

Pompage de la Fontaine de Nîmes (Gard, France)
Opération NEMAUSA XII
Résultats obtenus en hydrodynamique, paléohydraulique urbaine et pollution

Philippe MARTIN

Résumé

En août 1991, 4 associations gardoises [l'Association spéléologique nîmoise, le Spéléo Club lasallien Nîmes, le club Ratapenada et le Comité départemental de Spéléologie du Gard (France)] ont tenté d'assécher une partie du réseau de la Fontaine de Nîmes 20 ans après leurs devanciers. Pour cela nous avons employé 1 pompe de 1500 m³/h et 14 pompes plus petites. Nous avons vidé plus rapidement (en 4 jours) les mêmes galeries (=400 m) que nos devanciers. La partie aval du réseau qui a une forme de Y a été retopographiée. Nous avons constaté une augmentation temporaire du débit naturel après 3 jours de pompage (de 58 à 90 l/s) en raison de l'importance des volumes pompés (-70 000 m³). Pendant 1360 mn, dans la vasque d'entrée, le débit pompé fut constant (205 l/s). Pendant 1440 mn dans le siphon de la Trémie le débit pompé fut constant (78 l/s). Dans les deux cas la relation entre le rabattement et le temps est une droite. Le réseau est donc une succession de poches d'eau alimentées, séparées par des seuils. A l'amont du collecteur on a mesuré une forte pollution qui est plus importante dans la branche W. que dans la branche N. Les plongeurs ont trouvé la suite de la galerie W. et, dans un affluent de la galerie W., des poteries.

Abstract

In August 1991, 20 years after their predecessors, 4 clubs [the "Association spéléologique nîmoise", the "Spéléo Club lasallien Nîmes", the "club Ratapenada" and the "Comité départemental de Spéléologie du Gard" (France)] tried to dry up the network of the Fontaine de Nîmes. For this purpose, we used a big pump (1500 m³/h) and 14 smaller pumps. We dried up more quickly than our predecessors (in 4 days) the same length of galleries (=400 m.). The Y shaped downstream network was re-topographed. We saw a temporary increase of natural discharge after 3 days of pumping (60 to 90 l/s) owing to the importance of pumped volumes (in 4 days =70000 m³). During 1360 mn, in the "vasque d'entrée", the pumped discharge was constant. During 1440 mn, in the "siphon de la Trémie", the pumped discharge was constant. In those two cases, the relationship between drawdown and time is linear. The network is thus a succession of supplied waterpockets disconnected by sills. Upstream from the collector, our measures show much pollution; it is more important in the West gallery than in the North gallery. The divers found the continuation of the West gallery and, in an affluent of the West gallery, some unbroken earthenwares.

I. INTRODUCTION.

La Fontaine de Nîmes est une émergence karstique dont la source et une partie du bassin versant sont situés en milieu urbain. Les rapports entretenus entre cette émergence et la population nîmoise sont très anciens et très forts. Ceci explique les multiples efforts visant à sa compréhension et à son exploration, au-delà de la vasque d'entrée (pour une bibliographie historique, voir FABRE, 1980, 1986).

Cette émergence, qui draine un bassin-versant estimé entre 40 et 50 km', peut avoir des débits d'étiage très

faibles (10 l/s, peut-être moins) et des crues très fortes (maximum estimé: 24 m³/s) [FABRE & GUYOT, 1984]. Ces crues ne peuvent se concevoir sans un réseau de drainage souterrain très efficace dont la découverte et l'exploration ont suscité une recherche continue par les spéléologues locaux. Pour cela ils ont utilisé tour à tour les techniques du pompage (COLLECTIF, 1972) et les explorations en scaphandre autonome (POGGIA, 1981; ANONYME, 1986). Ces efforts ont permis de découvrir un réseau (topographie sur 2754 m) en forme de Y et constitué de 2 galeries affluentes (la galerie ouest et la galerie nord topographiées en plongée (FABRE, 1986) confluent au lieu dit le Capou et se poursuivent par une

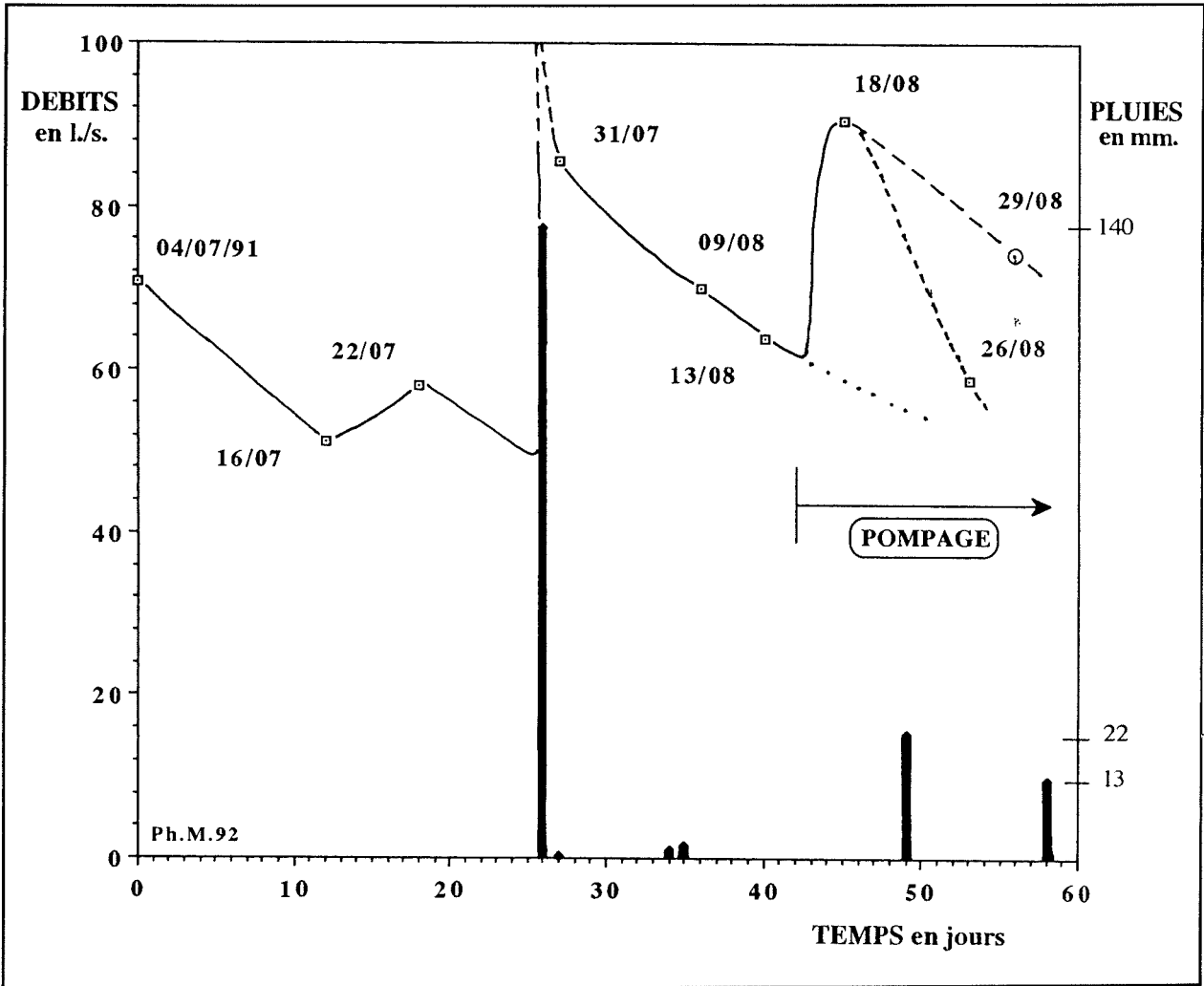


Figure 1 : Variation des débits et des précipitations avant et après le pompage

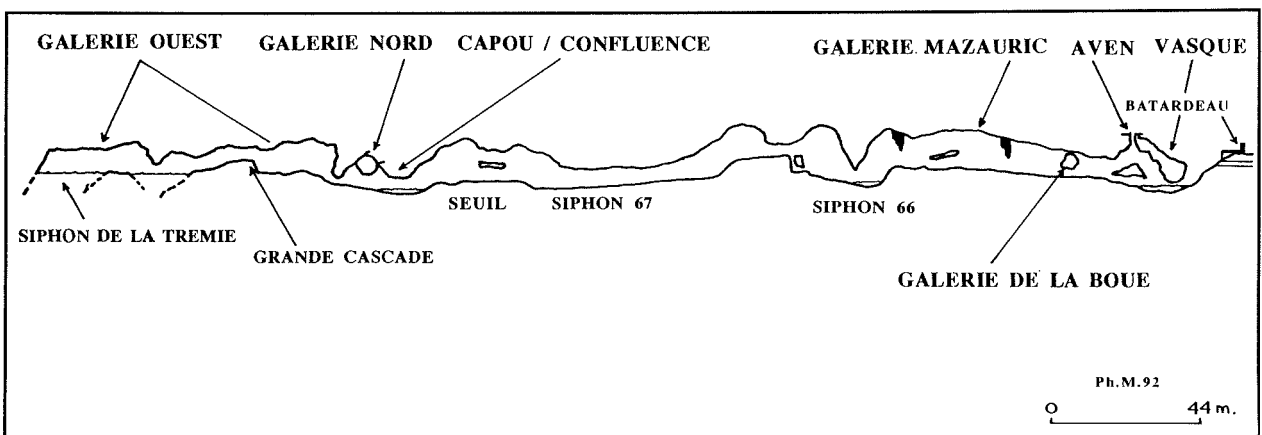


Figure 2 : Collecteur aval de la Fontaine de Nîmes, assèchement maximal obtenu lors du pompage de 1991 (en partie d'après FABRE, 1971, FABRE *et al.*, 1972).

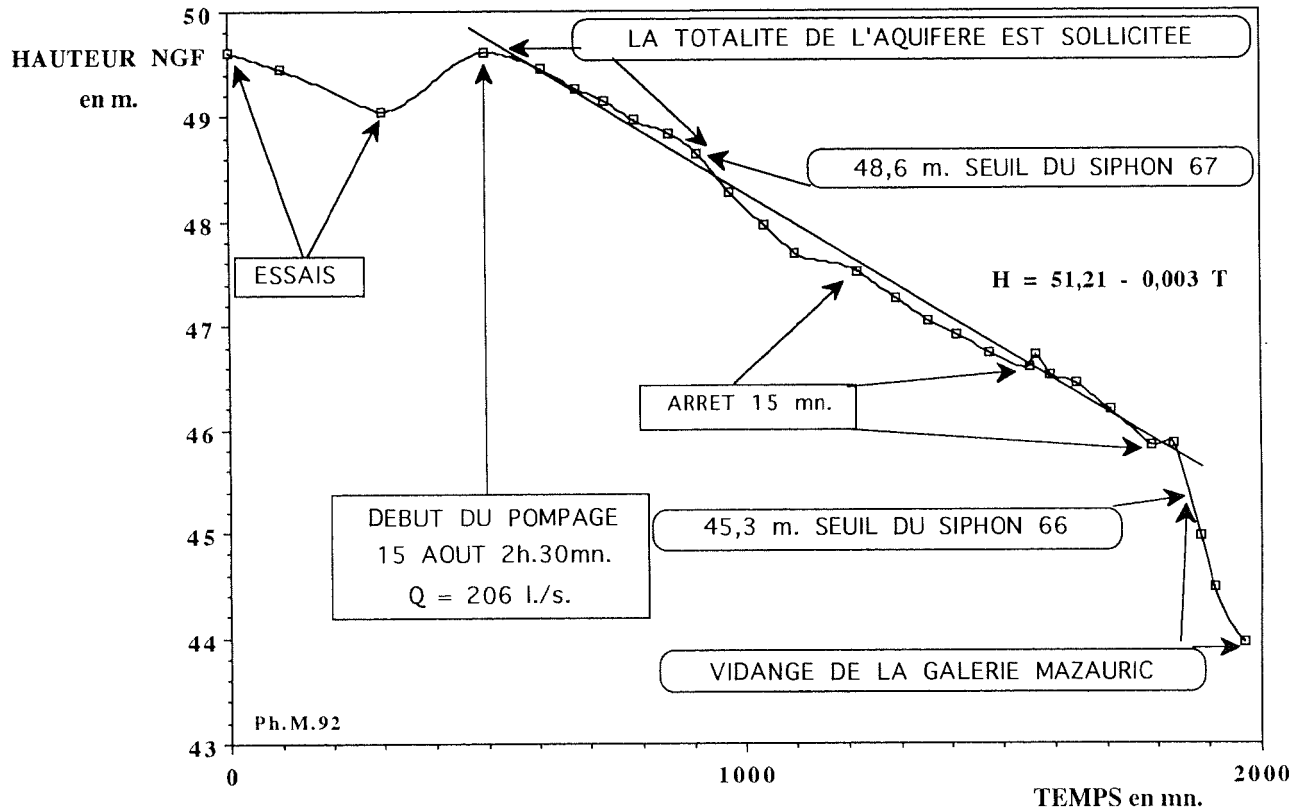


Figure 3 : Rabattement linéaire obtenu dans la vasque d'entrée.

galerie unitaire, le collecteur aval, lui-même subdivisé d'amont en aval en 3: le siphon 67, le siphon 66 et la galerie Mazauric. Le nom des siphons - voûtes mouillantes encore noyées lorsqu'on a préalablement asséché la vasque d'entrée - correspond aux années où ils ont été vidés pour la première fois.

Le pompage de 1991 a été réalisé par 4 associations gardoises: l'Association spéléologique nîmoise, le Spéléo Club lasallien Nîmes, le club la Ratapenada et le Comité départemental de Spéléologie du Gard, sous la direction de M. LACROIX, A. COSTE et Ph. MARTIN responsables respectivement de l'organisation générale, de la gestion des ressources humaines et du suivi scientifique et médiatique de l'opération NEMAUSA XII. Il avait pour but d'assécher le siphon le plus en aval de la galerie ouest - ou siphon de la Trémie - de façon à pouvoir explorer en détail cette galerie qui achemine l'essentiel des débits mais dont les dimensions et la morphologie, telles qu'elles ont pu être reconnues par les plongeurs, ne correspondaient pas aux débits transitants. L'hypothèse qui a été avancée et qui a déterminé la réalisation de ce pompage était que le cheminement suivi par les plongeurs n'emprunte pas la

galerie principale à découvrir, mais un passage bas et étroit. Pour cela, nous avons employé 1 pompe de 1500 m³/h et 14 pompes plus petites qui nous ont permis de vider plus rapidement que nos devanciers (en 4 jours) les mêmes galeries (400 m) (Fig. 2).

Cette source étant située dans un périmètre urbain et intégrée à un jardin public d'agrément, il était intéressant, dans la situation actuelle (faibles débits d'étiage et accroissement des problèmes liés à la pollution des eaux: prolifération d'algues, mauvaises odeurs, etc.) d'essayer d'utiliser ce pompage, pour préciser le fonctionnement de cette émergence en réalisant, d'une part, des pompages à débits constants et en analysant, d'autre part, la qualité des eaux provenant des galeries ouest et nord.

II. SITUATION HYDRO-CLIMATIQUE.

L'année hydrologique 1990-1991 a été légèrement déficitaire pour le sud-est de la France (COLLECTIF, 1991). Il en est de même pour la région nîmoise. Cette situation presque moyenne découle en fait de l'importance des pluies d'octobre. Les petites pluies

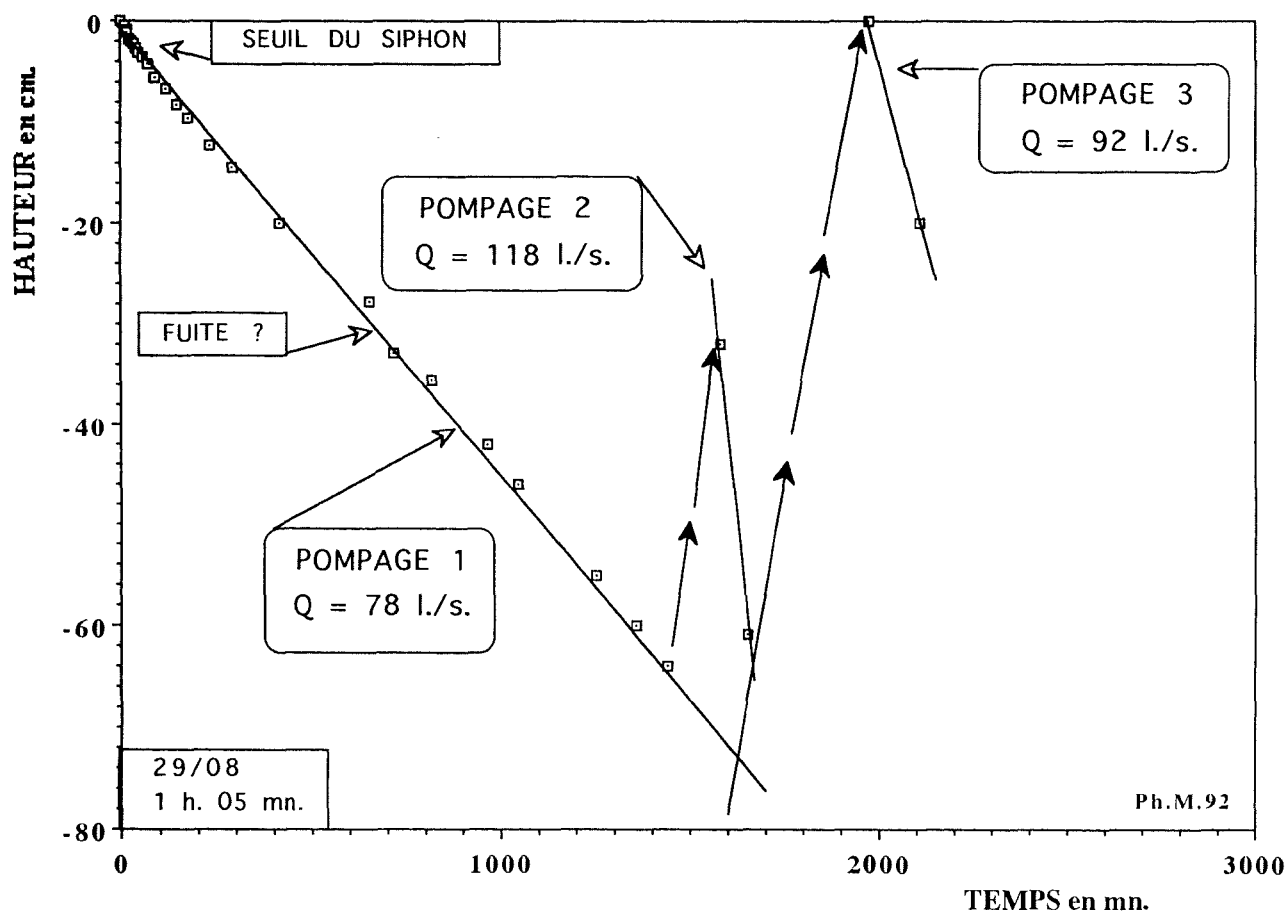


Figure 4 : Rabattement linéaire dans le siphon de la Trémie.

tombées en juin - juillet, qui ont fait réagir la source, n'ont rien changé à l'état hydrique de l'aquifère qui fut soumis pendant 3 ans (1989-1991) à une recharge faible. Le caractère déficitaire des pluies efficaces peut être souligné en rappelant qu'en août 1991 le Vistre (petit fleuve côtier drainant la Fontaine de Nîmes et la plaine de la Vistrenque) a connu son débit d'étiage le plus faible jamais mesuré. Ce pompage a été précédé de quelques petits épisodes pluvieux déterminant des variations de débit (Fig. 1). Les jaugeages exécutés au micro-moulinet font apparaître entre le 16 et le 22 juillet une augmentation du débit de 6 Vs sans que la Météorologie nationale n'ait enregistré de précipitations aux 2 stations de Nîmes (Nîmes Courbessac dans la plaine et Nîmes - Mas de Ponge sur le plateau et dans le bassin versant de la Fontaine; station utilisée pour la Fig. 1). Ces pluies étant de caractère orageux en période estivale, comme le montre l'écart entre les valeurs enregistrées le 30 juillet (140 mm au Mas de Ponge et 20,6 mm à Courbessac), nous pouvons penser que cette petite augmentation est plutôt liée à un orage localisé qu'à une erreur de jaugeage. La pluie du 30/07 a induit

une crue notable puisque, le 31/07 vers 22 h, nous mesurons un débit de 85,6 Vs. Elle a perturbé tout le tarissement. La situation de plus basses eaux de la mi-juillet n'a pas été retrouvée avant le pompage, soit 15 jours plus tard. Le débit de la source était encore le 13 août de 64 Vs.

III. LE POMPAGE DANS LA VASQUE D'ENTRÉE.

La première opération du pompage, effectuée dans la vasque d'entrée de la source, a été réalisée avec 2 pompes débitant 741 m³/h, soit 206 Vs. Ces pompes ont été positionnées par des plongeurs le plus bas possible dans la vasque, dès le 14 août et de façon définitive (Fig. 2).

Après quelques essais nous avons commencé le pompage le 15 août à 2 h 30. La relation entre la baisse du niveau de l'eau et le temps fut linéaire (Fig. 3). Quelques petites inflexions peuvent être mises en rapport avec le dénoyage de différents seuils dans le collecteur aval. On notera l'accroissement de la vitesse de baisse

du plan d'eau lorsque le seuil du siphon 66 a été dénoyé. Cette augmentation est à mettre en rapport avec la diminution des volumes à vider.

Cette relation linéaire montre que nous vidons en réalité une "citerne", un ensemble de poches d'eau très bien connectées. Elle est linéaire même lorsque l'ensemble de l'aquifère est sollicité. Les drains parcourant cet aquifère sont donc tout à fait efficaces.

Le volume des cavités vidées et situées au-dessus de la cote 43,9 NGF est estimé à $\approx 13000 \text{ m}^3$. Ce petit volume est trop faible pour que l'on puisse maintenir un débit d'étiage suffisant dans les Jardins de la Fontaine en pompant sur le drain.

Une mesure effectuée au micro-moulinet sur le seuil entre le Capou et le siphon 67 donne un débit de 90 l/s le 18 août, hors de toute action de pompage (Fig. 1). Une seconde mesure réalisée en haut de la cascade montre qu'il était redescendu le 26 août à 58 l/s.

En extrapolant le tarissement du 31 juillet au 12 août ($a = -0,0099$, ce qui est conforme avec la valeur de $-0,0092$ obtenue à partir du seul tarissement précédemment modélisé (FABRE & GUYOT, 1984), nous avons calculé que le volume naturel fourni par la source aurait été, du 13 au 26/8, de $\approx 67000 \text{ m}^3$. Le débit naturel effectivement écoulé est de $\approx 94000 \text{ m}^3$. Le prélèvement sur les réserves est de $\approx 27000 \text{ m}^3$. Ce déstockage prouve l'existence de réserves, de zones annexes capacitives, de vides karstiques situés au-dessus de la cote du seuil aval du siphon de la Trémie, puisque la galerie nord ne fournissait qu'environ 1/60 du débit.

IV. LE POMPAGE DANS LE SIPHON DE LA TRÉMIE.

Après le transport et l'installation de pompes permettant, quel que soit le rabattement, un pompage à débit constant, nous avons fait 3 tentatives pour vider le siphon de la Trémie.

Lors du premier essai, nous avons associé 2 pompes assurant un débit de 78 l/s. Cette configuration a fonctionné pendant 24 h. Une relation linéaire entre le rabattement et le temps a été établie (Fig. 4). Le temps nous manquant et le passage vers l'amont reconnu par les plongeurs étant à 7 m sous le seuil, il fut décidé d'augmenter les capacités de pompage en adjoignant une troisième pompe.

Lors de cette seconde tentative, le débit pompé était de 118 l/s. La baisse du niveau fut beaucoup plus rapide, mais ce débit était trop important pour les capacités de pompage installées à la station relais du Capou. Ceci entraîna l'arrêt de cet essai et la recherche d'un débit intermédiaire de 92 l/s. Celui-ci fut obtenu avec 2

pompes mais dut être arrêté sous la menace d'un orage.

La linéarité des relations entre le rabattement et le temps montre que nous sommes ici encore en présence de poches d'eau qui se vidangent très bien. Le volume maximum prélevé sur les réserves est de l'ordre de 1800 m^3 . Si l'on assimile le drain à un parallélépipède dont la hauteur correspondrait au rabattement et pour lequel nous nous donnerions une largeur de 4 m (ce qui est conforme aux morphologies rencontrées), celui-ci aurait une longueur de 650 m, ce qui est en accord avec la longueur des galeries explorées en plongée. Nous avons donc supposé qu'un seuil d'une altitude supérieure à 48 m NGF compartimente cette partie de l'aquifère comme la grande cascade le fait pour la partie aval vis-à-vis de la galerie ouest. Ce seuil, dont la partie aval se présente sous la forme d'un toboggan, a été découvert par G. PEIGNEY dans la nuit du 27 au 28 août, au cours d'une reconnaissance en plongée, puis franchi par ce même plongeur le 31 août. Cette découverte avec d'autres réalisées au cours et depuis le pompage ont permis de relancer l'exploration de la branche ouest de la Fontaine de Nîmes.

A. Rabattement en fonction du débit pompé.

Les relations entre le rabattement et le temps, quel que soit le débit pompé, sont linéaires. La pente des droites est proportionnelle au débit pompé comme le rabattement (Fig. 5).

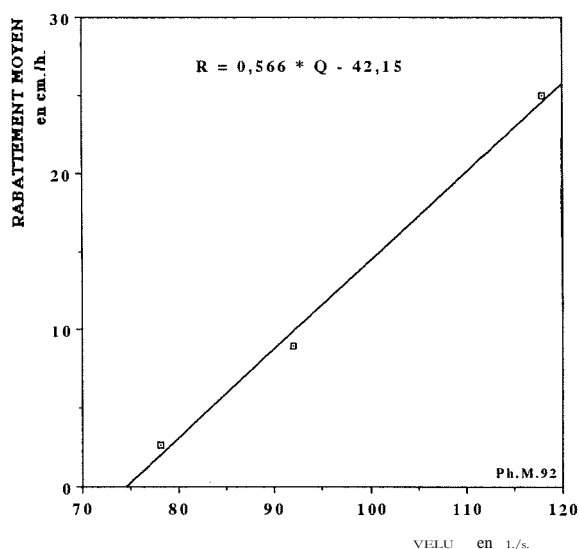


Figure 5 : Relation entre le rabattement moyen obtenu et le débit pompé dans le siphon de la Trémie

Cette relation entre rabattements et débits peut être modélisée en effectuant une régression. Son équation (Fig. 5) permet de calculer que pour atteindre, en un laps

de temps de 4 jours, le passage situé à - 7 m qui permet d'accéder à la suite du réseau, il faudrait, avec un débit naturel de 60 l/s, installer une capacité de pompage d'au moins 350 m³/h.

Cette équation montre aussi que, pour obtenir un rabattement, il faut un débit pompé supérieur à 75 l/s. L'alimentation du siphon ne serait donc pas égale à ce que nous avons pu mesurer par jaugeage en haut de la cascade, le 26 août, mais elle lui serait supérieure de 16 l/s. Si nous excluons une erreur de jaugeage cela implique:

—soit qu'il y ait une fuite ou plus exactement qu'il existe un cheminement qui court-circuite notre section de jaugeage; cela paraît morphologiquement tout à fait possible, car l'eau peut réapparaître dans le bief situé au pied de la grande cascade sans que cela soit visible;

—soit qu'en raison même de l'abaissement du plan d'eau que nous produisons, d'autres "poches d'eau" se vidangent vers notre point de pompage; cela correspondrait à un phénomène semblable à celui qui a été relaté ci-dessus; dans cette hypothèse, notre jaugeage en haut de la cascade serait tout à fait valable et devrait être interprété comme rendant compte d'un état de l'aquifère à un moment donné et en fonction du niveau du seuil constitué par le haut de la grande cascade.

Par ailleurs si l'on porte cette valeur de 75 l/s au 29/08 sur la Figure 1, nous nous apercevons que la diminution du débit ainsi défini suit une pente très proche des deux "tarissements" qui se sont produits entre le 4 et le 16/07 et entre le 31/07 et le 13/08.

La forme très légèrement concave de la première partie de la courbe de rabattement atteste peut-être de l'existence d'un de ces phénomènes (court-circuit ou apport). Cette concavité tranche avec l'alignement presque parfait des points pour la partie basse de la courbe. Nous ne pouvons trancher entre les 2 hypothèses, mais nous pensons qu'effectivement l'abaissement du plan d'eau du siphon de la Trémie génère des apports supplémentaires. Les futures capacités de pompage doivent être revues en conséquence.

V. DES POTERIES TÉMOINS D'UN ANCIEN ACCÈS AU RÉSEAU.

L'échec de notre tentative de vider le siphon de la Trémie doit être relativisé car, en raison même de l'assèchement de la partie aval du réseau, l'équipe de plongeurs se trouvait en position tout à fait favorable pour réaliser de grandes découvertes. Elles furent au nombre de deux; l'une est due à G. PEIGNEY qui découvrit les niveaux supérieurs et la suite de la galerie ouest, l'autre à S. GILLY qui reconnut dans une

nouvelle galerie affluente de la galerie ouest, un lot de poteries en forme de cruche. Cette galerie a été dénommée Galerie des Poteries par l'inventeur, qui y a déroulé 300 m de fil d'Ariane pour une profondeur maximale atteinte de -20 m sous le seuil constitué par la grande cascade. Elle se termine sur une étroiture (1,20 x 0,30 m) mais un prolongement est visible.

Au dire des plongeurs qui l'ont parcourue et qui en réalisent actuellement la topographie, elle est très sinueuse tant dans un plan vertical qu'horizontal. Elle a des dimensions moyennes (2,5 x 3 m) et la visibilité y est rapidement très réduite en raison de la "boue" soulevée par les palmes. Son orientation est grossièrement nord, voire nord-nord-ouest.

Aux dires de S. GILLY, les poteries, au nombre de 6 ou 7, sont dispersées sur 8 à 10 m sur un fond constitué de graviers et d'argile. Le plongeur les qualifie de poteries en forme de cruche et a estimé leur contenance à 5 litres pour l'une et à 3 litres pour les autres. La plus grosse est cassée. Les autres sont entières. L'épaisseur de la poterie est de 4 à 5 mm. L'une des poteries est noire. Leur fond est plat. L'extérieur est lisse. Elles sont fragiles et se cassent lors de la prise en main.

L'étréouiture terminale située 80 à 90 m en amont des poteries ne pouvant avoir laissé passer de telles cruches, j'ai demandé aux plongeurs qui réalisent la topographie (C. GILLY, M. BERNARD, J.M. HAUTAVOINE, G. MARTIN) de rechercher à la verticale de ces poteries, compte tenu du faible courant devant parcourir cette galerie (sédiments), la base d'un puits.

Une petite cheminée sans aucune trace d'aménagement, contrairement à ce que nous avons cru au début, de section ronde et de 0,50 m de diamètre, a été repérée par M. BERNARD à la verticale d'une poterie (sans que l'on sache si elle appartient au lot de cruches vu par S. GILLY) lors d'une exploration en scaphandre autonome après la fin du pompage. Il semble que les poteries vues par S. GILLY soient 10 m en amont.

Même si le cheminement suivi par ces poteries pour venir de la surface dans cette galerie boueuse n'est pas aujourd'hui très clair, il semble bien que nous soyons en présence de témoins d'un ancien accès direct au réseau de la Fontaine de Nîmes qui a été oublié ultérieurement.

Se pose maintenant le problème de sa localisation, de son âge, de sa conception et de son utilisation, et plus généralement des rapports millénaires entretenus entre les Nîmois et leur karst.

VI. UNE EAU DE QUALITÉ TRÈS MÉDIOCRE.

En cette période de basses eaux, depuis quelques années à chaque étiage, des désagréments olfactifs et visuels ont conduit plusieurs personnes à soulever le problème de la qualité des eaux de la Fontaine. Cette pollution est très importante au regard de la qualité des eaux d'autres karsts (CHAUVE *et al.*, 1982; MUDRY, 1982; MARTIN, 1991). Jusqu'à maintenant, elle a été quantifiée à partir de prélèvements effectués dans la vasque ou dans les puits d'entrée. Il était donc intéressant d'utiliser ce pompage pour quantifier la qualité respective de eaux provenant des galeries nord (G.N.) et ouest (G.O.) et de situer la qualité de petites alimentations permanentes comme le trou des Testas ou temporaires comme dans la galerie de la Boue.

Les prélèvements (G.O 6 et G.N. 7, Testas 1, G.B. 1) ont presque tous été effectués par nos soins et acheminés aussi vite que possible, parfois après conservation au réfrigérateur (week-end) aux laboratoires de la SAUR (Société d'Aménagement urbain et rural) où ils étaient analysés grâce au concours de M. GRANDJEAN et de M^{me}. PINAULT.

Les indicateurs de la pollution ont des valeurs différentes selon l'origine des eaux, mais dans tous les cas nous nous trouvons très loin de la qualité que nous pourrions attendre d'une eau de source ou même de la qualité la plus médiocre requise pour une eau à potabiliser (MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE LA SOLIDARITÉ, 1991).

A. L'effluent pluvial et/ou urbain de la galerie de la Boue.

La pire des analyses est celle effectuée sur les eaux sortant de la galerie de la Boue. Nous y trouvons des concentrations en sulfate (95 mg/l), nitrate (44 mg/l), nitrite (0,135 mg/l), azote ammoniacal (1,6 mg/l), phosphate (4,75 mg/l), fer (1,32 mg/l) et manganèse (0,57 mg/l), ainsi qu'une oxydabilité (O_2 cédé par $KMnO_4$ en milieu acide de 12,2 mg/l) maximales. La Demande chimique en oxygène (DCO = 43 mg/l) mesurée n'est dépassée que par celles obtenues, au début du pompage, sur les eaux de la G.N. (55 mg/l) et du trou des Testas (57 mg/l).

L'échantillon prélevé l'a été sur un écoulement temporaire provoqué par la petite pluie du 31 août 1991 (13 mm au Mas de Ponge). Ces précipitations, dont nous pouvons penser qu'elles ne recelaient pas de telles teneurs, ont donc entraîné des éléments préalablement stockés.

En raison de la proximité de la surface et de l'apparition de cet écoulement à la suite d'une petite pluie, nous

pouvons penser, pour les chlorures ou les sulfates, à un mécanisme de reconcentration d'apports atmosphériques, dans l'épikarst. La fonction d'évapotranspiration permet une augmentation de la teneur en chlorures à partir des faibles concentrations en chlorure de sodium apportées par la pluie (MBA, 1971; BLAVOUX & MUDRY, 1986). L'origine des sulfates est à rechercher dans les produits de combustions contenant du soufre et apportés par les pluies. Les fortes teneurs en Ca^{++} (331,8 mg/l) indiquent que le bassin versant de ce petit drain est végétalisé, car une grande partie du CO_2 est généré dans les sols.

Nous ne pouvons exclure, et certains ions sont là pour le prouver, des apports d'eaux domestiques chargées en phosphates (lessives), en nitrates, en matières organiques etc. Pour les eaux souterraines qui en sont généralement peu chargées, la teneur en matières organiques révèle une liaison avec une source de pollution. Leur quantification se réalise en mesurant l'oxygène nécessaire pour les oxyder. Il semble là aussi qu'il y ait eu au moins un stockage et très certainement des recombinaisons chimiques, avant que l'eau de pluie ne chasse l'ensemble.

Certaines concentrations, en particulier celles du fer et du manganèse, sont tout à fait étonnantes et elles ne peuvent s'expliquer que par un apport, une reconcentration et un maintien en solution par des mécanismes d'oxydo-réduction dans lesquels entre la matière organique.

Nous avons donc là, à une échelle réduite, un exemple de transfert de pollution vers un aquifère karstique en zone urbanisée. L'eau prélevée dans le trou des Testas a une DCO très forte et une concentration en potassium (14,6 mg/l) 2 à 3 fois supérieure à celle mesurée ailleurs dans le réseau. Les teneurs en chlorures ou en sulfates sont par contre semblables. Cette petite galerie se caractérise par la présence de limons et d'argiles qui pourraient être à l'origine des teneurs en potassium.

B. Teneurs mesurées dans les eaux galeries nord et ouest.

Si nous comparons les concentrations obtenues à partir des échantillons prélevés dans les 2 galeries le même jour et dans les mêmes conditions, nous nous apercevons que, dans tous les cas, les valeurs de l'oxydabilité, des nitrates, des nitrites, de l'azote ammoniacal, de l'azote total et, dans 5 cas sur 6, des phosphates et de la DBO₅, les eaux de la galerie ouest présentent des concentrations supérieures à celles de la galerie nord.

Cette différence montre que la branche ouest, qui draine l'essentiel des débits, est la plus polluée et qu'une action visant à améliorer les eaux de la galerie nord, même si elle est souhaitable, n'aurait qu'un impact mineur sur la

pollution totale à la vasque. Il faudrait surtout s'attaquer aux rejets effectués dans la zone drainée par cette galerie, zone qui intègre très probablement la décharge des Lauzières.

Comme les mesures ont été faites en étiage après une action de pompage qui a sollicité les réserves, nous pensons que les valeurs obtenues nous renseignent sur les concentrations existant dans l'ensemble de l'aquifère y compris dans les zones capacitatives éloignées des drains. L'ensemble des réserves est aujourd'hui atteint.

La relation statistique, matérialisée par la régression de la Fig. 6, entre les concentrations en Cl^- et en PO_4^{3-} mesurées à la G.N. est excellente. Ces concentrations en POP qui est un ion naturellement très vite fixé par les sols, ainsi que la qualité de cette relation qui traduit la préexistence d'équilibres chimiques dans les flux entrant dans le milieu naturel, nous indiquent qu'une grande partie des débits transitant dans la galerie nord a une origine anthropique. Cette galerie collecte des eaux usées de la zone urbanisée sise à proximité. Pour la G.N. il existe aussi une relation linéaire excellente ($r = 1,00$) entre l'oxydabilité et la DBO5. La DBO5 représente généralement la pollution organique carbonée biodégradable.

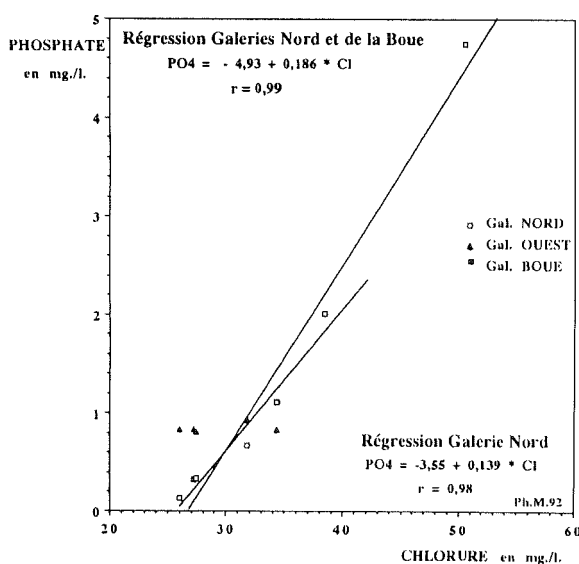


Figure 6 : Relation entre les concentrations en phosphates et en chlorures.

Les concentrations de la galerie ouest ne présentent pas de relations apparentes entre elles même pour Cl^- et PO_4^{3-} (Fig. 6), alors que les valeurs obtenues sur l'échantillon de la galerie de la Boue s'intègrent elles dans la relation définie pour la G.N. Par contre les valeurs de rH, comme nous pouvions nous y attendre,

sont toujours légèrement plus basses (entre 18,1 et 20,4) que celles de la galerie nord (entre 19,7 et 22,8). Ces valeurs montrent que nous sommes en présence de milieux aérobies qui favorisent l'oxydation des composés organiques et que cette oxydation est plus complète dans la galerie nord. Cela semble confirmé par la faiblesse des teneurs en NH_4^+ .

La pollution étant présente dans la G.O. comme nous l'avons vu ci-dessus, il semble donc que les caractéristiques des flux entrant dans le karst aient été modifiées par le fonctionnement de l'aquifère, ce qui est en accord avec son importance et ses réserves.

C. Transferts et niveaux de pollution en fonction des modalités de fonctionnement.

Nous pouvons mettre en évidence 3 niveaux d'association entre fonctionnement et pollution.

1. Le niveau 1 correspond à un effet de chasse à la suite d'une petite précipitation lessivant à la fois une pollution locale très importante et des reconcentrations dans un épikarst. Cela correspond aux écoulements qui se sont produits dans la galerie de la Boue. C'est certainement de cette façon que pollutions et éléments reconcentrés dans l'épikarst rejoignent la zone de transfert puis la zone noyée de l'aquifère.

2. Le niveau 2 est celui d'un fonctionnement quasi permanent mais à débits faibles dans la zone de transfert. C'est ce qui se passe dans la galerie nord dont le débit d'étiage (≈ 1 l/s) est pour une large part tributaire d'une alimentation anthropique. La galerie nord est un ancien collecteur qui fonctionne actuellement en été quasiment comme un réseau d'égout naturel souterrain pour la zone urbanisée se trouvant à proximité. Ce drain doit recevoir des apports permanents et des effets de chasse tels que celui décrit ci-dessus.

3. Le niveau 3 est celui d'un fonctionnement permanent d'un drain situé pour une large part dans la zone noyée et dans une position telle (connexion avec des systèmes capacitifs) qu'il peut drainer l'essentiel des réserves hydriques. Ce niveau renseigne sur l'état général de l'aquifère, sur la pollution moyenne qui y réside après une homogénéisation des apports par une masse considérable d'eau. Il ne s'agit plus là de bouffées de pollutions, mais d'un état permanent de dégradation.

VII. CONCLUSIONS

La Fontaine de Nîmes est une cavité subhorizontale constituant le drain principal d'un aquifère qui recèle un ensemble de "poches d'eau" bien connectées au drain mais assez nettement limitées par des seuils. Un

prélèvement en vue d'un soutien d'étiage sur les réserves de cette émergence qui ne sont pas négligeables ($0,75 < v_d < 1,25 \text{ Mm}^3$) ne peut donc être réalisé sur la partie aval du drain sans au préalable résoudre la question des seuils. Le seul point actuellement connu permettant de jouer sur une partie des réserves est le fond du siphon de la Trémie situé à 16 m sous le seuil aval le définissant.

La découverte de poteries lors de reconnaissances en scaphandre autonome nous a révélé que la population nîmoise avait une connaissance empirique de ce karst qui a depuis été perdue.

Enfin il est tout à fait regrettable que la qualité de l'eau de la Fontaine de Nîmes soit si médiocre et qu'elle se détériore d'année en année. De toute évidence, les réserves hydriques de cet aquifère sont fortement polluées même si, ici ou là, on peut montrer que les concentrations mesurées sont inférieures à certaines normes. Si nous comparons par exemple les chiffres obtenus pour la Fontaine de Nîmes avec ceux dont nous disposons pour des karsts peu anthropisés, nous ne pouvons qu'être préoccupés. J'ai ainsi pu montrer que certains aquifères du massif de la Sainte—Baume, dans les Bouches-du-Rhône et le Var, fournissent toute l'année, ou une grande partie de l'année, des eaux abondantes, chimiquement et bactériologiquement potables naturellement. Autant dire que nous en sommes très loin pour la Fontaine de Nîmes. Une réelle politique de lutte contre cette pollution combinant une collecte des eaux usées dans les zones d'habitat dense et un suivi rigoureux des installations individuelles obligatoires de dépollution dans les zones d'habitat diffus devrait être poursuivie, si ce n'est mise en oeuvre.

VII. REMERCIEMENTS

Toutes les personnes ayant contribué, que ce soit en donnant de leur temps ou en sponsorisant cette opération, ne peuvent être citées, par manque de place. Nous les remercions globalement, en soulignant toutefois la participation active de la Municipalité, et nous renvoyons le lecteur à la plaquette richement illustrée, publiée à la suite du pompage, pour une liste exhaustive (COSTE & MARTIN, 1992). Nos remerciements vont aussi à G. FABRE pour la documentation qu'il a mise à notre disposition.

IX. BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1986. La Fontaine de Nîmes livre ses secrets. *Info Plongée: Bull. Commiss. Plongée Féd. franç. Spéléol.*, Paris, 45, p.13.
- BLAVOUX, B. & MUDRY, J., 1986. Influence des pluies estivales sur la qualité des réserves de l'aquifère karstique: le rôle du sol et de l'épikarst dans la concentration des chlorures. *Bull. Soc. géol. France*, 8, t.2, 4 : 667-674.
- CHAUVE, P., BLAVOUX, B., MIGNOT, C. & MUDRY, J., 1982. Les éléments chimiques extérieurs au système karstique indicateurs de la qualité des eaux des réserves des calcaires jurassiens. *Ann. scient. Univ. Besançon, 3e Coll. Hydrol. Pays calcaire, Géol., Mémoire 1* : 23-38.
- COLLECTIF, 1972. Fontaine de Nîmes. *Trav. spéléol. Némausa, Bull. spécial 3*, Ass. spéléol. nîmoise, éditeur, 86 p.
- COLLECTIF, 1991. - Situation hydrologique et prévisions des basses eaux. *Bull. B.R.G.M.* 44, 45, 46, Orléans.
- COSTE, A. & MARTIN, Ph., 1992. Fontaine de Nîmes, exploration spéléologique Némausa XII, août 1991, *Suppl. au Bull. Némausa*, Ass. spéléol. nîmoise, Groupe spéléol. La Ratapenada et Spéléo Club lasallien Nîmes, éditeurs, 16 p.
- DEMANGEON, P., FABRE, G. & SALVAYRE, H. 1972. Nouvelles données sur le karst de la Fontaine de Nîmes et son bassin d'alimentation. *Ann. Spéléol.*, 27, 3 : 479-504.
- FABRE, G., 1971. - Topographie du karst noyé de la Fontaine de Nîmes. *Bull. Soc. Et. Sc. nat. Nîmes*, 51 : 267-281.
- FABRE, G. 1980. Les karsts du Languedoc oriental. Thèse de doctorat d'état, géographie. *Mémoire 2, Ass. franç. Karstol.*, 470 p.
- FABRE, G., 1986. Karstologie urbaine et rurale appliquée. Le problème de la Fontaine de Nîmes (Gard). *Karstologia*, 8 : 3-6.
- FABRE, G. & GUYOT, J. L., 1984. Première série continue de jaugeages sur la Fontaine de Nîmes (Gard). Données et interprétations des principaux résultats. *Trav. E.R.A. 282 du CNRS*, Aix en Provence, 13: 65-78.
- 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 nouveau régime, Université Aix—Marseille II*, 326 p.
- MBA, M., 1971. Contribution à l'étude des variations des teneurs en chlore des eaux souterraines de quelques karsts de la région languedocienne. *Thèse 3e cycle, Géol. appliquée, Hydrogéol., Univ. Sc. et Techniques Languedoc*, Montpellier, 102 p.
- MINISTERE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE LA SOLIDARITE (1991). - Eaux destinées à la consommation humaine. *Code de la santé publique. Première partie. Livre 1 er: protection générale de la santé publique.* Titre 1er: mesures sanitaires générales. n.p.

- MUDRY J. (1982). - Etude du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère karstique de la Fontaine de Vaucluse (S.E. de la France) à partir des analyses physico-chimiques hebdomadaires (cycle 1981-82). *Ann. scient. Univ. Besançon, 3e Coll. Hydrol. Pays calcaire, Géol., mémoire 1*: 191-203.
- POGGIA, F., 1981. Fontaine de Nîmes (Gard). *Info Plongée: Bull. Commiss. Plongée Féd. franç. Spéléol.*, Paris, 31, np.

Adresse de l'auteur:

Philippe Martin
URA 903 du CNRS
7, rue Dorée
F. 30 000 NÎMES
FRANCE