

**QUANTIFICATION ET MODELISATION DU
FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES
PRINCIPAUX AQUIFERES CARBONATES DU KARST
DE LA SAINTE BAUME (B.du Rh. - Var; France)**

**KVANTIFIKACIJA IN MODELIZACIJA DELOVANJA
POGLAVITNIH KARBONATNIH VODONOSNIKOV V KRASU
SAINTE BAUME (B.du Rh.-Var; Francija)**

P H I L I P P E M A R T I N

Abstract

UDC 556.33 (44)

Martin, Philippe: Mesurement and modelling of hydrological behaviour of main carbonated aquifers of Sainte Baume karst (B. du Rh., Var; France)

Sainte Baume (B. du Rh., Var; France), the most southern lower carbonated Provence mountains constitutes a high chain (~ 1100 m) lying E-W which dominates important karst plateau. Its geologic structure (pyrénéo-provençal) results from south provençal overthrust (upper Eocene) during the pont-pliocene tectonic phase. These complex geologic structures (essentially E-W) are cut at right angle by a fluvatile drainage (essentially S-N). This particular lay-out realises a divided underground drainage. Carbonated aquifers are thus numerous and of small size. The studies realised on a dozen karstic systems allowed us to quantifie their individual possibilities. The springs flows are modest. The application of hydrodynamic models (Maillet, Horton) permits a better use of these reserves. These karst systems have a diversified function. These quantifications (total mountain outflow and hydraulic models) reveal that the Sainte Baume drainage is effectuated at 3 levels and following 3 axes.

Level 1: each of the small aquiferous of the mountain is drained north towards local valley springs.

Level 2: it interests the whole mountain and reveals the actual reorganisation of underground drainage towards the lower oriental and occidental springs.

Level 3: southward underground drainage towards Cassis submarine springs (Port Miou, Bestouan) which Sainte Baume feeds (outflow 1 m³/s).

These multiple types of function accentuate the idea we could have of karst heterogeneity.

Key words: Sainte Baume, Provence, karst, hydrometry, hydrodynamics, Maillet, Horton, heterogeneity, paleogeography, submarine spring.

Izveček

UDK 556.33 (44)

Martin, Philippe: Kvantifikacija in modelizacija hidrološkega delovanja poglavitnih karbonatnih vodonosnikov v krasu Sainte Baume (Bouches du Rhône, Var, Francija)

Masiv Sainte Baume je najjužnejši del karbonatne Spodnje Provence, ki ga gradi "velika veriga" (1100 m n.m.) v smeri vzhod - zahod s pomembnimi kraškimi planotami. Njena geološka zgradba je pirenejsko-provansalskega tipa, nastala zaradi južno-provansalskega nariva (Zgornji Eocen) v ponto-pliocenski tektonski fazi. To geološko strukturo (najpomembnejša smer W-E) preseka rečni odtok pravokotno nanjo (pretežno N-S). Ta posebna zgradba pogojuje razdeljeno podzemno drenažo. Karbonatnih vodonosnikov je torej veliko in so manjših dimenzij. Preučili smo kak ducat kraških sistemov, kar nam je omogočilo kvantificirati njihove posebnosti. Pretoki niso zanemarljivi. Aplikacija hidrodinamičnih modelov (Maillet, Horton itd.) nam je omogočila boljšo predstavo. Ti kraški sistemi pa obenem tudi predstavljajo izredno različnost delovanja. Kvantifikacija (vodna bilanca glede na masiv), kakor tudi modelizacija sta odkrili, da poteka odtok s Sainte Baume na treh nivojih v treh različnih smereh:

Prvi nivo: vsi majhni vodonosniki se odcejajo proti N, v lokalne izvire.

Drugi nivo: je prisoten na celotnem masivu in odkriva sedanjo reorganizacijo podzemnega odтока proti najnižjim vzhodnim in zahodnim točkam.

Tretji nivo odтока proti S, proti podmorskim izvirom v Cassisu (Port Miou in Bestouan), ki prejemajo iz Sainte Baume 1 m³/s.

Vsi ti različni tipi odтока ponovno dokazujejo izredno heterogenost krasa.

Ključne besede: Sainte Baume, Provence, kras, hidrometrija, hidrodinamika, Maillet, Horton, heterogenost kras, paleogeografija, podmorski izvir

Address-Naslov

Philippe MARTIN

UA 903 du CNRS

7, rue Dorée

30.000 Nîmes, France

Le massif de la Sainte Baume constitue le plus important ensemble montagneux de la Basse Provence carbonatée. En raison des ces caractéristiques topographiques, il en est aussi le principal château d'eau.

1. LE MILIEU NATUREL

Situé à une quinzaine de kilomètres des rivages de la Méditerranée, ce chaînon carbonaté d'orientation WSW-ENE, s' impose dans ce paysage provençal par son escarpement septentrional, véritable signature topographique du massif. Autour de celui-ci et donc de la "Haute Chaîne" qui domine de ses 1100 m d'importants plateaux karstifiés, s'organise le paysage.

Cet ensemble est classiquement subdivisé en plusieurs unités topographiques (NICOD, 1967, p.247). Depuis la "Haute Chaîne" d'où l'on domine l'ensemble du massif nous discernons (fig. 1): à l'W les collines de Bassan, au NNW le dôme de la Lare (841 m), au N le plateau du Plan d'Aups, au NNE le fossé de Nans les Pins qui s'ouvre sur l'ample dépression du Cauron, à l'ENE les plateaux de Mazaugues drainés par le Caramy et enfin au S de la "Haute Chaîne", le flanc méridional du massif qui descend graduellement vers le poljé de Cuges les Pins, le bassin du Beausset et la Méditerranée.

1. Structure géologique et évolution paléogéographique cénozoïque

Cette topographie variée exprime en fait la complexité extrême de la géologie de ce massif, tant au niveau de séries stratigraphiques que de la mise en place des unités tectoniques. Celui-ci est constitué d'un soubassement autochtone plus ou moins plissé (série du bassin de l'Arc) et d'unités para-autochtones (série renversée) et allochtones (série jurassique et crétacée du Beausset en position normale) (GUIEU, 1969; BLANC et al., 1974).

L'anticlinal de la Lare, le synclinal faillé du Plan d' Aups ainsi que les plateaux de Mazaugues matérialisent le soubassement autochtone de la chaîne qui chevauche la série allochtone qui constitue le massif de l'Agnis, le versant méridional de la Sainte Baume, le volet monoclinal de Bassan, ainsi que quelques dolines connues sous le nom d'unité de Roque Forcade - Nans. La "Haute Chaîne" est, elle, formée par la série

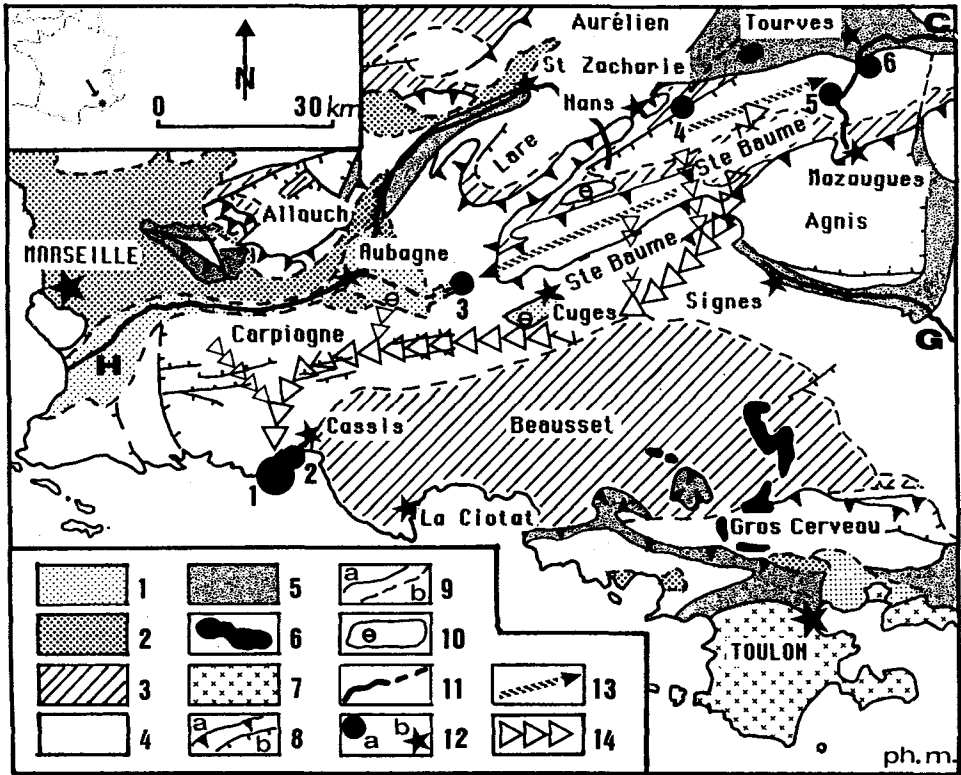


Fig. 1: Structures géologiques et principaux axes de drainage souterrain

Légende:

1 - Quaternaire. 2 - Oligocène. 3 - Crétacé supérieur. 4 - Jurassique et Crétacé inférieur. 5 - Trias. 6 - formation volcanique. 7 - permien et formation métamorphique. 8a - chevauchement, 8b - faille. 9a - décollement principal. 9b - limite stratigraphique. 10 - polje et ponor. 11 - rivière pérenne et temporaire. 12a - source. 12b - ville et village. 13 - drainage à l'échelle du massif vers les sources orientales et occidentales les plus basses (niveau 2). 13 - drainage à l'échelle régionale vers les sources sous marines de Port Miou et du Bestouan à Cassis (niveau 3).

Sl. 1: Geološka zgradba in glavne smeri podzemnega odtoka

Legenda:

1 - kvartar. 2 - Oligocen. 3 - zgornja kreda. 4 - spodnja jura in kreda. 5 - trias. 6 - vulkanski material. 7 - permij in metamorfne kamnine. 8a - nariv. 8b - prelom. 9a - glavni prelom. 9b - stratigrafska meja. 10 - polje in ponor. 11 - stalna ali občasna reka. 12a - izvir. 12b - mesto ali vas. 13 - odtok z masiva proti najnižjim izvirom na vzhodu in zahodu (nivo 2). 13 - odtok regionalnega reda proti podmorskim izvirom v Port Miou in Bestouan v Cassis (nivo 3). Inventaire des source - Seznam izvirov

1 - Port Miou, 2 - Bestouan, 3 - Saint Pons, 4 - Foux de Nans, 5 - Figuière, 6 - Lieutaud.

para-autochtone affectée de troncatures horizontales. Elle est charriée sur le Crétacé supérieur autochtone du Plan d'Aups.

Pour l'essentiel cette organisation du massif a été acquise lors de la phase pyrénéo-provençal. A l'Eocène supérieur des déplacements tangentiels ont affecté des séries déjà faillées, plissées et érodées (TEMPIER, 1987). Ces vastes décollements de couverture à vergence N (fig. 2) ont pu atteindre des distances importantes (8 à 10 km (AUBOUIN & CHOROWICZ, 1967; GUIEU, 1969) ou 20 km (GUIEU & ROUSSET, 1979) dans le cas de la Sainte Baume). Au cours et vers la fin de l'Oligocène ces séries ont été déformées par des ploiements de direction SW-NE auxquels il convient de rattacher par exemple l'anticlinal de la Lare. Mais ces mouvements ne résultent pas d'une phase orogénique majeure à l'Oligocène dans cette région de la Provence (GUIEU, 1959, p.23). La surrection des zones actuellement élevées ainsi que l'affaissement de la région de Toulon sont déterminés, à la fin du Miocène et pendant le Pliocène, par les contre-coups de la phase alpine tardi-tectonique et par les mouvements d'affaissement du continent méridional (BLANC et al., 1974) qui s'élevait dans le prolongement occidental du massif des Maures.

Toutefois, avant, pendant ou entre ces phases, se réalise(nt) une ou des surfaces d'aplanissement, dès Oligocènes et dans un milieu continental pour J.NICOD (1967), surtout à partir du Miocène et dans un milieu maritime (abrasion marine) pour d'autres auteurs (COPPOLANI et al., 1973; RICHARDOT & ROUSSET, 1975; ROUSSET, 1975), surface(s) dont on trouve de nombreuses traces aujourd'hui sur les reliefs.

J.NICOD (1967, p. 270) a montré que les différents réseaux hydrographiques, d'orientation essentiellement sub-méridienne (cours amont du Caramy, de l'Huveaune, du Peyruis, des Encanaux et du Latay) qui rayonnent aujourd'hui autour de la "Haute Chaîne", sont en grande partie surimposés (NICOD, 1967, p. 270) sur des structures géologiques (chevauchement, plissement, fracturation) d'orientation globalement E - W. Ces drains se sont donc installés sur une surface sub-horizontale entourant un paléo relief s'élevant sur l'emplacement actuel de la "Haute Chaîne". Cette surface peut être théoriquement soit d'érosion, soit d'accumulation. Mais comme l'on ne retrouve pas autour de la Sainte Baume d'éléments indiscutables d'une couverture sédimentaire discordante marine et miocène (GUIEU, 1969, p. 23) telle qu'on peut l'observer dans le bassin de l'Arc ou sur la chaîne de la Nerthe, on doit admettre que cette surface est d'abrasion si elle est marine et miocène et vraisemblablement d'érosion si elle est Oligocène (pédiment).

Ce rapide tour d'horizon montre, quoi qu'il en soit, que nous avons affaire à un karst qui a subi de nombreuses influences qui ont, sans nul doute, une influence sur le fonctionnement actuel.

2. Hydrographie du massif

Ce chaînon est aussi le principal château d'eau d'une Basse Provence aride (NICOD, 1980). Comme dans toutes les régions où les faciès

carbonatés ont une importance prédominante, les écoulements s'effectuent en surface et/ou en profondeur. Toutefois, seuls les versants W, N, et E recèlent des écoulements pérennes. Le flanc S ne possède aucune source notable pouvant entretenir un écoulement de surface permanent.

Le domaine septentrional de la Sainte Baume alimente deux fleuves côtiers (fig. 1):

l'Argens à l'est (2800 km²) par l'intermédiaire de deux affluents de rive droite:

- le Cauron (133 km²) qui bénéficie des eaux de la Foux de Nans, de la Font Alaman, de la source de la Bastide Blanche, et celle de Rougiers.

- le Caramy (205 km²) qui reçoit les eaux des sources du Caramy, celles de la source de la Figuière, celles de la source Lieutaud et celles de la source des Lecques.

l'Huveaune à l'ouest (505 km² dont 77 km² appartiennent au massif de la Sainte Baume) qui prend sa source au pied du Plan d'Aups, au fond de la reculée de Castelette (grotte de Castelette, trou des Moulins, source supérieure de l'Huveaune, source de la Taurelle, source Lazare et source de la Brise) et qui reçoit les eaux de trois ruisseaux:

- le ruisseau de Peyruis qui est alimenté par les sources de Peyruis et des Nayes.

- le ruisseau de la Vède qui bénéficie des débits des sources des Encanaux et du réseau des Brailles.

- le Fauge dont les débits sont soutenus par les eaux des sources et de la Tourne de St. Pons et des Cabrelles.

A ces exutoires il faut ajouter la modeste source de Saucette dont les eaux rejoignent directement l'Huveaune à la latitude de Pont de l'Etoile.

Fig. 2: Eléments d'hydrologie du massif de la Sainte Baume

Légende:

A - massif carbonaté; B - vallée et dépression; C₁ - travertin; C₂ - grotte émissive temporairement; C₃ - limnigraphe; D₁ - ruisseau pérenne; D₂ - ruisseau temporaire; E - limite de bassin versant; F - gorges; G₁ - polje; G₂ - ponor; H₁ - sommet; H₂ - source; H₃ - village

Sl. 2: Hidrološki elementi masiva Sainte Baume

Legenda

A - karbonatni masiv; B - dolina in depresija; C₁ - lehnjak; C₂ - jama - občasni bruhalnik; C₃ - limnigraf; D₁ - stalni potok; D₂ - občasni potok; E - omejitve porečja; F - soteske; G₁ - polje; G₂ - ponor; H₁ - vrh; H₂ - izvir; H₃ - vas

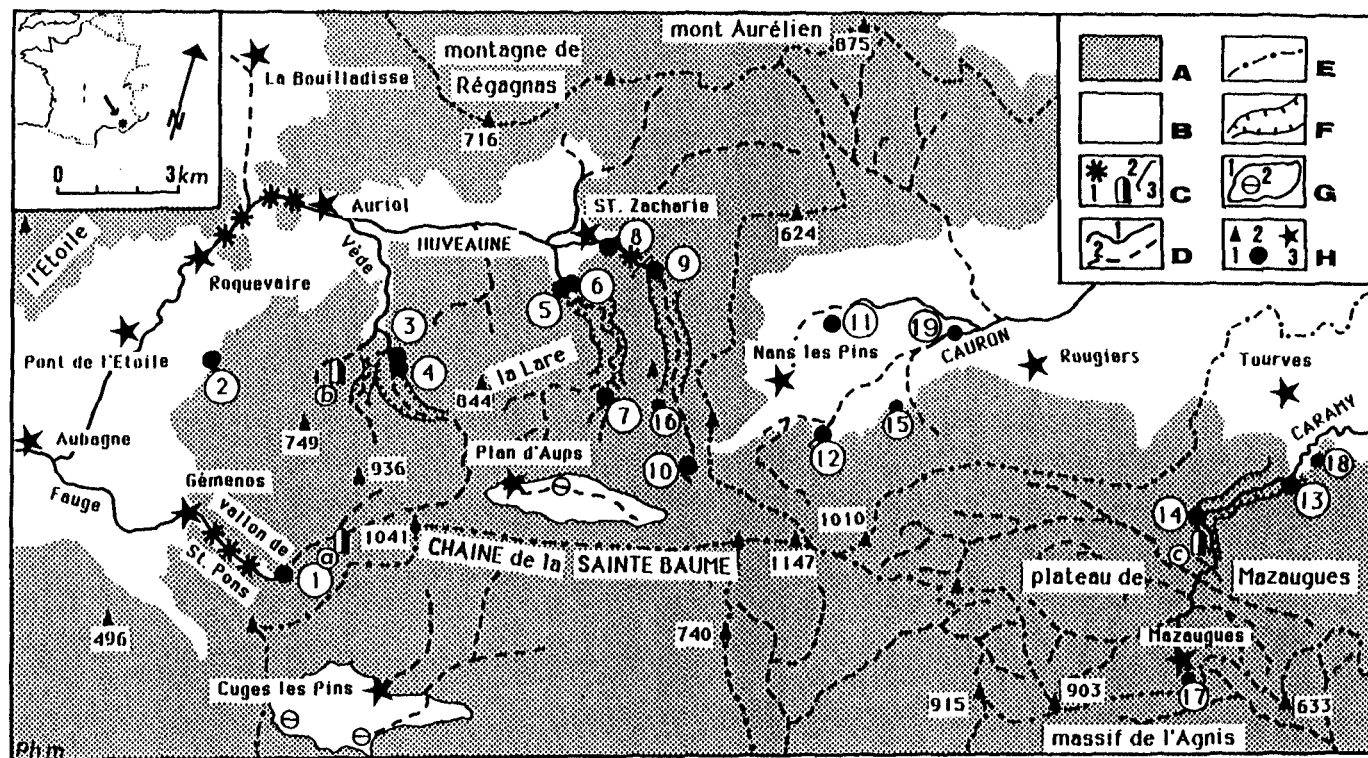
Inventaire des source - Seznam izvirov:

1 - Saint Pons, 2 - Saucette, 3 - Encanaux inférieurs, 4 - Encanaux supérieurs, 5 - Nayes supérieures, 6 - Nayes inférieures, 7 - Peyruis, 8 - Brise, 9 - Lazare, 10 - Huveaune supérieure, 11 - Font Alaman, 12 - Foux de Nans, 13 - Lieutaud, 14 - Figuières, 15 - Bastide Blanche, 16 - Taurelle, 17 - Mazaugues, 18 - Lecques

Inventaire des grottes émissives temporairement -

Seznam jam - obasnih bruhalnikov

a - Tourne de Saint Pons, b - Réseau des Brailles, c - Réseau Sabre



II. CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES PRINCIPAUX AQUIFÈRES

Les structures géologiques du versant N de la chaîne, (essentiellement W-E) sont donc recoupées orthogonalement par un drainage fluvial en grande partie sub-méridien (fig. 1). Ce maillage relativement serré détermine un morcellement du drainage souterrain en une quinzaine d'aquifères.

La quasi totalité de ces aquifères a fait l'objet, dans le cadre d'un doctorat (MARTIN, 1991) soutenu par la DGRST, l'URA 903 du CNRS et le Laboratoire de Géographie Physique d'Aix-en-Provence, d'un suivi hydrométrique de juin 1984 à décembre 1986. Ces mesures succèdent à celles effectuées, de mars 83 à juin 84, par C. COULIER (1985) sur les sources occidentales du massif.

Lorsque ces mesures ont été acquises par des limnigraphes (cf. Tableau no. 1 et 2) cela l'a été soit par la mise à notre disposition, par la SRAE Provence côte d'Azur, du matériel nécessaire que nous avons géré (St. Pons, Encanau sup., Font Alaman, Foux de Nans, Figuière), soit par l'utilisation d'informations collectées et aimablement communiquées par la Société du Canal de Provence (scc Lazare). A partir de ces chroniques nous avons pu effectuer, grâce à A. MANGIN (1975; 1981 a & b; 1984; BAKALOWICZ & MANGIN, 1980) du Laboratoire souterrain du CNRS à Moulis (Ariège), une analyse complète du fonctionnement de ces aquifères.

Par contre, lorsque les données ont été acquises par jaugeages, seuls les tarissements qui sont caractérisés par une certaine permanence et qui peuvent donc être suivis avec un pas de temps plus large, sont hautement significatifs. C'est pourquoi, dans cette synthèse comparative nous développerons essentiellement la modélisation des tarissements de fin de cycle.

Nous avons regroupé la majeure partie des informations sur les débits et les tarissements de ces sources des versants W et N de la Sainte Baume dans deux tableaux (Tableaux 1 et 2) sur lesquels il convient d'apporter quelques commentaires.

1. Débits et surfaces drainées

Les chiffres communiqués correspondent à des débits moyens journaliers. Lorsque nous avons constaté un assèchement des griffons, il nous a paru intéressant d'en indiquer la durée et donc, par différence, celle du fonctionnement. Très classiquement d'ailleurs, ce sont les sources les plus hautes qui s'assèchent. Parmi les sources pérennes, on remarquera qu'il y a deux groupes: l'un est constitué par les sources des gorges du Caramy qui ont un débit minimum important (= 50 l/s), l'autre regroupe celles dont le débit minimal s'échelonne entre 2 et 10 l/s.

Les débits maximaux sont eux connus avec moins de précision même lorsque nous avons bénéficié d'un limnigraphe, car d'une part, les seuils étaient naturels, sauf dans le cas des installations de la SCP, et

car d'autre part, lorsque ces aquifères sont très transmissifs, il est très difficile de jauger la pointe de crue, ce qui nous a obligés à extrapoler la valeur du débit moyen journalier maximal.

Par ailleurs, en raison d'une part, de la complexité des structures géologiques, et d'autre part, de fonctionnements particuliers (cf. ci-dessous), il est impossible, sauf exceptions (COULIER, 1985), d'établir les limites des bassins versants de ces sources. En conséquence il nous a paru plus pertinent de calculer, en fonction des précipitations du moment, à quel bassin minimal théorique correspondent les débits mesurés, en considérant que la totalité des pluies s'est infiltrée. En affectant ce bassin versant minimal d'un coefficient d'infiltration, on peut établir la surface réellement drainée. Tout le problème revient donc à trouver le coefficient d'infiltration représentatif de chaque bassin versant. Différents calculs (SCHOELLER, 1962, p. 211) effectués à partir de chroniques de sources très modulées donnent une valeur comprise entre 0,42 et 0,33 (MARTIN, 1991), si l'on ne tient pas compte des périodes très influencées par les réserves. Ces valeurs sont conformes à celles que l'on a pu mesurer dans d'autres karsts méditerranéens (de 0,23 à 0,42 avec des valeurs de 0,33 et 0,36 pour des karsts languedociens et 0,37 en Provence (DROGUE et al., 1983). Toutefois, en raison de la multiplicité des faciès affleurants, il est probable que ce coefficient varie fortement sur le massif. En conséquence nous ne l'utiliserons que dans une approche globale et moyenne (cf. ci-dessous).

2. Ajustement des tarissements au modèle du Maillet et calcul du volume dynamique

Depuis plus d'un siècle divers auteurs ont essayé d'ajuster, aux courbes de récession (décrue + tarissement), des modèles mathématiques dont les paramètres correspondraient à des grandeurs physiques (voir CASTANY, 1967; MANGIN, 1975 pour un historique de cette recherche). Parmi la multitude des essais, il semble bien que ce soit le modèle de MAILLET (1905), même en milieu karstique, qui rende le mieux compte du tarissement. Son équation est de la forme:

$$Q_t = Q_0 + e^{-\alpha t}$$

Q_0 étant le débit du tarissement
 Q_t étant le débit du temps t du tarissement
 α étant le coefficient de tarissement

Ce dernier nous informe sur l'étendue du karst noyé et sur les pertes de charges qui affectent son écoulement. Il correspond à l'inverse du temps que met le débit pour décroître de la 0,368^{ème} partie de sa valeur initiale (MANGIN, 1975). Par ailleurs, lorsque les volumes dynamiques, calculés pour différents tarissements de fin de cycle, sont semblables (aquifère captif ou karst noyé réduit), le coefficient α que fait intervenir la fonction exponentielle, ne devrait que peu varier d'un tarissement à l'autre. Par contre, avec une zone saturée importante et

non captive, l'allure du tarissement dépend particulièrement de l'état d'imbibition de l'aquifère. En cela les valeurs minimales et maximales obtenues sont intéressantes.

L'étude la plus importante a été effectuée sur la source Lazare qui draine un aquifère correspondant à la zone très fracturée située à la jonction des massifs de l'Aurelien et de la Sainte Baume. Nous avons modélisé 13 tarissements de fin de cycle. Les valeurs obtenues peuvent servir de référence pour apprécier les coefficients des autres sources. On notera la grande similitude avec ceux de la Figuière. Deux valeurs, celle de Peyruis et celle de Lieutaud, s'écartent de l'ensemble.

Dans le cas de Peyruis il n'est pas sûr que nous soyons là en présence d'une source possédant un réel tarissement. Cette émergence fonctionne vraisemblablement comme un trop-plein de la source de la Taurelle (débit de 16 l/s le 26/02/86) située plus bas dans le prolongement oriental de la série chevauchante de Roque Forcade - Nans.

Dans le cas de Lieutaud il semble par contre que nous ayons à faire à un aquifère très capacitif d'autant que cette valeur a été obtenue lors de l'étiage de 1985 qui a été exceptionnellement long. Toutefois, une chronique du BRGM de 24 jaugeages effectués entre 16/01/70 et le 04/01/71 permet de calculer un coefficient de tarissement de 0,0054 et un volume dynamique de 1,2 Mm³ soit des valeurs plus proches de celles que l'on observe sur la Sainte Baume. Mais lors de l'établissement de cette chronique BRGM, une mine de bauxite dite de "Mazaugues aval" et située au N de la source, était en activité, alors qu'elle ne l'était plus lors du tarissement de 1985. Cette mine qui a été mise en exploitation en 1968 (DURAND, 1972) a connu à partir du juillet 69 une venue d'eau "per ascensum" au toit des calcaires du Jurassique supérieur nécessitant le rejet d'une exhaure d'au moins 100 l/s dans le Caramy via le vallon de l'Epine (DURAND, 1972). On peut donc supposer que cette action anthropique a pesé sur les modalités de tarissement et qu'aujourd'hui, les circulations "naturelles" s'étant rétablies, on retrouve une image plus correcte du fonctionnement de cet aquifère.

Ces caractéristiques particulières n'oblitérent quand même pas la corrélation linéaire qui existe sur ce massif entre l'altitude des sources et la valeur du coefficient moyen de tarissement. Celle-ci avec $n = 13$ et $r = 0,791$ apparaît comme peu significative lorsque l'on effectue la correction induite par le caractère réduit de la série de données. Avec un seuil de 5% le coefficient de corrélation devrait être de 0,846. Par contre, cette corrélation est significative avec un seuil de 1% si l'on ne prend pas en compte les sources de Saucette, de la Brise, et des Encanaux supérieurs ($n = 9$, $r = 0,970$, part de la variance expliquée: 94%). Comment interpréter cette corrélation si ce n'est en pensant que l'altitude de chaque exutoire détermine certaines modalités de fonctionnement comme le tarissement. Ce qui revient à dire, sur un plan plus général, qu'elle est l'expression d'une relation existant entre un ou des système(s) fluvial(s) et leurs sous systèmes, ici des systèmes karstiques. La position des émergences est déterminée d'une part, par les grandes unités morpho-structurales (position liée à une faille, à une

limite stratigraphique, etc. ...) mais aussi et surtout d'autre part, par le fonctionnement et par l'évolution morpho-dynamique du réseau de drainage aérien (creusement des gorges et des vallées par ex.). L'essentiel des gorges étant creusé, comme nous l'avons vu, sur le versant N de la Sainte Baume cela implique que la majorité des exutoires soit localisée sur la périphérie septentrionale de la chaîne. Cette logique correspond au premier type (niveau 1) d'organisation des écoulements souterrains de ce massif.

Le volume dynamique correspond au volume d'eau en mouvement du karst noyé qui détermine le débit à l'exutoire. Il est exprimé en millions de m³ et est égal à:

$$Vd = Q_0 / \alpha \cdot 86400.$$

avec Q_0 en m³

Si on écarte celui de la source Lieutaud dont nous venons de débattre indirectement, il apparaît que peu de sources sur ce massif présentent des "réserves" importantes (Figuère, St. Pons, Naves, Lazare). Mais celles qui en ont sont toutes situées en périphérie du massif. Toutefois, cette vision devra être nuancée par l'étude de récession piézométriques de la Foux de Nans développées dans le chapitre 3.

III. MULTIPLICITÉ DES NIVEAUX ET DES ORIENTATIONS DE DRAINAGE

La description systématique du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique des 14 principaux aquifères de la Sainte Baume (MARTIN, 1991) a montré d'une part que chacun d'eux a un fonctionnement original et d'autre part que le drainage souterrain s'effectue à plusieurs niveaux selon plusieurs orientations. Nous illustrerons ce dernier fait à partir de 3 exemples: celui des exutoires de Saint Pons, celui de la Foux de Nans les Pins et celui de la source de la Figuière.

1. Saint Pons: un aquifère très capacitif à exutoires multiples

La source de Saint Pons est située dans la vallée orientée grossièrement E - W du Fauge qui éventre la terminaison occidentale de la chaîne entre le pic de Bertagne (1042 m) et la plaine d'Aubagne. La partie aval de cette vallée située entre la source et le village de Gémenos est comblée par une très importante formation travertineuse qui, dans sa partie amont, est recoupée par le Fauge (MARTIN, 1984, 1986, 1988, 1989, 1991).

En fait, aujourd'hui, la vidange de l'aquifère de Saint Pons ne s'effectue plus seulement par la source de Saint Pons et par son trop plein naturel: la source des Cabrelles. Pour accroître les débits récupérables une galerie drainante a été creusée sous le niveau de la source, à travers la masse des travertins, jusqu'à un affleurement

calcaire, en suivant vraisemblablement un petit sous écoulement préexistant.

Le débit moyen sur la période d'étude (06/84 - 12/86) et de 79 l/s à la source de Saint Pons, de 45 l/s dans la gairie et de 71 l/s à la source des Cabrelles. Ce dernier chiffre a été obtenu par extrapolation à partir d'une analyse des débits classés cumulés de la source de Saint Pons et de la galerie drainante. Il n'est donc qu'indicatif mais en première analyse on peut estimer que l'aquifère de Saint Pons fournit en moyenne 195 l/s.

Un traçage effectué à partir de l'aven de l'Escandaou (COULIER, 1985) situé sur la haute chaîne permet d'intégrer la partie occidentale de la haute chaîne au bassin versant de la source et cela bien que le taux de restitution de la fluorescéine n'ait été que de 3,5 %. La vitesse de transit du colorant étant elle aussi faible (8,5 m/h) bien que la pente théorique soit très forte (13,4 %).

Le bassin versant de l'aquifère de Saint Pons est donc constitué par la partie ouest de la haute chaîne mais il englobe aussi certainement la terminaison occidentale du Plan d'Aups comme tend à le prouver un premier traçage qualitatif (MARTIN, 1991) effectué à partir du trou Tartane, ponor occidental et temporaire du poljé du Plan d'Aups.

Tout ceci met en évidence, pour la partie occidentale de la chaîne, un axe majeur de drainage E → W conforme à l'orientation des structures géologiques.

2. La piézométrie de la Foux de Nans

En période de hautes eaux les exutoires de l'aquifère de la Foux de Nans s'échelonnent sur plusieurs centaines de mètres entre la Foux à l'amont et les sources de la Liéne à l'aval.

La source vaclusienne de la Foux de Nans (398 m NGF) est pénétrable en étiage sur une profondeur de 35 m, soit 363 m NGF. Elle a été explorée en plongée jusqu'à la cote 286 m NGF. Au delà un ensemble de diaclases remontantes a été reconnu jusqu'à la cote 334 m NGF. Cette source est captée par l'intermédiaire de forages recoupant le drain. La société qui exploite ce captage a ainsi pu obtenir une chroniques des fluctuations piézométriques. Les récessions ainsi mesurées s'ajustent lors des périodes humides au modèle de MAILLET et lors des périodes plus sèches au modèle de HORTON (MARTIN, à paraître) qui est une double exponentielle.

Sur les 6 tarissements d'étiage que nous avons étudiés, 5 sont correctement décrits par le modèle de HORTON cf. tabl. no. 3 ci-dessous.

Nous rappellerons pour mémoire que le modèle de HORTON (TRIPET, 1969) qui est dérivé du modèle du MAILLET et dans lequel on considère les variations continues du coefficient de tarissement, est de la forme:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t^m}$$

Q_0 étant le débit au début du tarissement
 Q_t étant le débit au temps t . du tarissement
 α et m sont des paramètres du modèle

avec $\beta = (\log.Q_0 - \log.Q_t) / t \cdot \log.e = \alpha t^{-p}$ et $m = 1 - p$. Lorsque $\log.\beta$ en fonction de $f(\log. t.)$ se linéarise on peut écrire: $\log.\beta = \log.\alpha - p \log.t.$ p étant la pente de la droite.

La qualité de l'ajustement est excellente comme en témoignent les différents coefficients de corrélation calculés. Les paramètres α et m sont relativement constants ($m_x = 0,773$, $\alpha_x = 0,026$). Ils peuvent être considérés comme des dimensions caractéristiques de l'aquifère. Celui-ci a donc un fonctionnement non linéaire lorsqu'il est dans un état de faible imbibition.

Tableau 3: Les tarissements de la Foux de Nans s'ajustent au modèle de HORTON

Table 3: The recession of Foux de Nans fitting HORTON'S model

Année de taris sement	Date début	date fin.	Hauteur piézomé. HO.	Modèle de HORTON α	m	Coeff.cor. log. β /log. t	Coeff.cor.piézo calc/piézo. mesur.
1981	16/05/81	18/12/81	105	0,059	0,590	0,979; n=54	0,994; n=16
1982	26/04/82	10/11/82	80	0,024	0,782	0,966; n=51	0,998; n=12
1983	28/05/83	15/12/83	72	0,020	0,822	0,957; n=52	0,998; n=12
1984	14/06/84	20/08/84	122	0,023	0,799	0,988; n=17	0,990; n=10
1985	10/08/85	06/01/86	73	non conforme aux mesures			
1986	3 06/09/86	13/11/86	67	0,0076	0,872	0,906; n=16	0,996; n=10

L'ajustement au modèle de Horton s'effectue avec les cotes relatives que nous a fournies la société exploitant la Foux de Nans. Pour retrouver la cote NGF il faut utiliser la formulation suivante:

$$[[H_0 \cdot e^{(-\alpha t^m)}] \cdot 0,4] + 337 = P_t \text{ en NGF}$$

avec: P_t = valeur piézométrique au temps t

H_0 = mesure piézométrique

La double exponentielle de HORTON décroît, dans un premier temps, plus rapidement, puis dans un second temps, plus lentement, que la fonction de MAILLET. Ainsi la fin du tarissement se présente comme un palier. Le calcul montre qu'en fait les niveaux piézométriques minimaux ont une valeur voisine de 340 m NGF. Ceci est aussi vérifié empiriquement par les spéléologues qui ont souvent rencontré le plan d'eau à 35 m sous l'entrée de la Foux, soit à une altitude de 363 m NGF. En 1986 cette cote a été atteinte au milieu du mois de septembre.

Dans le cas où l'aquifère se trouve dans un état d'imbibition supérieur, le modèle de HORTON ne correspond plus à la réalité. Il faut alors faire appel à celui de MAILLET. C'est ce qui s'est produit lors du

tarissement de 1985 et lors d'une partie de celui de 1986, comme le montre le tableau no 4 ci-dessous, récession qui s'est terminée, après une petite remontée du niveau piézométrique, par un ajustement au modèle de HORTON cf. tabl. n 3.

Ces ajustements à un modèle non linéaire (HORTON) lors de périodes peu humides ou à un modèle linéaire (MAILLET) lors de périodes plus humides permettent donc de connaître les modalités de vidange de l'aquifère de la Foux de Nans sous le niveau de la source de la Liéne. Cet abaissement du niveau piézométrique sous la cote de débordement implique aussi l'existence de fuites. Ces fuites, pour être cohérentes avec l'altitude minimale de la surface piézométrique du karst noyé, doivent s'effectuer, au travers d'une zone peu transmissive, à une cote supérieure à 330-340 m.

L'existence de ces fuites doit nous conduire à envisager des lieux de ressortie possible. A l'ouest du Cauron, dans la vallée de la Haute Huveaune, aucune source majeure ne se trouve à une altitude acceptable. A l'est, la résurgence de la Figuière qui apparaît dans les gorges du Caramy, remplit les conditions requises: elle est à la bonne altitude, du bon côté de la gorge et elle bénéficie, nous allons le voir, de débits de base modulés.

Tableau 4: Les tarissements de la Foux de Nans s'ajustant au modèle de MAILLET

Table 4: The recession of "Foux de Nans" fitting MAILLET'S model

Année du taris- sement	Date début	date fin.	Hauteur piézomé. HO.	Modèle de MAILLET		Coeff.cor.piézo calc/piézo. mesur.	
				α moyen	médiane		
1985	10/08/85	06/01/86	73	0,00327	0,00328	0,999;	n = 10
1986 1	13/05/86	18/06/86	95	0,00684	0,00656	0,989;	n = 10
1986 2	30/06/86	25/07/86	75	0,00675	0,00645	0,999;	n = 8

L'ajustement au modèle de MAILLET s'effectue avec les côtes relatives que nous a fournies la société exploitant La Foux de Nans. Pour retrouver la cote NGF il faut utiliser la formulation suivante:

$$[(H_o \cdot e^{(-\alpha t)}) \cdot 0,4] + 337 = \text{Pt en NGF}$$

avec: Pt = valeur piézométrique au temps t

Ho = mesure piézométrique

Par ailleurs, nous avons pu mettre en évidence (MARTIN, 1991) la capture d'un paléo-vallon sub-méridien situé au droit du village de Rougiers, par les affluents du Caramy, lesquels sont affectés de pertes karstiques en relation (traçage) avec la Figuière (DURAND, 1972). Il semble donc bien que depuis déjà en certain temps le bassin versant aérien et souterrain du Caramy se développe vers l'W, essentiellement au dépend de celui du Cauron. Il conviendrait, pour confirmer totalement cette analyse, d'effectuer un traçage, lors d'une phase de récession, à

partir du siphon terminal aval de l'aven du Petit Saint Cassien situé sur le plateau, au-dessus de la Foux.

3. L'hydrogramme de la source de la Figuière résulte de la combinaison de plusieurs types d'écoulement

Parmi les sources des gorges du Caramy, la source de la Figuière, est sans aucun doute la plus importante. Son exutoire principal est situé à quelques centaines de mètres à l'aval d'un remarquable ensemble de cavités pénétrables qui constituent le réseau Sabre (CAF - SCM, 1987) et dont la source de la Figuière est, comme l'a montré un traçage effectué à partir des pertes dans le Grand Gaudin (DURAND, 1972), le point le plus déprimé.

Avec ses 180 l/s c'est la plus importante source de la Sainte Baume. Ses débits de fin d'étiage sont aussi les plus importantes (50 l/s). Ils sont 10 à 50 fois supérieurs à ceux des autres sources du massif.

Les hydrogrammes que nous possédons montrent très clairement les grandes lignes du fonctionnement de cet aquifère. Faisant suite à une crue qui peut être importante (cf. Q max.) et à 2 ou 3 jours de décrue rapide, nous trouvons une période de moindre diminution des débits; période que nous avons nommée "pied de décrue". Ce type de fonctionnement dure environ une quarantaine de jours puis cède la place à un tarissement dont rend très bien compte la modèle de MAILLET. Cette modélisation permet de calculer que le volume dynamique est de l'ordre de $1,5 \text{ Mm}^3$ mais ne permet pas de rendre compte du "pied de décrue". Nous l'interprétons comme une venue d'eau différée et modulée. L'impulsion donnée par la pluie a été très largement filtrée.

Le bassin versant de la source de la Figuière s'étend à l'W du Caramy mais sans que l'on sache exactement jusqu'où. Par contre, au moins par l'intermédiaire des affluents occidentaux du Caramy (Petit et Grand Gaudin), il est manifesté que la terminaison orientale de la haute chaîne - la zone des Glacières - géologiquement très compartimentée ainsi que les grès du Santonien affleurant plus à l'E, sont drainés vers la source de la Figuière. Il me semble que l'on peut voir dans cet zone aquifère un système annexe ss (MANGIN, 1975) qui fournit ces débits modulés et décalés qui constituent le "pied de décrue". Par ailleurs l'importance des débits de tarissement va tout à fait dans le sens d'une alimentation de la source de la Figuière par l'aquifère de la Foux de Nans.

Il semble donc que nous ayons là un axe de drainage W → E intéressant la partie orientale de la Sainte Baume.

4. Un massif globalement déficitaire

Le massif de la Sainte Baume est suffisamment bien délimité pour que nous puissions faire un bilan. La série chevauchante du

versant méridional de la chaîne qui est généralement considérée comme hydrologiquement intégrée au bassin du Beausset (COULIER, 1985) sera exclue. Nous conserverons par contre les collines de Bassan, situé au nord du vallon de Saint Pons, dont le seul exutoire bien modeste est la source de Saucette. Au N nous limiterons le massif à la retombée de l'anticlinal de la Lare, à la limite N de la zone broyée entre Sainte Baume et Aurélien et à la faille de Rougiers. La limite orientale étant constituée par le bassin de la Roquebrussanne. Cet ensemble a une surface de 186 km².

A partir des précipitations journalières enregistrées à la station de la Météorologie Nationale du Plan d'Aups pendant la période 1982 → 1987 nous pouvons établir la précipitation moyenne par jour soit: 2,419 mm, et donc le flux total moyen précipité par seconde sur le massif.

$$(186 \cdot 10^6 \cdot 0,002419)/86400 = 5,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Si on affecte ce flux d'un coefficient d'infiltration compris entre 30 et 40 % on obtient une fourchette à l'intérieur de laquelle devrait se trouver les débits drainés par le karst. Ces coefficients d'infiltration correspondent à ceux généralement admis dans la littérature (DROGUE et al., 1983). Si l'on compare ce flux entrant à la somme de la moyenne des débits journaliers des sources (0,8 m³/s), on obtient le tableau suivant:

Valeurs théoriques	valeurs réelles	Ecart
5,2 m ³ /s . 0,30 = 1,56 m ³ /s	0,8 m ³ /s	-0,76 m ³ /s
5,2 m ³ /s . 0,35 = 1,82 m ³ /s	0,8 m ³ /s	-1,02 m ³ /s
5,2 m ³ /s . 0,40 = 2,08 m ³ /s	0,8 m ³ /s	-1,28 m ³ /s

On constate qu'il manque dans le meilleur des cas 0,8 m³/s et que dans le pire 1,3 m³/s, flux qui échappent au drainage local tel que nous l'avons mesuré (MARTIN, 1991). Bien qu'il y ait une imprécision sur les crues, bien que nous n'ayons pas mesuré les cavités émissives comme la Tourne de Saint Pons, le réseau des Brailles ou le réseau Sabre qui ont un fonctionnement on ne peut plus épisodique et violent, et bien que nous n'ayons pas pris en compte les débits de toutes les petites sources (les Lecques: Q_x = 18,4 l/s; Bastide Blanche; Q le 01/04/86 = 35 l/s; St. Julien Q = 30 l/s; Cabrelles; etc.), il apparaît que l'ensemble du massif de la Sainte Baume est déficitaire d'environ 1 m³/s.

Ceci peut être confirmé par une approche plus globale. Les différents auteurs s'accordent généralement pour considérer que la pluie efficace tombant sur la Sainte Baume est voisine de 0,35 m/an (DROGUE et al., 1983; COULIER, 1985, 1986) soit 2,06 m³/s.

Cette valeur regroupe à la fois les infiltrations et le ruissellement. Parmi les rivières de la Sainte Baume, seul le Caramy a un écoulement permanent. Les débits de l'Huveaune en amont de la source Lazare sont pour une très large part issus du karst et ont donc été pris en compte au niveau des sources. Les ruisseaux de Peyruis, des

Encanaux et du Fauge ont des débits de ruissellement presque nuls.

Celui du Caramy, en amont du limnigraphe "Caramy Chantier", s'est établi en moyenne sur la période 1968 -> 1987 à $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$, si on exclut les débits des sources du Caramy alimentées par le massif de l'Agnis que nous n'avons pas pris en compte dans le calcul de la surface totale du massif.

Moyennant quoi nous avons:

en entrée:	$2,06 \text{ m}^3/\text{s}$
en sortie: $0,80 \text{ m}^3/\text{s} + 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$	$1,10 \text{ m}^3/\text{s}$
soit un déficit d'environ	$0,95 \text{ m}^3/\text{s}$

Valeur qui est très proche de celle que nous avons trouvée précédemment. La mise en évidence d'un tel déficit implique automatiquement que les versants W et N de la Sainte Baume soient drainés vers un exutoire très important. Rappelons que tout un faisceau d'informations (ROUSSET, 1968, 1988; COULIER, 1985) tend à montrer que le versant S de la Sainte Baume est drainé vers les sources sous marines de Port Miou et du Bestouan. En raison de leurs caractéristiques (Port Miou: 3 à $5 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'étiage, plus de 100 à $160 \text{ m}^3/\text{s}$ en crue (POTIER, 1973; ROUSSET, 1988) ces exutoires semblent être les seuls à pouvoir écouler les débits qui font défaut aux sources de la Sainte Baume. Inversement avec un débit spécifique de l'ordre de 10 l/s/km^2 dans cette partie de la région, le bassin d'alimentation de Port Miou doit couvrir plus de 300 km^2 alors même que les relations prouvées par traçage et des considérations géologiques n'aboutissent qu'à une surface de 135 km^2 (COULIER, 1985).

CONCLUSIONS

Le drainage de la Sainte Baume s'effectue à trois niveaux selon trois orientations

Nous avons vu que les principales structures géologiques ont une orientation E - W et qu'elles sont principalement recoupées orthogonalement par un réseau de drainage important dont les talwegs principaux ont une orientation S - N. Cette disposition particulière détermine un morcellement du drainage souterrain. De nombreuses petites sources drainent la partie superficielle de petits aquifères carbonatés. Ce drainage s'effectue préférentiellement vers le N en raison de la position périphérique et septentrionale des ces petites sources.

Le second niveau se développe à l'échelle du massif. Les débits les plus importants sont écoulés par les exutoires de l'aquifère de Saint Pons et par la source de la Figuière. Ces sources correspondent à des bassins versants très étendus et nous avons vu à travers de l'exemple de la Figuière que d'autres aquifères pouvaient être plus ou moins drainés vers ces émergences majeures. On notera enfin que la source de la

Figuière est située à une altitude très basse pour le massif (280 m) dans la seule gorge traversée par une rivière pérenne. Il n'est donc pas illogique qu'elle étende son bassin versant en attirant des débits supplémentaires.

Pour la source de Saint Pons la position et l'altitude de l'exutoire peuvent difficilement nous renseigner sur la dynamique de cet aquifère en raison de l'existence de cette accumulation travertineuse. On constate ainsi une propension à la remontée de l'engorgement par les travertins. Cette dynamique peut avoir rehaussé le niveau des exutoires. Les débits montrent toutefois qu'il s'agit d'un aquifère majeur dont le bassin versant doit s'étendre non seulement à la partie occidentale de la haute chaîne mais aussi à la terminaison occidentale du Plan d'Aups.

Ce second niveau de drainage traduit une réorganisation actuelle des écoulements vers les points orientaux et occidentaux les plus bas, compte tenu des structures géologiques.

Le troisième niveau de drainage et celui qui a été identifié au travers du bilan du massif. Ce sont des circulations profondes qui doivent se faire avec de très grosses perte de charge car l'eau doit franchir la zone de chevauchement qui ne doit pas être considérée comme une limite hydrogéologique majeure. Par ailleurs, le caractère sous marin des sources de Port Miou et du Bestouan indique que ces circulations ont bénéficié de niveaux marins régressifs.

Nous avons donc une organisation du drainage à 3 niveaux selon 3 orientations. Les bassins versants sont en quelque sorte emboîtés. Ceci est rapproché du système d'écoulement défini par TOTH (in KIRALY, 1977) et où l'on trouve 3 types d'écoulement: un local, un intermédiaire et un régional.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBOUIN, J. & J. CHOROWICZ, 1967: Le chevauchement sud-provençal: de l'Etoile à la Sainte Baume. - Bull. Soc. Géol. de France, 7, IX, 600-608
- BAKALOWICZ, M. & A. MANGIN, 1980: L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques et son identification. - Mém. h. sér. Soc. Géol. France, no. 11, 71-79
- BLANC, J.J. & J.P. CARON & C. GOUVERNET & G. GUIEU & J.P. MASSE & J. PHILIP & J. ROUIRE & C. ROUSSET & C. TEMPIER, 1974: Carte géologique de la France à 1/50.000. Notice explicative de la feuille 1045: Cuers. - 1ère édition. - Orléan: BRGM. - 2 p. 1 fig., et carte en coul., par ROUIRE et al., 1974
- CASTANY, G., 1967: Traité pratique des eaux souterraines. - 2ème édition, Dunod édit. 661 p., Paris
- COPPOLANI, M.F. & G. GUIEU & C. ROUSSET, 1973: Données nouvelles sur la paléogéographie miocène et la néotectonique en Basse Provence occidentale. - C.R. Acad. Sc. Paris, 276, sér. D, 493-496

- COULIER, C., 1985: Hydrogéologie karstique de la Sainte Baume occidentale, Bouches du Rhône, Var; France. - Thèse 3ème cycle, Université de Provence Aix-Marseille I, 400 p.
- COULIER, C., 1986: Le karst de la Sainte Baume (Bouches du Rhône et Var, France). Structure et évolution: l'approche hydrogéologique. - *Karstologia*, 8, 7-12
- DROGUE, C. & A.M. LATTY & H. PALOC, 1983: Les eaux souterraines des karsts méditerranéens. Exemple de la région pyrénéo-provençale (France méridionale). - *Bull. BRGM: Hydrogéologie - Géologie de l'Ingénieur*, 4, 293-311
- DURAND, R., 1972: Etude du karst de la haute vallée du Caramy.- D.E.S., Université de Provence Aix-Marseille I, 59 p.
- GUIEU, G., 1969: Carte géologique de la France à 1/50.000. Notice explicative de la feuille 1044: Aubagne Marseille. - 2ème édition. - Orléan: BRGM.- 26 p., 1 fig., et carte en coul., par GUIEU et al., 1969
- GUIEU, G. & C. ROUSSET, 1979: Le massif de l'Olympe et de l' Aurélien représentent la zone frontale du chevauchement de la Sainte Baume (Bouches-du-Rhône et Var, France). - *C.R. Acad. Sc.*, 289, sér. D., 623-626, Paris
- KIRALY, L., 1977: La notion d'unité hydrogéologique. Essai de définition. - *Bulletin du Centre d'Hydrogéologie de Neuchâtel*, 2, 83-216
- MAILLET, E., 1905: Essais d'hydraulique souterraine et fluviale.- Herman édit., 218 p. Paris
- MANGIN, A., 1975: Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. - Thèse Science, Annales de Spéléologie, 1974, 29, 3, 283-332; 1974, 29, 4, 495-601; 1975, 30, 1, 21-124
- MARTIN, Ph., 1986: Les travertins du vallon de Saint Pons (Gémenos, B. du Rh.). - *Méditerranée*, 1-2, 92-100
- MARTIN, Ph., 1988: Conséquences du fonctionnement et de l' évolution des aquifères carbonatés sur les constructions travertineuses. - *Travaux URA 903 du CNRS*, 17, Rapport ATP-PIREN Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels, 193-200
- MARTIN, Ph., 1989: Les travertins: formations corrélatives des géosystèmes karstiques; relations entre les unités de drainage et les constructions travertineuses sises à l'aval. Le cas de bassins versants provençaux (France). - 2ème Congrès Français de Sédimentologie, Paris, Association des Sédimentologues Français, livres des résumés, 191-192
- 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 vulnérabilité à la pollution. - Thèse, Université Aix-Marseille II, 412 p.
- MARTIN, P., (à paraître): Diversité de fonctionnement des principaux aquifères carbonatés d'un karst méditerranéen et provençal: le massif de la Sainte Baume, Bouches du Rhône, Var, France. - 115ème Congrès National des Sociétés Savantes, Avignon, 1990, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques

- NICOD, J., 1967: Recherches morphologiques en Basse Provence calcaire. - Thèse d'état, Université Aix-Marseille II, Louis Jean éditeur, Gap, 557 p.
- NICOD, J., 1980: Les ressources en eau de la région Provence - Alpes - Côte d'Azur. Importance et rôle des réserves souterraines. - Méditerranée, no. spécial: l'eau en Provence - Alpes - Côte d'Azur, d.l.: 4ème trim., 1980, 23-34
- POITIER, L., 1973: Etudes et captages de résurgences d'eau douce sous marines. Résurgence sous marines de Port Miou (Cassis, France). - Colloque international sur les eaux souterraines, 603-620, Palerme
- RICHARDOT, F. & C. ROUSSET, 1975: Trace de la transgression miocène sur les massifs de l'Agnis et de la Loube (Var, France). - C.R. Acad. Sc., 280, sér. D., 267-270, Paris
- ROUSSET, C., 1968: Contribution à l'étude des karsts du sud-est de la France: altérations morphologiques et minérales. - Thèse d'état, Université Aix-Marseille I, vol. ronéot., 33 p.
- ROUSSET, C., 1975: Etat de la question de la pénéplanation miocène et des effets de la phase de compression ponto-pliocène, en Provence occidentale. - Géologie méditerranéenne, II, 4, 191-195
- ROUSSET, C., 1988: Apports de nouveaux forages à la connaissance de l'aquifère karstique de Port-Miou. Communes de Cuges et Gémenos, Bouches du Rhône, France. - 4ème Colloque d'hydrologie en pays calcaires, Annales Scientifiques de l'Université de Besançon, Géologie, Mémoires hors série no. 6, 275-280
- SCHOELLER, H., 1962: Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. - Masson édit., 642 p., Paris
- TEMPIER, C., 1987: Modèle nouveau de mise en place des structures provençales. - Bull. Soc. Géol. France, (8), III, 3, 533-540
- TRIPET, J.P., 1969: Une méthode d'approche de l'analyse du tarissement d'une source karstique. Etude préliminaire. - Journées H. S. Bordeaux. Mémoire BRGM, 701-719.