globe à l'autre.

Autour de la Méditerranée, pour la période quaternaire, la tectonique, induisant des variations verticales difficile à quantifier, joue très certainement un rôle important et complique l'étude des paléo-niveaux marins.

B / 1.5.2. - Rapports entre karstification régionale et variations du niveau marin.

La karstification affecte les calcaires dès qu'il y a émersion. Des paléokarsts sont ainsi connus autour de la Méditerranée, au Crétacé, à l'Eocène, à l'Oligocène et au Miocène. Ils sont affectés par la tectonique (Blanc et Monteau 1988, Blanc 1992, 1993, 1995).

La karstification actuelle, non ou peu affectée par la tectonique, remonte probablement à l'Oligo-Miocène pour les secteurs à tectonique peu active, et au Pliocène, après la dernière phase alpine, pour les autres zones (Préalpes).

Les systèmes ont continué d'évoluer en fonction des variations du niveau de la mer induites par les glaciations tertiaires et quaternaires se traduisant par des incisions lors des périodes tardiglaciaires et des comblements lors des optima climatiques.

Les cavités karstiques actuelles sont donc le résultat d'une longue et complexe évolution. Les réseaux actuels se sont constamment adaptés aux conditions extérieures et l'on doit obligatoirement considérer que ce que l'on observe aujourd'hui n'est représentatif que d'une partie seulement du système karstique.

On notera enfin qu'il existe un retard entre l'évolution de l'endokarst et celle du milieu extérieur. Ainsi sur tout le pourtour méditerranéen, les émergences littorales sont situées sous le niveau de la mer, à des profondeurs atteignant parfois 40 m (source de la Mortola à la frontière franco-italienne, source de Chekka au Liban). Il en existe peut-être à des profondeurs plus importantes mais compte tenu des limites de l'exploration en scaphandre, peu de renseignements sont disponibles.

B / 1.5.3. - Historique de la karstification de la région de Marseille-Toulon.

Le secteur d'étude a connu une histoire complexe dans laquelle se surimposent les effets de l'eustatisme mais aussi ceux de la tectonique. En effet, d'importants mouvements de surrection et de basculement ont affecté le littoral après la mise en place de la charpente du relief à la fin du Miocène. Dans le secteur d'étude, J.J. Blanc (1996) propose la chronologie suivante :

- Fin Miocène : l'ossature du relief est en place, début de la karstification

- Messinien : 6,5 à 5,3 Ma : incision et verticalisation des réseaux (exemple Fontaine de Vaucluse où le réseau a été exploré jusqu'à - 308 m de profondeur, soit -200 m NGF)

- Pliocène inférieur de 5,3 à 3,7 Ma : importante transgression et colmatage du karst.

- Pliocène supérieur de 3,7 à 1,8 Ma : reprise de l'activité tectonique, basculement et rejeu des failles, avec plusieurs phases de recreusement et recolmatage liées à l'eustatisme

- Pléistocène inférieur : - 1,8 Ma à 0,7 Ma : plusieurs phases de recreusement et recolmatage liées à l'eustatisme avec poursuite de l'activité tectonique

- Pléistocène moyen : -0,7 Ma à -120 ka : plusieurs phases de recreusement et recolmatage liées à l'eustatisme avec ralentissement de l'activité tectonique.

- Pléistocène supérieur et Holocène : -120 ka à actuel : stabilisation de la karstification.

B / 1.5.4. - Remontée du niveau de la mer à l'Holocène :

Le maximum de la régression se situe à environ 18 000 B.P. avec un niveau marin à - 120 m qui reste stable jusqu'à 16 000 B.P. puis on observe une remontée rapide de la mer avec un ralentissement vers 10 000 B.P.

L'étude de la grotte Cosquer a montré que l'entrée à -36 m n'a été noyée qu'à 9 000 B.P. (Sartoretto et al, 1995)

Aujourd'hui, la mer est donc en cours de transgression sur ces paléoreliefs depuis environ 16 000 ans. Différents niveaux de stationnement lors de cette transgression sont soulignés par des paléorivages plus ou moins marqués qui ont été repérés lors d'études bathymétriques 90, 115, et 150 et par des reconnaissances en plongée (Collina-Girard, 1994) aux cotes suivantes : 11, 16, 25, 36, 41, 46, 55 mètres sous le niveau actuel (fig. 5). Il est actuellement impossible de savoir si ces niveaux correspondent uniquement à des stationnement lors de la transgression actuelle ou s'il s'agit de paléoniveaux hérités d'épisodes eustatiques passés.

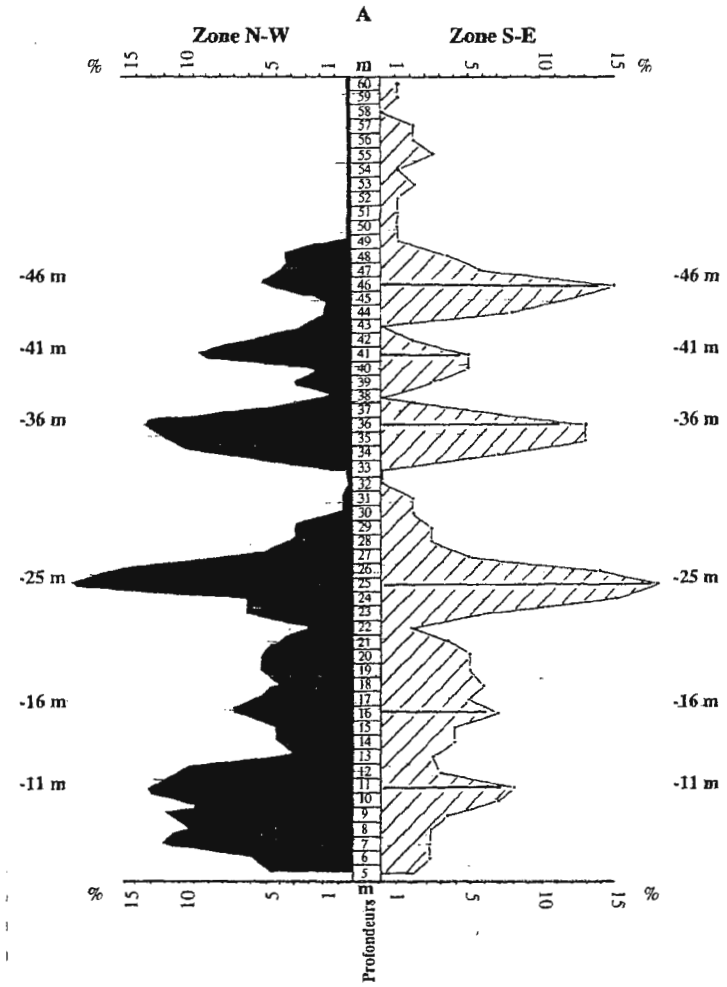


Figure 6 : Distribution des encoches marines rencontrées le long du littoral des Bouches du Rhône. d'après Collina-Girard (1994)

B / 2. - PRINCIPAUX INDICES HYDROGEOLOGIQUES
(cf. planches 1 et 2)

B / 2.1. - Bassin de l'Arc

Le bassin de l'Arc est un vaste synclinal est-ouest à coeur mésozoïque d'environ 400 km^2. Il est limité au nord-est par la chaîne de la Ste Victoire et la Forêt de Pourrières, au nord-ouest par la Chaîne de la Fare, au sud-ouest par la chaîne de la Nerthe. Il est chevauché au sud par la Chaîne de l'Etoile qui appartient à l'unité du Beausset .
L'étang de Berre est situé à l'extrémité occidentale de l'unité de l'Arc. Il pourrait s'agir d'un ancien poljé actuellement ennoyé. A l'extrémité orientale, la Plaine de Saint Maximin est aussi un vaste poljé à l'hydrogéologie mal connue.
Au coeur du bassin, les terrains imperméables du Maestrichtien alimentent les écoulements de surface de l'Arc.

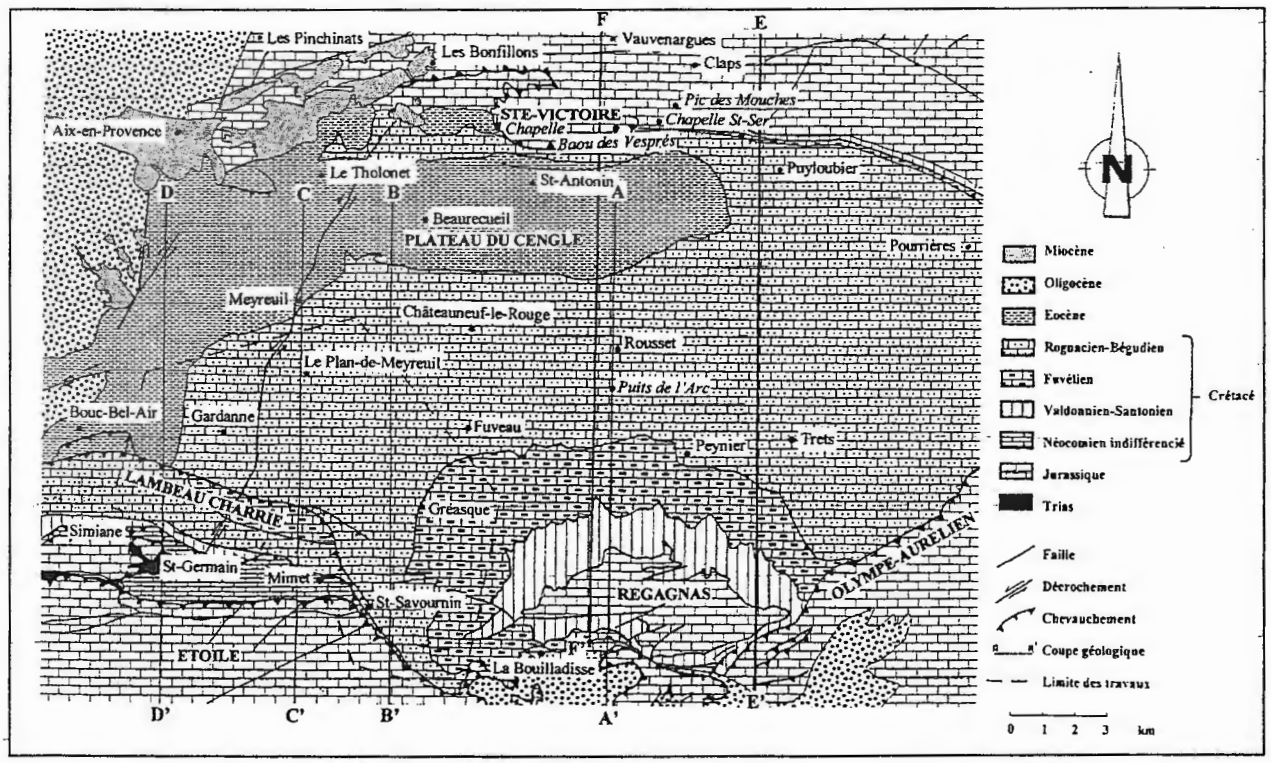
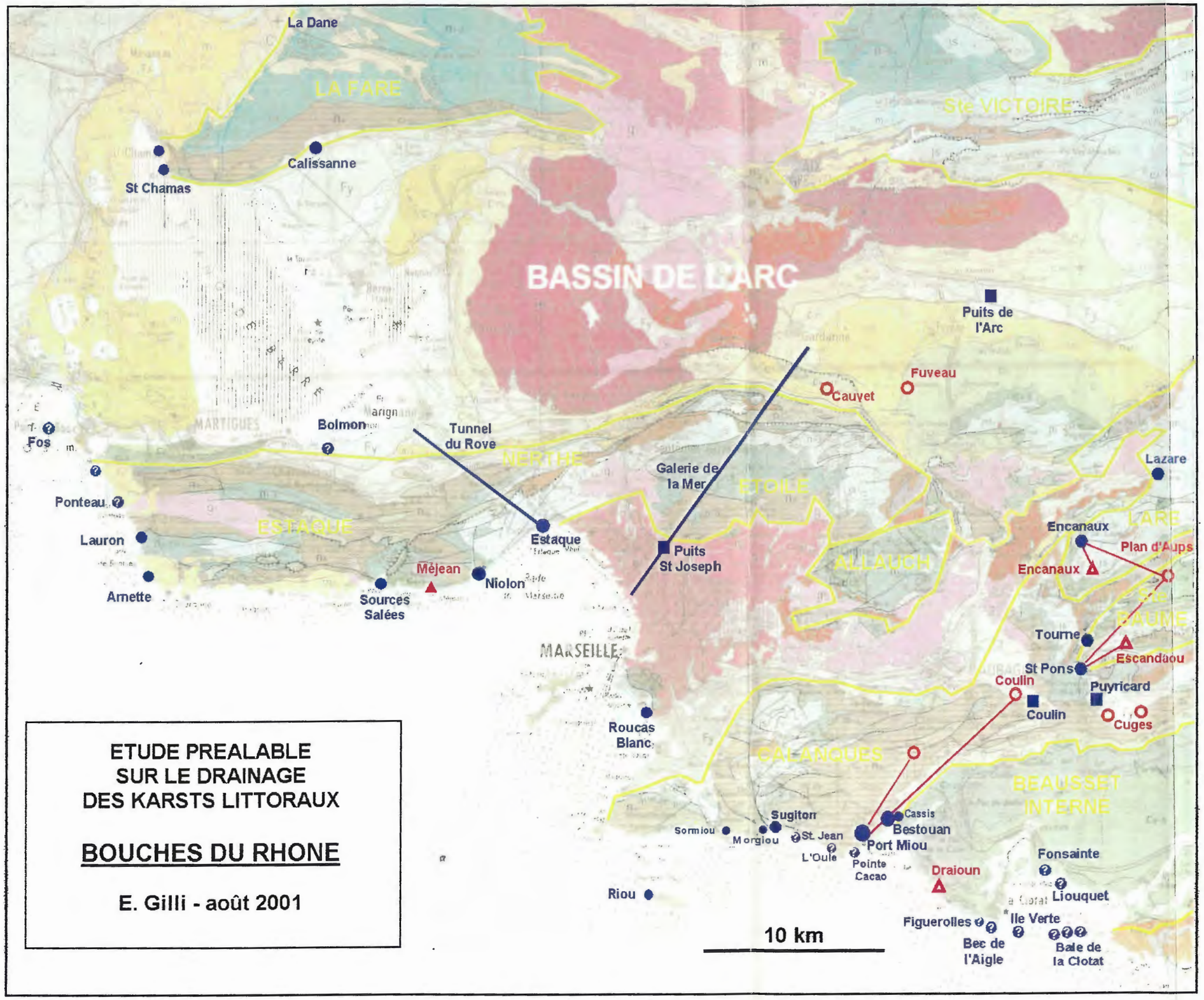


Figure 7 : Schéma géologique simplifié du centre du Bassin de l'Arc (Chalumeau, 2000).

Au centre du bassin, les mines de Gardanne exploitent les niveaux de charbon du Fuvélien. Les travaux miniers ont rencontré plusieurs venues d'eau importantes. Les débits collectés sont drainées par une galerie artificielle de 15 km : la galerie de la Mer (environ 500 l/s) qui dirige les eaux vers l'Estaque, ainsi qu'au centre du bassin, par le puits de l'Arc (débit inconnu supérieur à 300 l/s). L'eau du Puits provient du Fuvélien suralimenté par des circulations karstiques dans le Jurassique sous-jacent (Durozoy et Gouvernet, 1966; Chalumeau, 2000). Il est difficile de



ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX

BOUCHES DU RHONE

E. Gilli - août 2001

LEGENDE

- source signalée
- source décrite
- perte
- grotte, gouffre
- tunnel drainant
- puits
- liaison prouvée par traçage

Géologie d'après la carte à 1/250 000 du BRGM Feuille de Marseille

LEGENDE SIMPLIFIEE

- terrains tertiaires imperméables ou peu karstifiables
- Crétacé imperméable
- Turonien karstifiable
- Néocomien karstifiable
- Aptien-Cénomanien imperméable
- Urgonien karstifiable
- Malm karstifiable
- Dogger imperméable
- Lias karstifiable
- Trias

connaître exactement les débits fournis par ces deux points d'autant plus que des forages horizontaux à partir de la Galerie de la Mer viennent prélever de l'eau dans le Jurassique pour renforcer l'AEP de Marseille. Leur quantification sera une étape nécessaire pour la poursuite des études hydrogéologiques de l'ensemble de la zone d'étude.

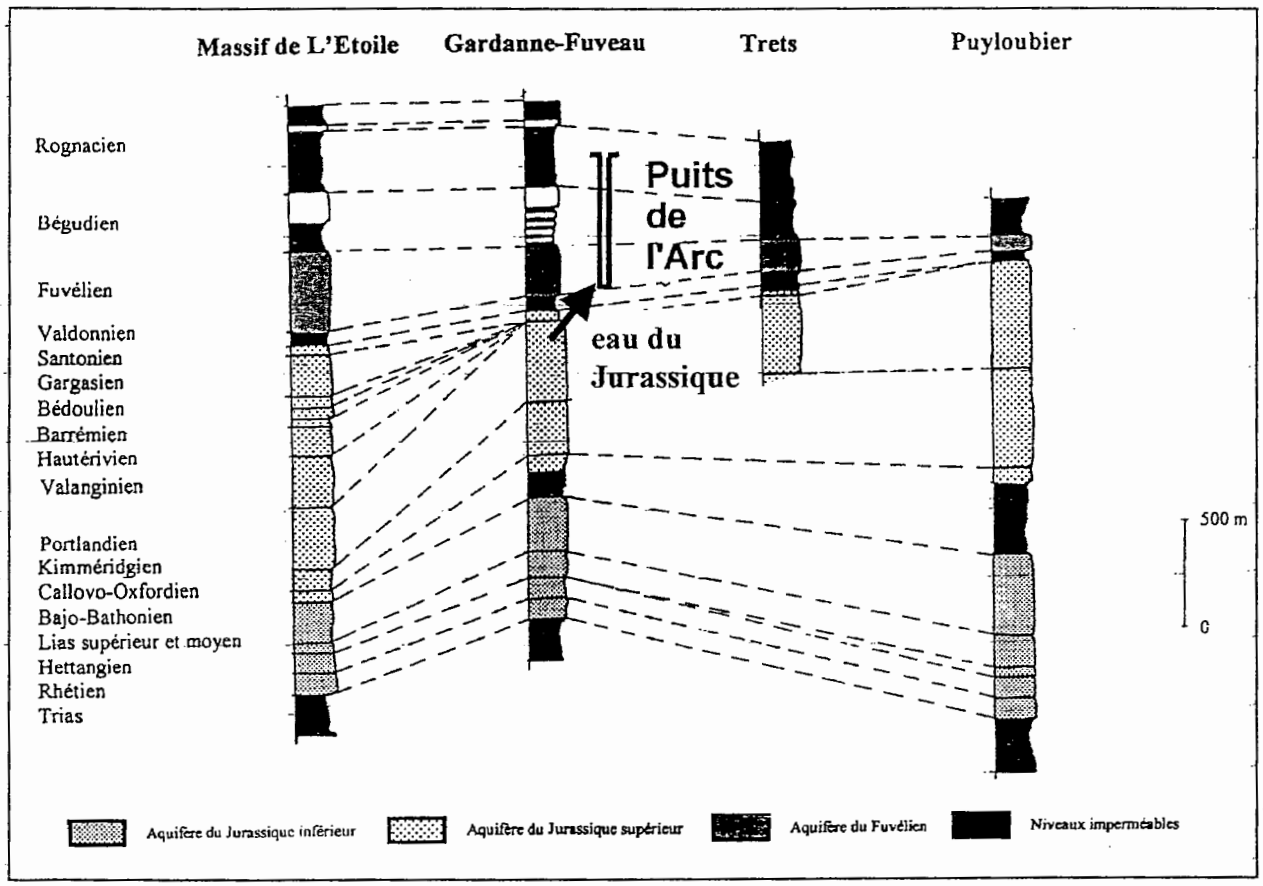


Figure 8 : Logs stratigraphiques du bassin de l'Arc (d'après Chalumeau, 2000) et position stratigraphique du puits de l'Arc

B / 2.2. - Chaîne de la Sainte-Victoire, Bois de Concors et Bois de Pourrières.

Les principales émergences de ce vaste ensemble jurassique d'environ 400 km^2 sont :

- les sources de Meyrargues sur le flanc nord, avec un débit moyen d'environ 300 l/s, auquelles se rattache l'exutoire temporaire du Grand Vallat
- les sources de l'Argens (Sce de l'Argens, sces de Sceaux et émergence temporaire de la Meyronne) à l'est, dont le débit moyen total est d'environ 800 l/s (Cova & Durozoy, 1980). Cette valeur reste à vérifier car Durozoy et al (1969) indiquent un débit moyen total en 1968 de 350 l/s.
- enfin le Puits de l'Arc drainant les calcaires de la mine de Gardanne avec un débit moyen estimé à 400 l/s. L'ensemble fournit donc moins de 2 m^3/s.

Avec un module d'infiltration estimé à 8 l/s/km^2 cette unité devrait théoriquement fournir environ 3,2 m^3/s. Le schéma général pourrait donc être un drainage du flanc nord de la Ste Victoire vers les sources de Meyrargues et un drainage du flanc sud vers le Jurassique profond, drainé artificiellement par le Puits de l'Arc, mais dont le drainage naturel originel reste inconnu.
Le Bois de Pourrières est partiellement drainé vers les sources de l'Argens et une partie de l'eau rejoint certainement les circulations profondes citées ci-dessus.

B / 2.3. - Chaîne de la Fare - Etang de Berre

Plusieurs laurons sont signalés dans l'étang par les pêcheurs et deux d'entre eux ont été localisés par le BRGM (Durozoy et Gouvernet, 1964). Une visite du site le 19/04/01 a permis d'observer deux sorties d'eau sur le littoral, aménagées en lavoirs et d'en mesurer température et conductivité. L'eau de l'étang de Berre avait les caractéristiques suivantes : C à 20°C = 7500 µS, T° = 16,3°C.

- Petit Lavoir immédiatement au sud du port de St Chamas : C à 20°C = 945 µS, T = 16,5°C. Compte tenu de la faible conductivité il pourrait s'agir du drainage d'une unité géologique isolée de l'étang (molasses)
- Grand Lavoir du Polygone immédiatement au nord de la station d'épuration de St Chamas

C à 20°C = 6700 µS, T = 17,5°C.
L'alimentation par les calcaires urgoniens ne fait aucun doute. Les débits sont estimés à 50 l/s et les surfaces d'affleurement de la chaîne de la Fare (environ 100 km2) sont suffisantes pour les expliquer.

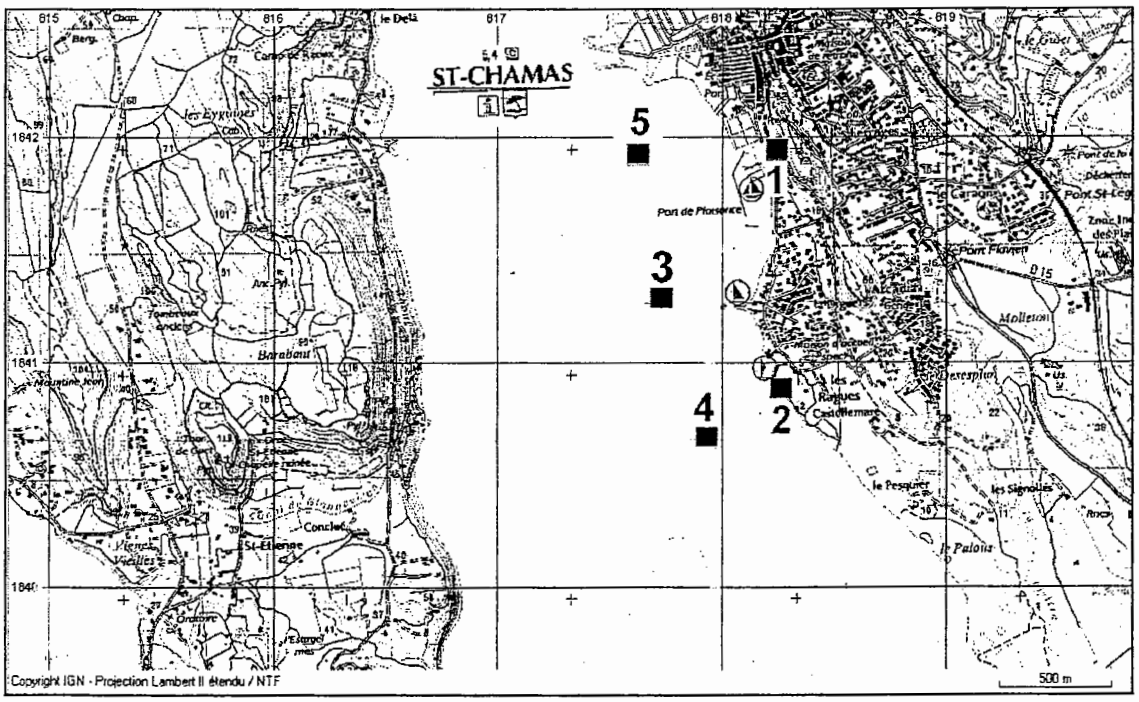


Figure 9 : Position des sources de St Chamas :
1 Petit Lavoir, 2 Lavoir du Polygone, 3 et 4 laurons signalés par le BRGM, 5 lauron signalé par les pêcheurs.

Les affleurements calcaires de l'anticlinal de la Fare représentent un impluvium d'environ 100 km^2. Avec un module de 6 l/s/km2 le débit théorique serait de 600 l/s. La source de Calissane (environ 500 l/s) située au sud de la Chaîne, la source de la Barben (110 l/s) pour la partie nord de l'anticlinal et les Laurons (environ 50 l/s) permettent d'équilibrer ce bilan de façon satisfaisante.
On peut donc admettre un drainage du flanc nord de la Fare en direction de la Barben et un drainage du flanc sud vers Calissane avec des fuites basses occidentales : les laurons.

B / 2.4. - Chaînes de l'Estaque, de la Nerthe et de l'Etoile

Cet ensemble d'environ 250 km2 d'affleurements calcaires, est très compartimenté par la tectonique et recèle de nombreuses petites sources mais les débits sont insignifiants par rapport aux surfaces d'impluvium.

B / 2.4.1. - Massif de l'Etoile

Le massif de l'Etoile (environ 75 km^2) est quasi dépourvu de circulations de surface et ne possède qu'une petite source alimentant le ruisseau des Aygalades (3 à 4 l/s) et une autre au Mont Julien alimentant le Jarret, à peine plus important. Par contre, la galerie de la Mer qui draine les mines de Gardanne en direction de Marseille a rencontré d'importantes venues d'eau (supérieures à 1 m^3/s) lors de la traversée des calcaires jurassiques du massif de l'Etoile. La galerie a été munie d'un cuvelage étanche bloquant les fuites et elle ne drainerait donc que les mines de Gardanne. Le débit est très variable (de 0 à 1 m^3/s) et la qualité des eaux peut être très dégradée, interdisant son utilisation directe. Actuellement l'eau du Jurassique est utilisable en secours pour la ville de Marseille, par la S.E.M. qui dispose de 40 captages traversant le cuvelage au niveau du Puits St Joseph (alt. 84 m NGF, profondeur 88 m). Des essais de pompage sur 40 jours avec un débit de 600 l/s n'auraient occasionné qu'un faible rabattement. Hormis des courts essais réguliers pour contrôler le dispositif aucun prélèvement n'est effectué à ce niveau.

Chevenier, (1985) estime les débits fournis par massif de l'Etoile à 450 l/s. Il suppose que l'aquifère calcaire est drainé par la faille de la Mure, vers un aquifère karstique profond développé dans l'autochtone du bassin de Marseille. Le même auteur indique par ailleurs qu'environ 100 l/s participent à l'alimentation des venues d'eau du tunnel du Rove (cf. ci-dessous). L'ensemble du massif fournirait 450 l/s.

B / 2.4.2. - Massifs de la Nerthe et de l'Estaque.

Les seuls écoulements de surface se résument à des zones marécageuses appuyées sur les marnes. Aucune source importante n'est connue. Une partie de l'eau doit obligatoirement sourdre en mer et plusieurs sources sont effectivement signalées par G. Chevenier (op.cit.) qui souligne le compartimentage de la chaîne de la Nerthe (et de l'Estaque) en 7 unités hydrogéologiques bien individualisées principalement drainées en mer.

Du nord-ouest au sud-est il signale les venues littorales ou sous-marines suivantes sans apporter de précisions sur les débits. Les localisations restent imprécises :

- émergence de Fos, inconnues
- émergences de Ponteau, inconnues
- source de l'Anse de Lauron, plusieurs venues d'eau entre 0 et 5 m de profondeur, confirmées localement par les plongeurs sans précision sur les débits.
- sources thermales de l'anse d'Arnette (cf. infra),
- sources salées du Rouet. Ces venues sont confirmées par C. Touloumdjian (comm. orale) qui précise une origine fissurale et de faibles débits (qq. l/s), mais selon les riverains ces sources sont taries depuis plusieurs années.
- source Niolon en bord de mer au contact d'une faille dans l'Urgonien, dans la grotte du Jonquiers où un filet d'eau est connu des plongeurs.
- source de l'Estaque, dans le port de la Lave, près du tunnel du Rove, au contact Oligocène/Jurassique sup. Cette source coule actuellement entre les dalles de béton de la rampe de mise à l'eau, le débit a été estimé à une dizaine de l/s en août 2001

A cela doivent être rajoutées d'importantes venues d'eau, dont certaines chaudes et salées (jusqu'à 30°C), dans le tunnel du Rove (aujourd'hui effondré) qui, d'après Chevenier, collectait un débit moyen de 330 l/s. Il imagine une possible alimentation par le Jurassique du Bassin d'Aix jusqu'à la Ste Victoire. Le thermalisme des sources du tunnel du Rove serait, pour lui, lié à un gisement profond en contact avec le Trias.

L'ensemble de ces sources et venues d'eau est difficile à quantifier et un bilan est de ce fait impossible à réaliser, d'autant plus que de nombreux forages exploitent localement les aquifères. Chevenier cite ainsi les 5 forages du vallon des Soubrats à Carro, avec un débit de 400 l/s, (valeur à vérifier).

Parmi les sources littorales ou sous-marines, seules les sources d'Arnette ont été étudiées (Froget, 1964). L'eau, riche en H_2S provient de la molasse karstifiée. Plusieurs griffons s'échelonnent entre le littoral et une distance de 20 m de la cote vers -15 m de profondeur.
Le thermalisme des sources de l'Arnette (t° 30 à 35° à l'émergence) est attribué à des lessivages de couches gypseuses et sulfatées (Vernet & Vernet, 1980) et une alimentation par les parties hautes de la Chaîne de l'Etoile est envisagée. Une reconnaissance en août 2001 n'a pas permis de les observer. Elles sont vraisemblablement taries.

Les affleurements de l'ensemble Nerthe-Estaque-Etoile représentent environ 250 km^2. Les débits, avec un module réduit à 5 l/s/km^2 compte tenu de la faible pluviosité, pourraient être d'environ 1,25 m^3/s. Si on admet que 630 l/s sont déjà fournis par le tunnel du Rove et la Galerie de la Mer. Il reste environ 600 l/s à répartir entre les forages et la dizaine de sources littorales citées par Chevenier. Il est probable qu'une partie de cette eau alimente aussi les zones marécageuses de la bordure sud de l'étang de Berre dans le secteur de Bolmon, entre Martigues et Marignane. Plusieurs indices qui traduisent la présence d'eau seraient à vérifier : lac et pompage de la Mède, lac de la Glacière, marécage de Fournillier, pompage de Châteauneuf les Martigues, pompage de Gignac la Nerthe. Il se peut aussi qu'une partie atteigne un aquifère karstique profond dans l'autochtone de Marseille, comme le suppose Chevenier.

B / 2.5. - Bassin de Marseille

Une seule émergence importante est signalée dans le bassin de Marseille : la source du Roucas Blanc. Elle est située dans le hall de l'hôtel Concorde Palm Beach sur la Corniche Kennedy (Guieu et al, 1996). Il s'agit d'une source réputée thermale à salinité élevée de 16 à 17 g/l, et à température voisine de 21 à 22°C. Le débit, variable selon les auteurs, serait compris entre 50 et 80 l/s.

Le 19/04/01 la conductivité (à 20°C) était de 41000µS. Compte tenu de l'altitude, une température de 19,7°C ne nous semble pas anormalement élevée.

Si on admet que le débit moyen est exact et en retenant un module d'environ 7 l/s/km, il faudrait imaginer un bassin d'environ 11 km2 qui impose donc une participation du massif d'Allauch et peut être de la bordure occidentale du massif de Carpiagne. La salinité est attribuée aux évaporites du Trias à partir d'analyses isotopiques. On peut cependant, compte tenu des températures et de la salinité, envisager un mélange avec de l'eau de mer. En effet, par référence aux valeurs relevées aux mines de Gardanne, il suffirait d'une eau provenant du karst à 250 m de profondeur pour obtenir la même température. Or dans le bassin de Marseille, l'eau infiltrée par les affleurements calcaires périphériques alimente une nappe captive sous le recouvrement oligocène et ne peut donc émerger sur le littoral qu'après une parcours profond où elle peut se réchauffer et acquérir une salinité importante.

On notera enfin dans le secteur de Marseille la présence d'importants amas de tuf dans les quartiers de Beaumont et St Julien. Les tufs se déposant généralement autour des sources karstiques, il se peut que ces amas soient représentatifs d'une paléo-émergence au pied du massif d'Allauch.

B / 2.6. - Ile de Riou

Le plongeur Henri Cosquer (Cassis) signale une source avec un fort débit au nord ouest de l'Ile de Riou, vers 30 m de profondeur.

B / 2.7. - Massifs des Calanques et de Marseilleveyre

B / 2.7.1. - Description.

Le massif des Calanques s'étend de Marseille à la Ciotat de part et d'autre du port de Cassis. Il forme la bordure sud et sud-ouest du synclinal du Bassin du Beausset. De puissants escarpements de calcaires urgoniens à l'ouest et de conglomérats et calcaires argileux du Sénonien-Turonien à l'est, dominent la mer de quelques centaines de mètres. Le karst est très développé dans les calcaires urgoniens qui affleurent largement au nord et à l'ouest de Cassis. La zone est caractérisée par une aridité prononcée et de nombreux incendies de forêts ont quasi totalement dénudé la suface du sol.

B / 2.7.2. - Sources diffuses

Des venues d'eau plus ou moins diffuses sont signalées par différents auteurs dans les Calanques, à Sormiou, Sugiton, Morgiou, En-Vau, à la Pointe de Castel Vieil, dans la calanque de l'Oule. Trois points figurent dans le fichier BRGM : Cote des Calanques, Saint Jean de Dieu, Morgiou (cf. fichier en annexe). Aucune d'elles ne semble avoir un débit important. Elles sont généralement décrites comme de simples courants d'eau froide dans l'eau de mer chaude en période estivale.
Les sources de Sormiou et Morgiou ont été contrôlées en août 2001 et sont de faible débit. Elles se résument à des filets d'eau visibles entre les blocs rocheux des ports, ou dans les fissures de certaines criques. Celles de Sugiton sont par contre importantes. Elles donnent naissance à un courant d'eau qui traverse la calanque. Le débit pourrait être de quelques centaines de litres par seconde. L'eau provient de nombreux conduits karstiques impénétrables dans la paroi nord-est de la calanque. Compte tenu de la fraicheur l'endroit est baptisé "réfrigécuou".

Aucun conduit karstique actif pénétrable n'est décrit dans tout ce secteur.

B / 2.7.3. - Les sources de Cassis (cf. fig. 10)

Les sources principales des calanques : Port Miou et le Bestouan, sont immédiatement à l'ouest de Cassis. Une étude thermographique (fig. 11) réalisée par la SEM et le BRGM n'a pas permis de déceler de venue d'eau hormis en ces deux points. Cependant cette étude a été réalisée en février à une époque défavorable car les contrastes thermiques entre l'eau de mer et l'eau du karst sont très faibles.

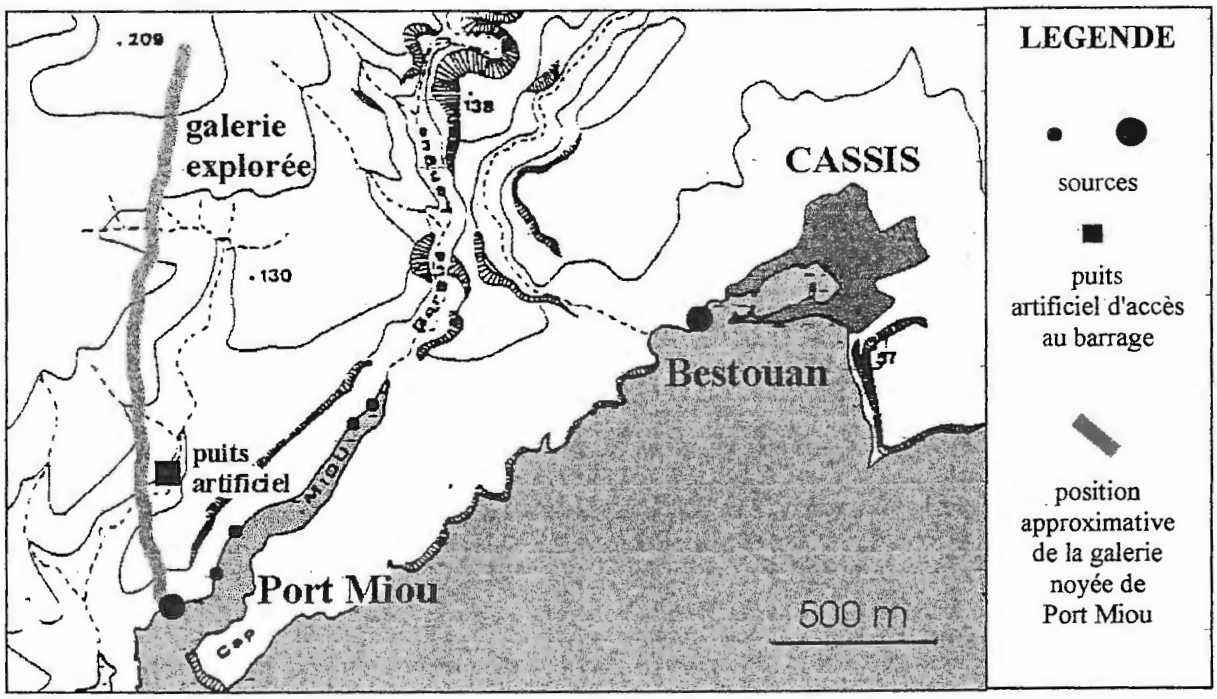


Figure 10 : Localisation des différentes sorties d'eau de Cassis

Figure 11 : Thermographie aérienne du littoral de Cassis en février 1971

a) - Source du Bestouan :

Située à la sortie du port de Cassis, c'est une grotte noyée avec plusieurs galeries cumulant environ 4 km de long, avec une succession de points bas vers - 30 m (fig. 12). Son exploration a débuté en même temps que la source de Port Miou, dès l'invention du scaphandre. Le point ultime a été atteint en plongée en 1991 après un parcours de 2665 m par M. Douchet qui s'est arrêté sur une trémie de blocs, infranchissable sans un déblayage jugé trop dangereux compte tenu de l'éloignement.

Cette source a fait l'objet d'un suivi régulier durant les travaux de Port Miou par le Syndicat de Recherche de Port Miou

Les débits ont été mesurés en 1973, dans un secteur où la galerie présente une section de 3 m^2. L'eau était stratifiée, avec de l'eau de mer pure à la base et de l'eau saumâtre au-dessus. La section d'eau saumâtre était d'environ 2,5 m^2. Avec un courant moyen de 20 cm/s on obtient un débit d'environ 450 l/s.

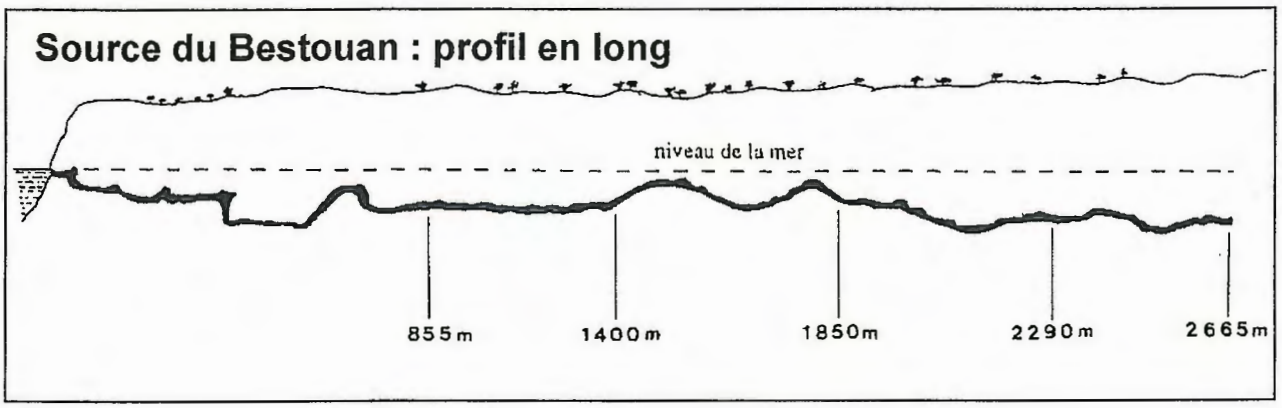


Figure 12 : Coupe de la source du Bestouan à Cassis

On notera qu'il existe aussi des venues d'eau dans la port de Cassis et que le plongeur Henri Cosquer signale aussi d'importantes venues d'eau à l'est du port, sous le château, au niveau du poste de secours. L'origine de l'eau est inconnue.

b) - Source de Port Miou :

Située dans la calanque de Port Miou à l'ouest de Cassis, cette source est connue de tous temps et a été citée il y a 2600 ans par le géographe phocéen Pythéas. Elle sourd d'une galerie noyée à 6 m sous le niveau de la mer et un fort courant d'eau douce, visible lorsque la mer est calme, s'en échappe. Sur le littoral rocheux, en amont de la source, deux puits naturels : les ragages, permettent de rejoindre la galerie naturelle.

Les premières descriptions de la source sont attribuées à Marsigli (1725) puis Martel (1921). L'exploration de la galerie noyée a débuté dans les années 50, dès l'invention du scaphandre autonome. Cousteau et Tazieff y ont participé. Le premier plan fut dressé par l'O.F.R.S. en 1957. Par la suite d'importants moyens ont été mis en oeuvre ont été menées dans le cadre des travaux du syndicat des Recherches de Port Miou (SEM-BRGM) destinés à mettre en place un captage expérimental. Une importante galerie noyée atteignant 20 m de diamètre a pu être reconnue sur plusieurs centaines de mètres (fig. 14). Un point ultime à 147 m de profondeur, a été atteint à 2200 m de l'entrée en 1993 (Douchet, 1993) mais le conduit se poursuit au-delà (fig. 13-14).

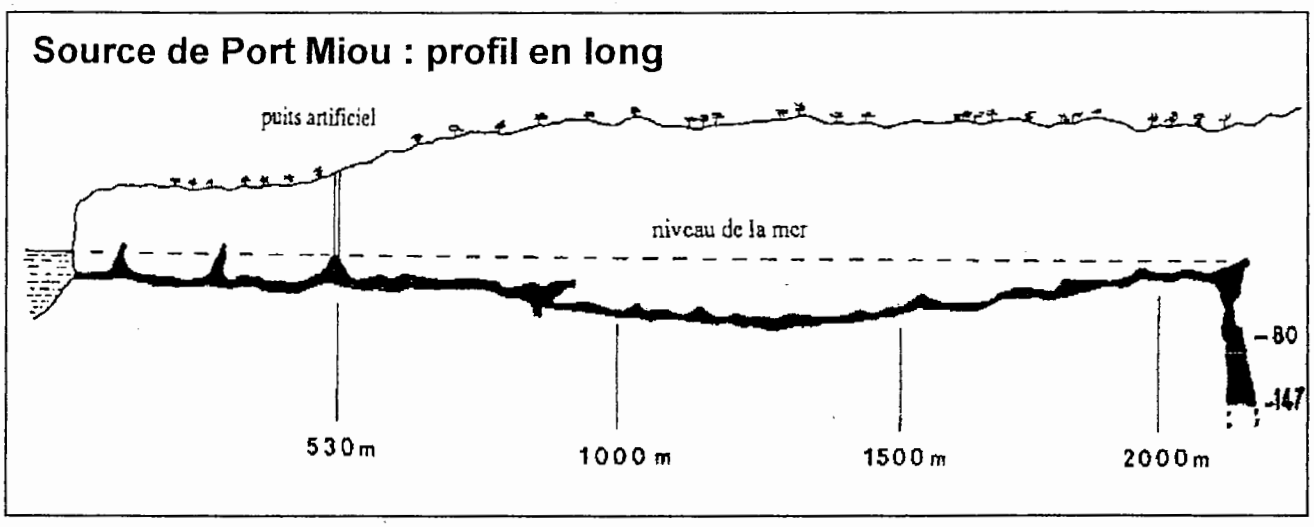


Figure 13 : Coupe de la source de Port Miou à Cassis

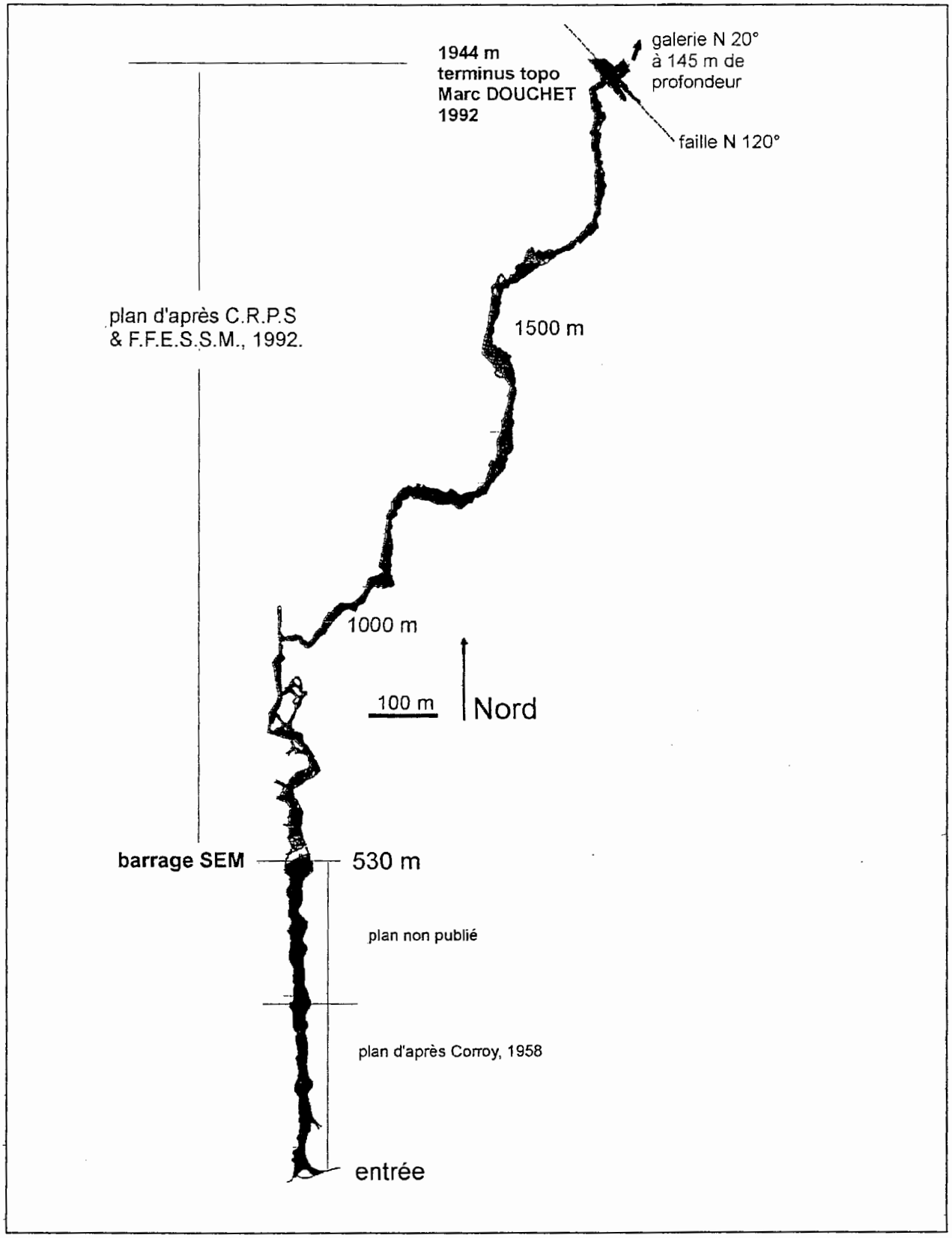


Figure 14 : Plan de la galerie de Port Miou (Corroy, 1958 et Douchet, 1992)

On atteint les limites raisonnables de l'exploration humaine et la suite imposera vraisemblablement l'utilisation d'un engin téléguidé.
Une sortie basse du système à 45 m de profondeur et à 300 m environ au large de la Pointe Cacao (ou Cacau) est décrite par Corroy et al. (1958) qui citent d'autres griffons dans la calanque de l'Oule et à la pointe de Castel Vieil.

b . 1) - Débit :

La source a fait l'objet d'un suivi entre 1972 et 1973. Le débit mesuré par courantographes sur des sections connues de la galerie noyée de Port Miou a été estimé entre 3 et 160 m^3/s. On remarque par ailleurs une très bonne corrélation avec les pluies à Aubagne (fig. 15).

	1972 avant barrage	*1972 après barrage*	*1973 après réduction*
Section utile en m^2	185	100	40
Vitesse moyenne (cm/s)	4	12	15
Salinité (en g/l)	7	5	5
% eau de mer	20	15	15
Débit eau saumâtre m^3/s	7	12	6
Débit eau douce m^3/s	6	10	5
DEBIT MOYEN :	**6 à 7 m^3/s**		

Tableau 2 : débits mesurés à Port Miou entre 1972 et 1973

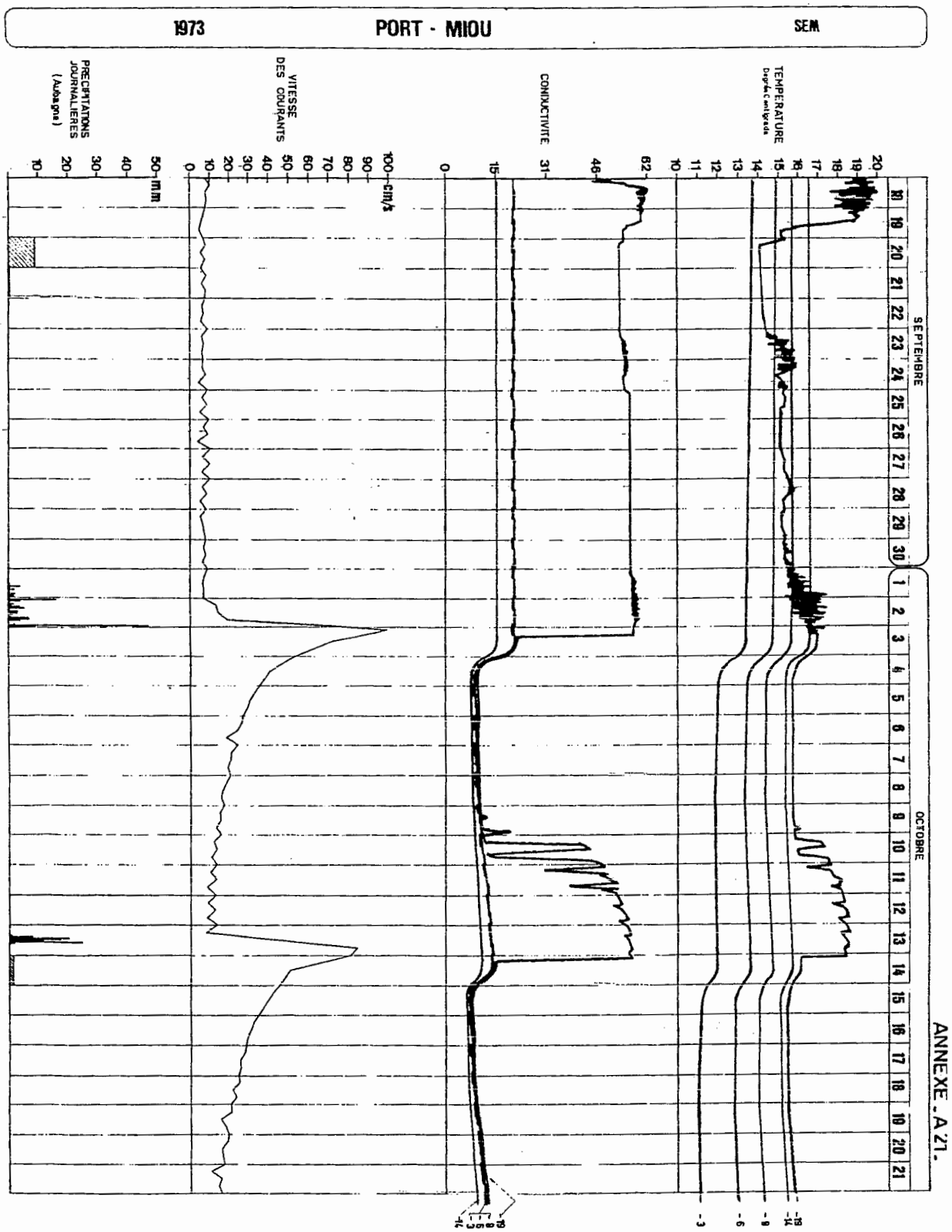


Figure 15 : Courbe des débits de Port Miou. Automne 1973. On notera les fortes variations de la salinité et la rapidité de la réaction après les pluies à Aubagne. L'amplitude reste cependant réduite.

b . 2) - Captage expérimental :

L'eau de Port Miou est abondante mais saumâtre ce qui interdit son utilisation directe pour AEP. Les explorateurs ayant constaté la présence d'un flux d'eau de mer entrant qui pouvait expliquer la salinité résiduelle de la source, d'importants travaux ont été réalisés pour construire un barrage sous-marin destiné à empêcher le mélange des deux eaux. Un essai sur modèle réduit a permis de valider le projet et de préciser les caractéristiques du futur ouvrage (Ricour, 1971).

Une cloche émergée ayant été repérée par les plongeurs, un puits de 45 m et une galerie ont été creusés pour l'atteindre à partir du vallon de Port-Pin et y construire le barrage. La localisation a été faite à l'aide d'un barreau aimanté mis en place dans la cloche souterraine par une équipe de plongeurs et détecté par magnétométrie en surface.

La construction a débuté en 1972. Une première tentative, à l'aide d'un ouvrage en béton allégé construit directement sur les sédiments karstiques, a permis de limiter partiellement l'intrusion marine. La salinité de l'eau est passée de 10 g/l à 6 g/l en surface et de 20 g/l à 6 g/l au fond.

Une deuxième tentative en 1975-76, en surélevant le barrage afin de créer une mise en charge artificielle de 3,7 mètres. Compte tenu de la présence de fuites la mise en charge effective a été de 3 mètres ce qui a permis de séparer efficacement les deux milieux mais l'eau de l'amont a cependant conservé une salinité résiduelle proche de 3 g/l. (Syndicat de recherche de Port Miou, 1978). Aucun renseignement n'est disponible sur la pérennité de la mise en charge après construction de l'ouvrage.

A l'heure actuelle le suivi a été abandonné et le barrage ne provoque plus de mise en charge.

b . 3) - Origine de la salinité :

Une réflexion a été menée sur l'origine de la salinité résiduelle : marine ou continentale ?

La SEM a tenté une reconstitution de la composition de l'eau avant mélange avec l'eau de mer et a obtenu les résultats suivants montrant une forte teneur en sulfates :

Ca^{2+}	100 mg/l
Mg^{2+}	25 mg/l
HCO_3^-	300 mg/l
Cl^-	30 mg/l
SO_4^{2-}	100 mg/l
Na^+	80 mg/l

Une étude isotopique sur les sulfates (Vernet & Vernet, 1980) a montré qu'ils avaient une origine continentale. Il semble que ce résultat ait été étendu aux chlorures, stoppant ainsi les expérimentations à Port Miou.
Des analyses en cours (universités de Marseille et d'Avignon) indiquent que la salinité provient exclusivement de contaminations marines profondes. Les explorations de 1993 qui ont permis

d'atteindre 147 m de profondeur à plus de 2200 m de l'entrée, confortent cette idée puisque à ce niveau la salinité résiduelle est toujours présente avec 6,7 g/l de Na Cl (Douchet, 1993)

b . 4) - Bassin d'alimentation (cf planches 1 et 2)

Il est possible de considérer Port Miou et le Bestouan comme appartenant à un même aquifère. Plusieurs indices convergent dans ce sens.

- A partir des données courantométriques de la SEM, des essais de corrélation avec la pluie à Cassis (De Marsily et Poitrinal, 1972) et à Cuges (Auriol et Bonnet, 1972) ont été conduits qui montrent que la pluviosité et les deux sources sont liées, bien que la réponse soit plus floue au Bestouan.
- Les forts courants d'eau dans Port Miou provoqueraient une aspiration au Bestouan confirmée par traçage (Syndicat de Recherche de Port Miou, 1972). Cependant le plongeur spéléo C. Touloumdjian (comm. orale) ne confirme pas cette aspiration et indique qu'il s'agit plutôt de contre-courants localisés.
- Le barrage à Port Miou a modifié les circulations au Bestouan en augmentant sensiblement le débit.

Des expériences de traçage ont montré une liaison positive avec les sources de Cassis (Rousset 1968; Durozoy et Paloc, 1969) .

- *Embut de Coulin* (cf. planche 1 et 2): situé au Sud de la plaine d'Aubagne, cet embut permet le rejet des eaux d'irrigation de la plaine d'Aubagne. Une première coloration, réalisée par le BRGM en 1964, à l'aide de 25 kilos de fluorescéine, est restée négative. Elle a été rééditée avec succès en décembre 1965, à l'aide de 50 kilos de fluorescéine. Le traceur a été détecté aux exutoires de Cassis (Port Miou, Port de Cassis) après 42 jours, ce qui correspond à une vitesse de 12 m/h.

- *Tunnel du Mussuguet* (fig. 18)*:* une coloration a été effectuée en décembre 1966 par le BRGM, dans une cavité karstique recoupée par le tunnel du Mussuguet au point de coordonnés x = 860,90 y = 109,95 z = 175, l'expérience s'est révélée positive aux exutoires de Cassis après 7 jours, pour une vitesse de 32m/h.

- *Poljé de Chibron :* un traçage avec 15 kg de fluorescéine dans les bassins de décantation du poljé de Chibron par R. Durand (comm. orale) aurait provoqué une coloration à Port Miou six mois plus tard. (cf. planche 2)

Cependant M. Douchet (1993) s'étonne des différences de réactions des deux émergences aux fortes pluies. Le Bestouan réagit très vite aux pluies sur la Ste Baume au contraire de Port Miou où la réponse est très atténuée. A l'inverse, il cite une forte variation de débit à Port Miou en mai 1993 sans cause apparente, hormis peut-être des fortes pluies en octobre 92. Ce point reste donc à préciser .

b . 5) - Essai de bilan

Le bassin immédiat correspondant aux calcaires urgoniens et jurassiques (fig. 16) est d'environ 200 km^2 (Guieu et al, 1996), or un module de 9 l/s/km2 ne produirait qu'un débit moyen de 1,8 m^3/s. Le bassin est donc certainement plus vaste, d'autant plus que la présence de la source du Bestouan et les fuites observées dans la calanque de Port Miou conduisent nécessairement à augmenter le débit total. Le débit moyen mesuré à Port Miou est compris entre 6 et 7 m^3/s et celui du Bestouan entre 1 et 2 m^3/s. En retenant une moyenne de l'ordre de 7 m^3/s ceci traduirait un bassin de l'ordre de 800 km^2. La superficie de l'auréole de calcaires urgoniens et jurassiques est insuffisante pour expliquer ces valeurs. Compte tenu du déficit signalé par C. Coulier (1985) et Ph. Martin (1991) l'unité de la Sainte Baume participe très certainement, mais cela reste insuffisant. Il conviendrait donc de faire remonter très au nord le bassin hypothétique comme cela est proposé plus loin dans le texte. On notera de plus que la variabilité du système est réduite puisque les débits mesurés fluctuent entre 3 et 130 m3/s soit un indice de variabilité de 43, faible pour ce type d'aquifère traduisant une origine lointaine et d'importantes réserves.

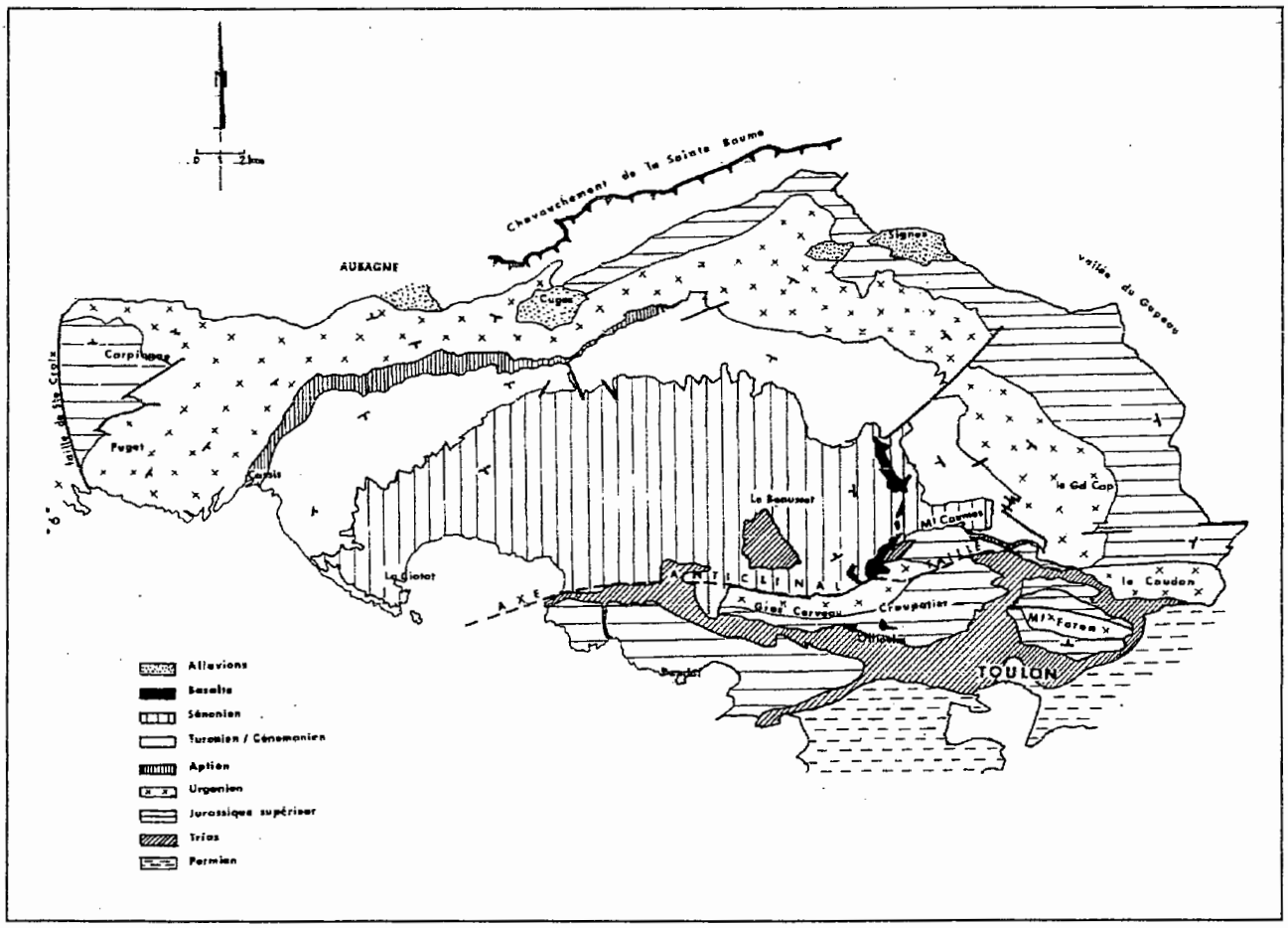


Figure 16 : Schéma géologique de l'Unité du Beausset. Les séries imperméables sont constituées par le Permien, le Sénonien et l'Aptien. Ce dernier est absent dans la partie est du bassin. On notera que le Turonien détritique à l'ouest devient calcaire à l'est (Extrait de Monteau, 1978).

Le compartimentage imposé d'une part par la lithologie : écrans étanches ou semi perméables du Keuper, du Dogger, du Cénomanien et d'autre part, par la structure : nappes, séries renversées, écaillages, permet l'existence d'aquifères superficiels bien individualisés alimentant de nombreuses sources de faible débit. Cependant l'importante fracturation et la géométrie complexe des unités permettent des liaisons hydrologiques d'une unité à l'autre et des fuites verticales qui alimentent finalement un aquifère profond dont l'organisation a été pré-structurée par une paléokarstification messinienne profonde. Des liaisons entre les différentes unités calcaires sont donc possibles.

c) - Cavités :

Peu de cavités susceptibles d'être en liaison avec l'amont de Port Miou et du Bestouan, sont connues dans le massif des Calanques (fig. 17). On peut cependant citer :

- l'Aven des Marseillais (ou des Quatre Trous) qui atteint la cote NGF 47 et dont les parties profondes s'ennoient lors des crues (Guieu, 1996),
- le gouffre de la Gorguette près du Mussuguet exploré jusqu'à la cote NGF 71 et qui présente aussi des traces de mise en charge (Guieu, 1996),
- l'Aven du Trione près de Cassis, qui atteint la cote NGF 78 et présente un plan d'eau à sa base. Cette cavité est malheureusement très dangereuse en raison de la présence de CO_2.
- L'aven du Logisson près du camp de Carpiagne où l'exploration n'a pas permis de dépasser la cote NGF 175.

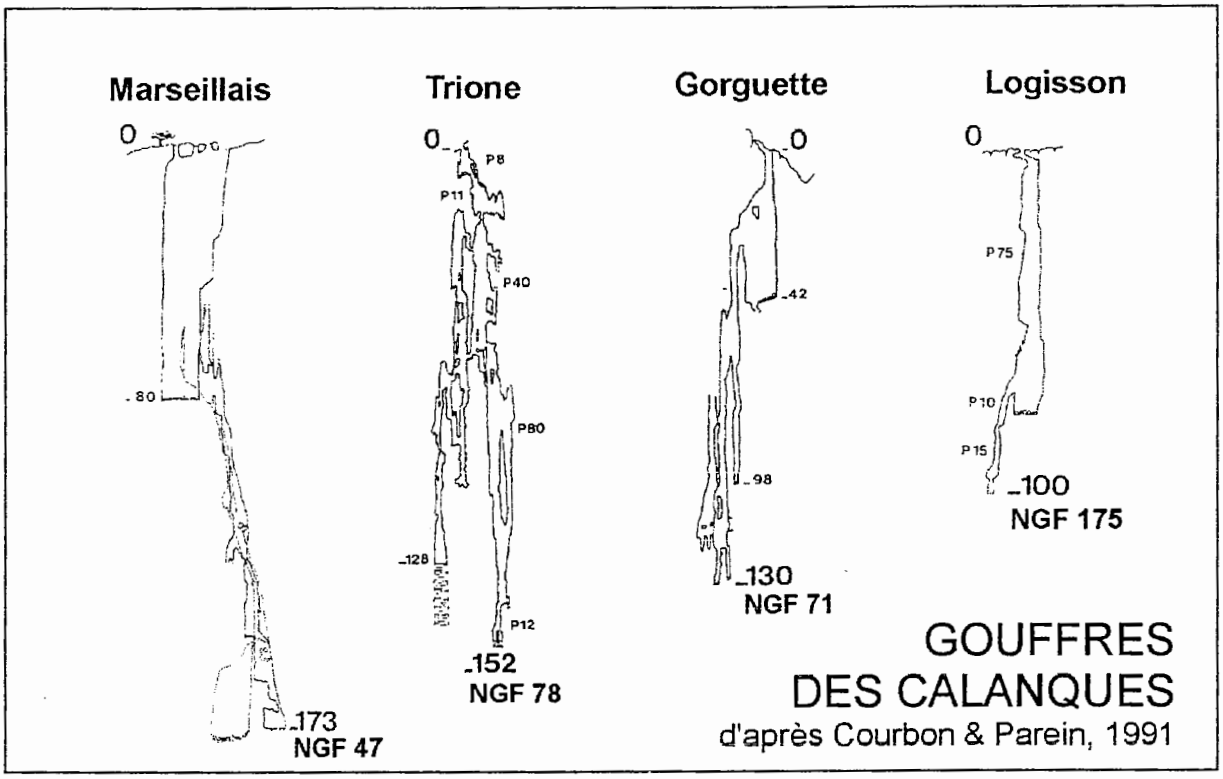


Figure 17 : Principaux gouffres explorés en amont de Port Miou et du Bestouan dans le massif des Calanques
Les gouffres de Trione et de Gorguette sont particulièrement bien placés et présentent des indices de mise en charge.
La poursuite de leur exploration pourrait permettre d'atteindre les galeries du Bestouan.

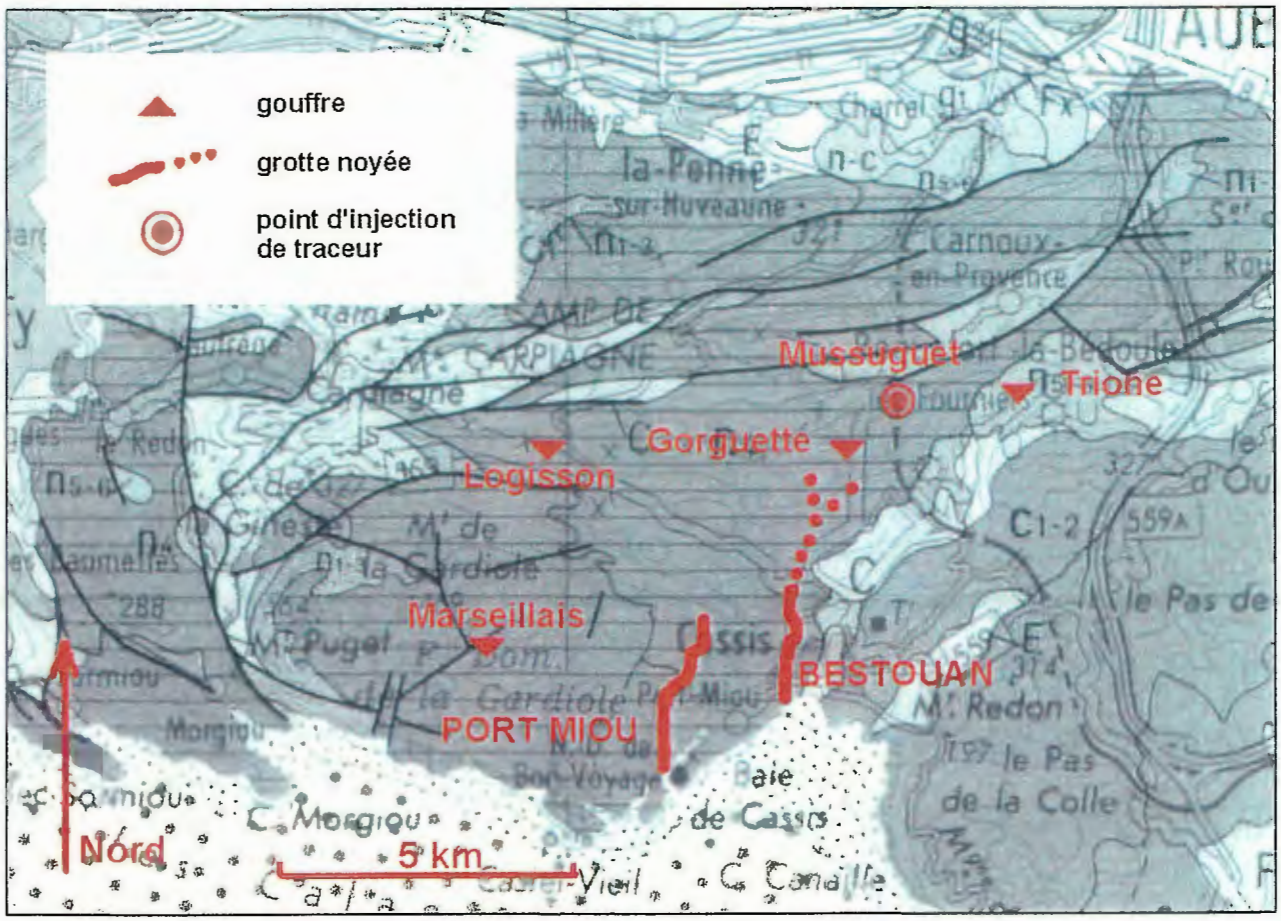


Figure 18 : Principales cavités en amont de Port Miou et du Bestouan

B / 2.8. - Bassin interne du Beausset

Séparée des calcaires urgoniens de l'auréole externe du Bassin du Beausset par l'Aptien imperméable à l'ouest, mais très réduit au nord et à l'est, l'auréole cénomano-turonienne interne du Bassin du Beausset présente d'importantes variations de faciès mais est localement très karstifiable. Hormis pour la partie nord-est (secteur de Siou Blanc) drainée par des sources terrestres au nord de Toulon, le Cenomanien-Turonien, compte tenu de sa structure, est probablement drainée en mer.

B / 2.8.1. - Unité du Bec de l'Aigle

R. Monteau (1971) signale des venues d'eau dans la calanque de Figuerolles. A l'est de cette dernière la grotte sous-marine des Trois Pépés (cf. coordonnées en annexe) renfermerait une petie source d'eau douce. Elle est située à l'aplomb des Trois Secs, à 15 mètres de profondeur et descend jusqu'à 24 m consituant ainsi un piège à eau froide (entre 13 et 14°C) qui a permis la survie de plusieurs espèces normalement absentes de cette zone géographique. La grotte est une relicte proche des milieux abyssaux actuels. 120 espèces nouvelles y ont été découvertes.

Sur le plateau un puits romain aurait pu permettre de s'approvisionner en eau douce (P. Boissery, comm. orale).

Une cavité importante : le Grand Draîoun a été exploré sur près de 3000 m, jusqu'environ 200 m de profondeur. Elle s'ouvre à 241 m d'altitude dans le Turonien de la falaise du Cap Canaille et se développe parallèlement au versant vers l'est. Nous n'avons pas d'indications sur d'éventuelles circulations d'eau. En aval du point extrême, sur le plateau, une sortie d'eau intermittente au lieu-dit Puits de la Bertrandière (localisation inconnue), est décrite par C. Fait (1994) qui s'interroge sur d'éventuelles relations avec la grotte du Grand Draïoun.

B / 2.8.2. - Baie de la Ciotat

La Baie de la Ciotat se développe dans le coeur sénonien gréseux du synclinal du Beausset. Elle est limitée au sud-est par l'accident majeur qui la sépare de l'unité du Jurassique de Bandol. Cet accident se prolonge en mer mais la géométrie du contact est inconnue. Compte tenu de la structure du synclinal du Beausset, il existe théoriquement un contact entre le Keuper imperméable de cet accident et les calcaires du Turonien, sous le Sénonien. On devrait donc rencontrer des sources karstiques dans ce secteur.

Dans la littérature des sources sont effectivement fréquemment signalées dans la Baie de la Ciotat et figurent sur plusieurs cartes (Durozoy et Paloc, 1969; Cova et Durozoy, 1975) (fig. 19). L'origine de cette information semble être une étude expérimentale par mesure de conductivité (Cluseau, 1965). Or l'auteur qui précise les limites de sa méthode reste prudent sur leur interprétation et ne fait état que d'anomalies à vérifier *in situ*. Il semble que les auteurs suivants n'aient pas eu la même prudence.

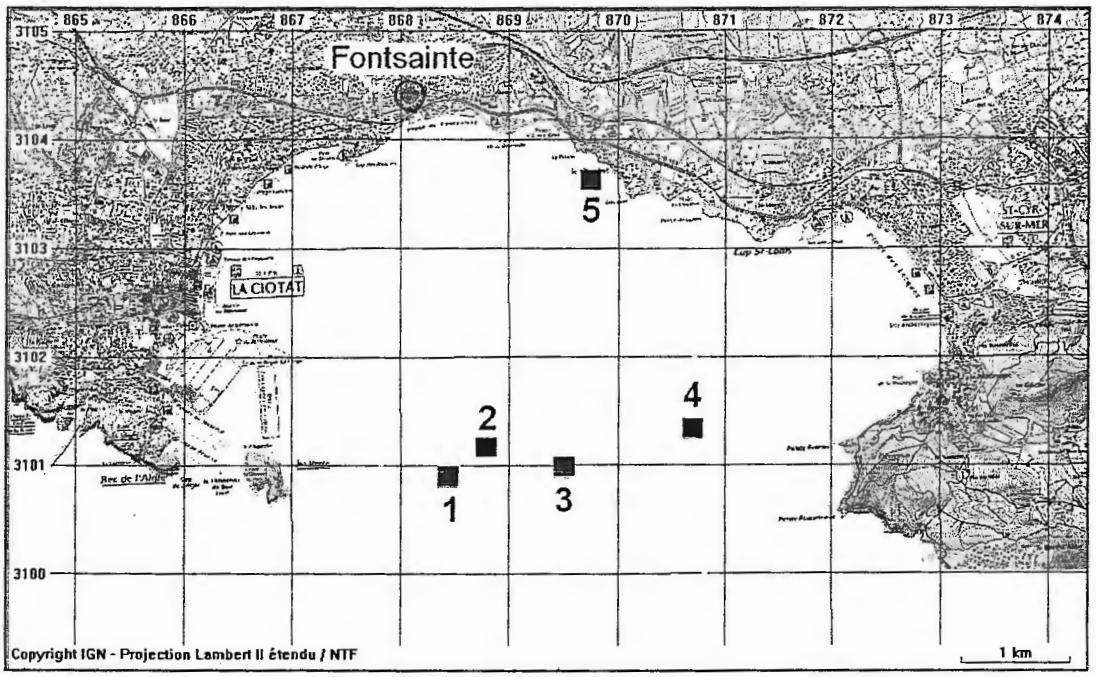


Figure 19 : Sources signalées par le BRGM dans la baie de la Ciotat.

A l'est de La Ciotat, les sources sous-marines du Liouquet (fig 19 - n°5) signalées par Durozoy et Paloc (1967) auraient été repérées par mesure de conductivité à 9 m de profondeur. Ces sources pourraient être en liaison avec la Fontsainte, source du littoral de la Ciotat réputée "miraculeuse" en raison de ses variations de débit. Cette source a donné lieu à l'établissement d'un culte. Son fonctionnement particulier laisse supposer qu'il s'agit d'une émergence karstique.

Les sources les plus importantes seraient situées entre la pointe Grenier et l'Ile verte, sur le prolongement de l'accident géologique limitant au sud le bassin du Beausset (Monteau, 1971).

D'autres sources sont signalées (Bec de l'Aigle, Ile verte) mais nous n'avons pas pu trouver d'informations précises sur la localisation et les débits. Une enquête auprès des plonguers de la Ciotat n'a pas permis de confirmer leur existence.

On notera qu'une étude SEM-BRGM par thermographie aéroportée en 1971 (fig. 20) n'a pas permis de mettre en évidence de sortie d'eau dans la Baie de la Ciotat. Le seul indice étant lié à l'écoulement d'un vallon : le Vallat de Roubaud.

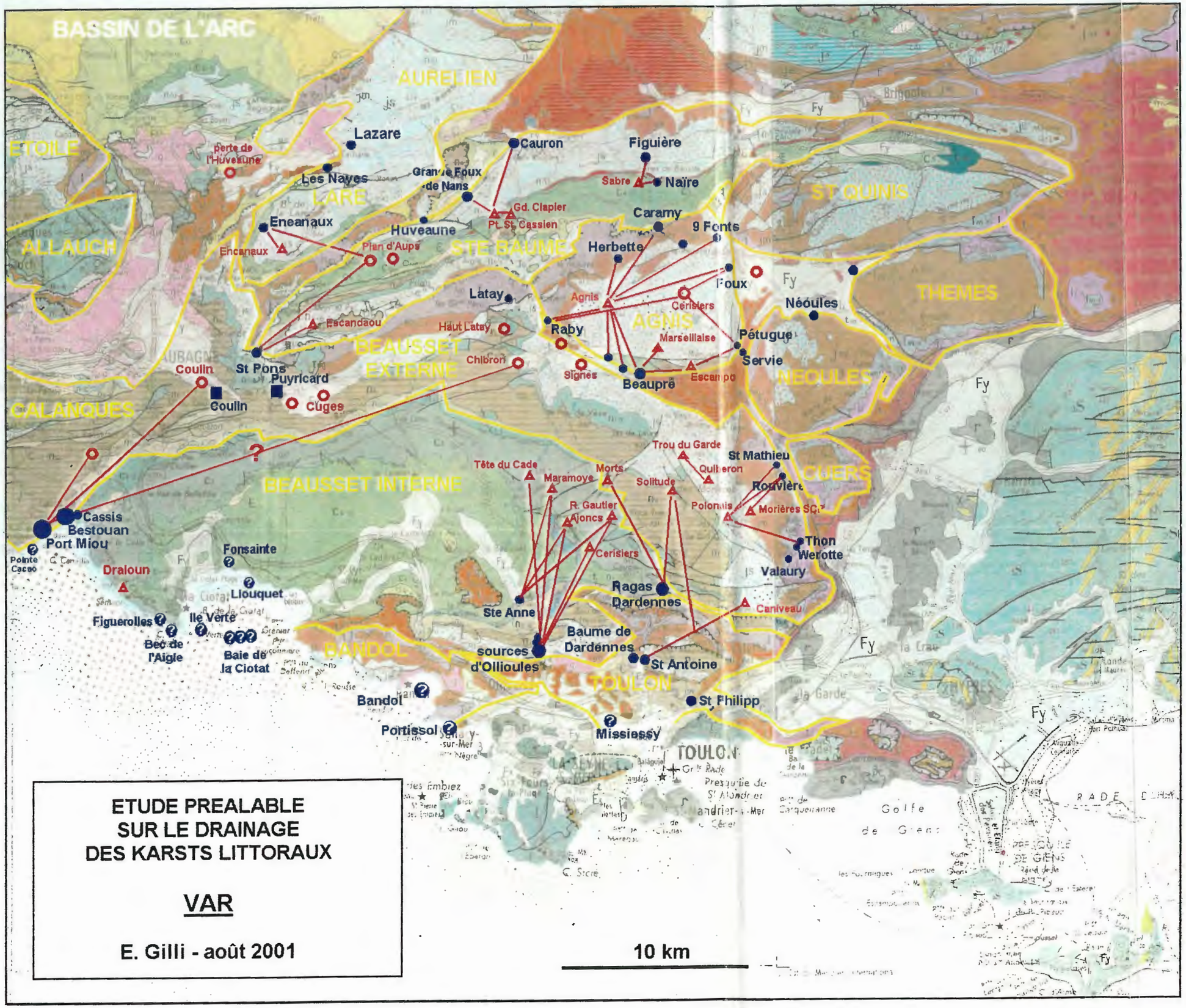
Figure 20 : Thermographie aéroportée (février 1971) : le panache blanc (eaux froides) correspond aux eaux du vallon de Roubaud. Aucune venue chaude profonde (couleur noire) n'est visible à l'est de l'Ile Verte

B / 2.8.3. - Ollioules - Evenos

A la sortie des gorges d'Ollioules, un groupe de sources draine les massifs du Gros Cerveau et du Croupatier avec un débit moyen de 90 l/s . Plusieurs campagnes de traçage dans le massif de Siou Blanc ont montré une liaison positive avec ce groupe de sources (spéléH2O, 2000). Ces résultats confirment l'absence de l'écran étanche de l'Aptien.

B / 2.8.4. - Essai de bilan sur le Bassin interne du Beausset

L'existence des sources de la Baie de la Ciotat reste à prouver par des recherches complémentaires. Si elles n'existent pas, il semble logique de drainer la partie ouest des calcaires turoniens (environ 70 km^2) vers Port Miou. Il faut pour cela admettre que l'écran de l'Aptien,



ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX

VAR

E. Gilli - août 2001

LEGENDE

- source signalée
- source décrite
- perte
- grotte, gouffre
- tunnel drainant
- puits
- liaison prouvée par traçage

Géologie d'après la carte à 1/250 000 du BRGM Feuilles de Marseille et Nice

LEGENDE SIMPLIFIEE

- terrains tertiaires imperméables ou peu karstifiables
- Crétacé imperméable
- Turonien karstifiable
- Néocomien karstifiable
- Aptien-Cénomanien imperméable
- Urgonien karstifiable
- Malm karstifiable
- Dogger imperméable
- Lias karstifiable
- Trias
- Socle imperméable

présent à l'ouest, est imparfait, soit grâce à des variations de faciès soit par le jeu d'accidents tectoniques.

Vers l'est, le drainage du Turonien en direction de l'ensemble Ragas-Dardennes et des sources d'Ollioules et Evenos a été largement prouvé par de nombreuses campagnes de traçage (cf. fiches de traçages en annexe).

B / 2.9. - UNITE DE BANDOL - TOULON

B / 2.9.1. - Description

Sur sa bordure sud-est, le Bassin du Beausset est chevauché, du sud vers le nord, par un ensemble d'écailles mobilisant des terrains mésozoïques ainsi que du socle permien dans la région de Toulon. Dans cet ensemble structural complexe orienté est-ouest, les calcaires du Jurassique et le Muschelkalk sont karstifiiables.

B / 2.9.2. - Baie de Bandol

Durozoy et Paloc (1969) font figurer sur l'esquisse hydrogéologique du bassin du Beausset une émergence sous-marine dans la baie de Bandol. Aucune précision n'est apportée, ni sur la localisation, ni sur le débit.

B / 2.9.3. - Sanary

A Portissol, une émergence sous-marine impénétrable au pied d'un petit îlot sur le flanc nord de la pointe de Portissol pourrait drainer une partie du Jurassique de Bandol. Elle figure sur l'esquisse hydrogéologique du bassin du Beausset (Durozoy et Paloc, 1969). Elle est connue des plongeurs et pêcheurs.

B / 2.9.4. - Jurassique de Toulon

a) - Ensemble Ragas - Foux de Dardennes

Situé à Revest les Roches, la Foux de Dardennes (source pérenne) et le vaste puits noyé du Ragas (émergence temporaire) (fig. 21), sont les exutoires du Plateau de Siou Blanc. La Foux est actuellement sous les eaux du barrage de Dardennes exploitées pour AEP. Les explorations au Ragas (alt. 149 m) ont permis d'atteindre 151 m de profondeur (cote NGF -1 m) et de nombreux traçages réalisés sur le plateau de Siou Blanc ont été positifs.

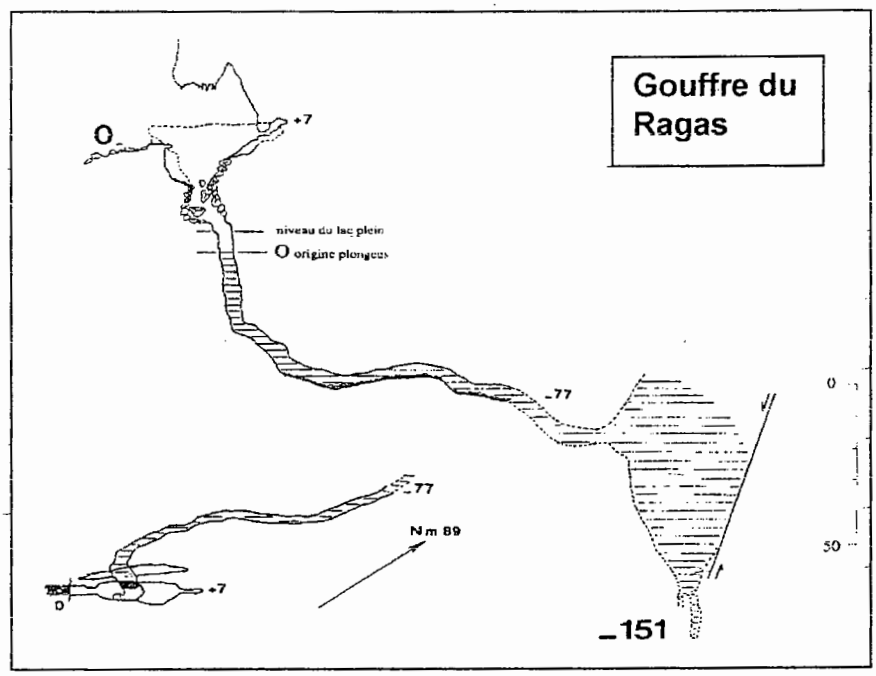


Figure 21 : Plan et coupe de la source temporaire du Ragas (d'après Courbon & Parein, 1991)

b.) - Source Saint Antoine (alt. 25 m)

Cette source est captée pour la ville de Toulon. Après une série de siphons au toit de la nappe, le conduit plonge et les explorations ont permis d'atteindre 112 m de profondeur soit environ - 90 m NGF (fig. 22). Elle draine l'aquifère karstique du Jurassique du Mont Faron, le débit moyen est de 165 l/s.

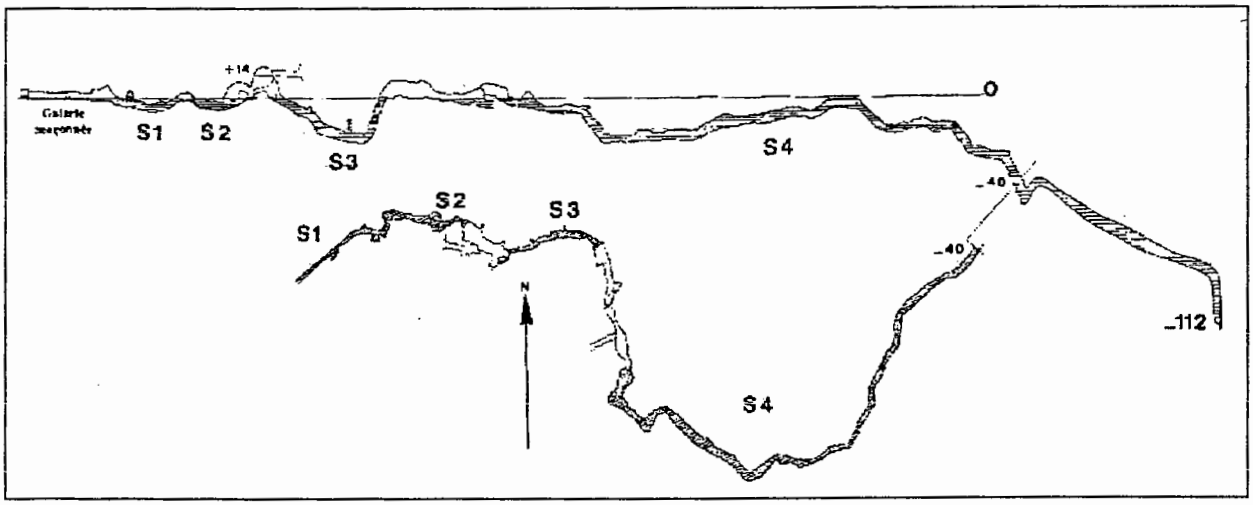


Figure 22 : Plan et coupe de la source St. Antoine (d'après Courbon & Parein, 1991)

c) - Baume de Dardennes

Cette source, à ne pas confondre avec la Foux de Dardennes, est située en face de la source Saint Antoine. Le débit moyen est de 12 l/s. Elle draine la colline de l'Oratoire.

B / 2.9.5. - Le Trias de Toulon

Les affleurements de Muschelkalk sont importants dans la ville de Toulon et l'Arsenal. Leur hydrogéologie reste mal connue et hormis leur impluvium propre, ils peuvent être suralimentés par le Jurassique des chaînons calcaires du nord de la ville. Il est vraisemblable que des exutoires sous-marins existent dans la rade de Toulon. Un modelé karstique y apparaît nettement sur les études bathymétriques et un fort courant d'eau conjugué à la présence de poissons "blancs" font dire aux pécheurs qu'il existe des venues d'eau douce en profondeur.

a) - Source Saint Philipp

Cette émergence est le seul point connu drainant le Muschelkalk. Elle est située au coeur de Toulon et a été "redécouverte" lors d'une étude hydrogéologique sur les causes de l'effondrement du tunnel de Toulon (Mangan et Gilli, 1999). L'eau s'écoule actuellement dans une galerie artificielle accessible par un regard dans un jardin privatif de l'avenue de Saint Castié. Il s'agit d'une ancienne dérivation d'une émergence naturelle. Cette source a fait l'objet d'une étude par l'équipe de spéléH2O qui a pu retrouver l'ancien conduit karstique dans une ancienne carrière à la Loubière. Les explorations en plongée n'ont pas permis de reconnaître de conduit notable.

La source a été exploitée pour la ville de Toulon jusqu'en 1884 puis fut fermée pour cause de pollution. Elle fut cependant réutilisée ponctuellement lors de pénuries. Le débit moyen est estimé à 35 l/s. Elle draine les calcaires du Muschelkak du massif de Siblas

b) - Captage Castigneau,

Cette galerie drainante, fournissant dans le passé environ 20 l/s à l'arsenal, est située sous le terre-plein de Castigneau. L'origine de l'eau, la localisation exacte et les conditions d'émergence sont inconnues. L'aquifère sollicité pourrait être le Muschelkalk mais il pourrait aussi s'agir d'une nappe alluviale.

D'autres sources de moindre importance sont signalées, anciennement utilisées par l'Arsenal : source Manenq, source de Rodeillac, mais il est difficile de savoir s'il s'agit de sources karstiques ou de puits dans les alluvions du Las. Ce dernier a été détourné de son cours primitif pour le creusement des darses mais il est probable que des écoulements sous alluvionnaires persistent.

Une importante venue d'eau est signalée dans la darse Missiessy, repérée lors des travaux d'agrandissement du bassin par l'armée, sa nature, son origine et son débit restent à préciser.

B / 2.9.6. - Essai de bilan sur l'unité Bandol -Toulon

Dans ce secteur à la structure très complexe il est difficile d'évaluer les éventuelles communications entre les différentes unités lithologiques et les rapports avec l'unité du Beausset au nord.

A l'ouest l'unité paraît assez isolée du Jurassique du flanc sud-est du bassin du Beausset (Coudon, Gros Cerveau) où se situe le groupe des sources d'Ollioules-Evenos. Parmi elles, le Mascaron (ou Labus) présente une température élevée qui traduit une origine lointaine et profonde. Le Keuper semble donc former un écran imperméable parfait. De faible superficie, le Lias et le Jurassique de Bandol et Sanary, alimentent la nappe alluviale de la Reppe et les émergences sous-marines de Portissol et de la baie de Bandol. Les débits de ces dernières sont inconnus mais probablement faibles.
A l'est, le Mont Faron (environ 7 km^2) doit produire environ 60 l/s. Il est drainé vers les sources de St Antoine et de Boudouvin mais ces dernières ont un débit trop élevé. Une suralimentation par le Jurassique du Beausset a été confirmée par traçage. Une partie de l'eau s'injecte ensuite vers l'aval, dans le Muschelkalk de l'est de Toulon (Source St Philipp).

Le Mont Faron constitue donc un relais hydraulique entre le bassin du Beausset et le littoral. De la même façon, Le Muschelkalk de l'ouest de Toulon pourrait être suralimenté par le Jurassique du Mont Croupatier avec un drainage vers la rade de Toulon.

La recherche d'émergences sous-marines à ce niveau pourrait permettre de préciser ce point.

B / 3. - REFLEXIONS GENERALES SUR L'HYDROGEOLOGIE DU LITTORAL DE BASSE PROVENCE

B / 3.1. - Essai de bilan :

La pluviométrie de ce secteur montre des valeurs assez faibles pour les Bouches du Rhône et plus importantes pour le Var. Par analogie avec les Alpes Maritimes, où le modelé karstique et la végétation sont comparables, mais où les précipitations sont plus fortes, les modules d'infiltration pour les massifs karstiques de ce secteur pourraient donc varier entre 6 l/s/km^2 pour la bordure sud et les zones basses, et 10 l/s/km^2 pour les plus hauts reliefs. Les bilans sur des bassins bien circonscrits, plateau d'Agnis (Gilli, 2000), et massif de Néoules (Cova & Durozoy, 1980) confirment ces valeurs pour le Var, puisque l'on obtient des modules autour de 10 l/s/km^2.

Unités	**superficie en km^2**	**module en l/s/km^2**	**débit en l/s**	**zone d'émergence possible**
Chaîne de la Fare	100	6	600	Etang de Berre , Sources de la Dane et Calissane
Estaque Nerthe et Etoile	250	5	1250	Etang de Berre et Baie de Marseille, tunnels
Massif d'Allauch	30	6	180	Roucas Blanc, nappe de l'Huveaune
Auréole externe du Beausset	200	9	1800	Port Miou, Bestouan
Bassin interne du Beausset	200	8	1600	Port Miou ou baie de la Ciotat
Unité de Bandol	25	6	150	Sources de Bandol, de Portissol, nappe de la Reppe
Trias de Toulon	12	6	72	Rade de Toulon

Tableau 3 : Superficie des unités karstiques littorales de la zone d'étude et débits restitués théoriques

Les sources sous-marines de Cassis montrent un débit excédentaire par rapport à leur impluvium théorique réduit à l'auréole urgonienne du bassin du Beausset, même augmentée d'une partie de la Ste Baume ou du bassin interne du Beausset. En retenant une valeur moyenne de module d'infiltration de 8 l/s/km^2, et en admettant qu'une partie de l'eau participe à l'alimentation des exutoires aériens déjà connus dans ce secteur il devient nécessaire d'imaginer un bassin supérieur à 1000 km^2 pour expliquer le débit de Port Miou.

A l'inverse, avec un tel module, les débits des sources connues en périphérie des affleurements calcaires de la Basse Provence sont insuffisants. Un déficit important partiellement signalé plus haut dans le texte s'observe pour les points suivants :

- à l'est de la Sainte Victoire, le massif du Bois de Pourrières (165 km^2) avec un module de 8 l/s/km^2 devrait fournir un débit de 1,3 m^3/s or l'ensemble des sources de l'Argens ne produisent que 800 l/s.

- le flanc sud de la Ste Victoire et les affleurements calcaires du bassin de l'Arc qui ne fournissent que les venues d'eau du puits de l'Arc (environ 300 l/s) dans les mines de Gardanne et où aucun exutoire naturel important n'est connu,
- la Montagne du Regagnas sans exutoire,
- les calcaires de Rougiers faiblement drainés vers le Caramy,
- le secteur de Saint Maximin et les Monts Auréliens qui, malgré une surface d'affleurement d'environ 90 km^2 ne fournissent que quelques dizaines de l/s à la source Lazare dans les gorges de la Sambuc à Saint Zacharie,
- la chaîne de l'Etoile et le massif d'Allauch où aucun exutoire important n'est connu.

Au nord du bassin du Beausset, pour une surface d'affleurements calcaires d'environ 1000 km^2 l'ensemble de ces sources issues des calcaires du Jurassique et du Crétacé ne représente qu'environ 3 à 4 m^3/s. On est donc obligé d'admettre qu'une grande partie de la Basse Provence est déficitaire en eau à raison d'environ 4 à 5 l/s/km^2 ce qui représente environ la moitié du module théorique.

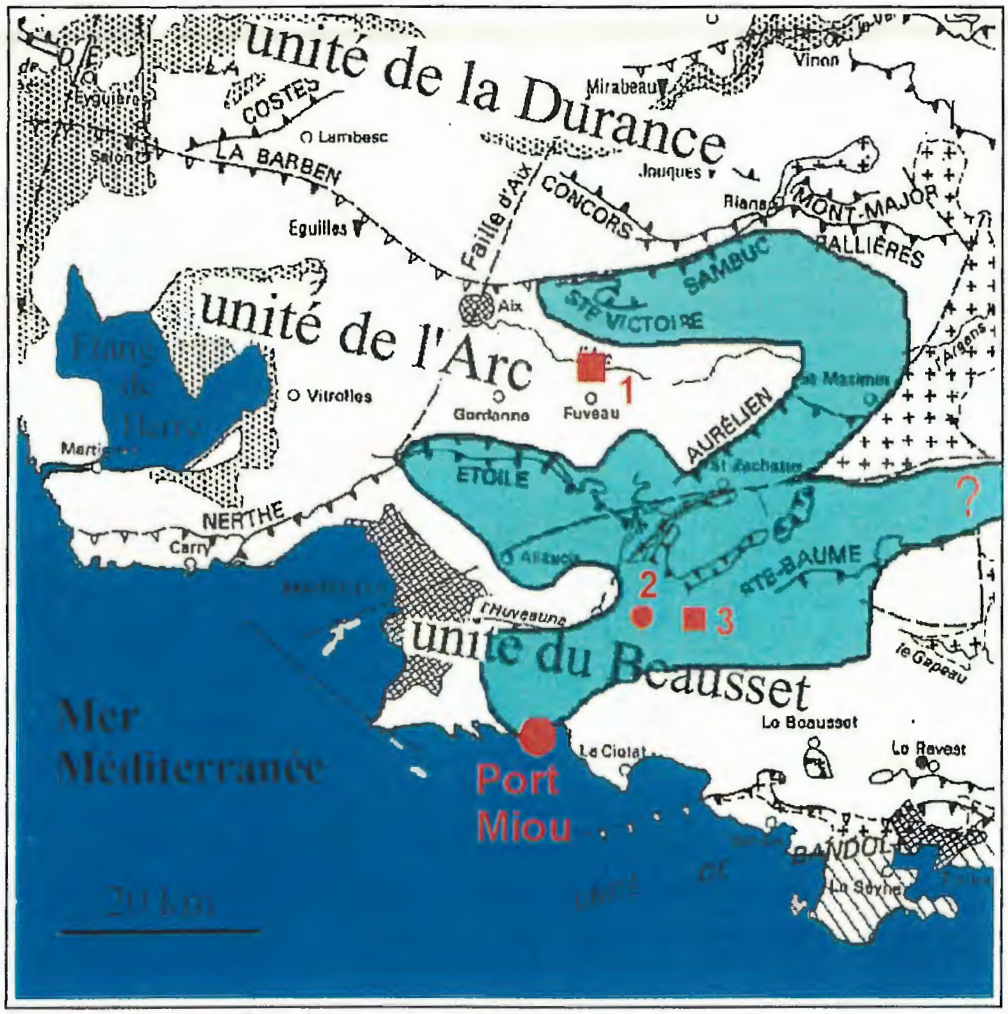


Figure 23 : Bassin d'alimentation hypothétique des sources de Port Miou .
(1 puits de l'Arc; 2 embut de Coulin; 3 forage de Puyricard).

Les débits de Port Miou, s'ils sont exacts, conduisent donc à imaginer un gigantesque karst profond drainant la Basse Provence. Un tel bassin ne peut s'inscrire que dans un périmètre remontant très au nord, dans le bassin de l'Arc, jusqu'à la Sainte Victoire (Fig. 23) mais peut être aussi vers l'est, vers Brignoles. Le faible indice de variabilité de la source est un argument supplémentaire pour imaginer un très vaste bassin d'alimentation, d'autant plus que les variations de débit sont très probablement influencées de façon importante par les zones karstiques proches de l'émergence.

L'organisation spatiale d'un tel système impose d'imaginer une paléogéographie très différente de l'actuelle. La structure de la Basse Provence telle qu'elle a été définie, autorise-t-elle une communication hydraulique entre les différentes unités : unité de l'Arc et unité du Beausset ou faut-il retenir l'autochtonie de l'unité du Beausset comme l'a écrit récemment I. Argyriadis (2000), s'inspirant des anciens travaux de Bertrand (1899).

Cette vision impose aussi d'admettre l'idée d'une karstification profonde pour toute la Basse Provence.

B / 3.2. - Apport de la piézométrie

Nous ne disposons malheureusement que de peu de renseignements sur les forages profonds de cette zone. Trois points qui atteignent l'aquifère jurassique profond ont été étudiés : le Puits de l'Arc (Garnier et al, 1983) au nord et les forages de Puyricard et Coulin au sud (Rousset, 1988). Ces points où une forte exhaure est possible avec un faible rabattement, sont bien connectés avec l'aquifère. C. Rousset considère que Coulin et Puyricard sont connectés avec les amonts des sources de Cassis.

On note que le gradient hydraulique est identique pour les trois captages en admettant un drainage vers Cassis. Il est évident qu'une réflexion sur seulement trois points est impossible, mais il s'agit d'un indice supplémentaire cohérent avec l'existence supposée d'une nappe karstique profonde.

Forage	distance du Bestouan	niveau piezométrique	gradient hydraulique
Puits de l'Arc	36 km	200 m NGF	0,55%
Puyricard	16 km	90 m NGF	0,56%
Coulin	12,5 km	70 m NGF	0,56%

Tableau 4: valeurs du gradient hydraulique dans l'hypothèse d'un drainage vers le Bestouan

B / 3.3. - REFLEXION SUR LA KARSTIFICATION PROFONDE

B / 3.3.1. - Evidences

Hormis les émergences sous-marines ci-dessus, divers autres indices peuvent être cités pour prouver l'existence d'une karstification ancienne profonde.

- Des paléo-reliefs karstiques avec de très nombreuses dépressions fermées ont été décrits jusqu'à la profondeur de 150 m. (Collina-Girard. 1992) dans les secteurs de Marseille et des Calanques.
- Les récentes explorations dans la résurgence sous-marine de Port Miou à Cassis ont montré que l'eau provenait d'un réseau actif situé à plus de - 150 m NGF (Douchet, 1993).
- Dans la source St Antoine à Toulon les explorateurs ont atteint 112 m de profondeur soit environ -90 NGF.
- On citera pour mémoire la remontée de 308 m, de l'eau dans le puits d'entrée de la Fontaine de Vaucluse, traduisant l'existence de réseaux à une côte inférieure à -200 m NGF. L'eau a donc un parcours ascendant sur de grandes hauteurs dans des conduits karstiques. Il est bien sûr difficile de pouvoir affirmer que ces réseaux n'ont pas pu se creuser du bas vers le haut ce que permet théoriquement l'équilibre des pressions si le massif est étanche autour des discontinuités. Il nous semble cependant plus logique d'imaginer que l'eau a utilisé des conduits préexistants car les pertes de charge y étaient moindres que dans les réseaux de fissures. De plus, des stalactites et des cannelures s'observent sur les parois de ces conduits or ces formes ne peuvent exister qu'en régime dénoyé.

B / 3.3.2. - Bathymétrie

a) - Région de Marseille

Une étude bathymétrique réalisée par Collina-Girard (1996) à partir des données du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), révèle l'existence d'un paléokarst immergé caractérisé par de nombreuses dépressions fermées s'étendant au large de Marseille, jusqu'à la cote -150 m et qui comprend de nombreuses dépressions fermées (fig. 24). La plus importante, située à l'ouest de Marseille à 78 m de profondeur, possède d'importantes dimensions (10 km sur 5 km). Il pourrait s'agir d'un poljé comparable à celui de Gemenos. Au sud de ce secteur une zone grossièrement tabulaire s'étend jusqu'à 150 m de profondeur au-dessus d'un important escarpement entaillé par un canyon de plus de 300 m de profondeur. Un paléorelief équivalent existe en aval des Calanques de Cassis, profondément entaillé par le canyon sous-marin de la Cassidaigne.

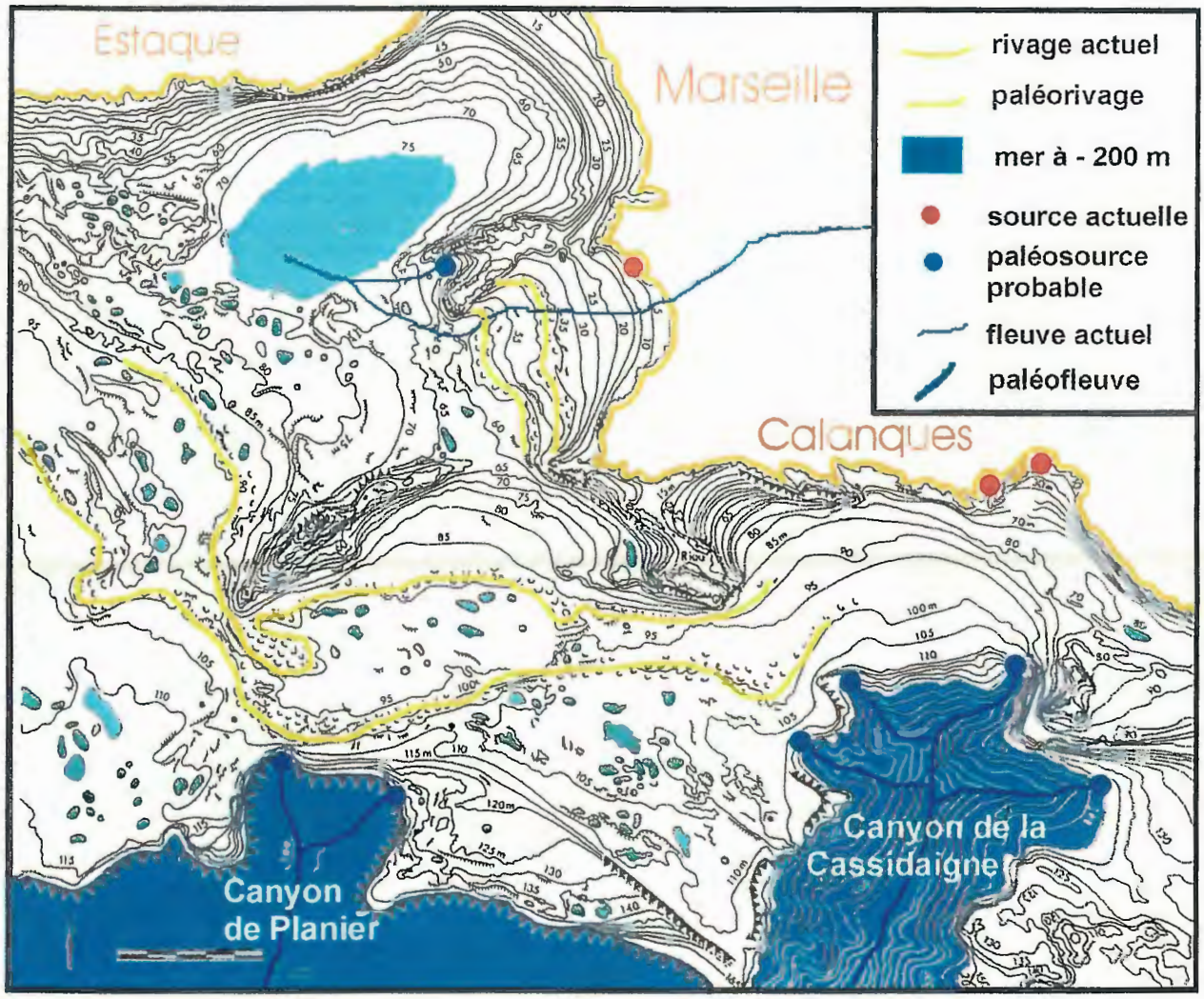


Figure 24 : Carte géomorphologique sous-marine au large des Calanques (d'après Collina-Girard, 1996)

b) - Région de Toulon

Compte tenu de la faible distance, il semble évident de pouvoir extrapoler les données de la région marseillaise à celle de Toulon.
L'examen de la carte à 1/10000° avait montré la présence d'un canyon sous-marin traversant la rade de Toulon, d'une dépression fermée sous-marine à l'est de la Grande Jetée, et d'une vaste dépression fermée en face de l'arsenal du Mourillon. Nous avons recherché les évidences d'une karstification ancienne sous le niveau de la mer en analysant la bathymétrie sur les documents suivants :

- carte SHOM à 1/25 000° n° 7091P : Abords de Toulon
- carte SHOM à 1/10 000° n° 7093 : Rade de Toulon
- levés du SHOM à 1/1000°, 1/2000° et 1/5000° de la rade de Toulon.

Une carte à 1/10000° a été réalisée avec une équidistance d'isobathes de 1 m (fig. 25).

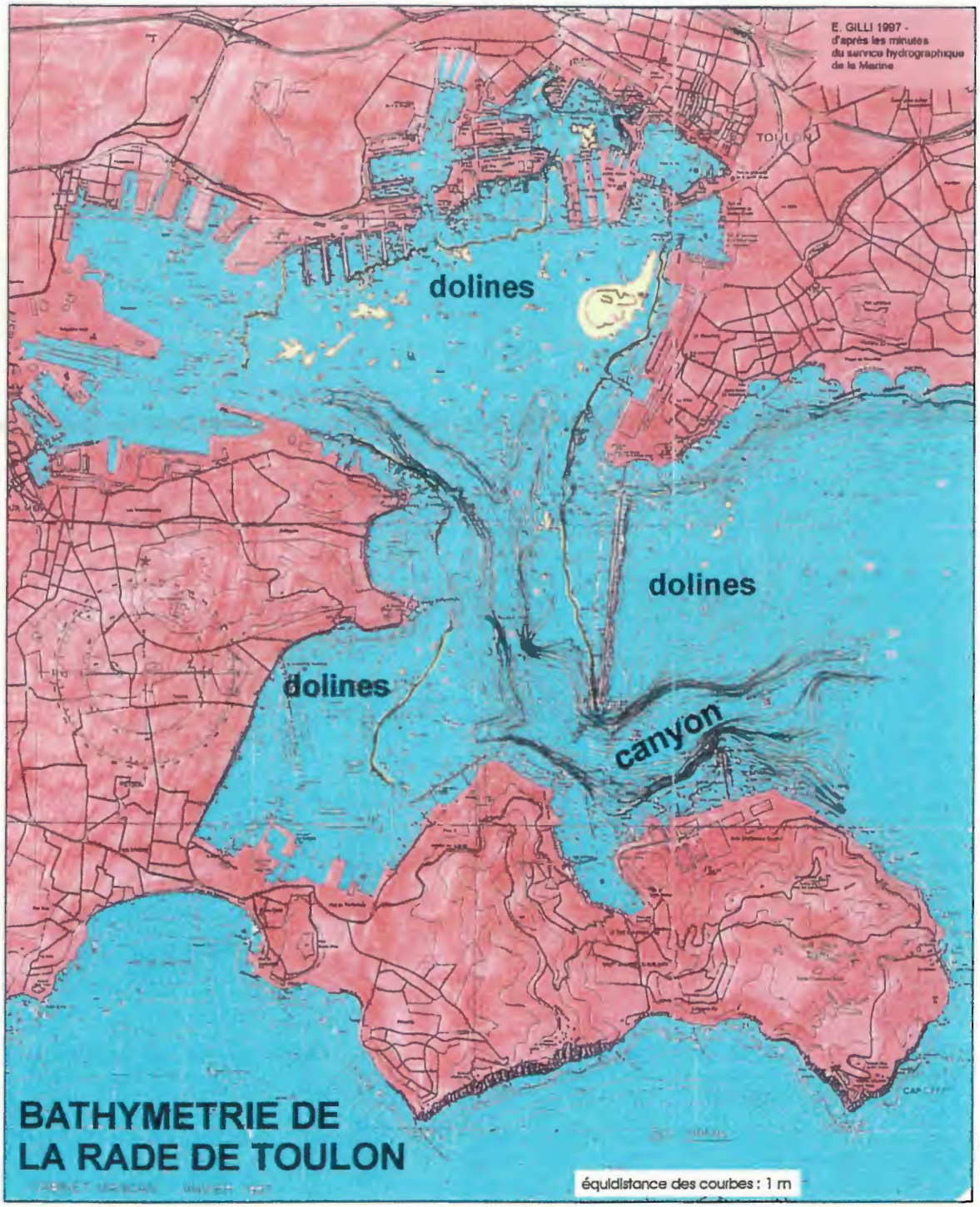


Figure 25 : Carte bathymétrique de la rade de Toulon (d'après Mangan et Gilli, 1997)

Ce travail a permis de mettre en évidence les indices suivants :

Au centre de la rade, les reliefs sous-marins sont entaillés par un canyon aux parois abruptes et hautes en moyenne de 12 mètres, le fond de ce canyon est plat. Le canyon montre en amont une forme en Y, grossièrement orienté nord-sud puis son axe s'oriente totalement à l'est, au sud de la Grande Jetée.

Le centre de la rade montre un fond plat à 12 mètres de profondeur ceinturé par un escarpement de 2 mètres de haut entre les cotes -9 et -11 m. Au-dessus de cet escarpement, le fond, toujours très plat remonte lentement jusqu'au rivage actuel.
Le fond de la rade est criblé de dépressions fermées. La plus importante en superficie est située en face du Mourillon. La dépression déjà connue à l'Est de la Grande Jetée est entourée de plusieurs autres. La plus forte densité se rencontre au nord de la rade.

L'analyse de ces formes montre qu'une grande partie de la rade s'appuie sur une ancienne topographie karstique avec de nombreuses dépressions dont les plus importantes ont été utilisées par l'arsenal pour y installer les darses (Darse Missiessy, Darse Castigneau, Darse Neuve).

L'escarpement entre -9 et -11 m est un paléorivage qui correspond à un stationnement marin.

Cette analyse mériterait d'être poussé plus au large jusqu'à la cote -150 m où, comme pour la région de Marseille et des Calanques, les fonds montrent des reliefs tabulaires vraisemblablement d'origine karstique, en tête d'importants canyons sous-marins.

La ville de Toulon et sa rade constituent un paléokarst très évolué en cours de colmatage. Le phénomène a affecté les calcaires du Muschelkalk, mais aussi les niveaux et amas de gypse du Keuper. L'ensemble a très certainement été suralimenté au nord par les calcaires jurassiques du Faron.

B / 3.3.3. - Conclusion sur la bathymétrie

a) - Existence d'un karst littoral profond

Les reliefs actuellement émergés se poursuivent en toute logique sous la mer. Un modelé karstique a pu être mis en évidence dans les secteurs de Marseille et Toulon et ce travail reste à mener pour la Ciotat. Cependant certains auteurs (Nicod, comm. orale) considèrent que compte tenu de l'absence de dolines dans les karsts émergés de ce secteur, des reconnaissances complémentaires seraient nécessaires pour confirmer l'existence de ces dolines immergées.

Ces paléoreliefs immergés ne sont pas les seuls indices, car les plongées en grotte (Port Miou, Saint Antoine) confirment que la karstification existe sous le niveau de la mer jusqu'au moins 150 m. Il paraît donc raisonnable d'imaginer que le niveau de base de la karstification a pu exister quelques dizaines de mètres en dessous de ces paléoreliefs, à plus de 200 m de profondeur. En effet, si l'on retient pour la Provence l'hypothèse d'une grande phase de karstification commandée

par un niveau marin très abaissé, le cas des conduits de la Fontaine de Vaucluse placés à plus de 200 m de profondeur, implique d'admettre un niveau de base situé à une altitude inférieure.

Sur le littoral marseillais, à l'est du canyon sous-marin du Rhône, plusieurs structures de drainage apparaissent bien marquées :

- canyon de Planier au droit de Marseille
- canyon de la Cassidaigne au droit de Cassis
- canyon de Toulon en sortie de la Rade

Lorsqu'on les prolonge virtuellement vers le continent, ces canyons ne se raccordent pas à des formes de surface, hormis pour Toulon où une des branches du Y pourrait être liée au cours du Las.

La rivière souterraine de Port Miou a probablement circulé dans une galerie profonde lorsque la mer était plus basse, avec un exutoire en tête du canyon de la Cassidaigne (fig. 26).

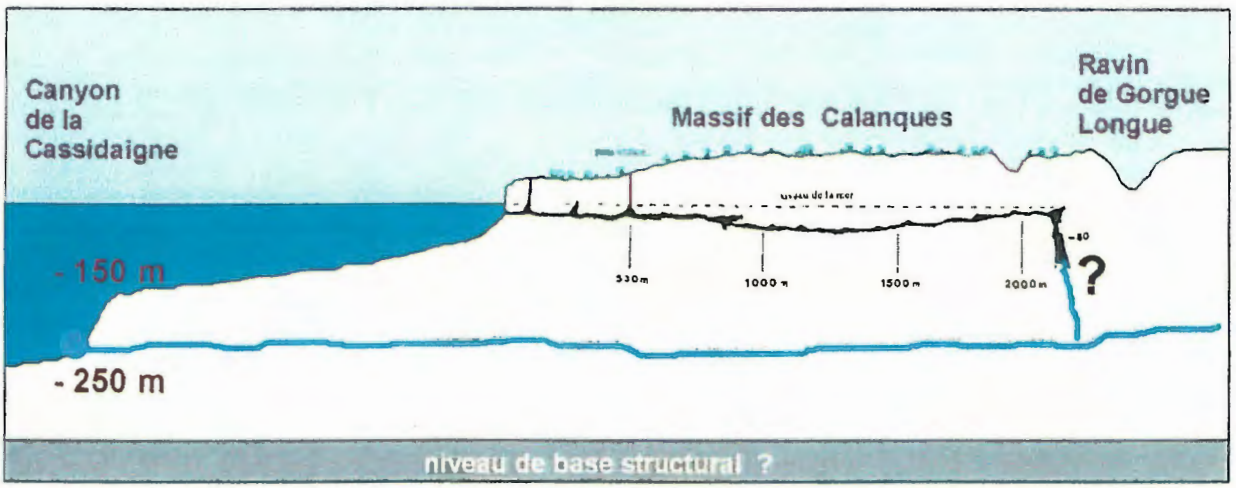


Figure 26 : hypothèse de l'existence d'un drain profond à Port Miou

b) - Incidence sur la qualité des eaux de Port Miou

Cette karstification profonde pourrait suffire à expliquer la salinité résiduelle de Port Miou.
En effet, pour équilibrer un interface eau douce / eau de mer situé à 200 m de profondeur, il faudrait disposer d'après la loi de Ghyben Herzberg d'une charge en eau douce de 5 mètres au dessus du niveau zéro. Or compte tenu du fort diamètre des drains hérités des creusements au Messinien, le gradient hydraulique est très faible entre le point d'émergence et l'amont des réseaux karstiques, même à plusieurs kilomètres de la cote. Il est donc probable qu'il existe des zones de pénétration d'eau de mer et donc de mélange potentiel avec l'eau douce karstique très à l'intérieur des terres si la structure de l'encaissant calcaire le permet. Il serait intéressant de pouvoir étudier des forages traversant totalement un aquifère karstique à proximité de drains majeurs profonds pour y rechercher l'éventuelle présence d'eau de mer.

Le schéma suivant (fig. 27) montre que la surélévation du barrage de Port Miou en 1976 ne pouvait pas éliminer le risque de mélange puisque le puits terminal descend en dessous du niveau théorique de l'interface.

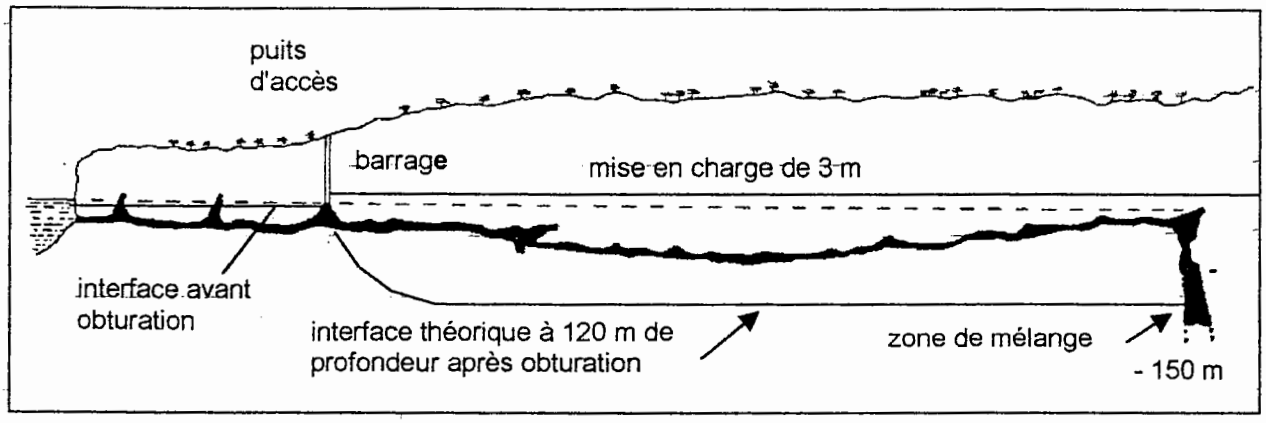


Figure 27 : Schéma théorique de l'abaissement du biseau salé lors de la construction du 2ème barrage de Port Miou.

c) - Origine de la karstification profonde

L'explication de la présence de ces indices profonds pourrait être la régression messinienne. L'abaissement de la Méditerranée induisant la forte incision du Rhône et de la Durance, aurait individualisé sur la plate-forme carbonatée provençale deux systèmes karstiques majeurs : celui de Vaucluse au nord, celui de Port Miou au sud. Ces indices karstiques majeurs doivent être considérés comme des formes héritées dont le fonctionnement a pu être très différent de l'actuel. Ainsi dans le drain principal de Port Miou des stalagmites s'observent à 20 m de profondeur. Dans le puits de Fontaine de Vaucluse, dont le fond actuel est placé à 200 m sous le niveau de la mer, des formes ressemblant à des cannelures de parois ont été filmées lors de l'exploration du Modexa. Rien ne s'oppose à ce que ces deux cavités aient fonctionné à l'origine en pertes ou en puits. Puis, lors de la transgression versilienne, l'eau dont le cheminement a été progressivement freiné par le colmatage des paléodrains ou par l'intrusion de l'eau de mer plus dense, a pu réutiliser ces vastes conduits où les pertes de charge sont minimes.

B / 3.3.4. - La crise du Messinien.

Un assèchement total de la Méditerranée a été envisagé depuis longtemps à la suite de la mise en évidence d'évaporites sur son fond. Plusieurs hypothèses se sont opposées à cette théorie de l'assèchement mais tous les indices actuels convergent cependant pour démontrer que la Méditerranée a vu son niveau s'abaisser uniformément de 1500 mètres (Bini, 1994). En effet, des foraminifères benthiques correspondant à des biotopes de 1500 m de profondeur ont été découverts dans des niveaux datés du Miocène moyen, dans le bassin des Baléares. La mer avait donc déjà sa forme actuelle. La forme des dépôts évaporitiques minces sur les bordures et épais

au centre montre que l'évaporation s'est réalisée dans un bassin déjà existant. La nature de ces dépôts montre l'absence de renouvellement d'eau par un éventuel apport extérieur depuis l'Atlantique. La mise en évidence de surfaces d'érosion au sommet des évaporites montre enfin qu'il y a eu émersion du fond de la Méditerranée. Cet abaissement a eu des profondeurs variables selon les différents compartiments de la Méditerranée (de 1000 à 2500 m).

La crise messinienne a eu de très importantes conséquences sur le niveau de base des circulations péri-méditerranéennes, ses effets se sont fait sentir sur l'ensemble des bassins fluviaux (Rhône, Nil, Var, Pô, ...) y compris dans la région des grands lacs de l'Italie. Les lits des fleuves se sont incisés profondément et les circulations karstiques se sont aussi raccordées sur ce niveau bas, en s'enfonçant rapidement dans les massifs calcaires. Dans nos régions, tous les fleuves côtiers montrent un important canyon sous-marin (Rhône, Var).

Par la suite, l'ouverture du détroit de Gibraltar au Pliocène, a permis le remplissage de la Méditerranée par les eaux de l'Atlantique provoquant une importante transgression marine qui a eu pour effet d'induire un remblaiement des canyons fluviatiles sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur et un colmatage des réseaux karstiques.

B / 3.4. - CONCLUSION SUR LA BASSE PROVENCE

B / 3.4.1. - Hydrogéologie générale.

L'hydrogéologie générale de la Basse Provence reste très mal connue. Le déficit en eau a généralement été attribué à une forte évapotranspiration et l'importance des fuites vers le karst profond semble avoir été sous estimée. L'absence de grandes campagnes de traçage dans les Bouches du Rhône ne permet que d'ébaucher des suppositions sur le fonctionnement des aquifères du nord de la zone d'étude.

Des écoulements profonds sont pourtant suggérés par plusieurs auteurs :

- G. Guieu (1996) pour l'ensemble de la Basse Provence à la suite d'une réflexion sur la position perchée de la plupart des sources captées pour AEP,
- G. Durozoy et al (1969) pour expliquer les débits du Puits de l'Arc,
- Chalumeau (2000) lors de l'analyse des venues d'eau des mines de Gardanne,
- Chevenier pour expliquer les débits du tunnel du Rove, de la Galerie de la Mer ainsi que le thermalisme des sources d'Arnette.
- Ph. Martin (1991) et Ch. Coulier (1985) pour expliquer les déficits de la Ste Baume.
- C. Rousset (1988) à partir d'observations sur des forages profonds dans le karst jurassique du Beausset.

Les débits de Port Miou, s'ils sont exacts, conduisent à imaginer un gigantesque karst profond drainant la Basse Provence. L'organisation spatiale d'un tel système impose d'imaginer une paléogéographie très différente de l'actuelle et qui demande à être précisée. Il serait illusoire d'essayer de définir un schéma hydrogéologique général de la Basse Provence sans connaître la position des niveaux de base et des exutoires à partir desquels les systèmes karstiques se sont organisés.

B / 3.4.2. - Conséquences sur la structure géologique de la Provence

L'idée d'un karst profond drainé vers la mer implique le franchissement de la limite structurale entre l'unité de l'Arc et l'unité du Beausset. La structure de la Basse Provence telle qu'elle a été définie, autorise-t-elle une communication hydraulique entre ces différentes unités ou faut-il retenir l'autochtonie de l'unité du Beausset comme l'a écrit récemment I. Argyriadis (2000), s'inspirant des anciens travaux de L. Bertrand (1899).

B / 3.4.3. - Conséquences économiques

Cette analyse révèle l'existence d'un karst majeur profond dont les réserves pourraient être sollicitées pour AEP, mais pour ce faire, il sera nécessaire de réfléchir à la géométrie du ou des réservoirs.

Si l'on admet que le système s'est mis en place au Messinien, à une époque ou le niveau de base était très bas, il faudrait rechercher très en profondeur les zones bien karstifées, permettant ainsi un drainage satisfaisant pour pouvoir mobiliser une ressource intéressante.

Les forages de Puyricard à Cuges, et de Coulin à Gemenos, dont l'importance a été soulignée présentent cependant de fortes fluctuations qui devraient se traduire par des crues violentes au débouché du système.
Or la faible variabilité des débits de Port Miou (indice voisin de 40) montre que le système est alimenté par un karst profond peu sensible aux variations. Pourtant l'étude des débits montre que la réaction aux pluies d'Aubagne est immédiate. Il est donc très probable que de nombreux compartiments, plus ou moins étagés et plus ou moins lointains, participent à l'alimentation de Port Miou. Les plus proches influencent directement la source, les plus lointains soutiennent un débit de fond avec une réponse atténuée aux précipitations.

L'utilisation de la ressource disponible à Port Miou peut être envisagée de deux manières :

- à l'exutoire en essayant de s'affranchir de la salinité résiduelle, mais l'expérience de la SEM et du BRGM dans les années 70 et les données actuelles sur la géométrie du réseau montrent la difficulté d'une telle approche.

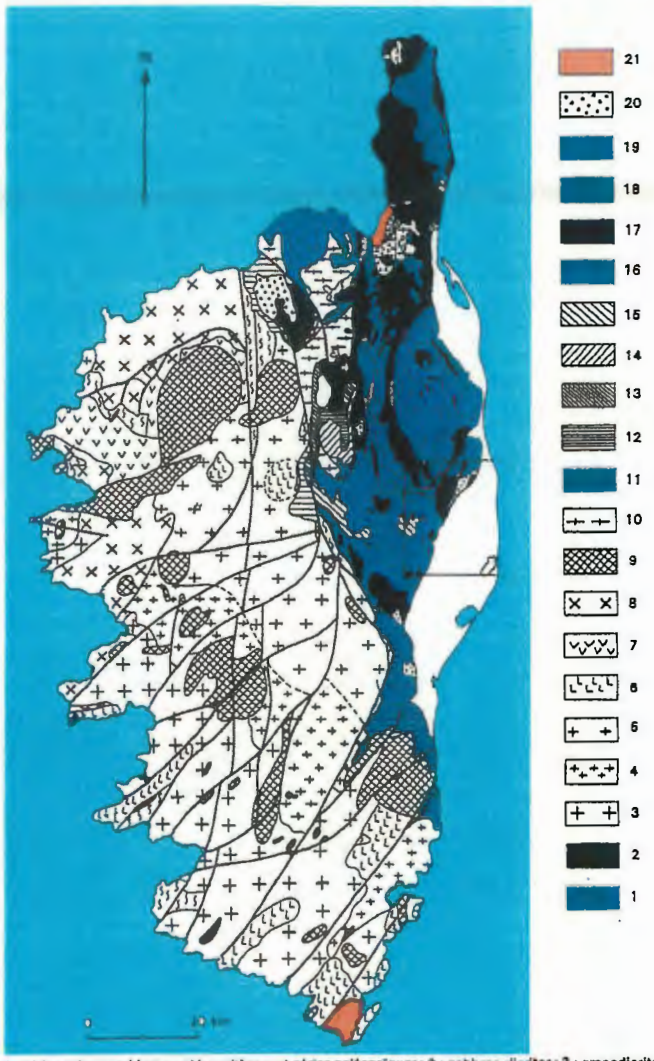
- en identifiant, sur le continent, les compartiments alimentant Port Miou et en analysant les risques de contamination saline profonde afin de permettre un forage profond.

Quelles que soient les solutions retenues, la profondeur à laquelle la karstification s'est mise en place reste une donnée essentielle, puisque qu'elle définit les risques de contamination saline et la perméabilité du réservoir. L'exploration de l'amont de Port Miou, et les études bathymétriques et paléogéographiques sont donc des préalables nécessaires à toute tentative d'utilisation de cette ressource potentielle.

C / LA CORSE

C / 1. - PRESENTATION

La Corse n'a ni massif calcaire étendu, ni karst majeur. Par contre un certain nombre de formes karstiques ont été signalées dans quatre zones principales : les écailles calcaires du sillon central (Corte), le Causse de calcaires miocènes de Bonifacio, les affleurements de molasse de Saint Florent et les lentilles de marbre, cipolins et calcschistes de la zone des schistes lustrés.



1 : séries métamorphiques antégranitiques et séries paléozoïques; 2 : gabbros-diorites; 3 : granodiorites et monzogranites porphyroïdes (zone A); 4 : granodiorites et tonalites (zone B); 5 : granodiorites et monzogranites (zone C); 6 : granites leucocrates; 7 : volcanisme calco-alcalin; 8 : série subalcaline potassique; 9 : complexes alcalins anorogéniques; 10 : granites de Corse orientale; 11 : séries autochtones; 12 : unité de San-Angelo; 13 : unité de Corte; 14 : unité de Santa-Lucia; 15 : série Bagliacone-Riventosa; 16 : série de la Castagniccia; 17 : ophiolites; 18 : série de Santo-Pietro-di-Tenda; 19 : série de l'Inzecca; 20 : unités allochtones superficielles; 21 : Néogène et Quaternaire.

Figure 28 : Carte géologique simplifiée de la Corse (en rouge les molasses, en bleu les zones pouvant contenir de petits affleurements de calcaires, calcschistes et cipolins)

Plusieurs cavités sont connues mais peu de renseignements sont disponibles. Aucune synthèse sur ce thème n'a été publiée. Les principaux travaux spéléologiques sont ceux de P.A. Remy (1950) qui a dressé un inventaire des cavités toujours d'actualité et quelques travaux par G. Calandri (1983, 1985).Quelques descriptions de cavités dans les cipolins ont été menées dans le cadre de recherches paléontologiques près de St Florent (Pereira et al, 1998) et au Cap Corse.

Une reconnaissance a été conduite en février 2001 sur le Cap Corse, à Bonifacio et à St Florent.

Figure 29 : Localisation des zones d'étude

C / 2. - SECTEUR DU CAP CORSE

C / 2.1. - Zones karstiques

Cette zone ne contient pas de zones karstiques bien développée. Il existe par contre, en plusieurs zones, des bandes de cipolins intercalées dans des séries de calcschistes qui peuvent donner lieu à des circulations karstiques.

C / 2.2. - Source de la Glacière et grotte de Brando.

Une source importante : la source de la Glacière est connue à Brando.
Elle est située en bordure de la route du Cap Corse (fig. 30) et est captée pour AEP. Cette émergence a été étudiée par le BRGM en 1994. Le débit moyen annuel est de 35 l/s avec un minimum de 5 l/s. La superficie des cipolins ne suffit pas expliquer ces valeurs dont l'importance montre que ces cipolins jouent un rôle de drains pour les séries métamorphiques qui les contiennent.

L'origine karstique des écoulements ne fait aucun doute, l'eau sortant directement des cipolins avec un fort débit. De plus, quelques dizaines de mètres au-dessus de l'émergence se trouve une grotte : la grotte de Brando, connue de tous temps et ayant fait l'objet au début du siècle d'une exploitation touristique (fig. 31). La visite de la grotte montre qu'il s'agit d'une cavité karstique de plan complexe, divisée selon les fractures et bien concrétionnée. Elle a été étudiée par G. Calandri (1985)

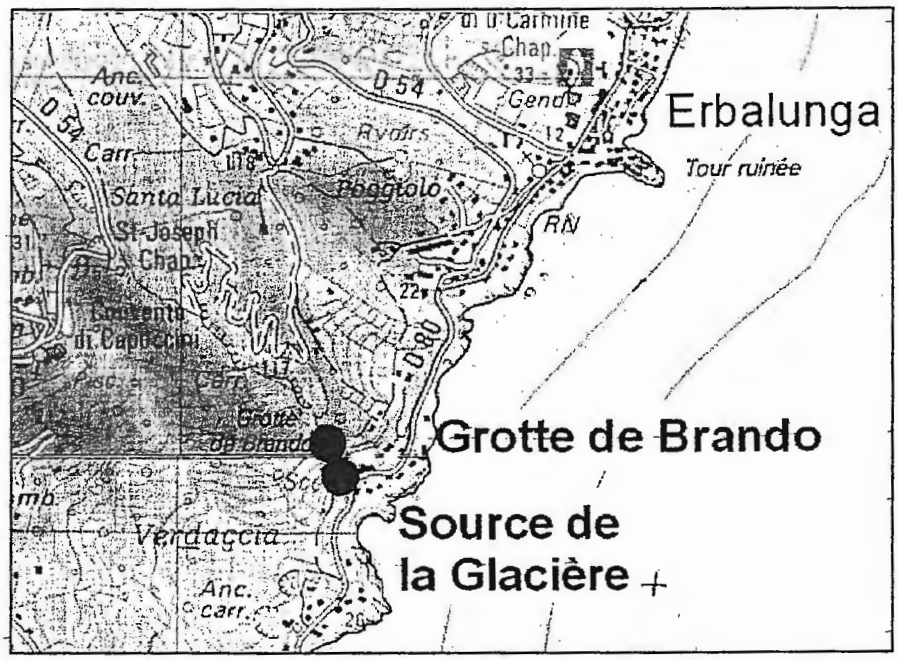


Figure 30 : localisation de la Grotte de Brando et de la source de la Glacière

La position de la source quelques dizaines de mètres au-dessus de la mer laisse supposer l'existence de fuites fissurales sous-marines. Cependant, lors de la visite du site l'état de la mer n'a pas permis de le confirmer.

Cet ensemble, source et grotte fossile, peut servir de modèle pour la recherche d'autres sources. La présence de grottes fossiles dans les cipolins en zone littorale pourrait permettre de centrer une étude en mer à la recherche d'exutoires actifs sous-marins.

L'identification des séries de cipolins est un préalable, mais cette tâche implique des levers de terrains car, si les séries sont correctement cartographiées, les variations de faciès ne permettent pas de s'appuyer sur les cartes géologiques pour identifier de façon précise les affleurements pouvant donner lieu à une karstification.

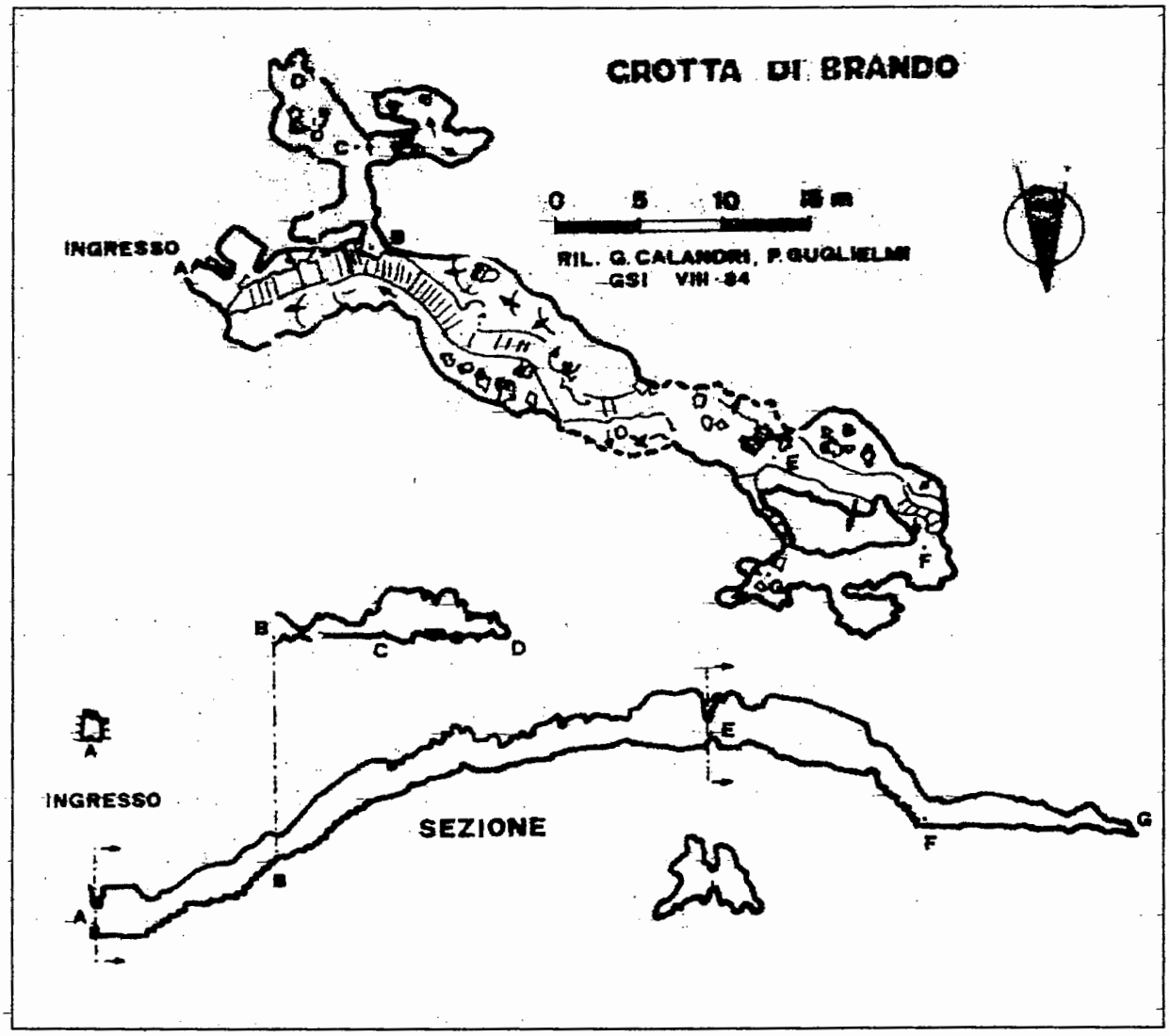


Figure 31 : Plan et coupe de la grotte de Brando d'après Calandri (1985)

C / 2.3. - Grotte de Cisco ou Sisco.

Une première reconnaissance à Cisco a montré la présence d'une importante grotte sur le littoral (fig. 33). Mais là aussi, l'état de la mer n'a pas permis de voir de sorties marines.

Cette grotte est située en contrebas de la chaussée, à hauteur d'une statue brandissant une épée, bien visible de la route (fig. 32) . C'est une vaste galerie remontante, longue d'une centaine de mètres large de plusieurs mètres et se terminant sur une salle encombrée par d'importants dépôts de calcite et d'argile. Il s'agit vraisemblablement d'une cavité d'origine karstique bien que sa forte inclinaison puisse rendre plausible une origine par affouillement marin. On notera cependant qu'il existe au-dessus de la grotte, de l'autre coté de la route un départ de galerie comblée d'argile.

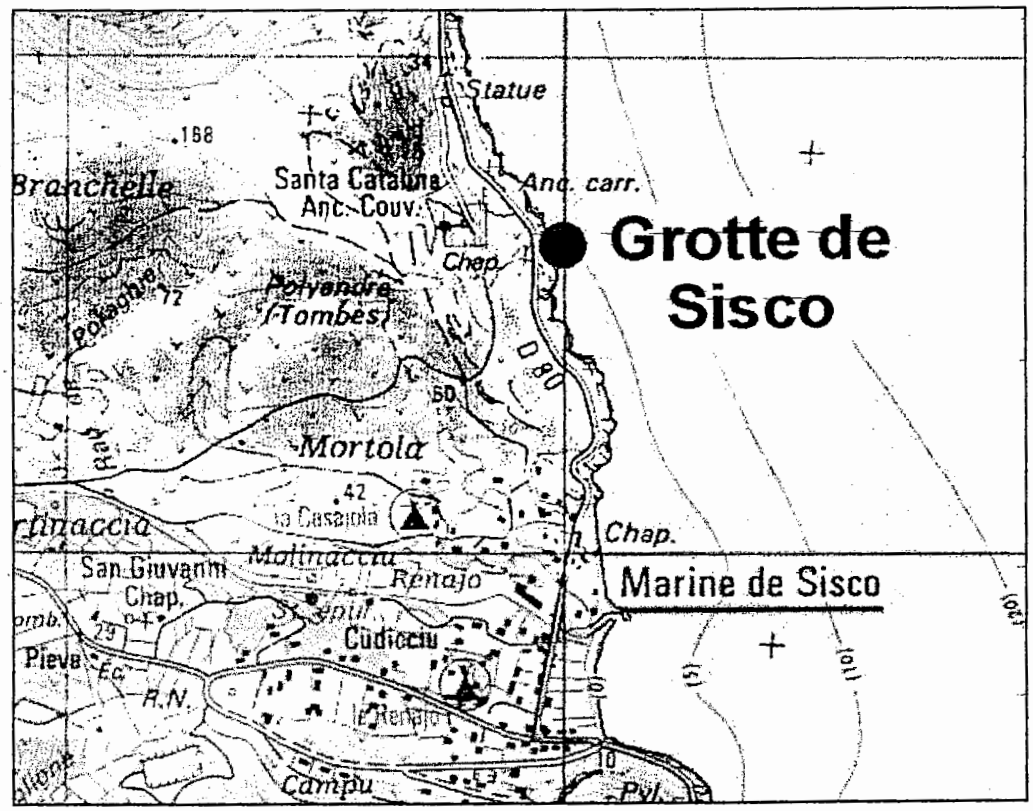


Figure 32 : Localisation de la grotte de Sisco

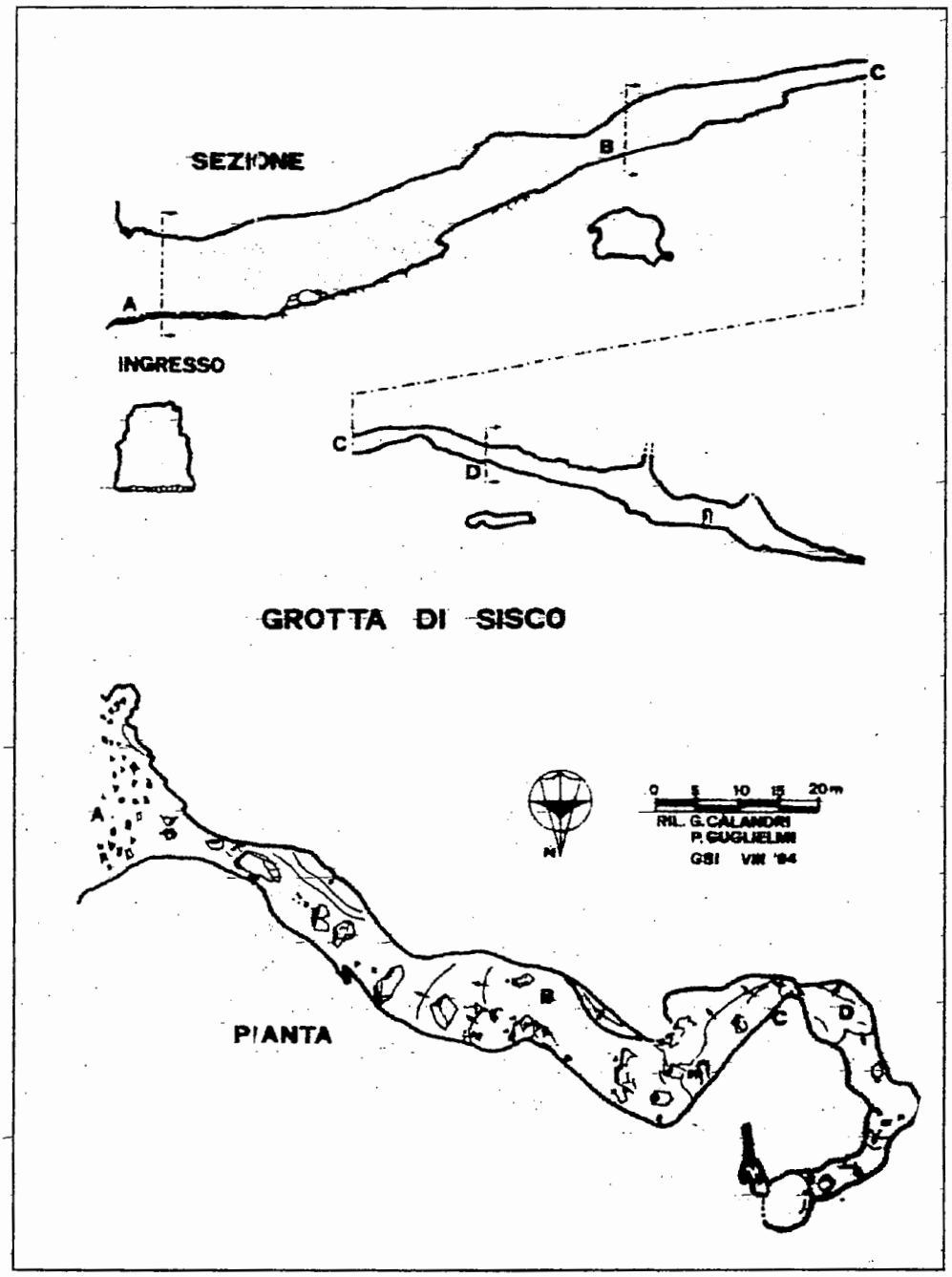


Figure 33 : Plan et coupe de la grotte de Sisco d'après Calandri (1985)

C / 2.4. - Cipolins de Maccinagio

Malgré l'importance des affleurements de cipolins, aucune cavité importante n'est signalée dans ce secteur, hormis la grotte de la Coscia qui fait l'objet de fouilles paléontologiques. Une enquête auprès de la population locale n'a pas permis d'obtenir de renseignements sur d'éventuelles venues d'eau douce en mer. Il est probable que les cipolins suralimentent les alluvions des cours d'eau de surface.

C / 3. - SECTEUR DE BONIFACIO

C / 3.1. - Présentation

Le causse de Bonifacio (fig. 34) se développe dans une épaisse série de calcarénites du Miocène. Cette formation très sableuse présente une stratification entrecroisée dans laquelle alternent des niveaux sableux tendres et des passées plus calcaires, donnant aux escarpements un aspect caractéristique.
L'ensemble du causse est recouvert d'un épais maquis qui gêne l'observation. Le modelé karstique est présent bien que peu développé, compte tenu de la nature de la roche, plus proche d'une craie poreuse que d'un calcaire.

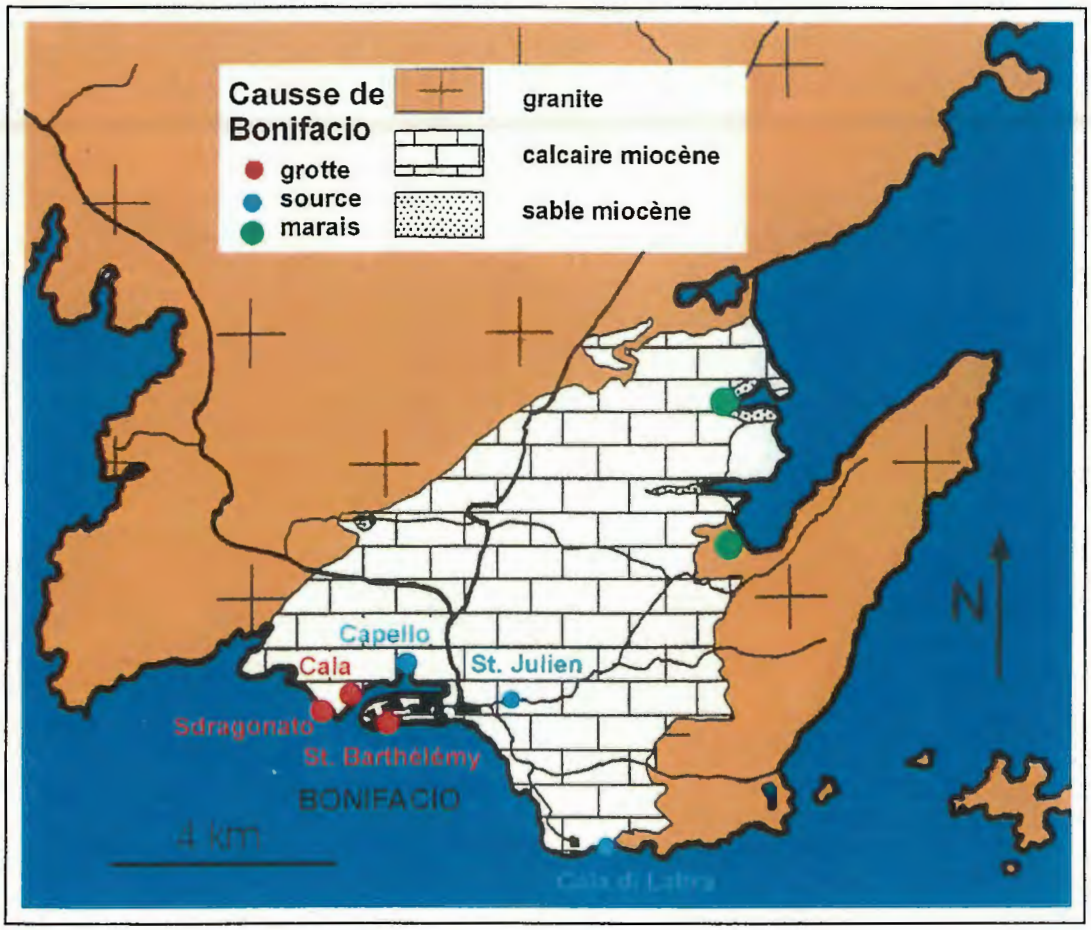


Figure 34 : Schéma géologique simplifié du causse de Bonifacio

C'est la seule étendue karstique, dont la géomorphologie de surface (A. RONDEAU I96I), et le littoral (H. SCHULKE I968) ont été analysés. Sur le plan structural il s'agit d'une dalle de "molasse" calcaire du Burdigalien-Langhien moulant les irrégularités du socle granitique, avec de nombreuses variations de faciès, localement récifal. La présence d'un tapis d'arènes granitiques et de tufs ignimbritiques à la base, la fracturation en distension post-miocène (surtout l'orientation NNE-SSW reflétée dans le tracé du littoral oriental), les variations quaternaires du niveau de la

mer ont facilité le développement du karst. L'ensemble de la surface du plateau est absorbante, avec les grandes dolines de Fontanaccia alignées sur une direction E-W, et les vallées sèches aboutissant aux calanques.

Ces dernières, spécialement celle de Bonifacio, ont un caractère de canyons structuraux envahis par la dernière transgression marine, toutefois le fond de celle de l'Etang de Stentino est dans les altérites du socle (pseudo-calanque). La plus importante, celle de Bonifacio, entièrement dans la molasse, voit son caractère structural affirmé par de nombreuses niches et baumes disposées suivant les strates, liées à l'organisation de certains bancs de molasse. Les plus vastes, recouvertes d'éboulis seraient interglaciaires (H. SCHULKE 1968, p. 79-85), et l'ancienneté de la calanque serait aussi attestée par un cordon tyrrhénien à + 1 m, à son entrée.

Situées au pied des falaises, de nombreuses grottes marines sont dues au ressac,

La zone de Bonifacio fait actuellement l'objet d'une étude de synthèse dans le cadre de la mise en place du Parc des Bouches de Bonifacio qui inclue la zone de Bonifacio, les Iles Lavezzi et le nord de la Sardaigne. Le BRGM et l'IFREMER collaborent actuellement à la réalisation d'un lever géologique de surface et sous-marin.

C / 3.2. - Indices de la région de Bonifacio

C / 3.2.1. - Grotte du Sdragonato

C'est une vaste cavité dans laquelle on pénètre en bateau. Une galerie basse donne accès à une salle d'une cinquantaine de mètres de long. Un effondrement dans le plafond présente une forme caractéristique de Corse renversée. Une galerie d'une trentaine de mètres se termine en cul de sac. sur une salle d'une cinquantaine de mètres de long alignée sur une faille. Cette cavité peut avoir joué le rôle d'exutoire (*description in REMY 1950).* Des galeries seraient visibles au ras de l'eau, mais ce point reste à vérifier. Nous ne disposons d'aucune information sur d'éventuelles venues d'eau douce.

C / 3.2.2. - Puits St Barthélémy

Il s'agit d'un ouvrage militaire situé dans la citadelle de Bonifacio. Un escalier permet d'atteindre une grotte dans laquelle s'étend un lac d'eau saumâtre (fig. 35). Une plongée par le groupe spéléologique de Bastia a permis d'explorer des parties exondées au-delà du lac.
On peut y accéder, soit par la citadelle, soit en empruntant l'escalier du roi d'Aragon et en suivant vers l'ouest le sentier littoral. La grotte se trouve à son extrémité. Son entrée est défendue par un ouvrage maçonné la protégeant du ressac et équipé d'une porte.

Lors de la visite du 01/02/01 la conductivité de l'eau du lac était de 5100 µS (eau du réseau d'AEP de Bonifacio : 900 µS). Le lac est alimenté par les maigres écoulements qui percolent du plafond.

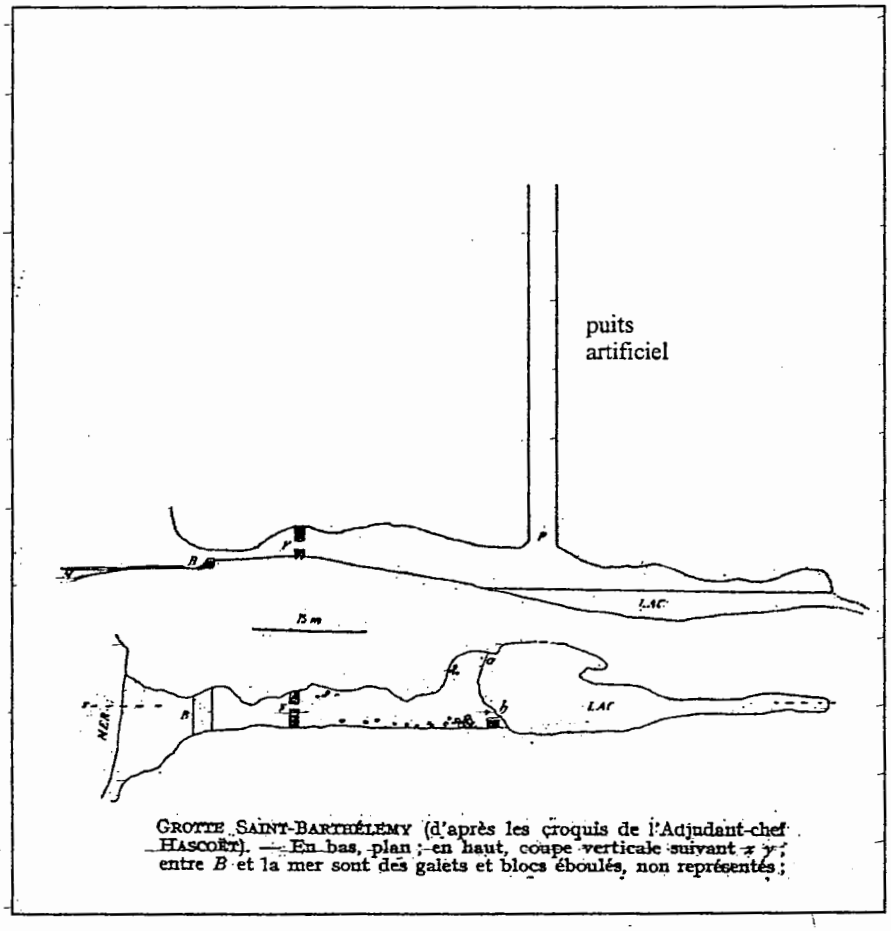


Figure 35 : Plan et coupe de la grotte St Barthélemy

C / 3.2.3. - Source de Cala di Labra.

Une source littorale est signalée au sud-est de Bonifacio, 500 m à l'est du phare de Pertusato.

C / 3.2.4. - Source de Capello

Dans un affluent en rive droite de la ria, entre les quartiers de Cavallino et Capello, cette émergence de faible débit (environ 5 l/s lors des pluies de février) sourd des alluvions qui remplissent le fond du talweg aboutissant à la mer. Une suralimentation par les calcarénites est probable.

C / 3.2.5. - Vallon de Saint Julien.

Prolongeant vers l'est la calanque de Bonifacio, ce vallon sec est comblé par une forte épaisseur de produits d'altération organisés en terrasses de cultures. De nombreux puits sont présents à ce niveau, ils drainent l'eau d'une nappe vraisemblablement suralimentée latéralement par les calcarénites. Rémy (1950) signale une source qui alimentait le couvent de St Julien et près de laquelle se trouverait une grotte.

C / 3.2.6. - N 196

En arrivant à Bonifacio, la route N 196 serpente dans un vallon sec très encaissé. Les eaux du pluvial de cette route sont collectées par un réseau qui se déverse dans l'angle nord-est du port de Bonifacio. Il serait intéressant de vérifier si le débit n'est pas soutenu par des arrivées karstiques.

C / 3.2.7. - Grotte sous marine de la Cala de Bonifacio

Une petite grotte est connue des plongeurs (cf. Club de plongée Atoll Beach) à l'entrée de la Cala de Bonifacio, au nord-est du phare de la Madonette. Des venues d'eau diffuses y sont signalées.

C / 3.3. - Conclusion

Le causse de Bonifacio ne semble pas présenter de circulations karstiques bien hiérarchisées permettant l'existence d'importantes sources sous-marines. L'aquifère alimenté par les infiltrations est vraisemblablement proche de celui des craies, intermédiaire entre un aquifère poreux et un aquifère karstique. Il paraît compartimenté et drainé vers de nombreux points d'émergence, soutenant soit des sources de faible débit soit de petites nappes dans les alluvions au fond des talwegs soit des étangs comme dans le secteur de Maora.

Le secteur de Bonifacio est peu arrosé (environ 480 mm/an), l'ensoleillement, le vent et la végétation laissent présager un module spécifique d'infiltration de l'ordre de 4 l/s/ km2.
Le karst a une superficie d'environ 30 km2 et devrait donc fournir environ 120 l/s à répartir entre les différents indices décrits précédemment et d'éventuelles sources sous-marines, il est donc peu probable que d'importantes venues d'eau douce sous-marine pourraient être rencontrées

C / 4. - SECTEUR DE SAINT FLORENT

Dans le bassin de St. Florent, les affleurements des calcarénites sont moins important que pour le secteur de Bonifacio. La cuesta de calcarénites miocènes de Patrimonio présente une corniche vigoureuse, percée à la base de nombreuses cavités qui ont constitué des abris néolithiques, mais aucune cavité importante n'est signalée.

Au sud-est, les cipolins de la Cima di Buttogio renferment une cavité karstique : la grotte de Castiglione (Pereira, 1999) (fig.37).

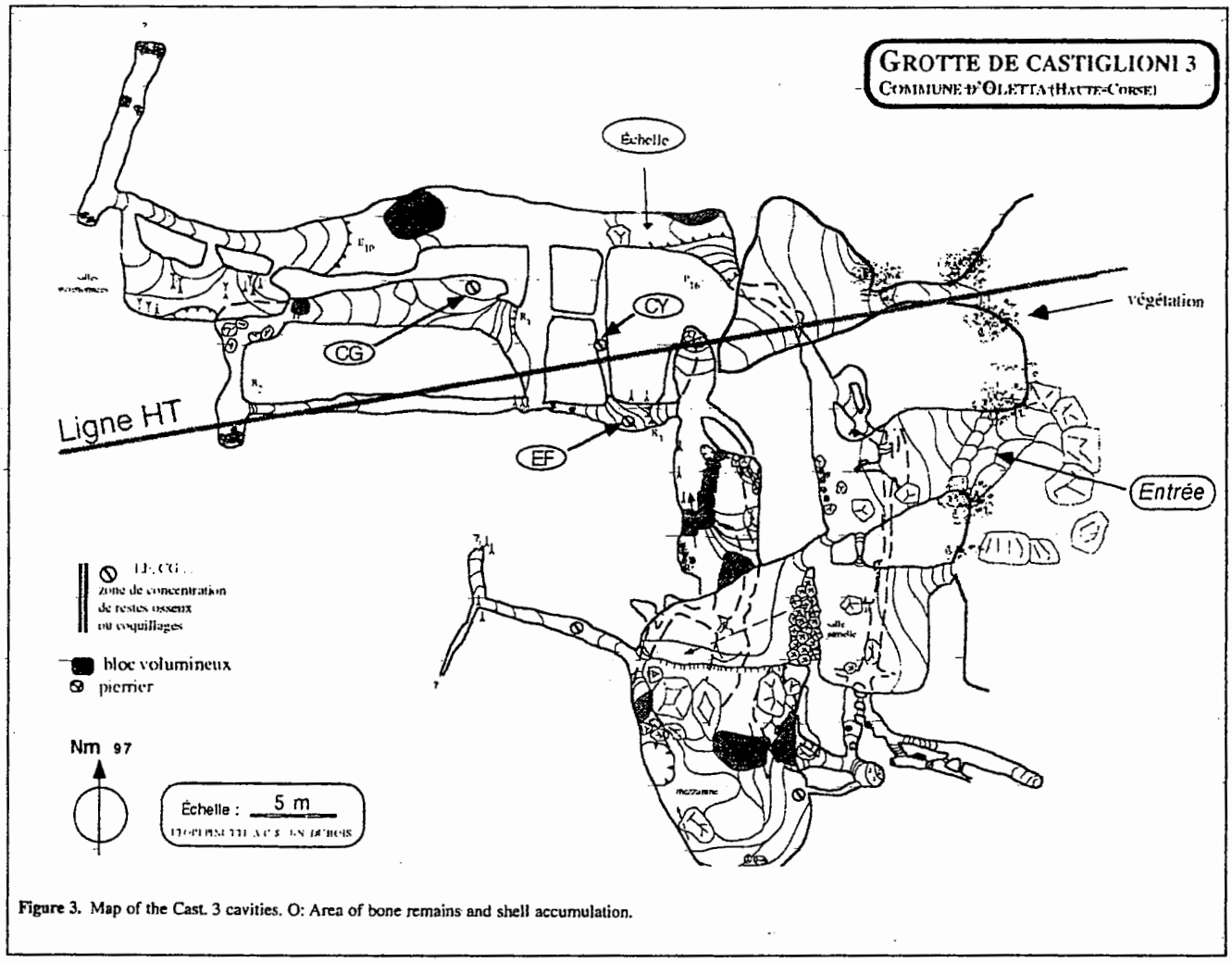


Figure 3. Map of the Cast. 3 cavities. O: Area of bone remains and shell accumulation.

Figure 36 : Plan de la grotte de Castiglione d'après Péreira (1999)

Une source nous a été signalée par le maire de St Florent, en rive gauche de l'Aliso, en piémont nord-est de la Cima di u Buttogio, mais nous n'avons pas pu la localiser.

Un maigre indice karstique a été observé, dans le caniveau, au pied du talus routier de la D80 dans le secteur de Viscinosa, au sud de la Marine de Farinole. Il s'agit d'une petite galerie impénétrable qui montre des traces d'écoulement d'eau, et prouve ainsi l'existence de circulations de type karstique dans ces formations.

Cependant, des renseignements pris auprès de plongeurs et pêcheurs sous-marins ne font pas état de venues d'eau douce le long du littoral de St Florent. Il est probable que les calcarénites alimentent latéralement les alluvions des vallées qui les traversent, du nord au sud : ruisseau de Farinole, ruisseau la Struta, ruisseau de Poggio et Aliso

On notera que la ville de St Florent est en partie alimentée par la source de Barbaggio (Fontenette) issue des cipolins du Col de Teghime (fig. 37).

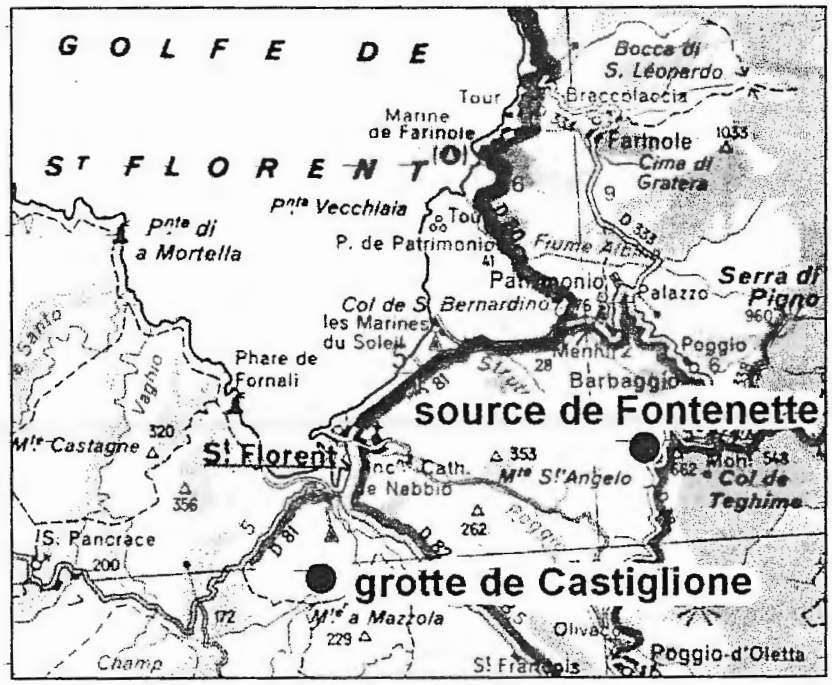


Figure 37 : Localisation des indices de St. Florent

C / 5. - AUTRES SECTEURS

De nombreux affleurements de calcaires, cipolins et calcschistes sont répartis sur l'île, plus particulièrement dans la région de Corte mais ils sont situés loin de la mer et n'intéressent donc pas cette étude.

J. Nicod en a fait une description dans un document inédit :
"Les zones karstifiées appartiennent principalement à l'unité parautochtone de Caporalino Sant'Angelo, apparaissant en fenêtre dans les unités supérieures et constituées essentiellement de calcaires mésozoïques, marmorisées. C'est au NE de Corte, près de Lano que se trouve la grotte de Carpinetto, la plus importante de l'île. Son entrée s'ouvre vers 800 m d'altitude, dans une barre calcaire du versant E de la crête de la Bocca al Pruno (1084 m), couvert d'une garrigue parsemée de chênes-verts. Cette cavité d'origine phréatique (plusieurs diramations et 570 m de développement) s'est développée dans les calcaires du Malm, au contact tectonique avec les schistes lustrés (formant barrage hydrologique avant le creusement de la vallée de Lano). Cette cavité inactive est richement concrétionnée, et G. CALANDRI (1983) y signale des dépôts détritiques allochtones.
Deux écailles constituées par des marbres du Jurassique supérieur sont intensément karstifiés, en raison de leur fracturation. Nous avons observé le plus beau champ de couloirs et de lapiés sur la

crête constituée par l'écaille de Carstirla (cote 908, carte Corte 1/50 000) au S de la cluse du Golo à Ponte Carstirla ; la petite grotte de Pietrabella est signalée dans l'anticlinal de calcaires triasiques de l'Orienda (W de Ponte Leccia), au S.W. de Venaco les marbres du Razzo Bianco sont percés d'avens et de grottes (M. DURAND-DELGA et al. 1978, p. 81).
Signalons aussi parmi les quelques écailles carbonatées dispersées, spécialement l'unité calcaréo-dolomitique (Trias supérieur - Lias inférieur) du Tuda, appartenant à l'Allochtone du Nebbio (coupe du Monte Tuda dominant Oletta, ibidem. 41)"

C / 6. - CONCLUSION

Les séries molassiques de Bonifacio et de St. Florent réputées les plus karstifiables ne semblent pas constituer des environnements favorables pour la présence d'émergences karstique sous-marines de fort débit. La pluviosité faible et les écoulements de surface importants favorisant l'évapotranspiration n'autorisent qu'une infiltration réduite. La ressource mobilisable à ce niveau semble donc négligeable.

Les bandes de cipolins et de calcschistes qui sont à l'origine de sources importantes pourraient être des secteurs plus prometteurs sous réserve de pouvoir les identifier et les étudier dans les secteurs où ils plongent en mer.

L'exemple de Brando montre que ces séries constituent des drains naturels pour les séries environnantes et peuvent collecter des débits importants.

D / INVESTIGATIONS COMPLEMENTAIRES A ENVISAGER

Au cours de ce travail de nombreuses données ont été rassemblées et certains aspects ont été partiellement développés. Toutefois d'importantes incertitudes subsistent et nous examinons ici les investigations complémentaires qui pourraient être envisagées dans le but de mieux préciser l'organisation et le fonctionnement des aquifères karstiques de la Basse Provence et de la Corse.

D / 1. - LES BOUCHES DU RHONE

D / 1.1. - Hydrogéologie générale

Hormis les secteurs de Siou Blanc, de la Sainte Baume et de l'Agnis dans le Var, la connaissance générale des systèmes karstiques est très incomplète. La géométrie des différentes unités, les relations entre les karsts jurassico-crétacés et les karsts triasiques, doivent être précisées et un bilan général des écoulements de la Basse Provence reste à faire. De plus compte tenu de la proximité de la mer et de ses importantes fluctuations, la compréhension de l'organisation générale du karst de la Basse Provence impose de connaître la position des niveaux de base lors de la mise en place des systèmes, probablement au Messinien.

Les travaux suivants pourraient permettre de le préciser :

- Inventaire exhaustif des indices karstiques : cavités actives, émergences, pertes.
- Précision du bilan des écoulements.
- Multitraçages à l'échelle de la zone.
- Analyse générale de paléogéographie messinienne afin de préciser les positions respectives des principaux niveaux de bases régionaux : Durance au nord, Rhône à l'ouest et Méditerranée au sud, et de réflechir à la position des paléoémergences.
- Poursuite des travaux de Collina-Girard sur le paléokarst au large de Marseille afin de définir avec certitude la profondeur de la karstification en mer. Ceci pourrait être complété par une analyse géomorphologique sous-marine des canyons de Planier et de la Cassidaigne dont l'origine reste énigmatique puisqu'ils ne se raccordent pas à des écoulements continentaux.
- Poursuite des explorations de Port Miou afin de savoir jusqu'à quelle profondeur existent les drains karstiques.

D / 1.2. - Etang de Berre

Une localisation précise et l'évaluation des débits des laurons de Saint-Chamas restent à faire.

Il est probable que des venues d'eau existent entre Martigues et Marignane, mais aucun indice ne permet actuellement de le dire. Une recherche à ce niveau pourrait permettre de préciser le bilan de la Chaîne de l'Estaque.

D / 1.3. - Estaque, Nerthe et Etoile

Un schéma général du drainage de la Chaîne de l'Estaque a été proposé par G. Chevenier qui montre que l'aquifère est très compartimenté. Mais ce travail fait référence à des exutoires mal localisés et de débit inconnu, tout le long du littoral depuis Fos au nord-ouest jusqu'à l'Estaque à l'est. Une reconnaissance en août 2001 a montré que certains indices sont actuellement taris. Il s'agit probablement d'effets induits par des forages ou travaux en amont de ces points.

D'importantes venues d'eau sont signalées dans le tunnel du Rove et dans la Galerie de la Mer des mines de Gardanne et des prélèvements sont effectués par la SEM au Puits St. Joseph. Ils doivent être caractérisés afin de permettre la réalisation d'un bilan sur le massif de l'Etoile et de préciser le drainage ébauché par Chevenier.

Pour permettre un bilan général, il serait nécessaire de pouvoir disposer d'informations sur l'importance des prélèvements par pompage dans les zones industrielles.

D / 1.4. - Marseille

Des analyses isotopiques des eaux de la source du Roucas Blanc et un traçage à partir du massif d'Allauch pourraient permettre de préciser l'origine de cette source. L'étude de l'origine des tufs de Beaumont-St Julien pourrait apporter des précisions sur les paléoécoulements de ce secteur

D / 1.5. - Calanques de Cassis

Plusieurs exutoires sont signalés dans les calanques de Sormiou, Morgiou, Sugiton, En Vaux, etc. ainsi qu'à l'Ile de Riou. Il serait intéressant de les localiser avec précision et d'en évaluer les débits pour vérifier si le massif de Marseilleveyre participe à l'alimentation de Port Miou. L'importance des débits observés à Sugiton laisse en effet penser que ce massif est entièrement drainé par ces différents éxutoires.

Port Miou compte tenu de l'importance de ses débits et de son rôle majeur devrait faire l'objet de recherches plus poussées. Les études suivantes pourraient être conduites :

- Poursuite des explorations de l'amont de Port Miou.
- Analyse fine des débits et des paramètres physico-chimiques et de leur évolution dans le temps.
- Etude isotopique afin de préciser l'origine de la salinité et l'âge des eaux de Port Miou.

- Précision des rapports entre la source de Port Miou et celle du Bestouan, (s'agit-il du même système ?)
- Précision du bassin d'alimentation à l'aide de plusieurs campagnes de multitraçages.

D / 1.6. - Baie de la Ciotat

Les sources signalées par le BRGM ne semblent pas avoir été vérifiées *in situ*. Ce travail nous semble particulièrement important à mener car ces sources sont régulièrement citées pour expliquer le drainage de la zone interne du Beausset.

D / 2. - LE VAR

D / 2.1. - Beausset externe

Le traçage positif poljé de Chibron - Port Miou reste incertain. Ce point reste donc à confirmer de même que la destination des eaux qui se perdent dans les secteurs du Haut Latay et de Signes.

D / 2.2. - Bassin interne du Beausset

De nouvelles campagnes de traçage pourraient être menées au nord et à l'ouest pour étudier une éventuelle liaison avec Port Miou.

D / 2.3. - Secteur Bandol-Sanary

Aucune information n'est disponible sur la source signalée dans la Baie de Bandol. Celle de Portissol reste à mesurer. Une campagne de recherche en mer pourrait être conduite. Ceci permettrait de mieux connaître le drainage du Jurassique de ce secteur.

D / 2.4. - Toulon

Le contrôle des venues d'eau douce signalées dans la Rade de Toulon et l'étude des liaisons éventuelles entre le Jurassique du Mont Faron et du Croupatier et le Muschelkalk de Toulon pourraient permettre de mettre en évidence une ressource locale.

D / 3. - LA CORSE

D / 3.1. - Bonifacio

Une campagne de recherche est actuellement conduite par le BRGM sur le Causse de Bonifacio avec des recherches en mer menées par l'IFREMER. Ce travail pourrait être complété par une analyse hydrogéologique plus précise du causse avec un inventaire des sources et des forages de

ce secteur. La petite source sous marine signalée en sortie du goulet de Bonifacio pourrait faire l'objet d'une reconnaissance spécifique ainsi que la grotte du Sdragonato où des galeries sont signalées.

D / 3.2. - Saint Florent

Le causse de St Florent ne présente pas d'exutoire. L'eau suralimente probablement les alluvions des fleuves cotiers ou sort en mer. Un profil de salinité et température au droit des calcarénites pourrait permettre de vérifier la présence d'éventuelles sorties en mer.

D / 3.3. - Série des calcschistes

Les ressources karstiques les plus intéressantes sont en fait les bandes de cipolins dans les séries de calcschistes. Cependant ces bandes sont rarement cartographiées et un important travail d'identification serait à mener sur l'ensemble des zones corses concernées par ces dépôts.

Une campagne de reconnaissance en mer au droit des zones de cipolins dépourvues de sources terrestre comme à Cisco ou Brando pourrait permettre la découverte de sorties en mer.

E / BIBLIOGRAPHIE

E / 1. - REFERENCES RELATIVES A LA ZONE D'ETUDE CONTINENTALE (BOUCHES DU RHONE ET VAR)

ACQUAVIVA G.et HAY F., (1991) : Gouffre de Gorgue Longue, Cassis, Bouches - du - Rhône. - Spéléopérations, n°79 (1988) : 26 (coupe).
AMBERT P., 1973, Géomorphologie de l'étang de Berre et de ses bordures. Th. 3e cycle Géographie, Aix-Marseille II, 460 p. n°SIBIL 0794960
ARVOIS R., DELLERY., DUROZOY G., GOUVERNET Cl., 1967, Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 31-10-66 sur la vallée de l'Huveaune à l'aval d'Aubagne. Rapp BRGM DSGR.67.A 52
AURIOL J., et BONNET M., 1972, La source sous-marine de Port Miou (Marseille). Bilan des études au 31-12-71. Examen des problèmes de captage. Rapp. BRGM 72 SGN 028 AME
BELLAICHE G., 1972, Les dépôts quaternaires immergés du golfe de Fréjus (Var, France), in "The Mediterranean Sea a Natural Sedimentation Laboratory", Edit Daniel J, Stanley, Smithsonian Institution, p 171-176
BENAMARA A., 1998, Etude hydrologique et pédogénétique ; application de la géophysique à la détermination de l'écoulement préférentiel et de l'anisotropie d'un terrain d'épandage, à Carpiagne, Marseille, France. Thèse Aix Marseille 1.
BERCOVICI Ch., 1983, Contribution à la géologie de la région nord-toulonnaise: structure de la zone du Broussan-Dardennes, cartographie détaillée et interprétation, thèse géol. Aix Marseille 1
BLANC J.J. - 1993 - La séquence holocène en Provence un géosystème complexe. Bull. Mus. Anthropol. préhist. Monaco n° 36, 1993, pp. 3-14
BLANC J. J., (1992) : Importance géodynamique des surfaces d'aplanissement en Provence (Analyses multicritères). -
BLANC J.J. - 1993 - Le paléokarst littoral de Provence (Estaque, Calanques et zone de Bandol). Karstologia n°22, p. 21-34
BLANC J.J. - 1995 - Etapes et facteurs de la spéléogenèse dans le SE de la France. Karstologia n°26
BLANC J.J. (1970) .- Le karst sous-marin au Sud de la Provence et ses problèmes .- Lab. géog. Fac. Lettres. Sci. Hum-Aix, 1970, "Méditerannée" n° 7, p. 123-124.
BLANC J.J., (1992) : Signification géodynamique des réseaux karstiques étagés du canyon de Baudinard (Moyennes Gorges du Verdon, France). - Karstologia, n°20: 37-48 (11 fig., 3 phot.).
BLANC J.J., MONTEAU R. - 1983 - Essai sur l'analyse des cavités karstiques du Massif de Marseilleveyre et des Archipels de Riou et du Frioul. Karstologia n°1, p 55-60
BLANC J.J., MONTEAU R. - 1988 - Le karst du Massif des Calanques (Marseille-Cassis). Karstologia n° 11-12. p. 17-24
BLANC J.J.et NICOD J. - 1990 - Les surfaces karstiques du plateau de Montrieux (Var, secteurs de Valbelle, Morières, Siou Blanc) Etude quantitative de la fracturation. Karstologia n°16, p 17-28
BOURGUET L., 1968, Données générales en vue d'une meilleure exploitation des ressources en eau de l'arrière pays de Toulon., rapp. BURGEAP R16 E42 déc. 1968
BUISSON C., 1989, De Cassis à Bandol, essai de géomorphologie littorale sur une portion du littoral méditerranéen français. Th. 3ème cycle : Géographie : Aix-Marseille 2
CDS13 et CDS83, 1999 - Hydrogéologie karstique de la Ste Baume. Natura 2000 SPN 1606. Groupe de travail : eau, hydrologie, assainissement, ONF, Toulon
CHALUMEAU A., 2000 - Fonctionnemment hydrogéologique des exploitations de lignite du bassin de Fuveau (Bouches du Rhône), Thèse doct. sp. sci. Terre, univ. Franche Comté, Besançon, 153 p.

CHANUT J.P., 1976, Hydrogéologie des massifs Jura-crétacés et du Trias du S.W.varois, Thèse 3e cycle Géologie Aix-Marseille I, 249 p.
CHARBONNIER Ph., DUROZOY G., GOUVERNET Cl. et MARGAT J., 1963, Données sur la géologie sous-marine et littorale de la partie orientale du golfe de Fos. Interprétation d'une campagne de sondages en mer. Rapp. BRGM DSGR 63A2
CHEVENIER G., 1985, Relations entre structures et répartition des aquifères dans les massifs de la Nerthe et de l'Etoile (Bouches-du-Rhône, France), Th. 3e cycle Géologie Aix-Marseille 1, 278p., 8 cartes.
CHOQUET C., 1972 - Etude géotechnique et hydrogéologique d'aménagement du canal de Provence au nord de Toulon, Thèse doct. spe. sc. Terre., lab. Géol. App., Grenoble
CLUSEAU R. (1965) .- Mission expérimentale à La Ciotat et Cassis : recherches des émergences d'eau douce en mer .- B.R.G.M., rapport Inédit, DS 65 A 73, 82, sept.65
COLLINA-GIRARD J. - 1992 - Présentation d'une carte bathymétrique au 1/25000° du précontinent marseillais. (Au large de la zone limitée par la grotte Cosquer et l'habitat préhistorique de Carry le Rouet). Géologie Méditerranéenne. t. XIX, n°2, 1992, pp. 77-87
COLLINA-GIRARD J. - 1994 - Relevés directs de profils sous-marins en plongée: mise en évidence de stationnement marin holocènes (entre 0 et 60 m de fond) au voisinage de la grotte Cosquer et en rade de marseille. Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes T. 3, p. 65-71
COLLINA-GIRARD J. - 1995 - La grotte Cosquer (Cap Morgiou, Marseille, France): évolution du karst et occupation préhistorique. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 321, série II a, p. 561 à 567, 1995.
COLLINA-GIRARD J. - 1995 - La grotte Cosquer et les sites paléolithiques du littoral marseillais (entre Carry-le-Rouet et Cassis). Méditerranée n° 3.4, p. 7-19
COLLINA-GIRARD J. - 1996 - Préhistoire et karst littoral: la grotte Cosquer et les Calanques Marseillaises (Bouches du Rhône, France). Karstologia n° 27, p. 27-40
COLLINA-GIRARD J., 1994, Relevés direct de profils sous-marins en plongée : mise en évidence de niveaux de stationnement marin holocènes (entre 0 et 60 m de fond) au voisinage de la grotte Cosquer et en rade de Marseille; Préhistoire Anthropologie Méditerranéennes 1994, t.3, p. 65-71.
COMBES A.,1976 - Essai de méthodologie en pays karstique. Etude des problèmes hydrogéologiques et géotechniques dans le massif de Morières. Thèse, Grenoble,
CORNET G., DUROZOY G., GOUVERNET C.et MUNK F. (1963) .- La source sous-marine de Port-Miou (Calanques de Cassis). Etude par prospection géophysique - Chronique d'hydrogéologie, n° 2, juin 1963, p. 47-51.
CORROY G., 1939, Le Massif de la Sainte-Baume. études géologiques. Num. spé. Bull. Serv. Carte géol. France, 0366-4201. - Tome 41, 1939, no 201127 p
CORROY G., GOUVERNET C., CHOUTEAU J., SIVIRINE A., GILET R. et PICARD J. (1958) .- Les résurgences sous-marines de la région de Cassis .- Bull. Inst. Océan. Monaco, vol. 55, n' 1131, 27 novembre 1958, p. 1-35.
COULIER Ch., 1985, Hydrogéologie karstique de la Sainte Baume occidentale (Bouches-du-Rhône-Var, France). Th. 3e cycle Géologie Aix-Marseille 1, 395 p.
COURBON P. & PAREIN R., 1991 - Atlas souterrain de la Provence et des Alpes de Lumière, Gap édit, La Ravoire, 254 p.
COURBON P., 1979 - Synthèse des recherches spéléologiques et hydrologiques sur le plateau de Siou Blanc (Var), Spelunca 1-79, FFSpel.
COURBON P., PAREIN R. - 1991 - Atlas souterrain de la Provence et des Alpes de lumière. Gap édit. La Ravoire. p 202.
COUTURAUD A., 1993, Hydrogéologie de la partie occidentale du système karstique de Vaucluse (karstification et aquifère sous couverture), thèse 3e cycl, hydrogéol. Uté d'Avignon,
COVA R., et DUROZOY G., 1980? - Carte hydrogéologique. Département du Var. DDAF VarToulon , BRGM, Marseille
DE MARSILY G. et POITRINAL D., 1972, Relations "pluies-débits" dans la galerie de Port Miou. Centre d'information géologique. ENSM, Paris
DELLERY B. et ROUIRE J., 1981, Recherche de ressources en eau pour le camp militaire de Carpiagne (13). Rapp. Frankarst BRGM 81 SGN 0583 PAC
DELLERY B. et TALBO H., 1982, Recherche de ressources en eau pour le camp militaire de Carpiagne. Rapp. BRGM 82SGN 080 PAC

DELLERY B., DUROZOY G., GOUVERNET CL. et JONQUET P., 1966, Bassin du Beausset. Plaine de la Reppe. Vallée du Grand Vallat. Plaine de St Cyr. B.du R.- Var. Etude hydrogéologique. Rapp. BRGM DSGR. 66. A53
DOCHE M. et al., Projet de réalisation d'un barrage expérimental sous marin dans la galerie de Port Miou en vue de séparer l'eau douce de l'eau de mer. Rapp. BRGM RH.
DOUCHET M. - 1993 - Port Miou.Plongée dans l'eau-delà - Subaqua n° 127.
DOUCHET, Marc (1992) : Grotte préhistorique de Sormiou dite grotte Cosquer. - Cave diving Vol.4: 22-23 (1 phot.).
DOUCHET, Marc (1992) : La rivière souterraine du Bestouan à Cassis, Bouches- du- Rhône. - Spelunca, n°47: 11-15 (2 fig., 3 phot.).
DROGUE C., LATY A.M., PALOC H. , 1983, Les eaux souterraines des karsts méditerranéens. Exemple de la région pyrénéo-provençale (France Méridionale). Bull BRGM. Hydrogéologie n°4, p 293-311
DURAND R., 1972, Etude du karst de la haute vallée du Caramy. DES. Lab. Géol. App. Uté Aix Marseille 1, 59 p. 30 fig.
DUROZOY G., 1972, ERH des bassins du Caramy et de l'Issole BdR - Var, Rapp. BRGM 71 SGN 44 PC
DUROZOY G., 1972, ERH massif calcaire de Ste Victoire, Bois de Concors, Bois de Pourrières BdR - Var, Rapp. BRGM
DUROZOY G., 1972, ERH Relevé des sources importantes des BdR et des régions limitrophes, Rapp. BRGM 72 SGN 057 PRC
DUROZOY G., GOUVERNET C, PALOC H., 1972, IRH dans le bassin du Beausset (B.du Rh.;Var) et résultats des campagnes de jaugeage 1965-6. Essai de bilan. Rapp. BRGM 69 SGN 127 PAC
DUROZOY G., GOUVERNET C, PALOC H., 1972, IRH dans le bassin du Beausset (B.du Rh.;Var), Programme d'études. Rapp. BRGM 65 SGN 145 PAC
DUROZOY G., GOUVERNET Cl, ROUSSET Cl., 1969, Les exutoires du massif calcaire de Sainte Victoire (bois de Concors et de la Gardiole, Sainte-Victoire, forêt de Pourrières, dans les Bouches-du-Rhône et le Var). bull. BRGM (2), III - 1969
DUROZOY G., PALOC H. (1966) .- Projet de captage expérimental de la résurgence sous-marine de Port-Miou (Cassis - Bouches du Rhône). B.R.G.M., rapport inédit, DS 66 A 124.
DUROZOY G., PALOC H. (1967) .- Recherches sur les ressources en eaux karstiques du littoral méditerranéen français .- Publication n° 72 de l'A.I.H.S. Symposium de Haïfa, p. 457-465.
DUROZOY G., PALOC H. (1969) .- Bassin du Beausset (Bouches du Rhône-Var) : enseignements apportés par les expériences de coloration. - B.R.G.M., rapport inédit, 69 SGL 212 PRC, septembre 1969.
DUROZOY G; et GOUVERNET Cl., 1965, Les réservoirs aquifères entre Nice et Menton. Alluvions du Paillon. Massifs calcaires jurassiques. Rapp BRGM DSGR 65.A 69
DUROZOY G; et GOUVERNET Cl., 1966, Esquisse hydrogéologique du bassin de Gardanne. Programme de reconnaissance de la nappe du Jurassique. Rapp BRGM DSGR 66.A.45
FAIT J.C., 1994, La Ciotat entre mer et lumière, guide des plus hautes falaises maritimes d'Europe, Euro edit, Trento, 128 p.
FROGET C. (1964) .- Sur les sources thermales-sulfureuses de l'anse d'Arnette (chaîne de la Nerthe, Bouches du Rhone). - C.R. Soc. geol. Fr., no 9, 1964, p. 365-366.
GALLOCHER P. (1954) .- Contribution à l'étude de l'émergence sous-marine de Port-Miou (Cassis - Bouches du Rhône) .- Annales de Spéléo., t. IX, 1954, p. 169-181.
GARNIER J.L., GLINTZBOECKEL CH., THIERY D., 1983, Etude des possibilités d'alimentation en eau de la tranche n°5 par le puits de l'Arc. Rapp. BRGM 83SGN 145 PAC
GARNIER J.L., 1988, Station d'épuration de Marseille. Epandage des boues. Etudes hydrogéologiques du plateau de Carpiagne. B. du Rh. Rapp. BRGM 88 SGN 410 PAC
GILLI E., 2000 - Etude des conditions d'alimentation et du bassin d'alimentation de la source Beaupré (Signes, Var), rapp. Int., SSS, Signes, Var
GONZALES G. 1992, Notice d'impact sur l'environnement d'une station d'épuration des eaux à Cuges les Pins (13). Rapp. BRGM PAC 4S 92
GUIEU G., RICOUR J. et ROUIRE J., 1996, Découverte géologique de Marseille et de son décor montagneux, BRGM édit, Orléans, 216 p.
JORDA M. et ROSIQUE T. - 1994 - Le tardiglaciaire dans les Alpes françaises du sud: Rythme et modalités des changements bio-morphoclimatiques. Quaternaire 5, (3-4), 1994, p. 141-149.

LEVEN J., 1971, Le bassin de la Roquebrussanne. Essai d'hydrogéologie et d'hydrochimie karstiques. BRGM. DG 1621
MANGAN Ch et GILLI E., 1997, Liaison autoroutière A50-A57. Traversée souterraine de Toulon. Recherches hydrogéologiques en rapport avec l'effondrement de mars 1996. Rapp. int. DDE Toulon
MARSIGLI Comte de, 1725 - Histoire physique de la mer. Amsterdam
MARTEL E.A., 1921, Nouveau traité des eaux souterraines. Doin édit. Paris
MARTIN C. (1968) .- La résurgence sous-marine de Port-Miou. - Spelunca, Bull-FR., 1968, vol. 8, num . 3, p. 14-20.
MARTIN Ph., 1991- Hydromorphologie des géosystèmes karstiques des versants nord et ouest de la Sainte Baume (B. du Rh., Var; France). Etude hydrologique, hydrochimique et de la vulnérabilite à la pollution. Thèse Uté de Provence. Aix.
MARTIN, Ph. (1992) : Quantification et modélisation du fonctionnement hydrologique de la Foux - de - Nans (Var). - Actes du XIX° cong. nat. spéléol. Montpellier 1991 - Spelunca Mémoires, n°19: 57-70 (18 fig., 5 tb.).
MAZET J., 1984, Recherches sur l'évolution du karst dans le massif de la Sainte-Baume, Th. univ. Géogr. ; Aix-Marseille 2 , 138 p. n° SIBIL 1080806
MAZET, J. (1967) : Etude hydrogéologique du bassin de la Sainte - Baume - BRGM P333H
MAZET, J. (1992) : La karstification en Provence au cours des ères géologiques. - Spéléopérations, n°80 : 25-26 (bibliographie).
MAZET, J. (1992) : Le Karst du massif de la Sainte - Baume, Bouches - du - Rhône/ Var. - Spéléopérations, n°79: 19-21 (1 croquis géologique).
MAZET, J.; et coll. (1992) : Mesure de la dissolution à la grotte de la Foux (Sainte - Baume, Var) par la méthode des plaquettes. - Actes du XIX° cong. nat. spéléol. Montpellier 1991 - Spelunca Mémoires, n°19: 71-74 (4 fig.).
MONTEAU R. et COURBON P., 1983 - Le massif de la Ste Baume, géologie et hydrologie. Spelunca n°13, p. 59-68
MONTEAU R., 1971 - Le karst des formations turoniennes du bassin du Beausset., DES géol., Uté de Luminy, Marseille
MONTEAU R., 1978 - Le karst des formations turoniennes du bassin du Beausset., Ouarnède spéc. N°1, bull groupe spéléo pyrénées. Toulouse.
MORHANGE C., 1994, La mobilité récente des littoraux provençaux, thèse doc. géog. phys. Uté de Provence, Aix, 202 p.
MUNCK F., STANUDIN B., 1964, Recherche de circulations karstiques par méthodes géophysiques électriques dans la région de Cassis. Rapp. BRGM 64 SGN 021DS
NICOD J. BLANC J.J.et POMEL S. (1992) : Recherches sur l' évolution du karst du Massif de Montrieux (Basse Provence). - Proceedings of the second intern. Conference on Geomorphology, Frankfurt, 1989; in: Z. Geomorphologie Suppl. Bd.85 : 39-57 (6 fig., 2 phot., 1 tab.)
NICOD J.,1967 - Recherches morphologiques en Basse Provence, Thèse Méditerranée, Faculté des Lettres, Aix
NICOD, Jean (1992) : La grotte H. Cosquer: une découverte extraordinaire dans la calanque de Sormiou, Provence. - Karstologia, n°19: 61.
NICOD, Jean (1992) : Notice de la carte du karst du centre Nord - Ouest du massif de Montrieux, Var. - Travaux U.R.A. 903 du CNRS, n°XXI: 71-78 (4 fig., 1 carte coul. ht).
POTIE L. (1973) .- Etudes et captage de résurgences d'eau douce sous-marines : résurgences sous-marines de Port Miou (France) .- Actes colloque international sur les eaux souterraines, Palerme, avril-mai 1973.
POTIE L. (1974) .- Captage des résurgences sous-marines d'eau douce. - Communication préparée pour le congrès de l'Association internationale des Distributeurs de l'Eau., Brighton, août 1974.
POTIE L.. RICOUR J. (1973) .- Etudes et captage de résurgences d'eau douce sous-marines .- Revue technique internationale de l'eau, octobre 1973
RICOUR J. (1973). - Le barrage souterrain de Port Miou (Bouches du Rhône) B.R.G.M.., Bull. de liaison et d'information, n° 43, 20 mars 1973.
RICOUR J., 1971, Sydicat de recherche d'eau de Port-Miou (B. du Rh.). Compte rendu d'un essai sur modèle réduit. Rapp. BRGM 71 SGN 411.

ROQUES H. (1956) .- Localisation conductimétrique des émergences sous-marines de Port-Miou .- Annales de Spéléo., t. XI, 1956, p.109-112.
ROUAUD A., ROGIN G. (1969) .- Localisation par la méthode du dépoli magnétique oscillant, d'une cavité karstique à Port-Miou (Cassis) .- B.R.G.M., rapport inédit,69 GPH 037.
ROUSSET C. 1968, Contribution à l'étude des karsts du sud-est de la France : altérations morphologiques et minérales. Thèse doct sci. univ. de Provence, Marseille 1
ROUSSET C. 1984, Forage de Cuges, rapp inédit. Uté de Provence Marseille 1
ROUSSET C. 1988, Apport de nouveaux forages à la connaissance de l'aquifère karstique de Port-Miou. Ann. Scient. Uté de Besançon mem.hors série n°6. 4eme coll. hydro. pays calcaire. 1er oct. 1988
ROUSSET C. 1997, Structure tectonique et typologie karstique : cas des karsts de Vaucluse et de Port Miou. Actes du 6° coll. hydrogeol. en pays calcaire et milieu fissuré. Neuchâtel. p 307-310
SEM-BRGM, 1974, Recherche d'eau douce en mer. ????
SPELE-H2O, 2000 - Projet SPELE-EAU. Compte rendu des général des opérations 1993-2000. Rapp. Int., CDS 83, Toulon, 123 p.
SYNDICAT DE RECHERCHE DE PORT MIOU, 1972, Etat des connaissances au 31 avril 1972 sur l'évolution de la chimie des eaux dans le karst de Port Miou et du Bestouan. Rapp. Int.
SYNDICAT DE RECHERCHE DE PORT MIOU, 1978, La résurgence d'eau douce sous-marine de Port Miou. Chantiers de France n°104.
THIRRIOT C. (1971) .- Résurgence de la rivière Port-Miou : étude schématique à l'aide d'un modèle analogique des écoulements en période de crue .- S.E.M. - B.R.G.M., rapport inédit, CT. 323.
VERNET M. et VERNET B., 1980, Essai de discrimination par méthode isotopique de l'origine des eaux de systèmes karstiques. application aux karsts continentaux et littoraux de Basse-Provence, Th. 3e cycle Géologie Aix-Marseille 1, 208 p.

E / 2. - REFERENCES RELATIVES A LA ZONE D'ETUDE CORSE

CALANDRI G., 1983, La grotta di Carpineto (Lano) : la cavita la piu longa della Corsica CAI. n° XIII-20 Imperia
CALANDRI G., 1985, appunti sul carsismo negli "schistes lustrés" della Corsica nordorientale. bull. gruppo spel. imperiese CAI. n° XV-24 Imperia
PEREIRA E., ROUZAUD F., SALOTTI M., DUBOIS J.N., FERRANDINI J., OTTAVIONI-SPELLA M.M., et QUINIF Y., 1998 - Castiglione (Oletta, Corsica) : relationships between phenomena of calcificationand tectonic fossiliferous fracture dating - Geodinamica Acta 12 (1999) 371-375.
REMY P. A. 1950 - Grottes de Corse - Annales de spél. Spelunca 3° sér.,Tome V, fasc. 1 Féd. Fra. De Spéléo. Paris p 3-47

E / 3. - REFERENCES RELATIVES A D'AUTRES SECTEURS

ALFIREVIC S. (1961) .- Bases géologiques-tectoniques des sources sous-marines en Adriatique .- Commission internation. Expl.or. Mer Méditerr., Rapp. P.V., t. 16, no 3, p. 745-748.
ALFIREVIC S. (1966) .- Hydrogeological investigations of submaine springs in the Adriatia .- Mémoires A.I.H., Vol. VI., Réunion de Belgrade 1963, p. 255-264.
ALFIREVIC S. (1966) .- Les sources sous-marines de la baie de Kastela. Morphologie, structure hydrogéologique, conditions hydrogéologiques, relations géotechniques .- Acta adriatic. yougosl., t.10, no 12, P. 3-38.
ANONYME, 1997 - Karst et évolutions climatiques - Hommage à Jean Nicod. Ed. Press. univ. Bordeaux, 191-207 (6 fig., 1 annexe).
ARONIS G. (1963) .- A special case of karst hydrology Mémoires A.I.H., Vol. IV., Réunion de Rome 1961, p. 61-63.
ARONIS G. (1964) .- Observations on the coastal karst of Greece .- Mémoires A.I.H., t. V, Réunion d'Athènes 1962, p. 256-265.
AUDOUIN J. (1960) .- Hydrologie de l'étang de Thau. Thèse Montpellier. Chapitre III "La Bise'. p. 55-57 in Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes.
BAKIC M. (1966) .- Hydrogeologioal importance of results of prospecting for water on the Isle of Brac .-

Mémoires A.I.H., vol.VI, Réunion de Belgrade 1963, p. 299-307.
BASSOMPIERRE P., ROUX J.C. (1968).- Etude hydrogéologique des Fontaines d'Yport (Seine-Maritime) B.R.G.M., rapport inédit, 68 SGL 084 PNO, 12 juin 1968.
BIDOVEC F. (1967) .- The hydrosystem of karstic springs in the Timavo basin .- Publication no 73 de l'I.A.S.H., Symposium de Dubrovnik 1965, p. 263-274.
BINI A. - 1994 - Rapports entre la karstification périméditerranéenne et la crise de salinité du Messinien. L'exemple du karst lombard (Italie). Karstologia n°23. p. 33-53
BONNET A., PALOC H. (1969) .- Les eaux des calcaires jurassiques du bassin de Montbazin-Gigean et de ses bordures .- Bull. B.R.G.M., 2ème série, no 3, 1969, p. 1-12.
BONNET A., PALOC H. (1969) .- Résumé de l'exposé sur les conditions hydrogéologiques du bassin de Montbazin-Gigean (Hérault). Excursion des géologues du Languedoc du 16 mars 1969 .- Ann. Soc. Hortic. Nat. Hérault, 1969, Vol. 109, n° 2, p. 102-105.
BURDON D.J. (1967) .- Hydrogeology of some karstic areas of Greece - Dubrovnik Symposium 1965, Hydrology of Fractured Rocks, Publication no 73 of the I.A.S.H., !7. 1.9 p. 308-317.
BURDON D.J., DOLJNAS A. (1961)- Hydrochemistry of the Pamassos-Ghiona aquifers and probleme of sea-water contamination ln Greece,. - Pub. n°57 1.A.S.H., p. 689-704.
BURDON D.J., PAPAKIS N. (1961) .- Methods of investigating the ground-water resources of the Parnassos-Ghiona limestones .- Publication n° 57 of the I.A.S.H., p. 143-159.
CALVINO F., STEFANON A. (1963) .- Osservazioni geologische sulla polla Roverato i li altre sorgenti sottamarine delle Mortola (Riviera di Ponante) .- Atti dell. Ist. di Geol. della Universita de Genova, Vol. I, Fasc. 1, p. 205-239.
CARAIVAN G. (1972) .- Les sources sous-marines de la côte sud-roumaine de la Mer Noire .- Terra, Roman., 1972, 24, no 5, p. 55-56.
CASSINIS R. (1967) .- Ricerca sugli afflussi di acque dolce lungo le coste siciliane modiante misure di salinita in mare .- La Ricerca Scinntifica, 37, 3, p. 267-280 (Roma 1967).
CELET P. (1971) .- Quelques aspects de l'hydrogéologie des régions calcaires méridionales du Parnasse-Helicon (Grèce) .- Actes coll. hydro. pays calcaires, Besançon, p. 13-23.
CODEX R., SIMIONESCU N. (1966) .- Application de la méthode électrométrique dans l'étude des eaux souterraines de la zone karstique du lac Siut-Ghiol .- Mémoires A.I.H.,, vol. VI, Réunion de Belgrade 1963, p. 81-87.
COMPAGNIE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE FRANCAISE (1960) .- Essais de recherche d'une circulation karstique : Fontaine de Salses, étude géophysique .- C.P.G.F.., rapport inédit, Service du Génie rural de l'Aude.
CORBEL J. (1957) .- Les karsts du Nord-Ouest de l'Europe .- Institut des études rhodaniennes, Mémoires et Documents, n° 12, Lyon.
COTECCHIA V. (1963) .- Geohydrological aspects of the Cretaceous limestone aquifer in Apulia, and their bearing on the pratical avoidance of sea water contamination in extraction from wells and springs. - Quad. geofie. appl@'. Ital., t. 24, p. 39-79.
COTECCHIA V. (1971) .- Studies and modern raesearch methodologies on the huge aquifer and the coastal springs of the calcareous formations of Apulia (southem Italy). (ABS) .- Conf. Reg. Asie A.I.H.S., août 1971, Tokyo, 1971, part. 71, p. 1.
COTECCHIA V., MAGRI G. (1966) .- Idrogeologia del Gargano .- Geol. appl. Idrogeol., 1 (Bari, 1966), p. 1-86.
CUSTODIO E., BAYO A. ORTI F. (1971) .- Caractéristiques géologiques, hydrogéologiques, géochimiques des aquifères côtiers entre Cambrils et Ametila de Mar (Tarragone) .- in : 1 Congr. hisp. Luso-am. geol. econ., secc. 3 hidrogeol., Madrid, Lisboa, 1971. S.I., (1971), p. 147-170.
CVIJIC J. (1960) .- La géographie des terrains calcaires .- Académie serbe des sciences et des arts, Monographie, t. 341, no 26, Belgrade 1960.
DEBUISSON J., LEMAIRE B., PALOC H. (1966) - Les sources littorales et sous-marines du Languedoc-Roussillon. Etude documentaire préliminaire .- B.R.G.M., rappel inédit, DS 66 A 63.
DELANY F., MENARD F. (1964) .- Note sur les résurgences entre Villefranche et Menton (Alpes Maritimes) .- B.R.G.M., rapport inédite DSGR 64 A 21, 29 février 1964.
DELGADO NAVARRO J.A., ESPINOSA GIL V.M. (1971) .- Prospection géophysique en mer pour localiser des résurgences d'eau douce au large de Calpe (Alicante) .- in : ler Congr. hispano-luso-am. geol. econ. Madrid-Lisboa, 1971, Madrid., Iberica Tarragona, (s.d.), 6, p. 81-85.

DROGUE C. (1965) .- Sur la contamination par l'eau de mer des sources karstiques d'une partie du littoral méditerranéen français (Languedoc-Roussillon) .- A.I.H. Congrès d'Hannovre 1965, Résumé des communications, n° 14-25, p. 33. (Cette communication ne figure pas dans les Mémoires du congrès).
DUBOIS P. (1964) .- Esquisse de l'hydrogéologie du massif de la Gardiole.- Spelunca, Mémoires., n° 4, p. 57-67.
DUBOIS P., GRIOSEL Y. (1963) .- La source sous-marine de l'Abysse (Etangde Thau, Bas-Languedoc) .- Spelunca Mémoires, n° 3, p. 87-91.
DUBOIS P., SORRIAUX P. et SOUDET H.J., - 1993 - Rospo Mare (Adriatique). Un paléokarst pétrolier du domaine méditerranéen. Karstologia n°21, p. 31-42
F.A.O. (1963) .- Etat des connaissances sur l'hydrogéologie karstique du Maroc par HAZAN R. et MONITION L.. Contributions to the investigations and development of the karst aquifers of the circum mediterranean countries .- F.A.O. Athènes 1963.
F.A.O. (1963) .- Handbook of karst hydrogeology (with special referance to the carbonate aquifers of the Mediterranaen Region) .- F.A.O. Athens 1963 (Institute for geology and subsurface research, 1, Hippokratous street, Athens) (par BURDON D.J. et PAPAKI
F.A.O. (1963) .- The karst groundwaters of Syrie par BURDON J. et SAFADI C. Contributions to the Investigations and development of the karst aquifers of the circum mediterranean countries. - F.A.O. Athènes 1963.
F.A.O. (1963).- The karst groundwater resources of Parnassos-Ghiona (Greece) .- F.A.O. Athènes 1963. Un volume ronéotypé (par BURDON D. I. -D.J.', et PAPAKIS N.)
F.A.O. (1964) .- Karst groundwater investigations in Greece - PAOISF : 2 GRE.
F.A.O. (1972). - Study of water resources and their exploitation for irrigation in Eastern Crete (Greece) - Study of the Almyros spring of Iraklion .- AGL : SFIGRE 31, Technical report 3.
F.A.O. (1973) .- Karst hydrology in eight circum Mediterranean countries. First preliminary edition. - UNESCO - FAO Paris, March 1973.
FERGUSON G.E. and others (1947) .- Springs of Florida .- Florida Geol. Survey, Bull. 31, 196 p.
FLATHE H. and PFEIFFER 0. (1964) .- Outlines on the hydrogeology of the Isle of Madura (Indonesia) .- Internat. Assoc. Sci. hydrology, Berkeley 1963, Commission of Subterranean Waters, no 64, p. 543-560.
GEZE B. (1938) .- Les sources mystérieuses des monts de la Gardiole (Hérault) .- in "La Géographie", t. 69, 1938, no 4., p. 193-208.
GLANZ T. (1965) .- La phénomène des moulins marins d'Argostoli. Etudes hydrauliques et physiques .- in Steîr. Beitr.-. Hydrogeol., 1965, no 17, p. 113-127.
GOT H., PLEGAT R. (1965) .- Sur l'origine de la salure des sources karstiques des environs de Salses .- in Naturalia Monspeliensa. Mém., Série Géologie, 1965, t. VII., p. 39-41.
GRUVEL A. (1929) .- De quelques particularités océanographiques observées sur les côtes de Syrie .- C.R. Acad. Sci. Paris,
GRUVEL A. (1930) .- De quelques sources marines observées sur les côtes Libano-Syriennes .- C.R. Acad. Sci. Paris, 191 (1930).
KARAGEORGIOU E. (1966) .- Les sources thermominérales côtières de Potamion de l'Ile Samos .- Mémoires A.I.H., vol. VI, Réunion do Belgrade 1963, p.311-318
KAREH R. (1968) .- Les sources sous-marines de Chekka (Liban nord) Exploitation d'une nappe karstique captive àexutoires sous-marins (2ème partie) .- Rev. Liban. Geogr. Hannon, 1968, vol. 3, p. 93-121.
KIKNADZE T.Z. (1965) .- Some conditions affecing the karst development in Arabika Massif (Caucasus, Western Georgia) .- in "Problems of the speleological research", t. 1., Prague 1965, p. 55-63.
KUSCER I. (1950) .- Kraski izviri ob morski obali-Karst : Source at the Sea Coast .- Acad. Sc. Art. Slovenica., clas. 3, ser. A, p. 97-147 (1950).
KUSCER I., KUSCER D. (1964) .- Observations on brackish karst sources end sea swallow-holes on the Yugoslav Coast. - Mémoires A.I.H., vol. V., Réunion d'Ath@s 1962, p. 344-353.
LATY A.M., 1981, Ressources en eaux des karsts méditerranéens français. Essai de synthèse. Thèse Sci. Terre Montpellier 2
LEMAIRE B., PALOC H. (1967) .- Captage de la source sous-marine de la Vise (Hérault-France) .- Ass. gén. de l'A.I.H., Prague 1968, Résumé de communications, p. 65 (et rapport inédit B.R.G.M., DSGR 67 B 10 du 22 septembre 1967, 6 p.).
MALEZ M. (1965) .- The Medvjedja Pecina (Bear Cave) of Losing Island a rare case of submergea cave .- in "Probleme of speleologîcal research", t. 1, Prague 1965, p. 211-216.

MANDEL S. and MERO F. (1961) .- Planned exploitation of the aquifer feeding the Na'Aman spring .- Internat. Assoc. Sci. Hydrology, Publ. no 57, p. 654-650. (Colloque d'Athènes 1961, Eaux souterraines dans les zones arides, t. 2, vol.2).
MANDEL S., GILBOA Y., MERCAI)O A. (1972) .- Groundwater flow in calcareous aquifers in the vicinity of Barcelona (Spain). - Ass. internat. Sc. hydrol., Bull., Belg. 1972, 17, no 1, p. 77-83.
MAURIN V., ZOTL 3. (1960) .- Karsthydrologische Aufnahmen auf Kephallenia (lonische Inseln) .- Steir. Beitr. Hydrogeol., Dtsch., n" 1, 52 p.
MAURIN V., ZOTL J. (1965) .- Salt water encroachment in the low altitude karst water horizons of the Island of Kophallinia (Ionian Islands) .- Publication n° 74 of the I.A.S.H. 1967, Symposium de Dubrovnik, vol. 2, p. 423-438.
MIJATOVIC. BAKIC M. (1967) .- Le karst du Liban. Etude de son évolution d'après les recherches hydrogéologiques .- Chronique d'hydrogéologie, n°10, mars 1967, p. 95-107.
MISTARDIS G. (1953) .- Sur le drainage karstique dans les régions calcaires côtières de la Grèce méridionale .- in Actes du ler Congrès international de Spéléologie, Paris 1953, vol. 2, p. 247-250.
MISTARDIS G. (1967) .- Recherches hydrogéologiques dans la région des lacs karstiques béotiens .- Publication no 73 de l'I.A.S.H., Symposium de Dubrovnik 1965., vol. 1, p. 162-170.
MISTARDIS G. (1967) .- Sea level fluctuations in Pleistocene and submarine spring-whirls in Greek central area .- Memoires A.I.H... vol. VII, Réunion d'Hannovre 1965, p. 81-83.
MISTARDIS G. (1968) .- Investigations upon influences of sea level fluctuations on underground karstification in some coastal regions of south Greece .- in Actes du 4ème Congrès international de Spéléologie., Ljubljana 1965, t. III, p. 335-340.
MISTARDIS G. (1969) .- Investigations upon submarine and coastal springs in south Greece .- in Actes du 5ème Congrès international de Spéléologie, Stuttgart 1969, vol. 5, Hy 5/1 à 8 (bibliographie à voir).
MONTORIOL POUS J. (1961) .- Las surgencias de las Costas de Garraf (Barcelona) .- in Actes du 3ème Congrès international de Spéléologie, Vienne 1961, Vol. 5, p. 43-49.
MORETTI A., PANNUZI L., STAMPANONI G., ZATTINI N. (1967) .- Synthèse des connaissances géo-hydrologiques des formations calcaires en Italie .- Publication n° 73 de l' I.A.S.H., Symposium de Dubrovnik 1965, vol. I, p. 293-307.
NICOD J. - 1972 - Pays et paysages du calcaire. PUF, Paris, 244 p.
PALAUSI G. (1968) . Les résurgences sous-marînes entre l'Esterel et le Cap d'Antibes (A.M.) .- Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume. Bull-FR, 1968, vol. 59, nun. 43, p. 397-404.
PALOC H. (1969) .- Etude des sources de Cauvy (Balorne les Bains - Hérault). Observations faites en 1968 rapport inédit, 69 SGL 017 LRO, 3 janvier 1969.
PAPAKIS N. (1964) .- Problèmes hydrogéologiques de la Grèce.- Mémoires A.I.H.., t. V, Réunion d'Athènes 196,2., p. 288-309.
PAPAKIS N. (1967) Etude des nappes d'eau souterraine karstiques en Grèce Conférence internationale de l'eau pour la paix, Washington DC. A164, 23-31 mai 1967.
PETRIK M. (1965) .- Characteristics of water from springs in the limestone region of Croatia .- Publication n°74 of the I.A.S.H., 1987, Symposium de Dubrovnik, vol. 2, p. 624-634.
PETROCHILOS J. (1963) .- Recherches hydrospéléologiques dans la région de Dyros en Laconie (Grèce) .- in Actes du 3ème Congrés internationale de Spéléologie, Vienne 1961, vol. II, p. 183-190.
REINA C. (1962) .- Fondamenti idrogeologici a possibilita pratiche di ridurre la salinite dell'acque delle sorgenti carsiche salmastre del Chidro in Puglia .- Boll. Geofis. teor. appl., Ital., t. 4, no 16., p. 372-418.
REINA C. (1963) .- Le sorgenti carsiche salmestre del Chidro. - Mémoires A.I.H., vol. IV, Réunion de Rome 1961., p. 99-104.
REINA C., MONGELLI F. (1964) .- Primi elementi sulla permeabilita del complesso calcareo carsico della regione di Puglia (Italie méridionale) .- Mémoires A.I.H., t. V, Réunion d'Athènes 1962, p. 330-333.
SALVAYRE H. (1970) .- Arguments en faveur de l'existence d'un karst noyé sur la bordure est des Corbières (Font Estramar, Font Dame) - Spelunca Mémoires, n°7, p.79-86.
SIPLE G.E. (1967) .- Salt-water encroachment of tertiary limestones along coastal south Carolina .- Dubrovnik Symposium 1965., Hydrology of Fractured Rocks, v. 2, p. 439-453.
STRINGFIELD V.T. (1964) .- Relation of surface-water hydrology to the principal artesian aquifer In Florida and southeastern Georgia .- U.S. Geol. Survey Prof. Paper 501-C, p. 164-169.
STRINGFIELD V.T. (1966) .- Artesian water in tertiary limestone in the southeastern states .- U.S. Geol. Survey Prof. Paper 517, 226 p.

STRINGFIELD V.T., LEGRAND H.E. (1969) .- Relation of sea-water to fresh water in carbonate rocks in coastal areas, with special reference to Florida (U.S.A.) end Cephalonia (Kaphallinia - Gresce) .- in Journal of Hydrology, 9 (1969), p. 387-404.
VAUMAS E. de (1970) .- Formes de relief, consolidation et dissolution des grès littoraux du Quaternaire - Méditerranée orientale (Syrie, Liban, Palestine, Chypre) .- Lab. Géogr. Fac. Lettres. Sc. Hum. Aix, 1970, Méditerranée, n°7, P. 151-188.
VELIMONOVIC J. and CUBRAKOVIC V. (1967) .- Hydrogeological problems in the karst coastal area (ABS) .- Dubrovnik Symposium 1965, Hydrology of fractured rocks. v. 2, p. 517.
VERDEIL P. (1971) .- Relations between the karstic conduits and the sea in the Languedocian littoral. Resulting phenomena of the pollution .- Int. Union. Geod. Geoph., Gen. Assem., Moscou, 1971, Symp. Air Water Pollution_, ABS, 1971, p. 35.

E / 4. - REFERENCES D'ORDRE METHODOLOGIQUE

ARCHAMBAULT J. (1965) .- Remarques concernant la chronique d'hydrogéologie n° 7 .- Chronique d'hydrogéologie., n° 8, décembre 1965,. p. 99-104.
ARCHAMBAULT J., BOURGLJET L., VAILLEUX Y. (1971) .- Les lois de l'hydraulique des milieux poreux sont-elles applicables aux aquifères calcaires karstifiés ? .- Actes coll. hydro. pays calcaires, Besançon, p. 255-264.
ARMANGAU C., AVIAS J. (1971) .- Note préliminaire sur l'étude de l'hydrodynamique, de la salinité, de la température et de la pollution des eaux des étangs côtiers du Languedoc-Roussillon par télédétection au moyen de mesures infrarouges .- C.R. Acad. Sci., Paris, t. 273 (22 novembre 1971), série D, p. 1910-1913.
ASTIER J.L. (1971) .- Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Chapitre V "La recherche en pays karstique". p. 180-191 .- Ed. Masson Paris.
BAKIC M. (1964) .- On methodology of research and study for underground waters for the requirements of water supply in the littoral karst area of Yugoslavia .- Mémoires A.I.H.., t. V., Réunion d'Athènes 1962, p. 334-343.
BAZIN F. (1963) .- L'utilisation des modèles pour les études de nappes souterraines .- Mémoires A.I.H., Vol. IV, Réunion de Rome 1961, p. 30-33.
BERKALOFF E. (1963) .- Influence des marées sur la salure d'eau souterraine .- B.R.G.M., rapport inédit, DS 63 A 116, novembre 1963.
BLANC J.J. - 1992 - Spéléothèmes zonés et signaux microclimatiques. Essai d'interprétation. Bull. Mus. Anthropol. préhist. Monaco n° 35., 1992, pp. 5-34
BRAUDO C.J., MERO F.. MERCADO A. (1968) .- (Submarine spring discharge using radioactive tracers). Evaluation du débit d'une source sous-marine à l'aide de traceurs radioactifs .- in Journal of the hydraulic division, proceedings of the A.S.C.E. (U.S.A.), Vol. 94, no Hy 2, March 1968, p. 399-409.
BREUSSE I., DUPRAT A. (1966) .- Contribution de la géophysique à l'étude des invasions marines .- Mémoires A.I.H., Vol. VI. Réunion de Belgrade 1963, p. 71-78.
CALVINO F., STEFANON A. (1969) .- The submarine spring of fresh water and the problems of their capture .- in Rapp. Com. int. Mer Médit-.,, 19, 4, p. 609-610.
CAMPY M., BINTZ P., EVIN J., LAVILLE H., CHALINE J. - 1994 - Sedimentary record in french karstic infillings during the last climatic cycle. Quaternaire 5, (3-4), 1994, p. 157-163.
CAZAL A., MOUSSIE B., SALVAYRE H. (1971) .- Application de la radiométrie infra-rouge à l'étude des écoulements des eaux superficielles et souterraines dans l'étang de Salses-Leucate (P.-O.) .- C.R. Acad. Sci.., D, Fr., 1971/6, t. 272, n° 24, p. 3013-3016.
CAZAL A., POUCHAN P., VOUVE J. (1970) .- Détection à distance par radiométrie infra-rouge des émergences de la Gironde. Relations avec l'aquifère côtier .- C.R. Acad. Sc. Paris, t. 270., série D, p. 760-763, séance du 9 février 1970.
DEGALLIER R. (1963) .- Contact eau douce-eau salée .- Chronique d'hydrogéologie, n° 1, mars 1963, p. 9-22.
DUPLESSY J.C., LALOU C., DELIBRIAS G., NGUYEN H.V. - 1972 - Datations et études isotopiques des stalagmites. Ann. de Spél. 27, 3. pp. 445,463
F.A.O. (1963) .- Handbook of karst hydrogeology (with special referance to the carbonate aquifers of the Mediterranaen Region) .- F.A.O. Athens 1963 (Institute for geology and subsurface research, 1, Hippokratous street, Athens) (par BURDON D.J. et PAPAKIS N.).

GUNAY G. (1972) .- Datermination of the origin of Ovacik submarine springs by means of natural isotopes .- Memoires A.I.H. vol. IX, Réunion de Tokyo 1971, p. 136-139.
HAKIM S. (1874) .- Contribution à la détection des sources sous-marines et littorales de la cote libannaise par thermoradiométrie infrarouge (secteur Beyrouth-Enfe) .- D.E.S. Scienses naturelles, Université de Montpellier, 27 juin 1974.
HANSHAW B.B., BACK W., RUBIN M. (1965) .- Carbonate equilibria and radiocarbon distribution related to groundwater flow in the Floridan limestone aquifer-U.S.A. - Publication n° 74 of the I.A.S.H. 1967, Symposium de Dubrovnik., vol. II, p. 601-614.
HAZAN R. and FERRE M. (1964) .- Exploitation d'une nappe karstique à proximité d'océan (région d'Oualidia) .- Internat. Assoc. Sci. Hydrology, Berkeley 1963, Commission of Subterranean Waters, n° 64, p. 561-563.
HENRY H.R. and KOFIOUT F.A. (1972) .- Circulation patterns of saline groundwater affected by geothermal heating as related to waste disposal .- in Am. Ase. of Petroleum geologists, Mémoire n° 18, p. 202-221.
JENKO F. (1967) .- L'hydrographie du karst (Karst hydromechanics) - Dubrovnik Symposium 1965, Hydrology of Fractured Rocks, v.1, p. 172-182.
JEVREMOVIC M. (1966) .- Hydraulic characteristics and classification of brackish springs in the adriatic zone of the dinaric karst .- Mémoires A.I.H., vol. VI, Réunion de Belgrade 1963, p. 293-297.
KOHOUT F.A. (1906) .- Submarine springs : a neglected phenomenon of coastal hydrology.-.-Reprinted from Central Treaty organization's symposium on hydrology and water resources development, February 5-12, 1966.
KOHOUT F.A. (1960) .- Cyclic flow of salt water in the Biscayne aquifer of Southeastern Floride .- Journ. of Geophys. Res., 65, 7 (1960).
KOHOUT F.A. (1961) .- Case history of salt water encroachment caused by a storm sewer in Miami .- Journal of Am. Wat. Works Association, vol. 53, n°11, p. 1046-1416.
KOHOUT F.A. (1961) .- Fluctuating of ground-water levels caused by dispersion of salts .- in Journ. of Geophys. Res., vol. 66, n°8, August 1961.
KOHOUT F.A. (1965) .- A hypothesis conceming cyclic flow of salt water related to geothermal heating in the Floridian aquifer .- Reprinted from Transactions of the New York Academy of Sciences., série II, vol. 28., n" 2, p. 249-271, décembre 1965.
KOHOUT F.A. (1966) .- Submarine springs .- Extract from "Encyclopedia of Earth Sciences., Oceanography, vol. I, p. 878-883, Reinhold Publ. Co.
KOHOUT F.A. (1967) .- Ground-water flow and the geothermal regime of the Floridian plateau .- Reprinnted from Transactions of the gulf coast association of geological societies, vol. XVIII, p. 339-354.
KOHOUT F.A., KLEIN H. (1967) .- Effect of pulse recharge on the zone of diffusion in the Biscayne aquifer .- I.A.S.H. publication n° 70, Symposium of Haïfa, p. 252-270.
KOHOUT F.A., KOLIPINSKI M.C. (1967) .- Biological zonation related to groundwater discharge along the shore of Biscayne Bay. Miami (Floride) .- Reprinted from Estuaries., Am. Asa. for the Advancement of Science, p. 488-499.
KOHOUT F.A., MEYER E.L., SUN R.J. .- Submarine spring discharge using radioactive tracers - Discussions .- in Journ. of the hydraul. div., proceedings of the ASCE (USA), vol. 95, n° Hy 1, January 1969, p. 512-514.
KOHOUT F.A., SACHS M.S. (1970) .- Modifying the water balance by desalination in "Water Balance in North America., A. W. R. A.
KOLODIAJNAIA A. (1964) .- Influence of the chemical composition of atmospheric précipitations on sea-littorals upon karst fomation .- Memoires A.I.H., t. V, Réunion d'Athènes 1962, p. 249-255.
KOMATINA M. (1973) .- Groundwaters of the Crebia littoral karst under the natural and artificially modified conditions .- Manuscrit inédit remis à la Commission de l'hydrogéologie du karst de l'A. I. H.
KOVACEVIC S., KRULC Z. (1968) .- Some aspects of geoelectrical investigation for ground water in the Yugoslav karst region .- Mémoires A.I.H., vol. VIII, Réunion d'Istanbul 1967, p. 463-474.
LAUNAY L. de (1902) .- Traité des eaux minérales p. 490.
LAVERTY F.B., VAN DER GOOT H.A. (1955) .- Aménagement d'un barrage d'eau douce en Californie du Sud. (Conférence annuelle de Chicago) .- J.A.W.W.A., vol. 47, no 9, p. 886-908.
LEGRAND H.E., STRINGFIELD V.T. (1973) .- Karst hydrology. A review. - in Journ. of hydrology 20 (1973), p. 97-120. (en particulier p. 107 à 112 + références bibliographiques).

LOVE S.K. (1945) .- Cation-exchange in ground-water contaminated with sea-water near Miami, Florida .- Am. Geophys. Union, Washington 1944, Trans., PT. 6, p. 951-955.
MACAU-VILAR F. (1966) .- Détermination des niveaux phréatiques d'un massif calcaire à partir d'une exploration sous-marine préliminaire Serv. geol., Bol. Esp., no 23, p. 33-65.
MACAU-VILAR F. (1967) Détermination des niveaux phréatiques des eaux douces dans un massif calcaire de la Costa Brava (Espagne) à partir d'une exploration sous-marine préalable.- Publ. Assoc. Intern. Hydml. Sci., no 74, 1967, p. 455- 462.
MANDEL S. (1959) Mémoires A.I.H. vol. II, Réunion de Liège 1958, p. 48-52.
MANDEL S. (1964) .- The mechanism of sea-water intrusion into calcereous aquifers .- Internat. Assoc. Sci. Hydrology, Berkeley 1963, no 64, p. 127-131.
MARTEL E.A. (1921) .- Nouveau traité des eaux souterraines. Ed. DOIN - Paris
MARTIN A., MOUSSU H. (1967) .- Recharge artificielle de la nappe de Sébikotane (calcaires karstiques) par création d'une retenue d'eau au droit d'une vallée fossile quaternaire (sable) entaillant les calcaires .- Mémoires A.I.H., t. VIII, 1968., Congrès d'Istanbul, p. 256-264.
MERO F. (1964) .- Barbutium springs follow-up report (September 1963-ta May 1964) .- Tahal. Water planning for Israël 2TD, Tel Aviv, May 1964, P.N. 426.
MIJATOVIC B. (1963) .- Importance des recherches hydrogéologiques complexes des sources littorales et sous-marines dans le karst littoral .- Mémoires A.I.H., vol. IV, Réunion de Rome 1961., p. 76-80.
MIJATOVIC B. (1964) .- Contribution à la solution qualitative du problème de l'équilibre hydraulique de l'eau douce et salée dans les collecteurs du karst littoral .- Mémoires A.I.H., t. V, Réunion d'Athènes 1962, p. 184-193.
MIJATOVIC B. (1966) .- Les études sur les modèles du rapport des eaux douces et salées .- Mémoires A.I.H... vol. VI, Réunion de Belgrade 1963, p. 141-148.
MIJATOVIC B. (1967) .- Mécanisme hydraulique des nappes karstiques dans les bas collecteurs littoraux .- Bull. Inst. Rech. Geol. Geophys., t. VII, série B, p. 5-114, Belgrade 1967.
MIJATOVIC B. (1969) .- Méthodes géoélectriques dans la solution des problèmes hydrogéologiques ayant trait à la recherche des eaux souterraines dans le karst .- in Expert meeting on the role of hydrogeology and geophysics in ground water exploration, Budapest 1969.
MIJATOVIC B. (1973) .- Problème de la contamination des captages par l'eau salée dans les aquifères karstiques littoraux. - Rapport inédit, A.I.H. Commission de l'hydrogéologie du karst, réunion de Split, 3 octobre 1973.
MISTARDIS G. (1967) .- Influence des changements du niveau de la mer (au Pleistocène) sur l'hydrologie de l'Attique occidentale calcaire et des régions voisines .- Mémoires A.I.H., vol. VII, Réunion d'Hannovre 1965, p. 84-86.
MOULLARD L.. MIJATOVIC B., KAREH R., MASSAAD B. (1987) Exploitation d'une nappe karstique captive à exutoires sous-marins, problèmes posés et solution adoptée côte libanaise ' .- Publ. Assoc. Intern. Hydrol. sci., 1967, vol. 1., p. 237-250.
MOUSSU H.. MARTIN A. (1965) .- Essai de suralimentation de la nappe des calcaires de Sébikotane par la création d'une retenue. - Mémoires A.I.H. t. VII, 1967, Congrès d'Hannovre, p. 283-285.
MUNCK F. (1969) .- Quelques exemples d'applications géophysiques nouvelles dans la recherche d'eau douce en zone littorale française de la Méditerranée .- Expert meeting on the cooperative role of hydrogeology and geophysics in ground water explorations, Budapest, 1969, Dokument. Tajekoztato. 1-roda... nwn. 1-14., p. 1-12.
PALOC H. (1971) .- Détection, étude et captage des sources sous-marines karstiques. Possibilités et tendances actuelles. - 2èm colloque international de spéléologie., Athènes, 29 août-1er septembre 1971 (sous presse).
PAVLIN B. (1973) .- Formation des barrages souterrains et utilisation des barrages souterrains naturels pour la réalisation de réservoirs souterrains dans la région maritime karstique des sources et leur protection contre les eaux de mer. - Commission internationale des grands barrages Q40-R33.
REINA C., MONGELLI F. (1966) .- Regime termico di une falda di acquo dolce proggiante in equilibrio sulle acque marine .- Mémoires A.I.H., vol. VI., Réunion de Belgrade 1963, p. 229-231.
REVELLE R. (1941) .- Criteria for recognition of sea water in ground-water Am. Geophys. Union. Trans., v. 22, PT. 3 p. 593-597.
ROBINOVE C.J. (1965) .- Infrared photography end imagery in water resources research . - in Journal Armrican Water Workg Ass. (U.S.A.), 57, 7, p. 834-840.

ROGLIC J. (1965) .- The depth of the fissure circulation of water and the evolution of subterranean cavities in the dinaric karst .- Internat. Speleol. Conf., BRNO 1964, Problems Speleot. Research,, p. 25-35.
SALVI A. (1969) .- Localisation d'une cavité karstique par des mesures magnétiques statiques .- (C.E.N.G. - S.E.M.) Rapport inédit.
STEFANON A. (1972) .- Capture end exploitation of submarine springs. - in Oceanology international, Congrés de Brighton, March 1972, p. 427-430.
STEFANON A., COTECCHIA F. (1969) .- Prime notizie sulle caratteristiche di afflusso e sulle modalita di Investigazione delle sorgenti subacque ai fini di una loro captazione .- in Quaderni de La Ricerca Scientifica, n° 58, p. 165-195.
WAIT R.L. and CALLAHAN J.T. (1965) .- Relations of fresh and salty groundwater along the southeastern U.S. Atlantic coast. Ground water, v. 3, n" 4, p. 3-17.
WENTWORTH Ch.K. (1951).- The process and progress of salt wate encroachment. , A.I.H.S., Ass. gén. Bruxelles 1951., t. 2, p. 238-248, (publ. n° 33).
ZEKTZER I.S., IVANOV V.A., MESKHETELI A.V. (1973) .- The problem of direct groundwater discharge to the seas .- Journal of Hydrology, 20, 1973, p. 1-36 (très importante bibliographie).
ZORZI Ing.L. (1958) .- Possibilité de prélèvement d'eau douce des nappes soutenues par des eaux saumâtres .- Internat. Assoc. Sci. Hydrology, Toronto 1957, Comptes rendus, n" 44, p. 318-326.

F / ANNEXES

F / 1. - DONNEES PLUVIOMETRIQUES - MOYENNE 1951-1970 - (source : Météorologie Nationale)

F / 2. - INVENTAIRE SPELEOLOGIQUE SIMPLIFIE DU VAR ET DES BOUCHES-DU-RHONE

F / 3. - LISTE ET COORDONNEES LAMBERT DES PRINCIPAUX INDICES CITES DANS LE TEXTE ET CLASSES PAR ORDRE ALPHABETIQUE

F / 4. - LISTE ET COORDONNEES LAMBERT DES PRINCIPAUX INDICES CITES DANS LE TEXTE ET CLASSES PAR COMMUNE

F / 5. - INVENTAIRE DES TRAÇAGES DANS LA ZONE D'ETUDE

Précipitations cumulées : moyennes de 1951 à 1970
source : Météorologie Nationale

13 - Bouches du Rhône

Altitude (m)	Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE	O
173	Aix-en-Provence (Galice MN)	45	50	47	45	45	43	25	35	60	85	80	70	630	5
299	Aix-en-Provence Puyricard	40	45	45	40	45	43	25	40	60	75	70	62	590	6
215	Aix-en-Provence (ville MN)	45	50	45	45	45	45	20	35	65	75	70	65	605	5
8	Arles (ville)	49	59	54	45	46	52	19	49	101	99	94	61	728	1
1	Arles (Salins de giraud)	38	42	43	35	35	25	12	31	70	102	72	64	569	1
1	Arles (Tour du Valat)	45	50	45	40	40	30	20	30	65	95	70	60	590	5
1	Arles (Salins de Badon)	40	45	45	40	35	25	13	33	75	100	75	65	591	7+
131	Aubagne	61	70	52	48	47	37	13	34	80	83	93	77	695	1
15	Barbentane	40	50	50	40	55	45	20	50	90	80	70	60	650	6
328	Bec -de-l' Aigle	45	58	49	42	36	31	8	24	72	82	79	67	593	1
2	Berre-l'Etang	37	47	39	39	37	34	15	37	74	75	71	64	569	3
163	Cabriès (Réaltort)	40	53	40	35	45	40	15	30	60	70	70	60	558	5
4	Carry-le-Haut	38	45	47	30	30	25	10	25	60	60	60	60	490	6
5	Cassis	60	69	60	48	41	35	9	32	87	102	98	84	725	2
32	Châteaurenard	34	51	45	41	52	48	19	46	76	81	75	60	628	2
40	Ciotat, la (PV)	50	55	50	45	40	32	10	25	70	85	75	70	607	6
195	Cuges-les-Pins	60	78	63	53	41	31	18	32	87	90	102	96	751	1
90	EyguiÃ res	40	50	50	45	48	42	15	40	85	75	80	60	630	5
23	Eyragues	40	50	50	40	45	45	15	45	80	85	80	65	640	6
53	Fare-les-Oliviers, la	32	49	39	36	39	34	16	38	65	62	63	56	529	3
283	Gardanne	52	57	48	45	47	45	15	33	73	87	95	76	673	1'
128	Gémenos	61	73	52	45	45	37	15	32	85	80	95	80	700	5
15	Graveson (EDF)	36	51	45	40	51	47	19	41	79	83	72	58	622	4
318	Gréasque	50	60	55	50	55	50	25	40	80	95	100	80	740	5+
24	Istres-le-Tubé (MN)	34	40	42	37	33	31	14	32	73	73	65	59	533	1
235	Jouques (Pont-de-Mirabeau)	40	55	50	45	50	50	18	40	65	75	75	65	628	5+
195	Lambesc	45	57	60	45	45	45	15	40	75	75	75	70	647	5
113	Mallemort (Janet)	41	57	50	46	48	59	17	41	88	75	77	65	664	1'
145	Mallemort (EDF)	39	57	50	47	50	51	18	37	85	75	79	63	651	4
4	Marseille-Marignane (MN)	36	49	40	35	38	33	13	27	65	67	69	61	533	1
75	Marseille-obs. (MN)	41	57	43	43	38	35	13	31	70	81	82	73	607	1
35	Marseille (phare de Mourepiane)	28	34	29	29	29	29	8	24	60	60	57	50	437	2
6	Marseille (phare du Planier)	30	34	34	25	27	21	8	15	51	69	54	54	422	1'
137	Marseille (St-Barnabé)	45	50	42	35	36	35	13	27	70	75	72	65	565	5
121	Marseille (Ste-Marthe)	30	50	35	35	35	30	13	30	50	70	70	55	503	5
6	Martigues (phare du Cap Cour,)	41	49	41	37	33	29	11	27	72	74	70	68	552	1
27	Martigues (sém. Du Cap Cour,)	40	45	40	36	35	25	12	25	70	72	70	70	540	5
77	Penne-s-Huveaune, la	52	70	48	46	45	36	14	36	75	90	90	79	681	1'
80	Penne-s-Mirabeau, les	40	50	40	35	35	35	13	25	60	70	65	60	528	6
210	Peyrolles-en-Pve	40	48	43	45	50	53	18	32	69	77	78	56	609	4
65	Plan d'Orgon (EDF)	37	54	48	43	45	41	14	41	92	86	76	69	646	4
8	Port-de-Bouc	36	50	41	37	34	28	13	28	74	78	63	69	551	3
2	Port-St-Louis-du-Rhône	39	46	43	37	34	25	13	33	68	81	73	55	547	2
186	Rognes	40	55	45	45	45	45	20	40	75	75	75	60	620	5
276	Roquefort -la- Bédoule	64	70	59	48	41	37	18	33	83	97	96	86	732	1'
235	Rousset (Mas le Défend)	38	49	43	41	40	45	17	34	69	77	78	61	592	1'
4	St-Chamas	36	49	45	39	37	36	15	39	70	68	67	60	561	1'
2	Stes-Maries-de-la-Mer	35	40	45	35	37	25	12	30	60	100	70	60	549	6+
21	St-Martin-de-Crau	39	51	39	36	39	40	15	37	77	79	74	52	578	1'
12	St-Martin-de Crau (Verg,)	40	50	45	40	40	35	20	35	75	80	75	55	590	5
21	St-Martin-de-Crau (PC)	40	50	43	35	42	36	15	35	75	76	78	55	0	6
261	St-Paul-lès-Durance (Cadarache EDF)	45	47	45	50	55	50	25	35	70	70	80	55	630	5
296	St-Paul-lès-Durance (Cadarache centr,)	43	47	45	50	55	55	20	35	65	70	80	55	590	5
58	St-Rémy-de-Prov,	46	55	51	42	46	44	17	48	85	89	79	64	605	1'
60	Salon-de-Provence (MN)	36	53	45	41	36	39	18	42	76	69	64	57	728	1
65	Salon-de-Pce (Dom, du Merle)	37	54	47	43	40	40	20	45	80	75	70	60	569	6
9	Tarascon	35	49	48	43	43	42	17	45	85	86	77	57	590	3
248	Trets	47	56	47	45	46	42	24	39	74	82	91	78	591	1'

83 -Var															
Alt (m)	Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	annee	O
310	Adrets -de-l' Esterel. les	93	101	88	81	61	53	21	33	99	122	185	121	1058	2
830	Aiguines (bourg)	60	75	75	70	70	75	45	50	70	95	120	95	900	4
920	Aiguines (EDF)	65	75	80	80	80	80	40	60	80	100	140	100	980	6
100	Arcs, les	72	73	75	63	46	55	20	28	82	104	146	111	875	1'
500	Aups	52	62	61	75	59	66	23	43	74	92	120	89	816	1'
30	Bandol	61	62	51	41	36	25	6	27	72	75	81	76	613	2
256	Barjols	60	70	65	65	55	60	20	35	75	90	110	90	795	6
630	Beaudinard (bourg)	50	55	55	55	60	60	30	40	75	75	95	70	720	6
510	Beaudinard.(.EDF)	45	50	50	50	50	60	30	40	60	70	80	65	650	6
170	Beauset, le	59	70	59	56	41	30	15	31	77	88	101	94	721	3
175	Bénat. cap (sém.)	50	60	55	45	30	25	10	20	60	80	75	70	580	7+
215	Brignoles	74	91	80	68	55	53	16	25	95	125	145	112	939	1
850	Brovès	90	100	90	100	90	80	40	60	100	140	180	130	1200	6
171	Cabasse (barrage)	65	75	75	70	55	50	20	30	90	100	140	100	870	7
380	Callas	84	92	87	83	63	62	23	35	87	133	169	117	1035	1'
110	Camarat, cap (sém.)	67	80	69	46	33	22	13	25	71	89	116	86	717	1
420	Castellet, le (aéro)	60	70	80	70	50	35	15	35	80	90	110	100	795	8
22	Cavalaire-s-Mer	90	111	93	57	35	28	9	24	74	112	151	115	899	1'
131	Cépet, cap (sém.)	70	80	70	50	40	30	10	25	70	95	100	85	725	8
985	Chateauvieux	65	77	76	85	75	93	42	58	74	114	148	99	1006	11
153	Collobrières	92	135	109	70	50	43	15	29	99	118	158	141	1059	1
885	Comps -s -A rtuby	72	85	79	85	68	81	35	60	89	122	167	117	1060	1'
380	Cotignac	56	62	67	67	61	66	22	36	81	94	110	86	808	4
39	Crau. la	80	89	83	57	34	32	8	30	68	109	119	96	805	4
185	Cuers (les AnduÃ´s)	78	96	84	60	48	48	16	29	95	118	133	102	907	1
185	Draguignan	66	76	74	66	52	54	16	29	78	103	136	98	848	1'
126	Dramont, sém. du	75	85	60	60	45	45	15	25	85	90	150	95	830	6
450	Ginasservis	45	50	55	55	60	60	25	50	65	75	90	60	690	6
150	Gonfaron	76	94	81	64	48	40	16	28	86	115	136	113	897	1
80	Grimaud	100	110	95	65	40	35	15	30	80	120	170	130	990	6
2	Hyères (base aéro, MN)	65	78	70	55	45	30	10	30	70	90	95	90	728	6
205	Lorgues	64	72	69	66	48	61	21	28	83	110	136	97	855	3
95	Luc, le (MN)(Cne du	73	77	77	62	46	56	17	32	94	109	143	105	891	1
800	Mons	80	85	90	90	72	88	28	48	96	132	169	112	1090	1'
679	Plan-d'Aups	88	103	100	71	74	66	17	37	104	120	151	127	1058	3
388	Pontévès	57	64	67	63	60	61	17	40	82	93	108	79	791	4
146	Porquerolles.île de	53	57	61	40	29	25	8	20	55	80	80	75	583	1
275	Pourrières	57	69	63	51	49	50	21	39	76	88	97	89	749	2
542	Régusse (bourg)	48	54	53	56	59	58	27	39	73	81	97	70	715	1'
369	Régusse (barrage de Quinson)	50	54	51	55	65	55	30	35	70	80	90	70	705	6
381	Rians	62	66	61	50	57	60	23	39	80	82	101	78	759	2
15	Roquebrune-s-Argens	80	95	85	65	40	50	20	30	90	110	170	120	955	6
368	Roquebrussanne, la	95	110	90	80	70	50	20	40	110	120	160	105	1050	6
442	St-Julien (hameau)	37	49	50	51	56	71	23	44	61	67	94	66	669	2
10	Ste-Maxime	96	104	98	64	45	46	17	27	91	133	165	139	1025	1'
305	St-Maximin-la-Ste-Baume	79	79	75	62	56	58	26	42	77	102	128	107	891	2
2	St-Raphael-Fréjus (MN)	68	85	62	56	39	45	13	26	84	99	140	94	811	1'
18	St-Raphael (P. C. le Trayas)	80	100	70	60	40	45	15	35	90	100	160	95	890	5
496	St-Raphael (Pic-de-l'Ours)	85	110	80	65	45	45	15	30	90	110	160	90	925	6
371	Signes	95	95	85	65	60	45	20	35	100	105	140	125	970	5
28	Toulon (la Mitre, MN)	60	69	65	51	39	28	9	25	67	86	92	88	679	1
45	Toulon (ville)	76	86	82	60	49	35	12	31	77	105	117	107	837	1
366	Tourrettes	74	82	91	75	62	64	23	37	84	117	163	111	983	1'
770	Trigance	61	76	70	80	76	73	38	56	71	112	134	96	943	1'
780	Verignon	70	75	70	85	65	75	25	45	85	100	130	95	920	5

20 - Corse															
Alt (m)	Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE	O.
4	Ajaccio (MN)	78	69	51	39	43	23	10	15	43	81	105	96	653	1
1074	Albertacce (MF de Popaja)	187	231	163	126	119	77	26	36	90	180	242	247	1724	2
10	Aléria (Casabianda)	75	71	74	49	35	21	9	19	54	85	91	96	679	1'
800	Bastélica	155	170	130	120	80	55	25	30	75	150	200	195	1385	4
11	Bastia-Poretta (MN)	62	69	60	50	33	30	10	22	49	90	94	97	666	1
12	Bastia (Lycée)	80	85	80	65	45	30	10	25	60	125	110	115	830	4
10	Bastia (P. C.)	76	76	70	58	39	29	8	22	48	113	101	112	752	3
310	Belgodère	74	74	67	53	43	37	11	15	63	67	105	98	707	2
610	Bocognano	140	160	120	90	80	55	20	25	70	150	180	190	1280	6
875	Calacuccia	110	120	90	65	55	40	20	25	65	90	145	140	965	4
325	Calcatoggio	99	91	63	62	56	26	11	18	54	87	144	120	831	2
57	Calvi (ste-Catherine, MN)	75	80	65	50	40	35	10	20	60	75	110	90	710	5
980	Carbini (MF de Marghèse)	171	199	182	121	91	47	26	28	86	189	215	249	1604	3
290	Cavallo, Cap (sém.)	53	55	47	36	33	22	7	17	50	75	97	76	568	1'
326	Cervione	107	119	127	88	53	30	26	34	69	113	142	159	1067	2
110	Corse Cap (sém.)	55	45	40	35	25	20	5	20	50	55	75	65	490	5
500	Coti -Chiavari	78	73	62	44	42	19	6	12	49	84	113	103	685	3
835	Evisa	142	172	116	94	82	46	15	31	93	157	214	223	1385	2
658	Ghisoni	120	140	130	90	60	50	20	30	80	140	160	200	1220	6
50	Ile-Rousse. (phare)	38	35	30	25	24	19	3	13	20	47	50	48	352	3
15	Ile-Rousse (foyer agricole)	45	45	55	45	30	20	10	20	30	60	90	70	520	6+
652	Levie	140	145	120	70	70	40	20	30	60	130	140	150	1115	7
520	Motta	109	128	155	90	62	43	20	25	71	119	156	190	1168	2
198	Morosaglia	80	85	65	55	50	30	15	20	50	80	85	110	725	5
140	Nonza	74	88	81	54	39	28	6	17	44	78	84	92	685	2
280	Ocana (EDF. Barrage)	112	119	88	67	75	32	17	22	69	106	148	139	994	1'
980	Palneca (MF de st Antoine)	200	250	170	125	110	60	25	40	120	195	210	270	1775	6
152	Parata, pte de la (sem,)	58	49	39	29	33	16	5	8	36	61	89	86	509	3
109	Pertusato, cap (sem,)	46	55	49	29	31	19	6	7	30	62	72	74	480	1
470	Petreto-Bicchisano	92	96	86	62	52	27	15	15	57	97	143	141	883	3
100	Pianotolli -Caldarello	70	70	68	38	35	23	5	21	38	73	85	95	621	3
636	Piedicroce	100	113	111	80	66	50	33	31	79	104	123	133	1023	2
360	Pila-Canale	108	108	71	58	54	28	14	27	57	101	138	130	894	3
67	Porto-Vecchio (sem,)	80	80	80	40	30	20	5	10	45	90	95	105	680	5
6	Propriano	73	60	56	36	37	20	8	14	44	75	104	90	617	3
680	Ouenza	180	220	180	130	80	50	20	40	80	200	240	260	1680	5
20	st-Florent	48	57	54	40	31	30	6	17	34	62	67	80	526	2
450	ste-Lucie -de- Tallano	124	128	92	57	63	34	17	22	46	100	109	129	921	2
450	ste-Marie-et-siché	123	151	97	69	72	33	17	21	65	114	158	159	1079	2
3	sari-di-Porto-Vecchio	81	77	90	66	34	25	9	15	54	108	91	102	752	4
300	Sartène	76	75	65	42	46	23	10	14	52	90	104	107	704	3
500	Ucciani	134	159	116	89	78	49	18	24	72	143	178	178	1238	3
571	Venaco	95	134	96	87	68	42	21	28	59	109	151	181	1071	3
17	Ventiseri (Solenzara MN)	90	95	100	65	40	25	15	20	55	100	90	130	825	5
350	Vico	112	134	92	69	65	37	12	24	59	120	159	147	1030	2
96	Vignale (edf)	84	94	96	68	39	33	12	24	55	101	111	142	859	2
1000	Vivaria (MF)	200	230	180	140	120	70	25	35	90	200	250	260	1800	6

Légendes:

O = Durée de la série:

1 Série complète.
1' Série où manquent quelques jours ou quelques mois.
2 Série avec une ou deux années manquantes.
3 Série avec 3 à 5 années manquantes.
4 Série avec 6 à 7 années manquantes.
5 Série avec 8 à 10 années manquantes.
6 Série avec 11 à 15 années manquantes.
7 Série avec 16 à 17 années manquantes.
8 Série ne comprenant qu'une ou deux années.
+ Série antérieure réduite à la période 1951-1970.

Inventaire des principales cavités du sud des Bouches du Rhône (nom / profondeur / développement / commune. d'après Courbon & Parein, (1991)

Bestouan (émergence de) -30 / 3495 / Cassis
Brailles (résurgence des) / +36 / 1135 / Auriol
Encanaux (gouffre des) / - 130 / 1800 / Auriol
Espérance (gouffre de l') / 105 / ? / Auriol*
Gorguette (aven de la) / - 130 / 200 / Cassis
Grand Draïoun / - 200 / 2000 / Cassis
Logisson (aven du) / 100 / 110 / Marseille
Port-Miou (émergence de) -147 / 2700 / Cassis
Quatre Trous ou Marseillais (aven des) / 173 / 250 / Marseille
Trionne (complexe de) / 152 / Cassis

Inventaire des principales cavités du sud du Var (nom / profondeur / développement / commune / (n° fichier Var). d'après CDS 83)

Ajoncs (aven des) / -117 / Evenos / (2053009)
Castelette (grotte de la) / +78 -8 / Nans-les-Pins / (3087006)
Caveau (gouffre du)/ -341 / Sollies-Toucas / (2131012)
Cercueil (gouffre du)/ -238 / Sollies-Toucas / (2131013)
Cierge (Le) / Le Revest-les-Eaux / -125 / (2103019)
Clos Del Fayoun / -140 / 600 / Aiguines / (3002003)
Cyclopibus (Cyclope) (aven)/ -375 / Signes / (2127033)
Dragon (gouffre du) / -42 / Signes / (2127037)
Ecureuil (Gouffre de l') / Nans-les-Pins / -126 /
Escampo Pissadou (event de l') / Méounes / -35 / 3 -
Etrier (Grand Aven de l') / Signes / -152 / (2127042)
Fenouil (aven du) / -127 / Sollies-Toucas / (2131021)
Foux de Sainte Anne d'Evenos / Evenos / 450 / (2053083)
Jas de Laure (Grand aven du) / -157 / Signes / (2127055)
Jean Pierre Claustre (aven)/ Signes / -112 / (2127058)
Lys Martagon (gouffre du) / Sollies-Toucas / -123 / (2131054)
Marquis (Gouffre du) / -33 / 96 / Signes / (2127144)
Maramoye / Le Beausset / -140 / 1170 / (2016007)
Mocrouis (Aven de) / Aiguines / -117 / (3002063)
Mouisseaux (Rivière souterraine de) / Besse-sur-Issoles / 1700 m / (3018002)
Muguet (aven du) / -127 / Sollies-Toucas / (2131027)
Néoules (Baume de) / 2300 / Néoules / (3088001)
Palan (aven du) / -101 / Signes / (2127080)
Petit Saint-Cassien (gouffre du) / -321 / Nans-les-Pins / (3087011)
Planesselve (rivière souterraine de) / Méounes / -54 / 3 / (3077028)
Rampins (grotte des) / Méounes / 1600 / (3077008)
Rato-Penado (grotte de) - (Rate Penate, Rates Penates) / Méounes / -12 / 3 / (3077030)
Regaïe de Néoules / Néoules / 1260 / (3088002)
Ripelle (aven de la)/ Le Revest-les-Eaux / -102 / (2103052)
Sabre (Réseau) / Mazaugues / +78 à -7 / 4268 / (3076010)
Sarcophage / -362 / Evenos / (2053085)
Scialet du Mont Caumes / -116 / 100 / Evenos / (2053062)
Signoret (gouffre du) / Méounes / -81 / 3 / Brignoles / (3077017)
Solitude / Signes / -200 / (2127106)
Souche (Aven de la) - (Aven Dandu) / Comps-sur-Artuby / -117 / 248 / (1044001)
Thème (Rivière de) / Besse-sur-Issoles / -27 / 2350 / (3018001)
Trou du vent qui siffle / -200 / Signes / (2127164)

ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX
tableau des indices hydrogéologiques (émergences, rivières souterraines, grottes et gouffres à siphons)

LES DONNEES MARQUEES D'UN ASTERISQUE SONT A VERIFIER

	nature	nom	dépt.	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Qmoy	Qmax	Qminl	temp.
	gouffre	**Ajoncs**	83	*Evenos*	886,575	3107,250	**520**	887,082	1807,261	-117					
*	sources	**Anse de Lauron**	13	*Martigues*	817,902	3120,674	**0**	818,265	1820,585						
	source	**Aquilé**	83	*Bras*	892,000	3136,543	**260**	892,455	1836,614						
	source	**Argens**	83	*Seillons*	888,646	3140,056	**270**	889,089	1840,126			500			
*	sources thermales d'	**Arnette 1**	13	*Martigues*	818,452	3118,477	**0**	818,820	1818,385			faible			35
*	sources thermales d'	**Arnette 2**	13	*Martigues*	817,889	3118,563	**-15**	818,255	1818,470			faible			35
*	sources thermales d'	**Arnette 3**	13	*Martigues*	818,087	3118,053	**-10**	818,455	1817,960			faible			35
	source	**Beaupré**	83	*Signes*	889,570	3115,090	**310**	890,066	1815,121			60			
*	source sous marine	**Bec de l'Aigle**	13	*La Ciotat*	?	?	**?**	?	?						
*	source temporaire	**Bertrandière**	13	*La Ciotat*	864,860	3101,980	**60**	865,338	1801,939						
	source sous marine	**Bestouan**	13	*Cassis*	859,665	3106,568	**-10**	860,125	1806,525		2740				
*	source sous marine	**Bolmon**	13	*Bolmon*	?	?	**?**	?	?						
	source	**Bonnefont**	83	*Ollioules*	885,650	3099,757	**55**	886,170	1799,752			20			
	source de	**Boudouvin**	83	*Valette*	896,110	3101,140	**135**	896,647	1801,159			35			
	émergence	**Brailles (Glacière)**	13	*Auriol*	869,190	3121,290	**310**	869,639	1821,291	22	1135				
	grotte	**Brando**	2B	*Brando*	583,280	4277,250	**88**	1184,260	1778,190		80				
	source marine	**Cala de Bonifacio**	2A	*Bonifacio*	569,150	4122,300	**-5**	1171,170	1622,650						
	source	**Cala di Labra**	2A	*Bonifacio*	573,000	4120,200	**10**	1175,050	1620,565						
	source	**Calissane**	13	*St Chamas ?*	826,989	3142,373	**20**	827,332	1842,333				500		
	source	**Capello**	2A	*Bonifacio*	570,100	4122,800	**5**	1172,125	1623,160						
	source du	**Caramy**	83	*Mazaugues*	890,730	3122,540	**420**	891,212	1822,586			78			
	perte	**Caranquet (Cuges ouest)**	13	*Cuges*	871,416	3112,745	**160**	871,885	1812,735						
	grotte	**Castelette**	83	*Nans les Pins*	877,350	3121,800	**590**	877,811	1821,818	78	1880				
*	source sous marine	**Castel-Viel**	13	*Cassis*	?	?	**?**	?	?						
	grotte	**Castiglione**	2B	*Oletta*	570,???	4264,???	**?**	1171,???	1764,???		100				
	source-galerie	**Castigneau**	83	*Toulon*	arsenal										
*	perte	**Chibron**	83	*Signes*	883,056	3115,412	**415**	883,540	1815,430						
	grotte sous-marine	**Cosquer**	13	*Marseille*	852,915	3105,091	**-36**	853,365	1805,033						
	source de	**Cote des Calanques**	13	*Marseille*	850,780	3106,000	**0**	851,225	1805,940						
*	Embut de	**Coulin**	13	*Gemenos*	867,290	3113,870	**115**	867,749	1813,854						
*	forage de	**Coulin**	13	*Gemenos*	?	?	**140**	868.xxx	1813,xxx						
	perte	**Cuges sud**	13	*Cuges*	873,377	3112,621	**170**	873,850	1812,615						
	grotte rivière	**Dardennes**	83	*Toulon*	890,560	3100,150	**20**	891,089	1800,156	15		12	31		16
	lac-source	**Dardennes-Ragas**	83	*Revest*	892,200	3103,800	**120**	892,724	1803,816			500			

	nature	nom	dépt.	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Qmoy	Qmax	Qminl	temp.
	gouffre	**Encanaux**	13	*Auriol*	870,700	3120,692	**420**	871,152	1820,695						
	source des	**Encanaux inférieure**	13	*Auriol*	869,846	3121,827	**268**	870,295	1821,830						
	source temporaire des	**Encanaux petits trous**	13	*Auriol*	870,200	3121,320	**300**	870,650	1821,323						
	source	**Encanaux sup. ou Genêt**	13	*Auriol*	870,133	3121,410	**290**	870,583	1821,413						
	gouffre	**Escandaou**	13	*Cuges-les-Pins*	873,250	3117,747	**892**	873,712	1817,750						
	sources	**Estaque**	13	*Marseille*	839,658	3122,071	**0**	840,055	1822,020						
*	source marine	**Figuerolles**	13	*La Ciotat*	865,080	3101,560	**0**	865,559	1801,518						
	grotte sous-marine du	**Figuier**	13	*Marseille*	852,663	3105,396	**?**	853,082	1805,338						
	source	**Figuière**	83	*Tourves*	889,843	3125,847	**310**	890,317	1825,897			180			
	source de	**Font d'Alaman**	83	*Nans les Pins*	879,940	3126,720	**380**	880,396	1826,751			30			
	source	**Font de Thon**	83	*Solliès Toucas*	899,240	3106,988	**100**	899,770	1807,025			65			
	source	**Font Nègre**	83	*Solliès Toucas*	899,881	3106,945	**90**	900,412	1806,983			125			
	source	**Fontenette**	2B	*Barbaggio*	576,000	4266,270	**325**	1177,040	1767,140						
*	source de	**Fontsainte**	13	*La Ciotat*	868,290	3104,190	**0**	868,770	1804,159						
*	source sous marine	**Fos**	13	*Fos*	?	?	**?**	?	?						
	source	**Foux**	83	*Belgentier*	896,730	3110,950	**185**	897,247	1810,988			10			
	source temporaire	**Foux de Nans**	83	*Nans les Pins*	880,320	3123,530	**398**	880,783	1823,556	-114		63			
	source temporaire	**Foux de Sainte Anne**	83	*Evenos*	884,466	3103,108	**185**	884,977	1803,107			50			
	venues d'eau du	**galerie de la mer**	13	*galerie*	souterrain							500			
	source	**Glacière de Brando**	2B	*Brando*	583,300	4277,200	**40**	1184,280	1778,140	+15		35		5	
	gouffre sec	**Gorguette**	13	*Cassis*	860,360	3109,780	**205**	860,815	1809,744	-130					
	source	**Gours bénis**	83	*Bras*	891,689	3136,267	**260**	892,144	1836,337						
	gouffre	**Grand Clapier**	83	*Signes*	882,555	3120,055	**732**	883,029	1820,080						
	grotte	**Grand Draioun**	13	*La Ciotat*	862,460	3103,130	**241**	862,931	1803,086	-130	3000				
	pertes diffuses	**Grand Vallat**	13	*Gréasque*	859,996	3129,992	**300**	860,413	1829,990						
	source	**Grande Foux**	83	*Nans-les-Pins*	880,320	3123,530	**390**	880,783	1823,556	-39			xx	0	
	perte	**Haut Latay**	83	*Signes*	883,347	3118,751	**548**	883,825	1818,775						
	source	**Huveaune**	83	*Nans-les-Pins*	877,708	3122,010	**460**	878,170	1822,029						
	pertes	**Huveaune**	83	*Nans-les-Pins*	876,753	3123,531	**400**	877,210	1823,550						
	source marine	**Ile de Riou**	13	*Marseille*	846,925	3101,934	**-30**	847,370	1801,860						
*	source sous marine	**Ile verte**	13	*La Ciotat*	?	?	**?**	?	?						
	source	**La Dane (ou Adane)**	13	*La Barben*	829,932	3152,365	**120**	830,263	1852,345				110		
	perte	**Latay Chibron**	83	*Signes*	883,086	3115,412	**415**	883,570	1815,430						
	perte	**Latay Signes**	83	*Signes*	886,900	3115,475	**325**	887,390	1815,501						
*	source marine	**Lauron du Club nautique**	13	*St Chamas*	817,370	3141,307	**0**	817,700	1841,250						
*	source marine	**Lauron du Polygone**	13	*St Chamas*	817,669	3140,807	**0**	818,000	1840,750						
*	source marine	**Lauron du Port**	13	*St Chamas*	817,171	3142,056	**0**	817,500	1842,000						
	source	**Lavoir du Polygone**	13	*St Chamas*	817,936	3140,935	**1**	818,268	1840,878						
	source	**Lazare**	83	*Nans les Pins*	873,946	3126,434	**270**	874,392	1826,453						
	source	**Lecques**	83	*Tourves*	891,290	3127,376	**300**	891,763	1827,431			30			

	nature	nom	dépt.	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Qmoy	Qmax	Qmini	temp.
	source	**Lieutaud**	83	*Tourves*	891,070	3127,060	**280**	891,543	1827,114			80			
*	source sous marine	**Liouquet**	13	*La Ciotat*	?	?	**-7**	?	?						
	gouffre sec	**Logisson**	13	*Marseille*	856,640	3109,330	**275**	857,089	1809,287	-100					
	grottes	**Loubières**	13	*Marseille*	849,700	3123,047	**260**	850.112	1823,014						
	source	**Maîre des Fontaines**	83	*Ollioules*	885,685	3100,670	**95**	886,203	1800,667			30			
	aven des	**Marseillais**	13	*Marseille*	855,980	3106,966	**225**	856,430	1806,915						
	source	**Mascaron**	83	*Ollioules*	885,559	3100,750	**70**	886,077	1800,747			50			
	source chaude	**Mascaron (ou Labus)**	83	*Ollioules*	885,550	3100,400	**61**	886,069	1800,396			50	150	20	
	grotte	**Méjean**	13	*Ensuès-La Redon*	833,938	3118,381	**0**	834,332	1818,313						
	puits	**Méjean**	13	*Ensuès-La Redon*	834,000	3118,600	**?**	834,400	1818,500						
	source temporaire	**Meyronne**	83	*Seillons*	884,956	3138,395	**292**	885,396	1838,455			90			
	source sous marine	**Missiessy**	83	*Toulon*	890,931	3097,847	**-5**	891,465	1797,850						
	source	**Morgiou**	13	*Marsellle*	852,440	3106,260	**0**	852,887	1806,204						
	grotte fermée	**Morières (galerie SCP)**	83	*Sollies Toucas*	896,000	3108,000	**300**	896,522	1808,032	-100					
	source des	**Moulieres**	83	*Pourcieux*	880,700	3134,400	**415**	881,142	1834,445						
	grotte du tunnel	**Mussuguet**	13	*Cassis*	860,900	3109,950	**175**	861,356	1809,916						
	source	**Nayes**	83	*St Zacharie*	873,223	3124,916	**270**	873,671	1824,931			60			
	source temporaire	**Néoules**	83	*Néoules*	899,470	3117,950	**390**	899,977	1818,007						
*	sources	**Niolon**	13	*Le Rove*	836,743	3119,516	**0**	837,140	1819,455						
	forage ??	**nord Faille de la Mure**	13	*non localisé*	?	?	**?**								
*	source	**Oule**	13	*Marseille*	856,450	3105,300	**0**	856,906	1805,249						
*	source	**Petit Lavoir**	13	*St Chamas*	817,868	3140,957	**1**	818,200	1840,9						
	gouffre	**Petit St Cassien**	83	*Nans les Pins*	882,103	3122,984	**750**	882,570	1823,013	-310					
	source	**Peyruis**	83	*St Zacharie*	875,270	3122,850	**440**	875,726	1822,865			60			
*	lapiès	**Plateau de la Mure**	13	*Marseille*	cf. grottes Loubières										
*	source sous marine	**Pointe Cacau**	13	*Cassis*	?	?	**40?**	?	?						
*	source ??	**Ponteau nord**	13	*Martigues*	815,436	3123,921	**0**	815,790	1823,833						
*	source ??	**Ponteau sud**	13	*Martigues*	816,362	3122,641	**0**	816,720	1822,553						
	puits artificiel	**Port Miou**	13	*Cassis*	858,157	3106,176	**60**	858,615	1806,130						
	puits naturel	**Port Miou**	13	*Cassis*	858,060	3105,614	**30**	858,519	1805,567						
	source sous marine	**Port Miou**	13	*Cassis*	858,100	3105,600	**-11**	858,559	1805,553		2700				
	fissures actives	**Port Miou (port)**	13	*Cassis*	858,670	3106,200	**0**	859,129	1806,155						
	source sous marine	**Port Miou (trémie)**	13	*Cassis*	858,369	3105,861	**0**	858,828	1805,815						
	source marine	**Portissol**	83	*Sanary*	880,861	3096,265	**-5**	881,380	1796,244						
	venues mine	**puits de l'Arc**	13	*Fuveau*	865,044	3134,745	**224**	865,460	1834,760						
	forage de	**Puyricard**	13	*Cuges*	871,250	3113,488	**200**	871,717	1813,480						
	source	**Raby**	83	*Signes*	885,690	3117,870	**480**	886,173	1817,898			20			
	source temporaire	**Ragas**	83	*Revest*	892,489	3104,300	**148**	893,012	1804,318	-151					
	source temporaire	**Regaï de Néoules**	83	*Néoules*	898,970	3118,520	**350**	899,475	1818,576						
	gouffre	**Ripelle**	83	*Le Revest*	894,530	3102,780	**330**	895,060	1802,799	-102					

	nature	nom	dépt.	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Qmoy	Qmax	Qminl	temp.
	source littorale	**Roucas Blanc**	13	*Marseille*	846,174	3112,170	**0**	846,600	1812,113						
	sources salées	**Rouet**	13	*Carry le Rouet*	830,972	3118,722	**0**	831,360	1818,650						
	source	**Rouvière**	83	*Belgentier*	897,636	3109,497	**165**	898,158	1809,535			50			
	grotte réseau	**Sabre**	83	*Tourves*	890,493	3125,120	**307**	890,970	1825,170						
	grotte	**Saint Barthélémy**	2A	*Bonifacio*	569,800	4122,150	**2**	1171,830	1622,500						
*	source	**Saint Jean de Dieu**	13	*Marseille*	854,600	3105,800	**0**	855,052	1805,747						
	source	**Saint Julien**	2A	*Bonifacio*	572,250	4122,500	**30**	1174,290	1622,870						
	source	**Saint Philipp**	83	*Toulon*	893,267	3098,022	**15**	893,805	1798,030			20			
	source	**Saint Pons**	13	*Gemenos*	869,890	3115,590	**270**	870,351	1815,582						
	grotte	**Sdragonato**	2A	*Bonifacio*	568,900	4122,270	**0**	1170,920	1622,615		100				
*	source	**Seaux**	83	*Seillons*	888,393	3138,448	**270**	888,839	1838,51			179			
	source de la	**Servie**	83	*Méounes*	895,300	3115,930	**280**	895,804	1815,974			110			
	grotte	**Sisco**	2B	*Sisco*	584,150	4282,700	**0**	1185,090	1783,660	+ 30	100				
	source	**Sormiou**	13	*Marseille*	850,780	3106,000	**0**	851,225	1805,940						
	source marine	**Sormiou criques est**	13	*Marseille*	850,830	3105,909	**0**	851,275	1805,849						
	source marine	**Sormiou plage est**	13	*Marseille*	850,584	3105,908	**0**	851,029	1805,848						
	source marine	**Sormiou plage ouest**	13	*Marseille*	850,532	3105,788	**0**	850,977	1805,728						
	source marine	**Sormiou port**	13	*Marseille*	850,780	3105,968	**0**	851,225	1805,908						
	venues mine	**source 90**	13	*Gardanne*	mine		**-50**								
	venue mine	**source Ste Victoire**	13	*Gardanne*	mine		**-250**								
	source	**St Antoine**	83	*Toulon*	890,900	3100,180	**25**	891,429	1800,187	-112		165	1250	50	
	source marine	**Sugiton**	13	*Marseille*	853,332	3106,130	**0**	853,781	1806,075						
	grotte fermée	**Tete du Cade**	83	*Le Beausset*	884,000	3109,000	**306**	884,499	1809,009						
	perte	**Tourne**	83	*Plan d'Aups*	876,191	3120,731	**661**	876,653	1820,745						
	source temporaire	**Tourne**	13	*Gemenos*	870,566	3117,105	**420**	871,025	1817,101						
*	source	**Tourves**	83	*Tourves*	889,079	3130,494	**310**	889,542	1830,55			71			
	gouffre	**Trione 1**	13	*Carnoux*	861,710	3110,190	**230**	862,167	1810,158	-152					
	gte ss-marine de la	**Triperie**	13	*Marseille*	853,070	3105,157	**?**	853,520	1805,100						
*	grotte	**Trois Pépés**	13	*La Ciotat*	865,320	3102,200	**-15**	865,798	1802,160	-9					
	grotte	**tunnel du Mussuguet**	13	*Cassis*	860,900	3109,950	**175**	861,355	1809,915						
	venues d'eau du	**tunnel du Rove**	13	*tunnel*	souterrain							500			
		tunnel du Rove (entrée nor	13	*le Rove*	833,912	3126,299	**0**	834,293	1826,245						
		tunnel du Rove (entrée sud	13	*le Rove*	839,658	3122,071	**0**	840,055	1822,020						
	source	**Valaury**	83	*Solliès-Toucas*	879,250	3106,280	**185**	879,745	1806,274			75			
	pertes diffuses	**vallat de Cauvet A**	13	*Gardanne*	853,640	3130,872	**250**	854,045	1830,860						
	pertes diffuses	**vallat de Cauvet G**	13	*Gardanne*	855,695	3130,266	**310**	856,105	1830,257						
	perte du	**vallon des Vignoles**	13	*Cuges ?*	?	?	**?**	?	?						

ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX
tableau des indices hydrogéologiques (émergences, rivières souterraines, grottes et gouffres à siphons)
classés par commune

LES DONNEES MARQUEES D'UN ASTERISQUE SONT A VERIFIER

13 - DEPARTEMENT DES BOUCHES DU RHONE

	nature	nom	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Q m	Q max	Q mini	temp.
	source temporaire des	Encanaux petits trous	*Auriol*	870,200	3121,320	**300**	870,650	1821,323						
	source des	Encanaux inférieure	*Auriol*	869,846	3121,827	**268**	870,295	1821,830						
	source	Encanaux sup. ou Genêt	*Auriol*	870,133	3121,410	**290**	870,583	1821,413						
	source	Brailles (Glacière)	*Auriol*	869,190	3121,290	**310**	869,639	1821,291	22	1135				
	gouffre	Encanaux	*Auriol*	870,700	3120,692	**420**	871,152	1820,695						
*	source sous marine	Bolmon	*Bolmon*	?	?	**?**	?	?						
	gouffre	Trione 1	*Carnoux*	861,710	3110,190	**230**	862,167	1810,158	-152					
	sources salées	Rouet	*Carry le Rouet*	830,972	3118,722	**0**	831,360	1818,650						
	source sous marine	Bestouan	*Cassis*	859,665	3106,568	**-10**	860,125	1806,525		2740				
*	source sous marine	Castel-Viel	*Cassis*	?	?	**?**	?	?						
*	source sous marine	Pointe Cacau	*Cassis*	?	?	**40?**	?	?						
	source sous marine	Port Miou	*Cassis*	858,100	3105,600	**-11**	858,559	1805,553		2700				
	source sous marine	Port Miou (trémie)	*Cassis*	858,369	3105,861	**0**	858,828	1805,815						
	puits artificiel	Port Miou	*Cassis*	858,157	3106,176	**60**	858,615	1806,130						
	grotte du tunnel	Mussuguet	*Cassis*	860,900	3109,950	**175**	861,356	1809,916						
	grotte	tunnel du Mussuguet	*Cassis*	860,900	3109,950	**175**	861,355	1809,915						
	gouffre sec	Gorguette	*Cassis*	860,360	3109,780	**205**	860,815	1809,744	-130					
	gouffre	Port Miou	*Cassis*	858,060	3105,614	**30**	858,519	1805,567						
	fissures actives	Port Miou (port)	*Cassis*	858,670	3106,200	**0**	859,129	1806,155						
	perte du	vallon des Vignoles	*Cuges-les-Pins*	?	?	**?**	?	?						
	perte	Caranquet (Cuges ouest)	*Cuges-les-Pins*	871,416	3112,745	**160**	871,885	1812,735						
	perte	Cuges sud	*Cuges-les-Pins*	873,377	3112,621	**170**	873,850	1812,615						
	gouffre	Escandaou	*Cuges-les-Pins*	873,250	3117,747	**892**	873,712	1817,750						
	forage de	Puyricard	*Cuges-les-Pins*	871,250	3113,488	**200**	871,717	1813,480						
	puits	Méjean	*Ensuès-La R.*	834,000	3118,600	**?**	834,400	1818,500						
	grotte	Méjean	*Ensuès-La R.*	833,938	3118,381	**0**	834,332	1818,313						
*	source sous marine	Fos	*Fos*	?	?	**?**	?	?						
	venues mine	puits de l'Arc	*Fuveau*	865,044	3134,745	**224**	865,460	1834,760						
	venues d'eau	galerie de la mer	*galerie*	souterrain							500			
	pertes diffuses	vallat de Cauvet A	*Gardanne*	853,640	3130,872	**250**	854,045	1830,860						
	pertes diffuses	vallat de Cauvet G	*Gardanne*	855,695	3130,266	**310**	856,105	1830,257						

	nature	nom	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Q m	Q max	Q mini	temp.
	source temporaire	Tourne	*Gemenos*	870,566	3117,105	**420**	871,025	1817,101						
	source	Saint Pons	*Gemenos*	869,890	3115,590	**270**	870,351	1815,582						
*	forage de	Coulin	*Gemenos*	?	?	**140**	868.xxx	1813,xxx						
*	Embut de	Coulin	*Gemenos*	867,290	3113,870	**115**	867,749	1813,854						
	pertes diffuses	Grand Vallat	*Gréasque*	859,996	3129,992	**300**	860,413	1829,990						
	source	La Dane (ou Adane)	*La Barben*	829,932	3152,365	**120**	830,263	1852,345				110		
*	source temporaire	Bertrandière	*La Ciotat*	864,860	3101,980	**60**	865,338	1801,939						
*	source sous marine	Bec de l'Aigle	*La Ciotat*	?	?	**?**	?	?						
*	source sous marine	Ile verte	*La Ciotat*	?	?	**?**	?	?						
*	source sous marine	Llouquet	*La Ciotat*	?	?	**-7**	?	?						
*	source marine	Figuerolles	*La Ciotat*	865,080	3101,560	**0**	865,559	1801,518						
*	source de	Fontsainte	*La Ciotat*	868,290	3104,190	**0**	868,770	1804,159						
	grotte	Grand Draioun	*La Ciotat*	862,460	3103,130	**241**	862,931	1803,086	-130	3000				
*	grotte	Trois Pépés	*La Ciotat*	865,320	3102,200	**-15**	865,798	1802,160	-9					
	tunnel	tunnel du Rove (entrée nord	*Le Rove*	833,912	3126,299	**0**	834,293	1826,245						
	tunnel	tunnel du Rove (entrée sud)	*Le Rove*	839,658	3122,071	**0**	840,055	1822,020						
	venues d'eau du	tunnel du Rove	*Le Rove*	souterrain							500			
*	sources	Niolon	*Le Rove*	836,743	3119,516	**0**	837,140	1819,455						
	sources	Estaque	*Marseille*	839,658	3122,071	**0**	840,055	1822,020						
	source marine	Ile de Riou	*Marseille*	846,925	3101,934	**-30**	847,370	1801,860						
	source marine	Sormiou criques est	*Marseille*	850,830	3105,909	**0**	851,275	1805,849						
	source marine	Sormiou plage est	*Marseille*	850,584	3105,908	**0**	851,029	1805,848						
	source marine	Sormiou plage ouest	*Marseille*	850,532	3105,788	**0**	850,977	1805,728						
	source marine	Sormiou port	*Marseille*	850,780	3105,968	**0**	851,225	1805,908						
	source marine	Sugiton	*Marseille*	853,332	3106,130	**0**	853,781	1806,075						
	source littorale	Roucas Blanc	*Marseille*	846,174	3112,170	**0**	846,600	1812,113						
	source de	Cote des Calanques	*Marseille*	850,780	3106,000	**0**	851,225	1805,940						
	source	Morgiou	*Marseille*	852,440	3106,260	**0**	852,887	1806,204						
*	source	Oule	*Marseille*	856,450	3105,300	**0**	856,906	1805,249						
*	source	Saint Jean de Dieu	*Marseille*	854,600	3105,800	**0**	855,052	1805,747						
	source	Sormiou	*Marseille*	850,780	3106,000	**0**	851,225	1805,940						
*	lapiès	Plateau de la Mure	*Marseille*	cf. grottes Loubières										
	grottes	Loubières	*Marseille*	849,700	3123,047	**260**	850.112	1823,014						
	grotte sous-marine du	Figuier	*Marseille*	852,663	3105,396	**?**	853,082	1805,338						
	grotte sous-marine de la	Triperie	*Marseille*	853,070	3105,157	**?**	853,520	1805,100						
	grotte sous-marine	Cosquer	*Marseille*	852,915	3105,091	**-36**	853,365	1805,033						
	gouffre sec	Logisson	*Marseille*	856,640	3109,330	**275**	857,089	1809,287	-100					
	aven des	Marseillais	*Marseille*	855,980	3106,966	**225**	856,430	1806,915						

	nature	nom	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Q m	Q max	Q mini	temp.
*	sources thermales d'	Arnette 1	*Martigues*	818,452	3118,477	0	818,820	1818,385			faible			35
*	sources thermales d'	Arnette 2	*Martigues*	817,889	3118,563	-15	818,255	1818,470			faible			35
*	sources thermales d'	Arnette 3	*Martigues*	818,087	3118,053	-10	818,455	1817,960			faible			35
*	sources	Anse de Lauron	*Martigues*	817,902	3120,674	0	818,265	1820,585						
*	source ??	Ponteau nord	*Martigues*	815,436	3123,921	0	815,790	1823,833						
*	source ??	Ponteau sud	*Martigues*	816,362	3122,641	0	816,720	1822,553						
	venues mine	source 90	*mine*	mine		-50								
	venue mine	source Ste Victoire	*mine*	mine		-250								
	forage ??	nord Faille de la Mure	*non localisé*	?	?	?								
*	source marine	Lauron du Club nautique	*St Chamas*	817,370	3141,307	0	817,700	1841,250						
*	source marine	Lauron du Polygone	*St Chamas*	817,669	3140,807	0	818,000	1840,750						
*	source marine	Lauron du Port	*St Chamas*	817,171	3142,056	0	817,500	1842,000						
	source	Lavoir du Polygone	*St Chamas*	817,936	3140,935	1	818,268	1840,878						
*	source	Petit Lavoir	*St Chamas*	817,868	3140,957	1	818,200	1840,9						
	source	Calissane	*St Chamas ?*	826,989	3142,373	20	827,332	1842,333				500		
83 - DEPARTEMENT DU VAR														
	source	Foux	*Belgentier*	896,730	3110,950	185	897,247	1810,988			10			
	source	Rouvière	*Belgentier*	897,636	3109,497	165	898,158	1809,535			50			
	source	Aquilé	*Bras*	892,000	3136,543	260	892,455	1836,614						
	source	Gours bénis	*Bras*	891,689	3136,267	260	892,144	1836,337						
	source temporaire	Foux de Sainte Anne	*Evenos*	884,466	3103,108	185	884,977	1803,107			50			
	gouffre	Ajoncs	*Evenos*	886,575	3107,250	520	887,082	1807,261	-117					
	grotte fermée	Tete du Cade	*Le Beausset*	884,000	3109,000	306	884,499	1809,009						
	gouffre	Ripelle	*Le Revest*	894,530	3102,780	330	895,060	1802,799	-102					
	source du	Caramy	*Mazaugues*	890,730	3122,540	420	891,212	1822,586			78			
	source de la	Servie	*Méounes*	895,300	3115,930	280	895,804	1815,974			110			
	source temporaire	Foux de Nans	*Nans les Pins*	880,320	3123,530	398	880,783	1823,556	-114		63			
	source de	Font d'Alaman	*Nans les Pins*	879,940	3126,720	380	880,396	1826,751			30			
	source	Lazare	*Nans les Pins*	873,946	3126,434	270	874,392	1826,453						
	source	Grande Foux	*Nans-les-Pins*	880,320	3123,530	390	880,783	1823,556	-39				0	
	source	Huveaune	*Nans-les-Pins*	877,708	3122,010	460	878,170	1822,029						
	pertes	Huveaune	*Nans-les-Pins*	876,753	3123,531	400	877,210	1823,550						
	grotte	Castelette	*Nans les Pins*	877,350	3121,800	590	877,811	1821,818	78	1880				
	gouffre	Petit St Cassien	*Nans les Pins*	882,103	3122,984	750	882,570	1823,013	-310					
	source temporaire	Néoules	*Néoules*	899,470	3117,950	390	899,977	1818,007						
	source temporaire	Regaï de Néoules	*Néoules*	898,970	3118,520	350	899,475	1818,576						

	nature	nom	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Q m	Q max	Q mini	temp.
	source	Bonnefont	*Ollioules*	885,650	3099,757	**55**	886,170	1799,752			20			
	source	Maîre des Fontaines	*Ollioules*	885,685	3100,670	**95**	886,203	1800,667			30			
	source	Mascaron	*Ollioules*	885,559	3100,750	**70**	886,077	1800,747			50			
	source chaude	Mascaron (ou Labus)	*Ollioules*	885,550	3100,400	**61**	886,069	1800,396			50	150	20	
	perte	Tourne	*Plan d'Aups*	876,191	3120,731	**661**	876,653	1820,745						
	source des	Moulieres	*Pourcieux*	880,700	3134,400	**415**	881,142	1834,445						
	lac-source	Dardennes-Ragas	*Revest*	892,200	3103,800	**120**	892,724	1803,816			500			
	source temporaire	Ragas	*Revest*	892,489	3104,300	**148**	893,012	1804,318	-151					
	source marine	Portissol	*Sanary*	880,861	3096,265	**-5**	881,380	1796,244						
	source temporaire	Meyronne	*Seillons*	884,956	3138,395	**292**	885,396	1838,455			90			
	source	Argens	*Seillons*	888,646	3140,056	**270**	889,089	1840,126			500			
*	source	Seaux	*Seillons*	888,393	3138,448	**270**	888,839	1838,51			179			
	source	Raby	*Signes*	885,690	3117,870	**480**	886,173	1817,898			20			
	source	Beaupré	*Signes*	889,570	3115,090	**310**	890,066	1815,121			60			
*	perte	Chibron	*Signes*	883,056	3115,412	**415**	883,540	1815,430						
	perte	Haut Latay	*Signes*	883,347	3118,751	**548**	883,825	1818,775						
	perte	Latay Chibron	*Signes*	883,086	3115,412	**415**	883,570	1815,430						
	perte	Latay Signes	*Signes*	886,900	3115,475	**325**	887,390	1815,501						
	gouffre	Grand Clapier	*Signes*	882,555	3120,055	**732**	883,029	1820,080						
	source	Valaury	*Solliès-Toucas*	879,250	3106,280	**185**	879,745	1806,274			75			
	source	Font de Thon	*Solliès Toucas*	899,240	3106,988	**100**	899,770	1807,025			65			
	source	Font Nègre	*Solliès Toucas*	899,881	3106,945	**90**	900,412	1806,983			125			
	grotte fermée	Morières (galerie SCP)	*Sollies Toucas*	896,000	3108,000	**300**	896,522	1808,032	-100					
	source	Nayes	*St Zacharie*	873,223	3124,916	**270**	873,671	1824,931			60			
	source	Peyruis	*St Zacharie*	875,270	3122,850	**440**	875,726	1822,865			60			
	source-galerie	Castigneau	*Toulon*	arsenal										
	source sous marine	Missiessy	*Toulon*	890,931	3097,847	**-5**	891,465	1797,850						
	source	Saint Philipp	*Toulon*	893,267	3098,022	**15**	893,805	1798,030			20			
	source	St Antoine	*Toulon*	890,900	3100,180	**25**	891,429	1800,187	-112		165	1250	50	
	grotte rivière	Dardennes	*Toulon*	890,560	3100,150	**20**	891,089	1800,156	15		12	31		16
	source	Figuière	*Tourves*	889,843	3125,847	**310**	890,317	1825,897			180			
	source	Lecques	*Tourves*	891,290	3127,376	**300**	891,763	1827,431			30			
	source	Lieutaud	*Tourves*	891,070	3127,060	**280**	891,543	1827,114			80			
*	source	Tourves	*Tourves*	889,079	3130,494	**310**	889,542	1830,55			71			
	grotte réseau	Sabre	*Tourves*	890,493	3125,120	**307**	890,970	1825,170						
	source de	Boudouvin	*Valette*	896,110	3101,140	**135**	896,647	1801,159			35			

CORSE													
nature	nom	commune	X Lambert 3	Y Lambert 3	altitude	X Lambert 2é	Y Lambert 2é	prof.	long.	Q m	Q max	Q mini	temp.
2B - HAUTE CORSE													
source	Fontenette	*Barbaggio*	576,000	4266,270	325	1177,040	1767,140						
grotte	Castiglione	*Oletta*	570,???	4264,???	?	1171,???	1764,???		100				
source	Glacière de Brando	*Brando*	583,300	4277,200	40	1184,280	1778,140	+15		35		5	
grotte	Brando	*Brando*	583,280	4277,250	88	1184,260	1778,190		80				
grotte	Sisco	*Sisco*	584,150	4282,700	0	1185,090	1783,660	+ 30	100				
2A - CORSE DU SUD													
grotte	Sdragonato	*Bonifacio*	568,900	4122,270	0	1170,920	1622,615		100				
grotte	Saint Barthélémy	*Bonifacio*	569,800	4122,150	2	1171,830	1622,500						
source	Cala di Labra	*Bonifacio*	573,000	4120,200	10	1175,050	1620,565						
source	Saint Julien	*Bonifacio*	572,250	4122,500	30	1174,290	1622,870						
source marine	Cala de Bonifacio	*Bonifacio*	569,150	4122,300	-5	1171,170	1622,650						
source	Capello	*Bonifacio*	570,100	4122,800	5	1172,125	1623,160						

ETUDE PREALABLE SUR LE DRAINAGE DES KARSTS LITTORAUX

fiches de traçages

	liaison		point d'injection	commune		point de restitution	commune	auteur	bibliographie	produi	Qté	date d'injection	durée jours	distance	vitesse
1	1	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source	source Beaupré	Signes	Gilli	Gilli, 2000	naph.				km	m/h
1	2	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source des	Roches Bleues	Signes	Gilli	-						
1	3	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source	Bourdon	Signes								
1	4	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source	Raby	Signes	Gilli	-						
1	5	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source de l'	Herbette	Mazaugues	Gilli	-						
1	6	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source du	Caramy	Mazaugues		-						
1	7	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source des	Neuf Fonts	La Roquebrussanne		-						
1	8	perte de la	Plaine d'Agnis	Signes	source de la	Foux	La Roquebrussanr	Gilli							
2	1	perte du	vallon des Cerisiers	La Roquebrussanne	source de la	Foux	La Roquebrussanr	Gilli	Gilli, 2000	fluo					
2	2	perte du	vallon des Cerisiers	La Roquebrussanne	source de	Font Pétugue	Méounes	Gilli	-						
2	3	perte du	vallon des Cerisiers	La Roquebrussanne	source	Raby	Signes								
3	1	lapiés de	La Marseillaise	Méounes	source	Beaupré	Signes	Gilli	Gilli, 2000	rhod					
4	1	grotte de l'	Escampo-Pissadou	Méounes	source	Beaupré	Signes	Gilli	Gilli, 2000	iodure					
4	2	grotte de l'	Escampo-Pissadou	Méounes	source de	Font Pétugue	Méounes	Gilli	-						
5	1	poljé de	Chibron	Signes	source marine de	Port Miou ?	Cassis	Durand	Durand, comm. orale	fluo					
6	1	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins		néant		GSAN-CAF	AFK-FFS, 1986	fluo	6	06/04/58			
7	1	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins		néant			AFK-FFS, 1986	fluo		09/05/71			
8	1	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins	sce temporaire de	Grande Foux de Nans	Nans-les-Pins	SCM-GSEM	Monteau&Courbon, 19	fluo	20	09/05/73		2	9
9	1	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins		Grande Foux de Nans	Nans-les-Pins	CRPS	Coulier, 1985	fluo	0,4	08/03/84		2	7,4
9	2	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins	source du	Caurpn			-						
10	1	gouffre du	Grand Clapier	Nans-les-Pins	gouffre du	Petit St. Cassien	Nans-les-Pins	UFS	AFK-FFS, 1986	fluo	0,4	24/11/73		0,1	600
11	1	ruisseau	Gaudin	Mazaugues	source	Figulere	Tourves	Durand	Durand, 1972	fluo		19/10/70		3,5	
11	2	ruisseau	Gaudin	Mazaugues	mines de	mines de Tourves	Mazaugues		-						
11	3	ruisseau	Gaudin	Mazaugues	mines de	mine de Baume	Mazaugues		-						
11	4	ruisseau	Gaudin		grotte-réseau	Sabre	Tourves		-						
12	1	embut du	Caranquet	Cuges-les-Pins		néant			BRGM-SEM	fluo	1,5				
13	1	embut de	Cuges	Cuges-les-Pins		néant		GSP	Coulier,1985	fluo	15	12/12/71			
14	1	gouffre de l'	Escandaou	Cuges-les-Pins		néant			AFK-FFS, 1986	fluo	4	11/09/53			
15	1	gouffre de l'	Escandaou	Cuges-les-Pins	source	St Pons	Gémenos	CAF	Coulier, 1985			01/06/79		4	13
16	1	gouffre de l'	Escandaou	Cuges-les-Pins	source	St Pons	Gémenos	CDS 13	Coulier, 1985	fluo	0,8	14/01/84		4	8,5
17	1	embut du	Plan d'Aups (GdeTourne)	Plan d'Aups		néant		Mozet&Zacchori	AFK-FFS, 1986	fluo	1	11/03/62			
18	1	embut du	Plan d'Aups (Gde Tourne)	Plan d'Aups		néant		Mozet&Zacchori	AFK-FFS, 1986	fluo	5	xx/12/68			
19	1	embut du	Plan d'Aups (PteTourne)	Plan d'Aups		néant		Mozet&Zacchori	AFK-FFS, 1986	fluo	3,5	08/04/76			

	liaison		point d'injection	commune		point de restitution	commune	auteur	bibliographie	produi	Qté	date d'injection	durée jours	distance	vitesse
20	1	embut du	**Plan d'Aups**	Plan d'Aups	source	**St. Pons**	Gémenos	Martin	Martin, 1991	fluo	3,5	08/04/86		7	20
20	2	embut du	**Plan d'Aups**	Plan d'Aups	source des	**Encanaux Sup.**	Auriol	Martin	-	fluo				4,5	37
21	1	réseau de la	**Tête du Cade**	Le Beausset	source de	**Bonnefont**	Ollioules		Courbon,1979		40	nov-68			
22	1	tunnel du	**Mussuguet**	Cassis		**Port Miou**	Cassis	BRGM		fluo		xx/12/1966	7	5,2	32
23	1	embut de	**Coulin**	Gémenos		**Port Miou**	Cassis	BRGM		fluo	50	xx/12/1965	42	12,6	12
24	1	Pts trous des	**Encanaux**	Auriol	source des	**Encanaux**	Auriol	Durand	Durand, 1972		0,2	xx/xx/1965		0,06	0,5
25	1	gouffre des	**Encanaux**	Auriol	source des	**Encanaux sup.**	Auriol	Coulier	Coulier, 1985			02/07/83			
25	2	gouffre des	**Encanaux**	Auriol	source des	**Encanaux (petits trous)**	Auriol		-						
25	3	gouffre des	**Encanaux**	Auriol	source des	**Encanaux inférieure**	Auriol		-						
26	1	gouffre de	**Morières**	Solliès-Toucas	source de la	**Rouvière**	Belgentier	CAF Marseille				xx/02/1975			
27	1	perte du	**vallat de Cauvet**		mine de	**Gardanne galerie 229**		Chalumeau	Chalumeau, 2000	rhoda			3		
27	2	perte du	**vallat de Cauvet**		mine de	**Gardanne lambeau charrié**		Chalumeau					18		
28	1	mine de la	**Galère**		mine de	**Gardanne source 90**		Chalumeau	Chalumeau, 2000	fluo			10 à 13		
29	1	forage	**Michels**		forage	**Puits de l'Arc**	Rousset	Chalumeau	Chalumeau, 2000	naphtio			20	2	
30	1	forage	**Fuveau**			**néant**			Chalumeau, 2000	éosine					
31	1	perte du	**Grand vallat de Fuveau**			**La Plage**			Chalumeau, 2000	fluo			3 à 6		
32	1	perte	**décharge d'Ancoly**			**Trets**			Chalumeau, 2000	rhoda			0 à 3		
33	1	aven de la	**Boue**	Le Revest-les-Eaux		**néant**		H2O	SpéléH2O, 2000	fluo	7	19/03/94			
34	1	aven perte du	**Canlveau**	Le Revest-les-Eaux	source	**Saint Antoine**	Toulon	H2O	SpéléH2O, 2000			21/02/97	11	5,6	21
35	1	abîme des	**Morts**	Signes	source	**Foux de Dardennes**	Revest	H2O	SpéléH2O, 2000	fluo	45	26/11/95	14	7,4	22
36	1	aven de la	**Solitude**	Signes	source	**Saint Antoine**	Toulon	H2O	SpéléH2O, 2000	fluo	40	12/02/95	17	9,5	23
36	2	aven de la	**Solitude**	Signes	source	**Foux de Dardennes**	Revest		-			12/02/95	13	5,6	18
37	1	aven	**Robert Gauthier**	Signes	source de	**Bonnefont**	Ollioules	H2O	SpéléH2O, 2000	fluo	25	17/03/97	85	8,6	4
37	2	aven	**Robert Gauthier**	Signes	source	**Mascaron**	Ollioules		-				82	8,1	4
37	3	aven	**Robert Gauthier**	Signes	source de la	**Maire des Fontaines**	Ollioules		-				80	8,1	4
37	4	aven	**Robert Gauthier**	Signes	source du	**trou de la Bombe**	Ollioules		-				67	7,9	5
37	5	aven	**Robert Gauthier**	Signes	sce temporaire	**Ste Anne**	Evenos		-					6,5	
38	1	aven	**Maramoye**	Le Beausset	source de	**Bonnefont**	Ollioules	H2O	SpéléH2O, 2000	rhodamine		12/02/97	75	9,4	5
38	2	aven	**Maramoye**	Le Beausset	source	**Mascaron**	Ollioules		-				89	8,7	4
38	3	aven	**Maramoye**	Le Beausset	source de la	**Maire des Fontaines**	Ollioules		-				106	8,8	3
38	4	aven	**Maramoye**	Le Beausset	source du	**Bombe**	Ollioules		-				86	8,7	4
38	5	aven	**Maramoye**	Le Beausset	sce temporaire	**Ste Anne**	Evenos		-					6	
39	1	aven des	**Ajoncs**	Evenos	source de	**Bonnefont**	Ollioules	H2O	SpéléH2O, 2000	acido a	20	01/02/98	89	7,4	3
39	2	aven des	**Ajoncs**	Evenos	source	**Mascaron**	Ollioules		-				89	6,7	3
39	3	aven des	**Ajoncs**	Evenos	source de la	**Maire des Fontaines**	Ollioules		-				89	6,7	3
39	4	aven des	**Ajoncs**	Evenos	source du	**Bombe**	Ollioules		-				89	6,6	3
39	5	aven des	**Ajoncs**	Evenos	sce temporaire	**Ste Anne**	Evenos		-					4,2	

	liaison		point d'injection	commune		point de restitution	commune	auteur	bibliographie	produit	Qté	date d'injection	durée jours	distance	vitesse
40	1	aven des	**Polonais**	Solliès-Toucas	source	**Rouvière**	Belgentier	H2O	SpéléH2O, 2000	rhoda	45	25/11/95	10	3,2	14
40	2	aven des	**Polonais**	Solliès-Toucas	Font	**Thon-Verote**	Sollies Toucas		-				10	4,4	19
40	2	aven des	**Polonais**	Solliès-Toucas	source	**Saint Mathieu**	Belgentier		-				11	3,2	12
41	1	aven	**Quiberon**	Méounes-les-M.	sce temporaire du	**Trou du Garde**		H2O	SpéléH2O, 2000	fluo	15	25/01/98	?	1,7	
42	1	aven des	**Cerisiers**	Le Broussan	source de	**Bonnefont**	Ollioules		Courbon,1979			1966			
43	1	grotte	**Galerie SCP Morlères**	Solliès-Toucas	source	**Rouvière**	Belgentier		Courbon,1979						
44	1	forage	**N de la Faille de la Mure**		venues d'eau	**mine de Gardanne**		Geomidi	Chevenier 1985	fluo	50				
44	2	forage	**N de la Faille de la Mure**		venues d'eau	**Galerie de la mer amont**									
45	1	faille du	**Plateau de la Mure**	près de grottes Loubiè	venues d'eau	**Mines de Gardanne**			Chevenier, 1985	iodure	50				
45	2	faille du	**Plateau de la Mure**		venues d'eau	**Galerie de la mer amont**			-						
45	3	faille du	**Plateau de la Mure**		venues d'eau	**nappes karstiques du Plateau de la Mure**			-						
45	4	faille du	**Plateau de la Mure**		venues d'eau	**nappes bordure du Plateau de la Mure**			-						
46	1	gouffre de la	**Cote 420**	Mazaugues ?	source de	**Font Naïre**	Mazaugues		Durand, 1972						
46	2	gouffre de la	**Cote 420**	Mazaugues ?	source de	**Figulère**	Tourves		-						
46	3	gouffre de la	**Cote 420**	Mazaugues ?	grotte-réseau	**Sabre**	Tourves		-						
47	1	embut de	**Coulin**	Gémenos		**néant**			BRGM-SEM	fluo	25				
48	1	gours d'	**Allauch**	Allauch	grotte	**Monard**	Marseille		AFK-FFS, 1986	fluo	2			2,4	
49	1	trou de	**Bombe**	Ollioules	source	**Marc**	Ollioules		DDAF var, 1982	fluo	1				
50	1	station d'épura	**Sémaphore d'Arnette**	Martigues	sources d'	**Arnette**	Carro		Chevenier, 1985						