

HYDROGÉOLOGIE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE A WATERMAEL-BOITSFORT (*)

par A. MONJOIE (**)

(11 fig. dans le texte)

RÉSUMÉ

Les deux nappes captives du Landénien inférieur et du Primaire ont été testées dans deux ouvrages distants de 150 m et séparés par une faille du socle. Il en résulte un compartimentage partiel des aquifères se marquant par une réduction d'environ 4 fois des caractéristiques hydrogéologiques. Une acidification répétée des tuffeaux glauconieux du Landénien inférieur a permis de tripler les rendements spécifiques.

ABSTRACT

The two captive water bodies of the Lower Landenian and the Palaeozoic have been studied at two sites 150 metres apart and separated by a basement fault. The study has revealed a partial separation of the aquifers which results in a four-fold reduction of the hydrogeological characteristics. Repeated acidification of the calcareous, glauconitic sediments of the Lower Landenian has tripled the specific output.

Le sous-sol de Bruxelles contient une série de nappes aquifères captives dans les niveaux sableux du Tertiaire, dans les craies du Secondaire et au sommet altéré du Primaire.

Dans l'agglomération bruxelloise, plus d'une centaine de puits et sondages captent ces différentes nappes des débits variant généralement entre 3 et 15 m³/h par ouvrage, des maxima de 30 à 60 m³/h étant obtenus parfois dans les craies crétacées.

Cependant, peu de tests de pompage ont été réalisés sur ces puits et les caractéristiques hydrogéologiques des nappes sont peu connues.

La réalisation d'un sondage de reconnaissance et d'un puits de captage à Watermael-Boitsfort nous a permis de conduire une série de tests hydrogéologiques et de définir les caractéristiques des aquifères.

Les terrains recoupés par ces 2 ouvrages distants de 175 m sont décrits par ailleurs (***). Au point de vue hydrogéologique, il suffit de rappeler que sont recoupés de bas en haut :

- une dizaine de m de terrains superficiels et de sables bruxelliens
- 21 à 22 m d'Yprésien Yd : sables très fins avec quelques niveaux plus argileux
- 25 à 27 m d'Yprésien Yc formé d'argile grise plus ou moins sableuse
- 11 à 13 m de Landénien Lld constitué de sable fin

(*) Communication présentée le 2 mai 1972, manuscrit déposé le 19 juillet 1973.

(**) Maître de conférence à l'Université de Liège, Institut de Géologie, 7 place du Vingt-Août, 4000 Liège.

(***) Voir bibliographie *in fine*.

- une vingtaine de m de Landénien Llbc comprenant :
 - 9 à 10 m de sables silto-argileux assez mal classés
 - 7 à 10 m de grès glauconieux à ciment calcaire (Tuffeau ?)
 - 3 m de sable silto-argileux
- un mince lit de silex noir (Lla ?)
- le socle est formé de grès roses ou gris avec quelques zones d'argile de broyage.

Quatre nappes aquifères captives ont été recoupées par ces ouvrages :

1° *Nappe de l'Yprésien Yd*

Elle occupe une série de niveaux aquifères dans les horizons sableux séparés par les couches plus argileuses sans que l'on puisse cependant parler de nappes distinctes.

Les sables très fins présentent une perméabilité faible. D'après les données granulométriques (formule de Hazen), la valeur approchée du coefficient de perméabilité K est de l'ordre de 2.10^{-5} m/sec pour les sables les mieux classés. Cette valeur diminue rapidement quand la teneur en argile augmente.

Dans la zone étudiée, l'Yprésien est directement surmonté par le Bruxellien qui contient une nappe aquifère importante. Aucun niveau imperméable ne séparant les deux horizons, l'alimentation de la nappe de l'Yprésien se fait en grande partie par celle du Bruxellien.

La nappe de l'Yprésien devient captive sous les alluvions de la vallée. Lors du forage, elle était légèrement artésienne, sa cote d'équilibre se situant à 1,02 au-dessus de la surface du sol.

Un débit naturel de 48 litres/h était obtenu à 0,19 m au-dessus du sol, soit pour un rabattement de 0,83 m.

2° *Nappe du Landénien Lld*

Elle est localisée dans des sables verts plus ou moins mouvants d'une puissance de 13 m avec les argiles de l'Yc au toit et celles de Llbc au mur.

La cote d'équilibre de cette nappe captive n'a pas été mesurée avec précision; elle se situe approximativement à 5 m sous la surface du sol.

Ces sables présentent une perméabilité faible. D'après les données granulométriques, la valeur approchée du coefficient de perméabilité K est de l'ordre de 1.10^{-4} m/sec pour les sables les mieux classés mais elle peut tomber à 1.10^{-5} m/sec si le classement est moins bon.

Aucun test valable n'a été réussi dans cette formation. D'après les renseignements connus dans Bruxelles, cette nappe peut donner des débits de 2,5 à 7,5 m³/h. Son débit spécifique varie de 0,1 à 0,7 m³/h par mètre de rabattement.

3° *Nappe du Landénien Llb*

Elle est contenue dans les joints et fissures de la formation de grès glauconieux d'une puissance de 10 m dont la perméabilité en petit est très faible. Ils sont situés sous les sables argileux du Llbc supérieur et au-dessus des sables argileux du Llbc inférieur. Il ne semble pas que ceux-ci puissent former un réel niveau de base et il y a vraisemblablement communication avec la nappe sous-jacente. La cote d'équilibre du niveau piézométrique de cette nappe s'établit à plus ou moins 6 m sous la surface du sol.

4° *Nappe du Primaire*

Elle est contenue dans les joints et fractures du sommet du Primaire altéré. La cote d'équilibre du niveau piézométrique de cette nappe s'établit à plus ou moins 6 m sous la surface du sol.

En raison de l'existence d'une faille affectant principalement le socle et rejoignant au Landénien, les caractéristiques de ces 2 derniers aquifères sont assez différentes entre le sondage et le puits. Ceci se répercute de façon sensible sur le comportement hydrogéologique des nappes.

Nous examinerons successivement les résultats des tests réalisés dans le sondage et dans le puits de façon à mettre en évidence le phénomène.

1° *sondage de reconnaissance (*)*

a) *nappe du Landénien inférieur* sise dans les 10 m des grès glauconieux (Tuffeau?)

1. Deux séries de tests de réalimentation à débit et hauteur constants ont été réalisés d'une part en cours de creusement et d'autre part 2 mois plus tard après plusieurs incidents ayant entraîné un certain colmatage de la formation.

Les résultats sont donnés au diagramme 1.

Les débits spécifiques d'injection sont respectivement de 0,365 m³/h et 0,119 m³/h par m de surcharge.

Le calcul du coefficient de perméabilité K de Darcy a été réalisé par la formule de Dupuit appliquée à la nappe captive

$$Q = 2,73 K e \frac{H}{\log \frac{R}{r}} \quad \text{avec}$$

- Q = débit
- H = hauteur de surcharge
- e = épaisseur de la formation
- r = rayon du puits
- R = rayon d'influence du puits
- K = coefficient de perméabilité

On obtient respectivement

$$K = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec et } 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

La courbe de retombée du cône de suralimentation est donnée au diagramme 2. L'interprétation est basée sur les formules de non équilibre (approximation logarithmique)

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t}{t'} \quad \text{avec}$$

- T = transmissivité = K.e
- t = temps écoulé depuis le début de l'essai
- t' = temps écoulé depuis l'arrêt de l'essai

On obtient K = 0,98.10⁻⁵ m/sec.

(*) Ouvrage réalisé par la firme Delecourt.

2. Un essai de pompage à l'émulseur a été effectué au débit de 2,8 m³/h durant 8 h. Le rabattement n'a pu être mesuré en raison du mode de pompage. Seule la courbe de montée a été relevée (voir diagramme 3).

L'interprétation par les formules de non équilibre donne

$$K = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

Un second essai de pompage a été réalisé à 3 m³/h durant 50 h. En courbe de remontée, on obtient :

$$K = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

3. Au point de vue qualité de l'eau, 4 échantillons ont été prélevés après 4, 8, 24 et 48 h de pompage. On observe les résultats suivants : (*)

- le pH se stabilise aux environs de 8
- le taux d'alcalinité augmente : (14°, 25,2°, 27,7°, 28,6° F
- H CO₃ augmente : (151,28), 307,44, 337,94, 348,93 mg/l
- Cl constant : 14,20 mg/l
- SO₄ diminue : 26, 14,4, 9,50, 9,50 mg/l
- SiO₂ augmente légèrement : —, 23,70, 28,50, 29,40 mg/l
- la dureté augmente : 13,8°, 23,6°, 26,8°, 27,4° F
- Ca augmente : 29,6, 62,4, 70,40, 71,20 mg/l
- Mg augmente : 15,5, 19,4, 22,35, 23,30 mg/l
- NO₃ augmente : —, —, 0,115, 0,296 mg/l
- NO₂ augmente : —, 0,057, 0,038, 0,108 mg/l
- Fe est sensiblement constant : 0,312 mg/l
- NH₄ augmente : —, 0,109, 0,109, 0,140 mg/l

Dans l'ensemble, la concentration en sels augmente sensiblement surtout pour les ions HCO₃ et Ca. Seuls Cl, Fe et SO₄ restent constants ou diminuent.

Le phénomène assez normal dans la phase de mise en débit d'un horizon aquifère, tend à se stabiliser progressivement. Cette tendance paraît se dessiner déjà vers la fin de l'essai. Cependant, on s'explique mal l'augmentation importante de HCO₃ peut être due au mode de pompage par injection d'air.

b) *nappe du Primaire*

1. Des tests de suralimentation à des débits et niveaux constants ont été réalisés (diagramme 1). L'interprétation par la formule de Dupuit donne

$$K = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

La courbe de retombée de la surcharge (diagramme 2) donne

$$K = 0,56 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

Le débit spécifique d'injection est de 0,18 m³/h par m de surcharge.

2. Des essais de pompage à émulseur ont été effectués aux débits de 2,46 à 3 m³/h. Les courbes de remontée du cône de rabattement interprétées en diagramme semi-logarithmique (document 3) donne

$$K = 0,3 \text{ à } 1,14 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec.}$$

(*) Analyses exécutées par les Laboratoires Reignier de Bruxelles.

3. Au point de vue qualité de l'eau, on a obtenu les résultats suivants :

— pH : 8	CO ₃ : 0
— TA : 0	H CO ₃ : 296,46 mg/l
— TAC : 24,3° F	OH : 0
— D _{tot} : 22,8° F	Cl : 14,20 mg/l
— D _{temp.} : 22,8° F	SO ₄ : 14,40 mg/l
SiO ₂ : 22,50 mg/l	
Ca : 58,4 mg/l	
MY : 19,9 mg/l	
NO ₃ : 0	
NO ₂ : 0,050 mg/l	
Fe : 0,9 mg/l	
NH ₄ : 0,187 mg/l	

c) *Ensemble des nappes du Landénien inférieur et du Primaire.* Ces 2 nappes communiquent vraisemblablement à travers l'horizon de sables argileux du L1bc inférieur. Les tests ont été réalisés sur l'ensemble des 2 nappes en suralimentation (voir document 1). On a obtenu un débit spécifique d'injection de 1 m³/h par m de surcharge soit un coefficient de perméabilité de $2,3 \cdot 10^{-5}$ m/sec.

Les courbes de retombée (voir document 2) interprétées en diagramme semi-logarithmique donnent des valeurs de $K = 1,2$ à $2,4 \cdot 10^{-5}$ m/sec.

2° Puits de captage (*)

Le puits a été foré sur 104,5 m au rotary en diamètre 12 1/4 pouces. Pour éviter le colmatage des aquifères, on a employé de la boue à l'amidon ultérieurement détruite par diastases. Le puits a été équipé d'un tubage de 203 m de diamètre inférieur, crépiné de 77 à 100 m par nervures repoussées d'un mm d'ouverture. Un massif filtre a été mis en place par circulation inverse, autour de la crépine.

Le puits capte la nappe contenue dans les grès glauconieux à ciment calcaire du landénien inférieur et la nappe du socle primaire, soit 17 m d'aquifère.

Le niveau piézométrique se situe à 8 m de profondeur.

Les tests suivants ont été réalisés

— 1) pompage durant 12, 53 et 24 heures à différents paliers de 4,3 ; 5,3 ; 6,3 m³/h (doc. 9, 10). L'interprétation par les formules de Theis donne

en début de pompage $T = 7,5 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

en fin de rabattement $T = 41 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

en courbe de remontée $T = 5,1 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

— 2) acidification avec 200 kg d'acide amino-sulfonique; pompage à débit de 8,3 m³/h durant 10 heures. On obtient (doc. 11, 12)

en début de pompage $T = 9,4 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

en fin de pompage $T = 9 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

en courbe de remontée $T = 7 \cdot 10^{-6}$ m²/sec

(*) Réalisé par SOLETANCHE.

— 3) acidification avec 1000 kg d'acide amino-sulfonique; pompage à débit de 7,3 m³/h (doc. 13, 14) durant 10 h.

On obtient :

en début de pompage $T = 13.10^{-6}$ m²/sec

en fin de pompage $T = 66.10^{-6}$ m²/sec

en courbe de remontée $T = 10.10^{-6}$ m²/sec

— 4) pompage durant 10 heures en débit de 6,7 m³/h (doc. 15, 16). On obtient

en début de pompage $T = 16.10^{-6}$ m²/sec

en fin de pompage $T = 22.10^{-6}$ m²/sec

en courbe de remontée $T = 12.10^{-6}$ m²/sec

— 5) pompage de 9 heures à 6,3 m³/h (doc. 17,18). On obtient $T = 15.10^{-6}$ m²/sec; en courbe de remontée

on obtient $T = 15.10^{-6}$ m²/sec.

Pompage de 6,7 m³/h durant 6 h (doc. 19), on obtient $T = 68.10^{-6}$ m²/sec.

En remontée $T = 15.10^{-6}$ m²/sec.

Pour chacun des tests, on observe successivement, en fonction du temps de pompage :

- un rabattement important et rapide auquel correspondent des transmissivités variant de 0,7 à 1,510⁻⁵ m²/sec suivant les essais
- un rabattement faible et plus lent auquel correspondent des transmissivités variant de 4,0 à 6.10⁻⁵ m²/sec, c'est-à-dire environ quatre fois plus élevées
- une stabilisation souvent atteinte en moins d'une demi-heure et à laquelle correspondent des transmissivités de 3 à 7.10⁻⁵ m²/sec suivant les essais; dans certains cas, on a observé des remontées de niveau durant les pompages à débit constant
- après arrêt du pompage, une remontée rapide au départ puis plus lente donnant des transmissivités de 0,5 à 1,5.10⁻⁵ m²/sec, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que pour le premier rabattement.

On en déduit que le puits est situé dans une zone à faible transmissivité ($T = 0,7$ à $1,5.10^{-5}$ m²/sec), conditionnant le début de l'essai mais qu'à partir d'un certain temps de pompage, le rayon d'influence atteint une zone plus perméable de sorte que la transmissivité de l'ensemble atteint 3 à 7.10⁻⁵ m²/sec en fin de rabattement et en stabilisation. Ce phénomène se marquant assez rapidement (1/2 heure), il semble que cette zone perméable soit relativement proche du puits. Son influence augmente en fonction du temps à mesure que le rayon d'influence s'étend : ceci pourrait expliquer les remontées de niveau observées à débit constant. En cours de remontée finale, son rôle cesse assez rapidement et c'est la zone proche du puits qui intervient avec sa faible transmissivité.

Si l'on compare les résultats obtenus par les différents essais, on obtient le tableau suivant :

Date	1 ^{re} T m ² /sec	2 ^e T m ² /sec	T stabilisé m ² /sec	T remontée	débit spécifique Q m ³ /h/m Δ
6 juin	0,75.10 ⁻⁵	4,1.10 ⁻⁵	2,5.10 ⁻⁵	0,51.10 ⁻⁵	0,07
Acidification	.....	.....	.....	.....	.....
16 juin	0,95.10 ⁻⁵	9.10 ⁻⁵	3,7.10 ⁻⁵	0,7.10 ⁻⁵	0,11
Acidification	.....	.....	.....	.....	.....
24 juin	1,3.10 ⁻⁵	6,6.10 ⁻⁵	4,6.10 ⁻⁵	1,0.10 ⁻⁵	0,13
25 juin	1,6.10 ⁻⁵	2,2.10 ⁻⁵	5,6.10 ⁻⁵	1,2.10 ⁻⁵	0,15
26 juin	1,5.10 ⁻⁵	—	6,4.10 ⁻⁵	1,5.10 ⁻⁵	0,16
2 juillet	—	—	6,8.10 ⁻⁵	1,5.10 ⁻⁵	0,175

On constate une nette amélioration des caractéristiques hydrogéologiques de la nappe au cours des tests. Les valeurs ont doublé depuis le début. La transmissivité en début de pompage et en courbe de remontée, caractérisant la zone proche du puits, tend après la deuxième acidification à se stabiliser à 1,5.10⁻⁵ m³/sec. Par contre, la transmissivité en phase stabilisée et le débit spécifique augmentent nettement en fonction des temps cumulés de pompage et de la fréquence de ceux-ci. Le diagramme 20 montre l'évolution de la droite caractéristique du puits (rabattement en fonction du débit) lors des différents tests.

Cette évolution en fonction du temps cumulé des pompages et de leur fréquence confirme que le puits est situé dans la zone de faible perméabilité (dont les caractéristiques ont été améliorées par acidification) et qu'une zone à bonne perméabilité existe à proximité et influence progressivement les conditions de captage.

Au point de vue qualité de l'eau, on a obtenu, sur 2 échantillons, les résultats suivants :

	Éch. 7.6.1969	Éch. 9.6.1969
couleur	incolore	incolore
turbidité	léger trouble + dépôt	très léger trouble + léger dépôt
PH à 23° C	7,2	7,3
TA	0° fr	0° fr
TAC	30,8° fr	30,8° fr
Dureté totale	26,2° fr	26,6° fr
Dureté temporaire	26,2° fr	26,6° fr
Dureté permanente	0° fr	0° fr
CO ₃	0° fr	0° fr
HCO ₃	30,8° fr	30,8° fr
OH	0° fr	0° fr
Cl	3,6° fr	3,12° fr
SO ₄	1,7° fr	1,7° fr
Ca	18° fr	17,6° fr
Mg	8,2° fr	9° fr
NO ₃	0,34 mg/l	0,34 mg/l
NO ₂	0	0
Fe total	0,35 mg/l	0,40 mg/l
NH ₄	0,19 mg/l	0,12 mg/l
Matières organiques	3,9 mgr 02/litre	1,0 mgr 02/litre

En conclusion, dans le secteur étudié à Watermael-Boitsfort, le système hydrogéologique des nappes du Landénien inférieur et du socle comprend un compartiment Sud assez perméable ($T = 7.10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$) et puissant d'environ 30 m où a été implanté le sondage, et un compartiment Nord, celui du puits, moins perméable ($T = 1,5.10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$), d'épaisseur réduite de l'ordre de 17 m et relativement coupé de l'alimentation venant du Sud par le jeu d'une faille.

Les caractéristiques hydrogéologiques de la zone captée par le puits s'améliorent toutefois à mesure de l'exploitation du massif, notamment par extension de la zone d'alimentation s'étendant progressivement dans le compartiment Sud grâce au niveau de grès glauconieux.

Les différents tests réalisés confirment le schéma en indiquant la présence d'un front d'alimentation à proximité du puits.

L'analyse chimique de l'eau indique le rôle prépondérant du niveau de grès glauconieux dans l'alimentation du puits. De plus, grâce à son ciment calcaire, il a permis une acidification efficace doublant pratiquement la capacité du puits.

*Université de Liège,
Laboratoires de Géologie de la Faculté des
Sciences Appliquées.*

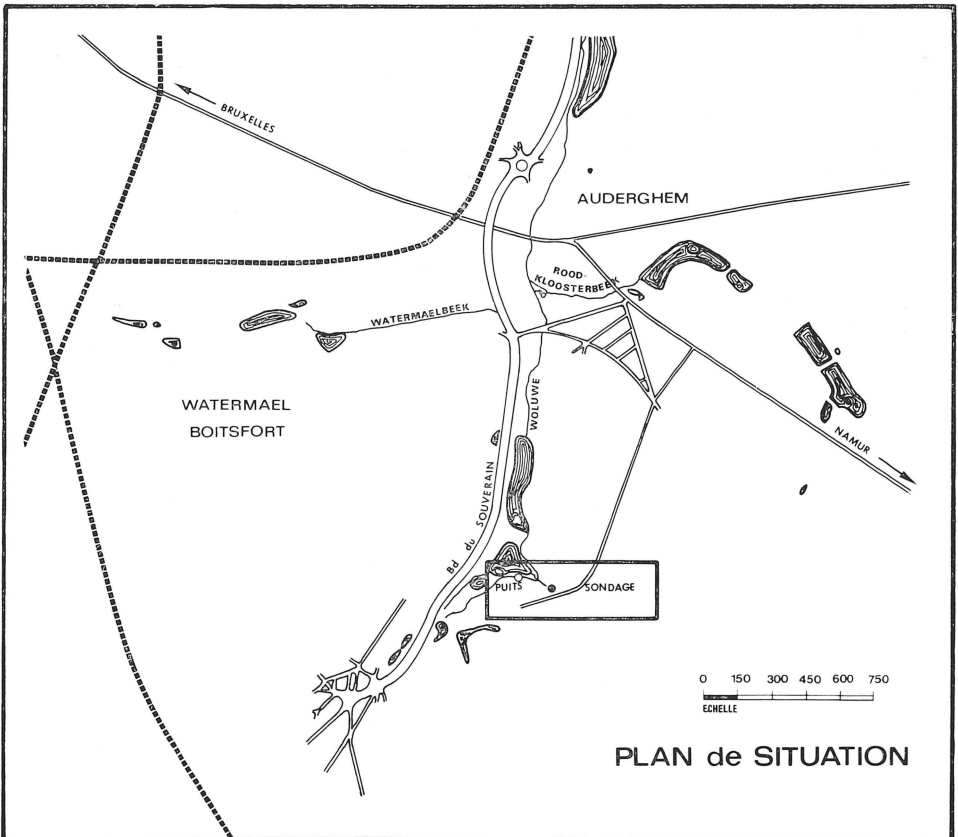


Fig. 1

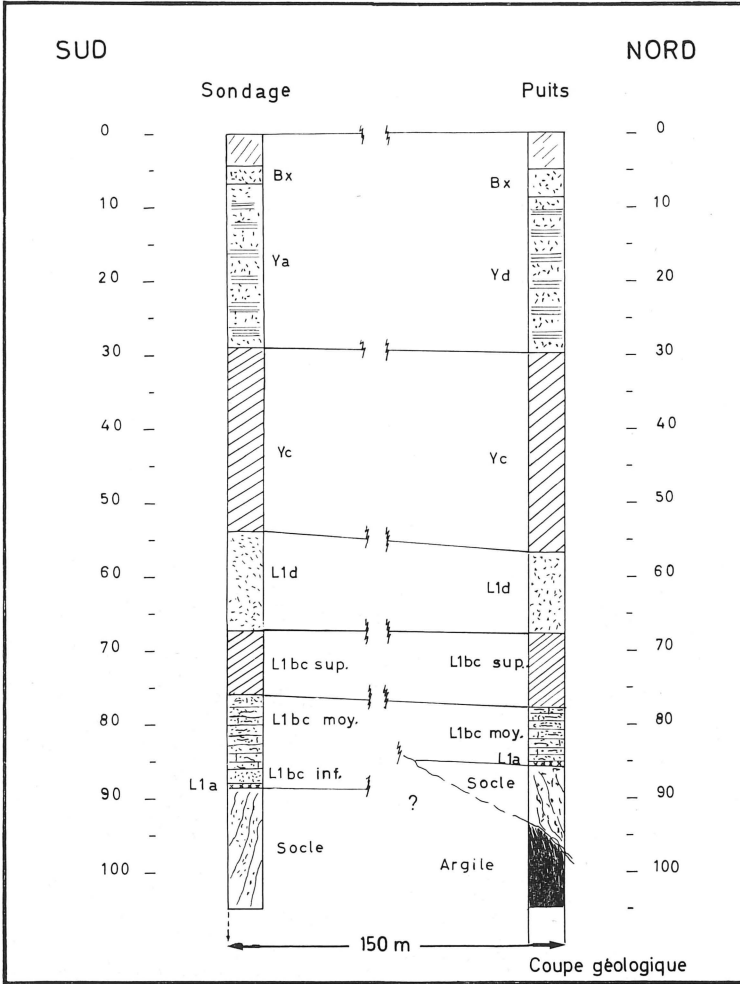


Fig. 2

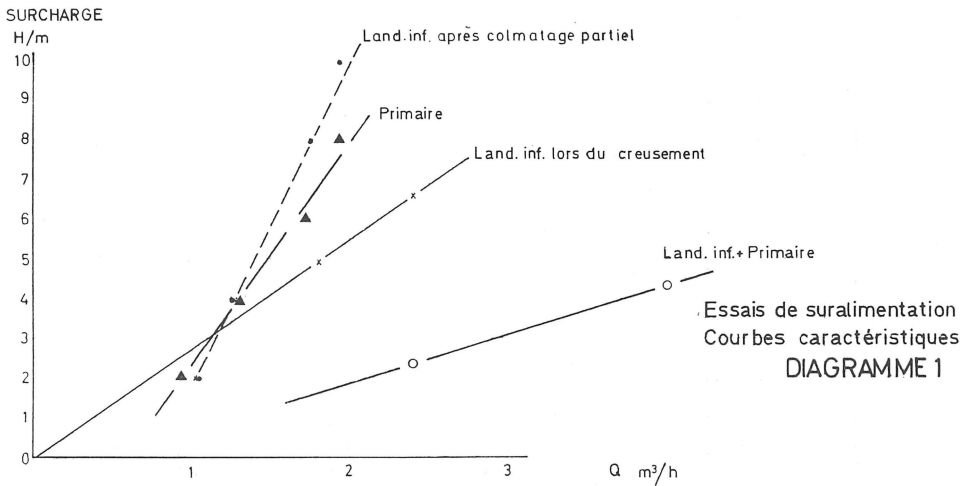


Fig. 3

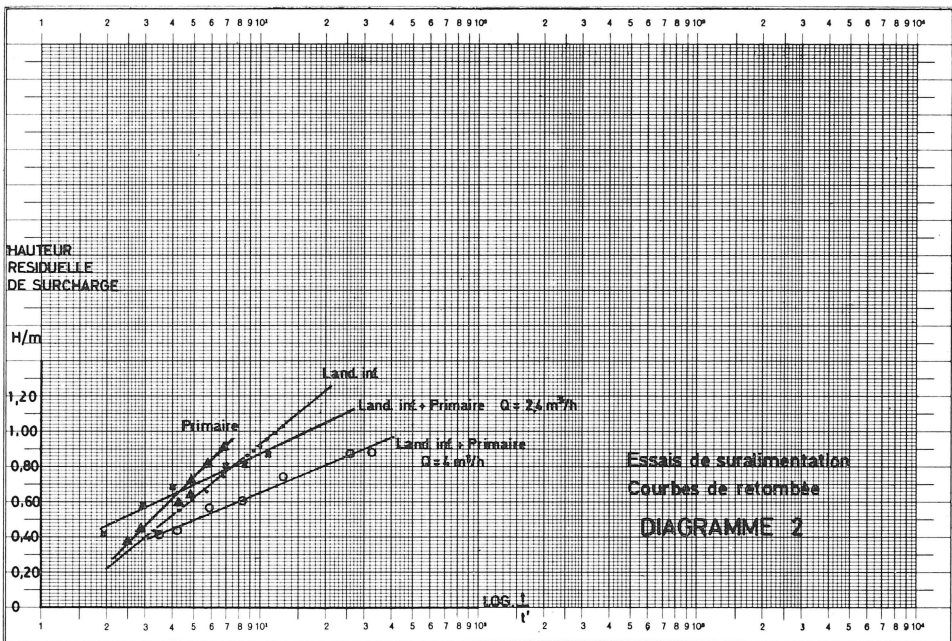


Fig. 4

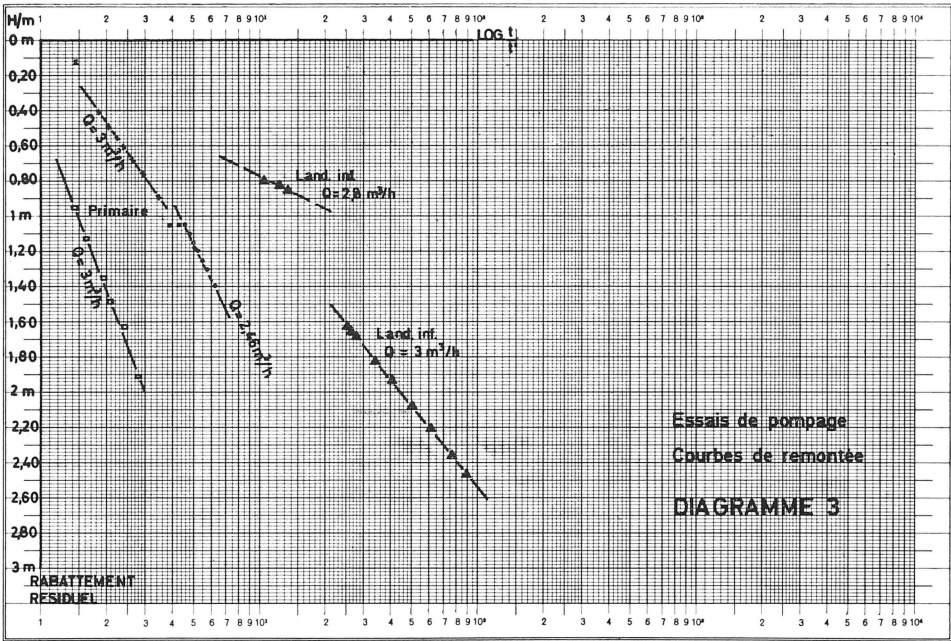


Fig. 5

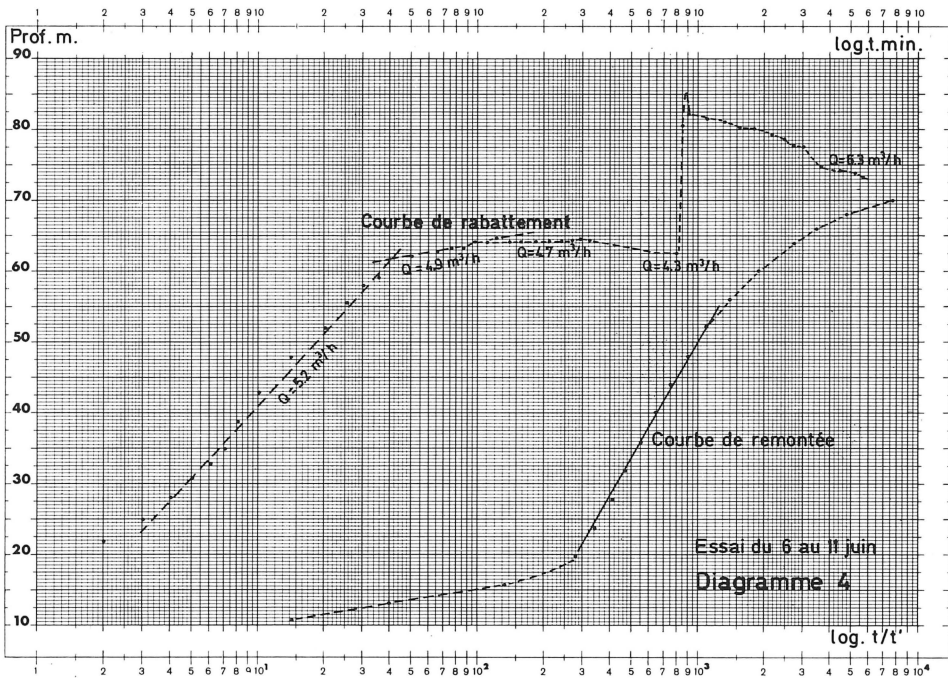


Fig. 6

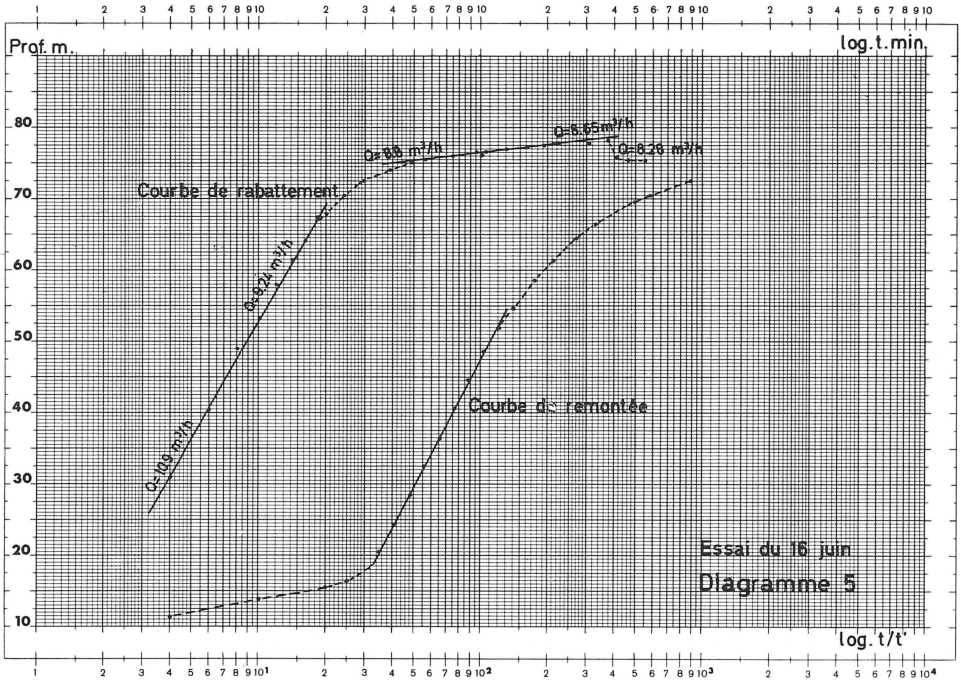


Fig. 7

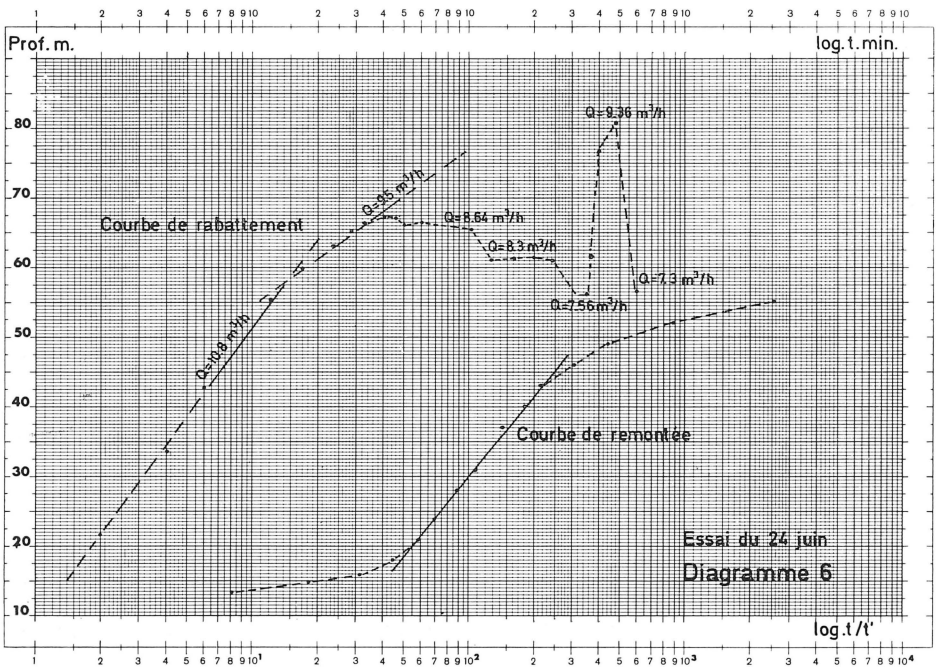


Fig. 8

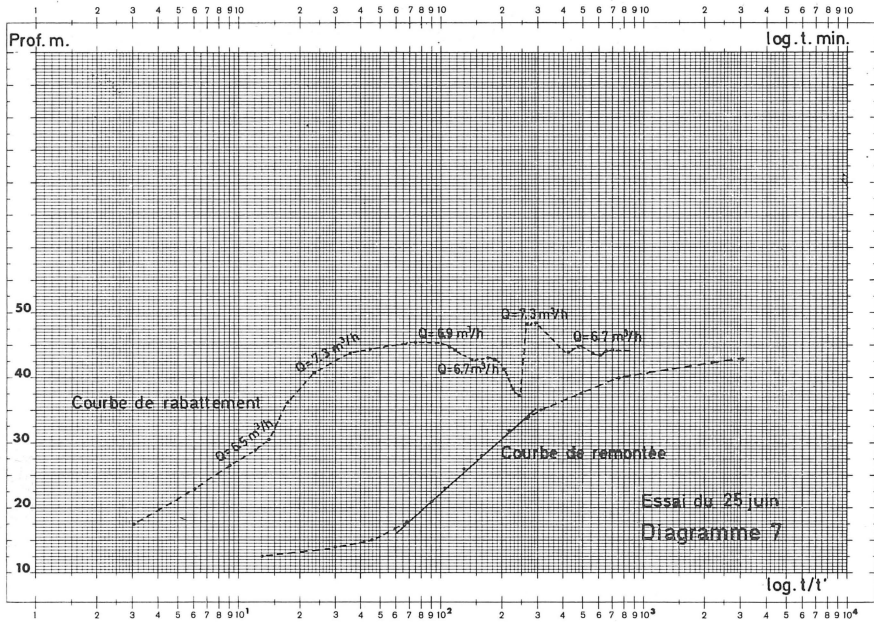


Fig. 9

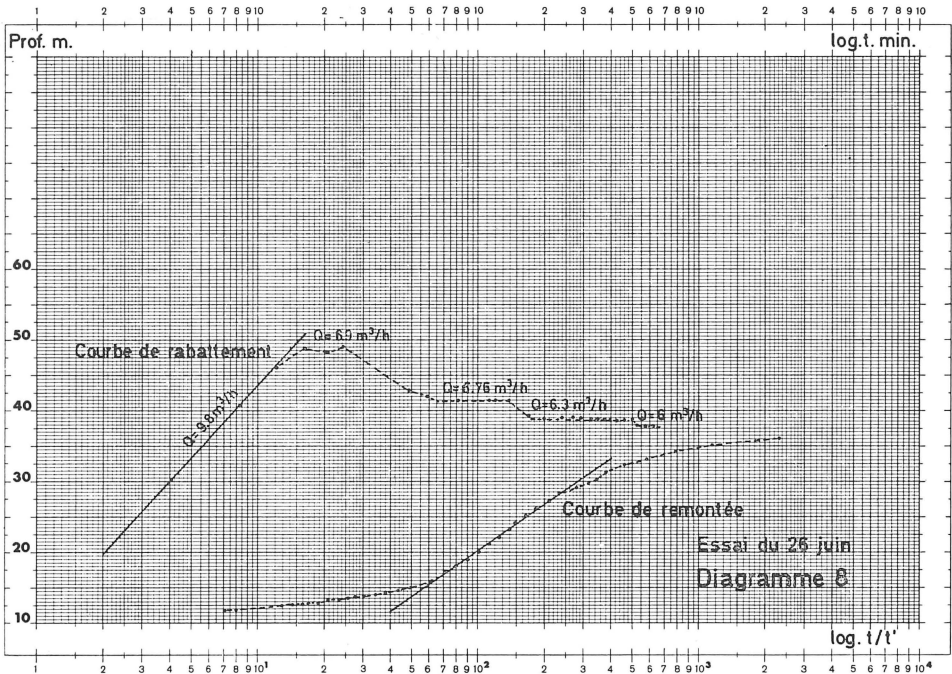


Fig. 10

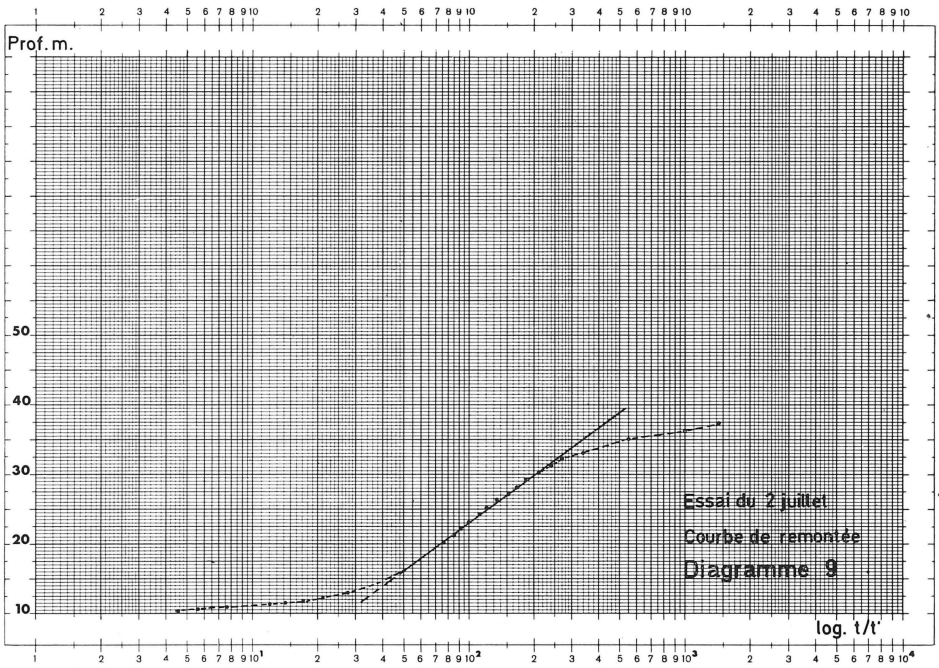


Fig. 11

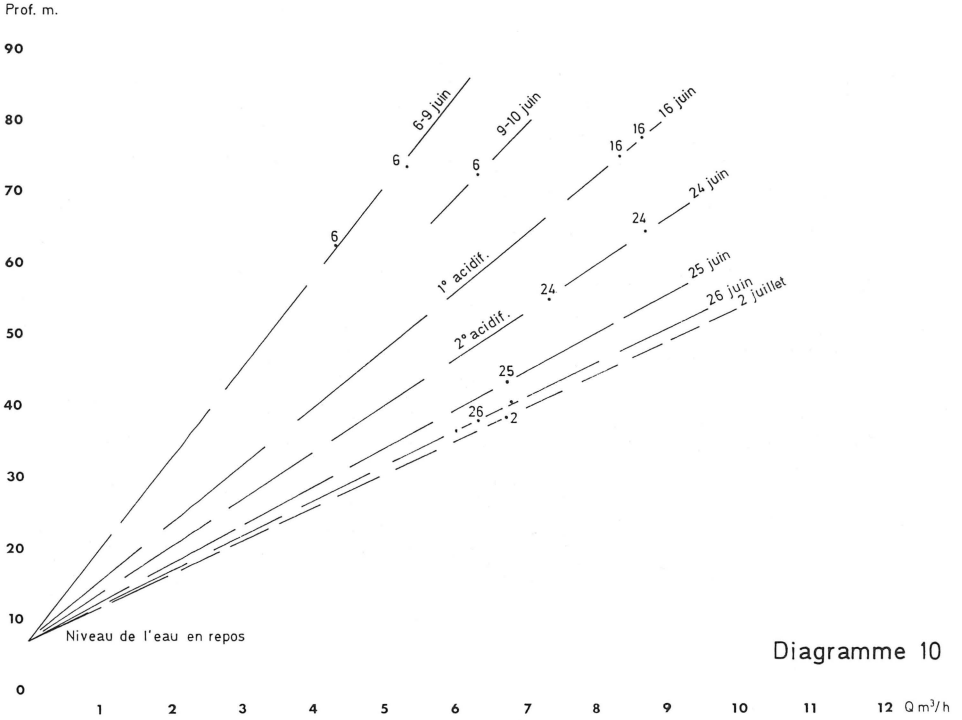


Fig. 12

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- CASTANY, G., 1963. — Traité pratique des Eaux souterraines, Dunod, Paris.
- CASTANY, G., 1968. — Prospection et exploitation des Eaux souterraines, Dunod, Paris.
- GULINCK, M., 1966. — Hydrogéologie, Atlas de Belgique, Comité national de Géographie, Institut Géographique militaire, Bruxelles.
- MONJOIE, A. — Deux sondages dans le tertiaire à Watermael-Boitsfort, Prof. Paper. Service géologique de Belgique 1973, 8 pp., 2 fig.

