

RÉGIME DE TARISSEMENT DE LA FOUX-DE-LA-VIS (GARD)

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE *

PAR Mme J. FORKASIEWICZ ** ET H. PALOC **

Avant-propos

Le présent travail est un résumé de la communication présentée au Colloque sur l'hydrogéologie des roches fissurées organisé à Dubrovnik, du 7 au 15 octobre 1965 et à la séance du 17 novembre 1966 de la Société Hydrotechnique de France consacrée à l'hydraulique des terrains fissurés.

Introduction

La Foux-de-la-Vis est la plus importante resurgence de la région constituant les Grands Causses du Massif Central français, et l'une des plus grosses sources de France. Son bassin se développe dans les calcaires et dolomies jurassiques des causses méridionaux. C'est une source pérenne, bien que cette pérennité ait été interrompue quatre fois depuis 1779.

Son débit d'étiage est élevé, rarement inférieur à $1 \text{ m}^3/\text{s}$ et son débit de crue paraît dépasser $10 \text{ m}^3/\text{s}$. La station de jaugeage se trouve à 4 km en aval de la source, mais aucun apport ni aucune perte ne se

* Le travail dont le résumé est publié ici a été présenté comme communication au Colloque sur l'hydrologie des roches fissurées organisé à Dubrovnik (Yougoslavie), en octobre 1965, par l'U.N.E.S.C.O., avec le concours de l'A.I.H.S. et de l'A.I.H.

Il a été publié *in extenso* :

— dans le rapport B.R.G.M., DS 65 A 84, octobre 1965, Paris;
— dans le compte rendu du Colloque sur l'hydrogéologie des roches fissurées à Dubrovnik, octobre 1965, A.I.H.S.

** B.R.G.M., Service Hydrogéologie.

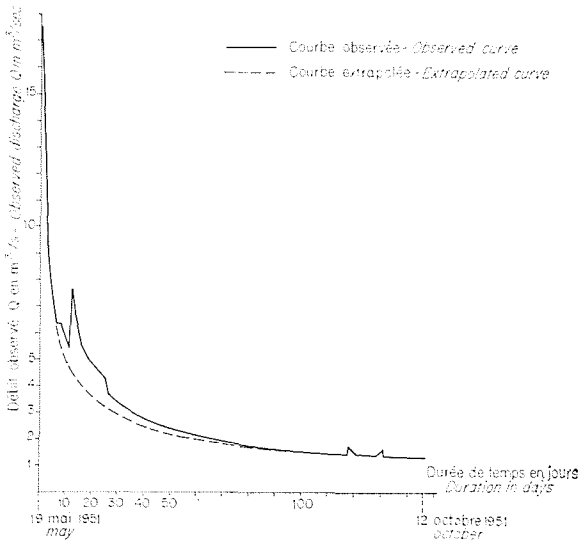
produisant entre ces deux points, les débits mesurés peuvent être confondus avec ceux de la source. Ayant à notre disposition les relevés des débits moyens journaliers pour la période du 1^{er} janvier 1950 au 31 mai 1961, nous avons cherché à les exploiter, car il nous a paru intéressant, disposant de plusieurs années d'observations, de préciser le régime de vidange de la source et de vérifier la validité d'emploi des formules de tarissement habituellement utilisées.

Analyse des courbes annuelles de tarissement

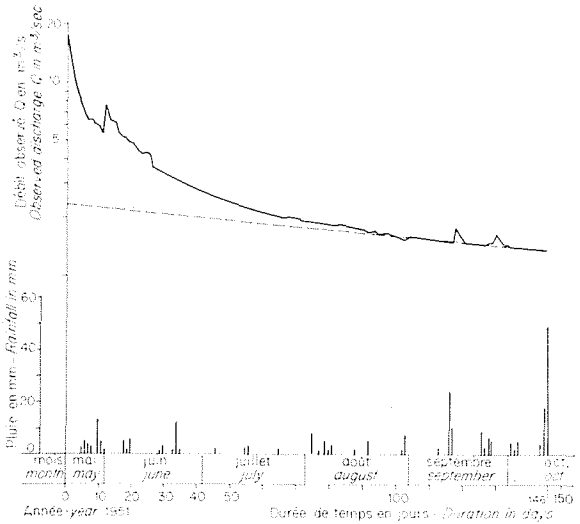
Afin de pouvoir analyser l'évolution du débit de la Foux-de-la-Vis à l'aide des formules établies pour le régime rigoureusement non influencé, nous avons cherché à déterminer l'influence de certaines pluies parasites de saison sèche sur le comportement de la source. Ainsi nous avons pu constater que les pluies d'étiage, inférieures à 10 mm, et isolées n'influencent pas d'une manière sensible le débit de la Foux. Il suffit cependant que plusieurs pluies voisines de 10 mm se succèdent pour avoir une action sur le débit. Cette action peut être de deux sortes :

- retardement du tarissement provoquant un décalage dans le temps de la courbe du tarissement, ce qui signifie une recharge sensible de réserves;
- action des pluies momentanée, et l'hydrogramme de la nouvelle décrue rattrape la courbe de tarissement au bout d'un temps plus ou moins long (fig. 1).

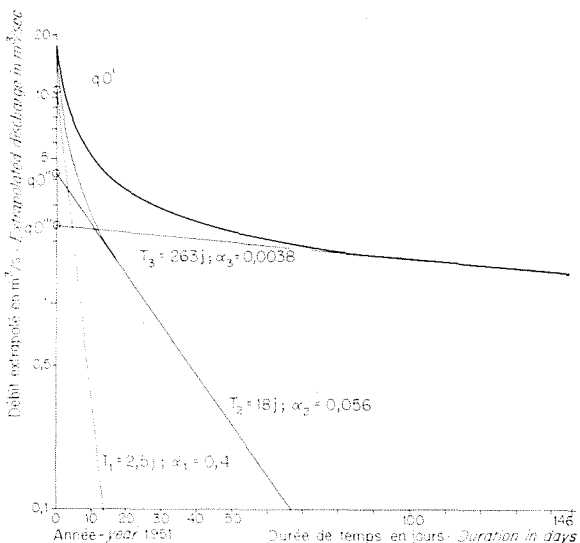
Dans le cas où l'on n'observe pas une courbe continue de tarissement pour des raisons évoquées



1/



2/



3/

plus haut, on a intérêt à séparer la partie régulière représentant le tarissement pur tel qu'il se serait produit sans l'intervention de la pluie d'étiage, de la partie modifiée sous l'influence de cette pluie.

En superposant les différentes décrues d'une même année, nous avons obtenu des courbes de tarissement pur que nous appelons « courbes extrapolées de tarissement »; signalons que cette superposition se réalise en général bien au cours d'une même période de vidange, mais que, par contre il est impossible de trouver une courbe moyenne de tarissement de la Foux-de-la-Vis pour l'ensemble des étiages considérés (1950 à 1961).

La formule de base de courbe de tarissement est celle de Maillet :

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

- où : Q_0 : débit à l'instant $t = 0$;
- Q_t : débit à l'instant t ;
- e : 2,78 : base de logarithme népérien;
- α : coefficient de tarissement de la source égal à $1/T$, où : T = durée de temps nécessaire pour que le débit primitif décroisse dans le rapport de 1 à $1/e$, soit à 0,368 fois sa valeur initiale.

En coordonnées semi-logarithmiques, cette expression est représentée par une droite dont la pente permet de calculer α .

L'intégration de la formule permet d'évaluer le stock d'eau disponible contenu dans les réserves souterraines à un instant t , à partir du débit Q_t correspondant à cet instant :

Volume du stock :

$$\int_{t=t_0}^{\infty} Q_t dt = \int_{t=t_0}^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha} = Q_0 T$$

pour $t = t_0$

Résultats obtenus par application de la formule exponentielle à la Foux-de-la-Vis

L'application de la formule exponentielle à la Foux-de-la-Vis (fig. 2 et 3) montre qu'il n'est pas possible de ramener ici la décroissance du débit en période de vidange à une simple fonction exponentielle. Seules les parties terminales des hydrogrammes obtenus en coordonnées semi-logarithmiques donnent des droites dont les équations montrent une décroissance lente du débit qui correspond bien à la vidange d'un réservoir en régime laminaire. La partie supérieure de l'hydrogramme est une courbe et indique qu'au début de la vidange il y a plusieurs régimes de décroissance des débits qui se superposent au régime laminaire. Théoriquement, il est possible de séparer sur l'hydrogramme en coordonnées semi-logarithmiques les différents composants de l'écoulement. Si on effectue cette décomposition à partir de la partie terminale rectiligne de la courbe de décroissance, on s'aperçoit que la courbe de décroissance considérée correspond assez bien à la superposition de trois droites (fig. 3) dont les coefficients respectifs α_1 , α_2 et α_3 correspondent aux trois différents sortes d'écoulement et que si l'on veut analyser le tarissement à

Tableau 1

ANNÉE	DÉBIT OBSERVÉ A L'ORIGINE (Q_0 en m^3/s)	α_1	V_0'	α_2	V_0''	α_3	V_0'''	V_0 tot.	V_e	($V_0 - V_e$)
1950	10,4	0,286	1,3	0,036	7,3	0,0025	52,0	60,6	31	29,6
1951	17,5	0,4	2,3	0,056	6,7	0,0038	54,5	63,5	31	32,5
1952	18,6	0,286	3,4	0,05	8,6	0,0030	65,6	77,6	39	38,6
1953	10,8	0,5	1,3	0,048	3,6	0,0032	37,4	42,3	21,4	20,9
1954	14,4	0,5	0,9	0,063	7,6	0,0042	54,0	62,5	24,9	37,6
1955	24	1	1,1	0,083	8,1	0,0045	61,0	70,2	20,9	49,3
1956	10,3	2	0,2	0,091	3,1	0,0070	43,2	46,5	16	30,5
1958	10	1	0,3	0,091	4,7	0,0042	41,4	46,4	20,8	25,6
1960	22,4	2	0,4	0,143	3,5	0,0100	45,8	49,7	14,7	35,0

partir de la pointe, le débit de la source à l'instant t sera la somme de trois exponentielles :

$$Q_t = q_0' e^{-\alpha_1 t} + q_0'' e^{-\alpha_2 t} + q_0''' e^{-\alpha_3 t}$$

la somme de ($q_0' + q_0'' + q_0'''$) étant égale au débit observé à l'instant t_0 .

Au bout d'un certain temps les premiers termes de l'équation peuvent être négligés (fig. 3). Le volume initial disponible serait donc la somme de trois volumes différents :

$$V_0 \text{ (en } m^3) = V_0' + V_0'' + V_0''' \\ = \left(\frac{q_0'}{\alpha_1} + \frac{q_0''}{\alpha_2} + \frac{q_0'''}{\alpha_3} \right) 86\,400$$

et le volume en fin de période de vidange serait seulement fonction du débit q''' et α_3 et correspondrait à celui de microfissures :

$$V_e \text{ (} m^3) = \frac{q'''}{\alpha_3} 86\,400$$

La différence des deux volumes donnant le volume d'eau écoulé pendant l'étiage :

$$\text{volume écoulé} = (V_0 - V_e)$$

Les tableaux 1 et 2 donnent les coefficients de tarissement des différentes composantes de l'écoulement et les volumes initiaux disponibles (V_0) résiduels en fin d'étiage (V_e) et écoulés pendant l'étiage, pour les années étudiées, à l'exception de 1957 et 1959, les précipitations ayant été trop importantes pendant les étiages de ces deux années pour qu'il y ait en tarissement (le coefficient α ayant l'inverse du temps en jours comme dimension et les volumes étant exprimés en $10^6 m^3$).

Les pourcentages des différents volumes qui entrent en jeu pour chaque année considérée sont donnés dans le tableau 2.

Ces résultats permettent de préciser le comportement hydraulique de l'aquifère de la Foux-de-la-Vis :

1° ils mettent en relief l'existence de vitesses de décroissance très différentes : à α_3 correspond une vidange très lente, en régime laminaire, tandis que les vitesses sont beaucoup plus rapides pour α_2 (environ 14 fois plus rapides que pour α_3) et pour α_1 (environ 150 fois plus rapides que

Tableau 2

ANNÉE	V_0' (%)	V_0'' (%)	V_0''' (%)
1950	1,5	12	86
1951	3,6	10,5	36
1952	4,4	11	84,6
1953	3	8,5	88,5
1954	1,4	12	86,5
1955	1,6	11,5	87
1956	0,3	6,8	93
1958	0,6	10,2	89,2
1960	0,8	7	92

pour α_3) : nous interprétons ces différences de vitesse comme étant la conséquence de la juxtaposition de plusieurs types de porosité dans le bassin d'alimentation de la Foux;

2° les coefficients α_1 , α_2 , α_3 , variables d'une année à l'autre, vont *grosso modo* en augmentant de 1950 à 1960; la variabilité de α pouvant être la conséquence d'une hétérogénéité du bassin et d'une alimentation des réserves irrégulière dans le temps et dans l'espace. L'augmentation progressive de ces coefficients pourrait être liée à l'évolution karstique du système, à savoir l'agrandissement et l'augmentation des chenaux qui joueraient un rôle de plus en plus important dans la circulation;

3° en ce qui concerne les volumes, on voit que dans tous les cas c'est le volume V_0''' , qui correspond à α_3 , qui est de beaucoup le plus important par rapport à V_0'' et V_0' , constituant de 85 % (1952) à 93 % (1956) du volume total à l'instant initial : nous admettons que ces indications traduisent la prédominance des microfissures dans l'alimentation de la résurgence et nous lions cette porosité à la présence très générale des dolomies du Bathonien (et du Lias) dans le bassin d'alimentation de la Foux-de-la-Vis;

4° ils nous montrent enfin que vu les différentes valeurs des coefficients α observés pour chaque année, il est risqué de vouloir caractériser le régime d'une source par de tels coefficients si l'on ne dispose que d'une année d'observation.

Aussi, il nous paraît de la plus grande importance, si l'on veut que ces coefficients aient une rigoureuse signification, de les relier de très près au régime pluviométrique d'un bassin, et plus précisément à la répartition dans le temps et dans l'espace des averses sur ce bassin.

Cependant, dans le cas considéré, il n'a pas été possible d'étudier plus en détail les relations pluies-débits, faute d'une connaissance précise de la pluviométrie réelle du bassin.

Emploi d'une autre formule

L'application de la formule exponentielle, parce qu'elle nécessite la décomposition de l'hydrogramme observé, est dans le cas de la Foux-de-la-Vis d'un usage peu commode : en effet, cette décomposition ne peut être faite que lorsque l'on connaît la partie terminale de l'hydrogramme. Aussi avons-nous procédé à la recherche d'une autre formule (Cf. H. Schoeller, 1948). En étudiant la relation qui existe entre dq/dt et q qui ne nous a pas donné de résultat, et ensuite entre $\log(dq/dt)$ et $\log q$, nous arrivons à une formule du type :

$$\frac{1}{Q_t^{1/(n+1)}} = \frac{1}{Q_0^{1/(n+1)}} + \beta t$$

elle correspond à une nappe libre en régime mixte ou turbulent. Dans notre cas, n serait égal environ à $-0,5$ ce qui donnerait :

$$\frac{1}{Q_t^2} = \frac{1}{Q_0^2} + \beta t \quad \text{ou} \quad Q_t = \frac{1}{[(1/Q_0^2) + \beta t]^{1/2}} = \frac{Q_0}{\sqrt{1 + Q_0^2 \beta t}}$$

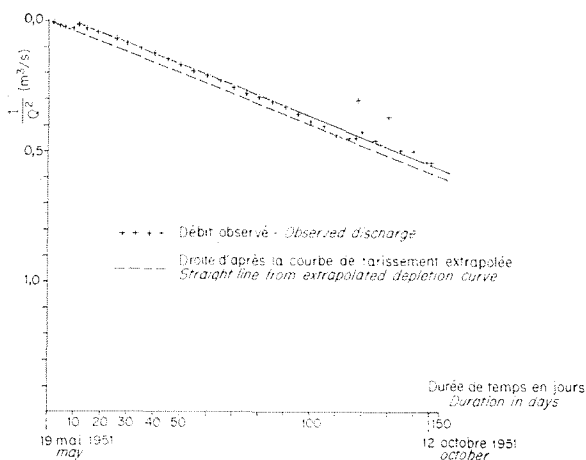
Q_0 et Q_t étant les débits observés aux instants t_0 et t , et β un coefficient de décroissance du débit.

Cette équation donne une droite en diagramme arithmétique si l'on porte :

— en ordonnées, l'inverse du débit observé au carré;

— en abscisses, le temps correspondant.

La pente de la droite permet de calculer β (fig. 4).



L'intégration de la formule entre deux instants donnés donne le volume d'eau écoulé pendant cet intervalle :

$$\int_{t=t_0}^t Q_t dt = \frac{2}{\beta} \left(\frac{1}{Q_t} - \frac{1}{Q_0} \right)$$

donc :

$$(V_0 - V_c) \text{ en m}^3 = \frac{2}{\beta} \left(\frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0} \right) 86\,400$$

Le tableau résume les résultats obtenus :

Tableau 3

ANNÉE	Q_0	β	$(V_0 - V_c)$ (en 10^6 m^3)
1950	10,4	0,0059	30
1951	17,5	0,0040	32
1952	18,6	0,0034	36
1953	10,8	0,0093	21
1954	14,4	0,0037	36
1955	24,0	0,0028	46
1956	10,3	0,0037	31
1958	10,0	0,006	26
1960	16,7	0,0041	15

En ce qui concerne β , les valeurs sont variables aussi d'une année à l'autre, mais cette variabilité semble être irrégulière. Les valeurs des volumes d'eau écoulés sont comparables à celles obtenues par la formule exponentielle. Ainsi, cette formule, beaucoup plus simple, donc d'usage plus facile, que la formule exponentielle, a l'avantage d'être la même pour toute la période de vidange. Elle permet de prévoir le débit de la source en fonction du débit Q_0 observé à l'instant t_0 , en ne connaissant que le début de la courbe de vidange, ceci bien sûr en régime non influencé.

En ce qui concerne l'appréciation des volumes, l'intégration de la formule permet de calculer le volume d'eau écoulé entre deux instants, et seulement lorsque la durée entre ces deux instants est assez longue. Par contre, elle ne permet pas de calculer le volume emmagasiné à un instant donné, l'utilisation de la formule entre un temps donné et l'infini donnant toujours un volume infini et c'est là son principal inconvénient.

Bibliographie

C. DROGUE (1964) : Etude géologique et hydrométrique des principales résurgences de la région nord-montpelliéraine : sources du Lez, du Lirou et de Sauve. Thèse 3^e cycle, C.E.R.H. Montpellier (avril 1964).

H. PALOC (1962) : Contribution à la connaissance des circulations karstiques dans une région type du midi méditerranéen. Observations sur le comportement aquifère des dolomies, mémoires de l'A.I.H. tome V, réunion d'Athènes, pp. 243-248.

(1964) : Carte hydrogéologique de la région karstique nord-montpelliéraine à l'échelle du 1/80 000^e. Foux-de-la-Vis : numéro 211.

H. SCHOELLER (1948) : Le régime hydrogéologique des calcaires éocènes du synclinal du Dyr-El-Kef (Tunisie). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 5^e série, t. 18, p. 167 à 180.

(1962) : Les eaux souterraines. *Edition Masson & Cie*, Paris, pp. 205 à 214.

Discussion

Président : M. NICOLAS

M. le Président remercie M. PALOC d'avoir présenté cette communication et remarque que, d'après le tableau inclus dans le rapport, les coefficients α_1 , α_2 , α_3 , variables d'une année à l'autre, vont très *grosso modo* en augmentant de 1950 à 1960. M. PALOC peut-il donner une explication de ce phénomène, bien qu'il s'agisse en fait d'un très petit nombre de cas?

M. PALOC dit que, malgré leur faible nombre, ces chiffres traduisent une évolution peut-être plus large à l'échelle de la décennie, mais posent bien le problème du tarissement progressif des sources karstiques.

C'est ainsi que, notamment pour la fontaine de Vaucluse, on a constaté qu'il y a près d'un siècle, le déversement s'effectuait par la vasque supérieure pour une valeur de débit qui était de l'ordre de 21 m³/s. Actuellement ce déversement semble n'avoir lieu que pour une valeur bien supérieure du débit, voisine de 30 m³/s. Dans l'intervalle, il semble que se soit produite non pas tellement une diminution du régime pluviométrique ayant engendré une baisse généralisée des plans d'eau, mais plutôt une évolution des caractéristiques des exutoires liée à l'évolution karstique, à savoir que les eaux souterraines ont de plus en plus tendance à agrandir les canaux les plus inférieurs du système.

En ce qui concerne la Foux-de-la-Vis, le B.R.G.M. ne possède que dix ans d'observations, donc pas assez de recul et, surtout pas un nombre suffisant de points de comparaison avec d'autres systèmes en France pour pouvoir donner des conclusions précises quant à cette évolution :

Le B.R.G.M. connaît assez mal quelle a été la répartition de la pluie sur le bassin versant, laquelle est capricieuse dans cette région climatique à influence méditerranéenne. Il n'a pas été possible de ramener à une valeur homogène pour l'ensemble du bassin les pluies observées pour une même période d'observation. Les valeurs différentes de α peuvent provenir du fait que, selon les années, des régions du bassin de porosités différentes reçoivent plus de pluie et contribuent d'une manière prépondérante à l'alimentation de la source.

M. le Président pense que le coefficient α donne une idée de la nature des fissures et est lié par conséquent à leur développement.

M. THIRRIOT remarque que, puisque le phénomène est régulier, il faudrait supposer que la répartition de la pluviométrie se fait de façon uniforme d'un endroit à l'autre et que ce coefficient α indiquerait peut-être une modification du régime. Mais ce n'est pas d'une si courte période d'observation qu'on peut tirer une conclusion valable.

M. THIRRIOT se demande, d'autre part, si on ne peut pas penser à une corrélation entre les valeurs du débit et les coefficients α . Les régions à porosité variable dépendent, peut-être, aussi de la valeur du débit et on pourrait vérifier ceci en comparant les pentes de deux courbes de tarissement au droit d'une ordonnée correspondant à un même débit. Est-ce que le résultat irait dans le sens d'une relation déterministe entre le débit et le coefficient α , plutôt que dans le sens d'une relation probabiliste qui serait due aux variations des précipitations?

M. PALOC précise que les travaux, objet de la communication présentée, consistaient à préciser par un argument supplémentaire les propriétés aquifères de la dolomie, à savoir la prédominance des microfissures, dans l'alimentation de la source. Il reste à comparer les courbes de tarissement non plus effectivement d'après l'origine des temps, mais d'après une même valeur du débit à différentes époques, comme le suggère M. THIRRIOT.

M. GUILLOT remarque, sur la forme, que le remplacement du coefficient α par $1/\theta$ permet de comparer plus commodément les vitesses de dérive. En effet, — θ est l'inverse de la dérivée logarithmique du débit par rapport au temps et $1/\theta$ donne une idée de la dérive journalière du débit en valeur relative. θ s'exprime en jours : pour $\theta = 20$ jours, le débit décroît de 5 % d'un jour à l'autre; pour $\theta/40$ jours, le débit décroît journellement de 2,5 %.

Sur le fond, M. GUILLOT souligne que θ croît avec le temps, en règle très générale pour toutes ces rivières et pas seulement pour les sources karstiques : une courbe de tarissement peut être représentée par plusieurs tronçons qui correspondent à des valeurs de θ croissantes au fur et à mesure que le débit diminue.

M. GUILLOT estime, enfin, que les débits des rivières du Jura et des Préalpes (Doubs, Ain, Yonne), qui sont mesurés correctement depuis des dizaines d'années grâce à l'industrie hydroélectrique, correspondent à la somme du débit de quelques sources karstiques, à moins que l'on y observe encore un écoulement superficiel deux jours après la fin de la pluie, ce qui apparemment n'est pas le cas. Les constantes de temps de ces rivières peuvent donc être mises en comparaison avec celles que Mme FORKASIEWICZ et M. PALOC obtiennent en observant les débits de la Foux-de-la-Vis.

M. PALOC indique qu'il a exprimé la formule sous la forme $Q e^{-at}$ mais qu'en réalité Mme FORKASIEWICZ et lui ont toujours remplacé a par $1/\theta$ et indiqué les durées en jours dans leurs calculs.

Mme FORKASIEWICZ et M. PALOC sont, d'autre part, bien d'accord sur la validité de la loi du tarissement pour tous les réservoirs, qu'ils soient ou non karstiques. Mais, en tant que naturalistes, ils cherchent à illustrer par une formule commode ce que révèlent les arguments de faciès, de géochimie, de pouvoir d'attaque, de transport et même de variations de température, quant à l'intérêt d'une telle source karstique du point de vue des réserves. Pour la Foux-de-la-Vis, les observations de Mme FORKASIEWICZ et de M. PALOC ainsi que l'application de la formule mentionnée dans leur mémoire ont permis de rendre compte de façon satisfaisante du comportement de l'aquifère.

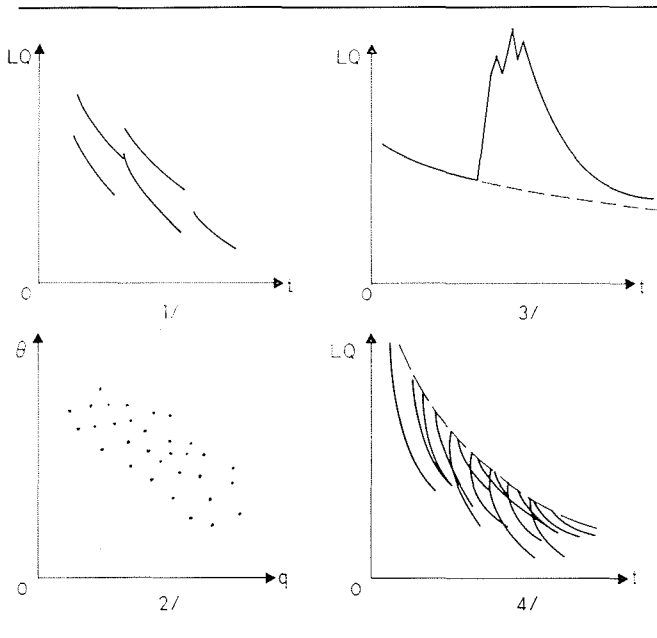
Toutefois, M. PALOC ne croit pas que le débit d'une rivière comme l'Ain, puisse traduire les caractéristiques de chacun des exutoires des divers faciès calcaires drainés par cette rivière. En effet, les coefficients de dérive observés montrent des différences importantes d'une source à l'autre : 10⁻⁶ l/s à la source de Sauve (Gard) et 10⁻⁸ l/s à la Foux-de-la-Vis. Si l'on jauge l'écoulement total à l'aval de telles résurgences, on n'aura qu'une indication sur le comportement global du milieu karstique. Or, ce que l'on recherche à ménager, ce n'est pas l'ensemble mais l'une ou l'autre de ces résurgences.

En tout cas, dans le Jura comme ailleurs, il y a plusieurs faciès qui participent à l'écoulement total et il est bien certain qu'il est préférable de procéder ponctuellement que de se fier à des jaugeages globaux. Pour atteindre ce but il faut multiplier les équipements sur les sources.

M. BANAL s'associerait volontiers au souhait d'accroître les points d'observation des sources, mais signale que souvent les observations s'accumulent sans être exploitées autant qu'elles le pourraient. Dans le cas particulier, M. BANAL se demande si on ne pourrait pas aller plus loin dans l'interprétation des constatations faites sur les courbes de tarissement, et demande à M. GUILLOT comment il aborderait le problème.

M. GUILLOT explique que le tarissement doit être étudié sur des intervalles de temps non influencés, c'est-à-dire se situant entre deux périodes pluvieuses. On trace ainsi sur un graphique les tronçons de droites représentant le logarithme du débit en fonction du temps (fig. 1). L'ensemble de ces tronçons correspond à une masse de points (q , θ) assez dispersés (fig. 2), et l'on constate que les valeurs fortes de θ correspondent à des débits faibles, et inversement.

D'autre part, il est manifeste que θ ne dépend pas seulement du débit, mais aussi du délai depuis la dernière pluie, car, deux ou trois jours après la fin de l'averse, il n'y a plus de ruissellement, et malgré cela on a une dérive rapide qui semble rejoindre le niveau de la dérive antérieure (M. PALOC le retrouve d'ailleurs). Ce niveau ne s'est beaucoup élevé que si la pluie a été suffisamment longue et importante (fig. 3).



Finalement, en collectionnant les valeurs de θ , on arrive à l'idée qu'il y a non pas une courbe de décrue, mais une population de courbes de décrue, et qu'elles sont toutes en dessous d'une décrue qui correspondrait à un départ avec terrain totalement saturé et en restant à chaque fois en régime « équilibré », c'est-à-dire avec les couches supérieures à vidange rapide se vidant les premières et les couches inférieures se vidant ensuite. Cette décrue constitue en somme la « décrue enveloppe » (fig. 4), la décrue la plus lente possible.

Quand on part d'un débit donné, on n'est généralement pas en régime « équilibré ». La dernière pluie a saturé les couches superficielles, mais si l'épisode n'a pas été très long elle n'a pas saturé les couches inférieures, aussi la courbe descend plus vite que la courbe-enveloppe, et on n'obtient que plus tard le régime équilibré.

En collectionnant les courbes de décrue, on arrive à tracer la courbe enveloppe. C'est une autre manière de la tracer.

Pour répondre à une question posée tout à l'heure, M. GUILLOT ne pense pas qu'il y ait une liaison entre le débit et le θ ; simplement, pour un débit donné, il y a un θ maximal possible.

Le débit n'est une image des réserves souterraines que si l'on se place suffisamment longtemps avant la pluie. On la constate d'ailleurs dans le rapport de M. PALOC.

Puisqu'il est évident que le θ augmente avec le débit, il est compréhensible qu'on soit tenté d'ajuster à un schéma comme celui que M. PALOC propose et dans lequel $1/q^2$ est une fonction linéaire du temps (parce que cela donne un θ qui augmente avec t). Dans ce cas on a $\theta = 2t$ (l'inverse de la dérivée logarithmique du débit par rapport au temps est égal à $2t$). On a une constante qui augmente avec la durée de la décrue.

M. GUILLOT se demande si le fait que M. PALOC arrive à décrire les décrues d'un seul été par une seule courbe en $q^{-2} + \beta t$ correspond, non à un phénomène physique, mais plutôt à la description statistique du phénomène suivant; au cours d'un seul été, toutes les décrues sont de plus en plus lentes et de plus en plus basses et, en les mettant bout à bout, on arrive à former une courbe où les θ augmentent. Le fait que la constante de temps varie d'un été à l'autre peut dépendre, soit du niveau général d'humidité initiale, soit des caractéristiques aléatoires de l'été considéré.

M. GUILLOT suggère, en conclusion, de tenter d'établir, pour la Foux-de-la-Vis, une corrélation entre le niveau des étiages aux mois d'août et de septembre et de la pluviosité de l'hiver précédent. Cette corrélation apparaît implicitement dans le rapport de M. PALOC puisqu'il y est indiqué que θ est déterminé dès le début de la décrue; donc le niveau des étiages est, au bout d'un temps un peu long, tel que :

$$q = \beta / \sqrt{t}$$

Le débit d'étiage étant ainsi déterminé dès le début de

la décrue, il doit exister une liaison entre les débits d'étiage et la pluviosité de l'hiver précédent.

M. le professeur AVIAS pense que la recherche de la corrélation suggérée par M. GUILLOT serait certes très utile mais ne suffirait pas. La localisation des précipitations (averses), surtout à l'échelle d'une année, joue en effet un grand rôle dans la région considérée vu l'hétérogénéité géologique. Il ne faut, en effet, pas oublier que nous sommes en région de climat méditerranéen ou margiméditerranéen, donc à précipitations très localisées et condensées dans le temps; par ailleurs, que le bassin d'alimentation de la Foux-de-la-Vis est de superficie réduite, ce qui réduit la régularisation statistique. On peut assister, en Languedoc, à des précipitations exceptionnelles dans certains bassins alors que dans des bassins adjacents on aura des conditions exceptionnellement sèches pendant la même période. Le cas s'est par exemple présenté en 1965 pour le bassin de la source du Lez (qui alimente Montpellier en eau potable). Cette dernière source a présenté un étiage exceptionnel (moins de 450 l/s alors que dans le Languedoc en général on a eu une année exceptionnellement humide. En conclusion, l'irrégularité des courbes de tarissement de la Foux-de-la-Vis semble, du point de vue naturaliste, tout à fait normale.

M. GUILLOT veut bien qu'il y ait hétérogénéité des averses quotidiennes ou même hebdomadaires, mais on ne croit pas qu'il y ait, sur la précipitation globale du mois de novembre au mois de mars, une dispersion telle qu'il serait vain, parce que certains points sont spécialement arrosés d'une année et d'autres pas, et inversement pour d'autres années, de chercher une liaison entre la pluviosité de l'hiver et l'étiage l'été. Il y a un moyen de lever le doute : c'est d'examiner le rapport entre les précipitations mesurées en divers pluviomètres du bassin.

M. THIRRIOT remarque que, de toute façon, si l'on ne considère que de petits tronçons de courbe de tarissement, on suit des périodes courtes de pluviosité, ce qui peut ramener à une hétérogénéité à une échelle de temps plus courte que les quatre mois considérés par M. GUILLOT.

M. GUILLOT pense que, si la réserve souterraine en fin d'hiver détermine en pratique le plancher des étiages d'été, il doit y avoir une liaison entre la pluie d'hiver et l'étiage d'été.

M. le Président conclut qu'il faut faire la comparaison pluviométrique suggérée par M. GUILLOT, laquelle n'est pas très difficile.

M. GUYON fait une remarque concernant la loi de tarissement d'une nappe, dans le cas général. La théorie et des expériences faites sur des réseaux d'assainissement montrent que, pour des nappes situées dans des terrains « perméables en petit », la loi de tarissement dépend de la morphologie de la nappe et en particulier de la situation du fond imperméable par rapport au niveau des exutoires. Analytiquement, la loi exponentielle est un cas limite, asymptotique (Boussinesq 1904; études du C.R.E.C.G.R., 1959-1966).

M. PALOC rappelle que M. SCHOELLER, en comparant tous les types d'aquifères possibles, est arrivé à la conclusion que la formule exponentielle était valable dans la mesure où l'exutoire ne présentait pas de variations de niveau importantes.

Mme FORKASIEWICZ ajoute que la formule exponentielle convient pour la partie terminale, mais non pour le début du tarissement. Mme FORKASIEWICZ et M. PALOC ont donc cherché, pour la première partie, une autre formule en appliquant la variation de la pente en fonction du débit.

M. le Président croit que la remarque de M. Guyon est très pertinente : une formule exponentielle est certainement meilleure lorsqu'on est sous une forme adiabatique; mais dans la mesure où survient un faux équilibre en cours d'écoulement, elle ne doit certainement plus correspondre à la réalité. Physiquement parlant, c'est un phénomène général.

Il est certain que θ ne peut dépendre que du débit; il y a d'autres phénomènes qui interviennent suivant qu'on est plus ou moins proche de l'équilibre ou qu'on a une masse d'eau plus ou moins importante à écouler.

M. RÉMÉNÉRAS rejoint les conclusions de M. GUILLOT, mais peut-être par une voie différente :

« La formule de Maillet n'est valable qu'en régime non-influencé. Or, au cours des essais effectués dans la nature, on ne sait pas très bien si l'on est en régime influencé ou non-influencé. Dans ces conditions, la décomposition en trois droites de la courbe de tarissement sur le diagramme

semi-logarithmique de M. PALOC pourrait être analogue à la séparation, dans un hydrogramme de surface, des composantes relatives au ruissellement, à l'écoulement hypodermique et à l'écoulement souterrain. Il n'est pas exclu, en effet, qu'il y ait une part d'écoulement hypodermique (voire de surface) dans les courbes interprétées par M. PALOC.

« D'autre part, le procédé utilisé par les auteurs pour tracer, à partir des relevés expérimentaux, la courbe de tarissement moyenne paraît à M. RÉMÉNIÉRAS assez discutable. Comme le remarque M. GUILLOT, on ne peut obtenir, sur le terrain, que des tronçons de la courbe ci-dessus et toujours avec une dispersion assez grande; nous avons tenté de réduire celle-ci en traçant deux courbes de tarissement; l'une pour la saison chaude et l'autre pour la saison froide. Dans certains cas on peut penser, en effet, qu'au cours de la période de tarissement, la réserve souterraine alimente, non seulement le débit mesuré dans le cours d'eau, mais également une partie de l'évaporation du sol et des plantes, dans tout ou partie de son bassin versant. »

M. BANAL constate que la discussion met bien en évidence les points de vue apparemment contradictoires de ceux qui jugent les phénomènes trop compliqués pour que leur représentation par des formules puisse même être envisagée, et ceux qui recherchent des ajustements de plus en plus précis.

Il ne faut pas attacher, *a priori*, une valeur physique à l'utilisation de telle ou telle fonction et la fonction exponentielle a peut-être sa simplicité pour seule vertu; mais la représentation d'une suite de mesures par la valeur d'un coefficient est toujours un moyen d'étude très puissant.

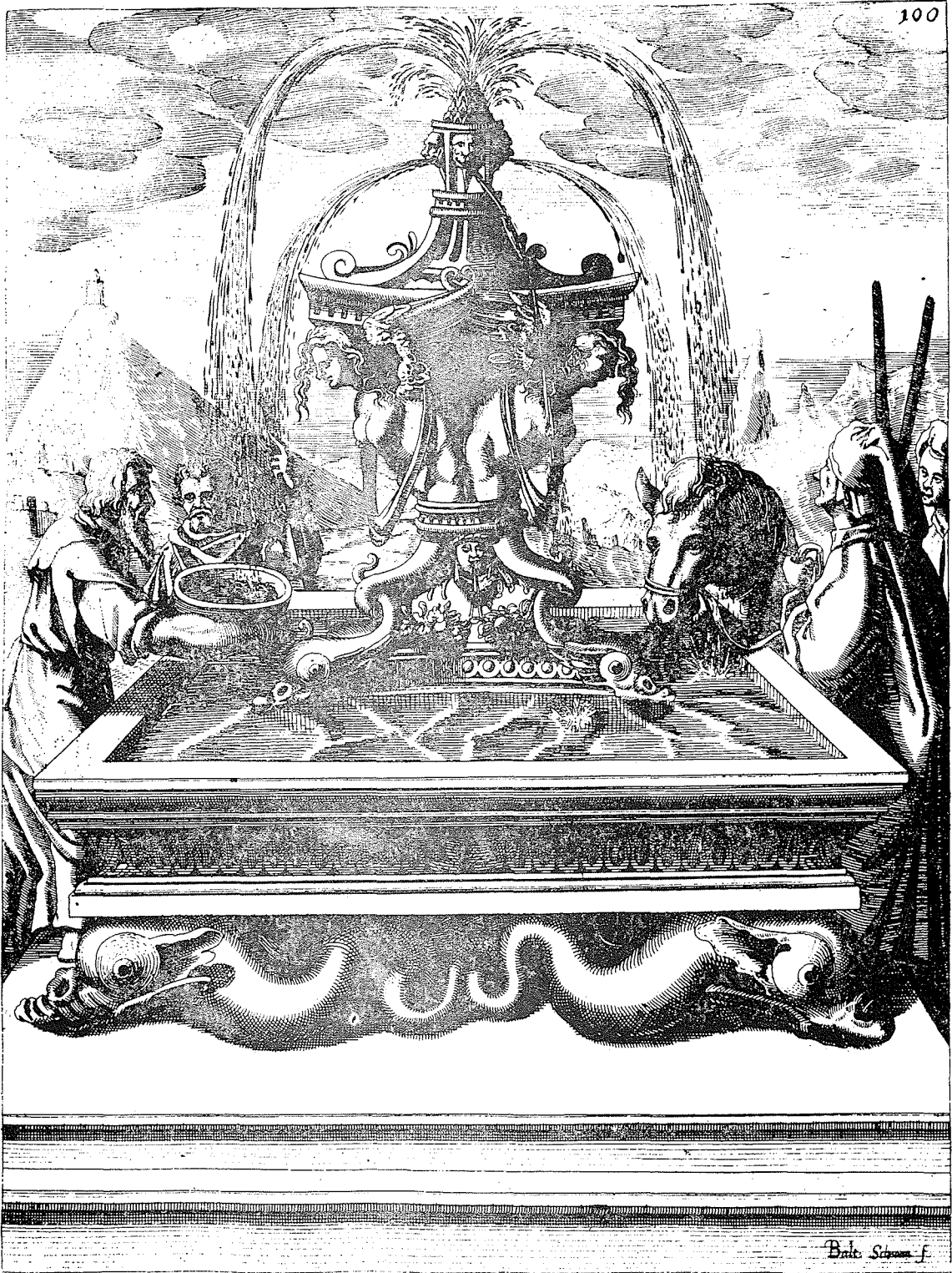
La confrontation à laquelle nous assistons est certainement très utile.

M. CASTANY rappelle encore un point à considérer : c'est qu'on est en terrain calcaire, et qu'il y a donc deux facteurs qui jouent dans le comportement du réservoir situé dans ce terrain :

- l'altitude du plan d'eau, qui dépend de la pluviométrie de l'année précédente et réagit sur la hauteur de charge à l'exutoire;
- la quantité d'eau stockée par tranche de calcaire, qui diffère selon l'hétérogénéité du terrain : dans le massif de Ben-Saidane, on a constaté que le premier mètre de roche réservoir contenait 750 000 m³ et le second 500 000 m³. Au Chennata, le volume d'eau emmagasiné décroît en profondeur de 27 000 à 13 000 m³ par mètre d'abaissement.

Pour faire des prévisions en Tunisie entre la pluviométrie d'une année et le débit possible pour l'année suivante, il a fallu établir une corrélation en tenant compte de l'altitude du plan d'eau au début de la saison de recharge, qui dépend de la pluviométrie de l'année précédente, et de l'altitude du plan d'eau à la fin de cette même saison.

M. le Président conclut que, d'une manière générale, en tentant de mettre en équation tous les phénomènes observés, on pose plus de problèmes qu'on n'en résout. C'est sans doute une bonne chose, car c'est ainsi que l'on parviendra peut-être à mieux comprendre les faits observés. Pour l'instant, nous sommes au début des interprétations, les théories devront être soumises à l'épreuve de l'expérience.



Gravure extraite de *Architectura curiosa nova* par G. A. BÖCKLERN
Nuremberg (1664)