

## UNE METHODE D'ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES NAPPES DE FISSURES <sup>1</sup>

par

Y. COSAN <sup>2</sup>

(14 figures et 1 tableau)

**RESUME.**- Les essais de pompage, le calcul des coefficients de vidange, la mesure des résistivités électriques des roches réservoirs et le calcul des porosités efficaces de ces dernières, permettent d'obtenir des renseignements qualitatifs et quantitatifs sur les caractéristiques hydrogéologiques des nappes de fissures du Plateau des Tailles.

La synthèse des résultats obtenus permet à l'auteur de faire une première classification hydrogéologique des roches réservoirs étudiées et d'en déduire la potentialité des nappes de fissures du Plateau des Tailles.

**ABSTRACT.**- Pumping experiments, the calculation of emptying coefficients, the measurement of resistivity in the reservoir rocks, and the calculation of effective porosity, all combine to obtain the necessary data (both qualitative and quantitative) for establishing the hydrogeological characteristics of fissure aquifers of the Tailles Plateau.

The combination of results obtained have allowed the writer to propose a provisional hydrogeological classification of the reservoir rocks studied and to deduce the potential of the aquifers of this plateau.

Dans le cadre de l'étude hydrogéologique du Plateau des Tailles, de nombreux rapports ont rendu compte de l'"Etude des niveaux d'eau et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau dans les puits".

Le travail a été complété par une campagne de tests de pompages des puits de façon à définir les caractéristiques hydrauliques, par l'étude des coefficients de vidange des puits, par détermination de la résistivité électrique des massifs rocheux environnants et par un essai de calcul des porosités efficaces des roches réservoirs.

La présente communication rend compte des résultats obtenus et offre la synthèse des recherches.

Le plan de l'étude est le suivant :

### I.- Tests de pompage des puits et calcul des débits d'alimentation

- I.1.- Généralités
- I.2.- Courbes de pompage et de remontée
- I.3.- Débits d'alimentation

### II.- Coefficients de vidange des puits

- II.1.- Généralités
- II.2.- Courbes de vidange des puits
- II.3.- Relations entre les coefficients de vidange et les débits d'alimentation.

### III.- Résistivités électriques des massifs rocheux

- III.1.- Généralités
- III.2.- Valeurs des résistivités électriques
- III.3.- Relations entre les coefficients de vidange et les résistivités des terrains.

### IV.- Essai de calcul des porosités efficaces des roches réservoirs

- IV.1.- Généralités
- IV.2.- Méthode utilisée
- IV.3.- Calcul des porosités efficaces

### V.- Conclusions

### I.- TESTS DE POMPAGE DES PUIITS ET CALCUL DES DEBITS D'ALIMENTATION

#### I.1.- GENERALITES

Le but de la campagne de pompage a été la détermination de la perméabilité des terrains entourant les

<sup>1</sup> Communication présentée le 6 décembre 1977, manuscrit déposé le 16 janvier 1978.

<sup>2</sup> Ingénieur Civil des Mines, Certificat Spécial en Géologie du Génie Civil. 332, rue Campagne, 4120 Ivoz Ramet.

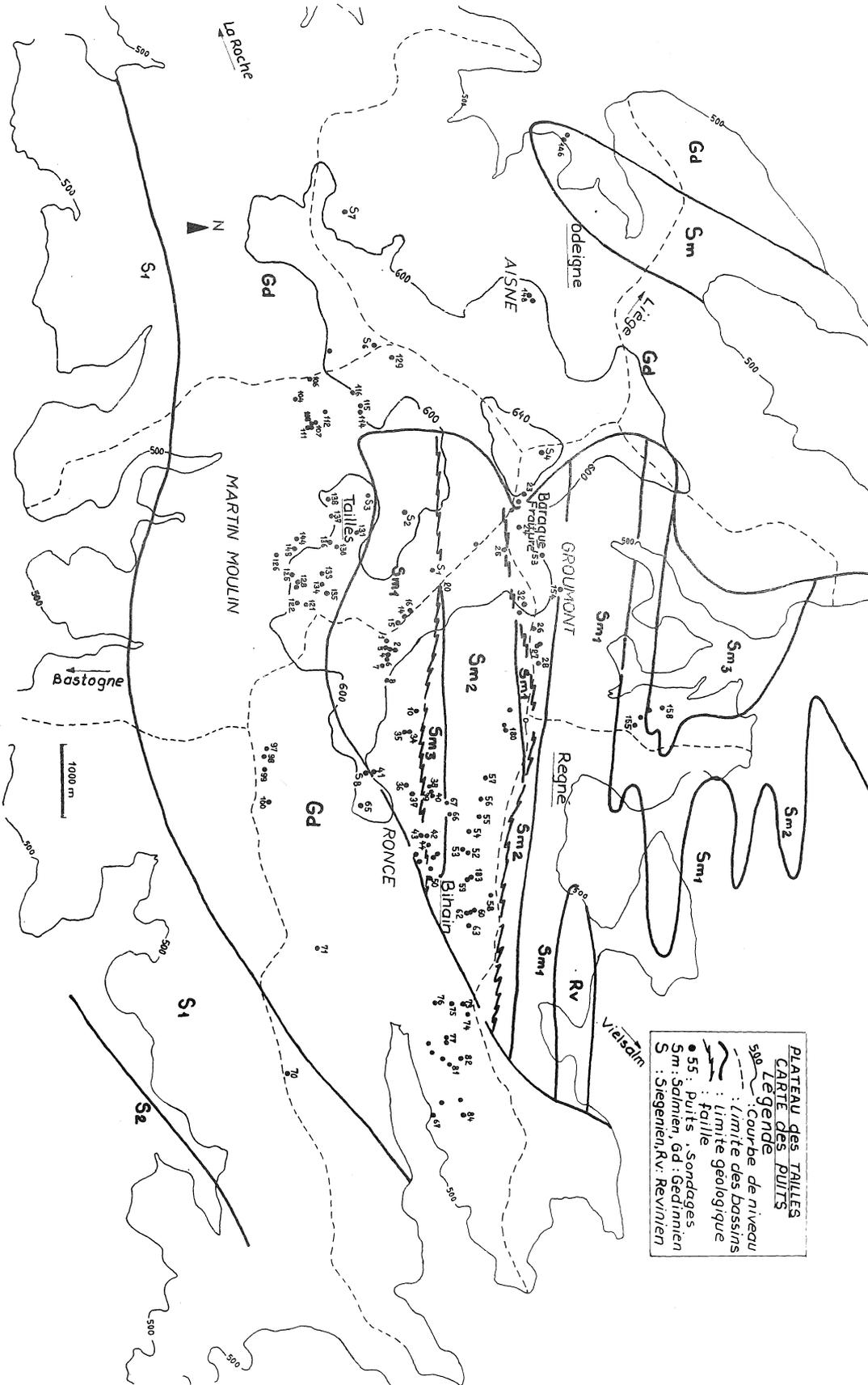


Figure 1

puits et le calcul de leurs débits d'alimentation.

Les terrains du Plateau des Tailles étant très hétérogènes et les débits d'alimentation très faibles, il n'a pas été possible, sauf rares exceptions, de réaliser des essais de pompage à débit et à niveau constants. C'est pourquoi nous avons employé la méthode de Porchet, qui consiste à pomper les puits à débit plus ou moins constant et à relever les courbes de rabattement et de remontée. Les essais de pompage ont porté sur 28 puits, choisis en fonction de leurs caractéristiques géométriques (profondeur, diamètre, ...), de leur accessibilité et de leur site géologique (fig. 1, carte de puits sur fond géologique).

En fonction de ceux-ci la répartition des puits est la suivante :

- 12 puits dans les roches du Gedinnien
- 8 puits dans les roches du Salmien
- 8 puits dans les quartzites.

Le matériel utilisé comportait une pompe automotrice "Storck", 2 compteurs de débit "Arkon" et un limnimètre H.W.K.

**I.2.- COURBES DE POMPAGE ET DE REMONTEE**

Pour tous les puits étudiés nous avons tracé les courbes de rabattement et de remontée du niveau de l'eau, relevé toutes les 5 minutes en période de pompage, toutes les 10 à 30 minutes en fin de courbe de remontée.

Les figures 2, 3 et 4 donnent les diagrammes caractéristiques des puits du Gedinnien, du Salmien et des quartzites.

Les courbes de pompage sont en général rectilignes; les courbes de remontée présentent 2 secteurs au début une courbe quasi rectiligne à forte pente suivie d'une portion à faible pente, tendant asymptotiquement vers le niveau initial de l'eau.

**I.3.- DEBITS D'ALIMENTATION DES PUITES**

**1) Méthode de PORCHET**

La méthode de Porchet permet de déterminer le débit d'alimentation d'un puits. On effectue un pompage à un débit Q constant vidant le puits et on enregistre la courbe de rabattement et la courbe de remontée du niveau d'eau dans le puits : fig. 5.

La formule ci-dessous nous donne le débit d'alimentation q, en fonction du débit de pompage Q :

$$q = \frac{Q.HB}{BC}$$

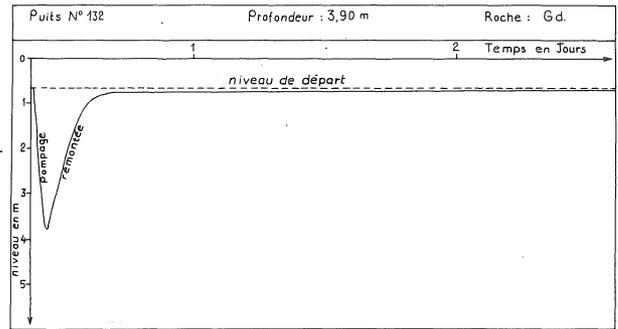


Figure 2

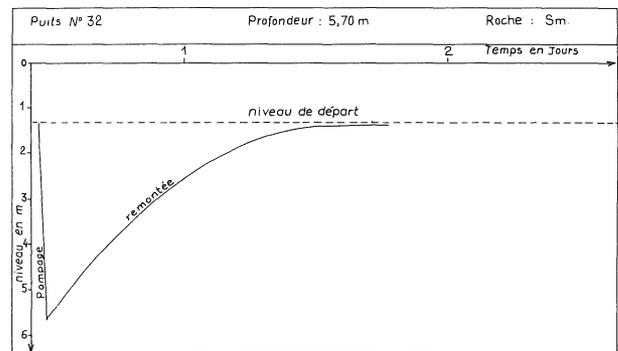


Figure 3

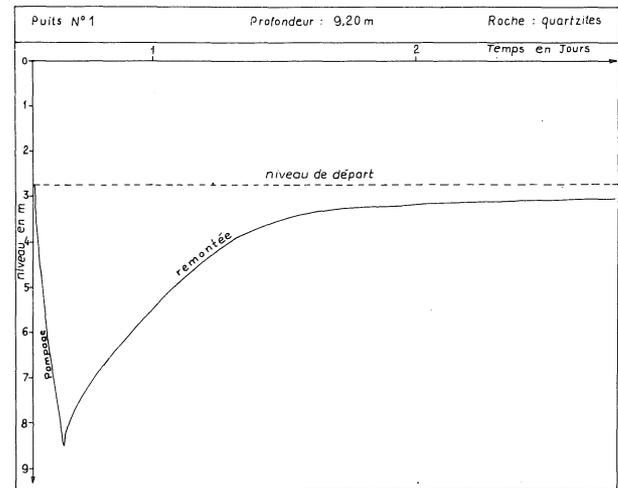


Figure 4

**2) Résultats obtenus**

Pour tous les puits, nous avons tracé les diagrammes de variations des débits d'alimentation en fonction de la profondeur.

Les figures 6, 7 et 8 donnent des exemples de ces variations. Nous observons que, sauf exception, le débit d'alimentation augmente avec le rabattement mais de façon très irrégulière et saccadée.

Pour synthétiser les résultats obtenus, nous avons tracé pour chaque entité géologique, le diagramme des pourcentages cumulés des débits d'alimentation maxima (fig. 9). Nous constatons que :

1° les puits creusés dans les roches du Gedinnien (grès, arkoses, etc.) ont les débits d'alimentation les plus élevés : 40 % de ces puits ont des débits supérieurs à 1.000 litres/heure. Les débits les plus fréquents se situent entre 300 et 3.500 litres/heure. Le débit maximum est de 7.000 litres/heure.

2° dans les quartzites, seulement 20 % des puits donnent des débits supérieurs à 1.000 litres/heure. Les débits les plus fréquents se situent entre 50 et 1.000 litres/heure. Le débit maximum est 6.000 litres/heure.

3° les débits d'alimentation des puits creusés dans les roches du Salmien (schistes, phyllades, etc.) sont faibles. Seulement 15 % de ces puits ont des débits supérieurs à 1.000 litres/heure. Les débits les plus fréquents se situent entre 50 et 750 litres/heure. Le débit d'alimentation maximum est de 2.000 litres/heure.

Il existe de grandes différences entre les débits d'alimentation des puits dans une même entité géologique.

Aucune relation n'a pu être mise en évidence entre les débits et la tectonique du massif (plis, failles, etc.). Les puits du Plateau des Tailles, étant peu profonds, ne semblent pas influencés par ces phénomènes.

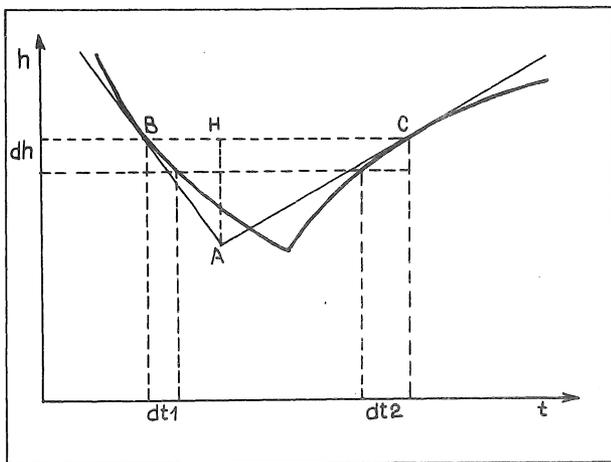


Figure 5

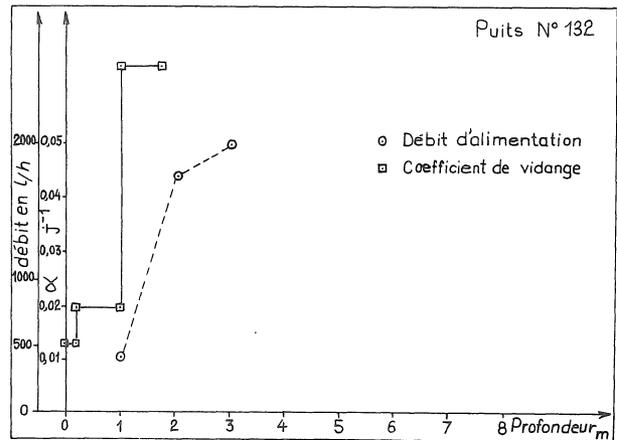


Figure 6

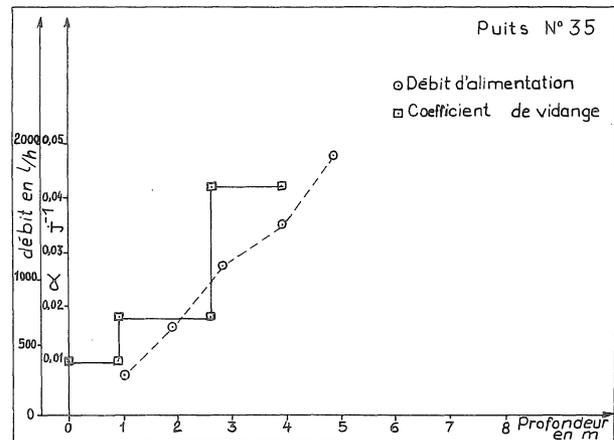


Figure 7

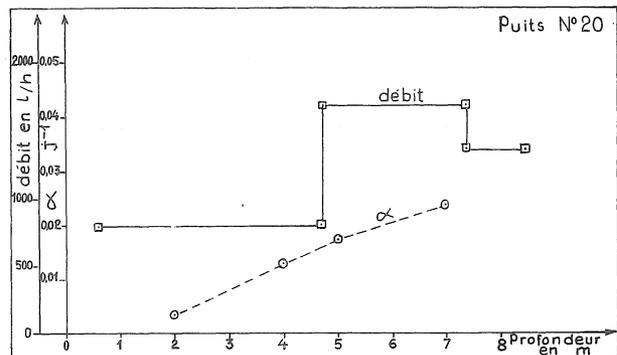


Figure 8

D'autre part, aucune relation systématique entre les valeurs de débit d'alimentation et les pentes topographiques avoisinantes n'a été observée. On constate cependant que les puits situés dans les dépressions ont des débits relativement élevés.

Par contre, le niveau d'eau dans les puits au début du pompage, est fonction de la quantité d'eau disponible dans le massif et est un facteur déterminant du débit d'alimentation. Les puits pompés en haut niveau ont des débits nettement plus importants que ceux pompés à bas niveau.

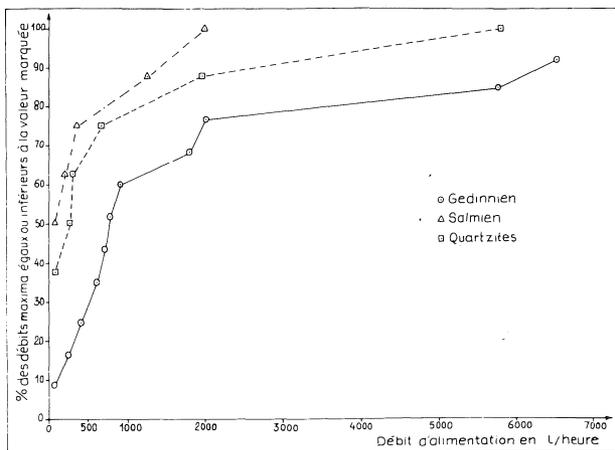


Figure 9

## II.- COEFFICIENTS DE VIDANGE

### II.1.- GENERALITES

La vidange naturelle d'un puits en période de tarissement reflète celle de la nappe aquifère dans laquelle il s'alimente et, comme celle-ci, elle répond à une loi exponentielle du type :

$$h = h_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$$

avec  $h_0$  = hauteur d'eau dans le puits au temps  $t = 0$

avec  $h$  = hauteur d'eau dans le puits au temps  $t$

avec  $\alpha$  = coefficient de vidange du puits.

Le coefficient de vidange  $\alpha$  est une fonction de la perméabilité, de la porosité, de la section d'écoulement, etc. Il donne donc une information sur les caractéristiques hydrogéologiques des roches réservoirs.

### II.2.- COURBES DE VIDANGE DES PUIITS

Si l'on représente la courbe de vidange en portant en abscisses le temps  $t$  et en ordonnées les logarithmes des hauteurs d'eau  $h$ , l'équation  $h = h_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t}$  est une droite dont le coefficient angulaire est  $\alpha$ .

Nous avons établi les courbes de vidange pour 41 puits choisis en fonction de la topographie et de la géologie. La répartition géologique des puits est la suivante :

- 18 puits dans le Gedinnien,
- 14 puits dans le Salmien,
- 9 puits dans les Quartzites.

On constate que pour un même puits, on obtient plusieurs droites de vidange suivant les profondeurs atteintes par le niveau d'eau.

Nous avons tracé les courbes de pourcentage cumulé des valeurs du coefficient  $\alpha$  pour 2 horizons superposés de terrains : de 0 à 2 m de profondeur, fig. 10 et sous 2 m de profondeur, fig. 11.

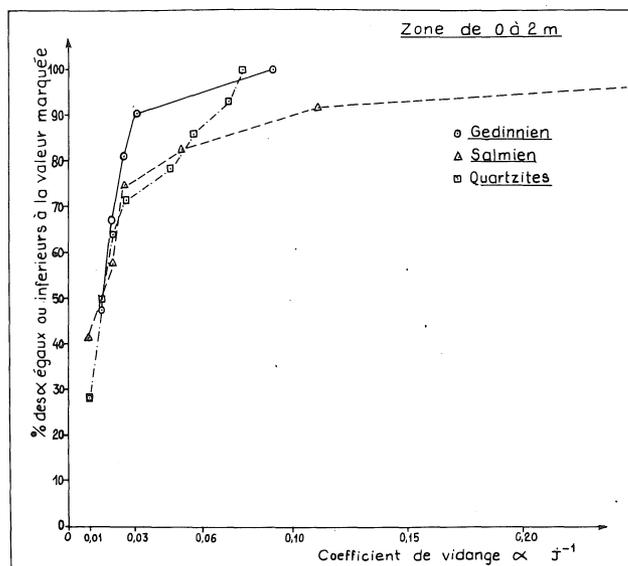


Figure 10

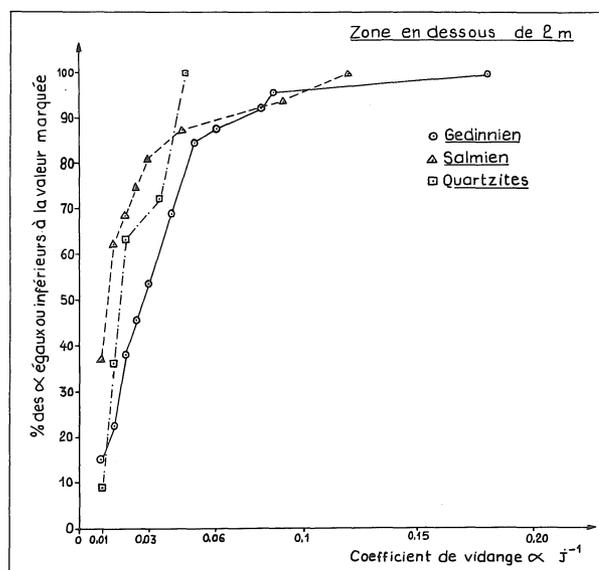


Figure 11

## 1) de 0 à 2 m de profondeur

$\alpha$	Gedinnien	Salmien	Quartzites
$\leq 0,015 J^{-1}$	48 0/o	50 0/o	50 0/o
$\leq 0,030 J^{-1}$	90 0/o	76 0/o	73 0/o
$\leq 0,060 J^{-1}$	95 0/o	84 0/o	88 0/o

## 2) en-dessous de 2 m de profondeur

$\alpha$	Gedinnien	Salmien	Quartzites
$\leq 0,015 J^{-1}$	23 0/o	65 0/o	36,5 0/o
$\leq 0,03 J^{-1}$	54 0/o	81,5 0/o	70 0/o
$\leq 0,06 J^{-1}$	88 0/o	90 0/o	100 0/o

Pour les profondeurs de 0 à 2 m, les valeurs les plus élevées de coefficient  $\alpha$  se rencontrent dans les roches du Salmien. Au-delà de 2 m de profondeur, les valeurs les plus élevées sont relevées dans les roches du Gedinnien, les valeurs moyennes correspondent aux quartzites et les valeurs les plus faibles au Salmien.

### II.3.- RELATIONS ENTRE LES COEFFICIENTS DE VIDANGE ET LES DEBITS D'ALIMENTATION

Pour certains puits dans lesquels nous avons pu calculer les coefficients de vidange et les débits d'alimentation pour les mêmes profondeurs, nous constatons que ceux-ci varient dans le même sens. Cette conclusion ne peut pas être généralisée, les cas étudiés étant trop peu nombreux (fig. 6, 7 et 8).

## III.- RESISTIVITES ELECTRIQUES DES ROCHES

### III.1.- GENERALITES

Une première campagne géoélectrique a été faite par M. HENRIET (J.P. HENRIET - Reconnaissance géoélectrique sur le Plateau des Tailles - Gand - 1966). En 1969, nous avons réalisé quelques coupes géoélectriques dans les roches entourant les puits les plus caractéristiques du Plateau des Tailles. Pour nos mesures nous avons utilisé le dispositif quadripôle de WENNER. Chaque coupe comprend en moyenne 6 sondages électriques distants l'un de l'autre de 20 m environ. L'appareillage de mesure a été prêté par l'Institut de Géologie de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège.

Les valeurs de résistivités mesurées par M. HENRIET et nous-mêmes, sont du même ordre de grandeur.

### III.2.- VALEURS DE RESISTIVITES

D'après les mesures de M. HENRIET et les nôtres, nous observons que :

1° dans tous les terrains, sur une profondeur variant de 1 à 2 m, les résistivités varient de 200 à 1.000 ohm.m. Cette épaisseur correspond aux zones fortement altérées et aux sols.

2° en dessous de cette zone, on rencontre la roche plus ou moins saine et simplement fissurée.

- dans les arkoses et les grès du Gedinnien, déjà à 5 m de profondeur, on trouve des résistivités allant de 3.000 à 10.000 Ohm.m.

- dans le Salmien, les résistivités sont moins élevées; à 5 m, on rencontre des résistivités de l'ordre de 1200 à 3.000 Ohm.m.

- dans les quartzites, à la même profondeur, on obtient des résistivités entre 2.000 et 3.000 Ohm.m.

### III.3.- RELATION ENTRE LES COEFFICIENTS DE VIDANGE ET LES RESISTIVITES DES ROCHES

Nous avons tracé (fig. 12 et 13), les diagrammes des pourcentages cumulés des coefficients de vidange pour les différentes entités géologiques et pour les 2 horizons de résistivités électriques de 500 à 1.200 Ohm.m, et de 1.200 à 3.000 Ohm.m. On observe :

1° dans les terrains de résistivité comprise entre 500 et 1.200 Ohm.m.

Les valeurs les plus fréquentes de  $\alpha$  se situent,  
 dans le Gedinnien : entre 0,01 et 0,025  $J^{-1}$   
 dans le Salmien : entre 0,01 et 0,08  $J^{-1}$   
 dans les Quartzites : entre 0,01 et 0,06  $J^{-1}$

2° dans les terrains de résistivité comprise entre 1.200 et 3.000 Ohm.m.

Les valeurs les plus fréquentes de  $\alpha$  se situent,  
 dans le Gedinnien : entre 0,015 et 0,050  $J^{-1}$   
 dans le Salmien : entre 0,01 et 0,030  $J^{-1}$   
 dans les quartzites : entre 0,02 et 0,050  $J^{-1}$

Dans l'horizon à faible résistivité électrique, les coefficients de vidange les plus élevés se rencontrent dans les roches du Salmien, les coefficients les plus faibles dans le Gedinnien.

Dans l'horizon de haute résistivité, les quartzites et le Gedinnien ont les coefficients de vidange les plus élevés. Dans le Salmien, les coefficients de vidange diminuent nettement.

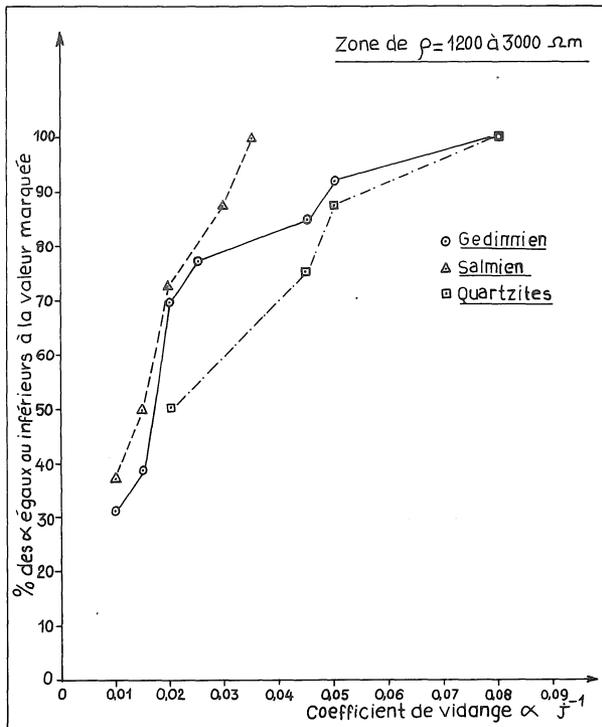


Figure 12

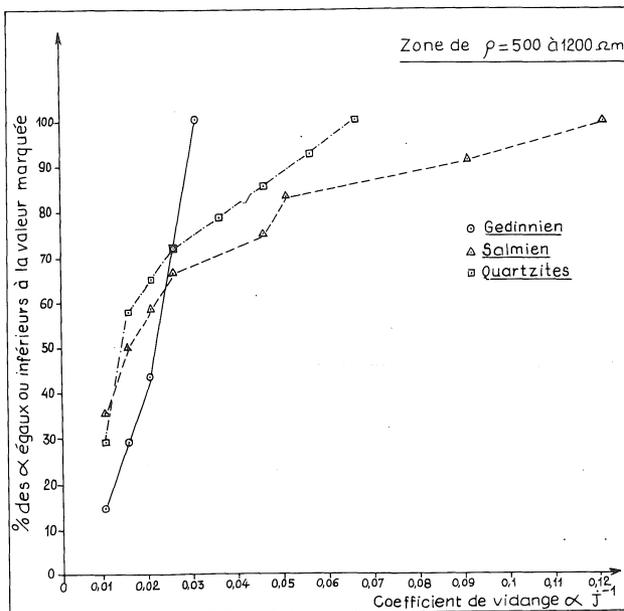


Figure 13

Le manteau d'altération des roches du Salmien est donc plus perméable que celui du Gedinnien et des quartzites. Par contre, la roche saine et simplement fissurée est plus perméable dans le Gedinnien et dans les quartzites.

Le Salmien altéré contient des éléments argileux. Le lessivage de ceux-ci par les eaux d'infiltration augmente la perméabilité du manteau d'altération, mais ils colmatent le substratum sous-jacent.

Dans le Gedinnien et les quartzites altérés, les produits d'altération sont de granulométrie assez continue allant des blocs jusqu'aux argiles et présentent une faible perméabilité.

Par contre, la zone sous le manteau d'altération est fissurée mais peu altérée et offre des perméabilités relativement plus élevées dans le Gedinnien.

#### IV.- ESSAI DE CALCUL DES POROSITES EFFICACES DES ROCHES RESERVOIRS

##### IV.1.- GENERALITES

Les hydrogrammes des puits établis à la suite de 4 années de mesures effectuées dans les puits du Plateau des Tailles sont exploités pour plusieurs études différentes. Dans la présente étude, nous les avons analysés pour le calcul des porosités efficaces des roches réservoirs entourant les puits.

Ce calcul est effectué d'après la formule établie en fonction de la fluctuation des niveaux d'eau, du temps de montée, du temps de vidange, de l'infiltration efficace; celui-ci est le facteur le plus approximatif de la formule; faute de mesures directes, nous l'avons adopté en tenant compte de la pluie efficace, de la nature du sol et de la végétation couvrant celui-ci.

##### IV.2.- METHODE UTILISEE

###### 1) Quelques définitions

1. **Le temps de réponse** : c'est le temps qui sépare le centre de gravité de la pluie efficace à la pointe du minimum de la courbe de descente du niveau d'eau dans le puits; ou bien, au cours de la remontée, au point d'inflexion nette de la courbe de remontée du puits.

2. **La pluie efficace** : c'est la pluie qui donne lieu à une remontée sensible des niveaux d'eau dans les puits.

3. **Le temps de montée** : c'est la durée de temps qui s'écoule entre le début de la remontée et le maximum de la courbe de remontée.

4. Le temps de vidange : c'est la durée de temps qui s'écoule entre le maximum de la courbe de remontée jusqu'au point de la courbe de descente auquel correspond le même niveau qu'au départ de la remontée.

## 2) Etablissement de la formule de porosité efficace

La porosité efficace peut être obtenue en divisant l'infiltration efficace par la fluctuation correspondante de la surface piézométrique augmentée par l'écoulement de base correspondant transformé en hauteur d'eau : fig. 14.

$$P_{\text{eff.}} = \frac{\text{Ieff.}}{\Delta N (1 + t_{\text{mon.}}/t_{\text{vid.}})} \text{ dans laquelle,}$$

P<sub>eff.</sub> = Porosité efficace

Ieff. = Infiltration efficace

$\Delta N$  = La remontée correspondante à Ieff.

t<sub>mon.</sub> = Le temps écoulé durant la fluctuation +  $\Delta N$

t<sub>vid.</sub> = Le temps correspondant à la fluctuation -  $\Delta N$

Les conditions d'utilisation de la formule

Pour que la formule soit applicable, il faut que :

- 1° la courbe de montée soit régulière,
- 2° la courbe de vidange soit régulière,
- 3° les précipitations soient insignifiantes durant la vidange,
- 4° l'équilibre entre le niveau d'eau dans le puits et celui de la nappe soit rapidement atteint.

Nous avons signalé plus haut que le facteur le moins précis de la formule était Ieff.; par conséquent, les valeurs de la porosité efficace, calculées par cette formule, sont approximatives mais cependant assez valables pour les porosités en grand des roches fissurées dont l'hétérogénéité rend très difficile l'obtention de valeurs chiffrées des caractéristiques hydrogéologiques.

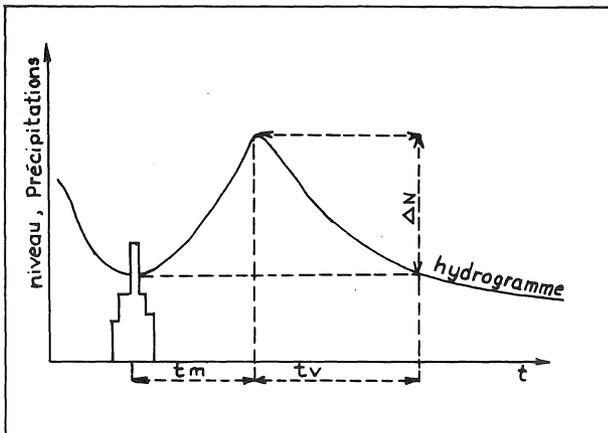


Figure 14

## IV.3.- CALCUL DES POROSITES EFFICACES

Nous avons calculé la porosité efficace pour 25 puits répartis dans les différentes entités géologiques du Plateau des Tailles;

- 11 puits dans le Gedinnien
- 8 puits dans le Salmien
- 6 puits dans les quartzites.

Les résultats obtenus sont portés dans le tableau ci-dessous :

De ce tableau, nous pouvons tirer les observations suivantes :

- 1° dans l'ensemble, la porosité varie de 0,78 à 5,85 ‰,
- 2° dans le Gedinnien, la valeur la plus fréquente de la porosité se situe entre 1 et 2 ‰,
- 3° dans le Salmien, la valeur la plus fréquente de la porosité est aux environs de 4 ‰,
- 4° dans les quartzites, la valeur la plus fréquente de la porosité se situe entre 1 et 2 ‰.

### TABLEAU DES POROSITES EFFICACES

PUITS N°	ENTITE GEOL.	POROSITE en ‰
S4	Gedinnien	1,33
130	Gedinnien	1,18
136	Gedinnien	1,50
122	Gedinnien	1,78
106	Gedinnien	1,76
99	Gedinnien	1,72
119	Gedinnien	4,15
112	Gedinnien	1,17
98	Gedinnien	3,00
121	Gedinnien	1,25
24	Gedinnien	5,85
58	Salmien	3,84
35	Salmien	1,15
28	Salmien	2,50
46	Salmien	4,6
51	Salmien	4,65
27	Salmien	3,83
50	Salmien	3,26
240	Salmien	4,3
1	Quartzites	1,41
20	Quartzites	0,78
14	Quartzites	1,15
4	Quartzites	1,76
6	Quartzites	3,11
16	Quartzites	1,07

Ces observations nous montrent que :

- dans le Salmien, la nappe se trouve dans le manteau d'altération et fluctue dans celui-ci; il a une porosité efficace plus importante que la roche simplement fissurée, pratiquement imperméable,
- dans le Gedinnien et dans les quartzites, sauf exception, c'est dans la roche fissurée qu'est installée la nappe et la porosité de la roche fissurée prime sur celle du manteau d'altération.

Ces faits ont été démontrés, ci-dessus, notamment par l'analyse des coefficients de vidange des puits.

## V.- CONCLUSIONS

Les tests de pompage des puits et le tracé des droites de vidange nous ont permis d'obtenir des renseignements intéressants sur les débits d'alimentation des puits et les perméabilités des terrains entourant les puits; résultats confirmés par les mesures de résistivités des mêmes terrains et par le calcul de leurs porosités efficaces.

Nous en tirons les conclusions suivantes :

1° sauf exception, les débits s'accroissent avec le rabattement mais de façon très irrégulière,

2° les valeurs les plus élevées des débits et de la perméabilité se rencontrent dans les terrains gréseux et arkosiques du Gedinnien,

3° les grandes différences entre les débits des puits d'une même entité géologique, confirment l'hétérogénéité hydrogéologique des terrains du Plateau des Tailles,

4° de 0 à 2 m de profondeur, les coefficients de vidange sont plus élevés dans les roches du Salmien; en-dessous de 2 m, les roches du Gedinnien ont les coefficients de vidange les plus élevés; les valeurs obtenues dans les quartzites se situent entre les deux,

5° les débits d'alimentation et les coefficients de vidange varient dans le même sens,

6° les résistivités électriques et les coefficients de vidange des roches du Salmien semblent varier en sens contraire tandis qu'ils varient dans le même sens, dans les roches du Gedinnien et les quartzites,

7° le calcul des porosités efficaces par la méthode que nous avons proposée, fournit des valeurs, certes approximatives, mais très représentatives des roches du Plateau des Tailles. Ces valeurs confirment les conclusions ci-dessus et d'autres études que nous avons effectuées dans le cadre d'étude hydrogéologique du Plateau des Tailles. La formule établie doit être appliquée en respectant le mieux possible les conditions citées dans le texte.

Cette étude, bien qu'elle soit trop limitée pour en tirer des conclusions générales, nous permet cependant d'obtenir des renseignements qualitatifs et quantitatifs sur les caractéristiques hydrogéologiques des nappes de fissures du Plateau des Tailles. Une application pratique de ces conclusions sera la détermination des profondeurs des puits de captages dans le massif ardennais.

Dans les roches du Gedinnien et des quartzites, on a intérêt à creuser des puits profonds, atteignant le bed-rock, alors que dans le Salmien, le niveau le plus intéressant est le manteau d'altération. Nous croyons que la méthode que nous avons appliquée au cas particulier du Plateau des Tailles peut être une méthode de prospection efficace des secteurs hydrologiquement intéressants dans les nappes de fissures.

CETA  
HYDROGEOLOGIE

## BIBLIOGRAPHIE

- CASTANY, G. *Traité des Eaux Souterraines*, Dunod Paris, 1963.
- COSAN, Y. *Nombreux rapports internes*, CETA GR. IV Hydrogéologie, De 1968 à 1972.
- HENRIET, G.P. *Reconnaissance géoélectrique sur le Plateau des Tailles*, Gand, juillet 1966.
- FOURMARIER, P. *Hydrogéologie*, Vaillant-Carmant, Liège.
- ROCHE, M. *Hydrologie de Surface*, Gauthier-Villars, Paris.
- SECTIONS de PEDOLOGIE, CLIMATOLOGIE, HYDROLOGIE de CETA. *Nombreux rapports internes* - CETA.
- MONTJOIE, A. & COSAN, Y., 1974. *Les eaux souterraines du Plateau des Tailles*. Bull. des Rech. Agr. de Gembloux.

