

SÉANCE MENSUELLE
DU MARDI 17 OCTOBRE 1967.

Présidence de M. A. BEUGNIES, Président.

Communications des membres :

J. AGIE. — *Alimentation de la nappe karstique de Modave (Belgique).* (Texte ci-après.)

J. H. BRUNN. — *Esquisse de la Géologie de la Grèce d'après les travaux récents.* (Titre seul.)

Alimentation de la nappe karstique de Modave (Belgique),

par JOSEPH AGIE DE SELSAETEN,

Docteur en Hydrogéologie de l'Université de Bordeaux.

RÉSUMÉ. — *En Belgique, la localité de Modave est située dans le Synclinal de Dinant; sur le territoire de cette commune se vidange une importante nappe karstique dont le captage alimente la ville de Bruxelles en eau potable. Notre étude hydrogéologique délimite le bassin versant de cette nappe à 102 km² et établit les différents termes du bilan hydrologique, ceci en vue de calculer ce bilan et le coefficient d'alimentation de la nappe à Modave. L'équation de COUTAGNE sur le déficit d'écoulement est vérifiée pour une période de quarante années.*

INTRODUCTION.

Grâce à l'abondante documentation concernant le captage de la C.I.B.E. (1) à Modave, nous avons entrepris l'étude hydrogéologique d'une nappe qui s'étend d'Est en Ouest sur une quinzaine de kilomètres, et du Nord au Sud sur cinq kilomètres environ.

(1) Nous profitons de l'audience que possède le *Bulletin* de la Société, pour remercier vivement le Président du Conseil d'Administration de la Compagnie Intercommunale Bruxelloise des Eaux et MM. ACHTEN, CHAUDOIR, BRUMAGNE, CLAES et ROBERT pour l'incomparable source de renseignements à laquelle ils nous ont permis de puiser.

Dans ces remerciements, nous associerons M. le Prof^r H. SCHOELLER de l'Université de Bordeaux et M. A. DELMER pour les renseignements et conseils qu'ils nous ont donnés.

Depuis 1929, cette nappe alimente la ville de Bruxelles (débit moyen de 57.000 m³/jour).

L'intérêt de cette nappe nous a poussé à publier les principaux résultats de nos recherches dans ce domaine.

L'étude de l'alimentation d'une nappe commence immanquablement par sa délimitation géologique. Un extrait de la carte géologique de Belgique au 1/40.000 (fig. 1) montre les terrains qui constituent l'imperméable et la limite du bassin d'alimentation.

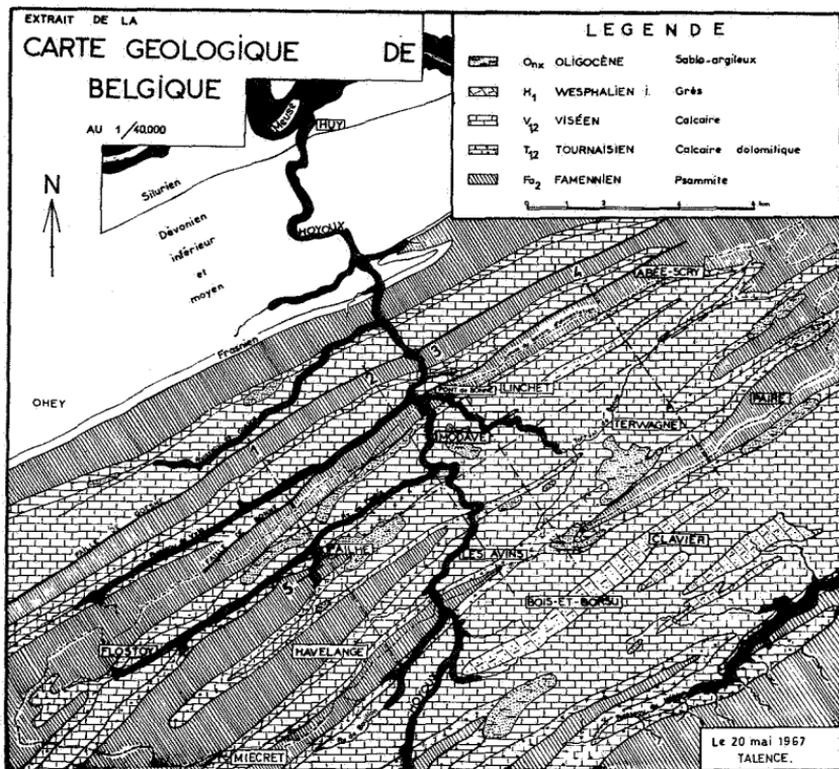


FIG. 1. — Le terrain aquiclude est le schiste famennien et l'aquifère est le calcaire dinantien.

La limite du bassin d'alimentation suit généralement la ligne de crête qui coïncide avec les croupes famenniennes d'Est en Ouest et cette limite recoupe perpendiculairement les principaux synclinaux à l'Ouest d'Havelange et à l'Est de Fraitre.

En effet, s'il apparaît clairement que l'axe des synclinaux et anticlinaux principaux est parallèle aux failles de Goesnes et du pont de Bonne (ENE-WSW), il est certain qu'un mouvement secondaire lui est perpendiculaire. L'axe de ce synclinal secondaire est marqué (3) sur la carte géologique (fig. 1) et son extension limite le bassin à l'Ouest et à l'Est.

En outre, la coupe menée par l'anticlinal de Paire a montré que la communication entre les synclinaux calcaires de Bois-et-Borsu et celui Des Avins était sans importance pour les nappes pendant la plus grande partie du cycle hydrogéologique.

1. FACTEURS DU BILAN HYDROGÉOLOGIQUE.

Tout d'abord, pour que cette étude soit conforme aux phénomènes naturels étudiés, l'unité de temps sera le cycle hydrogéologique et non pas l'année civile.

1.1. La pluviosité.

La hauteur d'eau tombée à Modave durant ces dix dernières années fut sujette à bien des fluctuations; l'année 1966 reçut 1.139 mm d'eau alors que l'année 1959 n'en compta que 599 mm.

Les chutes de pluies mensuelles sont généralement minimum au début du printemps et de l'automne (sept. 1959 : =5,0 mm) et maximum en été et en hiver (déc. 1965 : =203 mm).

Voici par cycle, les hauteurs de pluie mesurées au pluviomètre de la C.I.B.E. près de pont de Bonne (Modave). Les dates extrêmes de ce cycle sont données d'étiage à étiage de la rivière Hoyoux :

Cycle 1 (sept. 1956-sept. 1958)	... ..	853,1 mm
Cycle 2 (sept. 1957-sept. 1958)	... ..	930,1 mm
Cycle 3 (sept. 1958-déc. 1959)	. ... ..	749,5 mm
Cycle 4 (déc. 1959-août 1960)	. ... ..	562,1 mm
Cycle 5 (août 1960-oct. 1961)	. ... ..	1.146,9 mm
Cycle 6 (oct. 1961-nov. 1962)	. ... ..	966,9 mm
Cycle 7 (nov. 1962-nov. 1963)	. ... ..	689,6 mm
Cycle 8 (nov. 1963-nov. 1964)	. ... ..	598,1 mm
Cycle 9 (nov. 1964-nov. 1965)	. ... ..	922,3 mm
Cycle 10 (nov. 1965-oct. 1966)	. ... ..	1.063,8 mm

A l'exception du mois d'août 1960 où le niveau de l'aquifère était particulièrement bas et la surface abondamment arrosée, les pluies d'été ne provoquent pas de réalimentation importante dans la nappe. Une fois de plus cela se vérifie ici.

Bien que la présence de forêts et de profondes vallées crée probablement certains microclimats, on considère que la pluie tombe homogènement sur toute l'étendue du bassin.

Les valeurs choisies sont toutes données en millimètres d'eau.

2.2. L'évapotranspiration.

Le plus important terme négatif du bilan hydrologique a été calculé par l'intermédiaire de trois méthodes bien connues : les méthodes de THORNTHWAITE, de TURC et de la case lysimétrique.

2.2.1. Méthode de THORNTHWAITE.

Tableau récapitulatif :

Cycle 1	. . . . .	452,4 mm	Cycle 6	. . . . .	581,8 mm
Cycle 2	. . . . .	511,0 mm	Cycle 7	. . . . .	508,6 mm
Cycle 3	. . . . .	499,8 mm	Cycle 8	. . . . .	440,0 mm
Cycle 4	. . . . .	411,2 mm	Cycle 9	. . . . .	501,6 mm
Cycle 5	. . . . .	769,3 mm	Cycle 10	. . . . .	572,9 mm

Ces chiffres permettent de constater qu'en année sèche (cycles 4 et 8 correspondant aux années 1960 et 1964), l'évapotranspiration est réellement plus faible qu'en année humide. Cela provient évidemment du grand déficit en eau pour la végétation. On aurait pu s'attendre au phénomène inverse puisque les années sèches sont généralement celles des étés chauds !

La valeur relativement faible du cycle 1 s'explique par sa plus courte durée (seulement 11 mois).

2.2.2. Méthode de TURC.

Cycle 6. Évapotranspiration réelle : 596,1 mm.

Cette méthode basée sur le rapport qui existe entre l'insolation, la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration nous a servi de contrôle dans les calculs de ce terme du bilan par la méthode précédente.

2.2.3. Lysimètres de Gembloux.

Cycle 2. Évapotranspiration réelle : 518,6 mm.

Si nous tenons compte de toutes les erreurs intervenant dans les mesures nécessaires à cette méthode, nous devons reconnaître que c'est théoriquement le moyen le plus exact de mesurer l'évapotranspiration en un point. Les altitudes de la vallée de Modave et de la station de Gembloux étant semblables, les calculs effectués par THORNTHWAITE sont conformes à la réalité.

2.2.4. Loi du déficit d'écoulement.

Les sources de Modave permettent des études qui portent sur un grand nombre d'années. En effet, depuis 1929, les débits des sources sont mesurés avec toute la précision souhaitable. Les températures moyennes mensuelles de cette longue période nous ont permis de faire le calcul de l'évapotranspiration de 1929 à 1966 et de vérifier la loi de COUTAGNE (déficit d'écoulement) pendant cette période.

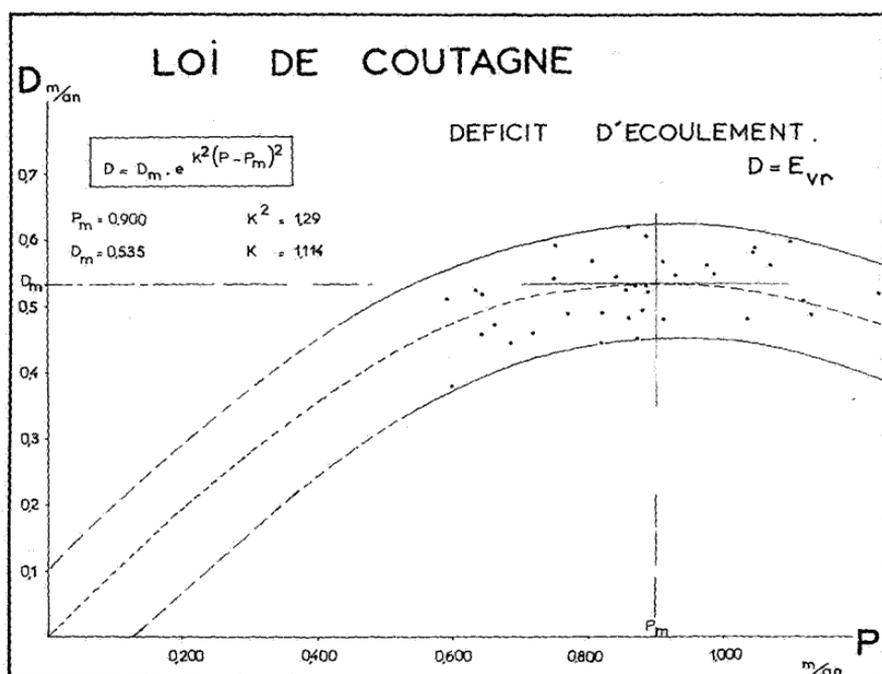


FIG. 2.

- D : Déficit d'écoulement en m/an.
- D_m : Déficit moyen annuel.
- P : Pluviosité annuelle m/an.
- E_{vr} : Evapotranspiration réelle.
- P_m : Pluviosité moyenne.
- K : Facteur particulier à la loi.

En observant cette figure, il apparaît clairement que la région de Modave se trouve dans la zone où une assez forte augmentation de la pluviosité ne provoque pas un changement sensible de l'évapotranspiration. Ce dernier facteur est compris entre 400 et 600 mm

par an alors que la pluviosité s'étale de 590 à 1.300 mm par an ! Les coefficients calculés pour ce plateau du Condroz pourront utilement être comparés avec ceux trouvés pour d'autres régions.

2.3. Écoulement superficiel ou ruissellement.

Le jaugeage de la rivière principale, le Hoyoux, se fait depuis 15 ans un peu en amont du confluent de ce cours d'eau avec le ruisseau de Bonne. Depuis quatre ans, ce dernier est également jaugé au moyen d'un déversoir à paroi mince installé sous le pont dit « de Bonne ».

Le débit du Hoyoux provient du bassin de Modave dans une proportion de 30 % seulement. En effet, la superficie du « Hoyoux supérieur » et celle du « Hoyoux moyen » — moins la superficie drainée par le « Bonne » — sont à peu près semblables (55 à 60 km²).

Le ruissellement instantané paraît donc être divisé par deux. Ensuite, il semble que le captage de la C.I.B.E. retienne la plus grande partie de l'écoulement souterrain du bassin moyen du cours d'eau, celui de Modave. Or, en été, c'est l'écoulement souterrain qui forme la plus grande partie de l'écoulement total de la rivière. C'est pourquoi nous avons affecté le facteur 0,3 au débit jaugé du Hoyoux pour obtenir le ruissellement en provenance du bassin de Modave.

Le coefficient de torrentialité, rapport du débit maximum de crue et du débit minimum d'étiage, a été calculé à 17 pour le Hoyoux et environ 100 pour le ruisseau de Bonne.

2.4. Écoulement souterrain.

Celui-ci nous est bien connu par les jaugeages précis des sources effectués par la Compagnie des Eaux à l'entrée du siphon de Vyle. La totalité du débit mesuré à cet endroit provient du bassin de Modave. Les études des dix derniers cycles hydrologiques (1957-1966) ont donné pour cet écoulement la valeur moyenne de 27,32 % de la pluviosité. Néanmoins, en hiver surtout une partie de l'eau de la nappe se déverse dans le Hoyoux (cf. § 4).

3. LE BILAN HYDROGÉOLOGIQUE.

Celui-ci peut être aisément déduit de la synthèse durant les dix derniers cycles de chacun des facteurs étudiés au paragraphe précédent.

MODAVE (1957-1966).

Tableau-résumé du bilan hydrologique.

Cycle	Pluies	Evapora- tion réelle	Captage	Hoyoux	Bilan		RS %
					mm	%	
1	853,1	452,4	212,1	92,6	+ 95,9	11,3	2,8
2	930,1	511,0	243,0	103,7	+ 72,3	7,9	2,7
3	749,5	499,8	262,5	91,5	-104,3	13,9	3,1
4	562,1	411,2	120,3	26,0	+ 4,6	0,8	1,6
5	1.146,9	769,3	260,6	109,1	+ 6,8	0,6	3,0
6	966,9	581,8	259,4	121,1	+ 5,8	0,6	4,3
7	689,6	508,6	212,8	81,0	-111,7	16,2	2,1
8	598,1	440,0	182,3	88,7	-108,8	18,5	3,1
9	922,3	501,6	211,2	94,2	+118,1	12,8	2,6
10	1.063,8	572,9	343,8	150,4	- 3,9	0,3	3,2
Bilan général	—	—	—	—	- 21,47	0,03	—
Moyennes	848,3	524,8	230,8	95,8			2,85

De ce tableau, nous retirerons quelques points particuliers à Modave. Tout d'abord, la grande étendue et la perméabilité des fissures des calcaires permettent un emmagasinement important par année humide et une vidange prolongée par année sèche; le volant hydraulique est donc très important ici.

Ensuite, il semble qu'une assez grande confiance puisse être faite aux chiffres et aux coefficients du tableau résumé. Le bilan de la période étudiée permet de clôturer un grand cycle composé d'années humides et d'années sèches.

Enfin, le ruissellement du Hoyoux d'où on a déduit le ruissellement retardé, donne une valeur très faible pour l'écoulement instantané: 2,85 % de la pluviosité. Ce chiffre accentue la certitude de la perméabilité en grand des calcaires dinantiens.

4. COEFFICIENT D'ALIMENTATION.

Si l'on tenait compte du tableau-résumé seulement, on dirait que le coefficient d'alimentation de la nappe de Modave est proche de 27 % de la pluviosité puisque ce sont ces 27 % que recueille le captage.

Il faut cependant se garder d'une telle simplification, car plusieurs facteurs viennent influencer ce chiffre :

tout d'abord, le captage de l'Intercommunale Des Avins intercepte une quantité d'eau comprise entre 1 et 2 % de la pluviosité;

ensuite, une part non négligeable de l'écoulement souterrain semble échapper aux captages. En effet, l'écoulement du Hoyoux représente 11,2 % de la pluie alors que le ruissellement instantané n'est que de 2,85 % de cette même pluie.

Il ressort donc de ce qui précède, que la part de pluviosité alimentant la nappe de Modave est d'environ 35 %, soit la somme des écoulements souterrains :

$$0,273 + 0,0835 + 0,0015 = 0,358 P,$$

provenant :

du captage C.I.B.E.	=0,273,
du Hoyoux	=0,0835,
du captage Des Avins	=0,0015,
A = 35,8 % pluie.	

5. CONCLUSIONS.

Pour mieux connaître ce gisement d'eau, relevons quelques résultats de cette étude.

Tout d'abord, les données météorologiques particulièrement abondantes et homogènes ont permis une étude valable de l'évapotranspiration dans cette région du pays et l'étude la plus longue qui ait été faite jusqu'ici dans ce domaine.

Ensuite, le bilan, établi rigoureusement, a permis de montrer l'origine et l'aboutissement de toutes les formes d'écoulement dans cette zone. La méthode de travail constitue en elle-même un essai de synthèse dans ce genre d'étude.

Enfin, après avoir réuni toute la documentation se rapportant à ces sources, les bilans ont permis de déterminer la valeur du coefficient d'alimentation de la nappe de Modave. Le chiffre de 35 % de la pluviosité coïncide approximativement au chiffre donné pour d'autres bassins karstiques des régions tempérées (Vaucluse : $A=37,5$ % de la pluviosité). Cette valeur pourra servir de référence pour des bassins semblables.

De plus, ces bilans hydrogéologiques ont mis en relief le ruissellement instantané particulièrement faible et le facteur évaporation un peu plus faible qu'en sols profonds. Nous attribuons ce dernier chiffre au fait que l'eau de la pluie gagne rapidement la nappe à une grande profondeur et quelle est ainsi soustraite à l'évapotranspiration.

BIBLIOGRAPHIE.

Archives.

SERVICE GÉOLOGIQUE DE BELGIQUE, Carte géologique 1/40.000, pl. 145-140-156-157.

I.R.M., Température de l'air relevée aux Stations Abée-Scry et Huy-Statte.

C.I.B.E., Documentation complète relative aux mesures faites sur le captage de Modave et dans les environs.

*
**

ACHTEN, 1956, Le captage des eaux souterraines des calcaires paléozoïques. (*Technique de l'eau*, n° 98, pp. 12-29.)

AGIE, J., 1967, La nappe karstique de Modave (124 p., 54 pl.). Thèse de Doctorat de l'Université de Bordeaux (n° 49).

AIGROT, M., 1967, L'écoulement de la Fontaine de Vaucluse. (*Travaux du Laboratoire d'Hydrogéologie de Bordeaux*, t. XV, 1 vol.)

COUTAGNE, A., 1934, Évaporation et déficit d'écoulement. (*Bulletin A.I.H.S.*, n° 20, pp. 98-128, Gent.)

GIGNOUX, M., 1960, Géologie stratigraphique. 1 vol. Éditions Masson et Cie, Paris.

KAISIN et DE PIERMONT, E., Hydrologie des Calcaires de Belgique. Édition Ceuterich F., LEUVEN.

LABORATOIRES DE RECHERCHE DE GEMBOUX, 1958, Calcul de l'évapotranspiration en Belgique. (*V° Congrès International de Génie Rural*, Édition Duculot, Gembloux.)

SCHOELLER, H., 1966, Hydrodynamique dans le Karst (écoulement et emmagasinement). 1 vol. : Colloque de Dubrovnik. (*Bulletin A.I.H.S.*, sous presse).

- THORNTHWAITE, C. W., 1955, The Water balance. Publication in *Climatology*, vol. VIII., (Édition Centertor, U.S.A.)
- TURC, L., 1961, Évaluation des besoins en eau d'irrigation et évapotranspiration potentielle. (*Annales agronomiques de France*, n° 121.)
- VAN DEN BROECK, 1910, Les cavernes et les rivières souterraines de la Belgique, t. II. Édition Berckeman, Bruxelles.
- WIEST, R. J. (DE), 1965, Geohydrology. Édition John Wiley. Inc. New-York and London.)
-