

N. DESPREZ - Cl. MEGNIEN

-o-o-o-o-o-o-o-

HYDROGEOLOGIE DE LA BEAUCE



HYDROGEOLOGIE
DE LA BEAUCE

N. DESPREZ *
Cl. MEGNIEN *

- S O M M A I R E -

Résumé

1. - Composition géologique du réservoir

2. - Structure tectonique

3. - Caractères de la nappe

4. - Productivité de l'aquifère

5. - Variations piézométriques

6. - Hydrochimie de la nappe

7. - Exutoires et bilan

* B.R.G.M. - Service géologique national - Service géologique régional Bassin de Paris.

- R E S U M E -

L'aquifère principal est constitué par la nappe dite des "Calcaires de Beauce" qui est très étendue mais complexe par les différents réservoirs aquifères qui la contiennent. Le réseau hydrographique est peu développé et les phénomènes karstiques sont nombreux. La nappe est libre sur la plus grande partie de son extension, sauf dans le Gâtinais et sous les Sables burdigaliens de la Forêt d'Orléans, où elle est captive. Le gradient de la nappe étant très faible et la percolation des eaux météoriques assez lente, les crête piézométriques sont instables et on peut noter d'importantes variations des limites entre bassins et sous-bassins hydrogéologiques. La forte perméabilité des calcaires permet des débits spécifiques importants des forages, et ceci constitue la richesse souterraine de la Beauce. Le module total de l'écoulement souterrain est de l'ordre de $20 \text{ m}^3/\text{seconde}$, alors que les prélèvements actuels sont inférieurs à $2 \text{ m}^3/\text{seconde}$. Les eaux sont en général de bonne qualité, mais la nappe est très vulnérable aux pollutions d'origine chimiques et certaines régions ont notamment une minéralisation excessive en nitrates.

LA
↓
HYDROGEOLOGIE DES CALCAIRES DE BEAUCE

[donc la morphologie topographique]

La Beauce est une région naturelle ~~qui~~ correspond sensiblement à la surface d'érosion mio-pliocène. C'est une surface tabulaire de 8 à 9.000 km² située entre les bassins de la Seine et ~~celui~~ de la Loire à une altitude variant entre 120 et 150 m. Cette région ~~est~~ ^{sèche} constitue une unité morphologique qui correspond à un bassin de sédimentation tertiaire où les formations sont principalement constituées de calcaires lacustres. C'est une surface très plate avec de larges vallons secs qui s'étend au Nord de la Loire depuis Orléans jusqu'à Etampes. Sa limite occidentale approche Chartres, Châteaudun, Vendôme et Blois tandis que sa limite orientale est constituée par Gien et la vallée du Loing : Montargis, Nemours. C'est une région de grande culture céréalière où l'habitat est dispersé ; les agglomérations importantes sont : Selommes, Patay, Orgères, Voves, Toury, Neuville-aux-Bois, Pithiviers, Malesherbes, Bellegarde et Château-Landon.

une ligne sans par

~~ovata~~
1 - COMPOSITION DU RESERVOIR GEOLOGIQUE

L'entablement du plateau de Beauce est formé par une masse ^(puissance) assez ~~considérable~~ de Calcaires lacustres qui constituent l'essentiel du réservoir et qui peuvent atteindre 190 m de puissance sous Pithiviers.

En fait, ce réservoir est hétérogène. L'ensemble est certes à dominante calcaire, mais il existe de nombreuses intercalations marneuses ou même sableuses.

La craie ^{ou} qui affleure à l'Est et à l'Ouest de la Beauce ^{se prolonge} sous cette dernière ~~et~~ elle a été recoupée par les forages profonds, notamment ^{au sein} des explorations pétrolières. C'est donc en fait presque tout le tertiaire qui est à dominante calcaire.

Nous rappellerons ci-dessous, ^{rapidement succinctement} d'une façon très ~~résumée~~, la constitution du substratum, celle du réservoir ^{hydrogéologique} ^{aquifère} et la nature des formations de couverture.

1. - Constitution du substratum

Les Calcaires lacustres de la Beauce reposent parfois directement sur le Crétacé sans intercalation détritiques (figure 1). Il est cependant très difficile de limiter géographiquement ces zones en l'absence d'un nombre suffisant de forages récents échantillonnés. En effet sur les anciennes coupes de forages, décrites par les sondeurs il y a pu avoir confusion entre la craie du Crétacé

C

SUBSTRATUM DES CALCAIRES LACUSTRES

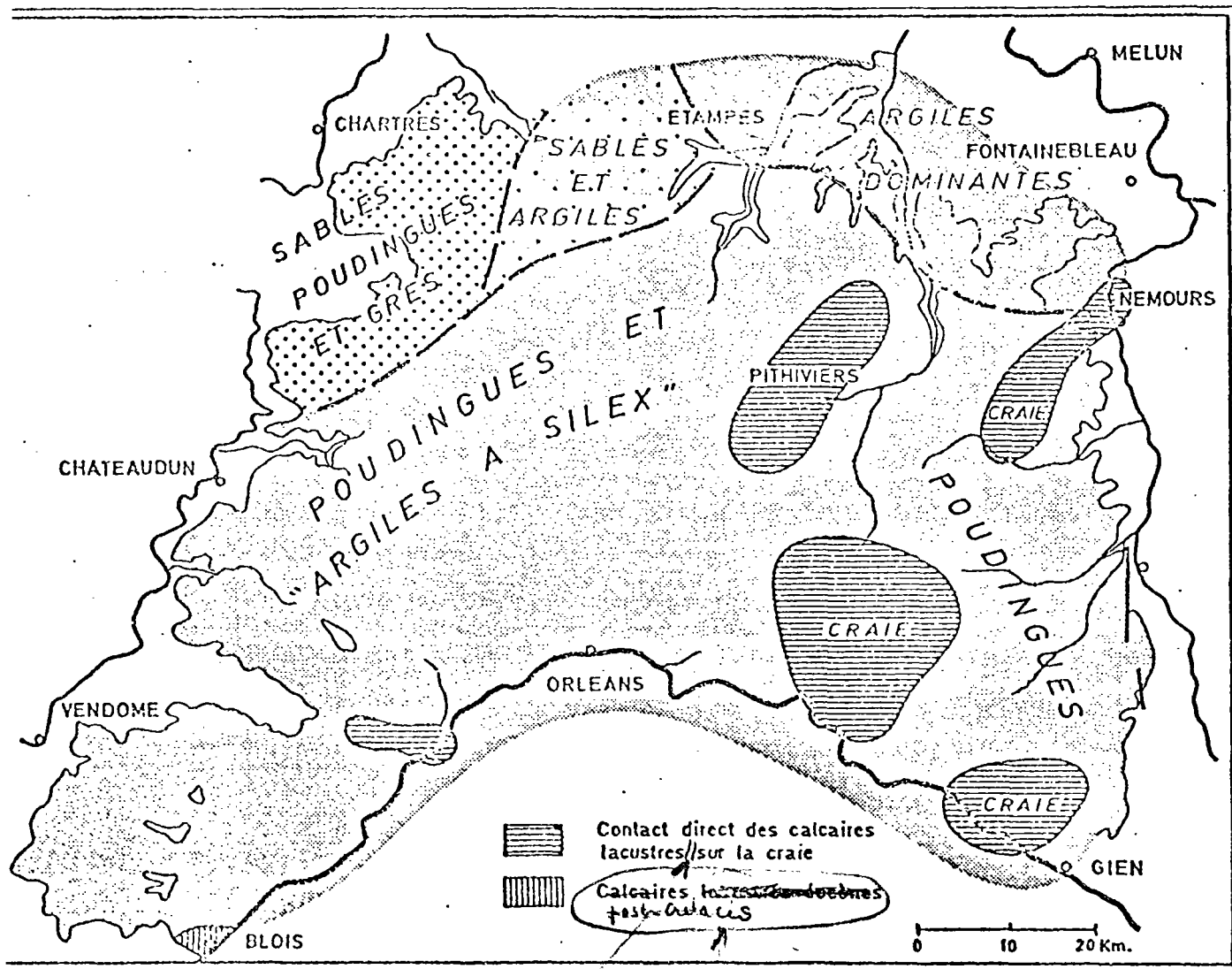


Fig. 1 - Substratum des Calcaires lacustres.

tertiaires

Contact par l'intermédiaire de calcaires "post-craie"

supérieur et certains faciès blanchâtres pulvérulents de la base de la série lacustre. Actuellement, les zones où le contact direct avec la craie est connu se répartissent au Nord de Gien et de Châteauneuf-sur-Loire, au Sud-Ouest de Nemours et de Malesherbes et au Nord-Ouest de Beaugency. Notons que dans cette dernière zone, qui prolonge l'anticlinal de Marchenoir, un forage récent, situé à Cravant, a montré que le Crétacé situé directement sous les faciès lacustres était localement représenté par des sables fins à Bryozoaires d'âge Sénomien.

En fait, le substratum de la série lacustre est le plus souvent constitué par des formations détritiques ou résiduelles, facilement repérables en sondage, mais très variables dans leurs faciès et leurs épaisseurs. Il s'agit généralement de marnes compactes et de sables à nodules de silex pouvant passer à de véritables poudingues siliceux surmontant des argiles résiduelles à silex non roulés. Au Nord de la Beauce, les faciès sont plus sableux, riches en argiles bariolées et peuvent atteindre 30 m d'épaisseur. Dans la vallée du Loing, les faciès sont très détritiques et grossiers avec les poudingues siliceux de Nemours et de Gien. L'attribution stratigraphique de ces formations est peu sûre, donc très discutée; en général, elles sont rattachées au Sparnacien excepté en bordure de la vallée du Loing où elles représenteraient une succession d'épisodes détritiques depuis du Sparnacien et jusqu'au Bartonien (1).

Cintériacien

Blois

Notons également la présence possible, très localisée, d'un épisode post-crétacé dessalé à Blois. En effet un forage récent (2) réalisé dans cette localité a montré, entre la craie durcie et les calcaires lacustres, de calcaire spathique fin à *Microcodium*, *Discorbis* et Characées. *m quelques mètres*

Microcodium

Une colonne stratigraphique en tablier pour les unités

2. - Composition du réservoir hydrogéologique (voir schéma des figures 2 et 3).

— La série est composée, de bas en haut, des niveaux suivants :

Calcaire de Morancez : Le Lutétien lacustre est connu avec certitude en affleurements à l'Ouest de la Beauce entre Chartres et Ozouer-le-Marché. C'est un calcaire dur, très fin à cassure esquilleuse jaunâtre reposant sur des marnes blanches farineuses à débris de silex parfois rosés. Cette formation, d'une dizaine de mètres de puissance est difficile à suivre en sondages sous la Beauce. A l'Est de la Beauce elle est connue, toujours sous faciès lacustre, en quelques points seulement de la basse vallée du Loing (calcaire de Nonville et de Darvault), est peu épais (4 à 5 m) et son apparition est sporadique. Le rattachement stratigraphique de ces calcaires au Lutétien est basé sur l'identification de la faune lacustre notamment par la présence de Planorbis pseudoammonius. *elle*

Calcaires de Champigny : Le Bartonien-Ludien est représenté par les Calcaires de Champigny dans les bassins Orge-Juine-Essonne. Ce sont toujours des calcaires lacustres, vacuolaires, siliceux, très fissurés pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de puissance.

(1) G. DENIZOT, 1927

(2) Forage du Laboratoire régional de l'Équipement, étudié par C. MONCIARDINI.

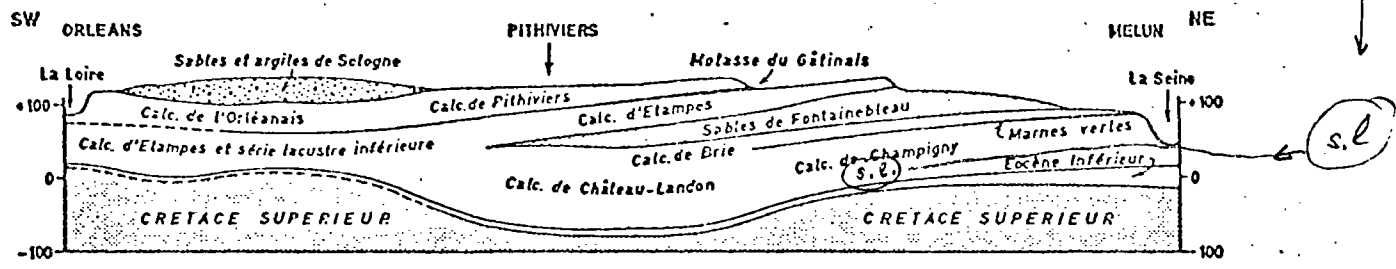


Fig. 2 - Coupe schématique ORLEANS-MELUN.

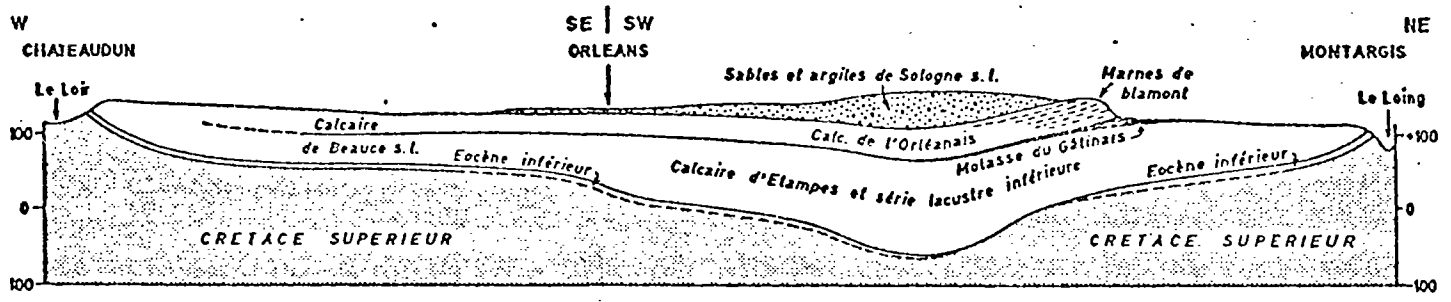


Fig. 3 - Coupe schématique CHATEAUDUN-ORLEANS-MONTARGIS.

Calcaires lacustres de Château-Landon : Ces calcaires, très voisins par leur composition de ceux de Champigny, ont une extension verticale plus grande car ils englobent également le Sannoisien.

Biseau des Marnes vertes : Les Marnes vertes et supragypseuses du Sannoisien, bien connues et développées au Nord de la Beauce viennent s'intercaler dans la série lacustre ~~en diminuant d'épaisseur~~ ^{avec une diminution progressive d'épaisseur} et ne dépassent pas vers le Sud une ligne approximative Méréville - Dimancheville, Nemours (voir carte, figure 4). ^{Elles Ludien et du j}

Calcaire de Brie : Les calcaires lacustres de Brie sont bien individualisés lorsqu'ils reposent sur les Marnes vertes, au Sud ils passent latéralement aux Calcaires de Château-Landon.

Biseau des Sables de Fontainebleau : Les Sables stampiens font une incursion en biseau dans les formations lacustres. Ces sables fins qui atteignent 70 m de puissance à Etampes se réduisent progressivement vers le Sud. Leur limite cependant a dépassé celle des Marnes vertes. Ils atteignent Sours, Ruan et Treille. Deux lambeaux isolés ont ~~cependant~~ été signalés en bordure de Loire à Chaingy et Darvoy (1) (faciès grésocalcaire). Ils sont transgressifs sur la craie dans les bassins de la Voise et de l'Orge. ^(Stampien) ^{extension}

Calcaires d'Etampes : D'âge stampien, ils surmontent directement les Sables de Fontainebleau lorsqu'ils existent. Ils sont également dénommés : Calcaires de Beauce inférieurs ou Calcaires du Gâtinais. Ce sont des calcaires lacustres compacts mais bien stratifiés avec passages graveleux et meulière rubanées. La base contient des matières organiques et parfois des lignites. Leur épaisseur moyenne est d'une trentaine de mètres. Ils s'amenuisent vers l'Ouest à une dizaine de mètres (Bassin de la Conie). Les Calcaires d'Etampes représentent l'aquifère par excellence de la nappe de Beauce.

Molasse du Gâtinais : Elle ^{est} constitue le premier niveau de l'Aquitainien, elle est identique aux Marnes de Voise et aux Argiles de La Neuville. C'est une marne sableuse et grumeleuse semi-perméable passant dans la moitié sud de la Beauce à une argile verdâtre. L'épaisseur moyenne de ce niveau est assez faible (2 à 7 m) mais dans le Gâtinais, régions de Beaune-la-Rolande, Bellegarde et Lorris, elle peut atteindre 15 à 20 m de puissance. Par contre la molasse ^{est} est absente au Nord de la Beauce dans une zone qui correspond sensiblement au bassin de la Juine (voir figure 5), ~~et elle ne~~ ^{et elle ne} pénètre que très peu en Petite Beauce. L'examen des coupes de forages, dans l'état actuel de la documentation permet par corrélations, de suivre l'extension latérale des faciès marneux ou argileux vers le Sud-Ouest jusqu'à une ligne passant par Bazoches-en-Dunois et Ozoir-le-Breuil puis contournant les anticlinaux d'Ouzouer-le-Marché et de Marchenoir par Villerrmain et Cravant pour rejoindre la Loire vers Blois. La molasse existe sous la Sologne, où elle reprend de la puissance. Dans le bassin du Vernisson ^{il existe des} affleurements des sables quartzeux à silex dont ~~le~~ ^{le} rattachement stratigraphique au niveau de la Molasse du Gâtinais est controversé.

Le rattachement stratigraphique

(1) LECOINTRE G., MARIE P., SOYER R., 1950

LIMITES ET EXTENSION DES FACIES

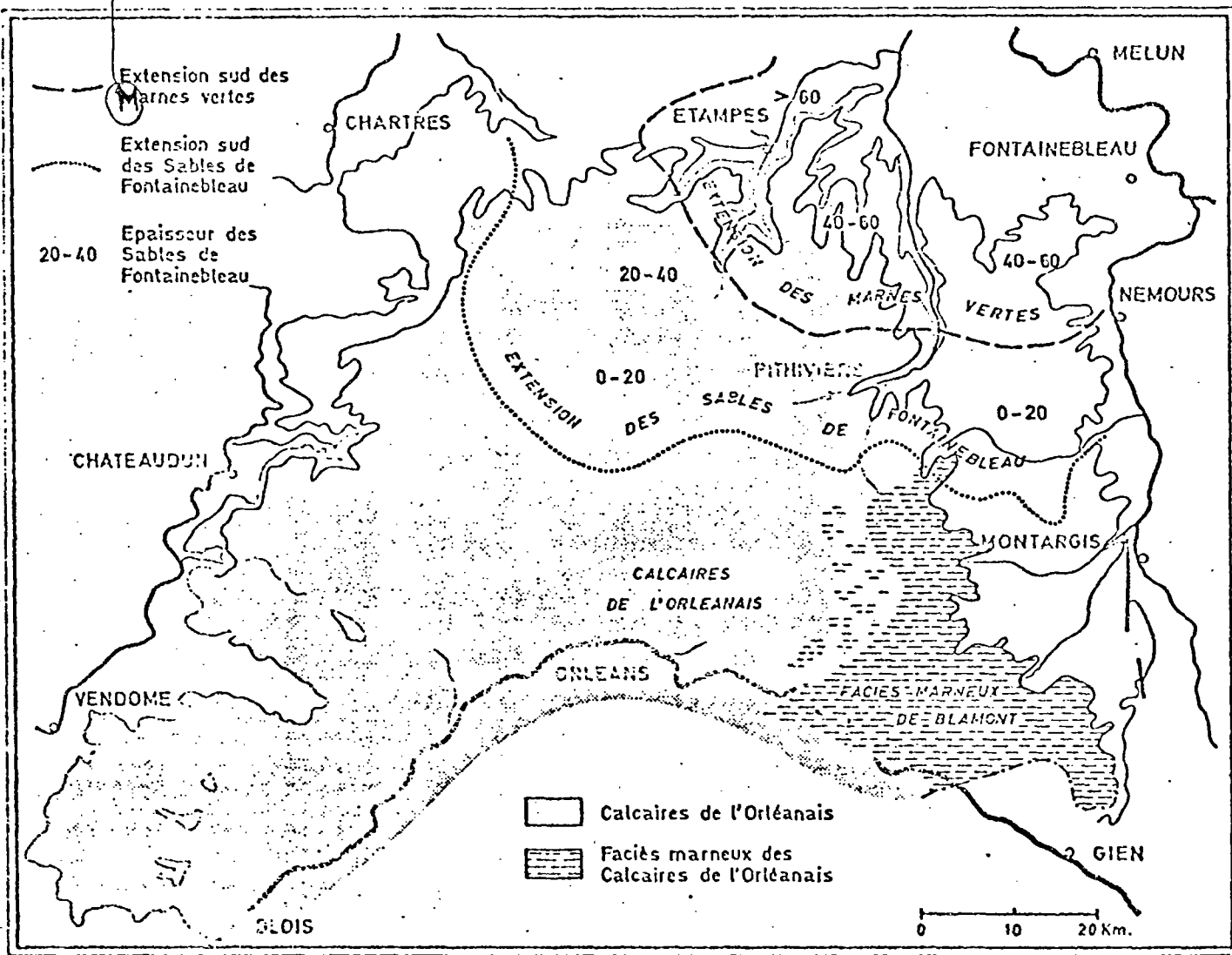


Fig. 4 - Limites et extensions des faciès principaux.

MOLASSE DU GATINAIS

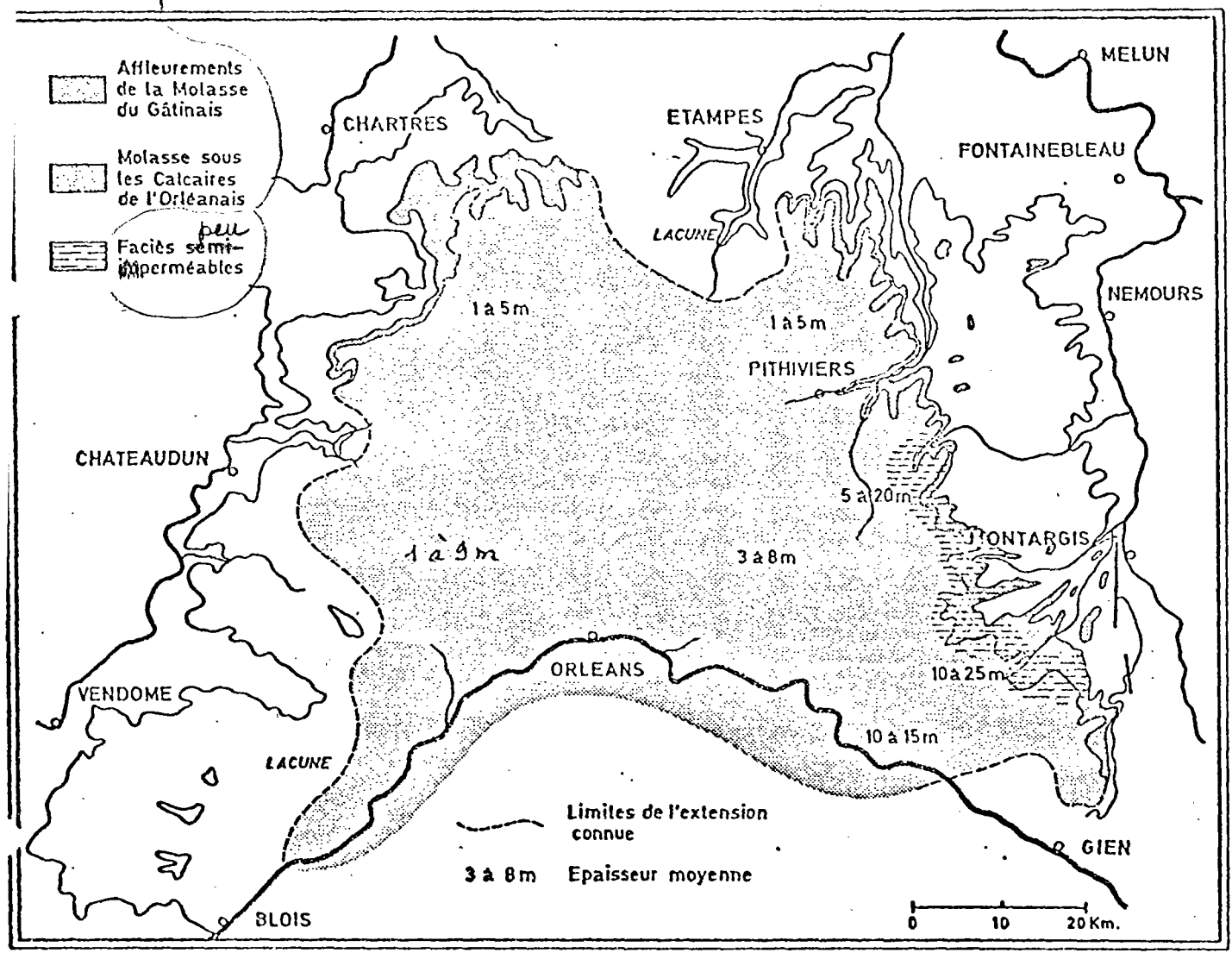


Fig. 5 - Puissance et extension de la Molasse du Gâtinais.

Calcaires de l'Orléanais : ~~ils sont~~ ^{ils} D'âge Aquitanien ~~et~~ sont représentés par des faciès assez variés de calcaires lacustres blanchâtres ou jaunâtres à passées graveleuses ou bréchiformes avec lits siliceux. Les calcaires titrent 80 à 97 % de Co_3Ca . Des marnes peuvent s'intercaler entre les bancs calcaires et atteindre quelques mètres d'épaisseur. Au Nord d'Orléans, le sommet de la formation est composé de marnes calcareuses et grumeleuses. A l'Est de Châteauneuf-sur-Loire et dans le haut bassin du Fusain, des marnes s'intercalent également vers le haut de la série, et peuvent envahir toute la formation (Marnes de Blamont). Les Calcaires de l'Orléanais sont aussi appelés Calcaires de Pithiviers ou Calcaires de Beauce supérieurs par opposition aux Calcaires de Beauce qui sont inférieurs à la Molasse du Gâtinais.

Formations de couverture : La surface du plateau beauceron comporte une série de formations détritiques disposées en buttes ou conservées à la faveur d'ondulations ou de ravinements. Ce sont :

- les Sables de l'Orléanais et du Blésois :
Le Calcaire de l'Orléanais est raviné, parfois sur plus d'une dizaine de mètres par des sables blanchâtres, jaunâtres et argileux avec lentilles d'argile verte ou grise. Les ossements de Mammifères permettent d'attribuer ces sables au Burdigalien (Chevilly, Artenay, Chilleur-aux-Bois),
- les Marnes de l'Orléanais : Argiles vertes à petites concrétions de calcaire blanc pulvérulent. Cette formation de quelques mètres d'épaisseur est peu perméable et assez irrégulière, et elle peut reposer directement sur le Calcaire de l'Orléanais. Au sommet s'intercalent localement quelques mètres de calcaire gréseux (Calcaire de Montabuzard, à l'Ouest d'Orléans),
- les Sables de Sologne : C'est une alternance de sables grossiers, quartzeux et feldspathiques, de sables moyens ou fins, d'argiles grises, verdâtres ou blanches en couches lenticulaires. D'âge burdigalien terminal, cette formation couvre la Sologne en rive gauche de la Loire et la forêt d'Orléans en rive droite. Au Nord de Châteauneuf-sur-Loire elle atteint plus de 60 m. Elle est peu perméable dans l'ensemble et donne naissance à des terrains humides à forêts (nappe phréatique).
C'est à cette assise qu'il faut rattacher les sables de Lozère qui subsistent en îlots à travers la Beauce suivant une direction SE-NN. A l'Ouest de Blois, dans le bassin de la Cisse des formations détritiques semblables couvrent indifféremment le Calcaire de Beauce et les formations antérieures en bordure de l'anticlinal d'Herbault,
- les formations de vallées : Les principales vallées qui entament le plateau beauceron sont occupés par un colluvionnement qui est en rapport avec les terrains affleurants, mais en général les dépôts sont de nature argileuse ou limoneuse avec de nombreux dépôts tourbeux dont les principaux sont à mettre en relation avec les divagations du cours d'eau, parfois temporaire, à l'intérieur du lit majeur (tourbes de l'Essonne, tourbes de la vallée des Mauves),
- limons des plateaux : Leur épaisseur est comprise entre 0,5 et 5 mètres et ils couvrent largement le plateau de Beauce. Les surépaisseurs sont souvent liées à des cavités de dissolution du calcaire sous-jacent. Ils sont relativement perméables et ne donnent naissance qu'à des mares temporaires.

3. - Perméabilité relative des terrains

La description rapide des différentes formations qui composent la série beauceronne, a permis de se rendre compte de l'hétérogénéité des types de perméabilité représentés.

Il est intéressant de les classer en fonction de leur perméabilité apparente :

1 - Terrains "impermeables". Dans l'ensemble de la série, seules les Marnes vertes peuvent mériter le terme d'imperméable avec évidemment toutes les réserves à associer à ce qualificatif dans le sens où il n'existe pas de véritable roche imperméable. Notons que ces marnes n'existent que dans l'extrémité nord de la Beauce. En seconde position viennent les tourbes, mais elles sont très localisées et rarement continues.

2 - Terrains faiblement perméables : Dans cette catégorie, nous classerons les formations de base de l'Eocène inférieur, le faciès localisé des Marnes de Blamont, les Marnes de l'Orléanais (discontinues) et les Sables et Argiles de Sologne.

3 - Terrains peu perméables à perméables : ^{ils sont compacts} Tout d'abord ^{de} la Molasse du Gâtinais dont la perméabilité ~~totale~~ est fonction de sa composition locale (elle est localement imperméable dans le Gâtinais : bassins du Fusain et de la Bézone), ~~et de son épaisseur~~ Les sables de l'Orléanais et du Blésoir, sont à classer dans cette catégorie avec les colluvions ~~en~~ limoneux ($K = 1.10^{-5}$ à 1.10^{-4} m/s)

4 - Terrains perméables en grand : C'est l'ensemble des calcaires lacustres et en particulier les Calcaires d'Etampes et de l'Orléanais qui ~~forment~~ l'essentiel du réservoir beauceron. ($K = 1.10^{-4}$ à 1.10^{-2} m/s pour les zones karstiques)

Remarque : La craie qui forme le soubassement de l'ensemble est difficile à classer selon les critères de perméabilités. Latéralement et en affleurement la craie est perméable mais les forages profonds n'ont jamais mis en évidence de productivité sensible de cette roche que nous considérerons comme peu perméable sous les sédiments de la Beauce.

2 - STRUCTURE TECTONIQUE

La structure tectonique profonde ^{conçue} de la Beauce a été dévoilée assez tardivement (1-2), car elle n'a pu être ~~réalisée~~ avant ^{le rassemblement de coupes géologiques de près d'un millier de forages.} ~~le rassemblement de coupes géologiques de près d'un millier de forages.~~ ^{l'interprétation}

Le seul repère structural qui peut être suivi sur toute l'étendue de la Beauce est celui de la base du complexe lacustre, encore faut-il ^{préciser} que ce contact est difficile à préciser en l'absence de formations détritiques de base. En effet, le passage entre les Calcaires lacustres et la Craie parfois durcie, n'est pas toujours noté avec précision sur les forages exécutés en "destructif" et les sondages sont peu nombreux dans l'axe des principales fosses. Quoi qu'il en soit, en recalant les anciennes coupes de forages avec des coupes plus récentes, échantillonnées, il est possible de dresser une carte topographique souterraine cohérente des structures. ~~qui apparaissent comme suit : (figure 6) Les unités structurales reconnues sont (fig. 6) :~~

^{il existe une} fosse principale dite fosse de Pithiviers, d'allongement subméri-dien, où la base des Calcaires lacustres se trouve à 70 m sous le niveau ~~de~~ la mer (voir schéma ci-contre). Elle est nettement séparée au Nord de la fosse de Corbeil par le prolongement du dôme de la Remarde, mais au Sud, elle se relie à la fosse de Sologne (La Ferté-St-Aubin, cote - 40) par un col, situé vers la cote - 20, au passage de la Loire. En fait, l'unité structurale de la Beauce

(1) N. DESPREZ, Cl. MEGNIEN (1965)
(2) N. DESPREZ (1971)

STRUCTURE TECTONIQUE DE LA BEAUCE

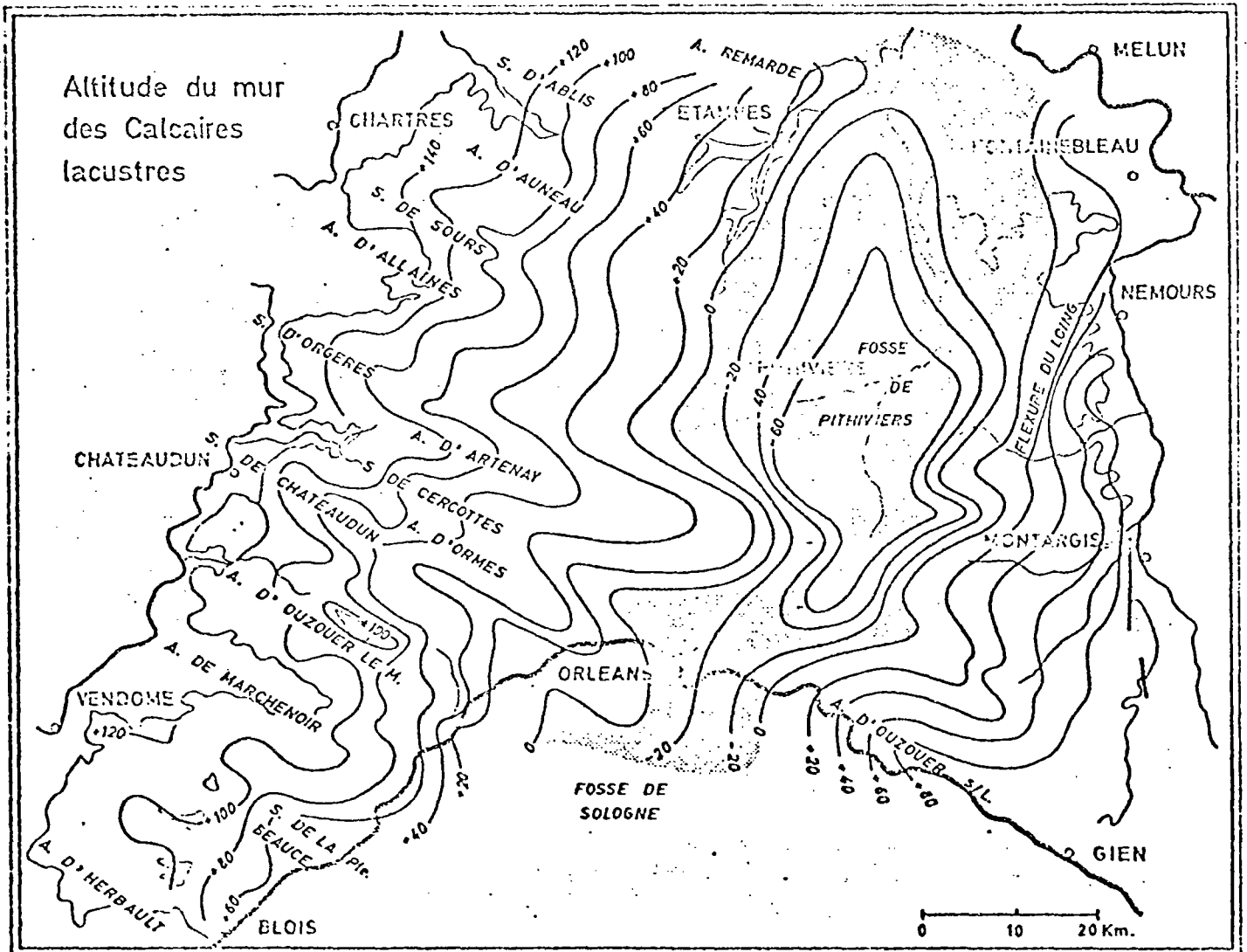


Fig. 6 - Structure tectonique de la Beauce au niveau du mur des calcaires lacustres.

est séparée de celle de la Sologne par un haut fond aligné sensiblement sur la Loire entre Orléans et Gien,

- à l'Est de cette fosse, les couches se relèvent rapidement vers la vallée du Loing. Ce mouvement est accompagné de flexures (Nemours, Mondreville) et de failles subméridiennes : failles du Loing (Château-Landon, Montargis, Gien) dont les rejets, à regard occidental, sont de l'ordre de 10 à 50 mètres. Au Sud de ce système, apparaît un bombement anticlinal axé sur la Loire : anticlinal d'Ouzouer-sur-Loire,
- à l'Ouest de la fosse de Pithiviers, le plongement général vers l'orient est accompagné de plis de type armoricain de faible amplitude (30 à 50 m en moyenne). On peut mettre ainsi en évidence du Nord au Sud :
 - 1 - Le dôme de la Remarde, dit également de Dourdan, qui est la limite structurale nord de la Beauce,
 - 2 - Le synclinal d'Ablis, prolongement possible du synclinal de la Risle,
 - 3 - L'anticlinal d'Auneau, ou plutôt zone haute, de Francourville,
 - 4 - Le synclinal de Sours,
 - 5 - L'anticlinal d'Allaines qui prolonge la longue ligne anticlinale de Senonches,
 - 6 - Le synclinal d'Orgères,
 - 7 - L'anticlinal assez prononcé d'Artenay qui correspond à l'échancrure crétacée de la Conie,
 - 8 - Le synclinal de Cercottes,
 - 9 - L'anticlinal d'Ormes qui se poursuit jusqu'à Orléans,
 - 10 - Le synclinal de la Loire assez mal nommé d'ailleurs et qu'il est préférable d'appeler synclinal de Châteaudun,
 - 11 - L'anticlinal d'Ouzouer-le-Marché, qui donne naissance à une boutonnière de Crétacé,
 - 12 - L'anticlinal de Marchenoir qui se relie au précédent et provoque une échancrure très nette dans les affleurements des Calcaires de la Beauce, limitant ainsi au Sud la "Petite Beauce",
 - 13 - Le synclinal de la Petite Beauce assez complexe, en fait, puisque le cours de la Cisse recoupe à plusieurs reprises des petits affleurements crayeux d'orientation générale armoricaine,
 - 14 - Enfin l'anticlinal d'Herbault qui limite au Sud la Petite Beauce.

Remarques concernant la tectogénèse

Quelques remarques sont à faire concernant les phénomènes de tectogénèse

remarques/
Limité Crétacé-Tertiaire : L'exondaison qui a suivie le retrait de la mer du Crétacé a été marquée par des apports détritiques et des érosions. Or, dans de nombreux cas où les calcaires lacustres reposent directement sur la craie, il y a en même temps apparition d'une structure particulière.

Ainsi sur la partie haute de la flexure du Loing, au Sud-Ouest de Nemours, les sondages montrent un amincissement progressif des dépôts de base de l'Eocène et même le contact direct des formations lacustres sur la craie. Même phénomène : on note l'absence de dépôts détritiques de base autour des pointements crayeux de la vallée de la Cisse. Le long de l'anticlinal d'Ouzouer-le-Marché, ces dépôts sembleraient faire défaut, mais les levés récents de MM. GIGOUT et CADET, sur la feuille de Beaugency, montrent la présence d'Eocène détritique en bordure orientale de la Forêt de Marchenoir (argiles, sables et poudingues). Ceci permet de mettre en évidence une activité tectonique subcontemporaine de l'Eocène inférieur. Mais le fait dominant est l'importante subsidence qui a affecté des dépôts peu profonds de type lacustre pendant toute la durée de l'Eocène, de l'Oligocène et le début du Miocène avec deux rapides invasions saumâtres ou marines sur la bordure nord au Sannoisien et au Stampien.

L'Aquitanien inférieur représenté par la Molasse du Gâtinais est transgressif dans la vallée du Vernisson sur l'Eocène inférieur et semble postérieur à certaines failles de la vallée du Loing; nous avons vu également que la molasse contournait les anticlinaux d'Ozouer et de Marchenoir qui ont probablement rejoint à cette époque.

Les études faites par N. DESPREZ ont montré que l'ensemble des faciès lacustres avaient une disposition géométrique qui épousait le substratum alors que les dépôts burdigaliens sont parfaitement discordants et subhorizontaux, ils recoupent les faciès précédents. Ils sont d'ailleurs transgressifs sur l'Eocène inférieur détritique et même sur la craie.

AQUIFÈRE

3 - CARACTERES DE LA NAPPE D'EAUX SOUTERRAINES

1. - Relations ^{de la nappe} avec le réseau de surface

Le plateau de Beauce est drainé par les cours d'eau du bassin de la Seine et de la Loire. La ligne de partage des eaux suit une diagonale NW-SE passant au Sud de Chartres et au Nord de Gien.

Mais la caractéristique principale ^{est} ~~réside dans~~ la très faible intensité du drainage qui apparaît sur les cartes hydrographiques et qui distingue la Beauce des autres régions naturelles du Bassin de Paris.

En Haute et Basse Beauce, le ruissellement est un phénomène véritablement exceptionnel ; la plus grande partie du cours amont des vallées principales est fossile, tandis qu'à l'aval le cours permanent ne prend naissance qu'à l'émergence de la nappe. Les vallées sèches sont nombreuses et les écoulements temporaires qui les suivent s'infiltrent le plus souvent dans le thalweg avant d'atteindre les cours d'eau permanents. Le bassin de la Conie par exemple, de 1.530 km² de surface comprend 70 km linéaires de cours dont seulement 16 sont actifs. Enfin le caractère karstique est souligné par la présence de très nombreux gouffres ou mardelles de dissolution, notamment dans la région Orléanaise (Ravin des grands gouffres, Fosses Guillaume, etc). Rappelons que, dans le Val d'Orléans, qui est en dehors de la présente étude, les phénomènes karstiques sont très importants : pertes et résurgences, sources du Loiret, effondrements et gouffres par dizaines.

Nous noterons cependant, par exception à ce qui précède, que le Gâtinais et la Forêt d'Orléans ont un réseau hydrographique mieux développé, ceci tient à la nature beaucoup moins perméable des terrains : Sables et argiles de Sologne, faciès marneux du Calcaire de l'Orléanais (Marnes de Blamont) et Molasse du Gâtinais bien développée.

2. - Extension de la nappe

Les eaux météoriques qui percolent à travers les Calcaires de Beauce, soit directement par le jeu des phénomènes karstiques, soit plus lentement en traversant les formations de couverture, viennent rejoindre un ensemble de roches saturée à une profondeur moyenne de l'ordre de 10 à 50 m, selon que les points

PIEZOMETRIE DE LA NAPPE DES CALCAIRES DE BEAUCE

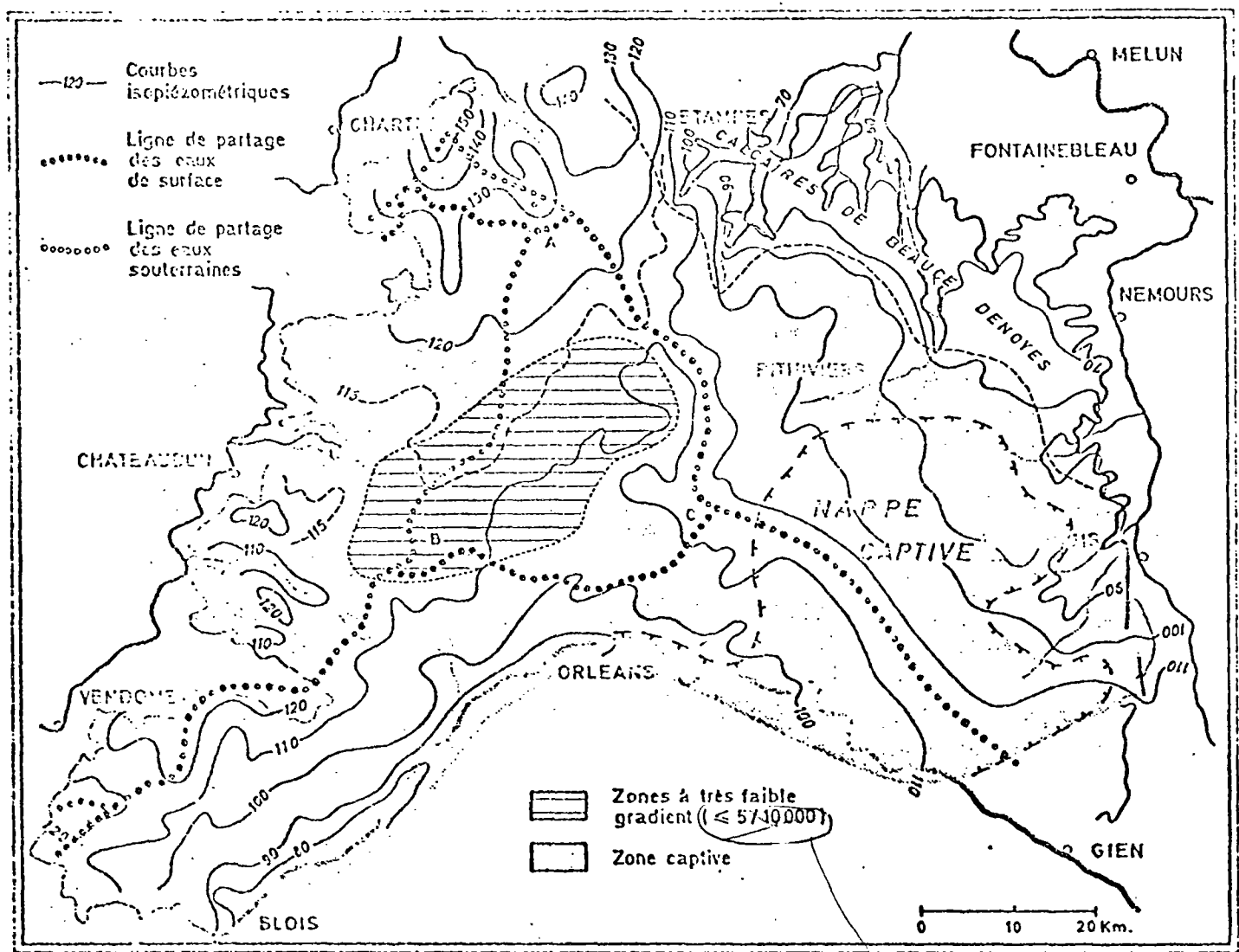


Fig. 7 - Piézométrie de la nappe de Beauce, des calcaires

$\leq 0,0005$

Beauce
Beauce

Les gradients de la nappe de Beauce sont particulièrement faibles, en général compris entre 0,1 et 0,2 %, mais dans certaines zones, notamment le haut bassin de la Conie, le gradient est inférieur à 0,05 %. Ces valeurs extrêmement faibles, qui sont à la limite de la mise en mouvement d'une eau souterraine, *ne s'observent* ~~peuvent~~ ^{seulement} ~~sur~~ ^{sur} même des surfaces importantes (800 km² environ), ~~elles~~ ^{et} expliquent les incertitudes concernant les crêtes piézométriques et les captures de bassins souterrains.

Complacément

Ces faibles gradients sont dus à la forte transmissivité, notamment dans la zone centrale, et à l'épaisseur relative du plateau.

Les gradients sont plus élevés en bordure des vallées drainantes : Juine - Essonne - Voise - Cisse, mais très curieusement il peuvent atteindre 1 % en bordure du Val de Loire entre Orléans et Blois. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par une baisse de transmissivité horizontale au passage calcaires - alluvions ou *mieux par* à une baisse de transmissivité verticale à la traversée de la Molasse du Gâtinais, *notamment mise en évidence par les sondages.*

à l'écoulement

Le drainage de la nappe des Calcaires de Beauce ~~se fait~~ ^{est} essentiellement par les vallées périphériques, mais ~~il peut y avoir~~ ^{peut} cependant des exutoires dans d'autres nappes *peuvent exister :*

- au Sud dans les alluvions de la Loire,
- à l'Est et à l'Ouest par communication avec la Craie dont la piézométrie se raccorde à celle de Beauce,
- au Nord par les Calcaires de Champigny, sous les *M*arnes vertes.

Sur la plus grande partie de la Beauce, la nappe est libre, cependant dans le Gâtinais, *la* ~~la~~ ^{la} ~~nappe est captive~~ ^{nappe est captive}. Cette captivité est due :

- 1 - à une forte épaisseur du Burdigalien, notamment dans la zone orientale de la forêt d'Orléans (60 m de puissance),
- 2 - au développement des faciès marneux dans les Calcaires de l'Orléanais (marnes de Blamont),
- 3 - au développement de l'épaisseur de la Molasse du Gâtinais *et* ^à son imperméabilité relative dans la partie haute des bassins de la Rimarde, du Fusain et de la Bézone (voir carte : Molasse du Gâtinais).

Dans les deux derniers cas ci-dessus, la nappe est localisée principalement dans les Calcaires d'Etampes et les calcaires lacustres inférieurs.

Notons que l'intercalation de niveaux marneux au sein des calcaires provoque des *captivités* ^{captivités} locales de la nappe.

Mises en charge

Au Nord-Est d'une ligne passant au Nord de Montargis et au Sud d'Etampes, les Calcaires de Beauce sont dénoyés, la nappe par suite de l'abaissement piézométrique vers le Nord, se trouve située dans les Sables de Fontainebleau et les calcaires lacustres inférieurs.

4. Schema hydraulique.

4. - Schéma hydraulique

Le système aquifère de la Beauce tel qu'il vient d'être décrit est assimilable très schématiquement à un aquifère monocouche sur la plus grande partie de son extension, cependant au Nord de la limite de dénoyage des calcaires, il est du type bicouche calcaire-sable, voire même multicouche si l'on considère également le Calcaire de Brie et les intercalations marneuses. Le type bicouche pourrait également s'appliquer à la région S.E. où les sables et argiles de Sologne introduisent, par leur couverture épaisse, un réservoir de transition aux eaux d'infiltration.

Le système est du type nappe libre, excepté dans le S.E. où la mise en charge est effectuée soit par les sables et argiles de Sologne, soit par la Molasse du Gâtinais, soit encore par les faciès marneux de Blamont. Il est hétérogène si l'on considère les fortes variations de la transmissivité et l'existence des chenaux karstiques très conducteurs agissant comme des drains. Il a pour conditions aux limites des charges hydrauliques quasi constantes à l'échelle du système, imposées par la Loire et les cours d'eau le drainant sur la périphérie.

Enfin, par ses dimensions, il est doté d'une grande inertie, qui lui donne une fonction régulatrice très développée, accusée par le caractère libre de la nappe et l'emmagasinement élevé (cf. paragraphes concernant les variations piézométriques et le bilan).

attend

L'épaisseur totale mouillée de la série lacustre se trouve à son maximum dans la fosse de Pithiviers avec 180 m de puissance. En fait, les forages de recherche d'eau ne descendent que très rarement en-dessous de 100-200 m de profondeur et la base du réservoir n'est connue que par quelques forages de reconnaissance pétrolière. L'épaisseur mouillée se réduit progressivement sur les marges orientales et occidentales. En Petite Beauce par exemple, l'épaisseur mouillée moyenne n'est que d'une vingtaine de mètres.

En Beauce, il est très difficile d'obtenir des valeurs sûres de la transmissivité. D'une part l'obtention du débit recherché par les multiples entreprises de sondage est facilement réalisé, ~~ce qui fait que~~ nous ne possédons en général que de courts essais de débit avec mesure du rabattement correspondant, d'autre part les débits étant importants, les essais sont onéreux et il risque d'y avoir réalimentation de la nappe par les eaux d'exhaure.

il ne reste que la possibilité de se servir

Pour avoir un ordre de grandeur des transmissivités, ~~il est possible que de se servir de~~ la formule de Dupuit et de considérer le régime en permanent (1). Ces valeurs doivent être analysées comme des débits spécifiques pondérés (figure 8).

Les résultats indiquent une assez grande hétérogénéité du réservoir :

- à l'Ouest en Petite Beauce et autour de l'anticlinal de Marchenoir, les transmissivités sont généralement comprises entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s, la valeur moyenne est 5.10^{-3} m²/s, valeur faible due à l'épaisseur mouillée réduite,
- à l'Est en Gâtinais, les transmissivités moyennes sont comprises également entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s mais avec une valeur moyenne de 3.10^{-3} m²/s. Ces valeurs faibles correspondent pratiquement à la zone de captivité de la nappe,
- au Nord-Ouest, la limite de dénoyage des Calcaires de Beauce et leur amincissement donnent des valeurs comprises encore le plus souvent entre 10^{-3} et 10^{-2} m²/s,
- dans la zone centrale, par contre, les terrains sont beaucoup plus perméables. Les valeurs de la transmissivité sont souvent comprises entre 10^{-2} et 10^{-1} m²/s ce qui est considérable. Dans les calcaires normalement fissurés elle est de l'ordre de 2 à 5.10^{-2} m²/s mais localement en bordure de vallée ou de karst elle peut atteindre 2.10^{-1} m²/s,
- dans les Sables de Fontainebleau "captifs", sous les Calcaires d'Erampes, la transmissivité tombe entre 2.10^{-4} m²/s et 2.10^{-3} m²/s.

$$(1) T \text{ m}^2/\text{s} = Q \text{ m}^3/\text{s} \times \frac{1}{2,73} \times \frac{1}{\Delta \text{ m}} \times \log \frac{R}{r}$$

R = rayon d'action pris égal à 300 m
r = rayon du forage
 Δ = rabattement "stabilisé"

PERMEABILITE RELATIVE DES CALCAIRES DE BEAUCE

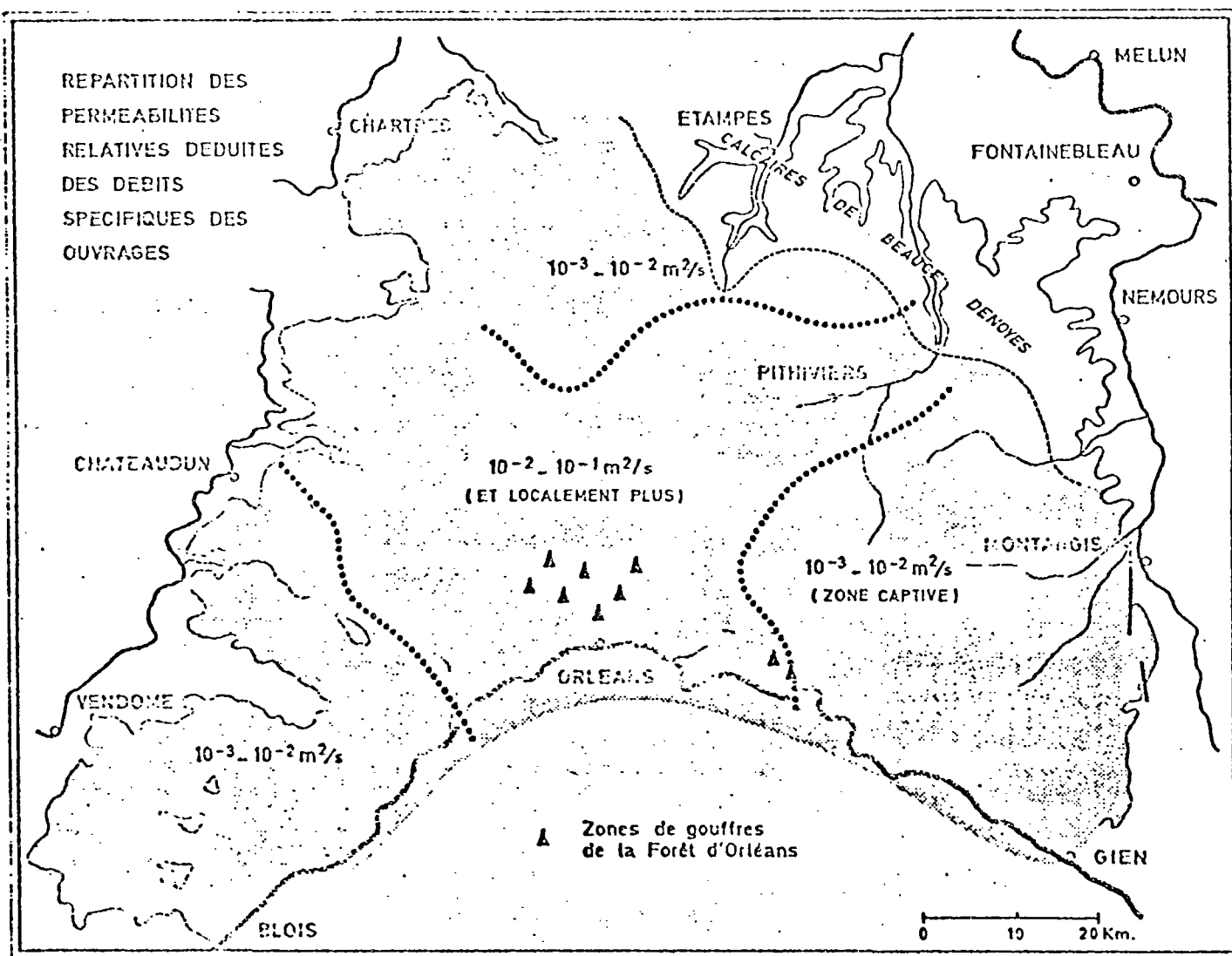


Fig. 8 - Perméabilités relatives des Calcaires de Beauce.

Prélèvements

Les prélèvements exécutés dans la nappe sont relativement bien connus en ce qui concerne les alimentations publiques d'eau potable, mais il est beaucoup plus difficile de connaître avec précision les prélèvements saisonniers effectués de plus en plus pour l'irrigation par aspersion. Il faut dans bien des cas, calculer ces derniers d'après le débit nominal de la pompe et le nombre de jours d'utilisation.

Les enquêtes faites par le B.R.G.M. donnaient au total $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ pour les prélèvements dans la nappe de Beauce en 1969, soit environ $140.000 \text{ m}^3/\text{jour}$ dont 60 % environ pour l'irrigation.

PRELEVEMENTS DANS LA NAPPE DE BEAUCE

Prélèvements en millions de m^3 par an	Alimentation en eau potable	Industrie et élevage	Captages temporaires (1)	Total
BASSIN DE LA SEINE	4,1	1,6	7,8	13,5
BASSIN DE LA LOIRE	8,4	10,0	18,9	37,3
PRELEVEMENTS TOTAUX	12,5	11,6	26,7	50,8

!(1) Irrigation calculée sur 40 jours/an et sucreries

Notons qu'il s'agit bien ici de prélèvements et non de consommations nettes. Il est difficile d'estimer le pourcentage d'eau restituée à la nappe après utilisation. Faibles pour l'irrigation ces restitutions ne sont certainement pas négligeables pour les usages d'eau potable ou industrielle.

5 - VARIATIONS PIEZOMETRIQUES DE LA NAPPE

Les variations piézométriques de la nappe des Calcaires de Beauce sont assez bien connues grâce à une série de 11 piézomètres installés par le B.R.G.M. dès la fin de l'année 1965, et exploités depuis 1970 par le Ministère de l'Agriculture

(Forde en Beauce) (de la nappe)
L'installation de ces points de mesure a été particulièrement difficile car il était nécessaire de trouver des forages répartis dans les différents bassins en dehors de tout pompage à proximité. Certaines zones ne correspondant pas à ces conditions il a été nécessaire de forer spécialement des piézomètres : Epieds-en Beauce, Trancrainville et Batilly-en-Gâtinais.

en eau
Nous donnons ci-contre à titre d'exemple les variations observées sur quelques forages (figure 9) et les valeurs des précipitations efficaces calculées d'après les observations relevées à la station de la Météorologie nationale à Bricy. Les valeurs sont décennales, elles ont été calculées par la méthode de Turc avec pour le sol une réserve // facilement utilisable de 75 mm.

On y observe d'une part des variations annuelles qui présentent un certain déphasage par rapport à la pluie efficace, et d'autre part une enveloppe des minima qui, elle, est apparemment indépendante et indique une variation pluriannuelle par reconstitution des réserves de la nappe.

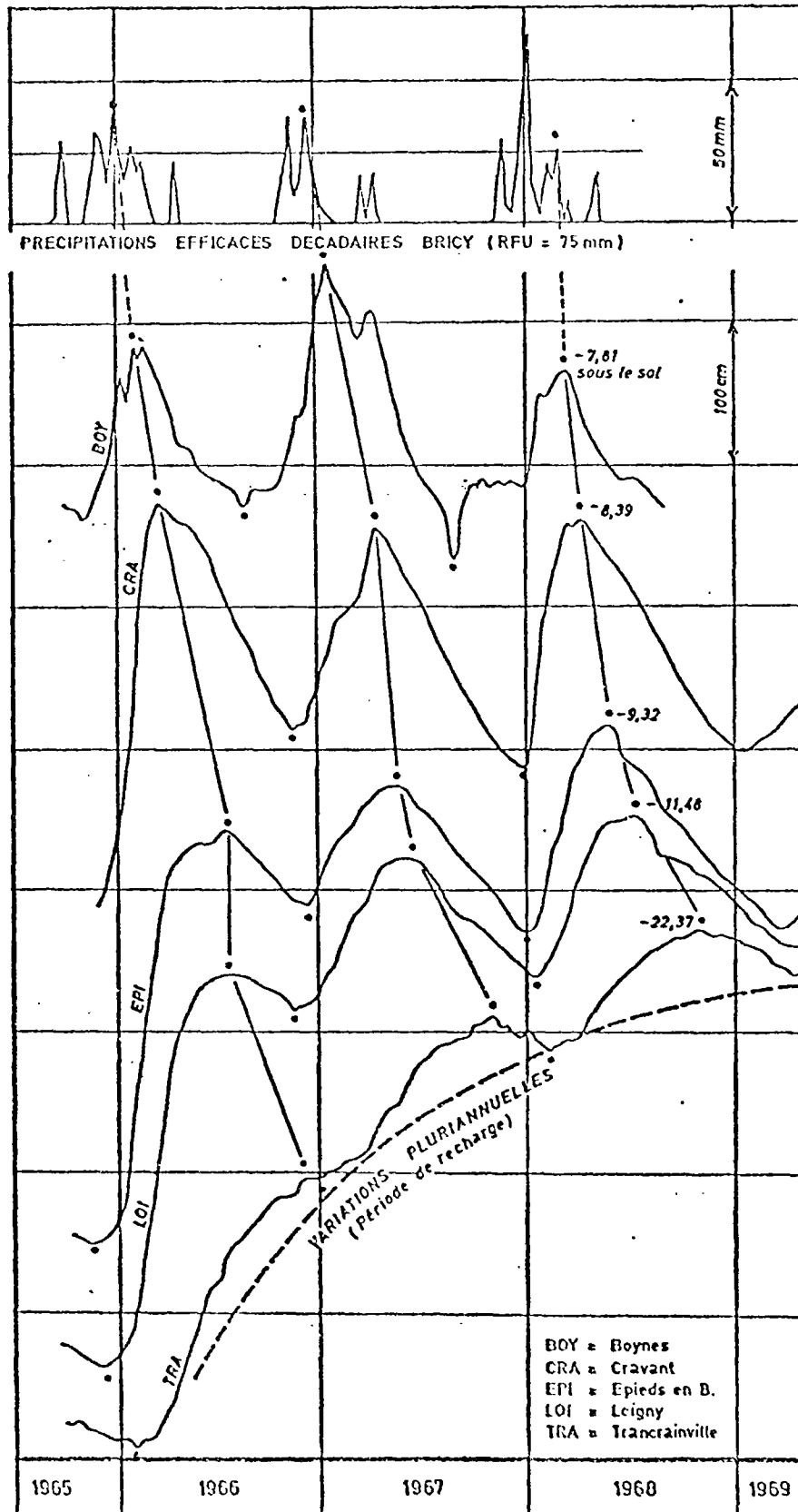


Fig. 9 - Variations piézométriques de la nappe des Calcaires de Beauce.

Si on analyse plus en détail les variations, on constate, avec la profondeur de la nappe, une tendance générale à l'effacement des variations annuelles devant les variations pluriannuelles.

Les figures 10 a, b, c et d montrent que les variations présentent deux phénomènes principaux : déphasage et amortissement.

- Le déphasage se voit particulièrement dans le retard de la nappe à atteindre son maximum après les périodes hivernales de fortes précipitations efficaces. Par rapport aux précipitations du débit de 1968 les retards sont fonction de la profondeur moyenne de la nappe. 10 points sur 11 indiquent un retard situé entre 5 et 12 jours par mètre de profondeur (figure 10 a). Par rapport aux précipitations 66-67-68 le retard moyen se situe 10 fois sur 11 entre 6 et 15 jours par mètre (figure 10 b). Ceci semble montrer d'une façon générale que ~~la percolation~~ de l'eau vers la nappe est assez lente : entre 7 et 20 cm par jour. *le transit*
- L'amortissement croît également avec la profondeur (figure 10 c), c'est-à-dire que l'amplitude annuelle de la nappe est d'autant plus faible que la nappe est plus profonde : elle peut décroître de 2 m à 0,20 m. On note une assez bonne corrélation entre l'amortissement et le déphasage (figure 10 d) exception faite pour deux postes : Boynes et Batilly qui sont en nappe captive.

On remarquera par ailleurs que le retard des variations piézométriques porte également sur les minima, mais il est moins élevé. Le phénomène de décrue étant tributaire du drainage général de la nappe. Ceci a pour conséquence un "rattrapage" tel que pour les niveaux piézométriques situés à plus de 20 mètres du sol, le maximum consécutif aux précipitations hivernales se manifeste avec 7 à 12 mois de retard et vient se placer très près de l'étiage. L'ensemble de la variation est estompé et ce sont les grandes variations interannuelles qui s'inscrivent alors presque directement.

Ces observations expliquent les difficultés que l'on rencontre lorsqu'il s'agit de dresser une carte piézométrique de cette vaste nappe de Beauce. Pendant une même période de relevés piézométriques après une longue sécheresse, la nappe peut baisser par endroits et monter en d'autres lieux. Ce phénomène, lié au faible gradient général explique les déplacements importants des crêtes piézométriques entre bassins.

intéressant
~~Les grandes lignes~~ des variations pluriannuelles ne sont connues qu'à Toury où le forage de la sucrerie a été observé régulièrement depuis 1890. Sa position est excellente en plein plateau beauceron. On a noté deux périodes très basses en 1906 et en 1952 et un pic remarquable en 1932. Les variations maximales connues sont de 8,60 m. Il semble que l'on puisse distinguer (figure 11) la superposition de plusieurs variations de périodicité différente :

- une très lente variation de type cinquantenaire dont l'amplitude est de l'ordre de 4 m (1906-1952),
- une série de périodes dont la durée varie de 10 à 15 ans avec une amplitude de 1 à 2 m,
- des variations pluriannuelles, 3 à 6 ans en moyenne avec une amplitude de 1 à 3 m.

L'observation des mesures fréquentes effectuées depuis 1960 montrent que

On note que les variations annuelles sont pratiquement effacées étant donné la profondeur de la nappe (17 à 26 mètres *dans le sol*)

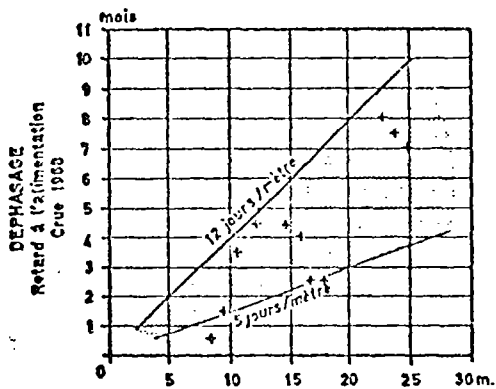


Fig. a Profondeur moyenne de la nappe 1967-68

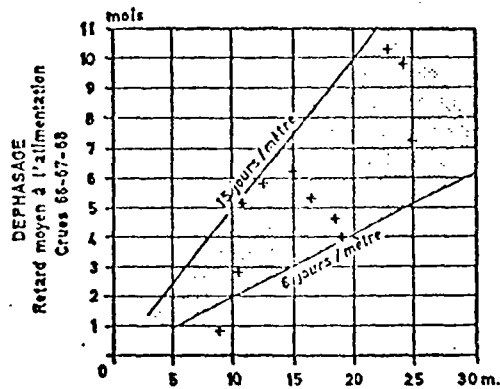


Fig. b Profondeur de la nappe étiage 1967

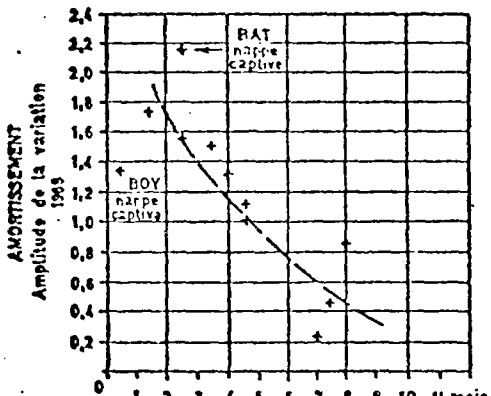


Fig. c Retard à l'alimentation 1968 DEPHASAGE

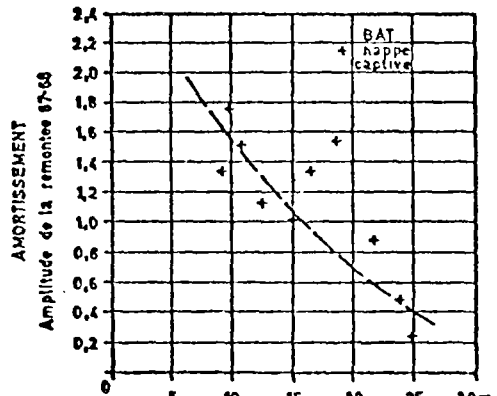


Fig. d Profondeur de la nappe, étiage 1967

Fig.10 - Déphasage et amortissement des variations piézométriques avec la profondeur de la nappe.

Fig.11 - Variations piézométriques de la nappe des Calcaires de Beauce - Toury, forage de la sucrerie (Eure-et-Loir) - Sol : + 132

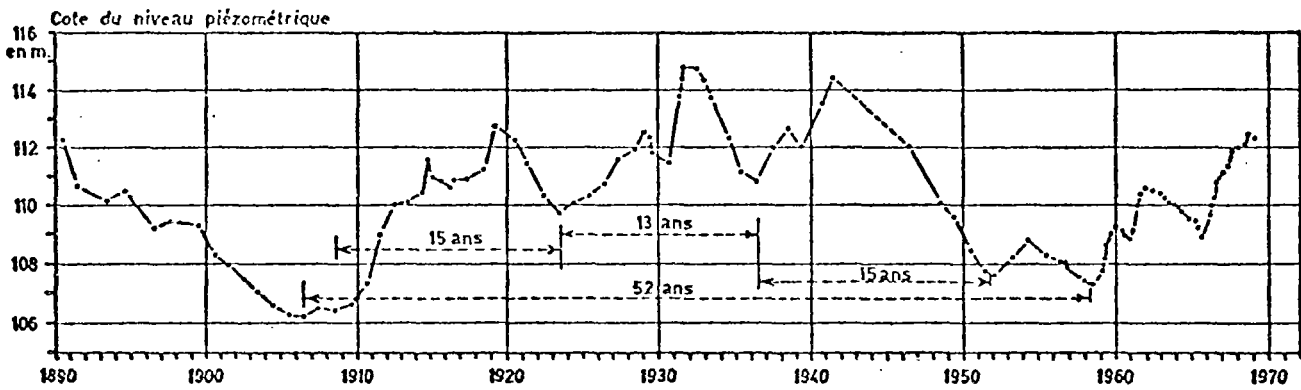


Fig. 11

6 - HYDROCHIMIE DE LA NAPPE

La composition chimique des eaux de la nappe des Calcaires de Beauce est assez mal connue, car pour une nappe de cette importance, nous ne possédons en fait les résultats que d'une centaine d'analyses, analyses faites à différentes époques, par différents laboratoires.

Résumé en carte

1 - Composition chimique moyenne et répartition géographique

peu cartonné dans les cartes géologiques d'où elle provient
 Les eaux sont, de type bicarbonaté-calcique et elles ne présentent dans l'ensemble, à première vue que peu d'intérêt. Les analyses sommaires donnent, après dépouillement, les moyennes suivantes :

Déterminations	Résistivité électrique à 18° ohms cm ^{R18}	Dureté totale en degrés français dH	Chlore des chlorures en mg/l Cl	SO ₄ en mg/l	Ca en mg/l	Mg en mg/l	Fe total
Moyenne des valeurs	2290	25°8	14,2	10,1	93,6	5,5	0,36
Nb d'analyses	(66)	(71)	(76)	(56)	(50)	(39)	(30)

Il est intéressant de regrouper régionalement les différentes valeurs par cartes topographiques ou fractions de cartes. C'est ce que nous avons montré sur la figure 12.

Ces différents secteurs ont été choisis pour regrouper des ensembles ayant une certaine parenté chimique :

1. - Zone de Méréville
2. - Zone de Malesherbes
3. - Zone de Neuville-aux-Bois
4. - Zone de Pithiviers - Puiseaux
5. - Zone occidentale Beaugency - Patay - Orgères
6. - Zone Ingré - Chevilly
7. - Zone de la Forêt d'Orléans
8. - Zone du Gâtinais (Bellegarde-du-Loiret)
9. - Zone orientale en bordure du Loing.

Les résultats sont donnés ci-après :

HYDROCHIMIE DE LA NAPPE DES CALCAIRES DE BEAUCE

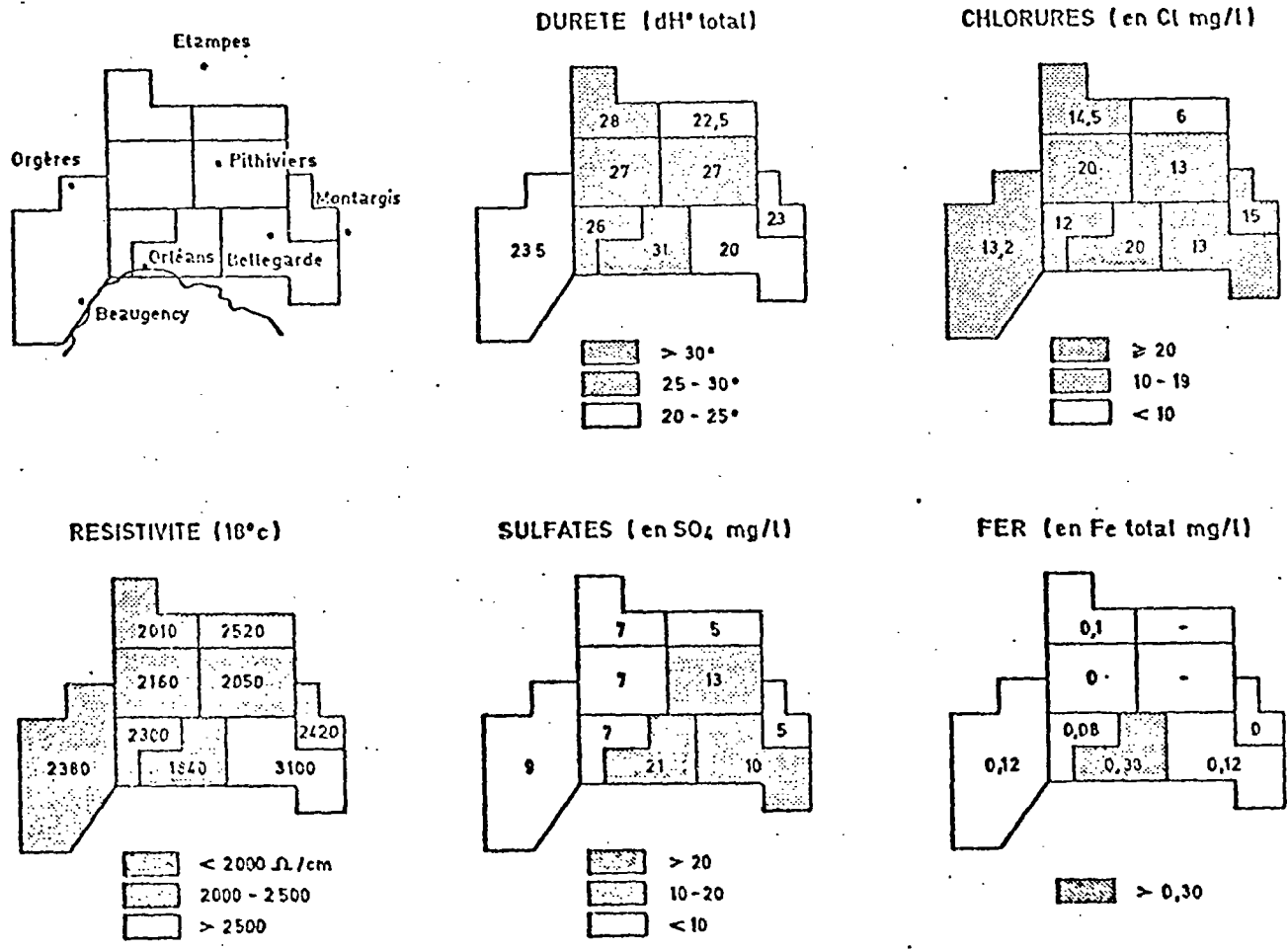


Fig.12 - Répartition géographique des principales caractéristiques hydrochimiques de la nappe des Calcaires de Beauce.

Zone	Résistivité à 18°C R.18	Dureté tota- le dlh°	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	Fe mg/l
1	2010 (8)	28 (9)	14,5 (9)	7 (3)	0,1 (2)
2	2520 (8)	22,5 (6)	6 (6)	5 (3)	- (0)
3	2160 (5)	27 (10)	20 (11)	7 (11)	0 (1)
4	2050 (7)	27 (8)	13 (9)	13 (8)	0 (1)
5	2380 (13)	23,5 (14)	13 (15)	9 (4)	0,12 (4)
6	2300 (5)	26 (5)	12 (5)	7 (4)	0,08 (4)
7	1840 (10)	31 (10)	20 (10)	21 (10)	0,38 (10)
8	3100 (7)	20 (6)	13 (7)	10 (6)	0,12 (5)
9	2420 (3)	23 (3)	15 (3)	5 (3)	0 (3)

(Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre d'analyses utilisées).

La répartition géographique se distingue de la manière suivante :

- Minéralisation totale : La résistivité montre dans l'ensemble une minéralisation de la nappe moins élevée sur ses bordures qu'en son centre. La zone la plus minéralisée correspond à la Forêt d'Orléans et la moins minéralisée à celle du Gâtinais. Ces deux dernières anomalies peuvent s'expliquer de la manière suivante :

La zone de la Forêt d'Orléans est constellée d'un nombre très important de gouffres et de bétouilles ^{se trouvant} dans le Calcaire de Beauce ou traversant les terrains burdigaliens. La nappe est enrichie en minéralisation par les eaux superficielles qui parviennent à la nappe après lessivage des limons.

Dans le Gâtinais, la nappe des Calcaires de Beauce est captive ou semi-captive. Il est probable que les faibles minéralisations constatées proviennent d'alimentation par drainance à partir de la nappe du Burdigalien. En effet, les eaux du Burdigalien ont une résistivité située entre 3.000 et 7.000 ohms.cm et leur cote est supérieure à celle de la nappe de Beauce. La piézométrie de la nappe de Beauce marque d'ailleurs une crête sous le Burdigalien, crête qui ne peut s'expliquer sans faire appel à la drainance du réservoir supérieur par le réservoir inférieur.

- La dureté de la nappe de Beauce est également plus importante dans la zone centrale, où la hauteur mouillée est plus importante et la nappe plus profonde que sur ses bordures. Comme précédemment, on note un maximum dans la Forêt d'Orléans avec 31° et un minimum dans le Gâtinais avec 20°. On constatera que là également la drainance peut être invoquée (dureté du Burdigalien inférieur à 10°).

- Les chlorures montrent une répartition assez homogène avec un maximum au centre de la Beauce et dans la région orléanaise (20 mg/l). Notons que pour le Burdigalien les teneurs sont de l'ordre de 30-35 mg/l.
- Les sulfates sont plus abondants dans le Sud-Est de la Beauce et dans la région orléanaise.
- Le fer sur la teneur duquel nous possédons peu d'analyses ne présente de teneurs importantes avec 0,3 et 0,4 mg/l que dans la zone orléanaise entre la Chillesse et l'Oussance. Les teneurs en fer s'accompagnent également de teneurs en manganèse supérieures aux normes de potabilité.

En résumé, la nappe de Beauce est moyennement minéralisée et assez homogène sauf en deux endroits : dans la forêt d'Orléans où elle est anormalement minéralisée par des engouffrements et dans le Gâtinais où, captive, elle est au contraire moins minéralisée.

2 - Composition chimique détaillée

Nous donnons ci-après à titre d'exemple les analyses chimiques effectuées à trois reprises lors des essais de débit d'un forage réalisé par le B.R.G.M. à Engenville (près de Pithiviers). Il s'agit d'un forage de 65 m aux Calcaires d'Etampes réalisé en février 1970 (nappe rencontrée à 29 m).

FORAGE D'ENGENVILLE

Analyse - Laboratoires B.R.G.M. Orléans (février 72)	Résultats des analyses effectuées au cours du pompage		
	7 h	26 h	79 h
!Résistivité à 18°C	! 2.502	! 2.487	! 2.435
!Ph	! 7,4	! 7,4	! 7,4
!Résidu sec (105°) mg/l	! 293,5	! 293,1	! 288,6
!Dureté totale (degrés français)	! 23,5	! 23,6	! 23,5
!CO ₃ H ⁻ mg/l	! 250,1	! 251,3	! 251,3
!NO ₃ ⁻ mg/l	! 40,3	! 40,3	! 40,3
!Cl ⁻ mg/l	! 12,8	! 13,1	! 12,8
!SO ₄ ⁻⁻ mg/l	! 6,5	! 6,5	! 6,5
!PO ₄ ⁻⁻ mg/l	! 0,16	! 0,16	! 0,16
!CN ⁻ mg/l	! 0	! 0	! 0
!F ⁻ mg/l	! 0,12	! 0,13	! 0,12
!SiO ₂ mg/l	! 18,8	! 12,3	! 11,8
!Ca ⁺⁺ mg/l	! 90	! 89,2	! 89,6
!Mg ⁺⁺ mg/l	! 2,4	! 3,1	! 2,6
!Na ⁺ mg/l	! 6,5	! 6,5	! 6,5
!K ⁺ mg/l	! 2,7	! 2,7	! 2,7
!Fe ⁺⁺⁺ mg/l	! < 0,008	! 0,008	! < 0,008
!Fe ⁺⁺ mg/l	! 0	! 0	! 0
!Mn ⁺⁺ mg/l	! 0,006	! < 0,003	! 0,019
!Zn ⁺⁺ mg/l	! 0,023	! 0,014	! 0,027
!Pb ⁺⁺ mg/l	! < 0,017	! < 0,002	! < 0,002
!Cr ⁶⁺ mg/l	! 0,001	! < 0,001	! 0,002
!Cd ⁺⁺ mg/l	! < 0,017	! < 0,002	! < 0,02
!Li ⁺ mg/l	! traces	! traces	! traces
!NH ₄ ⁺ mg/l	! 0	! 0	! 0

Beauce

Ces analyses montrent que la nappe est bien de type bicarbonaté-calci-que ; les teneurs en chlorures, sulfate et fer sont faibles comme la moyenne de la nappe de même K et Na. Les nitrates ont une valeur cependant élevée et nous y reviendrons. Les éléments traces ne présentent pas d'anomalies excepté ici une teneur en chrome hexavalent un peu forte, indicatrice d'une pollution ~~loca-~~
laine locale.

(d'actants - très faibles)

Les échantillons ont fait l'objet d'une concentration par électrolyses et les mesures de la teneur en tritium ont donné des valeurs ~~inférieures à l'ac-~~
~~tivité mesurable~~ (4 unités tritium) ce qui indique que l'eau n'est pas récente et que son taux de renouvellement est long (cf. piézométrie).

Notons que dans la zone de captivité de la nappe, la source Montpras, captage d'eau minérale à Chambon-la-Forêt, présente une eau de composition chimique voisine mais assez riche en silice et légèrement lithinée : SiO_2 35,3mg/ et $\text{Li} = 0,07$ mg/l (Laboratoire National de la Santé publique 1967).

3 - Teneurs en nitrates de la nappe

Nous possédons peu d'analyses systématiques sur les teneurs en nitrates de la nappe de Beauce, mais les déterminations effectuées montrent que celles-ci sont importantes puisqu'elles dépassent parfois la norme française pour l'alimentation en eau potable qui est de 10 mg/l en azote.

Les teneurs en azote relevées en 1972 sont les suivantes :

Forages d'irrigation (Loiret) (1)

- Gondreville 10 mg/l d'azote
- Erceville 11 mg/l d'azote
- Ruan 11 mg/l d'azote
- Trinay 11 mg/l d'azote

Captages communaux (Eure-et-Loir) (2)

- Ozoir-le-Breuil 10,2 mg/l d'azote
- Poupry 10,2 mg/l d'azote
- Poinville 10,2 mg/l d'azote
- Barmainville 11,3 mg/l d'azote
- Guillonville 11,3 mg/l d'azote
- Le Puiset 11,3 mg/l d'azote
- Termimiers 13,5 mg/l d'azote
- Beauvilliers 38,4 mg/l d'azote

Il est vraisemblable que l'apparition des teneurs ^{élevées} importantes en nitrates est due à l'utilisation croissante des engrais. Entre 1958 et 1968 la quantité d'engrais NPK est passée pour le Loiret, de 101 à 202 kg par hectare et par an.

(1) Laboratoire de la Chambre d'Agriculture du Loiret

(2) Laboratoire INRA de la Station agronomique de Lucé (Eure-et-Loir).

(Champs de)
 L'écoulement général de la nappe des Calcaires de Beauce ^{Vidéotape} se fait par les vallées principales. Il existe ~~bien naturellement~~ des sources de déversement, mais elles sont peu importantes et correspondent à des passées lithologiques peu perméables. ~~C'est le cas des lignes de sources définies par les affleurements de la Molasse du Gâtinais.~~ En fait, les fonds de vallées constituent des émergences naturelles de la nappe, soit le plus souvent de façon diffuse, soit parfois par des sources ou venues d'eau localisées dans le lit de la rivière. Ces dernières ~~alors,~~ sont visibles par les remous ^{ou cette} ainsi provoqués. Les débits peuvent être estimés par des profils en long de jaugeage, qui montrent l'accroissement de débit de la rivière sans apports visibles en surface.

§§
~~Comme nous l'avons déjà souligné,~~ Le ruissellement est extrêmement faible sur l'ensemble de la Beauce, à part, peut-être ^{en fait} la zone du Gâtinais dont les caractères généraux sont différents, en surface comme en profondeur. Certaines rivières comme la Conie, l'Aigre et même l'Essonne sont de véritables "rivières-sources" ^{ou} et elles drainent ^{sur} ~~souvent~~ ^{en fait} des vastes régions où le chevelu hydrographique est presque inexistant.

permettre d'
 Il y a ~~deux méthodes possibles pour~~ évaluer le débit de la nappe des Calcaires de Beauce : soit ^{par l'hydraulique et} par l'hydraulique souterraine à partir du gradient de la nappe en différents secteurs et des transmissivités correspondantes, soit ^{par l'hydraulique et} par l'hydraulique de surface ^{déterminant} en cherchant la part de l'eau souterraine dans les hydrogrammes du débit des rivières.

La première méthode ne peut être employée, du moins seule, étant donné la gamme étendue des transmissivités de l'aquifère considéré ; la seconde au contraire semble ^{ici favorable} ~~ici favorable~~ étant donné ~~les remarques précédentes sur~~ la réduction extrême du ruissellement. Les deux méthodes peuvent être employées simultanément dans un modèle hydraulique mathématique, ~~mais ceci~~ fait l'objet d'une étude ~~encore~~ en cours (1) que nous n'exposerons pas ici. Nous examinerons donc dans le texte qui suit l'approximation du débit de la nappe à partir ^{d'un écoulement dans} des cours d'eau (période 1967-1970).

Les différentes méthodes permettant de déterminer l'écoulement souterrain à partir de l'hydrogramme comportent un part arbitraire et personnelle relativement importante. Nous avons employé la méthode la plus simple et la plus reproductible qui est celle de BERKALOFF-CASTANY et qui consiste à considérer l'hydrogramme mois par mois et à affecter à l'écoulement souterrain la valeur donnée par le débit journalier le plus faible du mois (c'est en fait la discrétisation par mois de l'enveloppe des minimas).

(Structure)
 Les stations utilisées sont celles qui sont équipées en continu ^{ci)} pour le bassin versant de la Seine, stations de Ballancourt sur l'Essonne et de Courtempierre sur le Fusain (1ère circonscription électrique) ; pour le bassin de la Loire, stations de Conie-Molitard sur la Conie, de Romilly sur l'Aigre et de Coulange sur la Cisse (S.R.A.E. Centre et Service hydrologique centralisateur d'Orléans).

(1) Modèle mathématique de gestion de la nappe des Calcaires de Beauce en ~~système~~ ^{système} transitoire. *régime*

Les résultats sont donnés ci-après en deux tableaux ; l'un sur cinq années, donne les valeurs par années civiles ; l'autre sur quatre années seulement prend en considération les années hydrologiques définies de novembre à octobre.

Par ailleurs, deux débits sont considérés : d'une part le module annuel de l'écoulement total Q_1 , d'autre part le débit Q_2 moyenne des débits journaliers minima mensuels. Ce dernier débit sera par les hypothèses précédentes, considéré comme équivalent de l'écoulement souterrain.

Pour le bassin versant jaugeé, qui est ici de 4.649 km^2 , les valeurs globales sont pratiquement identiques dans les deux tableaux :

Débit total de l'écoulement : $15,3 \text{ m}^3/\text{s}$, ou $3,30 \text{ l/s/km}^2$, ou 104 mm .
Débit probable de l'écoulement souterrain : $13,4 \text{ m}^3/\text{s}$, ou $2,89 \text{ l/s/km}^2$, ou 91 mm .

Si l'on veut extrapoler à l'ensemble de la surface, c'est-à-dire 6.965 km^2 , on aurait :

Beauce calcaire (5.297 km^2)	
écoulement total	= $17,5 \text{ m}^3/\text{s}$
écoulement souterrain probable	= $15,7 \text{ m}^3/\text{s}$
Gâtinais (1.668 km^2)	
écoulement total	= $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$
écoulement souterrain probable	= $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$
Beauce totale (6.965 km^2)	
écoulement total	= $22,8 \text{ m}^3/\text{s}$
écoulement souterrain probable	= $19,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Enfin, ^{versants} les débits spécifiques par bassins sont intéressants à ^{comparer} examiner, car ils présentent des anomalies ^{expliquées} considérables dont l'explication est à rechercher ^{dans} la capture de bassins souterrains au profit de bassins voisins comme l'indiquaient ^{déjà} les crêtes piézométriques étudiées précédemment. ^{En effet l'ex} On remarquera en effet ^{des} les débits spécifiques très déficitaires par rapport à la moyenne dans le bassin de la Conie ^{correspondent} ou il s'agit bien d'une amputation de bassin souterrain au profit des bassins de la rive droite de la Loire, ^{de} détournement qui doit intéresser plus de la moitié de la surface du bassin de la Conie. ^{affecter}

Comparaison avec les données climatologiques

Il est intéressant de comparer les écoulements observés avec ceux déduits des caractéristiques climatologiques avec les formules classiques. Pour calculer les valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle ETP nous avons utilisé la formule mensuelle de TURC utilisant la température et l'insolation observée à la station d'Orléans-Bricy.

DONNEES GENERALES
ANNEES CIVILES 1967-1968-1969-1970-1971
Stations permanentes de jaugeage

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ZONES	Bassin	N° St ^{on}	BV km ²	Modules de l'écoulement Q ₁ et souterrain Q ₂ en l/s					Moyenne 67 - 71	Q _s l/s/km ²	H mm	Zones
				1967	1968	1969	1970	1971				
				Q ₁	Q ₂	Q ₁	Q ₂	Q ₁				
ZONE 1	ESSONNE (1)	(51)	1.870	Q ₁ 7.850 Q ₂ 7.071	8.000 7.296	7.140 6.593	9.149 8.326	7.522 6.773	7.932 7.212	4,24 3,86	H ₁ 134 H ₂ 122	ZONE 1 BV = 4.274 km ² Q ₁ = 14.144 l/s Q ₂ = 12.635 l/s Q _{s1} = 3,31 l/s/km ² Q _{s2} = 2,96 l/s/km ² H ₁ = 104 mm H ₂ = 93 mm
	CONIE (2)	(19)	1.530	Q ₁ 2.960 Q ₂ 2.867	3.170 2.996	2.496 2.338	2.990 2.760	1.870 1.689	2.697 2.530	1,76 1,65	H ₁ 55 H ₂ 52	
	AIGRE (2)	(26)	306	Q ₁ 1.830 Q ₂ 1.578	1.890 1.758	1.567 1.410	1.760 1.588	1.230 1.128	1.655 1.492	5,41 4,88	H ₁ 170 H ₂ 154	
	CISSE (2)	(43)	568	Q ₁ 2.240 Q ₂ 1.732	2.270 1.517	1.521 1.220	2.159 1.655	1.110 881	1.860 1.401	3,27 2,47	H ₁ 103 H ₂ 78	
ZONE 2	FUSAIN (1)	(134)	375	Q ₁ 1.060 Q ₂ 798	1.480 979	987 668	1.672 1.077	798 502	1.199 805	3,20 2,15	H ₁ 101 H ₂ 68	Zone 2 "Fusain"
TOTAL	BASSIN VERSANT TOTAL			Q ₁ Module de l'écoulement total	15.940	16.810	13.711	17.730	12.530	15.343	TOTAL DES ZONES 1 et 2	
				Q ₂ Module de l'écoulement souterrain	14.046	15.546	12.229	15.406	10.973	13.440	BV = 4.649 km ²	
				Q _{s1} l/s/km ²	3,43	3,62	2,95	3,81	2,70	3,30	Q ₁ = 15.343 l/s	
				Q _{s2} l/s/km ²	3,02	3,34	2,63	3,31	2,36	2,89	Q ₂ = 13.440 l/s	
				H ₁ mm	108	114	93	120	85	104	Q _{s1} = 3,30 l/s/km ²	
				H ₂ mm	95	105	83	104	74	91	Q _{s2} = 2,89 l/s/km ²	

BV : bassin versant hydrologique ; Q₁ : module de l'écoulement total en l/s ; Q₂ : module probable de l'écoulement souterrain en l/s ; Q_{s1} : débit spécifique de l'écoulement total en l/s/km² ; Q_{s2} : débit spécifique probable de l'écoulement souterrain en l/s/km² ; H₁ : hauteur en mm de l'écoulement total ; H₂ : hauteur en mm de l'écoulement souterrain probable

DONNÉES GÉNÉRALES
ANNEES HYDROLOGIQUES 1967-1968 1968-1969 1969-1970 et 1970-1971
Stations permanentes de jaugeages

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bassin	N° St ^{on}	BV km ²	Modules de l'écoulement total Q ₁ et souterrain Q ₂ l/s				Moyenne 1967 - 71	Qs l/s/km ²	H mm	Zones	
			1967 - 68	1968 - 69	1969 - 70	1970 - 71					
ZONE 1	ESSONNE (1)	(51)	1.870	Q ₁ 8.033 Q ₂ 7.329	7.044 6.559	8.985 8.134	7.786 7.053	7.962 7.269	4,26 3,89	H ₁ 134 H ₂ 123	ZONE 1 BV = 4.274 km ² Q ₁ = 14.127 l/s Q ₂ = 12.613 l/s Q _{s1} = 3,31 l/s/km ² Q _{s2} = 2,95 l/s/km ² H ₁ = 104 mm H ₂ = 93 mm
	CONIE (2)	(19)	1.530	Q ₁ 3.046 Q ₂ 2.958	2.637 2.490	2.863 2.634	2.088 1.904	2.659 2.497	1,74 1,63	H ₁ 55 H ₂ 51	
	AIGRE (2)	(26)	306	Q ₁ 1.880 Q ₂ 1.692	1.512 1.395	1.806 1.621	1.322 1.202	1.630 1.478	5,33 4,83	H ₁ 168 H ₂ 152	
	CISSE (2)	(43)	568	Q ₁ 2.505 Q ₂ 1.660	1.486 1.203	2.313 1.650	1.200 962	1.876 1.369	3;30 2,41	H ₁ 104 H ₂ 76	
ZONE 2	FUSAIN (1)	(134)	375	Q ₁ 1.508 Q ₂ 989	933 673	1.779 1.078	803 512	1.256 813	3,35 2,17	H ₁ 106 H ₂ 76	Zone 2° Fusain°
TOTAL	BASSIN VERSANT TOTAL 4.649 km ²	Q ₁ Module de l'écoulement total	16.972	13.612	17.746	13.199	15.383	TOTAL DES ZONES 1 et 2			
		Q ₂ Module de l'écoulement souterrain	14.628	12.320	15.117	11.633	13.426	BV = 4.649 km ²			
		Q _{s1} l/s/km ²	3,65	2,93	3,82	2,84	3,31	Q ₁ = 15.383 l/s			
		Q _{s2} l/s/km ²	3,15	2,65	3,25	2,50	2,89	Q ₂ = 13.426 l/s			
		H ₁ mm	114	92	120	89	104	Q _{s1} = 3,31 l/s/km ²			
H ₂ mm	99	83	102	79	91	Q _{s2} = 2,89 l/s/km ²					
											H ₁ = 104 mm
											H ₂ = 91 mm

BV : bassin versant hydrologique ; Q₁ : module de l'écoulement total en l/s ; Q₂ : module probable de l'écoulement souterrain en l/s ; Q_{s1} : débit spécifique de l'écoulement total en l/s/km² ; Q_{s2} : débit spécifique probable de l'écoulement souterrain en l/s/km² ; H₁ : hauteur en mm de l'écoulement total ; H₂ : hauteur en mm de l'écoulement souterrain probable

$$\text{ETP mm} = 0,40 \frac{T}{T+15} (I_g + 50) \quad T = \text{température moyenne mensuelle en degrés C.}$$

$I_g = \text{radiation globale g/cm}^2$

$$\text{avec } I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62 \frac{h}{H}) \quad I_{gA} = \text{radiation théorique g/cm}^2$$

$h/H = \text{insolation relative}$

$h = \text{durée insolation à l'héliographe}$

$H = \text{durée astronomique du jour.}$

Les calculs ont été facilités par l'emploi des abaques publiées par le C.E.R.A.F.E.R. (1) *Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie Rural (1)*

Pour passer ensuite de l'évapotranspiration potentielle à l'évapotranspiration réelle, nous avons suivi la méthode de THORNTHWAITE en ^{admettant} prenant pour le sol une réserve facilement utilisable (R.F.U.) de 75 mm et pour les précipitations les valeurs de Bricy.

Les bilans ^{hydriques} ~~hydrologiques~~ ont été effectués mois par mois de 1967 à 1971 inclus ; les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous par années.

On pourra constater que, malgré les fortes variations observées d'une année à l'autre, la moyenne de 105 mm pour l'excédent correspond remarquablement à la valeur totale de l'écoulement effectivement mesuré pendant cette période et qui est de 104 mm.

~~HYDROLOGIQUE~~
BILAN ~~HYDROLOGIQUE~~ THEORIQUE
Années civiles 1967-1971
Méthode de Thornthwaite
Station de Bricy

Eau mm	1967	1968	1969	1970	1971	Moyenne
P	564	734	547	587	459	578,2
ETP	748	669	683	634	674	681,6
Δ RFU	0	- 19	+ 19	- 31	- 18	- 9,8
ETR	485	609	408	458	455	483,0
Déficit	263	60	275	176	219	198,6
Excédent	79	144	120	160	22	105,0

P = Pluviométrie - ETP = Evapotranspiration potentielle - Δ RFU = variation de réserve en eau du sol - RFU = Réserves facilement utilisables (au 31.12)
ETR = Evapotranspiration réelle.

(1) GOBILLOT T., HLAVEK R., LECARPENTIER C., et TURC L., 1963.

VARIATIONS DES RESERVES BEAUCE CALCAIRE

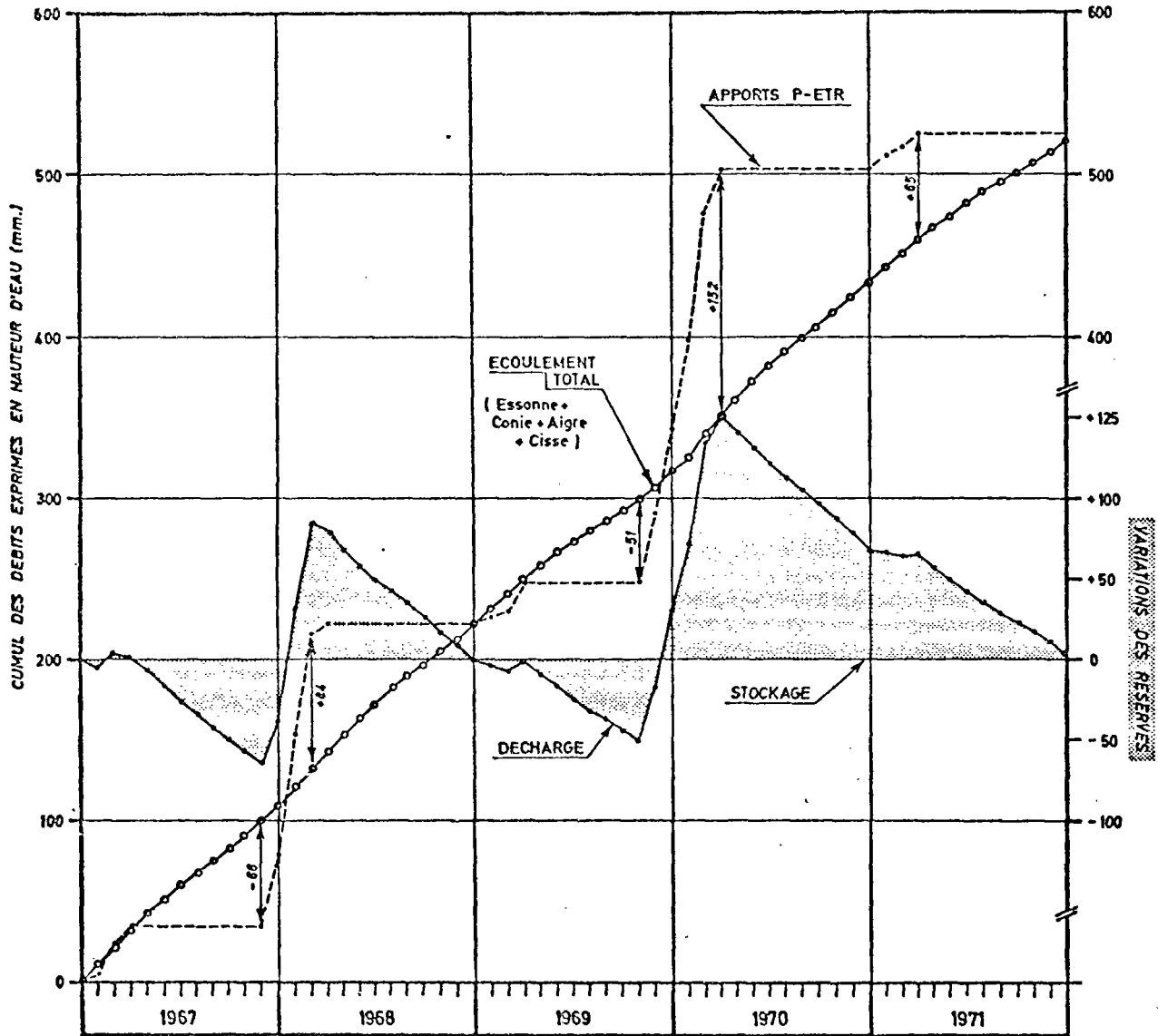


Fig.13 - Comparaison entre les apports et l'écoulement total en Beauce calcaire.

Emmagasinement de la nappe des Calcaires de Beauce

Il n'est pas possible, en Beauce de calculer le coefficient d'emmagasinement de l'aquifère à l'aide d'essais de pompage classiques. La très forte transmissivité, la profondeur de la nappe, l'évacuation de l'eau sans réinfiltration, posent des problèmes techniques difficiles à résoudre et très coûteux. C'est pourquoi nous devons employer une autre méthode basée essentiellement sur l'étude de l'écoulement différé des rivières qui drainent la nappe. Elle a l'avantage de prendre en considération l'ensemble des phénomènes d'écoulement sur de grandes surfaces donc d'être moins ponctuelle que les essais de débit. Le principe en est le suivant :

La condition

1. - La pluie efficace P - ETR doit correspondre sur de grandes périodes au débit total des rivières. Il est indispensable que ces rivières soient en grande partie alimentées par la nappe, comme c'est le cas en Beauce, et que la période d'observation soit suffisamment longue pour qu'à la fin de la période considérée, le total cumulé des apports soit identique à celui écoulé par les rivières.
2. - On observe alors mois par mois la somme des apports effectués sur le bassin et la somme des débits écoulés. Deux cas peuvent se produire. Si la pluie efficace cumulée est supérieure à l'écoulement observé, c'est qu'il doit y avoir emmagasinement dans la nappe et montée du niveau piézométrique. Si l'écoulement des rivières est supérieur à la somme des apports, c'est qu'il y a prélèvement dans les réserves de la nappe et baisse du niveau piézométrique.
3. - On effectue mois par mois la différence des deux cumuls ce qui revient à établir l'historique des variations de réserves, positives ou négatives. Si l'on compare ces valeurs, exprimées en hauteur d'eau, avec les enregistrements piézométriques et que les variations sont concomitantes, on peut obtenir par un simple rapport le coefficient d'emmagasinement, ou porosité efficace du terrain. Notons que la superposition, aux échelles près, des graphiques de variations de réserves et de piézométrie est une garantie de l'application de cette méthode, chacun d'eux étant réalisé à partir d'observations différentes. Il faut également s'assurer, mais ce n'est pas le cas pour la Beauce, que les variations de réserve ne correspondent pas à des retenues de plan d'eau ou à des enneigements importants.

10
Nous appliquerons d'abord cette méthode à l'ensemble de la Beauce calcaire en considérant mois par mois l'ensemble des débits écoulés par l'Essonne, la Conie, l'Aigre et la Cisse, ce qui, exprimé en hauteur d'eau, donne pour la période du 1.1.1967 au 31.12.1971 la valeur de 521 mm. Ceci est très proche des 525 mm représentant les apports de la pluie efficace P - ETR déterminés par la méthode TURC-THORNTHWAITE (graphique fig. 13).

On remarquera par exemple le déficit de l'année 1969 où l'écoulement a été assuré par les excédents emmagasinés en 1968.

Sur le même graphique, on a représenté mois par mois les différences des deux années précédentes, c'est-à-dire les variations de réserves du bassin.

La même méthode a été utilisée pour le Gâtinais en prenant comme référence le débit du Fusain (mais ici la "fermeture" ne se fait qu'à 20 mm près). Le tableau ci-dessous résume les valeurs numériques obtenues pour les deux types de régions.

ESTIMATION DES VARIATIONS DE RESERVES
en millimètres d'eau

Zone	Date considérée (3)	Volume apporté le 1.1.1967	Volume écoulé le 1.1.1967	Stockage dans la nappe	Décharge de la nappe	Variations des réserves
BEAUCE CALCAIRE (1)	1.12.1967	34	106	0	66	150
	1.3.1968	217	133	84	0	135
	1.11.1968	248	299	0	51	203
	1.4.1970	503	351	152	0	
	1.1.1972	525	521	(4)	0	
GATINAIS (2)	1.12.1967	34	80	0	46	122
	1.3.1968	217	141	76	0	107
	1.11.1969	248	279	0	31	158
	1.4.1970	503	376	127	0	
	1.1.1972	525	505	(20)	0	

(1) Bassins de l'Essonne, de la Conie, de l'Aigre et de la Cisse cumulé
(2) Bassin du Fusain
(3) Dates correspondantes des valeurs maxima de stockage et de décharge

Il ne reste plus qu'à comparer ces variations avec les observations effectuées sur les niveaux piézométriques.

Pour la Beauce calcaire se pose le problème du choix des piézomètres, car nous avons vu qu'en fonction de la profondeur il y a progressivement amortissement et déphasage de la réponse aux apports. C'est la raison pour laquelle nous avons éliminé les enregistrements de Ruan, Trancrainville et Pithiviers, pour ne conserver que ceux de Cravant, Epieds, La Chapelle St-Martin, Loigny et Gidy. Pour la zone du Gâtinais seule celui de Bâtilly est utilisable bien qu'il soit dans des niveaux semi-captifs.

Les débits de rivière n'étant connus que depuis le début de 1967, ce n'est donc qu'à partir de cette date que les comparaisons sont possibles.

On constatera une remarquable concordance des variations entre les volumes calculés précédemment et les piézométries notamment pics des années 1968 et 1970 et déficits des années 1969 et 1971.

L'ajustement des échelles et des graphiques donne la valeur moyenne de la porosité efficace. Les valeurs numériques sont données dans le tableau ci-après.

ESTIMATION DE LA POROSITE EFFICACE DES CALCAIRES DE BEAUCE

															GATINAIS		
1	2		3											2	3		
Epoque considérée	Variation des résér- ves régu- latrices	Piézomètres représentatifs de la nappe											Variation des résér- ves régu- latrices(1)	Piézo de Batilly			
		CRA		EPI		CHA		LOI		GID		Moyenne		Δh	P %		
	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	Δh	P %	
CRUE 1967-1968	0,150 m	1,74	8,6	1,45	10,3	1,54	9,7	1,12	13,4	1,33	11,3	1,44	10,4	0,122 m	2,11	5,8	
DECRUE 1968-1969	0,135 m	2,14	6,3	1,96	6,9	2,31	5,8	1,44	9,4	1,53	8,8	1,88	7,2	0,107 m	3,65	2,9	
CRUE 1970	0,203 m	2,08	9,8	1,55	13,1	1,88	10,8	1,57	12,9	1,39	14,6	1,69	12,0	0,158 m	2,85	5,5	
Valeur absolue totale	0,488 m	5,96	8,2	4,96	9,8	5,73	8,5	4,13	11,8	4,25	11,5	5,01	9,7	0,387 m	8,61	4,5	

(1) d'après le
Fusain

Telle qu'elle ressort de ces tableaux, la porosité efficace moyenne est de 9,7 % pour les Calcaires de Beauce et de 4,5 % pour les faciès marno-calcaires du Gâtinais. On remarquera cependant que les valeurs obtenues sur les décrues sont plus faibles que celles obtenues lors des remontées de nappe. L'explication est à rechercher dans la vitesse différente des deux phénomènes ; en période de crue l'égouttement de la zone non saturée se fait moins bien qu'en période de décrue. Il serait donc préférable de prendre les valeurs obtenues sur cette dernière période c'est-à-dire respectivement 7,2 et 2,9%.

7 et 3 % environ

Il serait d'autre part intéressant de connaître les réserves aquifères totales de la nappe des Calcaires de Beauce. Théoriquement le problème peut être résolu par l'étude du tarissement des sources, en effet, d'après la loi de Maillet l'écoulement naturel d'un massif poreux en l'absence d'apports depuis un instant t_0 est de la forme exponentielle décroissante :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t}$$

Q étant le débit à un instant donné t , Q_0 le débit à l'instant t_0 début du tarissement pur

Q et Q_0 sont exprimés en m^3/s et t en jours, α est le coefficient de tarissement.

Cette formule peut s'écrire

$$\text{Log } Q = \text{Log } Q_0 - \alpha t$$

ou en logarithmes décimaux :

$$\log Q = \log Q_0 - 0,434 \alpha t$$

c'est-à-dire que sur un graphique comportant en abscisses arithmétiques le temps en jours et en ordonnées logarithmiques le débit en m^3/s la décrue est figurée par une droite de pente $0,434 \alpha$.

stock
Théoriquement toujours, il est possible de calculer le volume total d'eau en place au début t_0 du tarissement. Il suffit pour cela de considérer le débit global qui s'écoulerait selon la même loi jusqu'à un temps t infini.

$$\text{Volume total } W = \int_0^{\infty} Q_0 e^{-\alpha t} dt = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (Q_0 \text{ en } m^3/\text{jour})$$

$$W \text{ m}^3 = \frac{Q_0 \text{ m}^3/s}{\alpha} \times 86.400$$

retour

Nous avons essayé d'appliquer cette méthode en analysant les hydrogrammes des différents cours d'eau issus de la Beauce : Essonne, Conie, Aigre, Cisse et Fusain et sur différentes années. Les résultats sont assez décevants, d'une part à cause des apports qui troublent le tarissement, d'autre part à cause de chutes de débit en fin de tarissement annuel qui sont vraisemblablement l'effet de prélèvements en rivières pour les besoins de l'agriculture. Ceci conduit à une grande incertitude sur le tracé de la droite de tarissement sur graphique semi-logarithmique et donne des valeurs de α qui, peuvent être dans le rapport de 1 à 3 pour un même cours d'eau selon les années considérées.

Même pour la Conie qui est une "rivière-source" et qui pourrait le mieux se prêter à ce type d'étude, le coefficient α varie de 0,0020 à 0,0045 selon les années (graphique de la figure 14).

Si pour l'exemple ci-dessus, on cherche à déterminer Q_0 par la méthode de la "charnière", convergence des débits de tarissement pour différentes années, on trouve $Q_0 = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondant sensiblement à la première semaine d'août. La décrue qui se poursuivrait, s'il n'y avait pas les apports de la nouvelle année hydrologique, serait située entre les deux fonctions :

$$Q_1 = 2,4 e^{-0,045 t} \quad \text{et} \quad Q_2 = 2,4 e^{-0,0020 t}$$

La quantité d'eau W qui continuait à s'écouler pendant un temps infini, après la décrue annuelle serait

$$W_1 \leq W \leq W_2$$

$$W_1 = \frac{2,4 \times 86.400}{0,0045} = 46.10^6 \text{ m}^3$$

$$W_2 = \frac{2,4 \times 86.400}{0,0020} = 104.10^6 \text{ m}^3$$

Pour un bassin versant hydrologique de 1.530 km^2 la hauteur d'eau correspondante serait de :

$$H_1 = \frac{W_1}{S_{BV}} = \frac{46.10^6 \text{ m}^3}{1530.10^6 \text{ m}^2} = 0,030 \text{ m}$$

$$H_2 = \frac{W_2}{S_{BV}} = \frac{104.10^6 \text{ m}^3}{1530.10^6 \text{ m}^2} = 0,068 \text{ m}$$

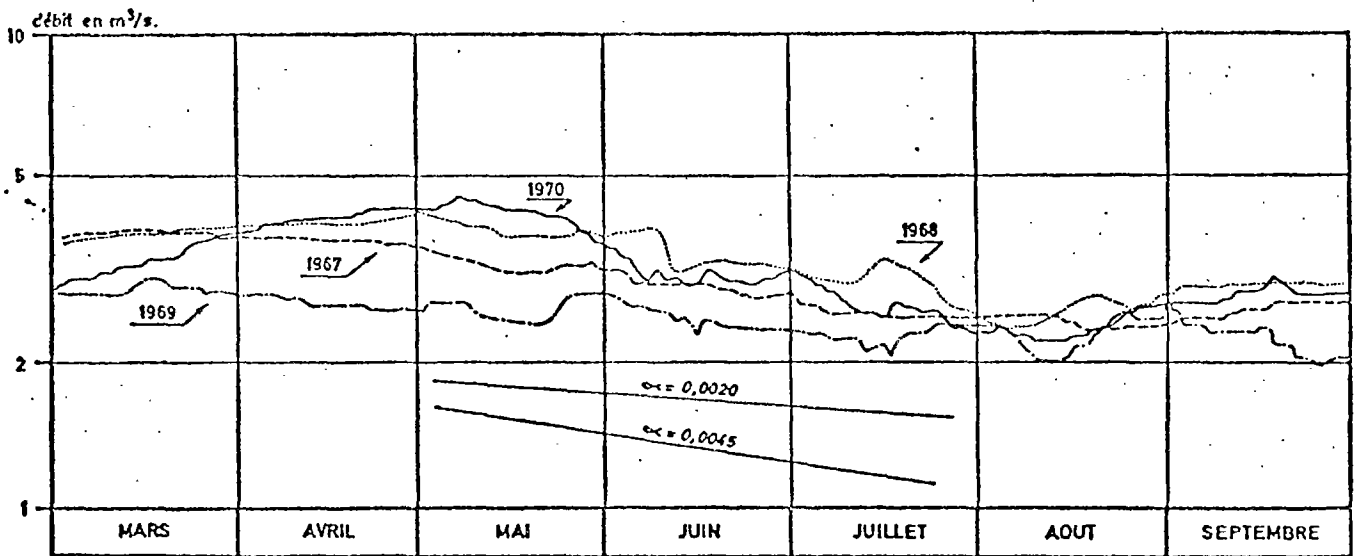
On voit donc que cette valeur est extrêmement faible puisque comprise seulement entre 30 et 68 mm d'eau. Même si l'on considère pour le cas de la Conie, que le bassin ~~versant~~ souterrain est réduit de moitié par rapport au bassin de surface (débit spécifique moitié de celui de l'ensemble de la Beauce) on ne trouve au maximum que 136 mm d'eau, ce qui est vraisemblablement beaucoup trop faible.

estimation
Si l'on ~~prend~~ *estimation* d'une même façon l'étude du tarissement sur les autres cours d'eau de la Beauce, on trouve également les valeurs incompatibles avec ~~ce qu'on est en droit d'espérer~~ des réserves probables.

Plusieurs explications sont possibles :

1. - Le volume des réserves ainsi calculé est celui qui est situé au-dessus de la cote de jaugeage et sous le niveau piézométrique d'étiage, il est faible si le jaugeage est situé trop à l'amont sur la rivière. Ainsi pour la Conie le zéro de l'échelle de la station est à la cote 111,20 et les basses eaux de la période considérée se trouvent vers 115 m dans le centre du bassin et 130 maximum en limite nord. Cette remarque pourrait également s'appliquer à l'Aigre mais pas aux autres bassins, notamment à l'Essonne où les jaugeages sont effectués à la cote + 46.
2. - Les vallées peuvent être colmatées par de la tourbe et la cote réelle, des déversements se situe bien au-dessus de la cote où s'effectue les jaugeages (cas possible pour l'Essonne).
3. - Les ~~différentes~~ cotes naturelles des exutoires de la nappe de Beauce étant différentes, il peut y avoir, au cours du tarissement capture progressive du bassin considéré par un bassin voisin d'exutoire plus bas.

Fig.14 - Courbes de tarissement de la Conie.



4. - Il y a un sous-écoulement important à l'aplomb de la station considérée, ce qui fausse le jaugeage en période d'étiage. Ce cas peut être fréquent dans des pays calcaires où les réseaux karstiques suivent souvent l'axe de la vallée.

5. - Enfin, on peut considérer que la période d'observation n'est pas assez longue et que la véritable droite semi-logarithmique du tarissement n'est pas celle que l'on observe de mai à août.

Nous voyons donc qu'il faut être extrêmement prudent sur l'interprétation des courbes de tarissement, notamment en ce qui concerne les réserves profondes du réservoir calcaire en Beauce. Le climat du Bassin parisien ne permet pas en fait d'observer de courbes de tarissement suffisamment longues et représentatives.

*écrire
finir*

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

Publications

- ALINEN H. (1936) Etude sur le Stampien du Bassin de Paris
Thèse Mém. S.G.F. XIV n° 31
- ARCHAMBAULT G. (1964) Les dépressions formées au N.E. d'Orléans. D.E.S. Paris.
- CHAMPION M. et Coll. (1969) Etude des sols de fondation du deuxième Pont de Blois.
Bull. Liaison Lab. routiers fr., n° 38, p. 37-53
- DESPREZ N. (1965) Connaissances nouvelles sur la structure de la Beauce
MEGNIEN Cl. B.S.G.H. 7, VII, p. 303.
- DESPREZ N. (1971) Structure de la base des dépôts lacustres sous la Beauce
et la Sologne
Bull. B.R.G.M. (2), 1,2, 1971, p. 89
- DESPREZ N. (1972) Hydrogéologie des formations lacustres en Beauce et en
Sologne. Journées sur le Calcaire de Beauce - C.E.T.E.
Blois 1972.
- DENIZOT G. (1927) Les formations continentales Orléanaises.
Thèse Imp. LAUNAY Vendôme.
- DENIZOT G. (1968) Le Néogène dans le Bassin de la Loire, Orléanais, Tourain
et Anjou. Mém. Soc. Min. Bretagne, 1968 p. 1 à 21.
- DOLLFUS G.F. (1905) L'eau en Beauce.
B.S.C.G.F. n° 107, T. XVI (juillet 1905).
- GINSBURG L. (1963) Histoire paléontologique du bassin de la Loire au Miocène
Bull.Ass.Nat.Orléanais, XXI, p. 3-13.
- GIGOUT M. (19) Esquisse géologique de la région Centre.
2ème éd. annales C.R.D.P.
- GIGOUT M., HOREMANS P., (1972) Sur la géologie des environs d'Orléans.
RASPLUS L. Bull. B.R.G.M. 2, s. n°1.
- GOBILLOT T., HLAVEK R., (1963) Cartes d'évapotranspiration potentielle. Interpré-
LECARPENTIER C., TURC L. tation et utilisation.
Bull.Tech. Génie rural, n° 60, C.E.R.A.F.E.R.
- GROSSOUVRE A. de (1909) Sur la Molasse du Gâtinais.
B.S.G.F. (6) 11, p. 367-372.
- LAFERRERE M.H. (1936) La nappe des puits dans le département d'Eure et Loir.
Ann. Min. Agriculture Paris.
- LECOINTRE G. MARIE P. (1950) Extension du Stampien au Sud d'Orléans.
SOYER R. C.R.Som. S.G.F. p. 11.
- LORAIN J.M. (1962) Etude géologique sur le Crétacé et le Tertiaire de la
région de Blois. D.E.S. Paris.
- LORAIN J.M. (1972) La géologie du Calcaire de Beauce. Journées sur le Cal-
caire de Beauce. C.E.T.E. Blois 1972.
- MACAIRE J.J. (1971) Etude sédimentologique des formations superficielles
sur le tracé de l'autoroute A.10 entre Artenay et Meung-
sur-Loire. Thèse 3ème cycle Orléans.

- 30
- MAUVISSEAU J. (1959) La rivière souterraine d'Orchaise.
 RENAULT P. Ann. Spéléo. XIV, Fas. 1,2
- MEGNIEN Cl., DIFFRE P., Atlas des nappes aquifères de la région parisienne.
 RAMPON G., et coll. (1970) Ed. B.R.G.M. Paris.
- MEGNIEN Cl. (1971) Observations sur les ondulations tectoniques du Bassin
 de Paris et hypothèse sur une dislocation majeure du
 socle.
 Bull. B.R.G.M. (2), 1,2; 1971 p. 31.
- MORETTE A. (1958) Le développement des fumures artificielles influence-t-il
 la minéralisation des eaux souterraines.
 L'Eau, Déc. 1958, p. 333-338.

Travaux inédits et rapports

AGRICULTURE (Ministère de) 1970

Résultats statistiques. Le Blé et l'Orge dans le Loiret
 1963-1969. D.D.A. Loiret, Déc. 1970.

B.R.G.M. (1964-1971) Rapports d'études pour l'Administration

D.S.G.R. 64 A 27	DESPREZ-MEGNIEN
D.S.G.R. 67 A 7	DESPREZ
D.S.G.R. 67 A 11 et A 86	DESPREZ-DUPRE-MARTINS
68 SGL 27 BDP	DUPRE-DESPREZ-VILLALARD
68 SGL 68 BDP	DESPREZ-MARTINS
68 SGL 68 BDP	RAMPON
69 SGL 149 BDP	CAUDRON-DESPREZ-DUPRE-MARTINS
70 SGN 162 BDP	CAMPINCHI-RAMPON
71 SGN 37 BDP	MARTINS
71 SGN 331 BDP	CAUDRON-DESPREZ-RAMPON-ROUSSELOT-VIOT

CIRCONSCRIPTION ELECTRIQUE (1ère) (1965-1971)

Tableaux des débits journaliers de l'Essonne et du Fusain

GROUPEMENT SPELEOLOGIQUE ORLEANAIS (1966)

Etude hydrogéologique de la Forêt d'Orléans.

SERVICE HYDROLOGIQUE CENTRALISATEUR (1965-1971)

Tableaux des débits journaliers de la Conie, de l'Aigre
 et de la Cisse.

SERVICE REGIONAL DE L'AMENAGEMENT DES EAUX (1968-1971)

Tableaux des variations piézométriques du réseau S.R.A.E.
 de la Beauce.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Substratum des calcaires lacustres.
- Fig. 2 - Coupe schématique ORLEANS-MELUN.
- Fig. 3 - Coupe schématique CHATEAUDUN-ORLEANS-MONTARGIS.
- Fig. 4 - Limites et extensions des faciès principaux.
- Fig. 5 - Puissance et extension de la Molasse du Gâtinais.
- Fig. 6 - Structure tectonique de la Beauce au niveau du mur des calcaires lacustres.
- Fig. 7 - Piézométrie de la nappe de Beauce.
- Fig. 8 - Perméabilités relatives des Calcaires de Beauce.
- Fig. 9 - Variations piézométriques de la nappe des Calcaires de Beauce.
- Fig.10 - Déphasage et amortissement des variations piézométriques avec la profondeur de la nappe.
- Fig.11 - Variations piézométriques de la nappe des Calcaires de Beauce - Toury, forage de la sucrerie (Eure-et-Loir) - ~~Sol~~ 132
- Fig.12 - Répartition géographique des principales caractéristiques hydrochimiques de la nappe des Calcaires de Beauce.
- Fig.13 - Comparaison entre les apports et l'écoulement total en Beauce calcaire.
- Fig.14 - Courbes de tarissement de la Conie.