

SUR L'HYDROLOGIE KARSTIQUE DE LA FONTAINE DE NÎMES (GARD)

par Guilhem FABRE* et Jean-Louis GUYOT**

* Centre National de la Recherche Scientifique, Unité n° 903 « Karsts et géosystèmes karstiques dans les domaines méditerranéen et alpin », 7 rue Dorée, 30000 Nîmes.

** O R S T O M, Amérique du Sud.

La Fontaine de Nîmes (Gard) et son impluvium font l'objet de recherches permanentes, depuis longtemps. Elles sont concrétisées par la production de nombreuses publications, parmi lesquelles plusieurs récentes synthèses auxquelles nous renvoyons pour la présentation du cadre (voir Biblio. en fin. et Fabre 1980 en particulier).

Cette source karstique, l'une des plus importantes du Midi méditerranéen Français, issue de formations carbonatées d'âge Hauterivien-Barrémien, est mal connue au niveau de son régime hydrologique. On ne possède en effet que des mesures très ponctuelles anciennes, B. Valz (1882), J. Teissier, A. Torcapel, (1894), L. Estève (1893 à 1895)... quelques unes récentes (Fabre, 1980).

En mai 1979, le Laboratoire Municipal de Nîmes et l'un de nous (G.F.) font installer une station limnigraphique complète entre le batardeau de la vasque et le nymphée.

Cette note rend seulement compte des premières données hydrométriques portant sur une chronique d'enregistrements de mai 1979 à mars 1982 et bien sûr de leur interprétation.

1 - PLUVIOMETRIE

Le bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes, situé sous l'influence d'un régime typiquement méditerranéen, reçoit une lame d'eau moyenne annuelle de l'ordre de 740 mm (1946-1977).

Pour l'analyse hydrométrique, les données de deux postes du réseau de la Météorologie Nationale encadrant l'impluvium ont été utilisées :

- Fons-outre-Gardon (105 m) ;
- Nîmes-Courbessac (60 m).

Les hauteurs de précipitations mensuelles sont portées dans le tableau 1.

Ces deux stations sont caractérisées par de fortes variations des hauteurs annuelles et mensuelles. L'année 1979 est marquée par des précipitations très importantes en octobre. L'année 1980, déficitaire, n'est le siège d'aucune précipitation importante. L'année 1981, avec un étiage tardif (déficit très poussé en novembre) se termine par des précipitations abondantes en décembre.

Le calage d'une régression sur les hauteurs pluviométriques mensuelles des deux stations (fig. 1) montre un bon ajustement linéaire ($r = 0.965$). La pente de la droite obtenue ($s = 0.972$) proche de 1, indique que les deux postes sont soumis au même régime climatique. Ceux-ci étant situés de part et d'autre du bassin d'alimentation de la Fontaine, la lame d'eau effectivement tombée sur le bassin versant sera estimée par le calcul de la moyenne arithmétique des données des deux stations.

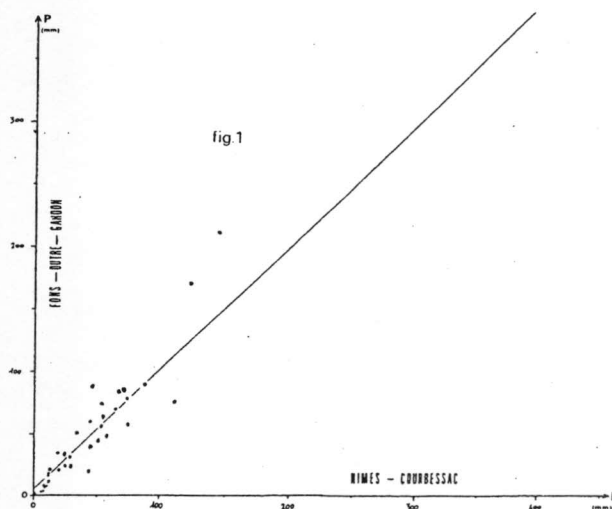


Tableau 1
Précipitations mensuelles (mm) aux stations
de Nîmes-Courbessac et de Fons-outre-Gardon,
pendant la période 1979-1981.
(Sources : Météorologie Nationale, Nîmes-Courbessac)

Stations	Mois Années	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total
Nîmes Courbessac	1979	124,3	51,5	54,7	24,6	45,8	7,6	10,7	8,7	30,2	415,4	10,2	58	841,7
	1980	43,1	12	65,2	70,9	75,8	25,3	12,2	53,8	12,7	34	75,2	16,9	497,1
	1981	42,5	19,1	89,2	28,9	110,8	54,7	11,7	5,7	46,7	67,1	0,2	145,5	622,9
Fons-outre- Gardon	1979	170	44,7	56,9	23,9	59,6	3,9	9,1	7	24,1	385,6	7,9	48,9	841,6
	1980	39,6	16,8	70,8	86	58,5	33,7	11,6	74,3	22,1	51,8	78,9	21	565,1
	1981	19,8	34,7	89,9	32,2	75,5	64,3	17,6	2,6	84,2	84	0,7	211,5	717

2 - LES DEBITS.

2 - 1 - Equipement limnimétrique.

La station se trouve exactement dans la portion du canal délimitée en amont par le batardeau limitant l'aval de la vasque captée de la source (seuil de mesure) et en aval par le seuil (seuil de contrôle) donnant dans le bassin du nymphée.

Elle comprend : des échelles graduées classiques, Neyrpic, placées contre la pile située au milieu du canal et, au regard de celles-ci, en rive droite, d'un limnigraphe enregistreur à flotteur OTT X, à réduction de 1/2,5 et défilement de 2 mm/h (enregistrements hebdomadaires).

2 - 2 - Jaugeage, tarage.

La campagne s'est déroulée du 17 mai au 28 octobre 1979 selon la méthode suivante : exploration du champ des vitesses au micromoulinet OTT (n° 10 152) monté sur perche à dispositif « Herès » puis dépouillement des mesures par intégration des profils de vitesses sur chaque verticale explorée ; ensuite par intégration de la courbe des débits unitaires. Dix jaugeages ont été réalisés aux stations suivantes : batardeau de la vasque (n° 6 à 10), aux sorties W et E des bassins romains (n° 1 à 4) et dans le grand canal avant son passage souterrain sous le square Antonin (n° 5). Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2

Jaugeage (tarage) de la Fontaine de Nîmes (Gard)
Période : mai-octobre 1979 (sources : C.N.A.R.B.R.L.)

Numéro	Date	hauteur d'eau (m)	Débit (m³/s)
1	17/05/79	0,075	0,068
2	21/05/79	0,110	0,173
3	5/10/79	0,215	0,909
4	8/10/79	0,1425	0,354
5	9/10/79	0,1225	0,186
6	11/10/79	0,5775	5,30
7	12/10/79	0,4675	3,22
8	17/10/79	0,400	2,37
9	18/10/79	0,3125	1,46
10	28/10/79	0,9125	11,23

2 - 3 Hydrogrammes généraux.

Compte tenu de l'absence d'une partie des enregistrements et de la mauvaise qualité de certains autres (absence de calage, absence de date...), l'analyse hydro-métrique a porté sur une série décomposée en quatre périodes exploitables dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 3 et illustrées par les figures 3 à 6 (coordonnées semi-log.).

Ils permettent la construction d'une courbe de tarage selon la formule théorique :

$$Q = f(h) = K h^n \text{ où } Q : \text{débit en m}^3/\text{s}.$$

h : hauteur d'eau en m.

n : exposant dont la valeur est comprise entre 1,5 (section rectangulaire et 2,5 (section triangulaire).

La régression Log (Q) = f Log (h) a été établie pour la série des 10 jaugeages (fig. 2). Le bon ajustement linéaire obtenu ($r = 0,996$) confirme que la courbe de tarage de la Fontaine est conforme à la théorie. Son équation est : $Q = 15,5 h^{2,0}$.

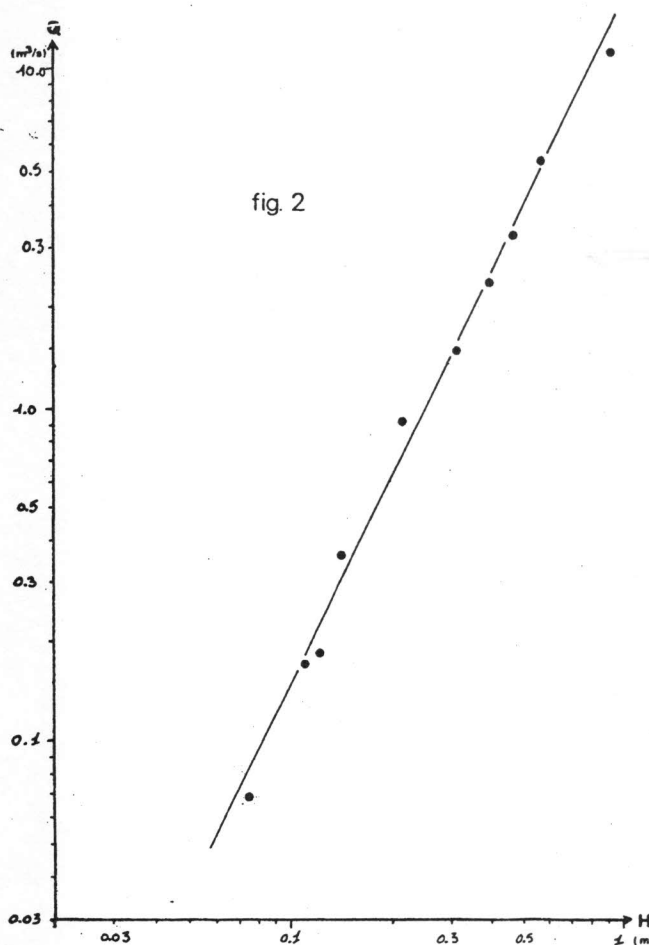
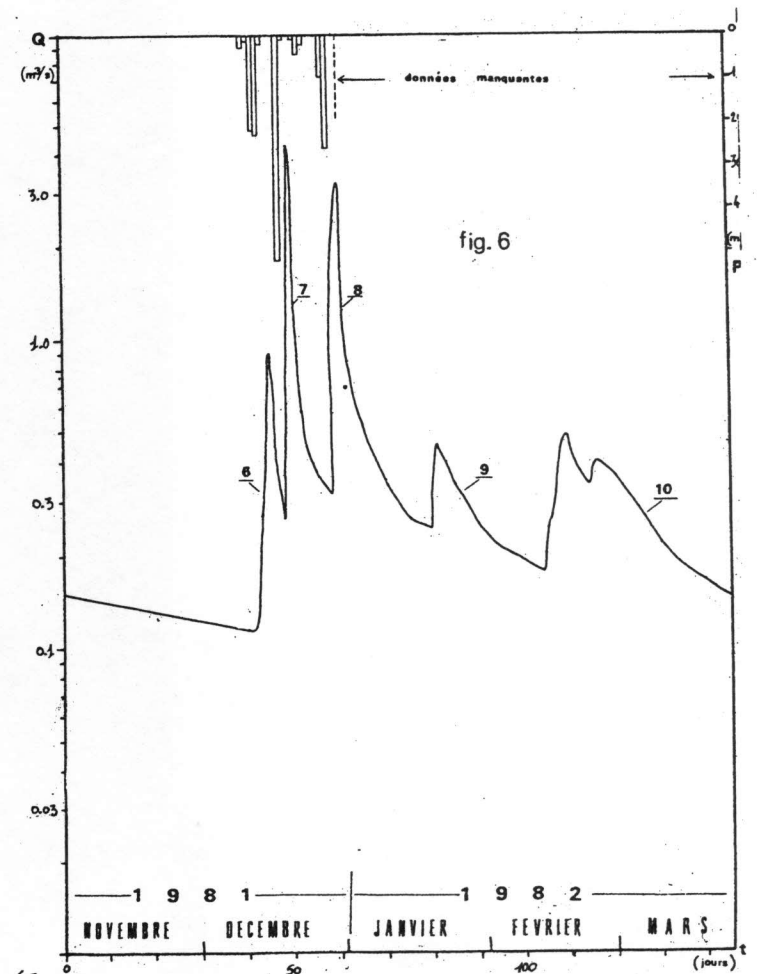
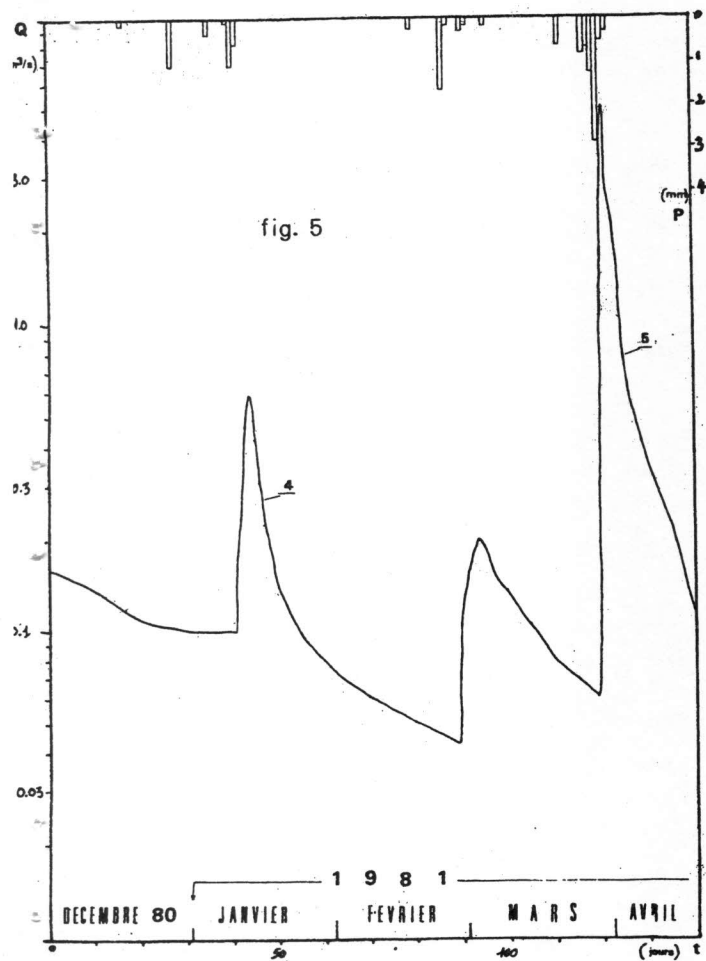
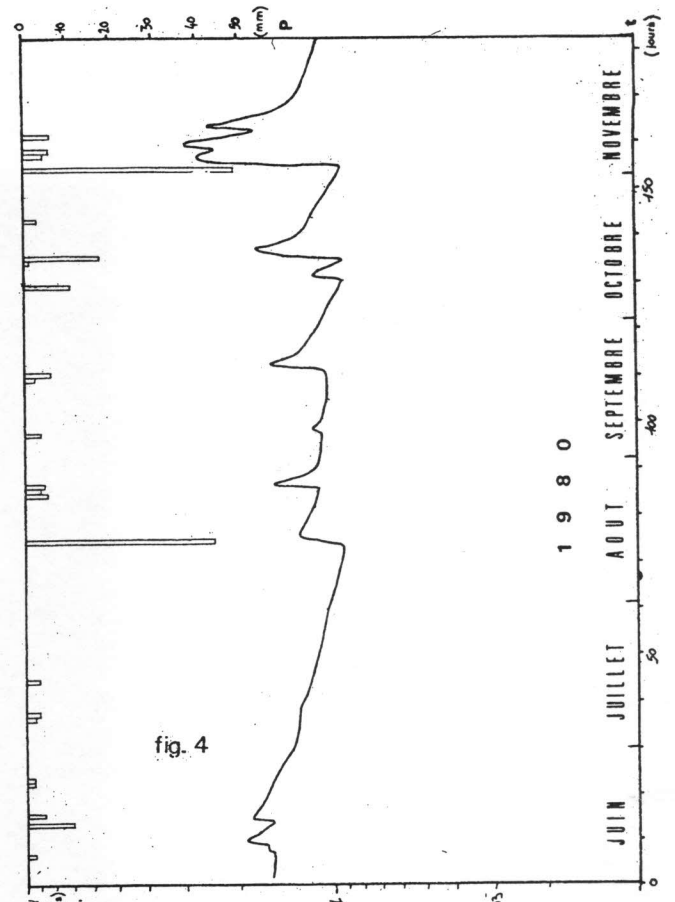
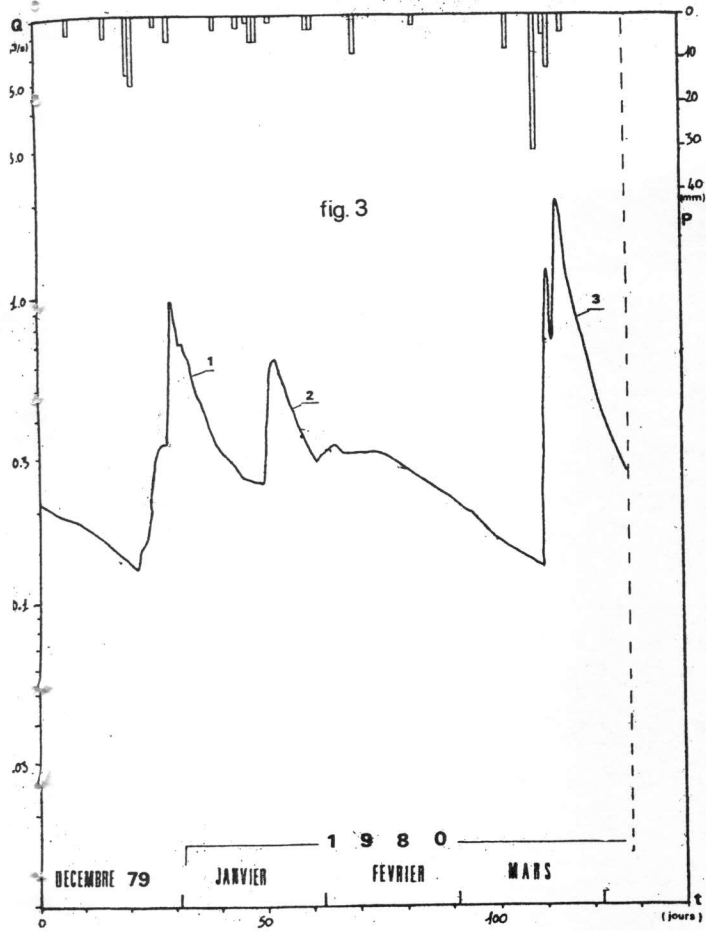


Tableau 3
Périodes hydrologiques exploitées.

N° de la période	Date		Nbre. de jours	Débit (m³/s)		
	début	fin		min.	max.	moyen
1	15/05/79	04/6/79	19	0,070	0,235	0,100
2	01/12/79	08/4/80	129	0,130	2,060	0,350
3	02/06/80	24/4/81	327	0,020	5,040	0,170
4	01/11/81	29/3/82	149	0,110	5,220	0,350
Total			624	0,020	5,220	0,250



3 - OBSERVATIONS SUR LES DECRUES ET LE TARISSEMENT

3 - 1 - Décrues.

3 - 1 - 1 - Modèles hyperboliques.

On a montré que l'ensemble des courbes de décrue d'une source karstique peut être représentée par une fonction hyperbolique de la forme :

$$Q_t + Q_0/(1 + \alpha t)^n \text{ où } Q_t, Q_0 : \text{débits en m}^3/\text{s}$$

t : temps en jours

n : exposant tel que

n = 1/2 : bonne représentativité pour $Q_0 < 15 \text{ m}^3/\text{s}$
et surtout $Q_0 < 3 \text{ m}^3/\text{s}$

n = 3/2 : très bon pour $3 \text{ m}^3/\text{s} < Q_0 < 30 \text{ m}^3/\text{s}$

n = 2 : bon pour $5 \text{ m}^3/\text{s} < Q_0 < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ et $Q_0 > 15 \text{ m}^3/\text{s}$

n = 3

représentativité nulle

n = 5

La formule hyperbolique se linéarise de la manière suivante :

$$1/Q_t^{1/n} = 1/Q_0^{1/n} + \beta t / \text{avec } \beta = \alpha/Q_0^{1/n} \text{ (coefficient de décrue).}$$

Afin de vérifier simplement si l'ajustement est bon, on reporte $1/Q_t^{1/n} = f(t)$, pour les différentes valeurs de n. Si la décrue évolue suivant une telle fonction hyperbolique, on obtiendra une droite de pente β .

Ce coefficient de décrue dépend des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère (perméabilité et emmagasinement) ainsi que de la superficie et de l'état d'humidité du karst.

$\beta = f(K/E.R.S.)$ avec K : coefficient de perméabilité
S : Coefficient d'emmagasinement
R : superficie
E : état d'humidité

Les résultats proposés ci-après concernent 10 décrues caractéristiques.

Pour chacune d'elles les modèles hyperboliques avec n = 1/2, 3/2 et 2 ainsi que le modèle exponentiel de Maillet (cf. 3 - 2) ont été ajustés. Les coefficients de corrélation caractérisant l'ajustement sont reportés dans le tableau 4.

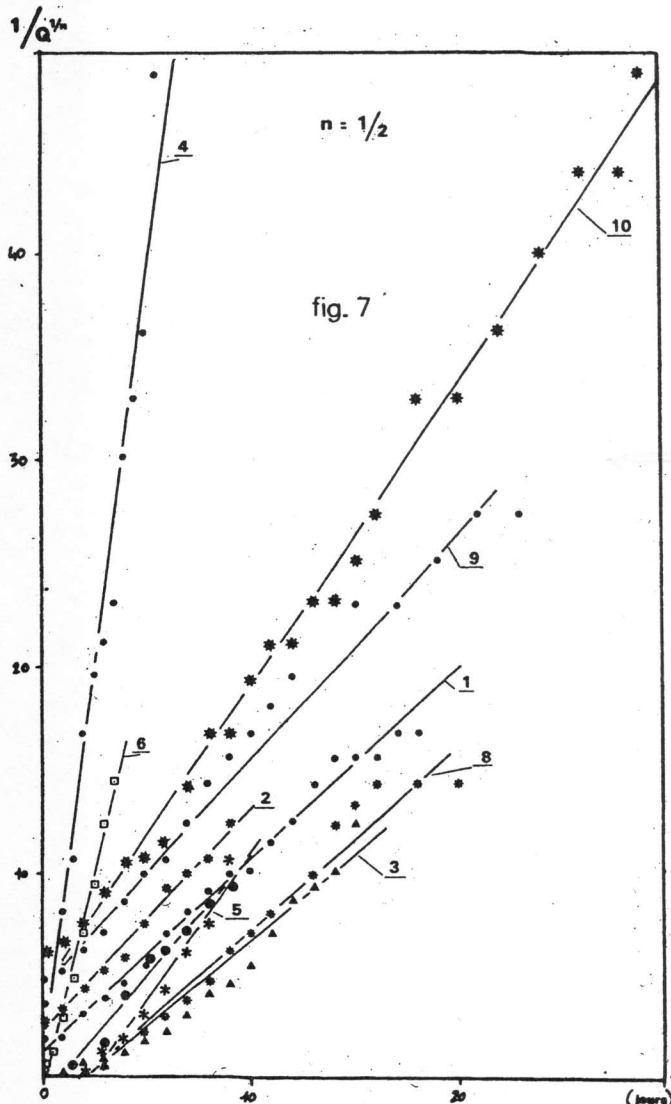


Tableau 4
Décrues et Coefficients de corrélation - ajustement

N°	Date	Q ₀ m ³ /s	modèle exp	modèles hyperboliques		
				n - 1/2	n - 3/2	n - 2
1	1/1 - 19/1/80	0,700	0,956	0,994	0,977	0,973
2	22/1 - 1/2/80	0,590	0,987	0,994	0,993	0,992
3	23/3 - 8/4/80	2,060	0,978	0,964	0,999	0,997
4	14/1 - 5/2/81	0,530	0,926	0,977	0,977	0,966
5	2/4 - 13/4/81	3,870	0,928	0,976	0,985	0,977
6	14/12 - 18/12/81	1,250	0,964	0,992	0,991	0,986
7	18/12 - 28/12/81	5,220	0,887	0,988	0,950	0,938
8	29/12 - 19/1/82	4,610	0,882	0,985	0,959	0,945
9	21/1 - 13/2/82	0,450	0,947	0,980	0,963	0,959
10	26/2 - 27/3/82	0,400	0,909	0,995	0,987	0,984
Moyenne			0,936	0,985	0,978	0,972

Pour chacune des décrues, les ajustements hyperboliques sont meilleurs que le modèle exponentiel. Parmi les modèles hyperboliques, c'est celui avec $n = 1/2$ et dans une moindre mesure celui avec $n = 3/2$ qui correspond le mieux aux décrues de la Fontaine.

Les coefficients de décrue (β), obtenus à partir des pentes des droites $1/Q_t^{1/n} = f(t)$ pour $n = 1/2$ (fig. 7) sont les suivantes :

$\beta_1 = 0,922$	$\beta_4 = 12,77$	$\beta_7 = 1,155$	$\beta_{10} = 1,261$
$\beta_2 = 1,076$	$\beta_5 = 1,807$	$\beta_8 = 0,864$	
$\beta_3 = 0,836$	$\beta_6 = 4,089$	$\beta_9 = 1,097$	

Les deux crues intervenant en fin de saison sèche ($n^\circ 4 \text{ \& } 6$) ont des coefficients de décrue nettement plus élevés, correspondant à des volumes évacués plus faibles.

Pour les crues de saison humide, on obtient un coefficient de décrue moyen.

$$\beta = 1,13$$

Il est alors possible de comparer ce résultat avec ceux obtenus sur d'autres sources karstiques avec le même modèle ($n = 1/2$) (Guyot, 1983).

Fontaine-Levêque	$\beta = 0,00081$
La Loue	$\beta = 0,00279$
Cocalière	$\beta = 1,4$
Poussarou	$\beta = 0,86$
Malibert	$\beta = 0,17$

Le coefficient de décrue est fonction, comme nous l'avons vu, de la superficie et de l'état du système, mais aussi des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère :

$$\beta = f(K/S) \text{ avec } K : \text{coefficient de perméabilité}$$

$$S : \text{coefficient d'emmagasinement}$$

La valeur élevée du coefficient de décrue obtenu pour la Fontaine de Nîmes indique qu'il s'agit d'un système à forte diffusivité, c'est-à-dire très transmissif et peu capacitif. Il s'agit donc d'un système karstique à drainage évolutif ce qui explique le caractère violent de certaines crues et de la rapidité des décrues.

3 - 1 - 2 - Modèle homographique.

A. Mangin (1975) a proposé d'étudier la décroissance des débits de sources karstiques en décomposant le débit total à l'exutoire (Q), en un débit de base (Q_r) correspondant à la vidange des réserves et un débit (q) dû à l'infiltration :

$$Q = Q_r + q$$

Comme nous l'exposons plus loin (3-2), la vidange des réserves ou tarissement a pour équation la formule de Maillet :

$$Q_r = Q_0 e^{-\alpha t}$$

A. Mangin montre que l'infiltration peut être représentée par une fonction homographique de la forme :

$$q = \frac{q_0 - \eta t}{1 + t} = q_0 \left(\frac{1 - \eta t}{1 + t} \right)$$

d'où l'équation générale :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} + q_0 \left(\frac{1 - \eta t}{1 + \sum t} \right)$$

avec Q, Q_0, q & q_0 : débit en m^3
 t : temps en jours

η : coefficient de durée

$\sum$: coefficient d'hétérogénéité.

La fonction homographique peut se linéariser par un changement de variables.

$$-y = \frac{t_i - t}{q} \text{ avec } t_i = t \text{ pour } q = 0 (Q = Q_r)$$

Les paramètres η et $\sum$ se calculent de la manière suivante :

$$\eta : 1/t_i$$

$$\sum = ((q_0 - q)/q.t) - ((q_0.n)/q)$$

Concernant les résultats enregistrés sur la Fontaine de Nîmes, l'utilisation de la formule proposée par A. Mangin pour l'étude d'une décrue nécessite l'existence d'une période de tarissement faisant suite à la décrue.

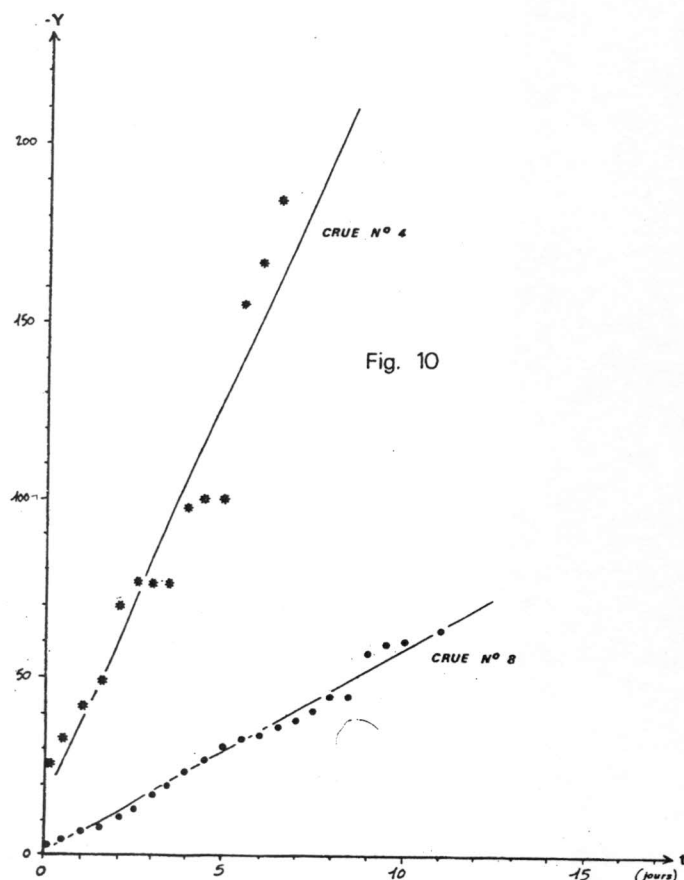
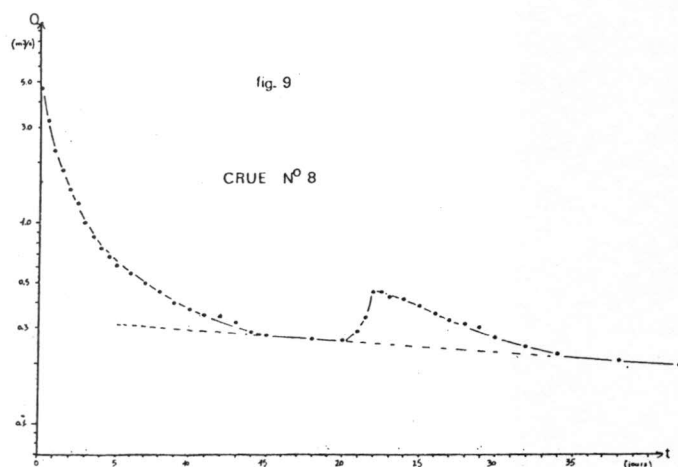
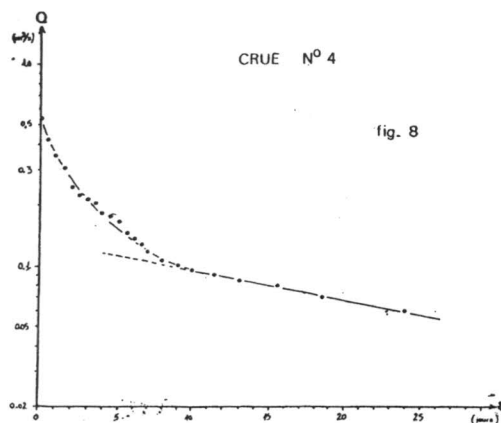
Seules, les crues $n^\circ 4 \text{ \& } 8$ ont pu être analysées par cette méthode (fig. 8 & 9).

L'ajustement linéaire de la loi homographique $-Y = f(t)$ (fig. 10) est caractérisé par son coefficient de corrélation (r).

Les différents paramètres de cet ajustement sont résumés dans le tableau 5.

TABLEAU 5

Crue N°	Q_0 (m^3/s)	Q_{ro} (m^3/s)	q_0 (m^3/s)	t_i (jours)	η	$\sum$	r
4	0,530	0,140	0,390	10	0,1	0,8	0,955
8	4,600	0,350	4,250	14	0,07	1,6	0,993
moyenne					0,085	1,2	



FIGURES 8, 9 ET 10.

Ces valeurs peuvent être comparées avec celles obtenues sur d'autres systèmes (Barbier, 1971 ; Mangin, 1975) (tableau 6).

TABLEAU 6

système	η	Σ
Baget	0,036	0,929
Aliou	0,072	13
Fontestorbes	0,029	1,22
Font. de Vaucluse	0,031	0,079
Luire-Bournillon	2,5	0,666
Font. Levêque	0,0035	0,015
Neuf Fontaines	0,059	1,25

La valeur élevée du coefficient de durée (n'), correspondant à un temps d'infiltration court, obtenu à la Fontaine de Nîmes indique que l'infiltration s'effectue de façon très rapide.

De même, la valeur relativement forte du coefficient de concavité (γ), caractérisant la forme de l'hydrogramme, confirme l'existence d'un système de drainage évolué.

3 - 2 - Tariessement.

L'équation de Maillet (1905) proposée pour la décroissance du débit des cours d'eau, semble bien adaptée pour l'étude du tarissement des sources karstiques :

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \text{ avec } Q_t, Q_0 : \text{débit en m}^3/\text{s}$$

t : temps en jours
 α : coefficient de tarissement.

Par transformation, cette équation devient :

$$\text{Log}(Q_t) = \text{Log}(Q_0) - \alpha t$$

En reportant sur un graphique semi-logarithmique $\text{Log}(Q_t) = f(t)$, on obtient une droite de pente α pendant le tarissement.

De même, le volume des réserves renouvelables peut être calculé de manière simple par l'intégration de cette équation

$$V_R = \int_{t_0}^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt = Q_0 \cdot 86400/\alpha$$

avec V_R = volume des réserves en m^3
 Q_0 = débit initial en m^3/s .

Pendant la période d'observation, trois étiages ont pu être étudiés. Pour chacun d'eux, l'ajustement linéaire $\text{Log}(Q_t) = f(t)$ est caractérisé par le coefficient de corrélation (r) ainsi qu'il apparaît dans le tableau 7.

TABLEAU 7

N°	Date	Nombre de jours	Coef. de corrélation (r)	Q_0 m ³ /s	α	V_r Mm ³
1	Juillet-Août 80	46	0,941	0,136	0,0092	1,28
2	Déc. 80-Janv. 81	42	0,892	0,158	0,0120	1,14
3	Nov.-Déc. 81	42	0,884	0,143	0,0052	2,38
moyenne					0,0088	1,60

Les ajustements obtenus sont bons et justifient l'emploi de la formule de Maillet.

Le volume des réserves ainsi calculé n'est pas très important, mais il ne concerne que la tranche de l'aquifère situé au-dessus du niveau de l'exutoire. Les réserves permanentes sont à coup sûr importantes. La zone noyée a en effet été reconnue par plongée jusqu'à la côte - 40 mètres.

3 - 3 - Remarques.

L'étude des décrues de la Fontaine de Nîmes a permis de tester différents modèles de décroissance des débits. Le modèle hyperbolique avec $n = 1/2$, ainsi que le modèle proposé par A. Mangin (1975) semblent bien adaptés aux crues enregistrées à la Fontaine pour la période d'observation allant de mai 1979 à mars 1982.

Le calcul des différents paramètres, caractérisant ces modèles, a montré que le système karstique de la Fontaine de Nîmes possède un réseau de drainage évolué, évacuant rapidement les eaux infiltrées vers l'exutoire. Ce qui correspond aux observations des spéléologues qui ont exploré, en plongée, ce « réseau » de grande dimension sur plus de deux kilomètres.

4 - CALCUL DU BILAN AU COURS D'UNE AVERSE ET EVALUATION DE LA SURFACE DE L'IMPLUVIUM

En l'absence de donnée sur un cycle hydrologique intégral, le calcul du bilan a été réalisé sur huit épisodes pluvieux. Le volume écoulé a été calculé après soustraction du débit de base. Pour chaque crue, le rapport volume écoulé/précipitation (V^c/P) a été établi. Les résultats sont portés dans le tableau 8.

Le rapport V^c/P varie beaucoup d'une averse à une autre. Le débit initial, l'état d'humidité du système ainsi que l'intensité et la répartition des précipitations influent sur ce rapport. Les crues de fin de saison sèche (n° 4 & 6) ont un rapport V^c/P faible. Les volumes manquants participent à la recharge du réseau à fines fissures, sollicité par un étiage prononcé. Lors de crues successives suivant un étiage (n° 6, 7 & 8), le rapport V^c/P croît progressivement. En effet, la recharge des fines fissures étant assurée, les volumes évacués à la source sont d'autant plus importants.

Les précipitations de faible intensité (P/n) ont également un rapport faible (crue n° 2). Les crues de saison humide ont un rapport plus élevé et ce, d'autant plus que les averses sont courtes (P/n grand). La valeur moyenne du rapport V^c/P pour les crues de saison humide (n° 1, 3, 5, 7 & 8) est :

$$V^c/P = 15,9 \text{ Mm}^3$$

A partir de bassins versants expérimentaux, on a montré que le coefficient d'infiltration moyen est de l'ordre de 40 % dans le Midi méditerranéen français. En prenant cette valeur, on peut calculer la superficie théorique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes :

$$S = V^c/P \cdot 0,4 = 40 \text{ km}^2 \text{ environ.}$$

Cette valeur n'est qu'indicative et mériterait d'être vérifiée à partir du bilan sur un ou plusieurs cycles hydrologiques.

Avec la précédente, elles confirment les estimations que nous avons déjà proposées, de 12,1 km² à 57 km², ce dernier chiffre intégrant les données fournies par les expériences de traçage artificiels (Fabre, 1980).

TABLEAU 8

Crue n°	Date des précipitations	n Nombre de jours	P (mm)	V^c (Mm ³)	V^c/P (Mm ²)
1	21/12 - 30/12/79	6	39,2	0,48	12,2
2	14/1 - 24/1/80	8	25,6	0,19	7,4
3	18/3 - 22/3/80	5	51,3	1,01	19,7
4	10/1 - 12/1/81	3	24,4	0,17	7,0
5	28/3 - 2/4/81	6	81,7	1,41	17,3
6	10/12 - 15/12/81	6	62,9	0,17	2,7
7	17/12 - 18/12/81	2	63,8	0,65	10,2
8	27/12 - 30/12/81	3	40,8	0,82	20,1

5 - DISTRIBUTION DE LA CONDUCTIVITE.

M. Bakalowicz (1979) a proposé une méthode simple de caractérisation géochimique d'un aquifère. Il s'agit de tracer la courbe de distribution de fréquence de la conductivité à 20° C.

5 - 1 - Principe.

Les valeurs de la conductivité, mesurée sur le terrain, sont rangées et dénombrées en classes. Le total de chaque classe, exprimé en pourcentage, est reporté sur un histogramme.

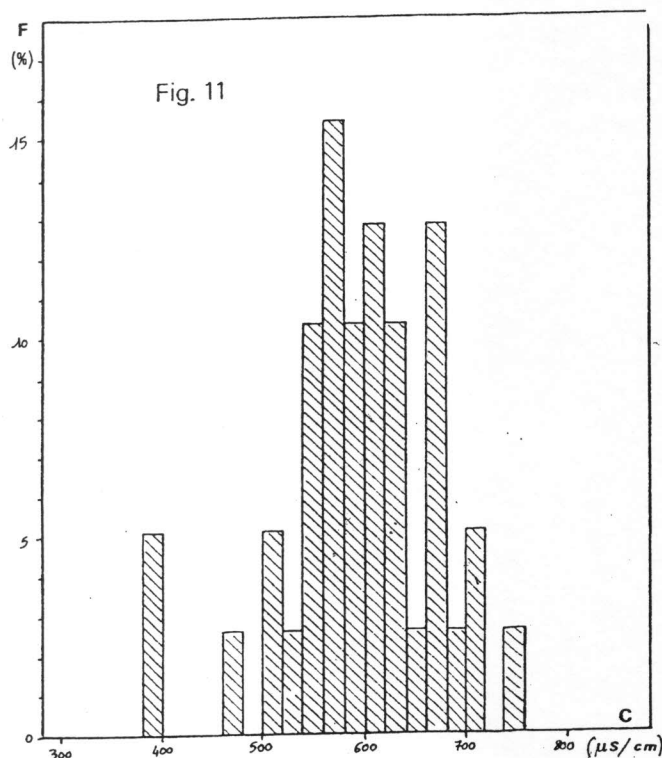
Les observations de M. Bakalowicz ont montré que :

— un aquifère karstique évolué est caractérisé par une distribution plurimodale.

— par contre, un aquifère de milieu poreux ou fissuré non karstifié, aura une distribution unimodale peu étalée.

5 - 2 - Résultats.

Les données utilisées sont des mesures ponctuelles de la résistivité, effectuées par l'un de nous (Fabre, 1980), sur plusieurs cycles hydrologiques. Ces valeurs sont transformées en conductivité et réparties dans les classes de 20 S (fig. 11).



La distribution de fréquence obtenue est très étalée (de 380 m à 760 m S) et présente plusieurs pics. La forme plurimodale de l'histogramme confirme encore le fait qu'il s'agit d'un système karstique très évolué aux vitesses de circulation rapides, drainant vers l'exutoire des eaux chimiquement distinctes provenant de différents sous systèmes.

6 - CONCLUSIONS.

Cette étude a permis d'identifier d'un point de vue hydrodynamique le système karstique de la Fontaine de Nîmes.

Le calcul du bilan par épisodes pluvieux a montré qu'une grande partie du volume d'eau infiltré en fin de saison sèche sert à la recharge du réseau à fines fissures, affecté par les étiages prolongés.

D'autres part, en prenant comme coefficient d'infiltration la valeur de 40 % obtenue sur des bassins expérimentaux proches, la superficie du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes a pu être évaluée par itération à 40-50 km².

L'étude du tarissement a permis de calculer les réserves renouvelables qui sont de l'ordre de 1,6 millions de m³. A ce chiffre, il faut ajouter les réserves permanentes situées sous le niveau de l'exutoire. Pour mémoire, les plongées spéléologiques ont atteint la côte de - 40 mètres et plus de 3391 m de développement topographié (Fabre, 1987).

L'étude des décrues a montré que le modèle hyperbolique $Q_t = Q_0 / (1 + \alpha t)^{1/2}$ ou le modèle $Q_t = Q_0$

$e^{-\alpha t} + q_0 \left(\frac{1 - \eta^t}{1 + \sum t} \right)$ s'applique bien aux cour-

bes de récession du débit de la Fontaine de Nîmes. Il est apparu, en comparant les paramètres obtenus à ceux d'autres systèmes karstiques, que la Fontaine de Nîmes est caractérisée par un système de drainage évolué, et ce, quel que soit le modèle utilisé. Ce phénomène a été confirmé par l'analyse de la distribution de fréquence des conductivités mesurées sur la source.

Le karst de la Fontaine de Nîmes est un système karstique avec un réseau de drainage bien développé, largement responsable des crues brèves et des décrues rapides analysées. Ce n'est pas sa moindre originalité.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

Jusqu'à 1980, elle est contenue dans :

FABRE G. (1980) - Les Karsts du Languedoc oriental. Thèse de doctorat d'état, géographie, *Mémoire, Association Française de Karstologie*, n° 2, 470 p.

A partir de 1981, dans :

DUREPAIRE P. (1987) - *Etude hydrogéomorphologique du bassin d'alimentation de la Fontaine de Nîmes*. Dipl. d'Etud. Approf., Inst. Géog. Aix-en-Provence, 100 p.

FABRE G. (1982 a) - Nouvelles exploration de la Fontaine de Nîmes (Gard). *Spelunca bull.*, n° 5, p. 11-17.

FABRE G. (1982 b) - La Fontaine de Nîmes souterraine : un milieu naturel humanisé. 20 diapos + texte 14 p. *Centre Départemental de Documentation Pédagogique du Gard*.

FABRE G. (1984-1985) - La Fontaine de Nîmes : ça ne coule pas de source. *Chrono*, revue Office Départemental des Sports et du Plein Air du Gard, n° 15 (1984), p. 22, 23 et 16 (1985) p. 10-11.

FABRE G. et GUYOT J.-L. (1984) - Première série continue de jaugeages sur la Fontaine de Nîmes (Gard). Données et interprétation des principaux résultats. *Travaux E.R.A.* 282, C.N.R.S., n° XIII, p. 65-78.

FABRE G. (1986 a) - *Exploration topographique du réseau souterrain de la Fontaine de Nîmes (Gard)*. Rapport inédit, 19 p., 2 cartes et 2 annexes hors texte.

FABRE G. (1986 b) - *Etude hydrogéologique préliminaire et sommaire du secteur surmontant le réseau souterrain topographié de la Fontaine de Nîmes (Gard)*. Rapport inédit, 10 p. + 1 carte hors texte.

FABRE G. et RADAIS J. (1986 c) - Karstologie urbaine et rurale appliquée. Le problème de la Fontaine de Nîmes (Gard). *Karstologia bull.* n° 8, p. 2-6.

FABRE G. (1987 a) - *Fontaine de Nîmes*. Poster médiatique, couleurs, Ville de Nîmes, Association Française de Karstologie, C.N.R.S.

FABRE G. (1987 b) - Mystérieuse Fontaine... ou 20 ans après.
Club, Magaz. tourisme Pays de Nîmes, n° 1, p. 23.

Références utilisées par comparaison :

BAKALOWICZ M., (1979) - *Contribution de la géochimie des eaux à la connaissance de l'aquifère karstique et de la karstification*. Thèse de doctorat d'état, sciences, Université P. et M. CURIE, Paris, 269 p.

BARBIER J.-L., (1971) - Principe d'étude de la décrue et du tarissement du réseau de Luire-Bournillon par la méthode de A. MANGIN. *Actes du colloque d'hydrologie en pays calcaire*, Ann. Sc. Université de Besançon, 3^e série, f. 15, p. 25-32.

GUYOT J.-L., (1983) - *La zone non saturée dans l'aquifère karstique. Analyse des écoulements hypodermiques sur périmètre expérimental. Rôle de la zone non saturée dans la différenciation des régimes de deux sources karstiques (Mts. de Pardailhan Montagne Noire)*. Thèse de doctorat, 3^e cycle, Univ. Sci. et Tech. du Languedoc, Montpellier, 229 p.

MANGIN A., (1974-1975) - *Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Thèse de doctorat d'état, Sciences, Ann. de Spéléologie, CNRS, t. 29, 3, p. 283-332 ; 4, p. 459-601 ; t. 30, 1, p. 21-124.

Février 1988