

HG.73\_0455

ETUDE DE LA NAPPE

DE CHAMBERY

Deuxième Partie

-----

Pages n° 39 à 76

---

COMPAGNIE DE PROSPECTION GEOPHYSIQUE FRANÇAISE

C - ESTIMATION DE L'INFILTRATION

De l'excédent d'eau Q, une partie R ruisselle, une autre F se déverse dans le bassin aval par la zone faillée de St Saturnin et la partie qui s'infiltré est par conséquent :

$$I = Q - (R + F) = i Q \text{ avec } i < 1$$

i est le coefficient d'infiltration par rapport à l'écoulement.

Dans l'état actuel de l'étude, on ne connaît ni R, ni F. Aussi, pour estimer i, allons-nous considérer le bassin réservoir amont de superficie S, de hauteur moyenne h, de coefficient d'emmagasinement  $\mu$ . Si p, q, q' représentent respectivement les sorties de ce bassin par les quantités d'eau correspondant au pompage, à l'écoulement souterrain et aux exurgences (ici négligeables), la variation de la réserve d'eau s'écrit :

$$S \mu \Delta h = I - (p + q) = i Q - (p + q) \quad (1)$$

Si la quantité d'eau infiltrée dans le bassin est supérieure à celle qui s'en échappe, le niveau monte ( $\Delta h > 0$ ), sinon le niveau baisse ( $\Delta h < 0$ ).

Il existe des observations sommaires à Bassens depuis 1933. Le niveau minimum pris par rapport à la margelle est resté inférieur à huit mètres jusque vers l'année 1955. A partir de là, le niveau de huit mètres a été atteint en 1956, celui de neuf mètres en 1962, celui de dix mètres en 1964. On assiste donc depuis 1955 à une baisse de la nappe, ce qui traduit un épuisement des réserves (fig. 21). Cette baisse coïncide avec une augmentation des pompages de la ville tous situés en amont de Chambéry. Le débit pompé annuellement est passé de  $4 \times 10^6 \text{ m}^3$  en 1955, à  $8 \times 10^6 \text{ m}^3$  en 1964. On notera que si :

$$\Delta h = 0 \text{ pour } p = 4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

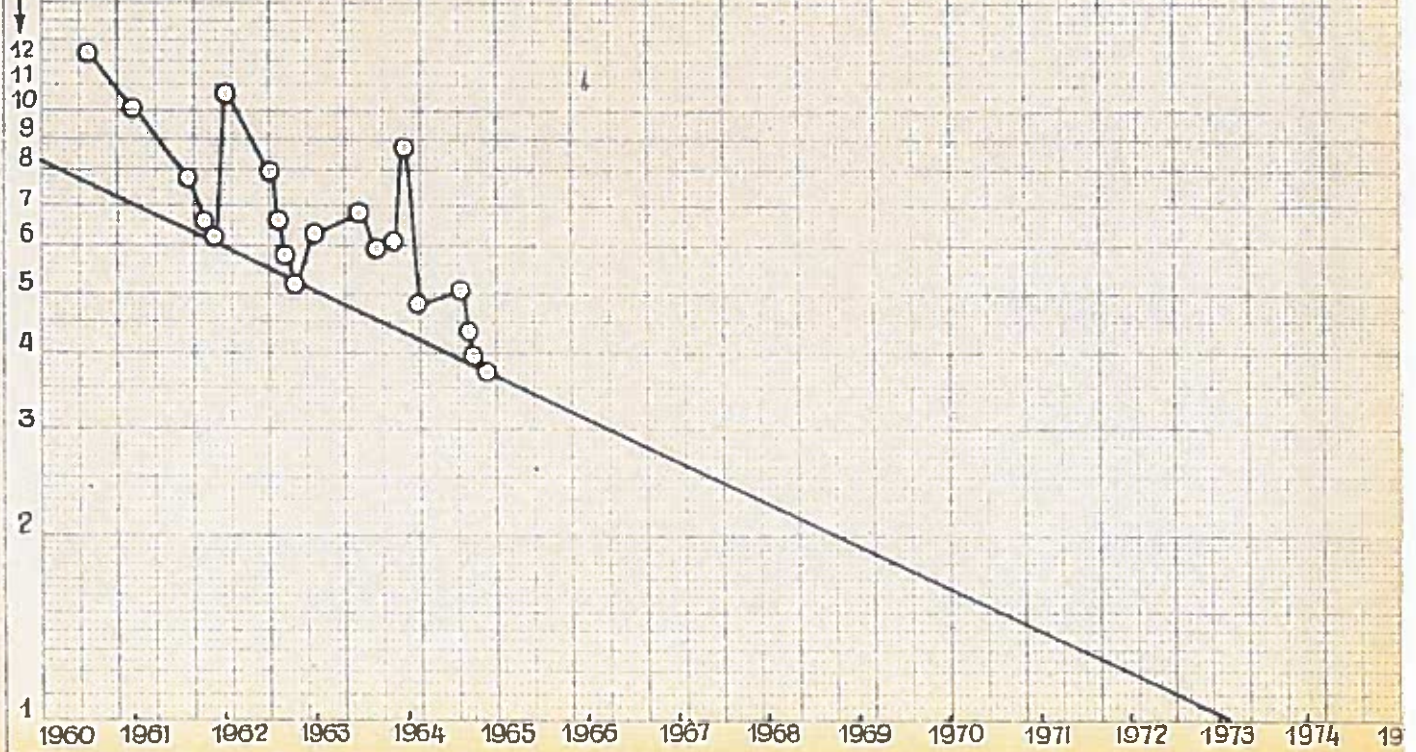
on pompe en trop :

$$4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

soit : 120 l/s

.../...

HAUTEUR D'EAU EN M.  
DANS LE PUIS



Il en est de même pour le puits de S.L.I.M. où l'on ne possède d'observations qu'à partir de 1960, mais où le triassement apparaît aussi nettement (fig. 20).

Adoptons cette baisse moyenne de niveau  $\Delta h$  de deux mètres en dix ans (1955-1964) et considérons les sorties de la nappe  $p$  et  $q$  du bassin amont.

1°)  $p$  (en  $m^3/\text{an}$ )

S.L.I.M.	$0,1 \times 10^6$
Barberaz	$0,3 \times 10^6$
Bassens	$0,5 \times 10^6$
	<hr/>
	$0,9 \times 10^6$

Soit "grosso modo"  $1 \times 10^6 m^3/\text{an}$  et  $10 \times 10^6 m^3$  en dix ans.

Depuis 1955, la ville a pompé environ  $54 \times 10^6 m^3$ .

Au total, il a donc été pompé en 10 ans :  $64 \times 10^6 m^3$

2°)  $q$

Les eaux souterraines s'échappent du bassin amont par un goulet de 700 m de large (1), on suppose que sa hauteur filtrante est de 40 m (h). Pour la perméabilité, on considère deux hypothèses :

a)  $k = 10^{-3} \text{ m/s}$

b)  $k = 10^{-4} \text{ m/s}$

On se souvient que la pente de la nappe est  $i = 10^{-2}$ , donc :

.../...

$$\begin{aligned}
 & \text{nombre de secondes} \\
 & \text{en une année} \\
 \text{- hypothèse a)} \quad q &= 700 \times 40 \times 10^{-2} \times 10^{-3} \times 31,5 \times 10^6 \times 9 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{an} \\
 \text{- " b)} \quad q &= 700 \times 40 \times 10^{-2} \times 10^{-3} \times 31,5 \times 10^6 \times 0,9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}
 \end{aligned}$$

Par conséquent, en dix ans :

$$\begin{aligned}
 \text{- hypothèse a)} \quad q &= 90 \times 10^6 \text{ m}^3 \\
 \text{- " b)} \quad q &= 9 \times 10^6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

3°) p + q

Il en résulte que :

$$\begin{aligned}
 \text{- hypothèse a)} \quad p + q &= 154 \times 10^6 \text{ m}^3/10 \text{ ans} \\
 \text{- " b)} \quad p + q &= 73 \times 10^6 \text{ m}^3/10 \text{ ans}
 \end{aligned}$$

En considérant la relation (1) :

$$S \cdot \Delta h = i Q - (p + q)$$

où :

$$S = 10 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ (surface du magasin)}$$

$$i = \text{supposé sensiblement égal à } 20 \text{ \% (nappe libre)}$$

$$\Delta h = 2 \text{ m (baisse du niveau en 10 ans)}$$

$$Q = \frac{\text{Surf. du bassin versant amont} \times \text{écoulement de 1955 à 1964}}{(166 \times 10^6) \times (7) \text{ m}^3} = 1160 \times 10^6 \text{ m}^3$$

.../...

- hypothèse a) 
$$\frac{10 \times 10^6}{S} \times \frac{20 \times 10^{-2}}{\lambda} \times \frac{2}{\Delta h} = i \frac{1160 \times 10^6 - 154}{Q \quad p+q}$$

ou : 
$$4 = 1160 i - 154$$

Soit :

$$i = \frac{158}{1160} = 13,6 \%$$

- hypothèse b) 
$$4 = 1160 i - 73$$

$$i = \frac{73}{1160} = 6,3 \%$$

Si on considère maintenant  $i_p$  le coefficient d'infiltration par rapport aux précipitations, comme  $\bar{Q} \approx 0,5 \bar{p}$ , on a :

- hypothèse a)  $i_p \approx 7 \%$
- " b)  $i_p \approx 3 \%$

On remarque que :

1/ l'influence de  $\mu$  est négligeable dans cette relation,  $i$  dépend donc principalement de l'écoulement souterrain et la connaissance de  $\mu$  n'est pas essentielle pour l'estimation de  $i$ .

2/ ces valeurs du coefficient d'infiltration sont minimales ; en effet, la surface considérée pour le bassin versant est certainement trop forte en raison de l'écoulement par la faille de St Saturnin.

Au lieu de considérer la baisse moyenne du niveau sur 10 ans, considérons maintenant cette baisse sur des périodes annuelles.

.../...

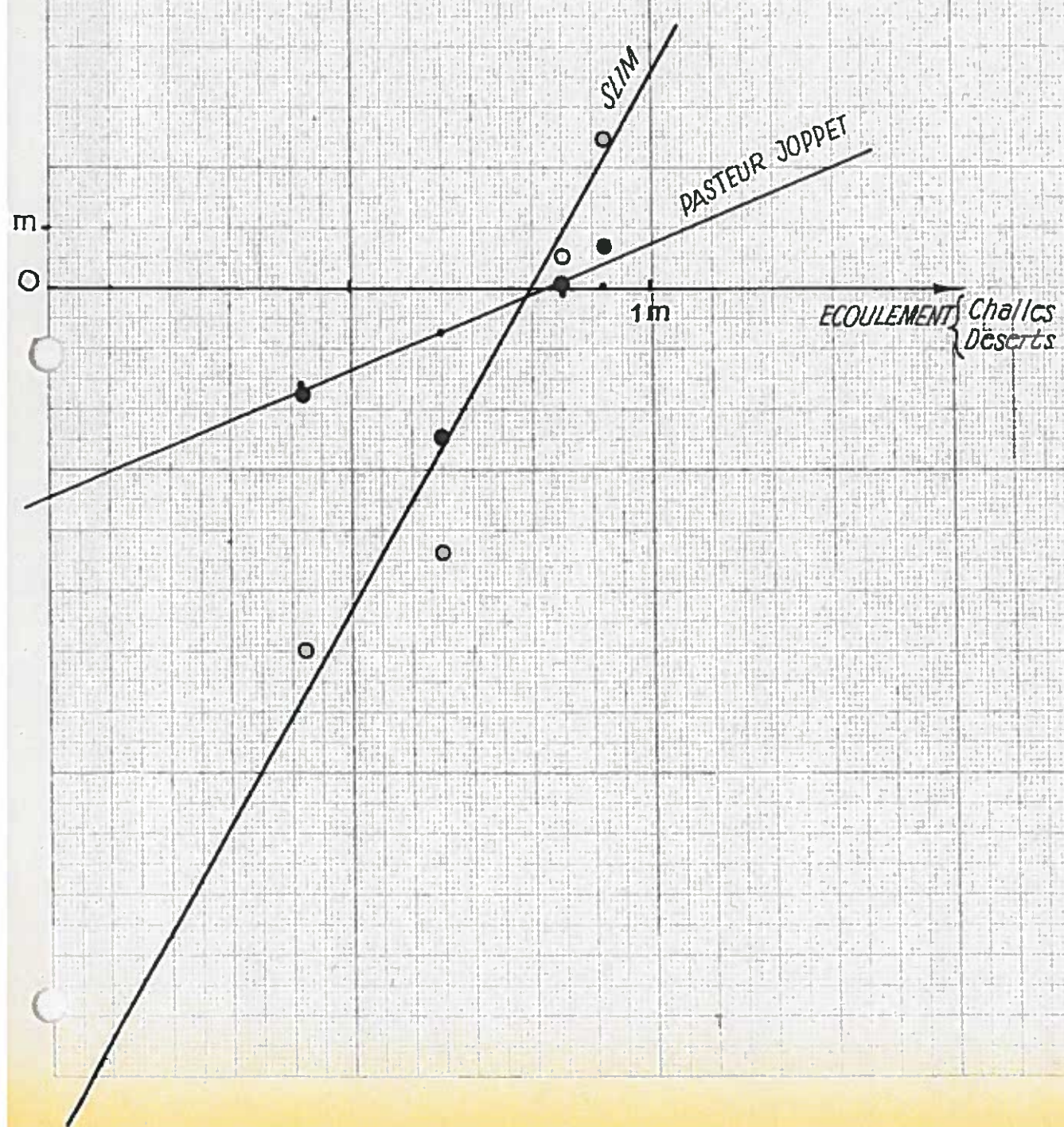
hauteur du niveau

$$\Delta h = f(Q)$$

FIG.23

h  
m

- JOPPET
- PASTEUR
- SLIM



La relation (1) s'écrit aussi :

$$\Delta h = \frac{1}{S \mu} \left\{ i Q - (p + q) \right\}$$

C'est l'équation d'une droite  $\Delta h = f(Q)$

Considérons la graphique de la fig. 23 qui traduit les variations  $\Delta h$  de niveau en fonction des écoulements aux puits Pasteur et Joppet et à celui de S.L.I.M. ; on obtient en effet sensiblement une droite

$$\Delta h = f(\bar{Q})$$

où =

l'ordonnée à l'origine :  $\frac{p + q}{S \mu} = 3,5$

soit :

$$\mu = \frac{p + q}{3,5 S}$$

a fortiori :  $\mu > \frac{p}{3,5 S}$  soit  $> \frac{8 \times 10^6}{3,5 \times 10 \times 10^6}$  (  $8 \times 10^6$  est, on s'en souvient, l'ordre de grandeur total annuel des pompages du bassin (amont

Surf. du bassin magasin

et  $\mu > 23 \%$

par ailleurs, l'intersection de la droite avec l'axe Q donne :

$$i Q = p + q$$

soit :

$$i = \frac{p + q}{Q}$$

et a fortiori, on aura :  $i > \frac{p}{Q}$

.../...



soit :

$$i > \frac{8 \times 10^6}{0,8 \times 166 \times 10^6} \quad i > \frac{10}{166} \quad \text{soit } > 6 \%$$

abscisse      Surf. du bassin      (estimation en remarquable concordance  
à l'origine      versant amont      avec la précédente)

Remarque -

Pour le puits de S.L.I.M., on a sensiblement le même coefficient d'infiltration, mais le coefficient d'emmagasinement est plus faible puisque pour une même quantité d'eau, la variation de niveau est plus importante, l'ordonnée à l'origine est ici de 14 au lieu de 3,5, donc :

$$i > 23 \% \times \frac{3,5}{14} \approx 6 \%$$

Il apparaît donc que le coefficient d'infiltration par rapport à l'écoulement est certainement supérieur à 6 %. Cette détermination a été effectuée dans l'hypothèse d'une perméabilité faible, or les essais hydrauliques du sondage 504 situé à l'aval de Chambéry conduisent à :  $k = 2,5 \times 10^{-3}$  m/s, soit une valeur qui exclut l'hypothèse (b) d'autant plus que les granulométries étant encore supérieures à l'amont de Chambéry, il est permis de penser qu'on a là  $k > 2,5 \times 10^{-3}$  m/s.

Examinons alors les variations possibles de la valeur du coefficient d'infiltration calculée à partir de la relation (1) :

$$S \mu \Delta h = i Q - (p + q)$$

soit :

$$i = \frac{S \mu \Delta h + (p + q)}{Q}$$

on a vu que sur une période de dix ans  $S \mu \Delta h \ll p + q$

donc :

$$i \approx \frac{p + q}{Q}$$

.../...

p est un terme fixe :  $64 \times 10^6 \text{ m}^3/10 \text{ ans}$

Q l'est aussi pratiquement :  $1160 \times 10^6 \text{ m}^3/10 \text{ ans}$

i dépend donc essentiellement des variations de q.

Rappelons que le calcul de q est le suivant :

$$q = \frac{700}{l} \times \frac{40}{h} \times \frac{10^{-2}}{\text{pente}} \times \frac{31,5 \times 10^6}{\text{Nombre de secondes dans une année}} \times k = 9 \times 10^9 \times k \text{ m}^3/\text{an}$$

soit :

$$q = 9 \times 10^{10} \times k \text{ m}^3/10 \text{ ans}$$

par conséquent :

$$i = \frac{p}{Q} + \frac{q}{Q} = \frac{64 \times 10^6}{1160 \times 10^6} + \frac{9 \times 10^{10} \times k}{1160 \times 10^6}$$

$$i = 5,5 \% + 7,7 \times k$$

Pour différentes hypothèses sur k, on obtient les valeurs de i suivantes :

$k = 10^{-3} \text{ m/s}$	$i = 5,5 \% + 7,7 \% \approx 13 \%$	soit $i_p \approx 6 \%$
$k = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	$i = 5,5 \% + 15,4 \% \approx 21 \%$	$i_p \approx 10 \%$
$k = 3 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	$i = 5,5 \% + 23,1 \% \approx 29 \%$	$i_p \approx 14 \%$
$k = 4 \times 10^{-3} \text{ m/s}$	$i = 5,5 \% + 30,8 \% \approx 36 \%$	$i_p \approx 18 \%$

$i_p$  étant le coefficient d'infiltration par rapport aux précipitations.

Une variation minime de la perméabilité a une répercussion considérable. Si  $k = 10^{-3} \text{ m/s}$ ,  $\Delta i_p = 4 \%$ , or en année moyenne, cette variation de 4 % correspond à une variation de l'infiltration  $\Delta I$  telle que :

$$\begin{aligned} \Delta I &= \text{surface du bassin d'alimentation (m}^2\text{)} \times \text{module pluviométrique annuel} \\ &= 250 \times 10^6 \times (1,1 \times 1,2) \times 4 \% \\ &= 13 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an} \text{ soit sensiblement } 400 \text{ l/s} \text{ ou } 1\,500 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ quantité du} \\ &\text{ même ordre de grandeur de celle qui est pompée actuellement dans le} \\ &\text{ bassin chambérien.} \end{aligned}$$

.../...

Cet exemple montre bien que ces estimations ne peuvent avoir la prétention que de procurer un ordre de grandeur des débits disponibles. Si on se base sur la détermination de  $k$  par les essais hydrauliques,  $k \approx 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , on devrait avoir :

$$i_p \approx 14 \%$$

Par prudence, on adoptera toutefois :

$$i_p = 10 \%$$

#### D - BILAN DES EAUX

##### 1°) Bilan global de l'eau souterraine du bassin

On adopte donc  $i_p = 10 \%$  en année moyenne (ce qui correspond à  $i_p = 8 \%$  en année sèche et  $i_p = 12 \%$  en année humide).

##### 1 - Sorties

Actuellement les sorties de la nappe sont de  $21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  réparties comme suit :

##### 1°) Les débits pompés actuellement (1964) :

a) à l'amont :  $8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$

b) à l'aval :  $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$

##### 2°) Les débits drainés actuellement (1964)

a) par les égouts :  $5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$

b) par le Chantabard :  $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$

##### 3°) Les sorties vers l'aval : elles seront évaluées page 48.

.../...

2 - Entrées

Les entrées dans la nappe sont de :

1°) Année sèche ( $i_p = 8 \%$   $P = 1 \text{ m}$ )

Surface du bassin d'alimentation

$$\frac{250 \times 10^6 \times 8 \times 10^{-2} \times 1}{i_p \times p} = 20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

2°) Année normale

$$\frac{250 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-2} \times 1,3}{i_p \times p} = 32,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

Surface du bassin d'alim.

On dispose donc à l'aval d'un excédent d'eau souterrain de :

- 1°) année sèche : négligeable, sinon négatif
- 2°) année moyenne : ordre de  $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  (350 l/s)
- 3°) en année sèche la quantité d'eau excédentaire est pratiquement nulle, toutefois un pompage pourrait rendre disponible les eaux du Chantabord :  $3 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  (100 l/s)
- 4°) en année moyenne l'excédent s'écoule vers le lac, mais se heurte au barrage souterrain des couches cimentées au nord de Villarcher de perméabilité  $k'$ .

Supposons  $k' = 10^{-6} \text{ m/s}$

On a :  $q = \text{surface} \times \text{coefficient de perméabilité} \times \text{pente}$

$$\text{soit : } q = \frac{1,500}{\text{largeur}} \times \frac{100}{\text{hauteur}} \times \frac{10^{-6}}{k'} \times \frac{3 \times 10^{-3}}{\text{pente}} = 45 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = 14 \text{ 000 m}^3/\text{an}$$

.../...

Ce débit est négligeable (même si on prenait  $k'=10^{-5}$  m/s il resterait encore négligeable).

L'excédent d'eau souterraine ne peut donc s'échapper que par la surface. En effet, si on considère la couverture argileuse réputée imperméable et si on lui attribue une perméabilité de  $k' = 10^{-7}$  m/s, on obtient pour une surface de  $17 \text{ km}^2$  (zone d'artésianisme) le débit :

$$q = \frac{17 \times 10^6}{\text{surface}} \times \frac{10^{-7}}{k''} \times \frac{2 \times 10^{-1}}{\text{gradient (1)}} = 34 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$$

soit :

$$q = 10,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$$

(1) pour une couche de 10 m d'argile et une charge artésienne de 2 m.

On retrouve bien l'ordre de grandeur des quantités d'eau souterraine disponibles à l'aval et c'est ce qui expliquerait la formation des zones marécageuses à l'aval de la Motte Servolox.

Un pompage à l'aval de Chambéry, établi dans le but de l'exploitation de cet excédent d'eau souterraine, aurait donc un effet bénéfique supplémentaire : celui de l'assèchement des marais.

## 2°) Bilan d'ensemble

Nous avons l'écoulement qui est de l'ordre de 400 mm en année sèche et de 750 mm en année moyenne ; c'est à dire au niveau du Tremblay, pour une surface de bassin de  $300 \text{ km}^2$ , respectivement  $120 \times 10^6 \text{ m}^3$  en année sèche et  $225 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  en année moyenne - l'équation du bilan s'écrit alors :

$$Q = \text{débit de la Laysse} + \frac{\text{débit pompé} + \text{débit drainé}}{21 \times 10^6 \text{ m}^3} + \frac{\text{débit des marais}}{11 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

$$\begin{aligned} \text{d'où le débit moyen de la Laysse en année sèche} & : 3 \text{ m}^3/\text{s} \\ & \text{en année moyenne} : 6 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

.../...

Ces ordres de grandeur sont vraisemblables mais ils demandent à être précisés par des observations suivies.

## VI - CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

En raison de la baisse de la nappe à l'amont, il est hors de question d'augmenter les débits pompés. Il serait même souhaitable de les restreindre d'une centaine de l/s. A l'aval, dans l'état actuel de l'étude, on estime pouvoir disposer sur toute la largeur de la vallée d'un débit souterrain potable (analyse au 504 et 1103) dont l'ordre de grandeur est de :

100 l/s en année sèche  
et au moins 350 l/s en année moyenne

Ces chiffres ne tiennent compte ni d'alimentations latérales (par exemple faille de St Saturnin), ni du puisement dans les réserves en année sèche.

On pourrait donc raisonnablement implanter un puits de l'importance du puits Pasteur au sondage 504, qui semble le meilleur emplacement tant au point de vue de la granulométrie que de l'alimentation, en vue d'y pomper un débit de 150 l/s. Un puits filtrant de trois mètres de diamètre, soigneusement développé, devrait alors présenter un rabattement de 5 m environ. On ne saurait trop insister sur le développement qui devra être très soigneux en raison de la faible granulométrie des sables rencontrés.

La surveillance de la nappe par les piézomètres et les sondages permettrait le contrôle des estimations et si celle-ci s'avérait résolument pessimistes, on pourrait envisager alors la mise en place de drains pour augmenter la surface utile du puits et en tirer un débit supérieur.

.../...

Mais pour préciser l'étude par la connaissance des débits de ruissellement, il est indispensable de :

- dans une première phase :

d'exploiter ce qui existe déjà, c'est à dire le limni-  
graphe du pont du Tremblay et l'échelle du Pont des Carmes en les tarant.

- dans une deuxième phase :

d'installer des échelles sur :

- a) le canal de Mérande avant le Moulin Cavin,
- b) l'Hyères et son canal, vers Bissy
- c) les deux canaux de drainage qui aboutissent au lac  
du Bourget

- Remettre en exploitation les stations pluviométriques de St Thibaud-de-Couz  
et de la Motte Servolex.

S. LUNSKI

Ingénieur Géologue E.N.S.G.

*S. Lunski*

Vu, le Directeur de la Division Nord-Est

J. LAKSHMANAN

*J. Lakshmanan*

Vu, l'Administrateur Directeur Général Adjoint

E. BOLELLI

C. P. G. F.

Division Nord-Est  
9, rue d'Estienne d'Orves  
RUEIL-MALMAISON (S. & O.)

C. P. G. F.

Bureau Rhône-Alpes  
3, rue de la Petite Plaine  
BARBERAZ (Savoie)

A N N E X E S

—



A N N E X E I



DOCUMENTATION

Nous avons pu examiner les études aimablement communiquées par les Organismes ou Sociétés ci-après :

- Service du Génie Rural

- . Communications internes
- . Puits de Voglans
- . Sondages du Bourget

- Service des Ponts et Chaussées

- . Autoroute A-41 - traversée de Chambéry
- . Autoroute A-43 - Lyon-Chambéry
- . Sondages pour la base du Bourget du Lac
- . Etude du cours de la Leysse (S O G R E A H)
- . Puits de la station d'épuration de Chambéry

.../...

- S.E.R.C.

- . Etude de la Z.I. de Bissy (B.P.G.M.)
- . Puits de l'usine Cabaud (SOLETANCHE)

- Ville de Chambéry

- . Puits de la ville (Pasteur-Joppet)
- . Puits des abattoirs

- Ville de Barberaz

- . Puits de Barberaz

- Gaz de France

- C E G E D U R

- Société du Verre Textile

- Coopérative laitière de Bissy

- Savoie-Limonade











N°	Lieu-dit	x	y	Z <sub>m</sub>	Z <sub>NH<sub>m</sub></sub>	T <sub>d</sub>	Observations
137	La Cassine	879,49	70,72	269	269	40	Source : q = 0,10 l/s
138	Beauvoir	879,15	70,83	275	275	36	Ligne de sources
139	La Boisse	878,90	71,13	270	270	37	drain : q = 0,05 l/s
140	La Boisse	878,73	71,35	265	265	34	Ligne de sources
						à 38	q = 2,5 l/s
141	La Boisse	878,57	71,90	280	280	36	Source
142	Chambéry-le-Vieux	878,43	72,04	282	282	34	Source : q = 0,02 l/s
143	Chambéry-le-Vieux	378,58	72,09	311	311	27	Source : q = 0,01 l/s
144	Le Pagnet	879,14	71,79	371	367	27	
146	La Mouchette	878,90	72,16	360	355	26	
147	Le Pagnet	879,22	71,55	359	356	33	
149	Le Molard	879,52	71,88	370	367	31	
150	La Croix-Rouge	879,58	72,78	369	367	35	
	Dessus						
152	La Croix-Rouge	879,45	73,05	358	356	23	
	Dessus						
153	La Croix-Rouge	879,42	73,14	355	351	40	
	Dessus						
154	Moraz	879,35	73,46	333	328	33	
	Dessous						
156	Sonnaz le Bas	879,30	75,45	295	295	37	
157	Vers Moraz	879,31	74,01	323	320	42	
158	Chantemerle	879,80	70,90	285	282	36	
159	La Cassine	879,85	70,51	285	276	33	

.../...











N°	Lieu-dit	x	y	Z <sub>m</sub>	Z <sub>NH<sub>m</sub></sub>	TH	Observations
245	Le Bourget	874,67	77,82	239	238		
246	Le Bourget	874,49	78,08	248			Source
247	Villarcher	876,88	74,08	244	244		Puits de Pégaz et Pugeat

-----

.../...

A N N E X E    I I I

~~—~~

PROSPECTION GÉOPHYSIQUE  
EN SUB-SURFACE

---

LA PROSPECTION ÉLECTRIQUE

I N T R O D U C T I O N

Le but de la prospection électrique est de déterminer les caractéristiques d'un sous-sol par des mesures de paramètres physiques effectuées en surface.

Il n'existe pas de mesures pouvant, en géophysique, donner un résultat ponctuel, puisque celles-ci intéressent l'état global d'une portion de terrain.

Lorsque la stratigraphie des terrains à étudier comporte plus de 2 couches, les valeurs obtenues, par prospection électrique, ne correspondent qu'à des valeurs apparentes de la résistivité.

Un étalonnage doit donc être fait, en procédant à quelques forages rapides sur des sondages électriques. L'épaisseur des couches, étant ainsi connue, il est plus aisé de déterminer, sur le lieu, tracé des résistivités en fonction des profondeurs, la résistivité vraie.

Une fois les résistivités trouvées, on procédera de manière inverse, déterminant par le lieu,  $p = f(\rho)$  tracé sur abaque, la profondeur des couches.

.../...

METHODE DES RESISTIVITES

Dans ces méthodes, le paramètre physique considéré comme définissant chaque nature de terrain, est la résistivité spécifique électrique (1).

Ce qu'on cherche donc à déterminer c'est la répartition des résistivités suivant la profondeur. Le problème est théoriquement accessible par l'étude des potentiels de surface dans une circulation de courant déterminée et à condition bien entendu, qu'on connaisse un nombre suffisant de paramètres en cause.

Voyons comment on peut aborder ce problème.

Supposons tout d'abord qu'on injecte un courant I en un point A de la surface plane d'un terrain homogène et isotrope de résistivité.

Les surfaces équipotentielles sont naturellement des sphères centrées sur A (fig.1) et l'application de la loi d'Ohm entre les sphères de rayon r et r + dr donne :

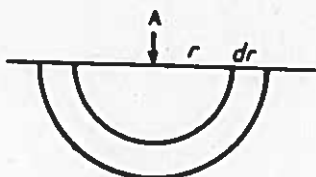


FIG. 1

250.06

$$-dV = \rho \cdot \frac{I dr}{2 \pi r^2}$$

ce qui en intégrant donne :

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2 \pi r}$$

on peut donc mesurer dans ce cas l'équation :

$$\rho = 2 \pi r \frac{V}{I}$$

.../...

(1) voir page suivante.



Ce cas est peu utilisé, en pratique, et on est conduit au schéma de la figure 2.

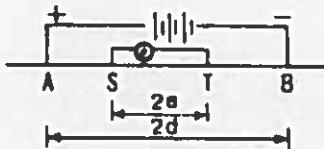


FIG.2.

25006

Deux électrodes A et B reliées à un générateur injectent un courant I dans le sol et deux autres électrodes S et T situées sur l'alignement des deux premières sont reliées à un voltmètre donnant la différence de potentiel V existant entre ces deux points.

Nous pouvons considérer le champ créé dans ce cas comme la superposition de deux champs sphériques : l'un positif centré sur A et l'autre négatif centré sur B. Comme on est dans un plan de symétrie les grandeurs s'ajoutent algébriquement et l'application de la formule (1) donne :

$$\text{Potentiel en S} = \frac{\rho I}{2 \pi} \left( \frac{1}{AS} - \frac{1}{BS} \right)$$

$$\text{Potentiel en T} = \frac{\rho I}{2 \pi} \left( \frac{1}{AT} - \frac{1}{BT} \right)$$

Différence de potentiel mesurée :

$$= V = \frac{\rho I}{2 \pi} \left( \frac{AT - AS}{AS \cdot AT} + \frac{BT - BS}{BS \cdot BT} \right)$$

ou

$$V = \frac{\rho I}{A \pi} ST \left( \frac{1}{AS \cdot AT} + \frac{1}{BS \cdot BT} \right)$$

(1) de la page précédente :

Les lignes suivantes sont extraites avec l'amiable autorisation de l'auteur, de la note de M. J.N. Plichon, Ingénieur de l'Ecole Polytechnique, Chef du Service des Etudes à l'E.D.F., parue aux Annales de l'Institut Technique du Bâtiment & des Travaux Publics (n° IO3-IO4 série 29 Juillet-Août 1956.

Pratiquement on utilise toujours une disposition symétrique par rapport au milieu de AB et en appelant  $2a$  la longueur ST et  $2d$  la longueur AB on trouve la formule suivante :

$$(2) \quad V = \frac{2 \rho I}{\pi} \frac{a}{d^2 - a^2}$$

Si on connaît  $V$ ,  $I$  et les longueurs  $d$  et  $a$  on peut déterminer la résistivité par la formule :

$$(3) \quad \rho = \frac{\pi}{2} \frac{V}{I} \cdot \frac{d^2 - a^2}{a}$$

Dans cette formule si nous exprimons  $V$  en millivolts,  $I$  en milliampères,  $d$  et  $a$  en mètres, nous obtiendrons  $\rho$ , en ohms mètre carré par mètre, unité la plus généralement employée en géophysique.

La formule (3) bien qu'établie d'après une hypothèse tout à fait particulière est, nous allons le voir, extrêmement importante. On sent en effet intuitivement que plus les électrodes A et B sont éloignées et plus les lignes de courant pénètrent profondément dans le sol ; par conséquent, en cas de terrain non homogène la résistivité calculée par la formule (3) dépendra d'autant plus de la résistivité réelle des couches profondes que les électrodes A et B seront plus éloignées. Il est bien évident que l'application de la formule (3) ne nous donnera pas la résistivité réelle d'une nature de terrain mais quelque chose d'intermédiaire entre les résistivités de tous les terrains intéressés.

On donne le nom de résistivité apparente au résultat du calcul par la formule (3) pour la distinguer de la résistivité réelle qui serait mesurée in situ.

Soit  $\rho_a$  cette résistivité apparente, elle n'a d'ailleurs

.../...

d'intérêt d'autant qu'elle est associée avec la grandeur géométrique de la mesure, c'est-à-dire la distance AB.

Ces quelques principes vont permettre de comprendre comment on fait un sondage résistif et comment on peut l'interpréter.

Supposons un terrain homogène horizontal d'épaisseur  $h$  et de résistivité  $\rho_1$ , reposant sur un terrain d'épaisseur infinie et de résistivité  $\rho_2$ . Nous allons calculer la résistivité apparente avec des distances croissantes entre les électrodes AB.

Au début, seul le terrain supérieur sera pratiquement intéressé par les lignes de courant et la résistivité apparente sera pratiquement égale à  $\rho_1$ , puis peu à peu les lignes de courant seront influencées par le terrain profond et pratiquement  $\rho_a$ , commencera à différer de  $\rho_1$  lorsque AB sera de l'ordre de  $4h$  : on traduit ce fait en disant que la profondeur de sondage est égale au quart de la longueur d'émission. Mais ce n'est là qu'une règle empirique et en tout cas il ne faut pas en conclure que pour explorer une couche à une profondeur  $h$  il suffit d'une distance quadruple des électrodes.

En réalité, pour une exploitation correcte des résultats, la distance des électrodes de courant doit être beaucoup plus grande et d'ailleurs variable suivant le rapport des résistivités, en général de l'ordre de dix à vingt fois la profondeur.

Lorsque enfin AB devient très grand par rapport à  $h$ ,  $\rho_a$  tend vers  $\rho_2$ .

Le cas des deux terrains est accessible par le calcul,

.../...

on peut donc, d'après un certain nombre de mesures, déterminer  $\rho_1$ ,  
et  $\rho_2$  et  $h$ .

Le calcul étant toutefois pénible, on  
a recours à l'artifice suivant :

Dans un diagramme logarithmique sans di-  
mension, on trace la famille des courbes

calculées de  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  en fonction de  $\frac{h}{2d}$

pour différentes valeurs de  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$ . Il  
suffit donc de reporter sur ce diagramme  
la courbe tracée d'après les résultats  
du sondage pour avoir par l'interpolation  
 $\rho_2$  et  $h$  ;  $\rho_1$  ayant été obtenue par les  
mesures courtes.

Pour la facilité du travail d'interpré-  
tation, on peut utiliser non pas un seul  
diagramme mais une série de diagrammes  
établis pour différentes résistivités.

Lorsque le terrain est composé de plu-  
sieurs couches horizontales, l'interpré-  
tation devient beaucoup plus difficile  
et plus imprécise. On peut évidemment uti-  
liser l'artifice précédent du report de  
la courbe expérimentale sur une famille  
de courbes calculées, mais dans ce cas  
le nombre de paramètres arbitraires est  
de cinq (trois résistivités et deux  
épaisseurs) qu'on peut ramener à trois

.../...

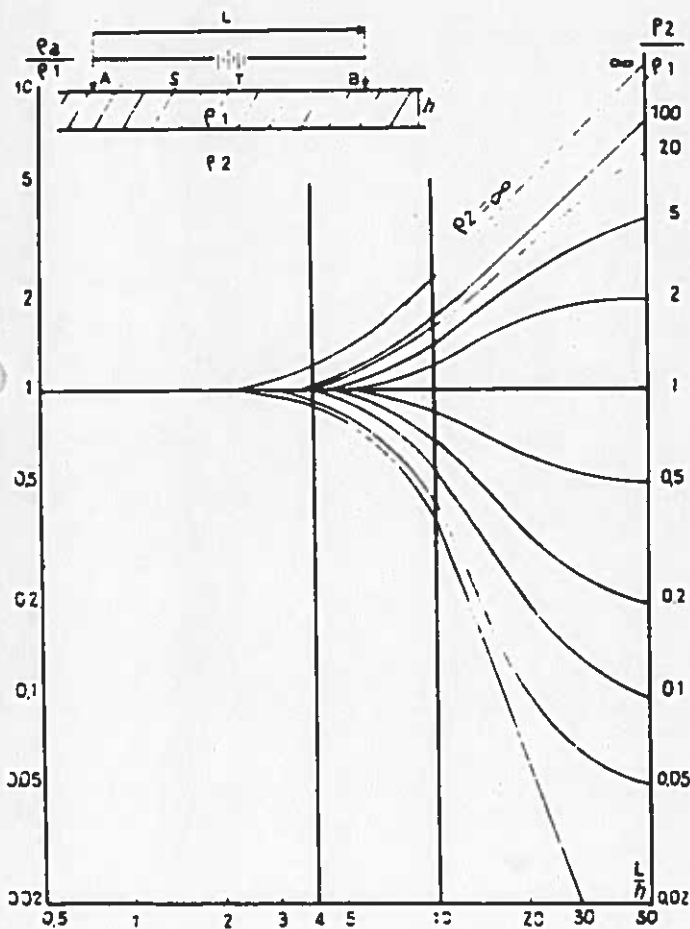


FIG. 3

250.C

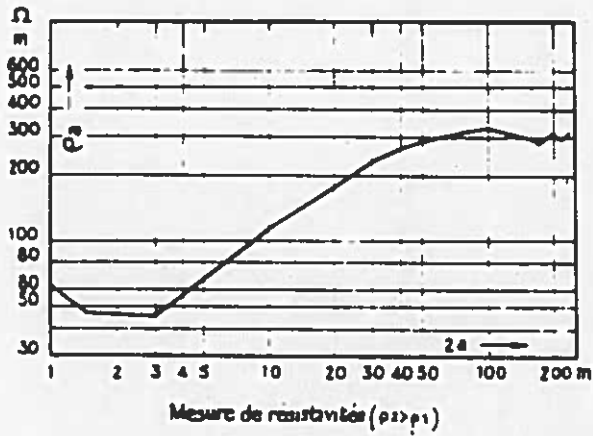


FIG. 4

25006

paramètres sans dimension et par suite l'album des abaques trois terrains devrait comporter une double infinité de réseaux de courbes. Le dépouillement d'une courbe de trois terrains peut se faire par un calcul d'approximations successives mais c'est assez long.

On ne peut d'ailleurs obtenir un résultat convenable que lorsque la deuxième couche est d'une épaisseur suffisamment grande par rapport à la première et que sa résistivité est suffisamment distincte.

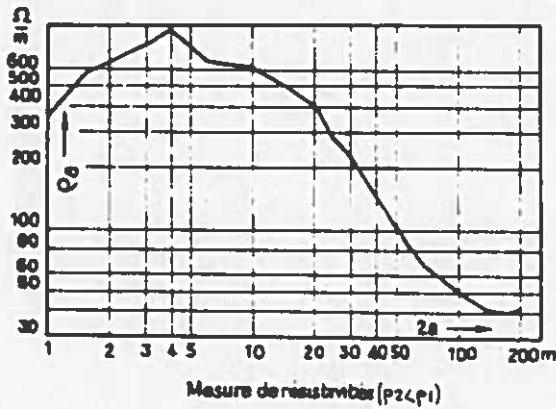


FIG. 5

25006

Le problème se complique encore lorsqu'il y a variation continue de la résistivité dans une couche, lorsque les couches ne sont plus horizontales mais obliques et lorsque la roche n'est pas isotrope (cas des schistes) (fig. 4, 5, 6, 7 et 8).

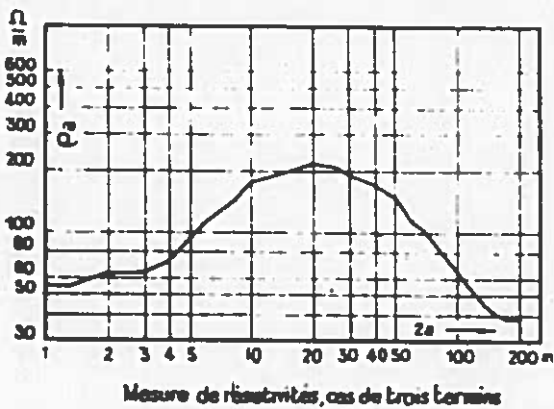


FIG. 6

25006

.../...

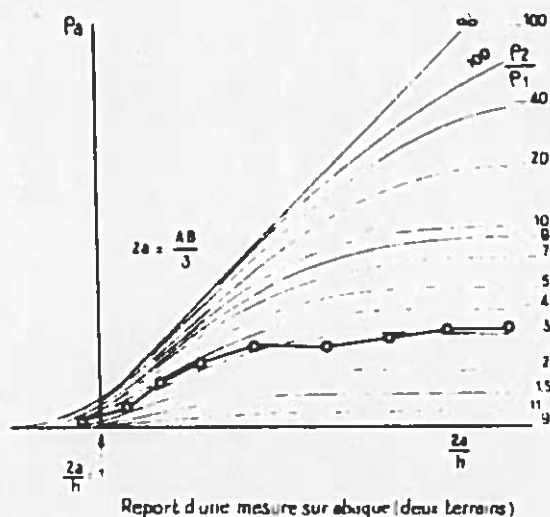


FIG. 7 250 06

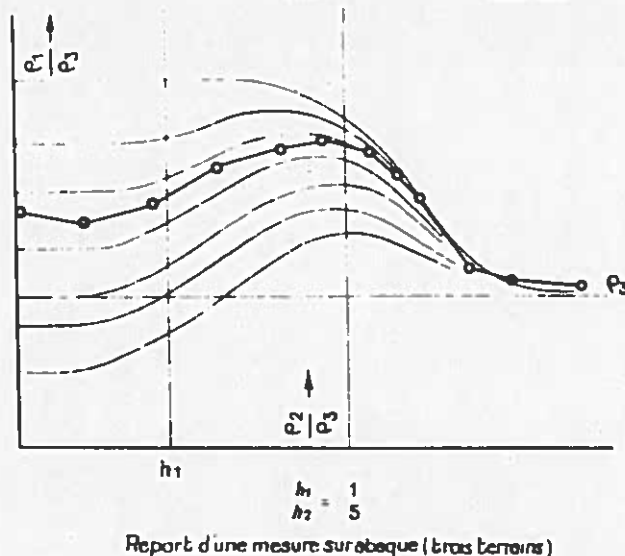


FIG. 8 250 06

La technique opératoire varie un peu suivant les prospecteurs : le courant envoyé dans le sol peut être continu, continu alterné, ou alternatif à très basse fréquence. Pour les problèmes à faible profondeur où les lignes ne dépassent guère 800 m. ou 1 km on peut se contenter d'un ensemble de piles comme générateur. Les intensités nécessaires sont de l'ordre de quelques dixièmes d'ampères au maximum.

Pour les électrodes de courant A et B il n'y a pas de précaution spéciale à prendre sinon d'essayer d'avoir un contact aussi bon que possible, pour S et T on peut utiliser des électrodes impola-

.../...

risables ou des piquets ordinaires. Dans le premier cas, on a moins de corrections à faire pour ramener le voltmètre au zéro en l'absence de courant I (à cause des courants vagabonds dans le sol).

Enfin, les électrodes de tension S et T peuvent être fixes (mesures type Schlumberger) ou mobiles et dans ce cas on prend souvent  $AS = ST = TB$  (mesures type Wenner).

Il existe d'autres moyens d'investigation fondés sur la résistivité que celui du sondage proprement dit tel que nous venons de le voir.

Les principaux sont le traîné, le Racom et le carottage électrique.

Le TRAINE consiste à déplacer l'ensemble ASTB parallèlement à lui-même en gardant toutes les longueurs fixes.

Contrairement à la méthode résistive que nous venons de voir et qui est en somme l'exploration en profondeur sous un point déterminé de la surface (d'ailleurs pour cette raison on l'appelle couramment sondage électrique), le traîné est une exploration à profondeur constante. On ne peut, des résultats d'un traîné, déduire la profondeur des couches, mais on peut grâce à ce procédé mettre en évidence des discontinuités subverticales dans la nature du sous-sol. Si par exemple on a à déterminer la ligne de contact entre deux terrains verticaux cachés par des alluvions, on fera plusieurs profils de traînés : avec les résultats obtenus on pourra dessiner la carte des résistivités apparentes pour une longueur constante entre électrodes de courant : on ne pourra déduire grand chose des variations lentes de résistivité, mais on pourra généralement définir assez

.../...

exactement les points de transition qui se marqueront par la variation rapide de résistivité apparente.

Le RACOM est une méthode d'exploration où les électrodes de courant sont fixes et les électrodes de tension, au nombre de trois, mobiles. On emploie dès le départ une distance très grande entre électrodes de courant et on fait des mesures en partant d'une de ces électrodes et en considérant l'autre comme étant à l'infini.

On suppose les trois électrodes de tension alignées sur la source à distance finie et on mesure les tensions entre l'électrode centrale et les deux électrodes extrêmes. Il est facile de montrer que, si le terrain est homogène, le rapport de ces deux tensions est constant lorsque les distances entre les électrodes de tension et l'électrode de courant varie proportionnellement.

On peut, lorsque le terrain n'est plus homogène, tracer les courbes donnant le rapport des tensions mesurées en fonction d'une longueur (écartement entre électrode de courant et électrode centrale par exemple).

Pour l'utilisation d'abaques spéciaux, on peut alors en déduire la profondeur (dans le cas de deux couches à surfaces planes, parallèles bien entendu). La précision est du même ordre de grandeur que pour un sondage électrique.

Le calcul est un peu plus long que pour le sondage électrique, mais cette méthode est utilisable avec un peu moins de personnel.

Le Racom est surtout précieux pour définir des contacts subverticaux car on a des mesures beaucoup plus nettes que dans le

.../...



traîné ; les variations du rapport de tension sont beaucoup plus rapides au voisinage d'un contact vertical que celles des résistivités apparentes d'un traîné.

On peut employer des variantes du Racom pour définir la direction du pendage lorsque la séparation des deux couches est inclinée par rapport à la surface topographique.

Cette direction de pendage peut d'ailleurs être obtenue aussi en faisant des mesures de résistivité dans trois directions autour d'un point. On trace une ellipse de résistivité dont l'un des axes correspond à la direction de la pente.

Le CAROTTAGE ELECTRIQUE est la mesure des résistivités à différentes profondeurs d'un forage non tubé. Les dispositions de mesure sont variées : cette méthode permet soit de vérifier les résultats d'un sondage si on a des doutes sur le carottage mécanique ou si le forage n'a pas été carotté, soit de permettre un étalonnage d'une prospection géophysique : lorsqu'on n'a pas de possibilité de faire cet étalonnage sur des affleurements, ou qu'on veut vérifier in situ avec plus de précision l'étalonnage fait sur affleurements (différences d'humidité ou d'altération possible entre l'affleurement et la roche sous-jacente).



C.P. Rueil-Malmaison, le 8 Février 1968

A N N E X E IV

CALCUL DE L'ÉCOULEMENT PAR LA METHODE DE THORNWAITE

Ce calcul a pour but la détermination de l'excédent d'eau ou écoulement  $Q$  mois par mois.

Une partie des eaux de précipitation  $P$  s'évapotranspire après l'arrivée au sol. Cette évapotranspiration est fonction de l'ensoleillement, de la température, du degré hygrométrique, de la végétation, etc... TURC a calculé pour chaque mois et pour la France l'évapotranspiration potentielle ( $ET_p$ ). On appelle précipitations utiles la différence  $P - ET_p$ . Quand elle est positive, cette différence est généralement disponible pour l'écoulement, cependant il arrive qu'elle soit négative l'été. Le déficit qui apparait ainsi est prélevé sur le stock d'eau contenu dans la couche superficielle du sol concerné par la végétation et Thornwaite estime ce stock à 100 mm. Il arrive que ce stock devienne nul et les précipitations utiles ultérieures et positives reconstituent ce stock jusqu'à concurrence de 100 mm avant d'avoir des disponibilités pour l'écoulement. Quand ce stock de 100 mm est reconstitué, toutes les précipitations utiles sont disponibles pour l'écoulement.

Le tableau qui suit a été établi pour Challes et les Déserts mois par mois de 1954 à 1964 inclus. On a indiqué également la moyenne arithmétique des écoulements de ces stations qui peut être considérée comme représentative de l'écoulement du bassin chambérien.

.../...

Ce tableau indique :

1°) Pour Challes

- Première ligne : pluviométrie ou précipitation  $P$  (mm)
- Deuxième ligne : évapotranspiration potentielle d'après TURC :  
 $ET_p$  (mm)
- Troisième ligne : précipitations utiles :  $P - ET_p$  (mm)
- Quatrième ligne : stock :

a) Stock = 100 mm

$$\text{Si } P - ET_p > 0 \quad , \quad P - ET_p = Q$$

$$\text{Si } P - ET_p < 0 \quad , \quad \text{stock} = 100 \text{ mm} - (P - ET_p) \\ \text{et } Q = 0$$

b) Stock < 100 mm

$$\text{Si } P - ET_p > 0 \quad , \quad \text{reconstitution du stock et sur-} \\ \text{plus disponible pour l'écoulement}$$

$$\text{Si } P - ET_p < 0 \quad , \quad \text{le stock diminue encore si c'est} \\ \text{possible, c'est à dire jusqu'à ce} \\ \text{qu'il soit nul et } Q = 0$$

- Cinquième ligne : excédent d'eau ou écoulement  $Q$  (mm)

.../...

2°) Pour les Déserts

même disposition

3°) Dernière ligne :

Moyenne arithmétique des excédents d'eau mensuels de Challes et  
des Déserts.

~~-----~~

CHALLES

	1954												1955										
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	
Précipitation Pmm	70,2	61,0	76,2	109,5	88,2	91,5	64,1	262,1	119,8	75,3	72,8	166,2	169,6	215,5	45,0	10,1	137,6	141,4	100,4	71,5	62,6	48,2	4,1
Evapotranspiration Potentielle ETPmm	30	30	35	60	90	110	120	100	65	40	30	30	30	30	35	60	90	110	120	100	65	40	3,4
Précipitations utiles FTPmm	40	31	41	49	-2	-19	-56	163	65	35	43	136	140	185	10	-50	47	36	-20	-23	-2	8	1,6
Stock mm	60	100	100	100	98	79	23	100	100	100	100	100	100	100	100	50	97	100	80	57	55	53	7,1
Excédent Qmm	40	31	41	49	0	0	0	83	65	35	43	136	140	185	10	0	0	33	0	0	0	0	0,6

LES DÉSERTS

Pmm	60,4	94,8	116,4	111,6	142,5	184,2	84,3	306,5	171,4	124,8	91,0	128,8	345,4	319,7	57,1	6,0	208,8	149,1	19,6	101,2	72,0	16,0	5,1
ETpmm	0	5	20	42	70	93	105	95	65	30	7	3	0	5	20	42	70	93	105	95	65	30	3,3
p-ETpmm	60	90	96	70	72	91	-21	211	106	95	84	126	345	3	37	-36	139	56	-25	6	7	46	1,4
Stock mm	100	100	100	100	100	100	79	100	100	100	100	100	100	100	100	64	100	100	75	81	88	100	1,1
Excédent Qmm	60	90	96	70	72	91	0	190	106	95	84	126	345	325	37	0	103	56	0	0	0	34	4,1

$\frac{1}{2} (Q_{Challes} - Q_{les\ Déserts}) mm$  50 60 65 60 36 45 0 136 85 65 63 131 242 255 23 0 51 44 0 0 0 17 1,8

1956

N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S

1957

1958

100	106.4	103.6	6.4	52.5	69.6	109.0	76.6	121.9	198.9	99.9	123.2	38.5	25.5	25.2	165.6	19.0	39.1	13.0	136.7	124.3	61.7	80.0	35.1	47.0	45.8	11.6	139.7	76.5	88.5	107.9	188.4	85.9	123.7	95.8	1	
0	30	30	30	35	60	90	110	120	100	65	40	30	30	30	30	35	60	90	110	120	100	65	40	30	30	30	30	30	35	60	90	110	120	100	65	4
2	76	74	-24	17	10	19	-33	8	99	35	83	8	-5	-5	136	-16	-21	-37	27	4	-38	15	-5	17	16	86	110	47	28	18	78	-34	24	31	6	
3	100	100	76	93	10	100	67	75	100	100	100	100	95	90	100	84	63	26	53	57	19	34	29	46	62	100	100	100	100	100	100	66	90	100	16	
4	49	74	0	0	3	19	0	0	74	35	83	8	0	0	126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	110	47	28	18	78	0	0	21	6	

20 182.0 166.6 153.3 39.2 80.0 122.9 88.1 111.9 251.2 143.0 95.6 93.7 29.4 14.9 214.7 24.6 54.8 77.3 78.5 211.5 91.7 76.7 53.5 47.8 53.1 181.9 160 83.9 93.8 95.5 275.0 108.1 178.0 123.5 1

7	3	0	5	90	42	70	93	105	95	65	30	7	3	0	5	20	42	70	93	105	95	65	30	7	3	0	5	20	42	70	93	105	95	65	3	
15	129	117	10	19	38	53	-5	73	156	78	66	87	26	15	210	5	13	7	92	106	-3	52	23	41	50	182	156	64	52	25	182	3	83	58	1	
00	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
25	179	117	10	14	38	53	0	68	156	78	66	87	26	15	210	5	15	7	92	106	0	49	23	41	50	182	156	64	52	25	182	3	83	58	1	

22 114 95 5 9 20 36 0 34 115 56 75 47 13 7 168 2 6 3 46 53 0 24 11 20 25 115 133 52 40 21 130 7 47 39 8

1959

1960

1961

O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S

045 581 883 1234 0 693 1146 455 875 1179 929 597 263 432 1582 76 121 104 13 37 120 138 181 233 144 171 58 109 95 22 114 126 104 186 58 6

10 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65

14 29 58 93 -30 34 55 -45 -23 -2 -7 -5 86 13 128 46 91 69 -47 -53 10 18 81 168 102 141 28 79 65 -13 52 36 -6 66 -42 -59

10 100 100 100 70 100 100 55 32 30 23 18 100 100 100 100 100 100 53 0 10 88 100 100 100 100 100 100 100 100 87 100 100 94 100 58 0

14 29 58 93 0 4 55 0 0 0 0 4 13 128 46 91 69 0 0 0 9 168 102 141 28 79 65 0 41 36 0 60 0 0

310 662 1435 2498 0 1159 2315 630 1203 887 895 396 1893 537 2442 936 173 148 186 529 172 197 242 390 224 246 102 184 164 33 176 101 151 253 69 29

10 7 3 0 5 20 42 70 93 705 95 65 30 7 3 0 5 20 42 70 93 105 25 65 30 7 3 0 5 20 42 70 93 105 95 65

01 59 140 250 -5 96 189 -7 27 17 -6 -25 159 46 241 94 168 128 -23 -77 79 92 147 325 194 239 99 184 159 73 734 31 58 148 -26 -36

10 100 100 100 95 100 100 93 100 83 77 52 100 100 100 100 100 100 77 60 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 74 38

21 59 140 250 0 91 189 0 20 0 0 0 111 46 241 94 168 128 0 0 39 92 147 325 194 239 99 184 159 73 734 31 58 148 0 0

2 44 99 171 0 47 122 0 10 0 0 0 57 30 185 70 130 99 0 0 20 46 78 206 149 190 63 131 112 6 87 33 29 104 0 0

1962

1963

1964

O N D J F M A M J J A D O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O

126 83 197 140 72 109 72 73 29 30 12 12 40 35 191 39 74 180 91 66 182 53 236 67 40 143 6 7 54 144 62 75 78 26 119 86 10

40 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40

86 53 167 110 42 74 12 -17 -81 -90 -88 27 0 5 161 9 44 145 151 -261 72 -67 136 2 0 113 -24 -23 24 109 2 -15 -32 94 19 21 61

86 100 100 100 100 600 83 2 0 0 27 27 32 100 100 100 100 36 100 33 100 100 100 36 53 77 100 100 85 -63 0 19 40 10

0 39 167 110 42 74 12 0 0 0 0 0 0 129 9 44 145 151 0 48 0 69 2 0 113 0 0 0 86 2 0 0 0 0 0 1

172 123 297 203 116 201 111 121 36 46 31 102 61 66 299 56 153 295 140 109 244 127 257 92 87 223 10 7 59 190 102 101 99 57 160 106 18

30 7 3 0 5 20 42 70 93 105 95 65 30 7 3 0 5 20 42 70 93 105 95 65 30 7 3 0 5 20 42 70 93 65 30 65 30

142 116 294 203 111 181 69 51 -57 -59 64 -37 31 59 291 56 152 275 98 39 151 22 162 31 57 216 7 7 54 170 60 31 6 -8 120 41 15

100 100 100 100 100 100 100 43 0 0 37 68 100 10

80 116 194 203 111 181 64 51 0 0 0 0 0 27 291 56 152 275 98 39 151 22 162 31 57 216 7 7 54 170 60 31 6 0 118 41 15

10 177 230 156 76 127 40 25 0 0 0 0 0 13 210 32 98 210 124 19 99 11 115 16 28 164 3 3 27 128 31 15 3 0 59 20 78



1963

1964

O N D J F M A M J J A S O N D J F M A M J J A S O N D

40 35 191 39 74 180 91 66 182 53 236 67 40 143 6 7 54 144 62 75 78 26 119 86 101 35 35

40 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40 30 30 30 30 35 60 90 110 120 100 65 40 30 30

0 5 161 9 44 145 151 -267 72 -67 136 2 0 413 -24 -23 24 109 2 -15 -32 94 19 21 61 5 5

27 32 100 100 100 100 100 36 100 33 100 100 100 100 36 53 77 100 100 85 -63 0 19 40 100 100 100

0 0 129 9 44 145 151 0 48 0 69 2 0 113 0 0 0 86 2 0 0 0 0 1 5 5

Excédent

Stock

P utilises

61 66 299 56 152 295 140 109 244 127 257 92 82 223 10 7 59 190 102 101 99 57 160 106 181 60 78

P

30 7 3 0 5 20 42 70 93 105 95 65 30 7 3 0 5 20 42 70 93 65 30 65 30 7 3

FIP

31 59 291 56 152 275 98 39 151 22 62 31 57 216 7 7 54 170 60 31 6 -8 120 41 151 53 75

P utilises

68 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 100 92 100 100 100 100 100

Stock

0 27 291 56 152 275 98 39 151 22 162 31 57 216 7 7 54 170 60 31 6 0 118 41 151 53 75

Excédent

0 13 210 32 98 210 124 19 99 11 115 16 28 164 3 3 27 128 31 15 3 0 59 20 78 29 40

<sup>1</sup>/<sub>2</sub> (Q) Challes Q les Déserts, mm