

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM
BIBLIOTHEEK
1330
LABORATOIRE de RECHERCHES HYDRAULIQUES
BIBLIOTHEQUE

15-1602

224811

WATERSCHAP 's-GRAVENDIJK LABORATORIUM
BIBLIOTEEK
1330
LABORATOIRE DE RECHERCHES HYDRAULIQUES
BIBLIOTHEQUE



TISON, L.J.

I330

Recherches analytiques sur les
variations des niveaux des nappes
aquifères.

170

L.-J. TISON

Professeur à l'Université de Gand



0307 000 6967



Recherches analytiques sur les variations des niveaux des nappes aquifères

Communication faite au Symposium d'Hydrologie le 28 avril 1952 à Liège



EXTRAIT
DE
LA TECHNIQUE DE L'EAU
(Revue Mensuelle Scientifique et Technique)
FEVRIER 1953

Recherches analytiques sur les variations des niveaux des nappes aquifères

Communication faite au Symposium d'Hydrologie le 28 avril 1952 à Liège

par M. L. J. TISON,
Professeur à l'Université de Gand

1) Dans une étude précédente, (1), nous avons montré que si on assimile une nappe aquifère à un lac recevant un débit a et abandonnant au même instant un débit q , la variation de hauteur h de la nappe en fonction du temps satisfera à l'équation :

$$a \cdot dt = q \cdot dt + S \cdot dh \text{ ou } a = q + S \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

(S est la superficie de la nappe).

Cette relation exprime que la quantité d'eau entrant dans la nappe pendant l'intervalle de temps dt est égale à celle qui sort augmentée algébriquement de la quantité d'eau qui s'accumule dans la nappe (positivement pour une hausse du niveau et négativement pour une baisse).

La variation en fonction du temps du débit alimentant la nappe (par exemple par les précipitations diminuées de l'évaporation) est donnée par une courbe dont on ne peut avoir d'idée qu'en la relevant expérimentalement. Mais on peut toujours décomposer une telle courbe expérimentale en une somme de sinusoides (par exemple, par une des méthodes de Labrouste, de Schuster, etc.) (2), de sorte que :

$$a = A_m + \sum a_m \sin \omega t \quad (2)$$

A_m étant le débit moyen net (précipitations diminuées de l'évaporation). Ce sera d'ailleurs aussi le débit moyen sortant si on envisage un temps suffisamment long. Quant à a_m , c'est l'amplitude de l'oscillation autour de A_m pour

une quelconque des sinusoides et $\omega = \frac{2\pi}{T}$, T

étant la période de cette sinusoides.

Si a était donné par :

$$a = A_m + a_m \sin \omega t \quad (3)$$

dans l'hypothèse souvent réalisée avec suffisamment d'exactitude d'une variation linéaire du débit sortant q avec la hauteur h (de sorte que

$\frac{dq}{dh} = \text{constante } \beta$), on peut intégrer l'équation

différentielle (1) après y avoir remplacé a par la valeur donnée par (3) et on obtient assez aisément :

$$q = A_m + q_m \sin(\omega t - \omega \tau) + (q_0 - A_m + q_m \sin \omega \tau) e^{-\beta t/S} \quad (4)$$

q_0 est le débit sortant de la nappe à l'instant

pris comme origine des temps, q_m est lié à a_m par la relation :

$$\frac{q_m}{a_m} = \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2 S^2}{\beta^2}}}$$

et τ est un temps fourni par :

$$\tau = \frac{1}{\omega} \operatorname{arc tg} \frac{\omega S}{\beta}$$

Si on considère un temps très long, pour n'étudier que le régime moyen normal, le troisième terme de la relation (4) ne doit pas être considéré et on voit que τ constitue le retard avec lequel une phase quelconque de l'oscillation du débit entrant (un maximum par exemple) se présente dans le débit sortant. Quant à α , on voit qu'il donne l'amortissement de l'amplitude de l'oscillation.

2) Si on tient maintenant compte de ce que a , débit entrant, n'est pas donné par l'expression (3), mais bien par (2), on voit que chacune des oscillations constitutives du débit entrant subira un retard et un amortissement différent d'une oscillation à l'autre. Si on connaît les valeurs de tous les coefficients dans l'expression analytique (2), on pourra donc trouver la variation du débit sortant en superposant au débit moyen entrant A_m les ordonnées de sinusoides dont les périodes seront les mêmes que celles des sinusoides du débit entrant (2), mais avec un déphasage donné par τ (6) et un amortissement fourni par α (5).

3) Dans l'étude précitée (1), nous avons appliqué les résultats de cette théorie à plusieurs cas concrets.

C'est ainsi que le cas d'une nappe alimentée par des irrigations se répartissant de façon à donner sensiblement une répartition sinusoidale de période annuelle, avec les caractéristiques suivantes :

$$S = 5 \cdot 10^6 \text{ m}^2; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{365 \cdot 86400} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\beta = \frac{dq}{dh} = 200 \text{ m}^2/\text{s}$$

conduisait à la valeur suivante du retard :

$$\frac{T}{2\pi} \operatorname{arc tg} 15 \text{ soit } \frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{8,5}{9}$$

Comme T valait ici 365 jours, τ prenait la valeur 86 jours, soit sensiblement 3 mois, ce qui était effectivement le décalage constaté par les relevés. (voir figure 1).

à une seule sinusoïde de période annuelle. Plus souvent, cette alimentation correspond mieux à la superposition d'une oscillation de période annuelle et d'une autre de période semi-annu-

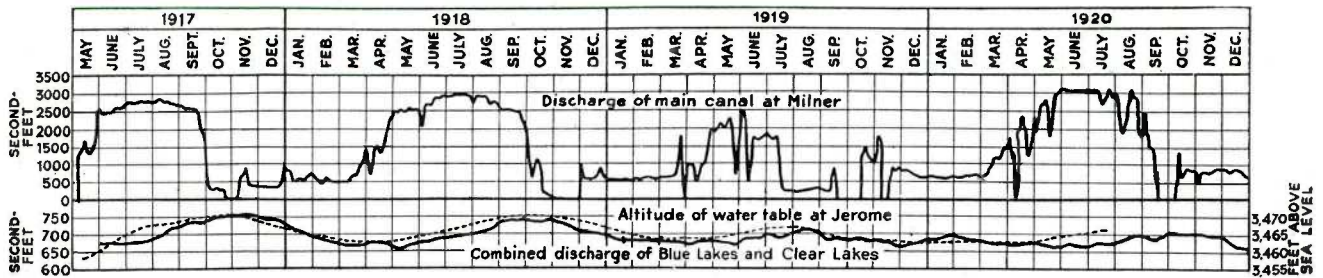


Fig. 1.

Une autre application se rapportait à la nappe du crétacé à Havré, nappe dans laquelle les maxima de la courbe à périodicité grossièrement annuelle des précipitations (avec centre de masse des précipitations de la période d'hiver en janvier-février), se retrouvaient avec un retard sensiblement égal à 3 mois : les résultats du calcul de τ par la méthode analytique ci-dessus conduisaient aussi à 3 mois.

4) Il ne faudrait pas en conclure que ce retard est toujours de 3 mois. Il n'en est ainsi dans les deux cas rappelés ci-dessus que pour les deux raisons suivantes :

a) la courbe d'alimentation (irrigation dans le premier cas, précipitations dans le second) présentait une périodicité uniquement annuelle quand on considérait la courbe d'une année (il n'y avait donc pas de périodes de six ou quatre mois par exemple) : T valait donc un an.

b) par suite de la grande valeur de S, $\frac{\omega S}{\beta}$ prenait des valeurs relativement grandes, bien

supérieures à 10, de sorte que $\text{arc tg } \frac{\omega S}{\beta}$ se

rapprochait de $\frac{\pi}{2}$, si bien que :

$$\tau = \frac{1}{\omega} \text{arc tg } \frac{\omega S}{\beta}$$

valait un peu moins de $\frac{T}{2\pi} \cdot \frac{\pi}{2}$, soit $\frac{T}{4}$, soit environ 3 mois.

Mais on voit que si S est moins grand, la valeur de $\text{arc tg } \frac{\omega S}{\beta}$ et par suite de τ diminue.

D'autre part, l'alimentation (précipitations diminuées de l'évaporation) des nappes, même si on se borne à la considération d'une seule année, ne correspond pas toujours, loin de là,

elle, ou même plus courte. Dans le cas le plus simple, on a une période annuelle et une autre période semi-annuelle dont un des maxima correspond au maximum de la période annuelle. Dans ce cas, même si S est très grand, le déphasage de la nappe par rapport à celui de l'oscillation de l'alimentation ne sera plus de trois mois. En effet, la courbe de variation de la nappe s'obtiendra alors en décalant la sinusoïde de période annuelle de trois mois et la courbe de période semi-annuelle de $1 \frac{1}{2}$ mois. Comme nous avons supposé que ces maxima se produisaient en même temps dans la courbe d'alimentation, ils seront décalés de $1 \frac{1}{2}$ mois dans la courbe de variation des débits (et aussi des hauteurs) de la nappe. La superposition des deux sinusoïdes, annuelle et semi-annuelle, différemment décalées conduira alors à une courbe des débits (et aussi des hauteurs) de la nappe qui présentera son maximum moins de trois mois après celui de la courbe d'alimentation. (au moins si l'amplitude de l'onde semi-annuelle n'est pas trop réduite.)

De multiples autres cas peuvent d'ailleurs se présenter, avec des courbes représentatives de l'alimentation présentant à côté de l'onde annuelle, des ondes de quatre mois ou moins de périodicité et dont aucun des maxima ne coïncide avec celui de l'onde annuelle. Une fois la décomposition de la courbe représentative de l'alimentation effectuée, l'application de la méthode exposée ci-dessus est instantanée.

5) Nous trouvons un cas d'application de ce qui précède dans l'exemple suivant, dont les données sont extraites d'une étude de M. Maynard (3). Il s'agit d'une nappe de la Charente Inférieure, s'étendant sur une étendue S de 690 Ha. Le débit de la nappe varie de 4.540 m³/jour à 122,5 m³/jour ; la valeur de β déduite des données vaut 532 m³/jour.

D'autre part, l'alimentation de la nappe se fait quasi exclusivement par les pluies de la saison froide, d'octobre à mai. Le diagramme 2 fournit les précipitations pour la période octobre 1900 -mai 1901. La répartition en question correspond assez bien à celle que donnerait une

sinusoïde de période annuelle, à laquelle se superposerait une sinusoïde de période de 4 mois, mais dont les maxima ne coïncideraient pas. Les amplitudes des deux sinusoïdes sont du même ordre de grandeur. Le même diagramme 2 porte les deux sinusoïdes en question. On devrait évidemment appliquer une méthode comme celle de Labrouste ou celle de Schuster pour obtenir une meilleure concordance de la superposition des diverses sinusoïdes avec la courbe expérimentale, mais l'application de ces méthodes est très longue et la décomposition rapide que nous avons utilisée donne, comme on le verra, des résultats suffisamment satisfaisants. Sur le diagramme 2, les ordonnées de la sinusoïde de période de 4 mois ont été immédiatement superposées à celles de la sinusoïde de période annuelle, la courbe résultante épousant suffisamment bien la courbe des précipitations observées, répétons-le.

Il est évident que l'eau qui parvient à la nappe n'est qu'une fraction des précipitations

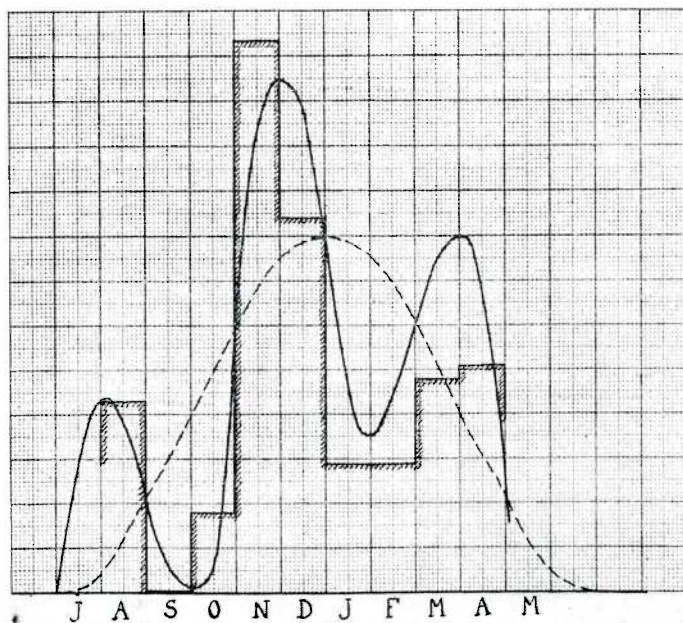


Fig. 2.

mais on peut admettre que pendant les mois de la période froide, la fraction de l'eau tombée qui arrive à la nappe ne varie guère, de sorte que la courbe des précipitations, ou celle par laquelle nous l'avons remplacée, représente aussi les apports à la nappe, mais à une échelle différente.

La théorie exposée ci-dessus permet de déduire les fluctuations des niveaux ou des débits de la nappe en décalant dans le temps les deux sinusoïdes constitutives de la courbe des précipitations et en faisant la somme de leurs ordonnées, après les

avoir réduites chacune dans le rapport α qui leur est propre.

Le décalage est donné par la formule (6) :

$$\tau = \frac{1}{\omega} \operatorname{arc\,tg} \frac{\omega S}{\beta}$$

Pour la sinusoïde de période annuelle, τ vaut en jours :

$$\frac{365}{2\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{2\pi \cdot 6,9 \cdot 10^6}{365.532} = \frac{365}{2\pi} \operatorname{arc\,tg} 223 \text{ soit environ 3 mois.}$$

Pour la sinusoïde de période de 4 mois, τ vaut $\frac{121}{2\pi} \operatorname{arc\,tg} 73$, ce qui nous donne très sensiblement 1 mois.

D'autre part, on remarquera que les ordonnées de chacune des sinusoïdes sont fortement réduites puisqu'elles doivent être multipliées

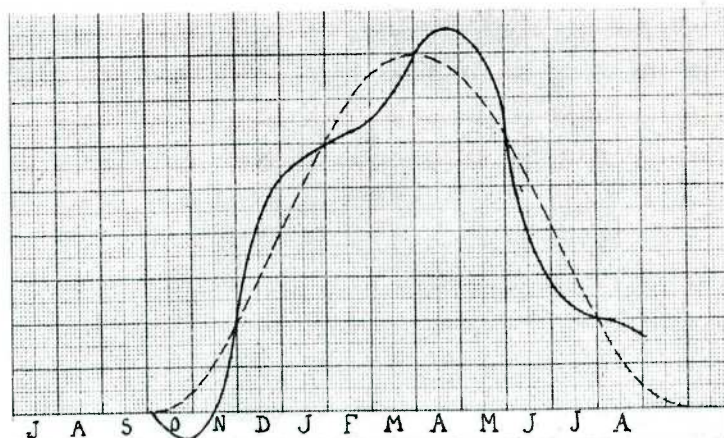
par
$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\omega^2 S^2}{\beta^2}}}$$

Comme l'unité est négligeable dans les deux cas devant $\frac{\omega^2 S^2}{\beta^2}$, il est aisé de voir que

le α de la période de 4 mois est 3 fois plus petit que celui de la période annuelle. Comme les amplitudes des deux sinusoïdes étaient sensiblement les mêmes dans la courbe d'alimentation, l'amplitude de la sinusoïde de période de 4 mois, dans la variation de la nappe, sera trois fois plus petite que celle de la sinusoïde de période annuelle.

Le diagramme 3 représente la sinusoïde annuelle de l'alimentation décalée de 3 mois, ainsi que la sinusoïde de période de 4 mois,

Fig. 3.



décalée de 1 mois, mais dont les ordonnées ont été divisées par 3 ; la seconde sinusoïde a été immédiatement ajoutée à la première ; la courbe ainsi obtenue doit représenter la variation des niveaux ou celle des débits de la nappe.

Mais la figure 4 représente la courbe observée des débits de la nappe pendant la période 1900-1901. La comparaison des courbes 3 (cal-

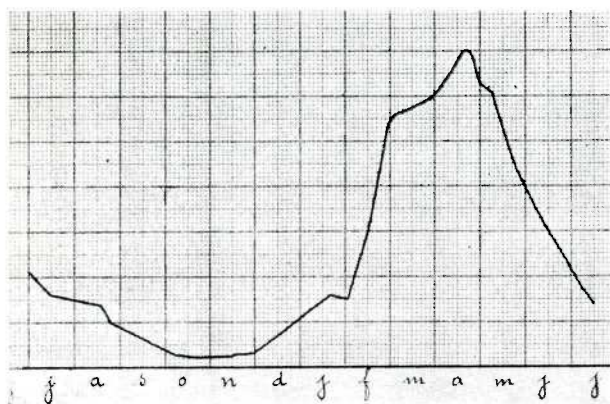


Fig. 4.

culée) et 4 (observée) conduit aux constatations suivantes :

- a) Les formes des deux courbes sont sensiblement les mêmes. On retrouve notamment sur les deux diagrammes le freinage de la montée avant la dernière ascension qui conduit au maximum.
- b) Les maxima se produisent sensiblement à la même date.
- c) Les courbes de descente sont les mêmes pour les deux diagrammes.
- d) Par contre, la montée du diagramme calculé, bien qu'identique de forme à celle du diagramme observé, se produit notablement plus tôt.

Cette discordance n'est pas due, comme on va s'en rendre compte, à une imperfection de la méthode. En effet, notre façon d'opérer suppose implicitement que les précipitations atteignent immédiatement la nappe : en effet, la filtration verticale de l'eau qui s'infiltré dure tout un temps, surtout après la saison chaude quand le niveau de la nappe est très bas et quand la zone capillaire au-dessus de la nappe a elle-même été fortement réduite par l'évaporation et la transpiration de l'été. Rien d'étonnant dans ces conditions que la nappe ne reçoive les apports qu'avec un retard qui, dans le cas envisagé, semble dépasser un mois.

La descente, au contraire, n'est guère influencée par les apports et le même retard ne doit pas exister, ce que la concordance des deux diagrammes montre effectivement.

6) Dans la note précitée (1), nous avons aussi traité un problème de fluctuations s'éten-

dant sur plus de 35 ans. Il s'agissait de l'étude, par la méthode que nous venons d'exposer, des relevés des niveaux de la nappe du crétacé entrepris dans la région du Nord de la France par M. le Professeur Dollé.

Rappelons que notre décomposition de la courbe des précipitations en deux sinusoïdes de 48 ans et de 24 ans de période nous avait permis de retrouver l'allure générale des oscillations mises en lumière par M. Dollé.

Des considérations analogues sont applicables à toutes nos grandes nappes et nous croyons notamment devoir signaler que l'allure de la répartition des précipitations dans les années passées laisse entrevoir que les prochaines années verront, dans notre pays et les régions voisines, des niveaux très bas des nappes. Des précipitations très abondantes seraient nécessaires dans les années prochaines pour que cette éventualité ne se réalise pas.

Remarquons ici que nous ne voulons pas faire de prévisions en supposant, comme certains croient pouvoir le faire, que les courbes des précipitations, des débits, etc., peuvent s'établir pour l'avenir en décomposant les courbes de variations passées en sinusoïdes qu'on suppose alors se prolonger, se poursuivre dans l'avenir. Nous estimons que l'établissement de semblables prévisions n'est pas fondé aussi longtemps qu'on ne peut trouver les causes physiques qui engendreraient les diverses sinusoïdes. Les recherches faites dans ce sens n'ont d'ailleurs donné que des déceptions quand on voulait les faire servir à l'établissement de prévisions (voir notamment l'étude des fluctuations des débits du Rhin à Bâle, par M. Oesterhaus; Publication de l'Association Internationale d'hydrologie, Assemblée d'Oslo 1948, Potamologie).

Quand nous prévoyons pour les années prochaines des niveaux très bas pour les nappes aquifères, si ces années ne sont pas abondamment pluvieuses, en application de la théorie exposée au paragraphe 1 de cette note, nous nous basons simplement sur les propriétés des fluctuations des niveaux des réservoirs. Sans appareil mathématique, et naturellement sans résultat aussi précis, nous pourrions dire : la nappe est un énorme réservoir dont la dernière décade, pauvre en précipitations, a rabattu fortement le niveau. La remontée sera insignifiante et très lente si le réservoir en question ne reçoit que des apports normaux ; une vraie remontée exige des précipitations considérables. Ceci est d'autant plus exact que la surface S de la nappe est plus grande.

7) Nous n'avons, jusqu'à présent, traité que des problèmes de mouvement moyen qui nous permettaient de négliger le troisième terme de l'expression (4) de q . La très intéressante communication de M. Achten à ce symposium nous

donne la possibilité de faire une autre application dans laquelle le mouvement d'oscillation moyen, normal prend la seconde place par suite d'une hausse brusque de la nappe due à un apport brutal considérable. Nous avions, en nous basant sur la même théorie étudiée précédemment la baisse du lac Tanganika à la suite de la disparition soudaine du barrage de la Lukuga vers 1877. (4).

Il s'agit de la nappe du calcaire de Modave. Des pluies de 17 et de 25,5 mm les 9 et 10 janvier 1952, suivies de 5,3 mm le 11, devaient naturellement provoquer une montée nette de la nappe. En fait, ces pluies furent mesurées du 9 à 6 heures du matin au 12 à la même heure. (Fig. 5).

Si nous assimilons en première approximation ces pluies réparties sur trois jours, non pas à une pluie uniforme, mais si nous lui donnons une répartition sinusoïdale avec maximum au temps médian, on peut remarquer qu'on obtient ainsi une répartition qui a des chances de se rapprocher de la courbe réelle, comme le montre le diagramme 5. En fait, on ne peut serrer le problème de plus près, car la répartition de la



Fig. 5.

pluie au cours des trois journées considérées est inconnue. Notre assimilation fait commencer la pluie le 9 à 6 heures, la fait passer par un maximum le 10 à 18 heures pour la faire revenir à zéro le 12 à 6 heures. La période est ainsi de trois jours.

Le retard τ est alors donné par :

$$\tau = \frac{1}{\omega} \operatorname{arc\,tg} \frac{\omega S}{\beta} = \frac{3}{2\pi} \operatorname{arc\,tg} \frac{\omega S}{\beta} \text{ jours}$$

S est très grand par rapport à β (nous aurons l'occasion de le montrer plus loin), de sorte que $\operatorname{arc\,tg} \frac{\omega S}{\beta}$ vaut très sensiblement $\pi/2$.

τ est par conséquent égal à $3/4$ jours, ce qui place le maximum de la nappe 18 heures après le 10 à 18 heures, soit le 11 à 12 heures.

Ce maximum fut en fait constaté le 11 vers 14 heures. On remarquera que le début de la montée de la nappe présente le même retard sur le début de la pluie.

Mais le problème peut être envisagé sous un autre angle et au lieu de nous en tenir à une fluctuation sinusoïdale qui ne s'étend pas dans le temps au-delà d'une période, on peut aussi suivre la variation du débit, ou de la hauteur, de la nappe quand un apport brusque l'a brutalement relevée. Dans ce cas, le troisième terme de l'expression (4) de q prend l'importance la plus grande et on voit que le niveau brusquement relevé s'abaissera suivant une loi exponentielle, au moins tant que la nappe ne recevra pas de nouveaux apports.

D'après (4), la plus value $q - A_m$ du débit variable sur le débit moyen devient égale à :

$$(q_0 - A_m + q_m \sin \omega \tau) e^{-\beta t/S} \text{ ou } C \cdot e^{-\beta t/S}$$

La décroissance de cette plus value est déterminée par les deux éléments C et β/S que nous déterminerons en nous plaçant en deux points de la courbe de descente. Prenons comme origine des temps, l'instant de la production du débit maximum de la nappe : la différence $q_0 - A_m$ vaut d'après le diagramme 4 : $82000 - 64000$ soit $18000 \text{ m}^3/\text{s}$. L'expression $e^{-\beta t/S}$ vaut alors l'unité, de sorte que C est égal à 18000 .

En se plaçant le 12 à midi, soit 22 heures après la production du maximum, on trouve sur le diagramme observé

$$q = 77500 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ soit } q - A_m = 77500 - 64000 = 13500. \text{ Ce deuxième}$$

point de la courbe observée conduit par conséquent à :

$$\frac{13500}{24} = \frac{18000}{24} \cdot e^{-\beta \cdot 22/S}$$

en exprimant les débits en m^3/heure .

Cette relation fournit pour $\frac{\beta}{S} \cdot 22$ la valeur

$$0,30. \text{ D'où } \frac{\beta}{S} = 0,013 \text{ heures}^{-1}.$$

Les deux caractéristiques du terme exponentiel sont ainsi déterminées :

$$C = 18000 \text{ m}^3/\text{jour} \text{ et } \frac{\beta}{S} = 0,013$$

A l'aide de ces caractéristiques, il est maintenant possible de trouver la valeur du débit à un moment quelconque de la descente de la nappe. Ainsi, le 12 à minuit t étant égal à 34 heures, la valeur du débit est donnée par :

$$q = 64000 + 18000 e^{-0.013 \times 34} \text{ soit } 75500 \text{ m}^3/\text{jour} \text{ ce qui est précisément la valeur du débit mesuré.}$$

Après 48 heures, soit le 13 à 14 heures, le calcul donne :

$$q = 64000 + 18000 e^{-0.013 \times 48} = 73600 \text{ m}^3/\text{j.}$$

alors que le débit mesuré est 74000.

Le 14 à midi, soit pour $t = 70$ heures,

$$q = 64000 + 18000 e^{-0.013 \times 70} \text{ soit } 71500 \text{ m}^3/\text{j.}$$

On lit à cet instant une valeur mesurée de 74000, mais il faut remarquer que les journées du 12 et du 13, ont donné 5.1 mm de pluie provoquant un relèvement de la nappe très perceptible sur le diagramme des débits mesurés. On peut d'ailleurs évaluer la valeur de ce relèvement en remarquant que les 47.8 mm du 9 au 11 ont provoqué une augmentation maximum de 18000 m³/jour du débit. Le relèvement maximum dû aux 5.1 mm peut donc être évalué à 2000 m³/jour, ce qui ramènerait le débit observé à 72000 s'il n'avait pas plu les 12 et 13. Ces 72000 sont à rapprocher des 71500 calculés.

Le 18 à minuit ($t = 178$ heures pour la pluie du 9 au 11 et $t = 136$ heures pour la pluie des 12 et 13), le débit q est donné par :

$$q = 64000 + 18000 e^{-0.013 \times 178} + 2000 e^{-0.013 \times 136}$$

soit 67000 m³/jour.

Mais il faut lui ajouter le maximum du débit provoqué par les pluies du 15 au 18, pluies ayant donné 15.2 mm. En comparaison avec l'accroissement de 18000 m³/jour donné par la pluie de 47.8 mm des 9 et 10, les pluies du 15 au 18 ont donné un accroissement maximum de 6000 m³/jour qui ajouté aux 67000 trouvés ci-dessus, donnent un total de 73000 m³/jour, alors que le maximum constaté au même moment (18 à minuit) est de 73000.

On peut estimer ces diverses concordances comme très satisfaisantes .

8) On peut évidemment trouver que la méthode analytique que nous venons d'esquisser présente certaines imperfections. Nous sommes tout disposés à le reconnaître.

Ainsi, il est certain que le niveau de la nappe ne constitue pas, comme dans un lac, une surface horizontale et que la montée élémentaire dh n'est pas la même sur toute la surface. L'introduction de ce dh variable complique le problème, mais il a cependant été traité par des collègues hollandais (5). Les résultats de leur étude montrent que le retard reste sensiblement

le même que celui de notre méthode sauf sur les bords de la nappe ou le retard diminue.

On peut aussi objecter que le retard que nous calculons doit être augmenté du fait du temps nécessaire à la filtration verticale : il serait relativement aisé de trouver ce complément par des mesures assez simples sur chaque terrain. Semblables mesures ont également été faites en Hollande.

On peut surtout estimer que ce qui alimente la nappe ce sont les précipitations diminuées de l'évaporation et que celle-ci est en général mal connue. A vrai dire, nous tenons compte indirectement de ce fait en admettant que les précipitations d'été, quelles que soient leur valeur, n'alimentent que très peu la nappe et que l'alimentation d'été est constituée par les faibles ordonnées de la sinussoïde annuelle. Pour les mois d'octobre à mai, nous admettons que l'évaporation est sensiblement proportionnelle aux pluies, ce qui, disons-le peut ne pas être exact.

Nous ne prétendons donc pas que la méthode soit parfaite et qu'elle permette de calculer avec précision les fluctuations de la nappe en se basant sur les seules précipitations, mais sans donner des précisions, on voit par les exemples traités que l'allure générale des variations de la nappe peuvent être déduite et pareil résultat nous semble déjà très intéressant. Sans vouloir faire des précisions à longue échéance, nous avons cependant montré qu'on peut déduire de la méthode des indications comme celle que nous avons donnée ci-dessus et suivant laquelle, on doit s'attendre pendant quelques années encore à des niveaux bas des nappes aquifères de nos régions.

Des relevés de fluctuations de nappes aquifères s'étendant sur des périodes plus ou moins longues nous seraient très utiles afin de les soumettre à des analyses analogues à celles que nous avons présentées dans nos diverses notes sur ce sujet.

BIBLIOGRAPHIE.

- 1) L. J. Tison. Fluctuations d'une nappe aquifère étendue. La Technique de l'eau, février 1952.
L. J. Tison. Même sujet. Comptes-Rendus de l'Assemblée de Bruxelles 1951 de l'Association Internationale d'Hydrologie.
- 2) H. Labrouste et Mme Labrouste. Analyse de graphiques résultant de la superposition de sinussoïdes. Schuster, d'après Defant. Die Veränderungen in der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre in den gemässigten Breiten der Erde. Sitzungsbericht d. Akademie d. Wissenschaften. Wien 1912 bd CXXI.
- 3) Maynard. Mode d'écoulement des Eaux des nappes souterraines. Génie Civil.
- 4) L. J. Tison. Etude analytique des fluctuations du lac Tanganika. Bulletin des Séances de l'Institut Royal Colonial Belge XXII 1951 — 2.
- 5) Netherlands State Institute for Water Supply. The effect of the yearly fluctuations in Rainfall on the flow of groundwater from an extended area of recharge. — Association Internationale d'Hydrologie. Assemblée d'Oslo 1948, Tome III.

