

HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE ET SOUTERRAINE APPLICATIONS À LA NAPPE KARSTIQUE DE MODAVE EN BELGIQUE

Joseph AGIE DE SELSATEN
Docteur en Hydrogéologie de l'Université de Bordeaux

RÉSUMÉ

À partir de la théorie mathématique de l'écoulement laminaire, la zone karstique de Modave (Synclitorium de Dinant-Belgique) a été analysée tant dans son écoulement superficiel que souterrain.

L'enregistrement des débits des deux principales rivières et des captages de la Compagnie Bruxelloise des Eaux a été reporté avec précision sur les hydrogrammes; ceux-ci ont permis de mettre en évidence le parallélisme qui existait entre l'écoulement superficiel et l'écoulement souterrain dans cette zone.

Les valeurs des coefficients de tarissement calculées pour les divers écoulements peuvent être aisément comparées à celles trouvées dans d'autres bassins. Enfin cette petite communication permet de faire la synthèse des nombreuses études qui ont été faites sur cette question de la nappe de Modave.

1. INTRODUCTION

1.1. Méthode d'investigation destinée à l'étude de la vidange en nappe karstique

Rappelons sans les détailler, les grandes lignes du développement mathématique qui nous a guidé dans l'étude qui va suivre; ce développement a d'ailleurs été détaillé par H. Schoeller — 1962.

L'équation de base est la suivante :

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (1)$$

dans laquelle

Q débit au temps (t);

Q_0 débit au temps (t_0);

e Nombre Népérien;

α coefficient de tarissement;

t temps final;

t_0 temps initial.

Cette formule établie par Boussinesq fut à plusieurs reprises adaptée à l'écoulement des eaux en mouvement laminaire par Maillet et Schoeller notamment.

Pour trouver la valeur du coefficient de tarissement qui donne la caractéristique de la vidange, il suffit :

$$-\alpha = \frac{\log Q - \log Q_0}{(t - t_0) \cdot \log e} \quad (2)$$

La fonction étant décroissante, le signe (-) doit donc précéder le coefficient α .

Nous savons depuis quelques temps (Schoeller-1966) que le coefficient de tarissement est lui-même un facteur complexe tel que :

$$\alpha = \frac{K}{l \cdot m} \cdot \sin a \quad (3)$$

dans laquelle

K coefficient de Darcy du terrain;

l longueur de la nappe;
 m porosité du milieu;
 $\sin a$ le sin de l'inclinaison de l'imperméable.

Les conclusions qui seront apportées à l'étude des eaux, qui vont suivre, seront donc complexes et nouvelles dans le cadre de Modave.

1.2. Aperçu géographique de la zone des calcaires carbonifères à Modave.

La nappe à laquelle nous avons voulu appliquer la méthode exposée précédemment, est située en Belgique sur les contreforts nord du massif ardennais au cœur du Condroz. Sur le territoire de la commune de Modave, la Compagnie Bruxelloise des Eaux a capté les importantes sources dont les eaux proviennent d'un vaste réservoir : la nappe des calcaires carbonifères.

Il est aisé de distinguer sur cette carte les limites du bassin hydrogéologique qui correspondent à 2% près aux limites topographiques. Le mur imperméable peut être considéré au niveau du Famennien formé de formations schisteuses et siliceuses; la nappe imprègne les calcaires qui

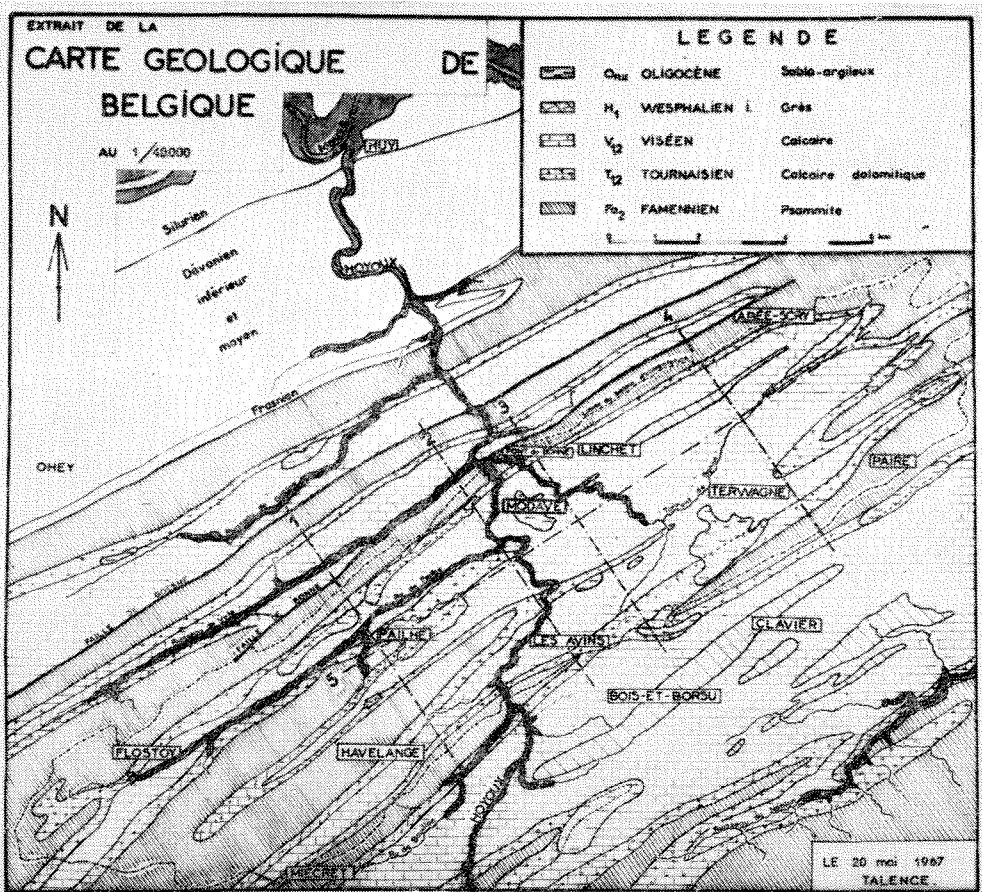


Fig. 1 — Extrait de la carte géologique de Belgique au 1 : 40.000.

ont échappé à l'érosion dans les dépressions de l'imperméable. Ces calcaires Dinantiens (Viséens et Tournaisien) sont composés à cet endroit de calcaires marins plus ou moins dolomités. Ces calcaires montrent en surface un très bon réseau de fissures fines et de chenaux plus importants, partiellement remplis de dépôts sableux. Le réseau hydrographique est assez incomplet; en effet, sur toute l'étendue du bassin, les eaux météoriques s'infiltrent par l'abondant réseau de fissures de ce Karst et rejoignent la nappe sans provoquer d'importants ruissellements.

Les deux rivières jaugées depuis plusieurs années sont le Hoyoux et le Bonne. Le premier, au débit abondant, forme la vallée principale le long de laquelle sont creusées les galeries de captage. Le second, à l'aspect torrentueux et intermittent, draine l'est du bassin et se termine par une chute de 10 mètres à son confluent avec le Hoyoux. Enfin, une troisième rivière, le Ry de Pailhe, n'a pu être étudiée faute de renseignements sur son débit.

2. HYDRAULIQUE SUPERFICIELLE

2.1. *Le Bonne*

D'un cours d'environ 8 km, le torrent de Bonne prend sa source sur le plateau de Fraiture et conduit les eaux de ruissellement du plateau jusqu'au Hoyoux (fig. 1).

Ce qui est le plus particulier à ce cours d'eau, c'est que son débit devient nul pendant les étés secs. Les nombreuses observations des jaugeages du débit de cette rivière sont consignées ci-dessous (fig. 2).

Si, malgré les sources perennes d'amont, le Bonne est asséché en été, cela ne peut provenir que des pertes d'eau vers le calcaire; car sur un si faible parcours et dans le climat tempéré de la Belgique, l'évaporation ne pourrait suffire à assécher le ruisseau. Ces pertes d'été s'expliquent par le fait de l'approfondissement de la nappe des calcaires; le lit du torrent n'étant pas bien colmaté, l'eau peut aisément s'en échapper. Le drainage de la nappe se fait par le Hoyoux dont le thalweg est de 10 à 15 m plus profond que celui du Bonne dans cette région.

En outre, l'hydrogramme du Bonne permet de constater quelle proportion le ruissellement prend dans le bilan hydrologique de cette région. À l'exception de la crue de mars 1963 (fonte des neiges) où le ruissellement superficiel fut de 36%, le Bonne n'écoule en moyenne que 0,5% (1964) à 2,3% (1966) de la pluviosité annuelle.

2.2. *Le Hoyoux*

Cette rivière écoule les deux tiers de son débit jaugé à Modave en provenance du bassin d'amont. Le bassin qui nous intéresse ici a une superficie de 60 km² et sa pluviosité moyenne est de 867 mm par an. Les observations qui figurent ci-dessous proviennent des mesures faites de 1957 à 1966 par la Compagnie des Eaux à un déversoir à minces parois dont les valeurs sont normalisées (SBN-502).

L'analyse mathématique énoncée au premier paragraphe, s'applique particulièrement bien à l'étude des débits de ce cours d'eau.

Pour trois années caractéristiques, les valeurs des débits journaliers du Hoyoux sont reportées sur une grille semi-logarithmique. Ainsi, si on observe attentivement la courbe représentative de l'année 1964 (courbes en trait continu), on peut constater que celle-ci est la somme de deux courbes distinctes; la courbe de base ayant l'indice 1, les courbes composantes ont respectivement les indices 2 et 3. Si en fin de période, la valeur de la composante devient négligeable par rapport à la valeur de base, c'est que le phénomène physique que cette courbe représente, disparaît en fin de vidange. Ces courbes représentées par des droites sur les hydrogrammes semi-logarithmiques, sont les expressions des vidanges particulières pour lesquelles des coefficients de tarissement ont été calculés à partir de la formule (2).

Si l'on prend comme unité de temps, le jour, et comme unité de volume le mètre-cube, les valeurs de ces coefficients sont respectivement :

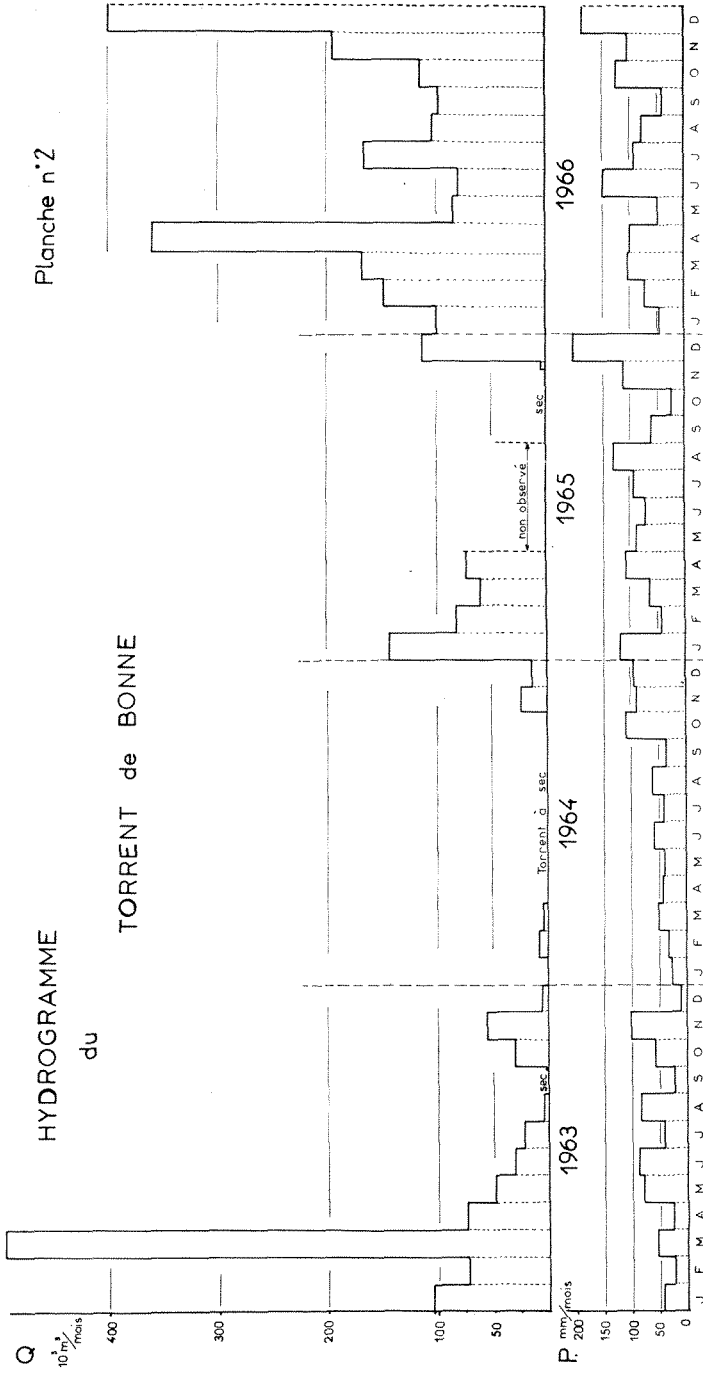


Fig. 2 — Hydrogramme du torrent de Bonne.

HYDROGRAMMES DES ANNEES CARACTERISTIQUES

ECOULEMENT DU HOYOUX

Planche n° 3

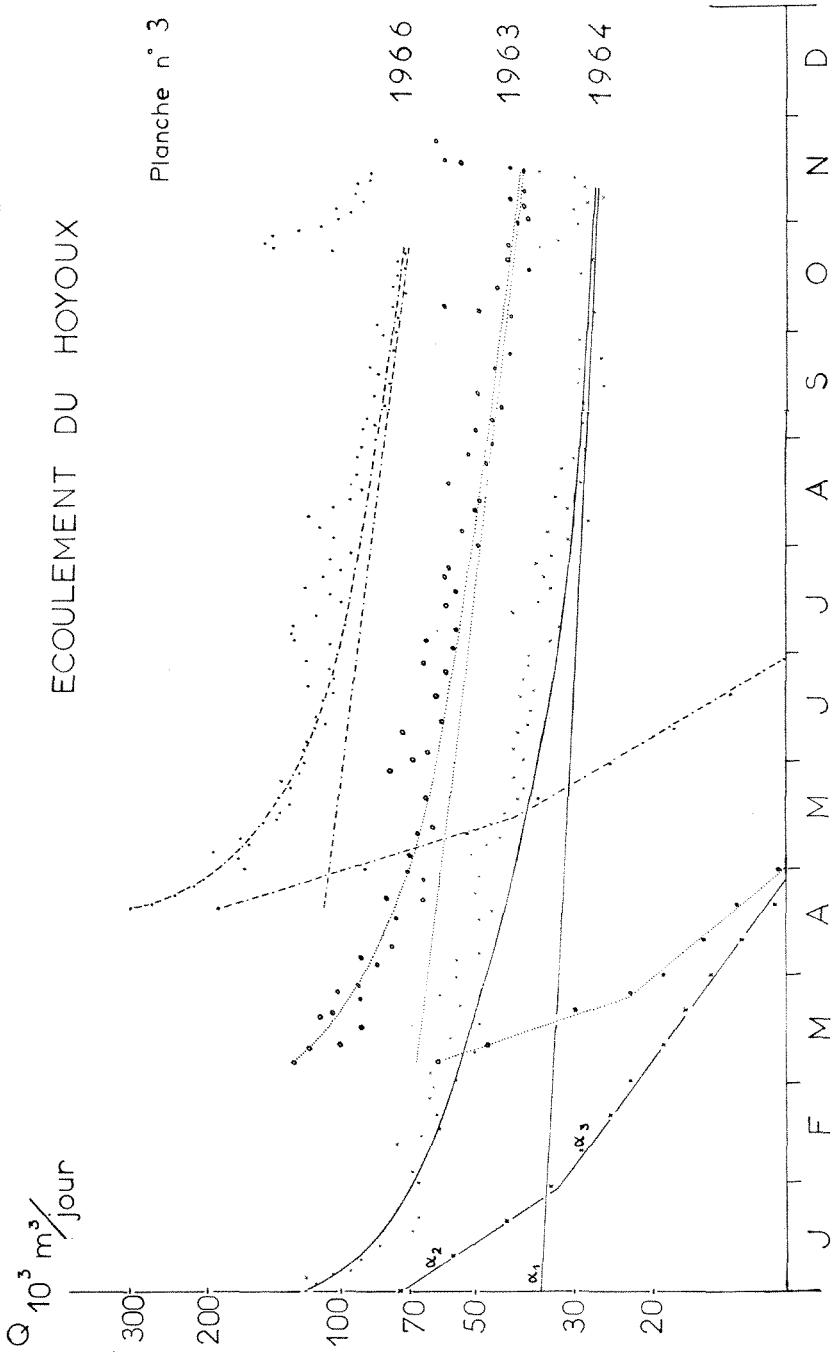


Fig. 3 — Hydrogrammes des années caractéristiques (Hoyoux).

1964	$\alpha_1 = -1,062.10^{-3}$	
	$\alpha_2 = -37,250.10^{-3}$	$\alpha_3 = -13,208.10^{-3}$
1963	$\alpha_1 = -2,270.10^{-3}$	
	$\alpha_2 = -58,820.10^{-3}$	$\alpha_3 = -19,782.10^{-3}$
1966	$\alpha_1 = -3,091.10^{-3}$	
	$\alpha_2 = -82,350.10^{-3}$	$\alpha_3 = -31,043.10^{-3}$

La comparaison de ces trois années caractéristiques entre elles entraîne les constatations suivantes :

— Tout d'abord la réalimentation du cours d'eau se fait beaucoup plus tard en année sèche (mi-novembre) qu'en année pluvieuse (début octobre). Cela est normal puisque les déficits en eau des sols doivent être d'abord comblés avant que l'eau des pluies d'automne ne vienne provoquer la nouvelle crue;

— Ensuite, les coefficients de tarissement marquent une progression constante de l'année sèche (1964) à l'année très pluvieuse (1966). En effet, plus les nappes qui alimentent le Hoyoux sont mises en charge, plus celles-ci se vidangent rapidement.

Ces brèves constatations nous amènent à penser que la plus grande partie du débit du Hoyoux provient de la vidange plus ou moins lente des nappes souterraines qui s'y déversent.

À l'exception des jours ou des périodes de fortes pluies, le ruissellement superficiel reste une très faible proportion du débit total de la rivière (de 2 à 4%). Pour les crues dont le débit dépasse 150.000 m³ par jour, la proportion du ruissellement superficiel n'excède jamais 15 à 20% de la pluviosité.

2.3. Les autres cours d'eau

Pour ce qui concerne les autres affluents du Hoyoux, il n'a pas été procédé à des études précises. En l'absence de ces données, nous pensons que le régime du Ry de Pailhe et du Ry de Bouillon notamment, est sensiblement le même que celui du Hoyoux; alors que le Ry de Fontenoy ne drainant pas la nappe des calcaires, a un régime voisin de celui du Bonne.

3. HYDRAULIQUE SOUTERRAINE

Depuis longtemps l'importance des sources de Modave avait été mise en relief par des jaugeages relativement précis. Par contre, depuis 1929, ces sources sont captées pour l'alimentation en eau potable de la ville de Bruxelles.

Ce sont les jaugeages précis de ces captages, qui ont permis l'étude approfondie des mouvements des eaux dans la nappe des calcaires dinantiens. L'analyse de tous les débits journaliers a été effectuée par la méthode énoncée au paragraphe de l'introduction; les résultats sont synthétisés sur l'hydrogramme « Année-type ».

Les valeurs moyennes des coefficients de tarissement ont été calculées dans le cas du captage durant toute la période de 1957 à 1966. Pour éviter les énumérations aussi fastidieuses qu'inutiles, nous avons relevé ici les valeurs les plus caractéristiques de ces coefficients. Pour le captage, le coefficient de tarissement minimum a été de :

$$\alpha_{1960} = -0,201.10^{-3}$$

Si l'on veut mettre en parallèle des années très humide (1966), humide (1962) et sèche (1960), on remarque que les valeurs sont sensiblement différentes :

1966 (Très humide)	$\alpha = -0,650.10^{-3}$
1962 (Humide)	$\alpha = -0,414.10^{-3}$
1960 (Sèche)	$\alpha = -0,201.10^{-3}$

L'observation de la figure 4, montre d'une manière surprenante, les différences qui existent entre les trois groupes de vidange. Les valeurs absolues de ces coefficients se trouvent ci-dessus.

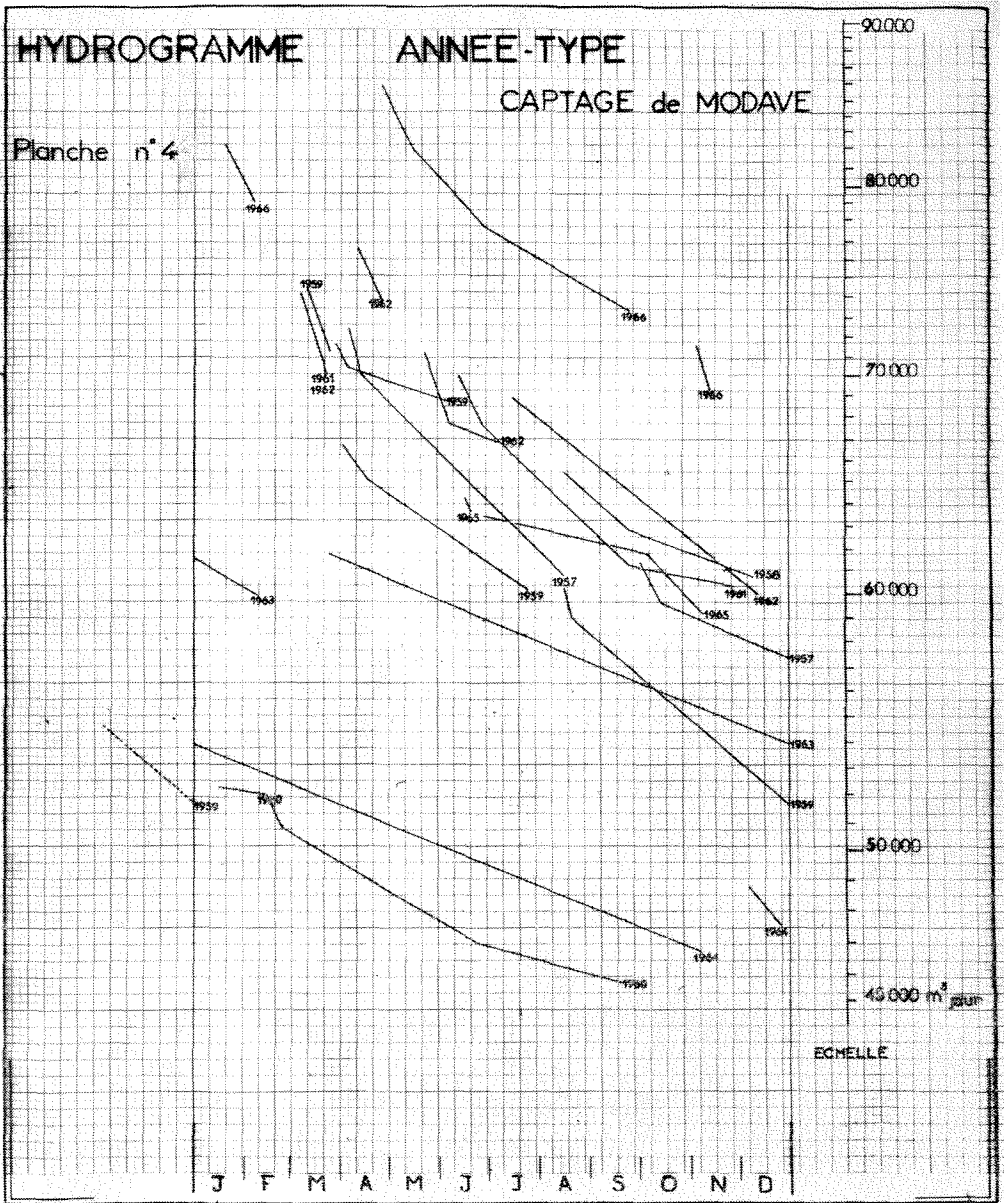


Fig. 4 — Synthèse des vidanges du captage de Modave.
L'échelle des débits est logarithmique.

4. COMPARAISON ENTRE ÉCOULEMENTS SUPERFICIEL ET SOUTERRAIN

Tout d'abord, il faut remarquer que le Bonne est différent des autres cours d'eau parce qu'il ne draine pas la nappe calcaire mais est drainé par elle. Il est clair que la plus grande quantité de l'eau écoulée par le Hoyoux dans la région de Modave, provient des sources du Karst qui ont échappé au captage. La comparaison des figures 3 et 4 montre que le régime d'écoulement est sensiblement le même; la différence de grandeur existant entre les coefficients du Hoyoux et ceux des Captages provient surtout de l'hétérogénéité relative des eaux formant la rivière.

Ensuite, il apparaît que plusieurs paliers existent au cours des diverses vidanges annuelles. C'est ainsi que dans la rivière, le début de la vidange a un coefficient de (-50.10^{-3}) , ensuite un coefficient de (-20.10^{-3}) environ et en fin de vidange un coefficient de (-2.10^{-3}) environ. Au multiple 10 près, on retrouve les mêmes valeurs pour les vidanges des sources. Si nous reprenons les différents éléments qui composent ce coefficient, nous pouvons penser que : (3)

— les facteurs suivants sont constants pendant toutes les vidanges :

K (coefficient de Darcy du terrain);

l (longueur de la nappe);

a (inclinaison de la couche imperméable);

— le dernier facteur est par contre variable; en effet, la porosité (m) du terrain Karstique est plus forte au niveau supérieur de la nappe (-Aigrot-1967) et diminue à mesure que l'on s'enfonce dans celle-ci.

Au début de la vidange, la masse des grosses fissures du sommet de la nappe se vide rapidement, et ensuite les parties plus internes du massif se vident par les chenaux des sources sous un régime plus lent et plus constant marqué par l'évolution des courbes (fig. 3 et 4).

Enfin, malgré des pluies d'été parfois considérables, les courbes sont très semblables d'un été à un autre. L'abondance des pluies de printemps permet à la crue de se poursuivre jusqu'en mai (1966), et l'abondance des pluies d'automne remet plus rapidement la nappe en charge cette même année (1966), mais durant tout l'été l'évapotranspiration reste toujours supérieure à la pluviosité.

Le Hoyoux marque plus que le captage, les brusques changements de régime en fin de printemps ou au début de l'hiver.

5. CONCLUSIONS

Les principaux résultats de cette étude ont permis de se rendre compte que l'analyse de vidanges de nappes sur papier semi-logarithmique était particulièrement adaptée à ce genre de recherche.

Le parallélisme de régime a pu être mis en évidence entre les écoulements superficiel et souterrain.

Le ruissellement superficiel est relativement faible puisqu'il reste inférieur à 5% dans tous les cours d'eau.

Les conclusions vis-à-vis de l'écoulement souterrain sont nettement plus importantes; en effet, ce sont celles-ci qui permettent de jeter une lumière nouvelle sur la nappe karstique de Modave. Il apparaît aujourd'hui certain, que les plus fortes valeurs du coefficient (α) correspondent au temps d'écoulement des plus grosses fissures karstiques vers les sources de la vallée du Hoyoux; leur importance pourrait indiquer la présence encore cachée actuellement, de quelques cavités ou grottes et certainement la présence de nombreux chenaux plus ou moins remplis de dépôt terrigène.

Les coefficients de tarissement plus petits, indiquent que ce sont les fissures les plus fines qui se vident dans les plus grosses qui leurs servent alors de drains.

En automne, les grosses fissures ont la fonction inverse : celles-ci recevant les premières pluies de l'arrière saison, irriguent le massif karstique. Outre qu'il possède une bonne distri-

bution de chenaux, le massif karstique de Modave semble donc abondamment fissuré en un réseau de fines fissures comme en témoigne la grande régularité des débits du captage en été.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHTEN, 1952, Fluctuations des nappes aquifères et spécialement de la nappe de Modave. *Technique de l'eau*, n° 66, pp. 16-28, Bruxelles.
- AGIE, J., 1967, Alimentation des nappes karstiques, *Bulletin de la Société Belge de Géologie*, t. 76 (sous presse).
- AGIE, J., 1967, Étude hydrogéologique de la nappe karstique de Modave. Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux, n° 49.
- AIGROT, M., 1967, L'écoulement de la Fontaine de Vacluse, Travaux du Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université de Bordeaux, t. XV.
- CAZAL, A., 1967, Éléments de mathématiques pour l'hydrogéologie, Édition du Bureau de Recherches Géologiques et Minières à Paris (sous presse).
- KAISIN et PIERPONT (de), 1939, Hydrologie des calcaires de Belgique, Éd. Ceuterick F., Louvain (Belgique).
- SCHOELLER, H., 1948, La région hydrogéologique des calcaires éocènes (Tunisie), *Bulletin de la Société Géologique de France*, t. XVIII, p. 167.
- SCHOELLER, H., 1962, Les eaux souterraines. Éd. Masson à Paris (France).
- SCHOELLER, H., 1966, Hydrodynamique du karst (Écoulement et emmagasinement), Publication du Colloque de Dubrovnik. *Bulletin de l'A.I.H.S.* (sous presse).
- VAN DEN BROECK, E., 1910, Les cavernes et les rivières souterraines de Belgique, t. II : *Les calcaires carbonifères*. Éd. Berqueman (Bruxelles).