



BRGM

BUREAU DE RECHERCHES
GEOLOGIQUES ET MINIERES
74, Rue de la Fédération
PARIS 15°

Direction Scientifique
Département Géologie
SERVICE D'HYDROGEOLOGIE

RECHERCHE DES MODALITES D'EXPLOITATION D'UNE
NAPPE EN AMONT D'UNE LIGNE D'EMERGENCE

Exemple d'application à la nappe de la Crau

par

J. FORKASIEWICZ

R E S U M É

Etant donnée une nappe dont les caractéristiques et les limites sont connues -selon une approximation acceptable-, comment déterminer les modalités optimales de son captage aussi complet que possible dans des conditions définies ?

Cette question s'est posée pour la nappe de la Crau dans des conditions qui correspondent à un cas assez classique pour que la solution apportée nous ait paru présenter un intérêt général.

L'objet de ce rapport est d'exposer succinctement la méthode utilisée et de montrer comment elle a été appliquée dans les conditions propres de la nappe de la Crau qui sont celles d'une nappe de débordement dont une ligne d'émergence constitue l'exutoire principal.

S O M M A I R E

1. Introduction.
2. Méthode de calcul.
 - 2.1. Notations.
 - 2.2. Calcul du débit en fonction de la dépression et de la distance à la ligne des émergences d'eau.
 - 2.2.1. Puits ou forage isolé.
 - 2.2.2. Alignement de puits ou forages.
 - 2.2.3. Groupe de puits ou forages disposés suivant un cercle.
 - 2.3. Calcul du débit admissible en fonction du danger des venues d'eau salée.
 - 2.4. Choix d'un dispositif de captage.
3. Exemple de la Crau.
 - 3.1. Historique.
 - 3.2. Problème envisagé.
 - 3.3. Hydrogéologie de la Crau.
 - 3.4. Données numériques.
 - 3.5. Résultats de calcul.
 - 3.5.1. Cas particulier envisagé
 - 3.5.1.1. Récupération du débit perdu.
 - 3.5.1.2. Situation près du complexe industriel.
 - 3.5.1.3. Distances envisagées.
 - 3.5.1.4. Rabattement admis.
 - 3.5.1.5. Diamètre des forages.
 - 3.5.2. Résultat de calcul.
 - 3.5.2.1. Zone la plus propice au captage.
 - 3.5.2.2. Débit par forages.
 - 3.5.3. Proposition de captage.
 - 3.5.3.1. Zone A
 - 3.5.3.2. Zone B
 - 3.5.3.3. Zone C
 - 3.5.3.4. Zone D
 - 3.5.4. Récapitulation.
4. Remarques.

1. Introduction.

L'exploitation d'une nappe, quelle que soit son intensité et son régime, entraîne nécessairement sous peine d'une rupture à plus ou moins long terme de l'équilibre du bilan, une réduction compensatrice des débits d'émission naturelle de cette nappe, d'une manière ou d'une autre.

Ce rééquilibre se fait le plus souvent de manière peu perceptible et sans que les exploitants en prennent conscience: c'est le cas général tant que les points d'exploitation sont dispersés et que les débits prélevés sont faibles.

Il n'en est plus de même lorsqu'on se propose d'exploiter au maximum les ressources globales d'une nappe. Il faut alors savoir comment le bilan peut se rééquilibrer et s'assurer que ce rééquilibre est acceptable en pratique.

Cela exige notamment que l'exploitation soit coordonnée ou mieux soumise à une direction unique, ainsi qu'il en est pour l'exploitation hydroélectrique rationnelle complète d'un cours d'eau.

Le cas traité ici sera celui, classique, d'une nappe de débordement limitée à l'aval par une ligne d'émergences (sources de débordement), au contact d'une couverture de moindre perméabilité. Le captage optimal de la nappe consiste à exploiter celle-ci selon un front parallèle à la ligne d'émergence et en amont de celle-ci, donc obligatoirement au détriment de l'écoulement naturel par ces émergences. Le problème se pose chaque fois que pour une raison ou une autre le captage direct des émergences n'est pas possible ou serait trop coûteux. Par exemple, dans le cas de la nappe de la Crau qui servira d'application, le rabattement de la cote des émergences entraînerait un risque d'invasion d'eau de mer.

2. Méthode de calcul.

Tout ouvrage de captage au début est toujours en régime transitoire c'est-à-dire que lorsque l'on pompe dans un puits on crée un cône de dépression qui se propage jusqu'aux limites de la nappe.

Dans le cas où cette limite est une zone d'émergences, on sait que l'influence de cette limite se traduira par la quasi-stabilisation du niveau piézométrique. Le début de cette stabilisation se manifestera après la durée de pompage:

$$t = \frac{D^2 S}{T}$$

La quasi-stabilisation sera atteinte après une durée d'exploitation 5 ou 10 fois plus longue.

Dans le cas de la nappe de la Crau, dont le front d'exploitation projeté entre Fos et Mas de Vincent, se trouve à la proximité de sa limite aval constituée par une ligne d'émergences à niveau d'eau constant, le régime quasi-permanent sera atteint assez vite (voir tableau I).

2.1. Notations.

- K - perméabilité
- H - épaisseur de la couche aquifère
- T - transmissivité hydraulique (= KH)
- S - coefficient d'emmagasinement
- i - pente de la surface piézométrique
- L - longueur du front de la nappe
- q - débit d'un forage
- Q - débit total d'un groupe de forages
- h - hauteur d'eau dans le puits en pompage par rapport au substratum
- Y - dépression du niveau piézométrique à la paroi du puits due au pompage (= H-h)

T A B L E A U I

Durée de pompage $t = \frac{D^2 S}{T}$ en jours, correspondant au début de stabilisation du niveau d'eau dans le puits.

Transmissivité T		Distance à la limite					
		D = 1.000m			D = 2.000 m		
en m ² /h	en m ² /j	S = 0,18	S = 0,10	S = 0,05	S = 0,18	S = 0,10	S = 0,05
1.000	24.000	7	4	2	27	15	8
300	7.200	25	14	7	100	55	28
200	4.800	38	21	10	150	84	42
150	3.600	50	28	14	200	110	55

- t - temps de pompage
- r - rayon du puits
- a - distance séparant deux forages successifs
- D - distance entre le forage ou le groupe de forages et une ligne d'émergences d'eau à niveau constant.

2.2. Calcul du débit en fonction de la dépression et de la distance D à la ligne d'émergence d'eau.

2.2.1. Puits ou forage isolé.

On sait que, dans le cas d'un puits implanté dans une nappe libre et situé à la distance D d'une ligne d'émergences à niveau d'eau constant, le débit d'un puits en régime permanent se calcule suivant l'expression:

$$q = \pi K \frac{(H^2 - h^2)}{\log_e \frac{2D}{r}} *$$

ou en remplaçant $(H^2 - h^2)$ par $\frac{2(H+h)}{2} (H-h)$

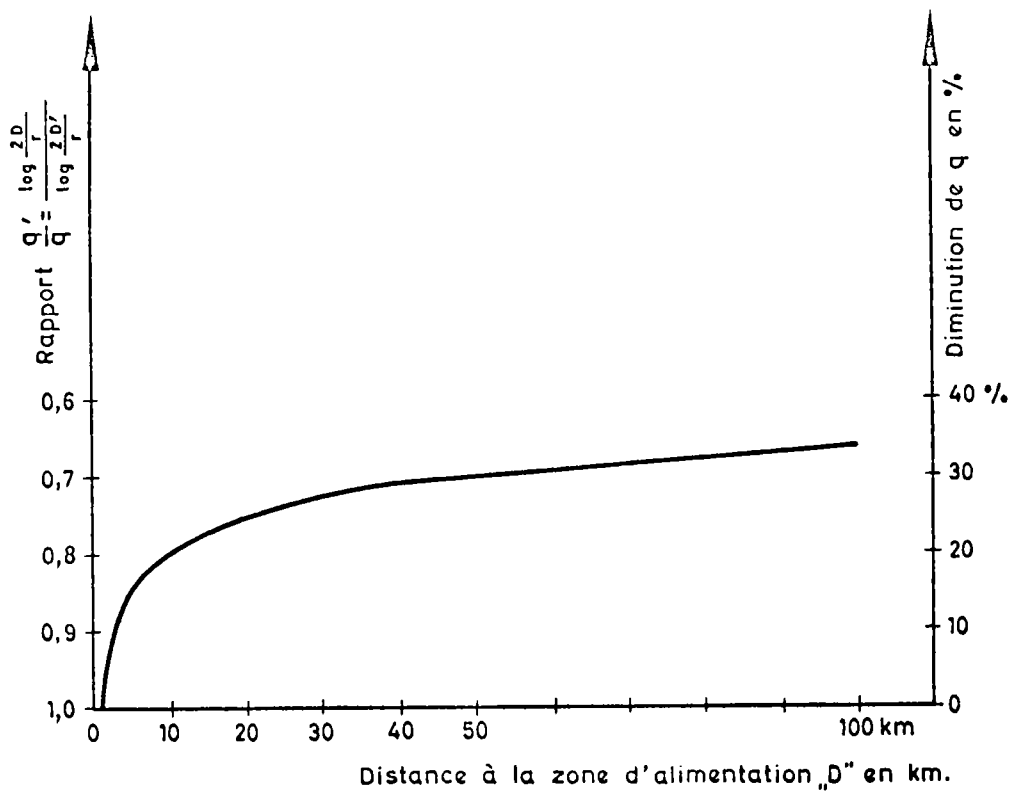
$$q = \frac{YK \frac{(H + h)}{2}}{0,366 \log \frac{2D}{r}}$$

Le débit maximal q_{\max} d'un puits sera déduit de la dépression maximale Y_{\max} admissible:

$$q_{\max} = \frac{Y_{\max} K \frac{(H + h)}{2}}{0,366 \log \frac{2D}{r}} \quad (1)$$

* "Les eaux souterraines " de H. SCHOELLER, p. 563

Relation : débit „q” d’un puits de 0,45m de diamètre —
— Distance „D” à la zone d’alimentation.



q - Débit d'un puits situé à $D = 1$ km.

q' - Débit d'un puits situé à $D' = 2, 3, 4 \dots 100$ km.

r - Rayon d'un puits admis égal à 0,225 m.

fig. 1

Un puits proche de la zone d'alimentation débite plus qu'un puits situé à grande distance.

Cependant, comme le débit est inversement proportionnel au logarithme du rapport de la distance D au rayon du puits r, le changement de la distance se fait sentir surtout près des émergences. Ainsi, un puits de 0m45 de diamètre situé à 10 km (voir figure n° 1) pour la même dépression débiterait 20% de moins qu'un puits situé à 1 km; un puits situé à 50 km débitant 1% de moins seulement qu'un puits situé à 40 km.

2.2.2. Alignements de puits ou forages.

Dans le cas de n forages alignés parallèlement à la ligne d'émergences, la dépression observable à la paroi d'un forage sera la somme des dépressions provoquées par la pompage de chaque forage.

$$Y = y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_n = \frac{0,366}{K\left(\frac{H+h}{2}\right)} \left[q_0 \log \frac{2D}{r} + q_1 \log \frac{b_1}{a_1} + q_2 \log \frac{b_2}{a_2} + \dots + q_n \log \frac{b_n}{a_n} \right] *$$

où:

a_1, a_2, \dots, a_n - distances du forage examiné aux forages réels.

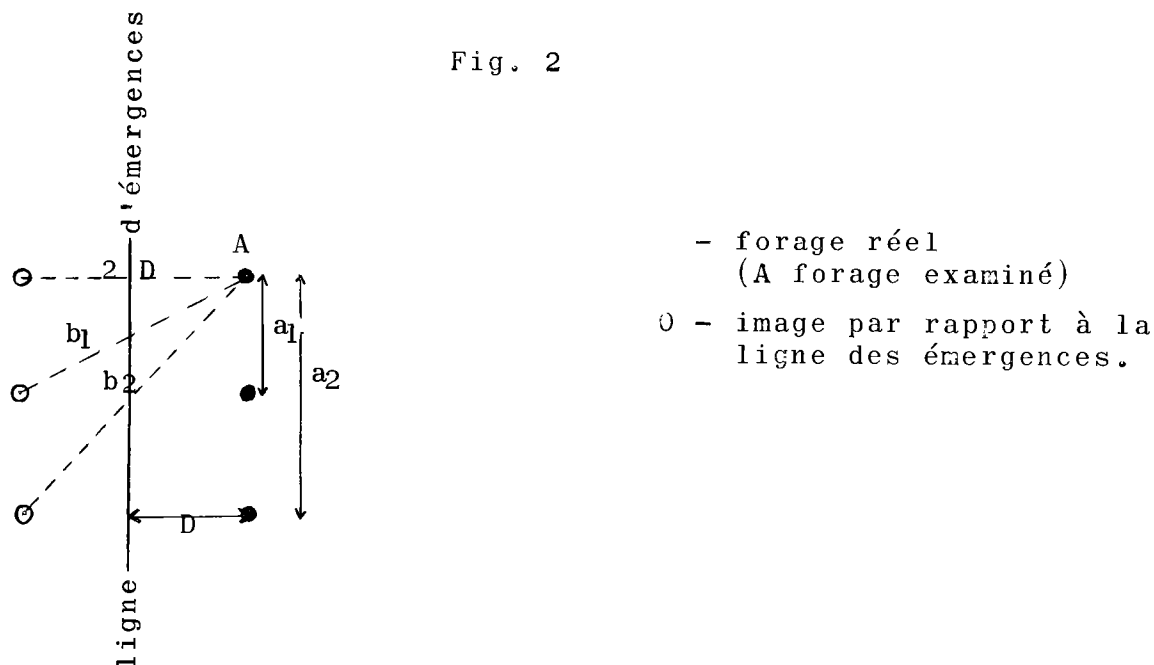
b_1, b_2, \dots, b_n - distances du forage examiné aux images des forages (voir fig. 2) par rapport à la ligne des émergences.

et si $q_0 = q_1 = q_2 = q_n$ on obtient:

$$Y = 0,366 \frac{q}{K\left(\frac{H+h}{2}\right)} \left[\log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{b_n}{a_n} \right]$$

* Exemple analogue cité dans "Les eaux souterraines" de H. SCHOELLER, page 565.

Fig. 2



Le débit maximal q'_{\max} d'un forage d'alignement sera donc pour la dépression:

$$y = y_{\max} :$$

$$q'_{\max} = \frac{Y_{\max} K \left(\frac{H+h}{2} \right)}{0,366 \left[\log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{b_n}{a_n} \right]} \quad (2)$$

Le rapport $\frac{q'_{\max}}{q'_{\max}} = \frac{\log \frac{2D}{r}}{\left[\log \frac{2D}{r} + \sum \log \frac{b_n}{a_n} \right]}$

exprimera au point de vue du débit le degré d'indépendance des forages.

Les valeurs de ce rapport calculées en fonction de "D" et "a" pour le forage central d'un alignement (le plus influencé par les forages voisins) et le forage situé à l'extrémité de l'alignement et exploitant une nappe homogène d'extension illimitée traversée par une ligne d'émergences figurent dans le tableau ci-dessous.

Nombre de forages	a= 0,5D	a=0,75D	a= 1D	a= 1,5D	a= 2D
Dépression dans le <u>forage central.</u>					
2	0,85	0,90	0,92	0,95	0,97
3	0,76	0,83	0,86	0,90	0,93
5	0,67	0,76	0,80	0,87	0,91
7	0,63	0,73	0,77	0,86	0,90
9	0,60	0,71	0,76	0,85	0,90
11	0,58	0,70	0,76	0,85	0,90

Dépression dans le <u>forage d'extrémité.</u>					
11	0,70	0,80	0,85	0,90	0,93

Nous en retiendrons qu'avec l'espacement de forages égal à 1,5 D (pour une même dépression) le débit diminuerait tout au plus de 15% dans le forage central et de 10% dans le forage extrême de l'alignement.

Quoique cette réduction de débit n'est pas importante, et souvent elle peut être négligée, vu l'imprécision de données de base utilisées, nous en tiendrons compte dans le cas présent pour les raisons de sécurité.

2.2.3. Groupe de puits ou forages disposés suivant un cercle.

Si le débit possible par forage est très important ($q > 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$), ce qui arrive dans les zones à transmissivité hydraulique très élevée, le puisage d'un tel débit par un seul forage est difficile. Le problème peut être résolu en réalisant un groupe de forages disposés suivant un cercle au lieu d'un forage.

Dans ce cas, la dépression Y_n d'un groupe de n forages disposés suivant un cercle de rayon R , en fonction du débit total $Q = nq$ et de la distance D jusqu'à la ligne d'émergence est:

$$Y_n = 0,366 \frac{Q}{K\left(\frac{H+h}{2}\right)} \left[\log \frac{2D}{R} + \frac{1}{n} \log \frac{R}{r} - \frac{1}{n} \log n \right] *$$

et:

$$Q = nq = \frac{Y_n K\left(\frac{H+h}{2}\right)}{0,366 \left[\log \frac{2D}{R} + \frac{1}{n} \log \frac{R}{r} - \frac{1}{n} \log n \right]} \quad (3)$$

Le comportement d'un tel groupe de forages sera analogue à celui d'un forage unique débitant $Q = nq$ pour la même dépression $y = y_n$ et qui aurait le rayon (rayon équivalent) r_e calculable d'après la formule:

$$\log \frac{r_e}{R} = \frac{n-1}{n} \log 2 + \frac{1}{n} \left[\log \frac{r}{R} + \sum_{i=1}^{n-1} \log \sin \frac{\overline{JI}_i}{n} \right] **$$

Le débit $Q = nq$ calculé par la formule 3 serait, dans le cas d'un alignement de forages, à diminuer compte tenu de l'influence des autres forages formant l'alignement.

2.3. Calcul du débit admissible en fonction du danger des venues d'eau salée.

2.3.1. Dans le cas d'un puits ou d'un forage isolé dans une nappe dont l'écoulement s'effectue vers une zone d'émergence à niveau d'eau constant, on démontre (voir "Circuits de refroidissement industriels alimentés par puisage et injection d'eau souterraine" par E. BERKALOFF) *** qu'il n'y a pas

* D'après E. BERKALOFF.

** "Les Eaux souterraines", H. SCHOELLER, p. 560

*** Rapport B.R.G.M. Service d'Hydrogéologie - DS.64,A.50 - Mai 1964

d'inversement de sens d'écoulement donc, dans notre cas, de remontée d'eau salée tant que le débit du forage reste inférieur au débit limite:

$$q_0 = \sum DT_i \quad (4)$$

Autrement dit, le débit admissible est proportionnel à la distance D.

2.3.2. Dans le cas d'un alignement de forages, l'inversion d'écoulement commencera avec le débit q'_0 plus faible que q_0 correspondant au puits isolé. Les valeurs du rapport $\frac{q'_0}{q_0}$ dépendront de la distance "a" séparant deux forages successifs (voir "Circuits de refroidissement industriels alimentés par puisage et injection d'eau souterraine" par E. BERKALOFF).

Ainsi pour:

$$a = 1D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,32$$

$$a = 1,5D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,46$$

$$a = 2D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,58$$

$$a = 3D \quad \frac{q'_0}{q_0} = 0,75$$

2.4. Choix d'un dispositif de captage.

Le dispositif de captage doit évidemment satisfaire aux conditions suivantes :

- 1° Capturer le maximum d'eau avec le minimum de forage sans dépasser le débit 1000 m³/h par forage qui est le maximum réalisable pratiquement.
- 2° Eviter les venues d'eau salée vers les captages.

Le dispositif de captage à adopter doit satisfaire au mieux à ces conditions qui sont en opposition. En effet, pour obtenir le maximum de débit par puits, il faut se rapprocher de la ligne des émergences comme nous l'avons vu au § 2.2..

Pour éviter les venues d'eau salée, il faut se placer aussi loin que possible de cette ligne (voir § 2.3)
La solution rationnelle sera un compromis entre ces impératifs.

3. Exemple de la Crau.

3.1. Historique.

Afin de satisfaire les besoins en eau du futur complexe industriel dont la création est projetée dans la région de Fos-sur-mer, le captage de la nappe des cailloutis quaternaires de la Crau a été envisagé. Au cours d'une première phase, les études entreprises par le B.R.G.M. (Service géologique régional de Provence-Corse du D.S.G.R., et Service d'Hydrogéologie) en collaboration avec l'Université de Marseille (Professeur C. GOUVERNET) ont permis de reconnaître les principales caractéristiques de la nappe et d'évaluer son débit moyen. En seconde étape, il s'agissait de définir le dispositif le plus avantageux de captage de cette nappe.

3.2. Problème posé.

Le problème est de choisir l'emplacement et le débit de futurs forages de façon à pouvoir exploiter la nappe au maximum d'une manière durable et sans provoquer une invasion d'eau salée.

3.3. Hydrogéologie de la Crau.

La Crau est une vaste plaine de 500 km² environ, ayant la forme d'un triangle dont les sommets respectifs sont: Arles, Lamanon et Fos-sur-mer (voir fig. 3)

Au point de vue structural, elle correspond à une cuvette miocène comblée par les cailloutis d'âge quaternaire et Pliocène.

Cette nappe est limitée:

- au Nord, par les calcaires de la chaîne des Alpilles et du massif du Verneques;
- à l'Est, par les collines molassiques miocènes de Grains et d'Istres;

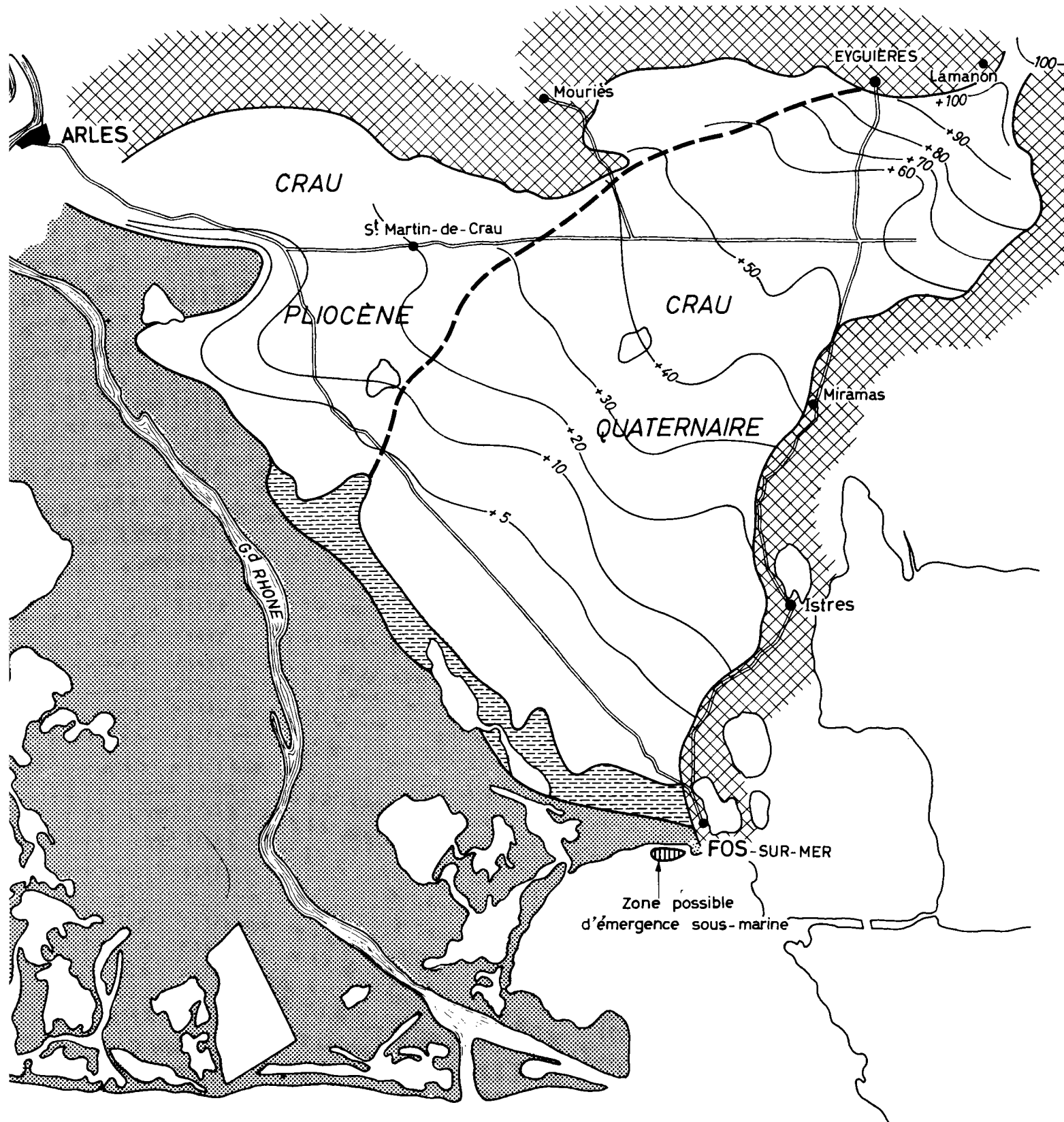


Fig.3 - SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE DE LA CRAU

- au Sud-Ouest, les cailloutis sont recouverts par des limons du delta du Rhône et s'enfoncent sous la mer, où ils sont envahis par l'eau salée.

La Crau est fortement mais inégalement irriguée (les zones irriguées couvrent 24% de la surface totale de la plaine).

Les irrigations et les précipitations paraissent constituer l'unique source d'alimentation de la nappe.

L'écoulement d'eau souterraine se fait de NE vers le Sud-Ouest.

Une limite de partage des eaux sépare la nappe des alluvions quaternaires de la nappe des alluvions pliocènes.

Nous ne nous occuperons ici que de la nappe des alluvions quaternaires.

Au contact des cailloutis quaternaires avec les limons du delta du Rhône, cette nappe émerge entre Mas-de-Thibert et Fos-sur-mer sur un front de 20 km environ formant une large zone de marais à une altitude comprise généralement entre 0,5 et 1m (fig. 4)

3.4. Données numériques.

Les caractéristiques de la nappe de la Crau n'étant connues que dans sa partie aval, comprise entre Fos et Mas-de-Vincent, nous limiterons les calculs et les prévisions des modalités optimales du captage dans cette partie de la nappe.

Ces caractéristiques peuvent être résumées dans le tableau suivant:

S W

N E

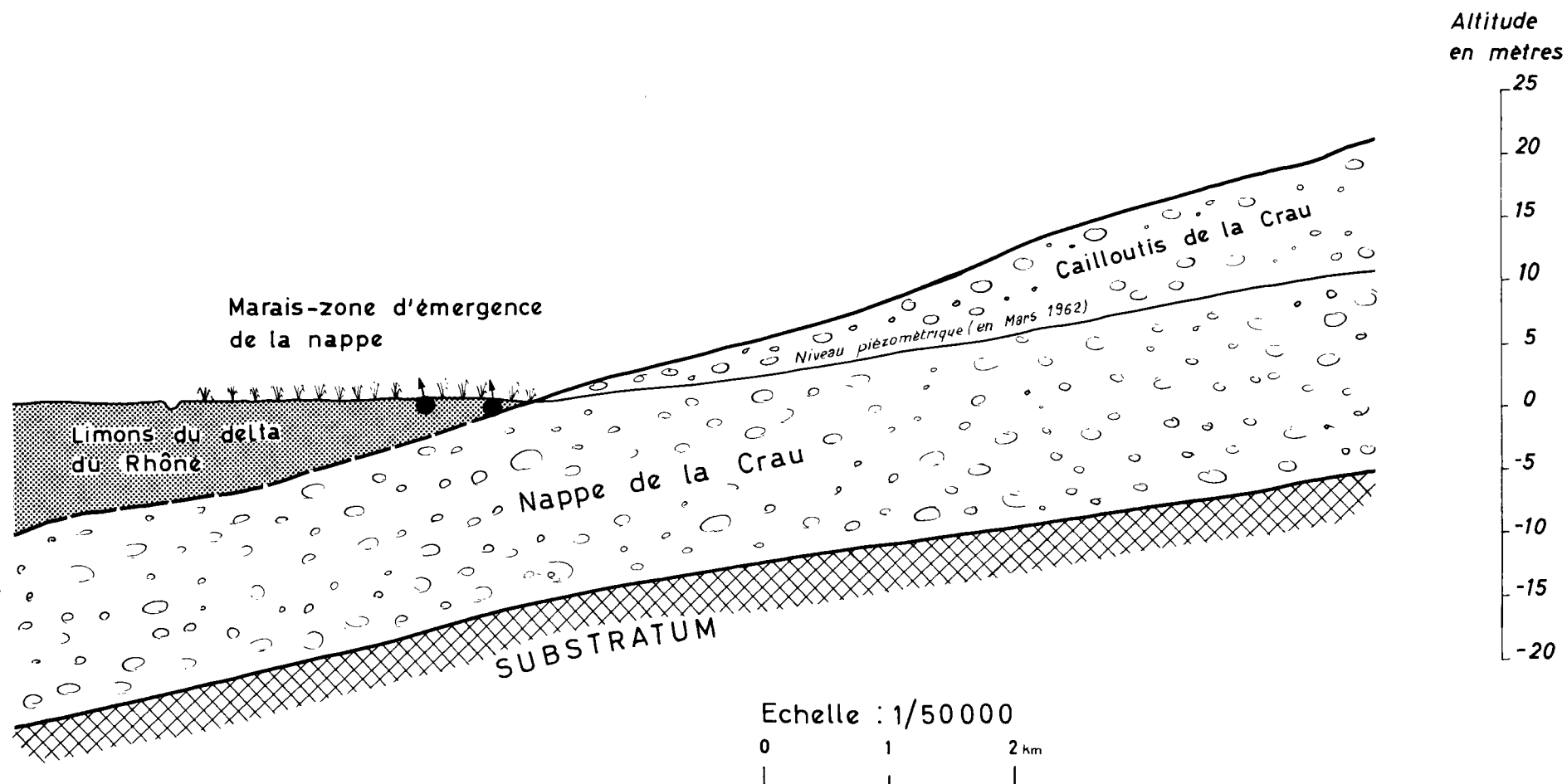


Fig.4 – PROFIL HYDROGÉOLOGIQUE SCHÉMATIQUE DE LA PARTIE AVAL DE LA CRAU

épaisseur de la couche aquifère "H"	varie entre 30 et 10 mètres
perméabilité "K"	varie entre $2,6.10^{-2}$ m/s et $4,2.10^{-3}$ m/s
transmissivité "T"	varie entre $3,6.10^{-1}$ m/s et $4,2.10^{-2}$ m/s
pente moyenne de la surface piézométrique " i_m "	0,003
longueur du front d'écoulement "L"	17 km
débit moyen de la nappe "Q"	5 m ³ /s

Malgré l'hétérogénéité et les variations d'épaisseur de la couche aquifère, de perméabilité et de transmissivité, les calculs ont été effectués par tranches de terrain homogènes c'est-à-dire dans lesquelles les caractéristiques hydrauliques ont été admises comme étant invariables.

En commençant par la région de Fos, nous avons distingué 4 zones: A, B, C et D dont les caractéristiques admises figurent dans le tableau ci-dessous:

Caractéristiques moyennes admises	ZONE A	ZONE B	ZONE C	ZONE D
épaisseur de la nappe "H _m "	20m	10m	14m	10m
perméabilité "K _m "	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$6 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	$4,1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
transmissivité "T _m "	$3,0 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$	$5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$8,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$	$4,1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
pente de la surface piézométrique "i _m "	0,003	0,003	0,002	0,003
longueur du front d'écoulement "l"	3000m	4000m	6000m	4000m
Débit du front d'écoulement "Q"	2,7 m ³ /s	0,6 m ³ /s	1,0 m ³ /s	0,5 m ³ /s

3.5. Résultats de calcul.

3.5.1. Cas particulier envisagé.

Les calculs du débit admissible ont été faits pour chaque zone dans deux hypothèses successives d'implantation d'un alignement de forages parallèle à la ligne d'émergences situé à des distances $D = 1$ et 2 km.

Une telle implantation des forages suivant un alignement parallèle à la ligne d'émergences et à proximité de cette ligne paraissant se justifier pour deux raisons :

3.5.1.1. la récupération du débit perdu des sources de trop-plein;

3.5.1.2. la situation dans la zone la plus proche du futur complexe industriel de Fos-sur-mer.

3.5.1.3. Les distances $D = 1$ km et $D = 2$ km ont été envisagées comme étant déjà suffisamment grandes pour ne plus craindre la venue d'eau salée compte tenu du débit maximal pratiquement réalisable par puits, qui est de $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

3.5.1.4. Le rabattement maximal admissible a été pris comme étant de 5 mètres restant égal à la demi-épaisseur de la nappe à l'endroit où elle est la plus mince.

3.5.1.5. Le diamètre des forages étant supposé égal à 450mm qui est couramment pratiqué.

3.5.2. Les résultats de calcul figurent dans le tableau II.

Il en résulte que :

3.5.2.1. la zone la plus propice au captage est la zone A.

T A B L E A U I I

Débits maximaux des ouvrages.

Z O N E	D = 1.000 m						D = 2.000m					
	q _o	q'o		q _{max}	q'max		q _o	q'o'		q _{max}	q'max	
		a= 1,5D	a= 2D		a= 1,5D	a=2D		a= 1,5D	a=2D		a= 1,5D	a= 2D
A	10.150	4.700	5.900	2.400	2.000	2.160	20.300	9.400	11.800	2.200	1.900	2.000
B	1.700	780	990	470	400	420	3.400	1.570	1.970	440	370	400
C	1.850	860	1.100	710	600	640	3.760	1.700	2.200	630	540	570
D	1.400	640	800	390	330	350	2.800	1.200	1.600	360	300	320

D - distance en mètres jusqu'à la zone d'émergences

q_o - débit limite d'un forage en m3/h pour ne pas provoquer la venue d'eau salée (formule 4)

q'o - débit limite d'un forage en m3/h pour ne pas provoquer la venue d'eau salée dans le cas d'un alignement de forages
(déduit du rapport $\frac{q'o'}{q_o}$ pour $\frac{Q}{D} = 1,5$ et $\frac{a}{D} = 2$)

q_{max} - débit maximal d'un forage en m3/h en fonction du rabattement maximal = 5 mètres (formule 1)

q'max - débit maximal d'un forage en m3/h pour le même rabattement = 5 m dans le cas d'un alignement de forages (déduit du rapport $\frac{q_{max'}}{q_{max}}$

a - distance séparant 2 forages successifs.

3.5.2.2. Le débit que l'on peut obtenir par forage dans cette zone en rabattant le niveau piézométrique de 5 mètres à 1 km de la ligne d'émergences est de l'ordre de 2.000 m³/h. Or, un tel débit paraît difficile à pomper dans un seul forage.

Le problème sera résolu en réalisant un groupe de 5 forages disposés suivant un cercle de rayon R = 50 mètres, au lieu d'un forage.

Le débit, calculé d'après la formule (3) est de 800 m³/h par forage et de 4000 m³/h par groupe. Il restera inférieur au débit limite d'exploitation "q_o" sans invasion d'eau salée, évalué au § 2.4.a à 5.000 m³/h pour cette zone.

De même, en se plaçant toujours à 1 km de la zone des émergences et en respectant la distance a= 1,5D entre deux forages successifs, le débit admissible par forage sera:

400 m ³ /h	dans la zone B			
600	-	-	-	C
300	-	-	-	D

3.5.3. Nous proposons donc:

3.5.3.1. pour la zone A:

2 groupes de 5 forages distants de
a= 1,5D = 1,5 km,

chaque groupe puisant au débit Q= 4000 m³/h;
débit total étant Q_{tA} = 2 Q = 8000m³/h=2,22 m³/s

degré d'utilisation de la nappe: $\frac{Q_{tA}}{T_{il}} = 82\%$

3.5.3.2. pour la zone B:

2 forages distants de $a = 1,5D = 1,5 \text{ km}$

à débit $q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$;

débit total $Q_{tB} = 2q = 800 \text{ m}^3/\text{h} = 0,22 \text{ m}^3/\text{s}$

degré d'utilisation de la nappe $\frac{Q_{tB}}{T_{il}} = 37\%$

3.5.3.3. pour la zone C:

4 forages distants de $a = 1,5D = 1,5 \text{ km}$

à débit $q = 600 \text{ m}^3/\text{h}$;

débit total $Q_{tC} = 4q = 2400 \text{ m}^3/\text{h} = 0,67 \text{ m}^3/\text{s}$

degré d'utilisation de la nappe $\frac{Q_{tC}}{T_{il}} = 67\%$

3.5.3.4. pour la zone D:

3 forages distants de $a = 1,5D = 1,5 \text{ km}$

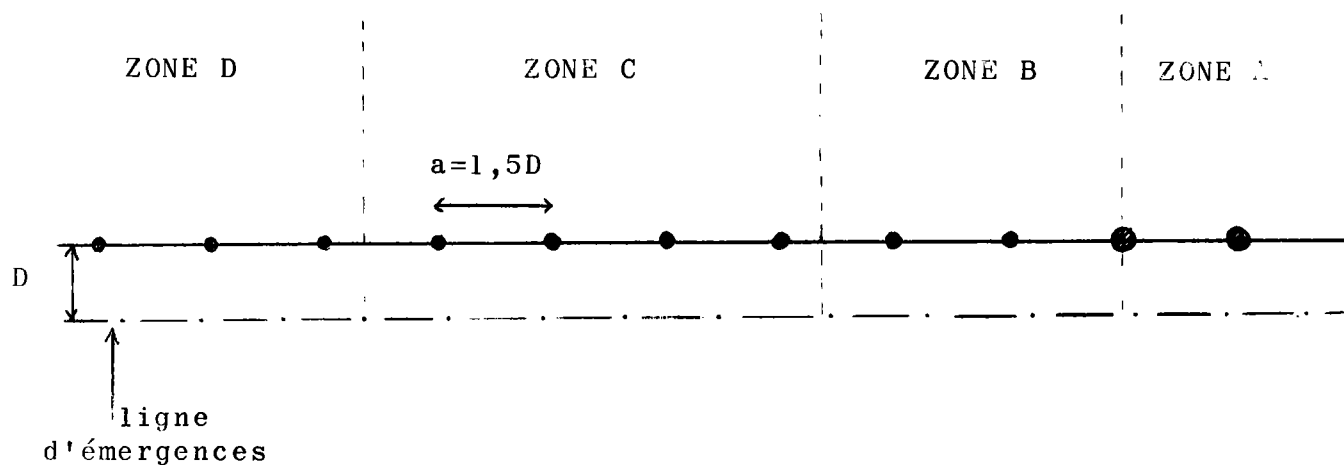
à débit $q = 300 \text{ m}^3/\text{h}$;

débit total $Q_{tD} = 3q = 900 \text{ m}^3/\text{h} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s}$

degré d'utilisation de la nappe: $\frac{Q_{tD}}{T_{il}} = 51\%$

3.5.4. Récapitulation.

Nous joignons ci-dessous un schéma de répartition de forages dans chaque zone. Il n'est valable que dans les limites des hypothèses admises:



Au total, à l'aide de 9 forages et de 2 groupes de forages répartis sur un front de 17 km, on obtiendra un débit d'exploitation $Q_T =$

$$Q_T = Q_{tA} + Q_{tB} + Q_{tC} + Q_{tD} = 12.100 \text{ m}^3/\text{h} = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

et la nappe sera exploitée à 70% environ.

4. Remarque:

Dans nos raisonnements et nos calculs, nous n'avons pas tenu compte de la limite orientale de la nappe de la Crau située perpendiculairement à la ligne d'émergences et constituée par des collines molassiques, en raison de la méconnaissance de ses caractéristiques hydrauliques.

Cependant, cette limite étant très proche de l'extrémité orientale de l'alignement (à 1,5 km du 1er groupe de forages de la zone A), nous avons, par souci de sécurité, effectué des calculs approximatifs pour évaluer l'influence possible de cette limite dans le cas le plus défavorable: celui d'une barrière étanche par rapport à la nappe de cailloutis.

Ce cas, comportant à la fois une ligne d'émergences rectiligne et une barrière étanche transversale, a été traité par E. BERKALOFF. *

Il résulte que, dans notre cas: celui d'un alignement tracé parallèlement à la ligne d'émergences à la distance $D = 1$ km et dont les forages sont espacés de $a = 1,5 D$ (avec $D = 1$ km) à partir de la barrière étanche, l'influence de cette barrière étanche devient négligeable à partir du 4ème forage. Pour les forages plus rapprochés, elle se traduira par une réduction du débit de forage de 2% au maximum.

En conséquence, si nous négligeons complètement l'influence de cette barrière, nous n'introduirons qu'une erreur très faible dans nos résultats.

Pour la même raison, nous négligeons l'influence de la limite Nord-Ouest distante de 14km de l'extrémité de l'alignement.

* cité par H. SCHOELLER in "Les Eaux souterraines", page 568.