

ANALYSE DES TENDANCES DE DONNÉES HYDROCHIMIQUES DU BASSIN DE LA DYLE EN AMONT D'ARCHENNES (*)

par A. NAVARRE, P. LECOMTE, H. MARTIN (**)

(11 figures dans le texte)

ABSTRACT

Hydrochemical data from 92 springs in the Dyle basin were studied with the help of statistical methods : histogram, correlation coefficients and trend surface.

The predominance of calcium and bicarbonate in the spring matter reflects the mineralogical composition of the aquifer : tertiary calcareous sandstone and cretaceous rocks. The geological interpretation of the results can also explain the strontium and chloride contents in the waters.

The nitrate concentration cannot be interpreted by the geochemistry of the aquifer. Its origin is probably due to the use of fertilizers in the studies area.

INTRODUCTION

Une prospection systématique des sources du bassin de la Dyle en amont d'Archennes a été effectuée de septembre 1974 à octobre 1975 (Fig. 1).

Cette prospection fait suite à l'étude hydrogéochimique de sources et de puits situés aux environs de Louvain-la-Neuve en 1972-1973 (MARTIN et NAVARRE, 1974).

Pour les 92 sources échantillonnées, sept variables ont été étudiées, à savoir : l'alcalinité, le pH ainsi que les teneurs en calcium, magnésium, strontium, chlorure et nitrate.

Les données hydrochimiques ont été traitées à l'aide de méthodes statistiques : histogrammes de fréquences, coefficients de corrélation et « trend surface ». Les résultats de ces traitements ont été interprétés en fonction de la géologie de l'aquifère et de l'influence anthropique.

CADRE GÉOLOGIQUE

La figure 1 donne la localisation des sources en rapport avec l'échelle stratigraphique.

Le bassin de la Dyle est constitué au sud d'Archennes d'une série de couches d'âge tertiaire reposant en discordance sur un socle paléozoïque. Dans la région de Wavre, des lambeaux de Crétacé s'intercalent entre les deux.

(*) Communication présentée le 9 mars 1976. Manuscrit déposé le 12 avril 1976.

(**) Université de Louvain, Laboratoire de Géochimie, place Louis Pasteur 3, B-1348 Louvain-la-Neuve.

Les roches du socle sont composées essentiellement de phyllades et de quartzites affleurant dans les vallées de la Dyle et de quelques uns de ses affluents. Au nord d'une ligne reliant Genappe à Gembloux, ces roches sont d'âge cambrien, tandis qu'au Sud affleure le Silurien (LEGRAND, 1968). A l'extrémité Sud-Ouest, on retrouve des couches du Mésodévonien (sondage de Sart-Dames-Avelines — S 9 —, LEGRAND, 1973). Celles-ci s'ennoyent de 10 à 15° vers le Sud.

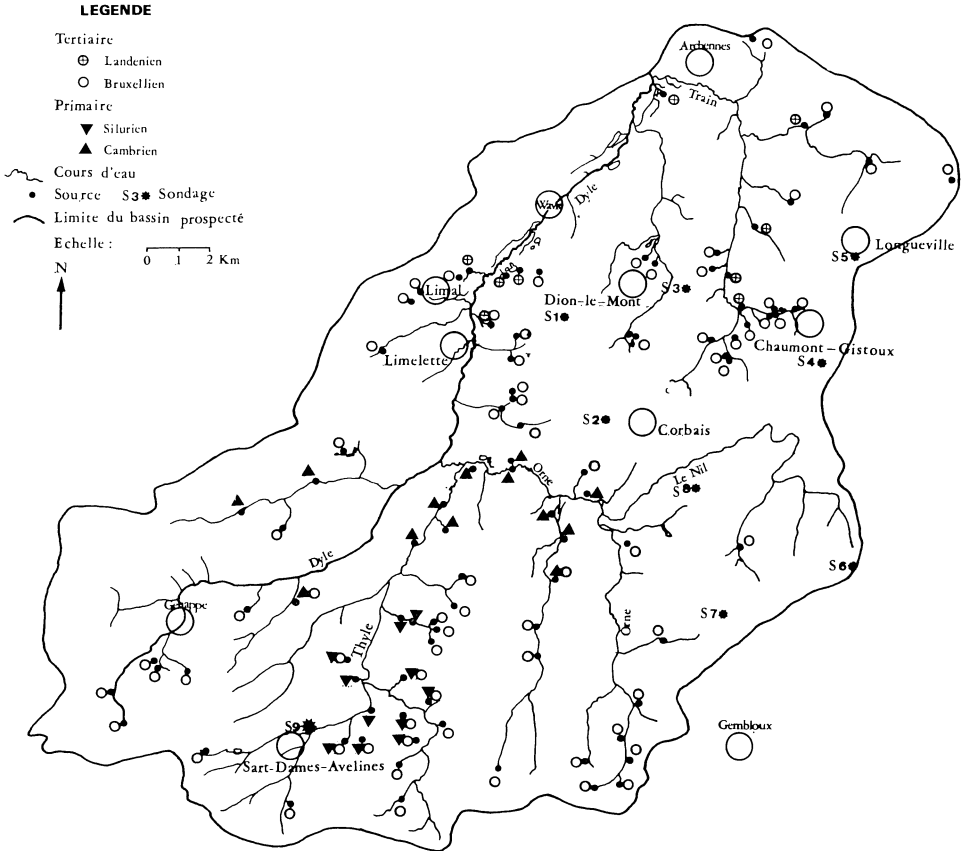


Fig. 1. — Sources du Bassin de la Dyle : localisation et relation avec la carte géologique. Emplacement des sondages d'après Gulinck et Marun (1971) et Legrand (1973).

Le substratum cambrien et silurien est fortement faillé et diaclasé, provoquant des dénivellations parfois très accusées de la surface du socle (LEGRAND, 1968). D'une façon générale, cette surface s'enfonce vers le Nord, le Silurien affleurant dans le Sud aux environs de 120 m tandis qu'à Limal, le Cambrien n'apparaît plus qu'à la cote 70.

Le crétacé de la région constitue une avancée méridionale du bassin crétacique couvrant le nord de la Belgique. Il est formé de grès calcareux et de craies blanches avec un niveau de craie marneuse à la base. Ces couches se terminent en biseau au Sud de Wavre (GULINCK et LOY, 1971); elles ont été retrouvées en sondage à différents

endroits tels que Chaumont-Gistoux — S4 — et Longueville — S5 — (GULINCK et MARUN, 1971).

La sédimentation tertiaire comporte des formations du Landénien, du Bruxellien, du Lédien et du Tongrien. Le Landénien repose soit sur le Crétacé au Nord, soit directement sur le socle cambro-silurien. Il couvre la partie septentrionale du bassin de la Dyle. On le retrouve au Sud, à Limelette et jusque dans le sondage de Corbais — S2 —. Il est composé de sables argileux ou d'argiles sableuses glauconifères atteignant une épaisseur maximum de 33 m dans le sondage de Dion-le-Mont — S3 — et formant une couverture plus ou moins imperméable sur l'aquifère crétacique.

Sur le Landénien ou, dans la partie sud de la région étudiée, sur le socle primaire, se situent les sables du Bruxellien.

Sa base est irrégulière, présentant souvent une allure ravinante. Son épaisseur maximum, actuellement rencontrée, est de 53 m au sondage de Wavre — S1 —. Ce niveau constitue le principal aquifère de la région. On peut y distinguer deux faciès (GULINCK et MARUN, 1971) : d'une part, un sable assez grossier comportant des concrétions siliceuses et devenant glauconifères à la base et d'autre part, un sable fin pouvant contenir de nombreux grès calcaireux dans sa moitié inférieure. L'élément calcaire a été retrouvé dans quatre sondages sur huit — S3, S4, S7, S8 — (GULINCK et MARUN, 1971).

Aux interfluves, des placages tongriens et/ou lédiens recouvrent le Bruxellien; ils sont constitués de sables fins argileux glauconifères ou rubéfiés (parfois fossilifères — Lédien). Ces niveaux peuvent avoir jusque 5 m d'épaisseur.

Enfin, un limon quaternaire d'origine nivéo-éolienne s'est déposé dans toute la région sur des épaisseurs variables pouvant aller jusqu'à une quinzaine de mètres. A certains endroits, il peut contenir des concrétions calcaires.

MÉTHODOLOGIE ANALYTIQUE

Avant l'analyse, toutes les eaux sont traitées et conservées suivant les recommandations établies en la matière (BROWN *et al.*, 1970). La détermination de l'alcalinité est effectuée par titration, celle du calcium et du magnésium, par complexométrie. Le strontium est dosé par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les électrodes spécifiques sont utilisées pour déterminer la concentration en chlorure et nitrate.

Certains échantillons ont été prélevés en double. Ils ont été analysés pour le calcium, le magnésium, les chlorures, les nitrates et l'alcalinité (Alc) d'une part par le Laboratoire de Zymotechnie (Université de Louvain) et d'autre part par le Laboratoire de Géochimie. La figure 2 montre un exemple de corrélation graphique pour les résultats de l'analyse du Ca effectuée par les deux laboratoires précités. A partir de ce type de diagramme, l'erreur systématique et aléatoire peut être estimée grâce à l'équation de la droite de régression et au coefficient de corrélation.

calcium :	$y = 1,0x + 3$	$r = 0,990$	$N = 78$
magnésium :	$y = 0,9x + 3$	$r = 0,742$	$N = 78$
chlorures :	$y = 0,8x + 6$	$r = 0,942$	$N = 78$
nitrates :	$y = 0,7x + 4$	$r = 0,973$	$N = 76$
alcalinité :	$y = 1,0x + 0,3$	$r = 1,000$	$N = 20$

Les valeurs de y représentent les résultats analytiques du Laboratoire de Zymotechnie et celles de x les résultats du Laboratoire de Géochimie. La droite

de régression ainsi que le coefficient de corrélation (r) sont calculés par la méthode des moindres carrés. N équivaut au nombre d'échantillons prélevés et analysés en double.

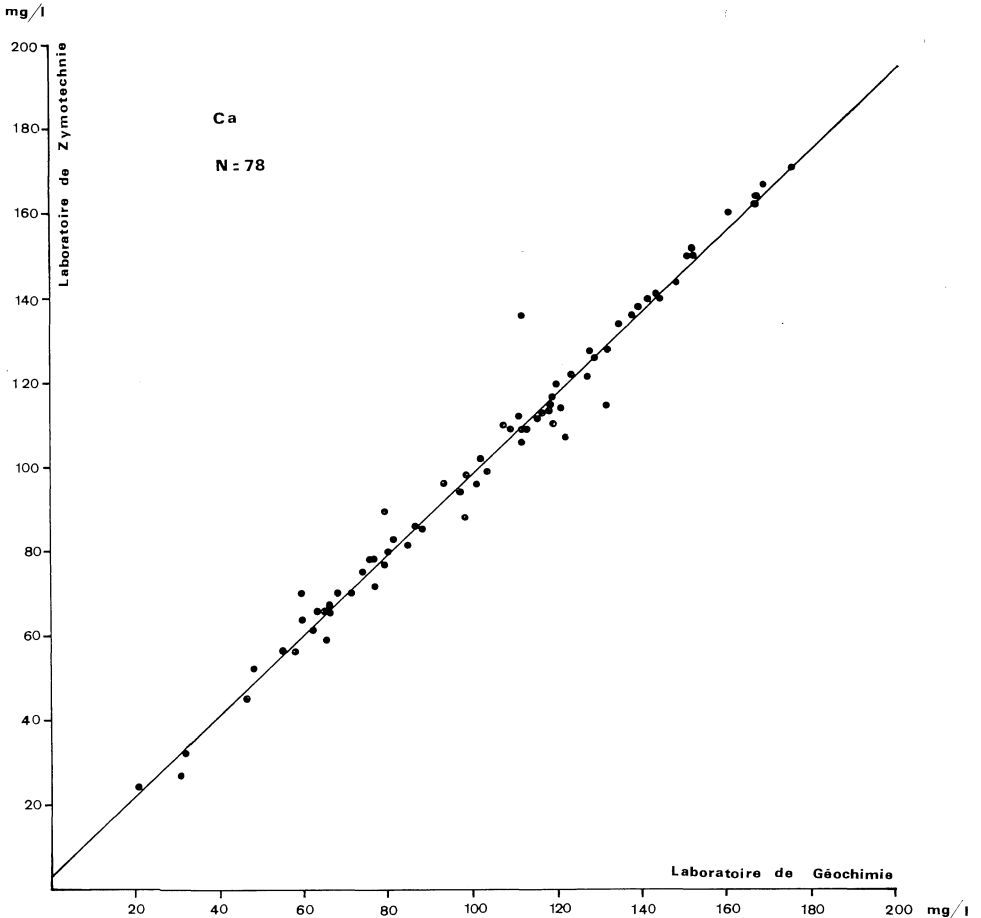


Fig. 2. — Sources du Bassin de la Dyle : comparaison des résultats d'analyse pour Ca.

Les valeurs de la pente et de l'ordonnée à l'origine de ces équations donnent une estimation de l'écart systématique des résultats obtenus dans les deux laboratoires. Cet écart est pratiquement nul pour le dosage du calcium et de l'alcalinité. Les résultats sont moins bons pour les chlorures et les nitrates. Les coefficients de corrélation montrent une très bonne concordance entre les deux séries d'analyse pour ces quatre variables. Seul le magnésium présente un coefficient de corrélation plus faible. Ce moins bon résultat est probablement lié au fait que la concentration en Mg, représentant environ 10 % de celle en Ca, est obtenue par différence entre la teneur totale (Ca + Mg) et la teneur en Ca.

Des mesures répétées sur des échantillons d'eau de source ont permis d'estimer que la reproductibilité des analyses, exprimée sous forme de déviation standard relative, est égale à :

- 0,7 % pour le calcium
- 10,0 % pour le magnésium
- 0,2 % pour l'alcalinité
- 2,0 % pour le strontium
- 1,0 % pour les chlorures et nitrates

TRAITEMENT DES DONNÉES ANALYTIQUES

Les figures 3 et 4 montrent les *histogrammes* de fréquences pour les valeurs des sept variables étudiées. La plupart des histogrammes sont hétérogènes et ne per-

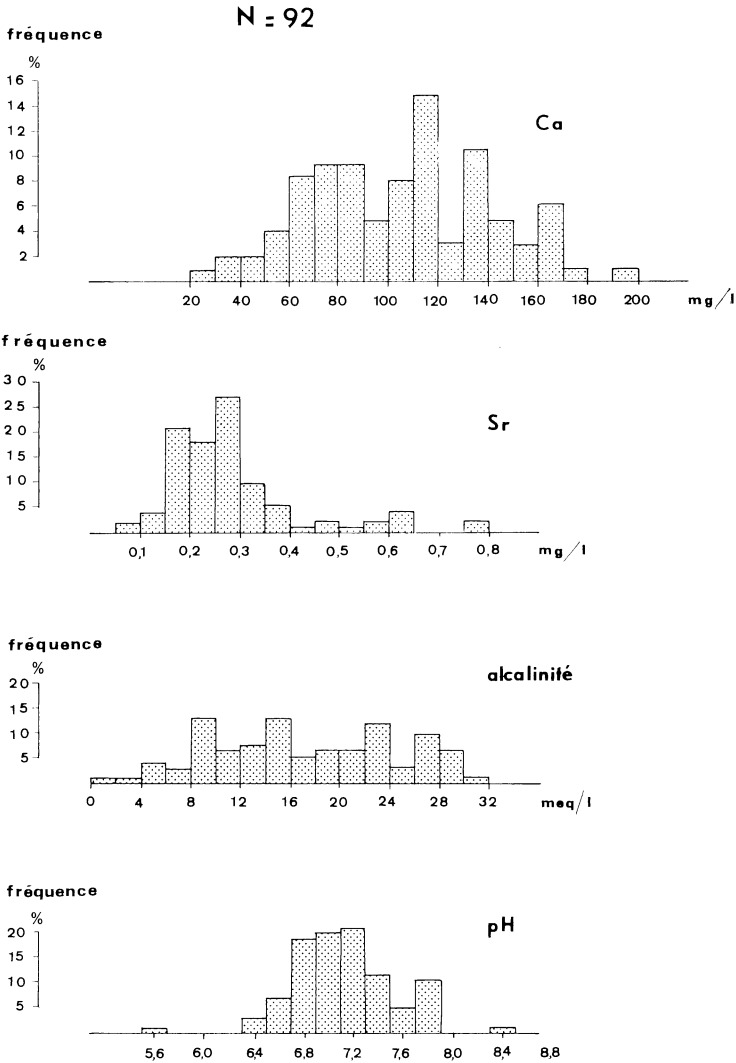


Fig. 3. — Sources du Bassin de la Dyle : histogrammes des distributions de fréquence.

mettent pas d'estimer le type de distribution de fréquences. Ces histogrammes ont cependant l'avantage de montrer la gamme de variation des valeurs pour chaque variable étudiée. Seul l'histogramme de fréquences des teneurs en nitrate indique une tendance vers une distribution lognormale avec un mode égal à environ 25 mg/l.

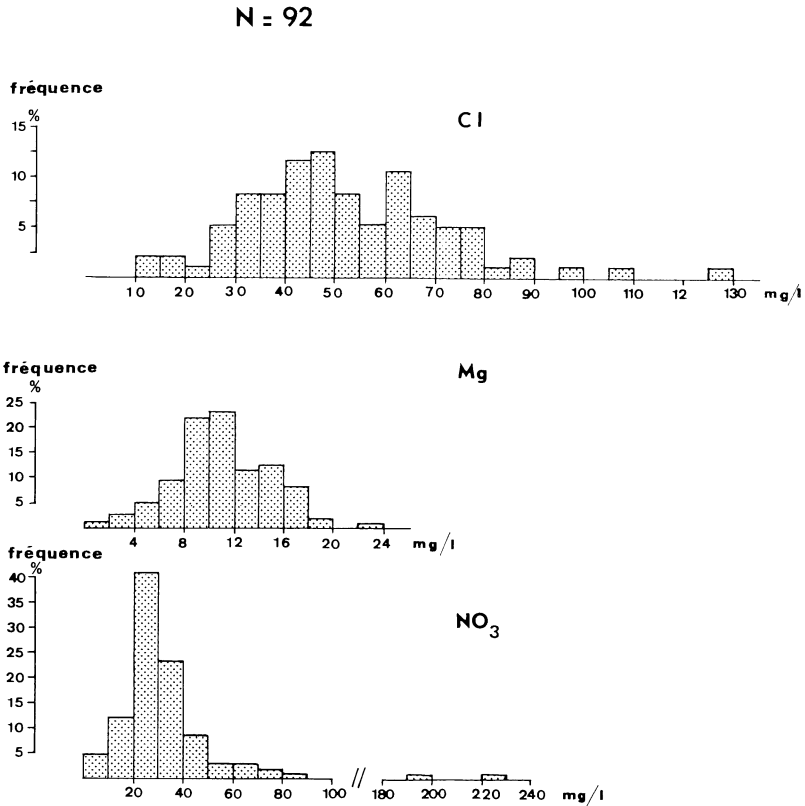


Fig. 4. — Sources du Bassin de la Dyle : histogrammes des distributions de fréquence.

La cartographie en « *trend surface* » a pour objectif essentiel de faire ressortir la tendance régionale d'une distribution en éliminant ou en atténuant les variations dues à des phénomènes localisés ou liés à l'expérimentation. Cette méthode est basée sur le calcul d'une fonction polynomiale à trois variables, à savoir les teneurs d'un élément (Z) et les deux coordonnées des points d'échantillonnage (X et Y) (KRUMBEIN, 1959).

L'équation du 1^{er} degré s'établit comme suit :

$$Z = a + bX + cY + \varepsilon$$

où a , b et c sont les coefficients de l'équation et ε un terme d'erreur qui est minimisé lors de la résolution de cette équation par la méthode des moindres carrés (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965). Ce polynôme est calculé généralement jusqu'au 6^e degré. Chaque degré détermine une surface de régression expliquant un certain pourcentage de la variation de la variable Z . Le pourcentage d'explication correspond au coef-

ficient de détermination, c'est-à-dire au rapport de la variation expliquée sur la variation totale, multiplié par cent.

Le tableau I reprend les pourcentages d'explication des surfaces du 6^e degré pour les six éléments cartographiés.

TABLEAU I

Ca	Mg	Sr	Cl	NO ₃	Alc
62,1	45,9	72	47,8	40,0	67,5

De ce tableau, on peut tirer les deux constatations suivantes :

- comparés à ceux de la littérature (KRUMBEIN & GRAYBILL, 1965; DAVIS, 1973), ces pourcentages sont relativement élevés. Ils peuvent toutefois varier fortement d'un élément à un autre (de 40 à 72 %);
- la tendance régionale semble très bien marquée pour trois variables (Sr, Alc et Ca). Par contre, des influences plus localisées (ou peut-être des problèmes analytiques comme, par exemple, pour le Mg) viennent compliquer l'allure de la distribution des trois autres éléments, provoquant de ce fait un moins bon ajustement entre la surface de tendance et les valeurs observées.

TABLEAU II

Matrice des coefficients de corrélation entre les variables

Mg	0,48	Mg				
Sr	0,80 (**)	—	Sr			
Cl	0,64 (*)	0,66 (*)	0,37	Cl		
NO ₃	—	0,46	—	0,55 (*)	NO ₃	
Alc	0,91 (**)	0,39	0,79 (**)	0,44	—	Alc
pH	0,57 (*)	—	0,63 (*)	—	—	0,66 (*)

$$r_0 = 0,26 \quad N = 92$$

- < 0,26 (—) : corrélation non significative
- de 0,26 à 0,52 : corrélation faible
- de 0,52 à 0,75 (*) : corrélation moyenne
- > 0,75 (**): corrélation forte

Remarque : la limite 0,26 équivaut au seuil de signification (r_0). Les deux autres limites 0,52 et 0,75 distinguent trois ensembles discontinus de coefficients de corrélation (faible, moyen et fort), mis en évidence en les classant par ordre croissant.

Le tableau II reprend les *coefficients de corrélation* simples calculés pour les sept variables prises deux à deux. Le schéma de la figure 5 résume les corrélations fortes et moyennes du tableau II. On y distingue trois groupes de variables. Le groupe I est centré sur le calcium auquel s'ajoutent l'alcalinité, le strontium et le pH. Le groupe II ne comprend que la variable « nitrate » et ne présente aucune

corrélation significative avec le groupe I. Le groupe III associe les chlorures et le magnésium, lesquels possèdent une liaison avec le groupe I et le groupe II.

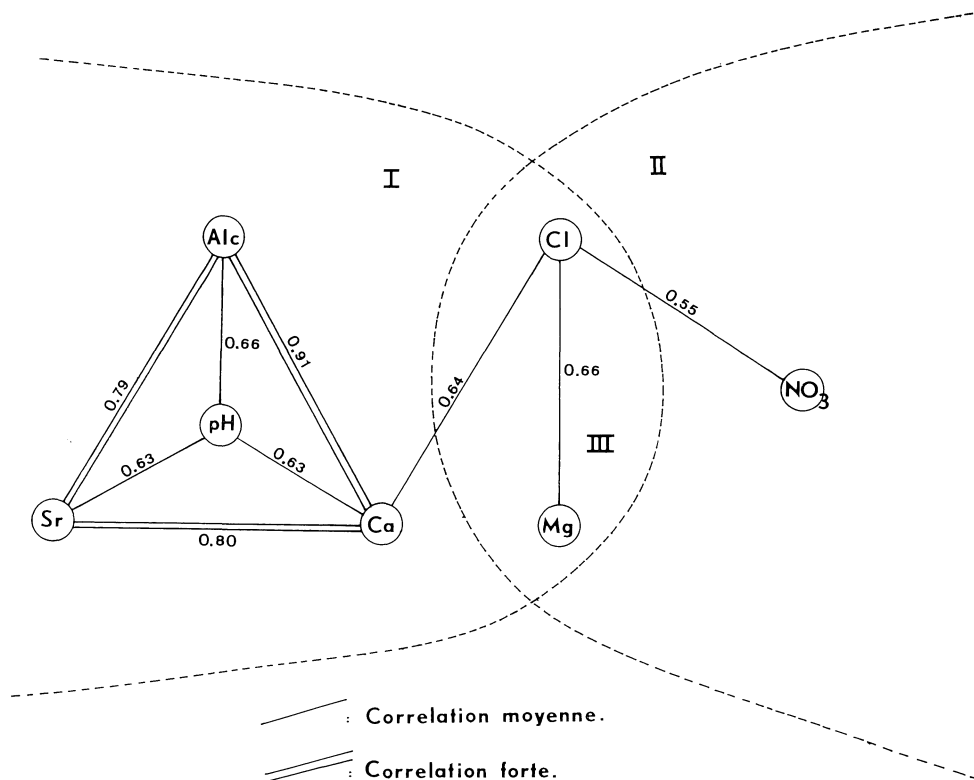


Fig. 5. — Sources du Bassin de la Dyle : schéma des corrélations fortes et moyennes entre variables.

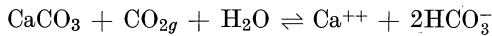
Les traitements statistiques ont été effectués sur l'ordinateur IBM 370 du Centre de Calcul de l'Université de Louvain. Le programme d'analyse des distributions de fréquences a été écrit par SONDAG (1975) tandis qu'une sous-routine IBM a été utilisée pour l'analyse de régression. Enfin, l'analyse des tendances a été réalisée au moyen du programme de MONT O'LEARY et al. (1966), modifié et complété par SONDAG (1975).

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Calcium et bicarbonate

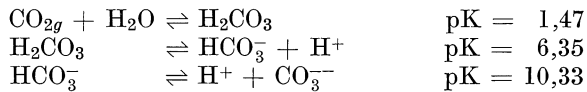
MARTIN et NAVARRE (1974) ont montré que les eaux de la nappe du bassin de la Dyle, aux environs de Louvain-la-Neuve, sont essentiellement du type bicarbonaté calcique. Cela suggère l'existence d'un aquifère comprenant l'élément calcaire. Rappelons que la nappe aquifère du bassin étudié est libre et qu'elle est alimentée par les eaux de précipitation qui percolent essentiellement à travers les sols, la couverture

limoneuse et le Bruxellien non saturé. L'eau de pluie chargée du CO_2 de l'atmosphère et du sol met en solution la calcite suivant la réaction :



Dans cette réaction, l'un des ions HCO_3^- provient du CO_{2g} et l'autre du CaCO_3 . Si le calcium provient uniquement de la calcite, l'altération chimique du CaCO_3 donnera deux fois plus d'ions HCO_3^- que d'ions Ca^{2+} . Ce rapport idéal pour le calcium et les bicarbonates est rarement atteint dans la nature. De toute façon, si c'est le mécanisme de dissolution de la calcite qui explique la prépondérance des ions calcium et bicarbonate dans les eaux étudiées, on doit observer dans ces eaux une forte corrélation entre les teneurs de ces deux éléments.

Or, la teneur en bicarbonate peut être obtenue par la mesure de l'alcalinité totale. En effet, à partir des constantes d'équilibre des réactions suivantes :



on peut calculer que, pour la gamme des pH observés (Fig. 3), il y a prédominance de l'ion HCO_3^- par rapport aux espèces H_2CO_3 et CO_3^{--} . Donc, l'alcalinité totale est une bonne estimation de la concentration en bicarbonates.

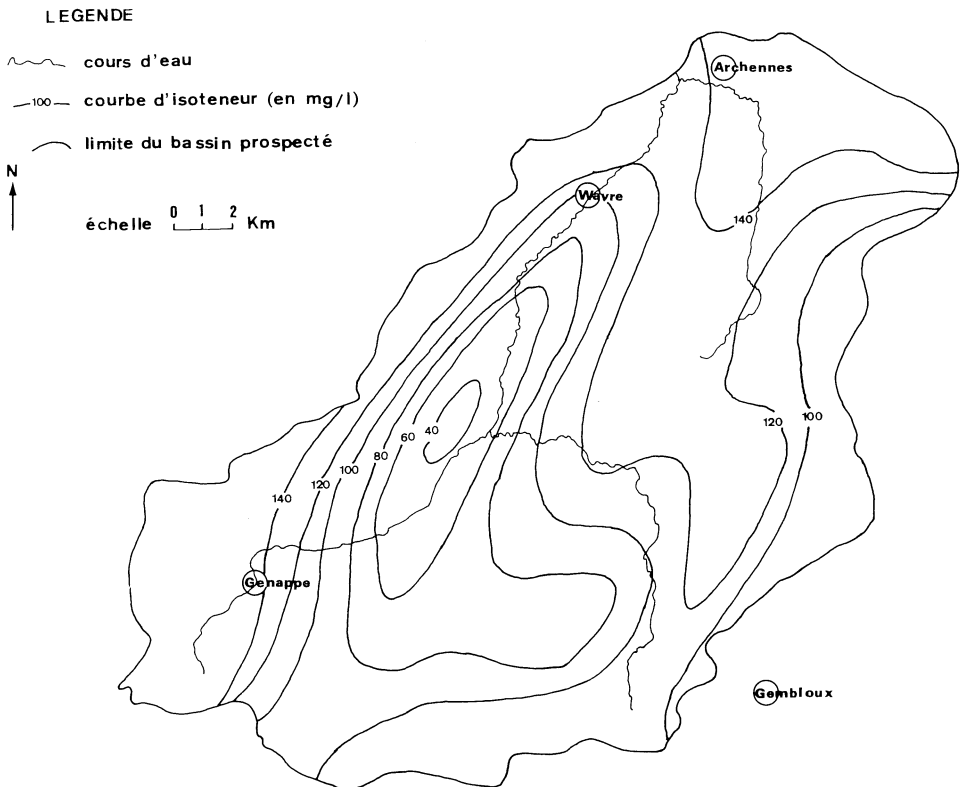


Fig. 6. — Sources du Bassin de la Dyle : analyse des tendances du Ca — Surface du 6^e degré.

La matrice des coefficients de corrélation (Tableau II) montre un coefficient de corrélation remarquablement élevé ($r = 0,91$) entre l'alcalinité et la teneur en calcium. C'est un argument majeur en faveur du mécanisme de dissolution de la calcite de l'aquifère pour expliquer la variation en calcium et en alcalinité dans les eaux de la nappe. On notera également la bonne correspondance entre les distributions en « trend surface » du calcium et de l'alcalinité (Fig. 6 et 7).

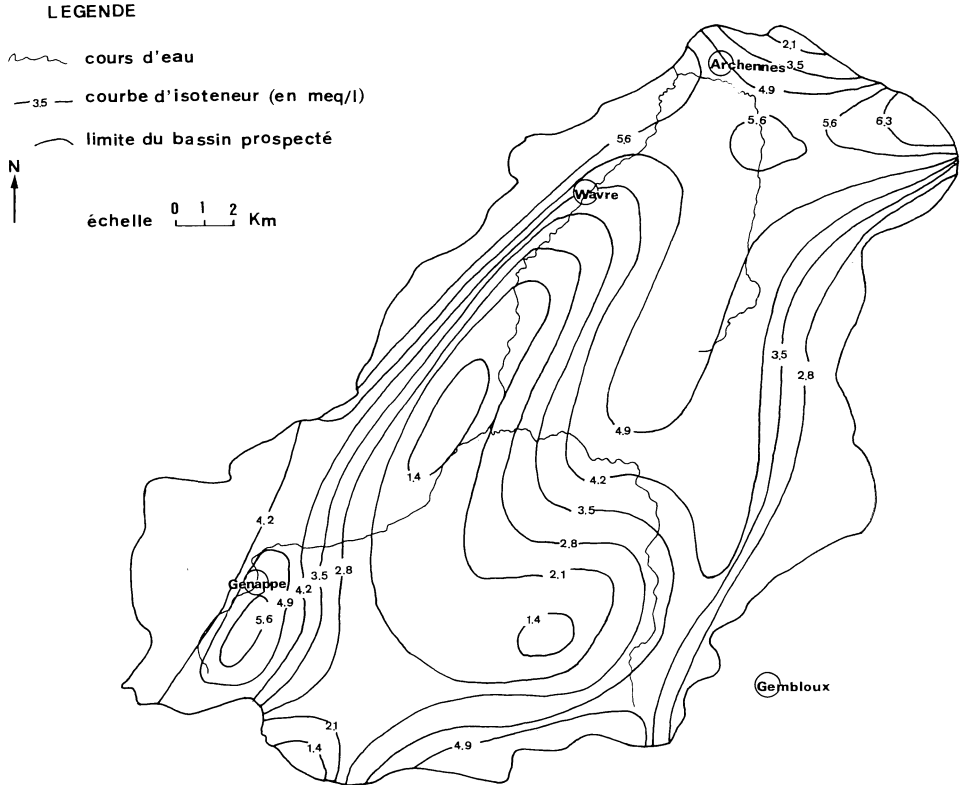


Fig. 7. — Sources du Bassin de la Dyle :
 analyse des tendances de l'alcalinité — Surface du 6^e degré.

Rappelons que la nappe aquifère du bassin de la Dyle en amont d'Archennes est contenue principalement dans les sables bruxelliens et accessoirement dans le Landénien et le Crétacé. La partie supérieure du socle paléozoïque, fortement altéré, peut également constituer un aquifère.

La comparaison de la variation régionale des teneurs en calcium (Fig. 6) et de l'alcalinité (Fig. 7) avec la localisation des sources par rapport aux formations géologiques (Fig. 1) permet une première interprétation quant à l'origine du calcium et du bicarbonate dans la nappe. Les eaux dont la résurgence a lieu dans la formation tertiaire ont des teneurs en calcium variant d'environ 80 à 140 mg/l et un taux d'alcalinité de 2,8 à plus de 5 meq/l. La mise en solution de la partie carbonatée (GULINCK et MARUN, 1971) des sables bruxelliens serait à l'origine de ces fortes concentrations en calcium et en bicarbonate de la nappe liée au tertiaire.

Une diminution des teneurs en calcium et du taux d'alcalinité, localisée grosso-modo aux bassins de la Thyle et de la Dyle, entre Genappe et Wavre, serait la conséquence du contact des eaux de la nappe avec le Paléozoïque quartzophylladeux (Fig. 1). Les plus fortes concentrations en calcium et en bicarbonate observées sur le versant gauche de la Dyle seraient attribuées à la présence d'un faciès bruxellien plus carbonaté (GULINCK et MARUN, 1971).

Les hautes valeurs en calcium et en alcalinité remarquées au nord-ouest du bassin pourraient s'expliquer par la présence de lambeaux crétaciques à cet endroit (GULINCK et MARUN, 1971 ainsi que GULINCK et LOY, 1971).

Nitrates

La distribution des teneurs en nitrates (Fig. 8) a une allure tout à fait différente de celles des variables calcium et alcalinité (Fig. 6 et 7). Il faut souligner, de plus, qu'aucune corrélation significative ne lie les nitrates avec le calcium et l'alcalinité (Tableau II) dont les répartitions peuvent s'expliquer par la géochimie de l'aquifère.

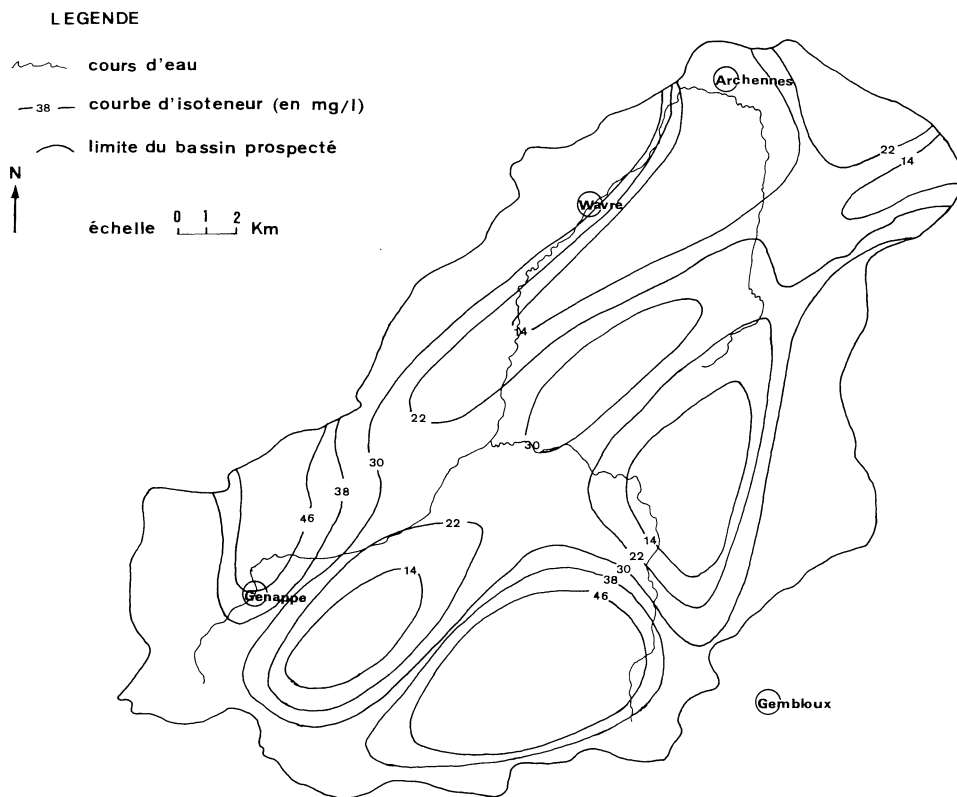


Fig. 8. — Sources du Bassin de la Dyle :
 analyse des tendances du NO_3 — Surface du 6^e degré.

La présence de nitrates dans les eaux de la nappe doit donc s'expliquer autrement. Elle pourrait résulter de l'utilisation généralisée d'engrais azotés dans une

région à caractère essentiellement agricole. Les premiers résultats hydrochimiques (MARTIN et NAVARRE, 1974) d'eaux de source, mais aussi d'eaux de puits de forage et de ferme, avaient déjà mis en évidence des teneurs régionales et locales relativement élevées pour lesquelles une origine anthropique semblait la plus plausible.

Strontium et magnésium

Le *strontium* présente une forte corrélation avec le calcium ($r = 0,80$) et avec l'alcalinité ($r = 0,79$) (Tableau II); par contre, il est tout à fait invariant vis-à-vis des nitrates. La calcite étant le vecteur principal de strontium, les teneurs en cet élément dans les eaux de source peuvent également s'interpréter comme étant la conséquence de la mise en solution de la partie carbonatée de l'aquifère. La figure 9 montre également une bonne concordance entre la distribution du strontium et celles du calcium et de l'alcalinité (Fig. 5 et 6).

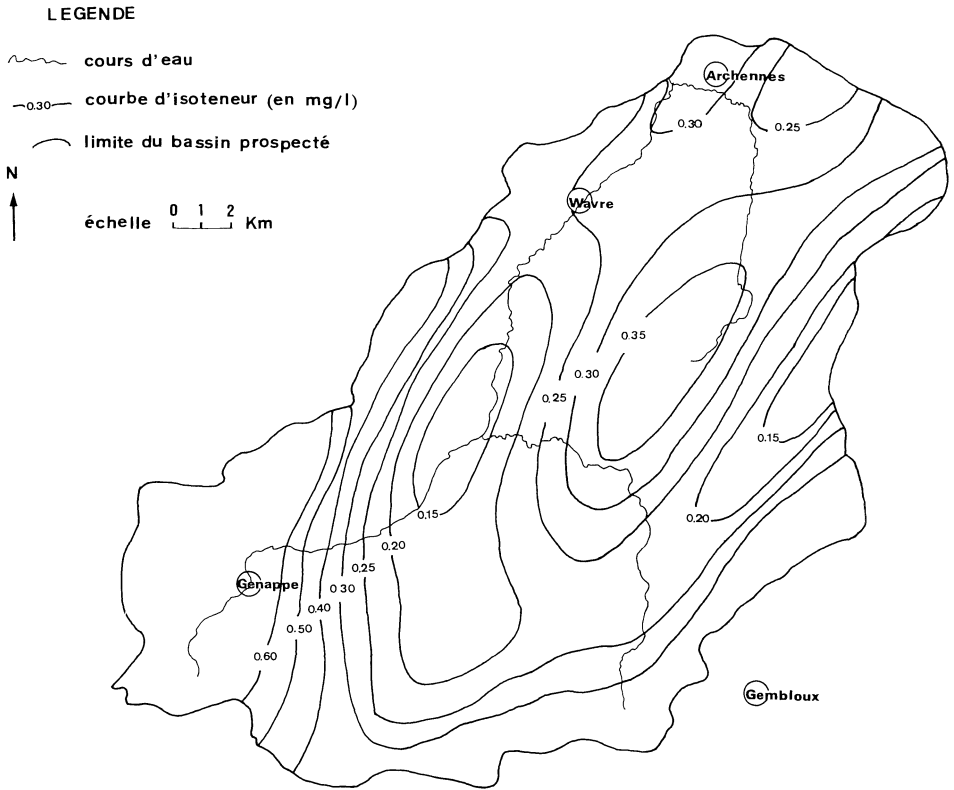


Fig. 9. — Sources du Bassin de la Dyle : analyse des tendances du Sr — Surface du 6^e degré.

Le *magnésium* semble être associé d'égale manière avec le calcium ($r = 0,48$) et les nitrates ($r = 0,46$). Aussi, sa répartition géographique (Fig. 10) pourrait résulter à la fois de la géochimie de l'aquifère et de la contamination par les engrais.

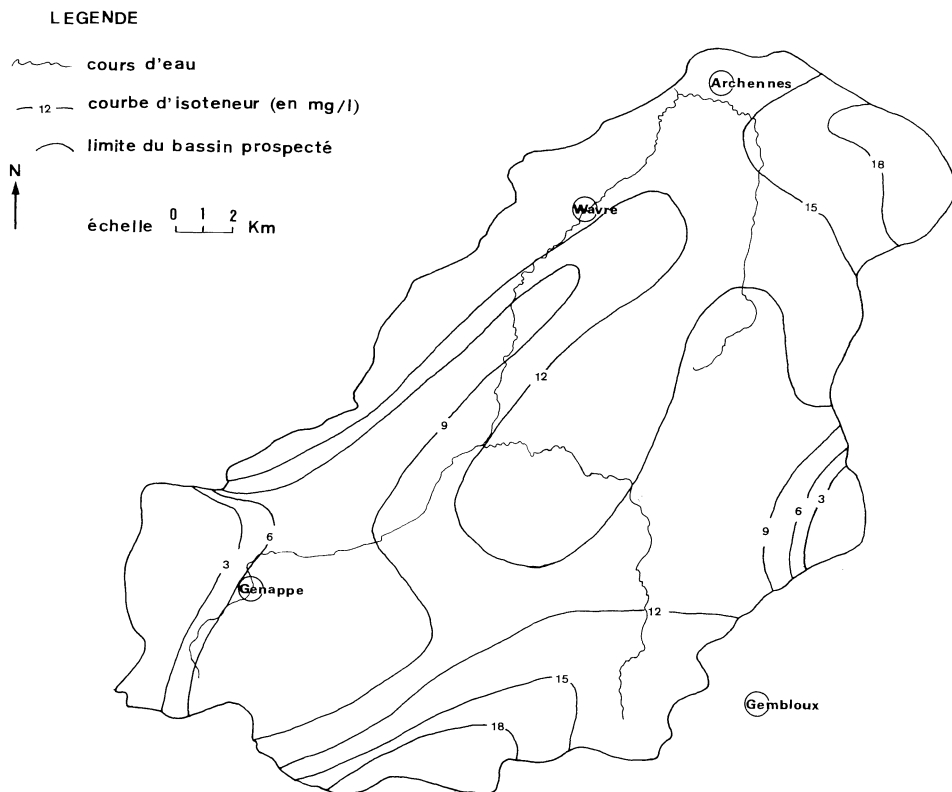


Fig. 10. — Sources du Bassin de la Dyle :
analyse des tendances du Mg — Surface du 6^e degré.

Chlorures

Comme pour le magnésium, les chlorures possèdent une bonne corrélation avec le calcium ($r = 0,64$), représentatif de la géologie de l'aquifère, ainsi qu'avec les nitrates ($r = 0,55$), indicateurs d'une pollution agricole. Cependant, la relation avec le calcium est nettement mieux marquée. De plus, la similitude entre la surface des tendances des chlorures (Fig. 11) et celle du calcium (Fig. 6), confirme que la distribution régionale des chlorures peut s'expliquer essentiellement par la géochimie du bassin étudié.

Selon GARRELS & MACKENZIE (1971), la présence de chlorures dans les roches sédimentaires a pour origine des reliquats d'eau salée, piégée dans les sédiments lors de leur compaction et de leur lithification. Suivant les mêmes auteurs, toutes les roches sédimentaires contiennent, à l'origine, des teneurs assez uniformes en chlorures, en moyenne 105 ppm. Toutefois, lors du lessivage, les roches pélitiques, plus facilement altérables, perdent plus rapidement leurs chlorures que les roches carbonatées. Or le socle, fortement altéré (GULINCK et MARUN, 1971), est constitué essentiellement de matériel quartzo-phylliteux à l'exclusion de tout élément calcaire. Les chlorures y ont donc été plus lessivés que dans les aquifères calcaires du Bruxellien et du Crétacé.

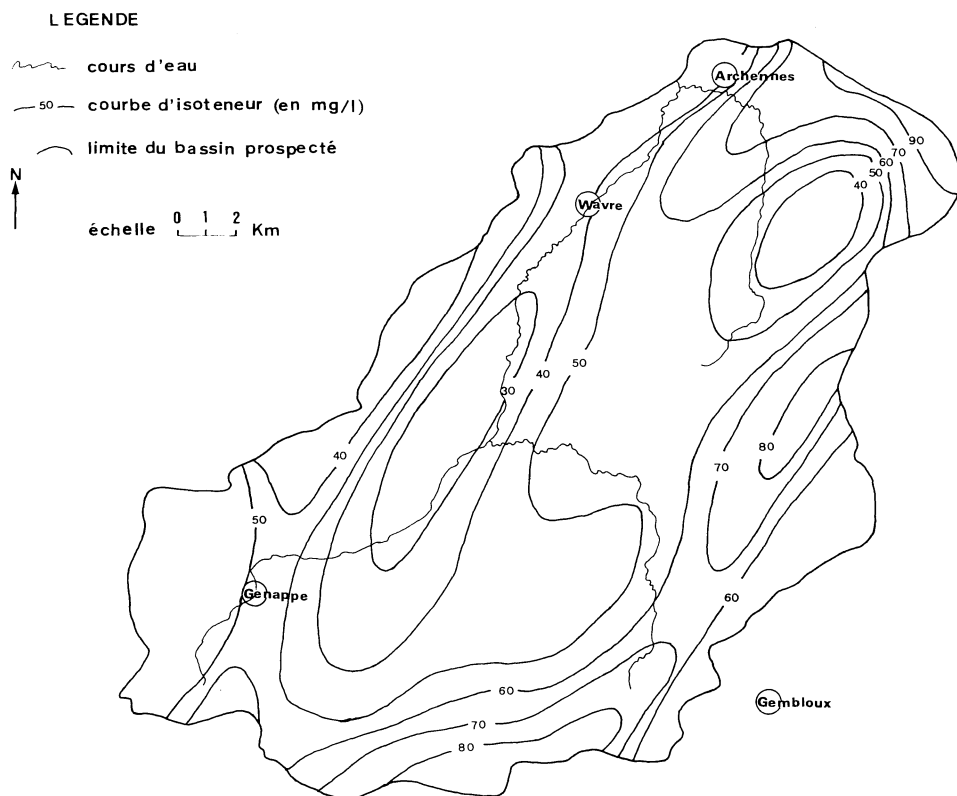


Fig. 11. — Sources du Bassin de la Dyle :
analyse des tendances du Cl — Surface du 6^e degré.

CONCLUSIONS

Les méthodes utilisées ont permis d'analyser et d'interpréter des données hydrochimiques de 92 sources du bassin de la Dyle en amont d'Archennes.

L'étude présente a confirmé que la nature des eaux de source, à savoir leur caractère bicarbonaté calcique, pourrait être expliquée par la géochimie de l'aquifère. Le groupe I de la figure 5 comprend les covariables géochimiques, lesquelles sont, en plus du *calcium* et de l'*alcalinité*, le *strontium* et le *pH*. Ces variables sont fonction de la dissolution de la calcite présente dans l'aquifère. Comme les cartes en « trend surface » l'ont montré, on observe des valeurs croissantes de ces variables en fonction du caractère plus carbonaté du « bedrock », c'est-à-dire du Paléozoïque au Crétacé en passant par le Bruxellien plus ou moins calcaire.

La teneur en *nitrates* qui, à elle seule constitue le groupe II (Fig. 5), ne peut être expliquée par la géologie de l'aquifère. Elle serait liée probablement à l'activité agricole de la région étudiée. La carte des nitrates (Fig. 8) montre, à quelques exceptions près, une distribution homogène déjà mise en évidence par l'histogramme des fréquences (Fig. 4). La répartition géographique des teneurs en *magnésium* (Fig. 10) est nettement différente de celle des variables géochimiques. L'effet géolo-

gique est sans doute masqué par une contamination de la nappe en magnésium, ce que met en évidence une bonne corrélation de cet élément avec les nitrates.

Enfin, les *chlorures*, s'ils sont également associés aux nitrates, ont une liaison plus forte avec le calcium (Fig. 5). La carte en « trend surface » des chlorures (Fig. 11) montre d'ailleurs une bonne similitude avec celles du calcium et de l'alcalinité. Cela a été interprété en terme de lessivage préférentiel dans le socle phylliteux par rapport au Bruxellien et au Crétacé plus carbonatés.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Commission Hydrogéologique de l'Université de Louvain pour son appui à cette recherche.

RÉFÉRENCES

- BROWN, E., SKOUGSTAD, M. W., and FISHMAN, M. J., 1970. — Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. U. S. Geol. Surv. Techniques Water-Resources Inv. 5, Chap. A1, 160 p.
- DAVIS, J. C., 1973. — Statistics and data analysis in geology. John Wiley, New York, 550 p.
- GARRELS, R. M. & MACKENZIE, F. T., 1971. — Evolution of Sedimentary Rocks. W. W. Norton & Company Inc., New York, 397 p.
- GULINCK, M. et LOY, W., 1971. — Hydrogéologie du Crétacé du bassin de la Dyle (Brabant). *Bull. Soc. belge Géol., Paléont., Hydrol.*, t. 80, fasc. 1-2, 77-83.
- GULINCK, M. et MARUN, V., 1971. — Reconnaissance hydrogéologique du Bruxellien du bassin de la Dyle en amont de Wavre. Prof. Paper, Serv. Géol. de Belgique, 6, 18 p.
- KRUMBEIN, W. C., 1959. — Trend surfaces analysis of contour type maps with irregular control point spacing. *J. Geophys. Res.*, 64, 823-834.
- KRUMBEIN, W. C. & GRAYBILL, F. A., 1965. — An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill, New York, 475 p.
- LEGRAND, R., 1968. — Le Massif du Brabant. Mém. Serv. Géol. de Belgique, n° 9.
- LEGRAND, R., 1973. — Le Mésodévonien à Sart-Dames-Avelines. Prof. Paper, Serv. Géol. de Belgique, 14, 16 p.
- MARTIN, H. et NAVARRE, A., 1974. — Chimie des eaux de la nappe du Bruxellien en relation avec les activités agricoles. *Bull. Rech. Agr. de Gembloux*, n° hors série, 193-200.
- MONT O'LEARY, R., LIPPERT, R. & SPITZ, O., 1966. — Fortran IV and map program for computation and plotting of trend surfaces for degrees 1 through 6. Univ. Kansas Geol. Surv. Comp. Contr., 3, 48 p.
- SONDAG, F., 1975. — Géochimie de surface du Salmien et du Dévonien inférieur dans les Ardennes belges. Contribution à l'étude de leur minéralisation. Thèse de doctorat, Fac. des Sciences, Université de Louvain (inédit.).

