

UNIVERSITÉ D'ALGER

4/74

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

1E+

THÈSE DE FIN D'ÉTUDES

CONTRIBUTION A
L'EXPLOITATION DE LA
NAPPE DU MAZAFRAN

5 PLANCHES

PROPOSÉE PAR:
A. COUCHOT
(D.E.M.R.H.)

DIRIGÉE PAR:
C. EMERY

ETUDIÉE PAR:
A. DOUMANI

PROMOTION 1974

UNIVERSITÉ D'ALGER

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT GENIE HYDRAULIQUE

THÈSE DE FIN D'ÉTUDES

CONTRIBUTION A
L'EXPLOITATION DE LA
NAPPE DU MAZAFRAN

PROPOSÉE PAR:
A. COUCHOT
(D.E.M.R.H.)

DIRIGÉE PAR:
C. EMERY

ETUDIÉE PAR:
A. DOUMANI

PROMOTION 1974

A MES PARENTS,

QUI ONT CONSENTI A BEAUCOUP DE SACRIFICES POUR MON INSTRUCTION....

//=> tous les professeurs qui ont contribué à ma formation,

//=> Monsieur G. DE LAPRAY et Monsieur D. TASCA pour le précieux enseignement qu'ils m'ont donné,

//=> Monsieur C. EMERY pour m'avoir guidé dans l'élaboration de ce projet,

//=> Monsieur A. COUCHOT, pour l'aide et les conseils efficaces qu'il m'a fournis,

//=> toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce projet,

// Q exprime mes vifs remerciements et ma profonde gratitude.....

A. DOUMANI.

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

Jusqu'en 1970, l'alimentation en eau potable de la ville d'Alger n'était assurée que par les jaugeages de BARAKI HAOUCHFELIT et OUED ADDA, situés dans le bassin du HAMIZ, dans la Mitidja Orientale. A cette date ils fournissaient un débit de 2,03 m³/s (175 100 m³/j) Mais la poussée démographique, l'exode rural et l'implantation de nouvelles unités industrielles exigeaient une alimentation plus importante que le bassin actuel ne pouvait assurer.

Ainsi et bien avant 1970, il était devenu nécessaire de créer un nouveau champ de captage : le bassin du BAS MAZAFRAN fut choisi. Mais à cette époque (1964), l'étude hydrogéologique du bassin était peu avancée : Il n'y avait jamais eu de prospections géophysique et même la transmissivité, qui est le facteur essentiel pour la connaissance de l'aquifère n'était que partiellement connue. Néanmoins, l'implantation de 2 forages (F co1 et F co2) dans la partie ovale de la nappe avait donné de bons résultats. Cette zone fut donc choisie pour l'implantation de 16 autres forages en 1968.

Le débit pour lequel ces forages étaient prévues s'élevait à 1m³/s et fut ensuite porté à 1,5m³/s. La progression de la structure et des paramètres de la nappe par la géophysique et les forages permettait d'estimer entre 2,0 et 2,5m³/s le débit qu'on pouvait prélever.

Une étude de la nappe basée sur un modèle mathématique a été faite dans le but de déterminer l'emplacement exact des forages et le débit à prélever.

La mise en exploitation de la nappe a commencé en 1970 avec un débit de 0,360m³/s (31 100 m³/j). Actuellement, elle est toujours exploitée à 0,360m³/s mais on prévoit une exploitation future proche à 0,600m³/s (52.000m³/j).

C'est sur cette nouvelle exploitation que portera notre étude.

BUT DE L'ETUDE.

Dans le présent projet , nous ferons une étude générale de la nappe du BAS-MAZAFRAN. Cette étude générale portera sur les conditions hydrogéologiques et hydrodynamiques, et sur l'exploitation des résultats donnés par les essais de pompage, ceci dans le but de déterminer les paramètres de la nappe.

Mais nous nous pencherons plus particulièrement sur le problème des rabattements dans le cas d'une exploitation continue, nous ferons le calcul des rabattements en tenant compte de tous les paramètres mis en jeu soit :

- influence entre forages.
- influence de la limite imperméable.
- alimentation par la nappe libre située en aval.

La connaissance des rabattements dans chaque forage nous permettra de conclure sur la possibilité d'exploitation et de placer les pompes à des profondeurs appropriées.

On peut donc dégager le plan d'étude suivant.

..../...

PLAN D'ETUDE

- I - ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN DU MAZAFRAN.
- II - BASES THEORIQUES.
- III - EXPLOITATION DES RESULTATS FOURNIS PAR LES ESSAIS DE POMPAGE.
- IV - CALCUL DES RABATTEMENTS PROPRES.
- V - CALCUL DES RABATTEMENTS DUS A L'INFLUENCE DES FORAGES POMPES SIMULTANEMENT.
- VI - INFLUENCE DU 1ER FRONT IMPERMEABLE SUR LES RABATTEMENTS.
- VII - INFLUENCE DU 2ème FRONT IMPERMEABLE SUR LES RABATTEMENTS.
- VIII - ENCADREMENT DES VALEURS TOTALES DES RABATTEMENTS DANS LES FORAGES - VALEURS LIMITEES.
- IX - CALCUL DES PERTES DE CHARGES
- X - RABATTEMENT TOTAL NET DANS CHAQUE FORAGE.
- XI - PROFONDEURS DES POMPES
- XII - CONCLUSION.

ETUDE HYDROGEOLOGIQUE ET HYDRODYNAMIQUE DU BASSIN DU MAZAFRAN.

I. 1 SITUATION, :/

Le bassin du Mazafran occupe la partie centrale de la plaine de la Mitidja. Il est limité au nord par le sahel, au sud par l'atlas Blidéen, à l'ouest et à l'est par une ligne à flux nul.

La carte ci-jointe en indique les limites.

I. 2 STRUCTURE & GEOMETRIE DE L'AQUIFERE/ :

L'aquifere du Mazafran est constitue par des alluvions emboîtés dans des marnes selon les phases de creusement et de la sedimentation des Oueds. Il se presente comme une succession de niveaux de graviers intercalés dans les marnes et argiles communiquant litéralement entre eux. L'aquifere est donc un ensemble hétérogène.

Dans la partie avale de la plaine, c'est-à-dire dans la zone d'implantation des forages, les alluvions sont recouverts par des limons hydromorphes ; l'aquifere est donc captif dans cette zone.

Le substratum imperméable est constitué par des marnes bleues, d'âge plaisancien, qui se relèvent pour former le bombement du Sahel limitant les aquiferes au Nord.

Au dessus des marnes, se trouve l'Astien gréseux qui affleure sur le flane Sud du Sahel.

Au dessus de l'Astien, s'etend une couche de marnes et cailloutis pratiquement impermeable et d'épaisseur variable.

Les marnes ont subi différents cycles d'érosion et des alluvions se sont déposés en couches épaisses dans les lits des Oueds et sur les marnes, ce qui explique la structure en chenal de l'aquifere.

La coupe schematique (1) ci-jointe montre les différentes couches du bassin.

Dans sa partie avale, la nappe est mise en charge par une couverture de limons hydromorphes.

Les alluvions quaternaires au contact du Sahel sont parfois séparés de l'Astien par une faible épaisseur de marnes peu permeables. Par endroits le contact entre les deux horizons peut-être direct.

L'aquifere des alluvions communique avec la mer par la longue cluse du MAZAFRAN qui est le seul exutoire.

La coupe schématique ci-jointe montre immédiatement les variations possibles de la transmissivité. En "A" l'épaisseur des alluvions est faible → "T" faible ; en "B", elle est importante → "T" important.

De plus, des zones argileuses lenticulaires compartimentent horizontalement l'aquifère.

La transmissivité observée ne peut-être, dès lors qu'un paramètre ayant comme valeur, la valeur moyenne de plusieurs transmissivités différentes de plusieurs horizons aquifères superposés et pouvant communiquer latéralement.

La coupe schématique ci-jointe (1) indique aussi la séparation entre la partie captive et la partie libre de la nappe (limite L).

I. 3 HYDRODYNAMIQUE DES NAPPES/ :

Le bassin du Mazafran contient quatre (4) nappes =

- La nappe des alluvions située en aval. C'est une nappe captive.
- La nappe libre des limons qui se trouve au dessus de la nappe captive des alluvions.
- La nappe artésienne profonde à 150 m.
- la nappe libre située dans la partie amont du bassin.

La figure (2) ci-jointe schématise le fonctionnement hydrodynamique des nappes.

La nappe des alluvions s'écoule du sud vers le nord en convergeant vers la zone sous les limons.

Un très faible débit transite par la cluse du Mazafran, seul exutoire vers la mer, au travers des alluvions peu perméables qui la combrent.

La nappe est alimentée par l'infiltration des eaux de pluie et par l'infiltration à partir des Oueds dans sa partie libre en amont de la zone captive étudiée.

La nappe des alluvions est mise en charge par la couverture semi-perméable des limons dont l'épaisseur varie de 30 à 60 m. En général la nappe est artésienne jaillissante (le niveau statique étant au plus à 7 mètres au dessus du sol). Le niveau piezométrique de la nappe en écoulement naturel est représenté schématiquement par la ligne 1 de la figure 2.

Les limons hydromorphes contiennent une nappe libre dont le niveau de la surface sous le sol varie selon la saison (0 à 5 mètres, selon les endroits).

Sur la figure 2, HL désigne la surface libre supposée horizontale.

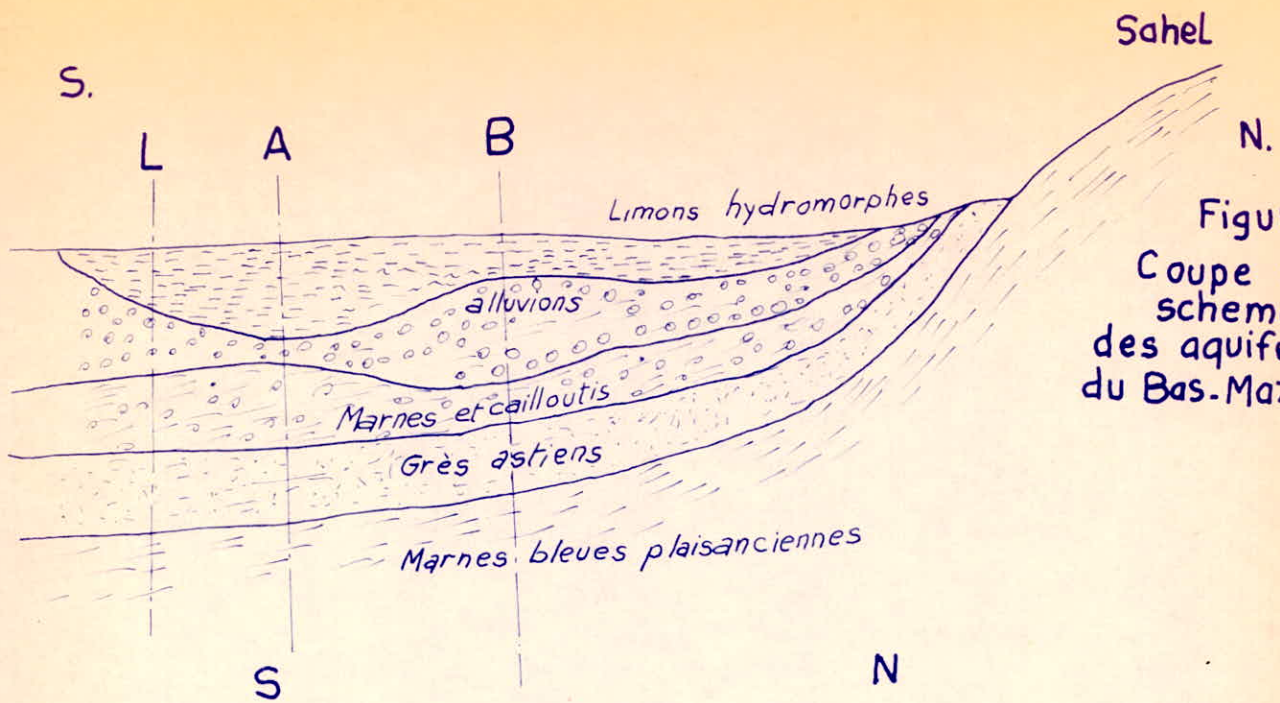


Figure -1 -
Coupe verticale
schematique
des aquiferes
du Bas-Mazafran

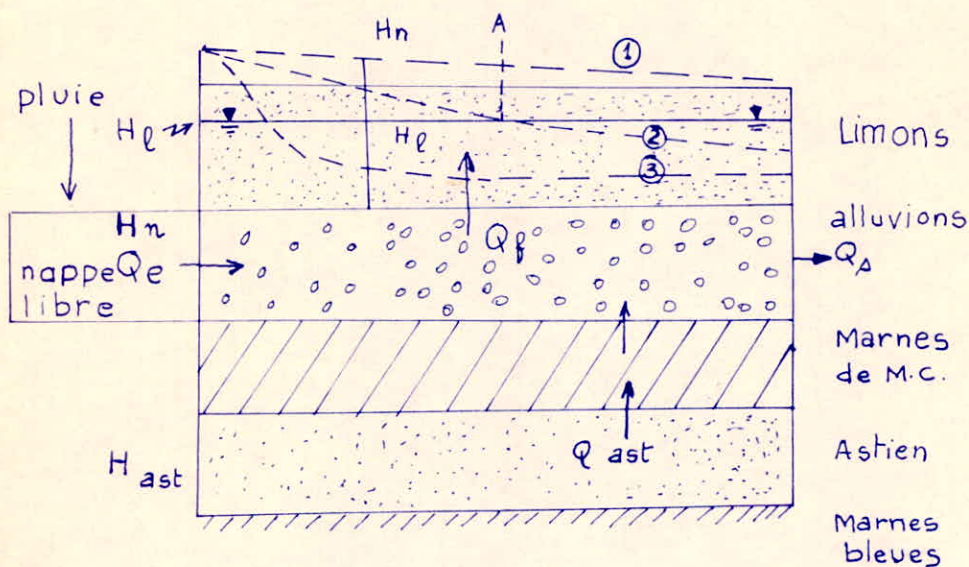


Figure -2 -
Schéma
hydrodynamique

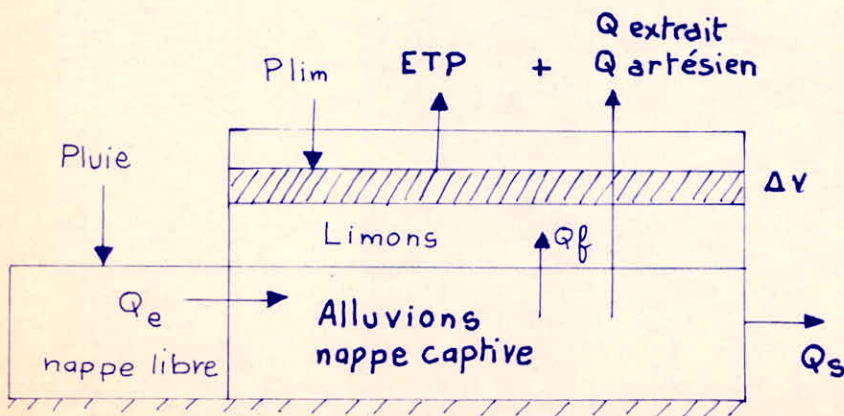


Figure -3 -
schéma
hydrodynamique
simplifié

ETP: Evapotranspiration.

Plim: Infiltration de la pluie vers la nappe des limons.

Δv : Variation du niveau de la surface libre de la nappe des limons.

Q_s : débit de sortie (cluse Mazafran) de la nappe des alluvions.

Q_f : débit de fuite vers la nappe des limons.

(Pas d'écoulement dans la nappe des limons)

En général, sur une même verticale la charge hydraulique de la nappe des alluvions (III) est supérieure à celle de la nappe des limons (HL). Il en résulte une percolation verticale.

En régime naturel non influencé par des pompages, la nappe des alluvions alimente celle des limons. Ce débit appelé débit de fuite est noté Q_f .

La nappe des limons est également alimentée par la fraction faible des pluies qui s'infiltré jusqu'à elle.

Les pertes de la nappe des limons se font :

- par évapotranspiration (importante),
- par drainage des OUEDS.

La variation de niveau au cours d'un cycle correspond à la différence entre l'alimentation ($Q_f + \text{Pluie}$) et les pertes ($\text{ETP} + \text{drainage des Oueds}$); Cette nappe n'est pas exploitée (ni exploitable) et ne s'écoule pas vers l'extérieur.

L'Astien gréseux est également aquifère mais sa transmissivité assez faible et sa mauvaise alimentation ne lui permettent de transiter que des faibles débits, dans la zone intéressée.

Sa charge hydraulique est supérieure à celle de la nappe des alluvions, il peut donc l'alimenter par percolation ascendante au travers des marnes de Maison-Carrée. Mais le débit est faible (Q_{ast}); de l'ordre de 50l/s. Il a été négligé dans la présente étude.

La figure 3 résume les conditions hydrodynamiques en faisant abstraction de l'aquifère astien.

I. 4. CONDITIONS AUX LIMITES / :

L'aquifère astien affleure sur la bordure Sud du Sahel. Il est séparé de la nappe des alluvions par une épaisseur semi-perméable plus ou moins importante de marnes.

Les conditions sont très difficiles à connaître exactement et, de plus, elles varient tout au long de la limite.

On admettra que la nappe de l'Astien se maintient à un potentiel constant sur la limite du Sahel et que le débit qu'elle fournit aux alluvions est au plus égal à celui qu'elle reçoit sur son impéluvium (affleurement du Sahel).

Les variations de différence de charge entre les deux nappes sont négligées, le débit, pour une portion donnée de la limite, est ainsi supposé constant.

En amont, la couverture des limons disparaît. La nappe alluvions devient libre. Le coefficient d'émagasinement augmente considérablement. Les dépressions provoquées en aval y sont très amorties. La nappe libre peut-être considéré comme alimentât à potentiel constant la nappe captive au débit "Qe" peu variable en régime naturel.

I. 5. REPERCUSSIONS HYDRODYNAMIQUES D'UNE EXPLOITATION PAR FORAGES DANS LA NAPPE DES ALLUVIONS / :

Lorsqu'un pompage est réalisé dans un ou plusieurs forages captant la nappe des alluvions, il en résulte un abaissement de la charge hydraulique dans celle-ci (cône de dépression). Lorsque la charge devient inférieure à celle de la nappe des limons, cette dernière alimente la nappe des alluvions (prtion "A" - Nord de la ligne piézométrique de la figure. Les limons se désaturent.

Ce phénomène de drainance a été mis en évidence par les essais de pompage.

Le système fonctionne alors en bicouche avec un fort contraste de transmissivité. L'écoulement dans les limons peut-être considéré comme vertical, mais le phénomène tend, en ralentissant, vers une limite. Au maximum, une dépression généralisée de la nappe par des pompages uniformément répartis entraînerait la vidange presque complète des limons en rabattant jusqu'au toit de la nappe.

Après désaturation (jusqu'à obtention d'un nouvel état d'équilibre) la nappe des limons jouera le rôle de couche de transition pour l'infiltration des pluies. La perméabilité verticale étant faible, ce n'est qu'un apport minime qu'il faudrait escompter sur cet impluvium : de l'ordre de 1 l/sec. par KM².

Le rabattement de la nappe des alluvions sera ralenti par l'interruption du débit de fuite vers les limons dans les zones suffisamment déprimées et par l'apparition d'un apport par drainage. Les premiers temps du régime transitoire seront retardés, mais on aboutira vers un nouveau régime d'équilibre (Si les prélevement ne dépassant pas les possibilités d'alimentation de la nappe par la zone amont principalement).

Sur Les limites du Sahel, à défaut de connaissances plus précises, on supposera que l'apport sera toujours maintenu constant quelle que soit l'évolution de la charge dans la nappe des alluvions. La différence de charge entre l'Astien et la la nappe des alluvions s'accroît mais également l'épaisseur de la couche semi-perméable (marnes) augmente, on suppose alors que les deux phénomènes se compensent et que le débit demeure constant.

La présence de cette limite est fondamentale dans le fonctionnement hydrodynamique du bas Mazafran. Elle entraîne un accroissement important des rabattements dans les forages.

Le débit étant faible, l'effet est peu différent de celui d'une limite imperméable.

La dépression dans la nappe captive exploitée se propage en amont où elle est fortement amortie par la portion libre de la nappe. On peut considérer qu'une isopièze suffisamment éloignée de la limite nappe captive - nappe libre située dans la partie libre sera peu influencée :

Sa position et son potentiel demeurent pratiquement inchangés.

I. 6 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES DE L'EXPLOITATION DES FORAGES DE LA VILLE D'ALGER.

La nappe du Mazafran est actuellement exploitée par 16 Forages situés dans sa partie aval.

Ces forages se trouvent dans une zone favorable de la nappe (convergence des écoulements, bonne transmissivité) mais qui présente toutefois deux inconvénients importants :

- La proximité des limites aval de l'aquifère qui sont des limites d'alimentation à débit continu et faible.

- L'épaisseur relativement faible (30 m en moyenne) du recouvrement imperméable de limons hydromorphes.

Les limites faiblement alimentées provoquent une augmentation du rabattement dans les forages par rapport à ce qu'il serait dans une nappe très étendue. L'épaisseur du recouvrement imperméable de l'aquifère impose une limite au rabattement possible, si l'on ne veut pas dénoyer la nappe pendant l'exploitation. Cette condition n'est évidemment pas absolue, il est parfaitement possible d'exploiter la nappe en rabattant le niveau au-dessous de la base des limons de couverture. Toutefois, l'aspect de la question est compliqué par le fait qu'il s'agit d'un aquifère multistraté et non d'une nappe homogène.

En effet, l'aquifère se présente, à partir d'une profondeur moyenne de 30m, comme une succession d'horizons de graviers et sables aquifères intercalés dans des argiles plus ou moins graveleuses et imperméables.

L'ensemble des horizons perméables et imperméables a une épaisseur moyenne de 70 m. Les niveaux aquifères représentent en moyenne 40m, soit 58 % de la hauteur du multicouche exploitable.

Le Premier horizon correspond à environ 35 % de la hauteur aquifère. Comme il est vraisemblable que sa perméabilité et que son alimentation sont égales ou plutôt supérieures, à celles des horizons plus profonds, sa part relative dans le débit des forages doit être importante et moins égale à 35 %.

Il apparaît préalable d'équiper les forages à partir de la base du recouvrement imperméable de limons.

Pour permettre un rabattement jusqu'à 50m. de profondeur, sans avoir à descendre la pompe dans les crépines (où au-dessous de celles - ci), il aurait fallu tuber le premier horizon. Il en aurait résulté une diminution du rabattement spécifique.

Il faudra donc tenir compte des valeurs maximum des rabattements dans les forages : C'est la partie essentielle de notre étude.

II BASES THEORIQUES :

Les formules de Dupuit établies en régime d'équilibre sont empruntées à certaines erreurs surtout pour les nappes captives. Ces erreurs proviennent des simplifications faites par Dupuit notamment :

- L'incompressibilité de l'eau
- L'imcompressibilité de la roche
- Etablissement du régime permanent

Ces simplifications entraînent de grandes erreurs dans le calcul des rabattements.

Ainsi pour l'étude de la nappe du Mazafran, on adoptera les formules de Theis établies en régime de non équilibre. Les formules sont plus exactes dans la mesure où elles font intervenir :

- La compressibilité de l'eau
- Le temps de pompage et l'établissement du régime quasi-permanent au-delà d'une certaine durée de pompage.

Les formules de non-équilibre ont été établies par Theis en 1935 et vérifiées quelques années après par Jacob, Tison, Schneebeli...

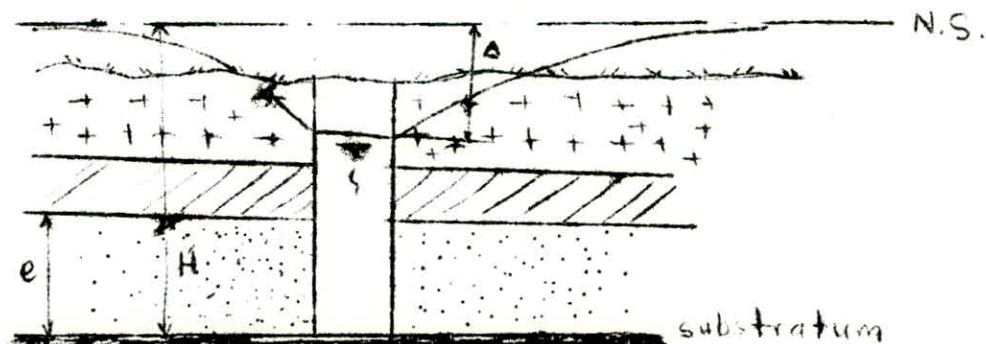
Ceci montre que la théorie des nappes est une science récente et en cours de recherche.

II.1 Etablissement des formules de non-équilibre :

Theis, hydrogéologue Américain, eut le premier l'idée de comparer l'écoulement des eaux souterraines à la propagation de la chaleur en milieu (2) homogène et isotrope et d'en appliquer les lois aux problèmes d'hydrodynamique. Cette analogie l'a conduit à l'établissement des formules en régime de non-équilibre dont la démonstration est la suivante :

Soit un horizon aquifère répondant aux conditions suivantes :

- Terrain homogène et isotrope
- Nappe captive infinie d'épaisseur constante
- Nappe initialement sans écoulement donc à substratum horizontal.



L'application de la théorie du potentiel des vitesses à l'écoulement des eaux souterraines implique des limites de validité. En effet, il est nécessaire que les lignes équipotentiellles de la nappe ne soient pas trop perturbées par le pompage : dans un puit artésien, le cône d dépression étant fictif, les déformations sont très faibles condition vérifiée.

Soit un puit complet et un piézomètre situé à une distance x sur l'axe d'écoulement du courant liquide. L'équation de continuité de l'écoulement des eaux souterraines est de la forme générale.

$$(1) \quad - \left[\frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} \right] = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Or, le coefficient d'émagasinement, S , dans les nappes captives s'exprime par la formule :

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{\rho \cdot S}{e \cdot \gamma_e}$$

ou

$$\partial \rho = \frac{\rho \cdot S \cdot \partial P}{e \cdot \gamma_e}$$

(2)

Remplaçons \mathcal{P} par sa valeur dans la formule (1)

$$(3) \quad - \left[\frac{\partial(\mathcal{P} v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\mathcal{P} v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\mathcal{P} v_z)}{\partial z} \right] = \frac{\mathcal{P} s}{e \delta e} \frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t}$$

Si on introduit les composants de la vitesse :

$$v_x = K \frac{\partial h}{\partial x} ; \quad v_y = K \frac{\partial h}{\partial y} ; \quad v_z = K \frac{\partial h}{\partial z}$$

et si on admet la masse spécifique ρ constante, l'équation (3) devient :

$$K \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = \frac{s}{e \delta e} \cdot \frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t}$$

Or, $\mathcal{P} = \delta e \cdot h$ donc $\frac{\partial \mathcal{P}}{\partial t} = \frac{\partial h}{\partial t} \cdot \delta e$

$$(4) \quad \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right) = \frac{s}{K \cdot e} \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

Si l'épaisseur (e) de la couche aquifère est constante, la composante (z) de la vitesse peut être négligée et nous aurons :

$$(5) \quad \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{s}{K e} \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$$

En coordonnées polaires et en JY métrique axiale, l'axe Oy coïncidant avec l'axe du puits, nous obtenons :

$$(6) \quad \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{s}{K e} \frac{\partial h}{\partial t}$$

h : niveau dynamique dans le forage artésien observé à l'instant t (en mètres)

e : épaisseur constante de la couche aquifère (en mètres)

K : coefficient de perméabilité moyen (en mètres) ^{m/s}

S : coefficient d'emmagasinement

t : temps de pompage depuis l'origine (en secondes)

x : distance du forage au piézomètre (en mètres)

Or $T = T = Ke$ (transmissivité)

$$\frac{s}{T} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$$

Lorsque $x \rightarrow 0$, à la limite, nous avons, si $t \geq 0$

.../...

$$\lim_{x \rightarrow 0} \left(x \frac{\partial h}{\partial x} \right) = \frac{Q}{2n}$$

D'autre part, pour $x \rightarrow \infty$, $h \rightarrow H$ (niveau piézométrique de la nappe avant pompage) avec $t \geq 0$. L'équation de base qui satisfait à ces conditions est :

$$h = H - \frac{Q}{4\lambda T} \int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

que l'on met souvent sous forme :

$$h = H - \frac{Q}{4\lambda T} \cdot W(u) \text{ avec } u = \frac{x^2 S}{4Tt}$$

$$H - h = \Delta \implies \Delta = \frac{Q}{4\lambda T} \cdot W(u)$$

Δ : rabattement observé à l'instant t dans le piézomètre

$W(u)$: fonction caractéristique du puits pompé.

Développons $W(u)$:

$$W(u) = \int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \frac{du}{u} + \int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \left(\frac{e^{-u} - 1}{u} \right) du$$

Or, le développement en série de $\left(\frac{e^{-u} - 1}{u} \right)$ est :

$$\frac{e^{-u} - 1}{u} = -1 + \frac{U}{2!} - \frac{U^2}{3!} + \frac{U^3}{4!} \dots$$

Donc :

$$\int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \left(\frac{du}{u} \right) = \left[\text{Logu} \right]_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty}$$

$$\int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \left(\frac{e^{-u} - 1}{u} \right) du = \int_{\frac{x^2 S}{4Tt}}^{\infty} \left[-1 + \frac{U}{2!} - \frac{U^2}{3!} + \frac{U^3}{4!} \dots \right]$$

$$\left[-U + \frac{U^2}{2 \cdot 2!} - \frac{U^3}{3 \cdot 3!} + \frac{U^4}{4 \cdot 4!} \dots \right] \frac{x^2 S}{4Tt}$$

On démontre que la valeur de la série à l'infini est : - 0,5772.

Donc :
$$W(u) = - 0,5772 - \text{Log} u - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-U)^n}{n \cdot n!}$$

$$\Delta = \frac{\Omega}{4 \lambda T} \left[- 0,5772 - \text{Log} U - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-U)^n}{n \cdot n!} \right]$$

Lorsque le temps de pompage t est petit, la série :

$$U = \frac{U^2}{2 \cdot 2!} + \frac{U^3}{3 \cdot 3!} + \dots$$

devient négligeable par comparaison au terme constant précédent et tend vers 0.

On aura donc :

$$\Delta = \frac{\Omega}{4 \lambda T} \left(- 0,5772 - \text{Log} (U) \right)$$

$$\Delta = \frac{\Omega}{4 \lambda T} \left(\text{Log} \frac{2,25 T t}{X^2 S} \right)$$

Ou en passant aux logarithmes décimaux :

$$\Delta = \frac{0,183 \Omega}{T} \log \frac{2,25 T t}{X^2 S}$$

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus approchée de la courbe de dépression réelle à l'instant t que " x " est petit d'une part, c'est-à-dire que l'on est proche du puits et d'autre part, que le temps de pompage " t " est plus long.

Le professeur américain JACOB estime que cette formule ne peut-être utilisée que pour :

$$U = \frac{S X^2}{4 T t} < 0,01$$

Conclusion :

On possède donc 2 formules pour le calcul des rabattements :

.../...

Si	$U = \frac{SX^2}{4Tt} > 0,01$	on applique	$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$
Si	$U = \frac{SX^2}{4Tt} < 0,01$	on applique	$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{X^2 S}$

II 2 Utilisation pratique des formules de non-équilibre :

Les formules de Theis et de Jacob sont couramment utilisées pour le calcul des rabattements dans les forages et les piezomètres.

Elles sont d'autre part utilisées pour la détermination de la transmissivité "T" et du coefficient d'emmagasinement "S".

Il existe plusieurs représentations graphiques de $\Delta = f(x, t)$ mais la plus courante qui permet de déterminer "T" et "S" est $\Delta = f(\log t)$

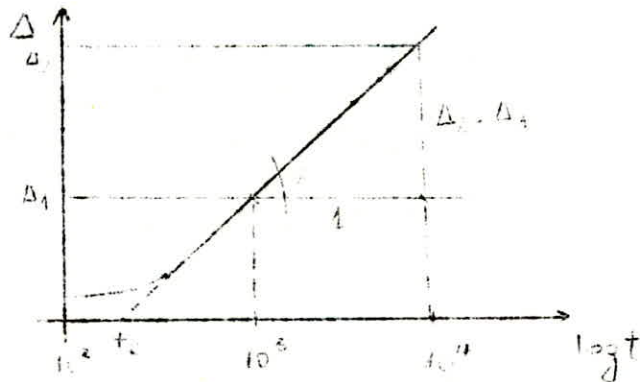
II 3. Calcul de "T" et "S" par la courbe représentative $\Delta = f(\log t)$

La formule $\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{X^2 S}$ peut s'écrire :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T}{X^2 S} + \log t$$

$$\Delta = \underbrace{\frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T}{X^2 S}}_B + \underbrace{\frac{0,183 Q}{T}}_A \underbrace{\log t}_X$$

Si l'on porte "log t" en abscisses et Δ en ordonnées, la courbe représentative est une droite de la forme $\Delta = AX + B$



a- Calcul de la transmissivité :

$$\text{tg} \alpha = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{0,183 Q}{T}$$

$$\text{Si } t_2 = 10 t_1 \rightarrow \log t_2 - \log t_1 = \Delta (\log t) = 1$$

$$\rightarrow \text{tg} \alpha = \Delta_2 - \Delta_1 = C \rightarrow T = \frac{0,183 Q}{C}$$

.../...

$$T = \frac{0,183 Q}{C}$$

b- Calcul du coefficient d'emmagasinement "S" :

Nous avons montré que $C = \operatorname{tg} \alpha = \frac{0,183 Q}{T}$

Si l'on remplace dans la formule de JACOB :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{X^2 S} = C \log \frac{2,25 T t}{X^2 S}$$

Mais $\Delta = 0$ pour $t = t_0 \longrightarrow \Delta = 0 = C \log \frac{2,25 T t_0}{X^2 S}$

$C \neq 0$, on aura donc :

$$\log \frac{2,25 T t_0}{X^2 S} = 0 \longrightarrow \frac{2,25 T t_0}{X^2 S} = 1 \longrightarrow S = \frac{2,25 T t_0}{X^2}$$

$$S = \frac{2,25 T t_0}{X^2}$$

Les expressions de "T" et "S" seront utilisées pour l'interprétation des essais de pompage.

Les calculs de rabattement qui vont suivre sont basés sur l'application de la formule de Theis $\Delta = \frac{Q}{4 \pi T} W(U)$ établie pour une nappe d'extension infinie et un aquifère homogène. (Conditions idéales).

Ainsi, pour tenir compte d'un paramètre quelconque sur le rabattement, on se ramènera toujours à une nappe d'extension infinie avec les modifications que ce paramètre entraîne. Ex. : Barrière imperméable, rivière etc. . . .

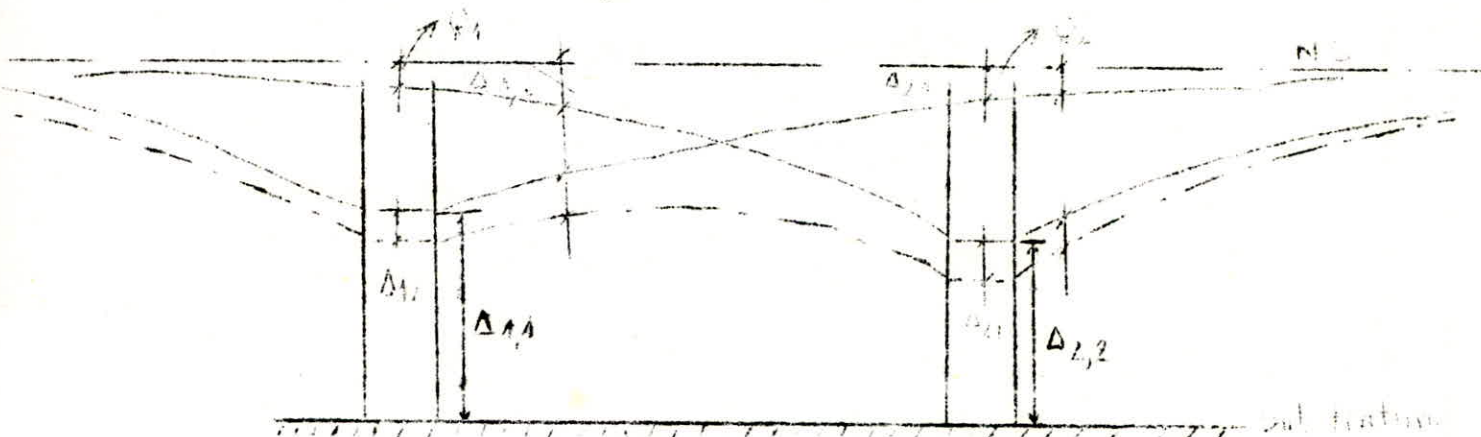
Cette formule sera étendue au calcul des rabattements dus à l'influence de plusieurs forages pompés simultanément, au calcul des rabattements dus à l'influence de barrières imperméables etc. . . .

II 4- Méthode de détermination des influences entre-forages :

Lorsque dans une nappe captive d'extension infinie des pompages sont exécutés simultanément sur plusieurs forages, l'écoulement résultant est obtenu par superposition des écoulements dus à chaque pompage considéré individuellement.

.../...

Raisonnons d'abord dans le cas simple de 2 forages pompés simultanément et étendons la formule à n forages.



Le rabattement total dans le forage 1 sera, en vertu de la superposition des écoulements.

$$\Delta 1_{total} = \Delta 1,1 + \Delta 1,2$$

$\Delta 1,1$: rabattement dans F1 si celui-ci agissait seul.

$\Delta 1,2$: rabattement créé par F2 dans F1 au débit Q2 à la distance d, par pompage dans F2.

Analytiquement $\Delta 1_t$ sera :

$$\Delta 1_t = \frac{Q_1}{4 \lambda T} W(U_{11}) + \frac{Q_2}{4 \lambda T} W(U_{12})$$

On peut ainsi étendre la formule à n forages :

Pour le forage F1 le rabattement total cumulé sera :

$$\Delta 1_{total} = \Delta 1,1 + \Delta 1,2 + \Delta 1,3 + \dots \dots \dots \Delta 1,n.$$

Soit analytiquement :

$$\Delta 1_t = \frac{Q_1}{4 \lambda T} W(U_{11}) + \frac{Q_2}{4 \lambda T} W(U_{12}) + \frac{Q_3}{4 \lambda T} W(U_{13}) + \dots \dots \dots + \frac{Q_n}{4 \lambda T} W(U_{1n})$$

De même pour le forage 2, le rabattement cumulé sera :

$$\Delta 2_t = \Delta 2,2 + \Delta 2,1 + \Delta 2,3 + \Delta 2,4 + \dots \dots \dots \Delta 2,n$$

.../...

Soit analytiquement :

$$\Delta z_t = \frac{Q_2}{4 \lambda T} W(U_{22}) + \frac{Q_1}{4 \lambda T} W(U_{21}) + \frac{Q_3}{4 \lambda T} W(U_{23}) + \dots + \frac{Q_n}{4 \lambda T} W(U_{2n})$$

Pour le forage J quelconque :

$$\Delta J_t = \Delta J_j + \Delta J_{j1} + \Delta J_{j2} + \Delta J_{j3} + \dots + \Delta J_{jn}$$

Soit analytiquement :

$$\Delta J_t = \frac{Q_J}{4 \lambda T} W(U_{Jj}) + \frac{Q_1}{4 \lambda T} W(U_{j1}) + \frac{Q_2}{4 \lambda T} W(U_{j2}) + \dots + \frac{Q_n}{4 \lambda T} W(U_{jn}).$$

$$\Delta J_t = \frac{Q_J}{4 \lambda T} W(U_{Jj}) + \sum_{\substack{I=1 \\ I \neq j}}^{I=n} \frac{Q_i}{4 \lambda T} W(U_{ji})$$

Le terme :

$\frac{Q_J}{4 \lambda T} W(U_{Jj})$: représente le rabattement propre du forage J.

$\sum_{\substack{I=1 \\ I \neq j}}^{I=n} \frac{Q_i}{4 \lambda T} W(U_{ji})$: représente la somme des rabattements-influence des forages i (i = 1, 2, 3, ..., n) sur le forage J.

Remarque : Nous expliciterons plus amplement la méthode de calcul dans le chapitre VI.

III - EXPLOITATION DES RESULTATS FOURNIS PAR LES ESSAIS DE POMPAGE :

III.1 Généralités :

Les essais de débit par pompage permettent d'étudier expérimentalement l'évolution des caractéristiques des nappes aquifères dans un forage ou dans une station équipée de piézomètres.

Le but essentiel des essais de débit est de construire expérimentalement, par des méthodes graphiques les courbes des fonctions régissant l'écoulement des eaux souterraines vers les ouvrages de captage et leurs droites représentatives. Nous substituons ainsi une solution graphique approximative basée sur l'expérimentation à la résolution de formules mathématiques souvent compliquées et à constantes difficiles à déterminer.

Les essais de débit par pompage sont donc d'une importance considérable, car c'est sur eux que repose la connaissance de la nappe.

Par conséquent, ils doivent être exécutés avec minutie et probité.

III.2 Estimation de T & S :

Les essais de débit par pompage sur la nappe captive du MAZAFRAN ont été réalisés en 1964 pour les forages F1Co et F2Co et en 1968 pour les 18 autres forages.

Ces essais ont permis de tracer pour chaque forage les courbes caractéristiques ($\Delta = f(Q)$) et les courbes $\Delta = f(\text{Logt.})$.

Les courbes caractéristiques $\Delta = f(Q)$ ont permis de déterminer la possibilité d'exploitation de chaque forage et le débit d'exploitation = Débit Critique.

Quatres (4) forages ont donné des résultats médiocres, c'est-à-dire des rabattements excessifs pour de faibles débits. Ces forages ont été éliminés.

Les seize (16) autres forages ont donnée des résultats plus ou moins satisfaisants et ont été retenus pour l'exploitation.

Les courbes $\Delta = f(Q)$ ci-joints donnent de plus amples détails.

Sur chaque courbe, on peut déterminer le débit critique ou débit maximum d'exploitation.

Les courbes $\Delta = f(\text{logt.})$ à débit constant permettent de calculer la transmissi "T" et le coefficient d'ennmagasinement "S".

Sur toute l'étude de la nappe, on a obtenu 62 valeurs de "S" et 80 valeurs de "T".

Ces valeurs étant assez différentes les unes des autres, on a pris une valeur moyenne pour T & S.

$$S_{\text{moyen}} = \frac{\sum_{i=1}^{62} S_i}{n} \quad \text{et} \quad T_{\text{moyen}} = \frac{\sum_{i=1}^{80} T_i}{n}$$

on a obtenu les valeurs moyennes suivant :

$$S_{\text{moyen}} = \frac{\sum S_i}{n} = \frac{2302,16}{62} = \underline{\underline{37,13 \cdot 10^{-5}}}$$

$$T_{\text{moyen}} = \frac{\sum T_i}{n} = \frac{279,16}{80} = \underline{\underline{3,48 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}}}$$

mais dans toute l'étude qui suivra on adoptera les valeurs suivantes :

$$\boxed{T = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{et} \quad S = 50 \cdot 10^{-5}}$$

valeurs sécuritaires recommandées par le DEMRH à cause des multiples erreurs survenues au cours des essais de pompage.

Remarques :

En général, pour une nappe captive, les valeurs de T & S sont comprise entre :

$$10^{-3} < T < 10^{-1} \quad \text{et} \quad 10^{-6} < S < 10^{-3}$$

Ainsi, les valeurs trouvées sont comprises dans la fourchette des valeurs de T & S pour une nappe.

Etant d'une part sécuritaires et d'autre part compris dans la fourchette des valeurs d'une nappe captive les valeurs de T & S adoptées sont satisfaisantes.

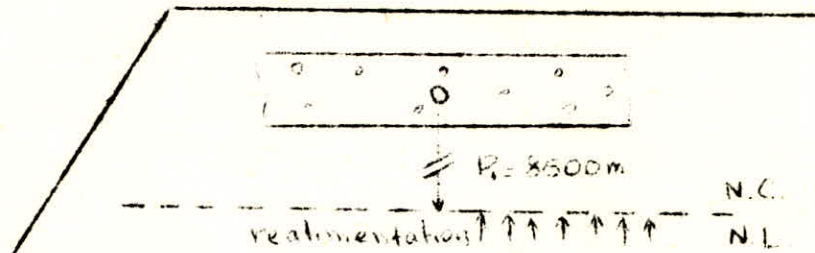
III.3 - Calcul du temps de Pompage au delà duquel s'établit le régime quasi-permanent :

Si dans la formule de Theis, le rabattement augmente indéfiniment en fonction du temps de pompage, en pratique on arrive à un régime quasi-permanent : Ce régime s'établit soit,

- Par une extension du rayon d'action = Cette extension se manifeste par un apport de débit assez important qui compense le débit pompé, donc un rabattement constant.
- Par une réalimentation extérieure de la nappe. C'est le cas de la nappe du MAZAFAN.

Dans sa partie amont, la nappe captive du MAZAFRAN est limitée par une nappe libre. La réalimentation de la nappe captive par la nappe libre interviendra que lorsque, pour un piezomètre situé à la limite nappe libre, nappe captive, le rabattement se fera sentir. Dans cas, le rayon d'action sera :

$$R = 8.500 \text{ m.}$$



or, le rayon d'action est donné par la formule :

$$R = 1,5 \sqrt{\frac{T t}{S}}$$

on peut donc calculer le temps de pompage pour lequel $R = 8.500\text{m}$.

$$t = \frac{R^2 S}{(1,5)^2 T} = \frac{(8500)^2 \cdot 50 \cdot 10^{-5}}{4,5 \times 10^{-2}} = 802777 \text{ d.}$$

Donc on peut dire que le régime permanent sera approximativement atteint au bout de dix (10) jours de pompage.

CONCLUSION :

Avec la connaissance de T, S, t on est armé de tous les paramètres nécessaires pour la détermination des rabattements dans les forages.

CALCUL DES RABATTEMENTS
LA NAPPE ETANT SUPPOSEE
INFINIE

IV CALCUL DES RABATTEMENTS PROPRES :

On appliquera indifferemment la formule de Theis ou Jacob.

Si l'on note :

$Q(I)$: débit d'exploitation du forage (I)

$R(I)$: Rayon du forage (I)

Le rabattement - propre dans le forage (I) sera :

$$\Delta(I) = \frac{0,183 Q(I)}{T} \log \frac{2,25 T t}{R(I)^2 \cdot S}$$

Pour le forage (1), on a :

$$\Delta(1) = \frac{0,183 Q(1)}{T} \log \frac{2,25 T t}{R(1)^2 \cdot S}$$

Pour le forage (2) on a :

$$\Delta(2) = \frac{0,183 Q(2)}{T} \log \frac{2,25 T t}{R(2)^2 \cdot S}$$

etc...

REMARQUE :

- Pour le rayon du forage on prendra le rayon intérieur de la crépine. Pour les forages du Mazafran, les rayons intérieurs des crépines sont approximativement identiques ($\phi = 12$ pouces ≈ 300 mm).

Connaissant R , T , S , t et $Q(I)$ on peut donc déterminer $\Delta(I)$.

Le tableau ci-contre donne la valeur des rabattements propres dans les différents forages.

Nº	DES.	Q m ³ /s.	0,183Q/T	$\log \frac{2,25 Tt}{x^2 S}$	Δ propre m.
1	F ₁ T.	0,040	0,366	9,538	3,490.
2	F ₁ Co.	0,050	0,457	9,538	4,358
3	F ₂ Co.	0,070	0,641	±	6,113
4	F ₂ T.	0,040	0,366	±	3,490
5	F ₈ T.	0,040	±	±	3,490
6	F ₇ T.	0,040	±	±	3,490
7	F ₅ T.	0,025	0,229	±	2,184
8	F ₁₄	0,052	0,476	±	4,540
9	F ₄	0,040	0,366	±	3,490
10	F ₁ M.	0,024	0,222	±	2,117
11	F ₂	0,030	0,274	±	2,613
12	F ₅	0,030	0,274	±	2,613
13	F ₄ T.	0,040	0,366	±	3,490
14	F ₃ T.	0,030	0,274	±	2,613
15	F ₇	0,027	0,247	±	2,355
16	F ₃	0,023	0,210	±	2,002

V. CALCUL DES RABATTEMENTS DUS A L'INFLUENCE DES FORAGES POMPES SIMULTANEMENT :

Le calcul se fait en supposant une nappe d'extension infinie. L'influence est étendue aux 16 forages exploités. Donc sur chaque forage, on calculera l'influence des 15 autres.

Si l'on note :

$\Delta(I, J)$: influence du forage J sur le forage I

$Q(J)$: débit d'exploitation du forage J

Le rabattement - influence total dans le forage I sera :

$$\Delta(I) = \sum_{j=1}^{j=16} \Delta(I, J) \quad (J \neq I)$$

ex : Pour I = 1, le rabattement - influence total dans le forage F(1) sera :

$$\Delta(1) = \Delta(1, 2) + \Delta(1, 3) + \Delta(1, 4) + \dots + \Delta(1, 16)$$

Pour I = 2, le rabattement - influence total dans le forage F(2) sera :

$$\Delta(2) = \Delta(2, 1) + \Delta(2, 3) + \Delta(2, 4) + \dots + \Delta(2, 16)$$

$$\begin{array}{c} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta(16) = \Delta(16, 1) + \Delta(16, 2) + \Delta(16, 3) + \dots + \Delta(16, 15) \end{array}$$

Si à cette suite de termes $\Delta(I, J)$ on ajoute les termes $\Delta(I, I)$ symbolisant les rabattements propres, on pourra mettre le système sous forme matricielle. On obtient une matrice (16, 16).

$$\begin{array}{l} \Delta(1) : \\ \Delta(2) : \\ \Delta(3) : \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta(16) : \end{array} \left[\begin{array}{cccccccc} \Delta(1,1) & \Delta(1,2) & \Delta(1,3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \Delta(1,16) \\ \Delta(2,1) & \Delta(2,2) & \Delta(2,3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \Delta(2,16) \\ \Delta(3,1) & \Delta(3,2) & \Delta(3,3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \Delta(3,16) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta(16,1) & \Delta(16,2) & \Delta(16,3) & \dots & \dots & \dots & \dots & \Delta(16,16) \end{array} \right]$$

- Dans cette matrice les termes diagonaux $\Delta(I,I)$ représentent les rabattements propres
- Les autres termes $\Delta(I,J)$ $I \neq J$ représentent l'influence d'un forage sur l'autre (influence du forage J sur le forage I)
- Chaque terme $\Delta(I,J)$ se calcule à partir de la formule de Theis :

$$\Delta(I,J) = \frac{Q(J)}{4 \pi T} \cdot W(U(I,J))$$

$$\text{avec } U(I,J) = \frac{S X(I,J)^2}{4 \cdot T \cdot t}$$

où

$Q(J)$: débit d'exploitation du forage (J)

$X(I,J)$: distance du forage I au Forage J

ainsi pour le calcul des termes de la Matrice - Rabattement $\Delta(I,J)$, il suffit de se donner la Matrice - Débit $Q(J)$ ~~et la matrice~~ et la Matrice Distances $X(I,J)$.

$[Q(J)]$	$Q(1)$	$Q(2)$	$Q(3)$	-----	$Q(16)$
----------	--------	--------	--------	-------	---------

$[X(I,J)]$	$X(1,1)$	$X(1,2)$	$X(1,3)$	-----	$X(1,16)$
	$X(2,1)$	$X(2,2)$	$X(2,3)$		$X(2,16)$
	$X(3,1)$	$X(3,2)$	$X(3,3)$		$X(3,16)$
	\vdots	\vdots	\vdots		
	\vdots	\vdots	\vdots		
	$X(16,1)$	$X(16,2)$	$X(16,3)$		$X(16,16)$

N.B. La matrice $X(I,J)$ est symétrique.

Comme S, T, t sont déterminés, la conjugaison des Matrices $X(I,J)$ et $Q(J)$ détermine directement la matrice $\Delta(I,J)$

$$\text{ex : } \Delta(11) = \frac{Q(1)}{4 \pi T} \cdot W(U(11)) \text{ avec } U(11) = \frac{S X(11)^2}{4 \cdot T \cdot t}$$

$$\Delta(2,3) = \frac{Q(3)}{4 T} \cdot W(U(2,3)) \text{ avec } U(2,3) = \frac{S X(2,3)^2}{4 T t}$$

etc....

Dans cette représentation, le rabattement Influence total cumulé dans chaque forage(I) sera la somme des termes d'une même ligne (I) avec $(I \neq J)$.

La symbolisation matricielle des rabattement a été faite dans le but de faire les calculs sur ordinateur.

En effet, il suffit de donner T, S, t la matrice ligne débit $Q(J)$, la matrice carrée $X(I, J)$ pour recueillir la matrice-rabattement $\Delta(I, J)$ à la sortie.

On pourra adopter l'organigramme suivant. (figure ci-contre)

+ Les résultats obtenus sont donnés en annexe.

On a reproduit sur le tableau suivant les rabattements influence cumulés dans chaque forage.

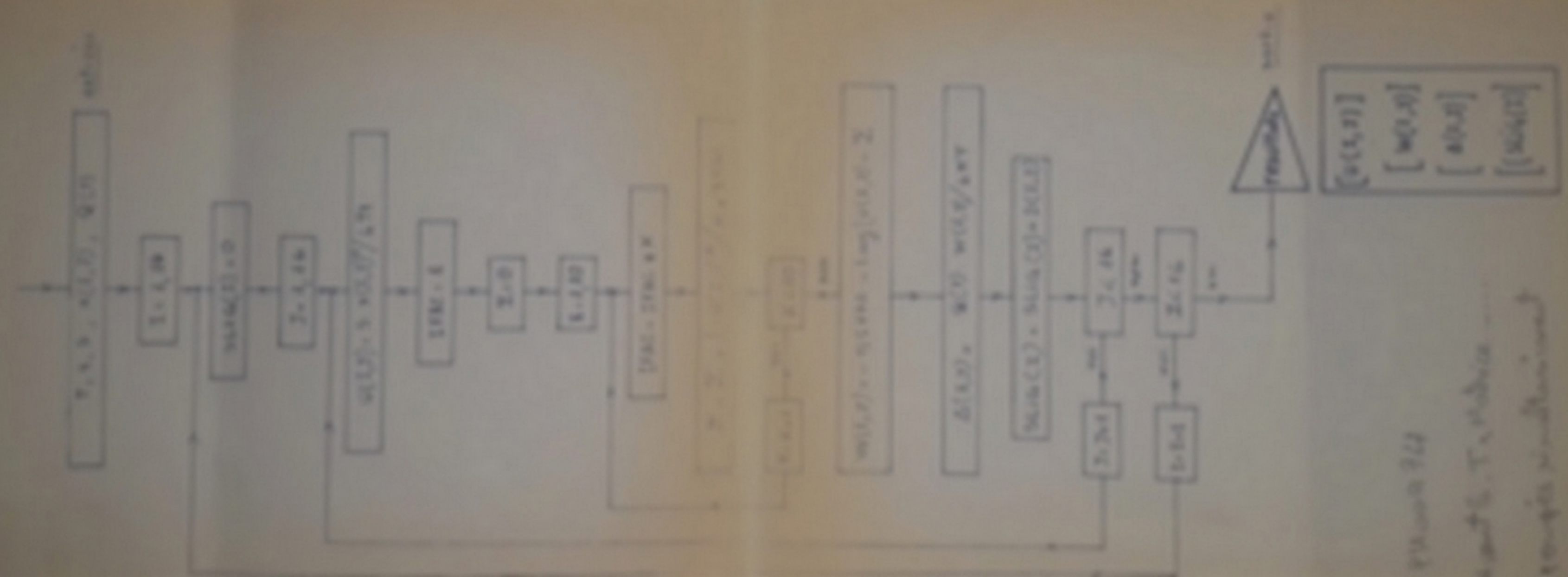
REMARQUE.

Dans chaque forage, l'influence des 15 autres est assez importante. Ceci est dû au fait que les distances entre forages sont courtes. Pour y remédier, il aurait fallu implanter les forages à de grandes distances les uns des autres. Mais vue que la zone de bonne transmissivité est restreinte, il a été impossible d'éloigner plus les forages.

Matrice - Rabattements dûs à l'influence des 16 Forages
Pompés simultanément

N°	DES.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	TOTAL (m)
		F ₁ T	F ₁ Co	F ₂ Co	F ₂ T	F ₈ T	F ₇ T	F ₅ T	F ₁₄	F ₄	F ₁ M	F ₂	F ₅	F ₄ T	F ₃ T	F ₇	F ₃	
1	F ₁ T		0,876	1,374	0,588	0,843	0,686	0,438	0,705	0,488	0,250	0,313	0,313	0,417	0,263	0,197	0,174	7,923
2	F ₁ Co	0,694		1,723	0,807	0,663	0,473	0,341	0,567	0,399	0,196	0,256	0,263	0,282	0,219	0,163	0,147	7,201
3	F ₂ Co	0,785	1,231		0,818	0,795	0,527	0,397	0,615	0,447	0,218	0,284	0,295	0,311	0,243	0,180	0,163	7,316
4	F ₂ T	0,588	1,008	1,475		0,643	0,447	0,341	0,543	0,410	0,196	0,264	0,280	0,285	0,229	0,168	0,156	7,040
5	F ₈ T	0,843	0,829	1,392	0,643		0,686	0,571	0,786	0,571	0,270	0,357	0,363	0,384	0,299	0,219	0,198	8,419
6	F ₇ T	0,686	0,591	0,922	0,447	0,686		0,504	1,168	0,710	0,370	0,445	0,417	0,496	0,363	0,271	0,234	8,316
7	F ₅ T	0,702	0,682	1,113	0,546	0,913	0,807		0,969	0,694	0,316	0,420	0,424	0,445	0,346	0,250	0,226	8,861
8	F ₁₄	0,542	0,545	0,828	0,418	0,605	0,898	0,465		0,930	0,441	0,559	0,514	0,582	0,436	0,316	0,276	8,363
9	F ₄	0,488	0,499	0,782	0,410	0,571	0,710	0,433	1,209		0,431	0,662	0,652	0,593	0,497	0,314	0,311	8,597
10	F ₁ M	0,418	0,408	0,635	0,326	0,450	0,617	0,329	0,957	0,718		0,673	0,492	0,843	0,532	0,408	0,328	7,143
11	F ₂	0,418	0,427	0,663	0,353	0,476	0,593	0,350	0,969	0,883	0,539		0,685	0,764	0,642	0,412	0,377	8,558
12	F ₅	0,417	0,439	0,689	0,373	0,484	0,556	0,354	0,882	0,869	0,394	0,685		0,630	0,588	0,378	0,373	8,118
13	F ₄ T	0,417	0,353	0,545	0,285	0,384	0,496	0,278	0,757	0,593	0,505	0,573	0,472		0,622	0,544	0,399	7,232
14	F ₃ T	0,351	0,366	0,568	0,306	0,398	0,484	0,288	0,757	0,663	0,426	0,642	0,588	0,830		0,523	0,508	7,707
15	F ₇	0,293	0,303	0,468	0,249	0,325	0,402	0,232	0,609	0,505	0,363	0,458	0,420	0,807	0,581		0,484	6,504
16	F ₃	0,303	0,321	0,497	0,272	0,345	0,408	0,246	0,624	0,541	0,343	0,492	0,487	0,694	0,662	0,569		6,810

$$d(x, y) = \frac{w(x)}{w(x) + w(y)} \cdot \log \left(\frac{w(x) + w(y)}{w(x)} \right) + \frac{w(y)}{w(x) + w(y)} \cdot \log \left(\frac{w(x) + w(y)}{w(y)} \right)$$



Example 1.1
 Input: $x = \text{cat}$, $y = \text{bat}$
 Output: 1

- NAPPE SUPPOSÉE INFINIE -

SOMME DES "RABATTEMENTS PROPRES" et des
"RABATTEMENTS - INFLUENCE" des 16 FORAGES POMPÉS
SIMULTANÉMENT.

N°	DES.	Rabattements Propres. (m.)	Rabattements-Influ ence des 16 forages ensemble. (m.)	TOTAL (m.)
1	F ₁ T	3,490 m.	7,923 m.	11,413 m.
2	F ₁ Co.	4,358	7,201	11,559
3	F ₂ Co	6,113	7,316	13,429
4	F ₂ T	3,490	7,040	10,530
5	F ₈ T	3,490	8,419	11,909
6	F ₇ T	3,490	8,316	11,716
7	F ₅ T	2,184	8,861	11,045
8	F ₁₄	4,540	8,363	12,903
9	F ₄	3,490	8,597	12,087
10	F ₁ M	2,117	7,143	9,260
11	F ₂	2,613	8,558	11,171
12	F ₅	2,613	8,118	10,731
13	F ₄ T	3,490	7,232	10,722
14	F ₃ T	2,613	7,707	10,320
15	F ₇	2,355	6,504	8,859
16	F ₃	2,002	6,810	8,812

PRISE EN COMPTE DE
L'INFLUENCE DES
LIMITES IMPERMEABLES
SUR LES RABATTEMENTS

VI INFLUENCE D'UNE SEULE BARRIERE IMPERMEABLE SUR LES RABATTEMENTS

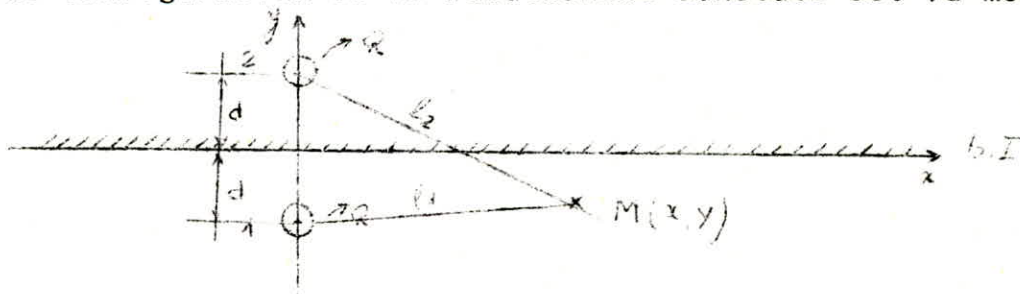
Les formules établies par THEIS considèrent que la nappe a une extension infinie mais dans la pratique, ce cas n'est jamais réalisé. La nappe est presque toujours limitée par des fronts imperméables.

La présence de fronts imperméables aux limites d'une nappe perturbe l'écoulement vers l'ouvrage de captage et l'on constate une augmentation du rabattement par rapport à ce qu'il serait dans une nappe d'extension infinie. L'étude de l'influence d'une barrière imperméable sur les rabattements n'a pas encore été approfondie théoriquement et la bibliographie à ce sujet est des restreintes. Mais malgré cette carence scientifique, des spécialistes de l'hydrodynamique des nappes ont édifié une théorie vérifiée par la pratique dont on se sert pour calculer les rabattements dans les forages: c'est la théorie des Images.

VI₁ THEORIE DES IMAGES DANS LE CAS D'UNE SEULE BARRIERE IMPERMEABLE

Considérons un forage dans une nappe limitée par une barrière imperméable (1^{er} cas). Dans le 1^{er} plan, les lignes de courant sont radiales et rectilignes. Dans le 2^{ème} plan, elles sont asymptotiques à la barrière imperméable.

Ce forage serait soumis aux mêmes conditions d'écoulement s'il était soumis à l'influence d'un forage symétrique à la limite imperméable dans une nappe infinie. Les lignes de courant ont la même configuration et le rabattement constaté est la même en effet:



$$\Delta M = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{L_1^2 S} + \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{L_2^2 S}$$

$$L_1^2 = (d-y)^2 + x^2$$

$$L_2^2 = (d+y)^2 + x^2$$

Soit:

$$\Delta M = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{((d-y)^2 + x^2) \cdot S} + \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{((d+y)^2 + x^2) \cdot S}$$

$$\Delta M = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{S} - \frac{0,183Q}{T} \log ((d-y)^2 + x^2) + \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{S} - \frac{0,183Q}{T} \log ((d+y)^2 + x^2)$$

$$\Delta M = 2 \cdot \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{S} - \frac{0,183Q}{T} \left[\log ((d-y)^2 + x^2) + \log ((d+y)^2 + x^2) \right]$$

Dérivons Δ par rapport à y .

$$\frac{\partial \Delta}{\partial y} = - \frac{0,183Q}{2,3T} \times \frac{2(d-y)}{x^2 + (d-y)^2} + \frac{0,183Q}{T} \times \frac{2(d-y)}{x^2 + (d-y)^2}$$

Evaluons $\left(\frac{\partial \Delta}{\partial y}\right)$ pour $y=0$

$$\left(\frac{\partial \Delta}{\partial y}\right)_{y=0} = - \frac{0,183Q}{2,3T} \times \frac{2d}{x^2 + d^2} + \frac{0,183Q}{2,3T} \times \frac{2d}{x^2 + d^2} = 0$$

$\left(\frac{\partial \Delta}{\partial y}\right)_{y=0} = 0$

Ceci montre que l'axe O_x ($y=0$) n'est traversé par aucun flux donc il se comporte comme une barrière imperméable.

Ainsi l'influence du forage (2) sur le forage (1) est la même que l'influence d'une ligne imperméable située à égale distance des deux forages et réciproquement.

Donc si l'on note:

d : distance du forage (1) perpendiculairement à la barrière imperméable.

Q_1 : débit de pompage du forage (1).

On peut conclure que du point de vue rabattement une barrière imperméable a la même influence qu'un second forage placé à la distance $2d$ et pompé au débit Q (débit de pompage du forage - original) dans

une nappe infinie.

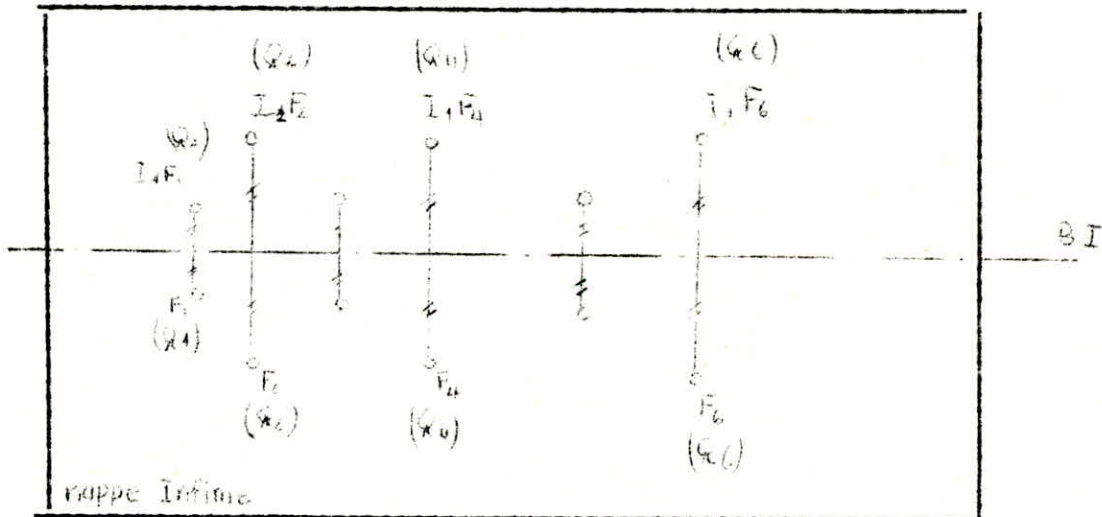
Le rabattement additionnel dû à l'influence de la barrière imperméable sur le forage (1) sera :

$$\Delta 1. BI = \frac{0,183 Q}{T} I \text{ og } \frac{2,25 Tt}{(2d)^2 S}$$

$$\Delta 1. BI = \frac{Q}{4 \pi T} W(U) \text{ avec } U = \frac{S \cdot (2d)^2}{4 Tt}$$

Ce raisonnement établi pour un forage peut être généralisé directement à n forages. En effet, en vertu de ce qui été dit avant, le cas de n forages dans une nappe limitée par un front imperméable, sera, du point de vue rabattement, analogue à 2 n forages dans une nappe infinie : chaque forage - Image FI sera :

- Implanté à 2 d du forage original correspondant.
- Pompé au débit Q, débit du forage original correspondant.

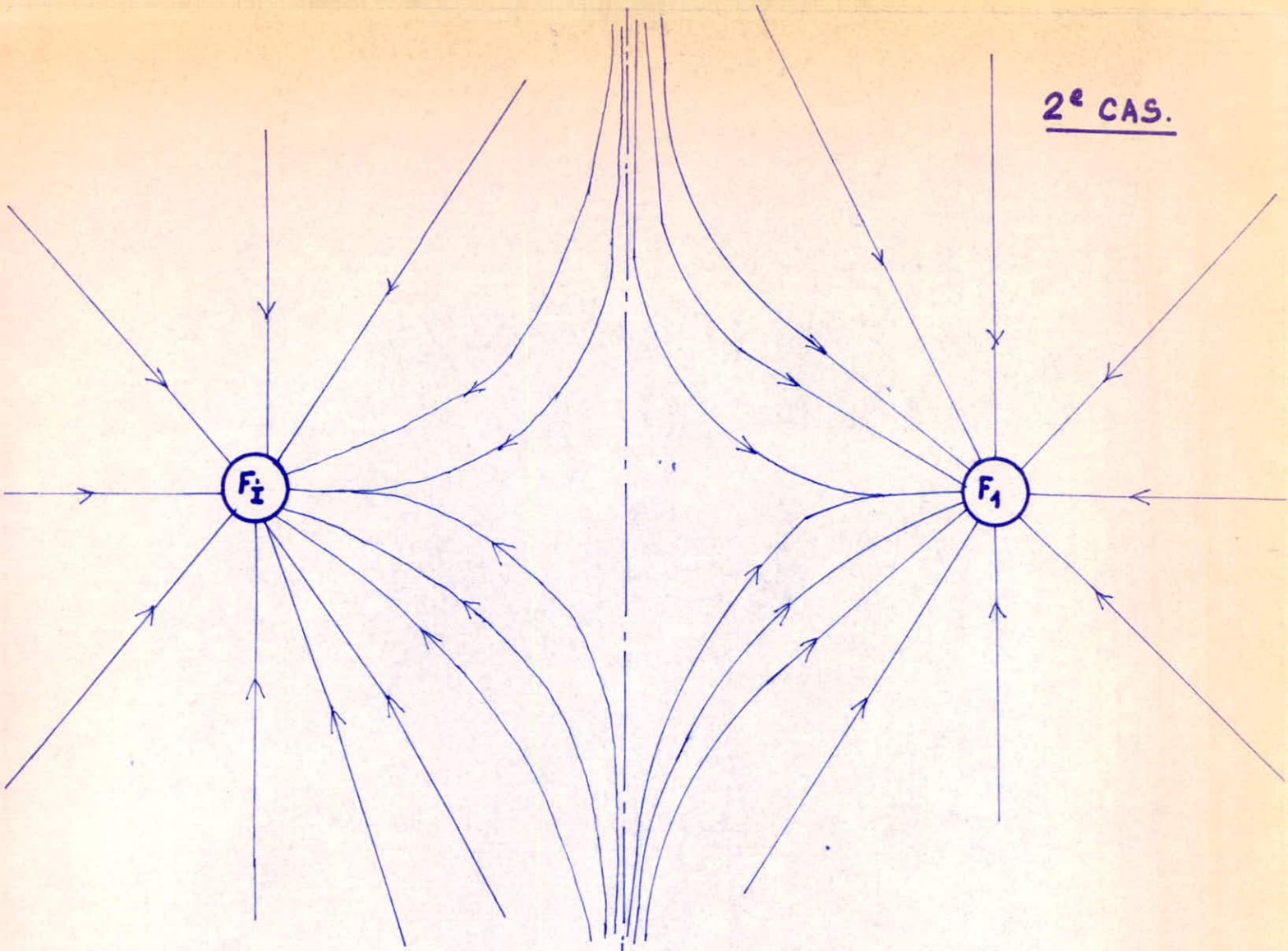


Le rabattement additionnel dû à l'influence de la barrière imperméable dans chaque forage sera donc la somme des 16 termes $\Delta (I, J)$ d'une même ligne de la matrice $[\Delta (I, J)]$.

On est donc ramené à un calcul d'influence entre forages pompés simultanément. Chaque forage est influencé par son forage-Image propre et par les Forages-Images des 15 autres. Donc chaque Forage sera influencé par 16 forages-Images pompés aux débits des forages originaux.

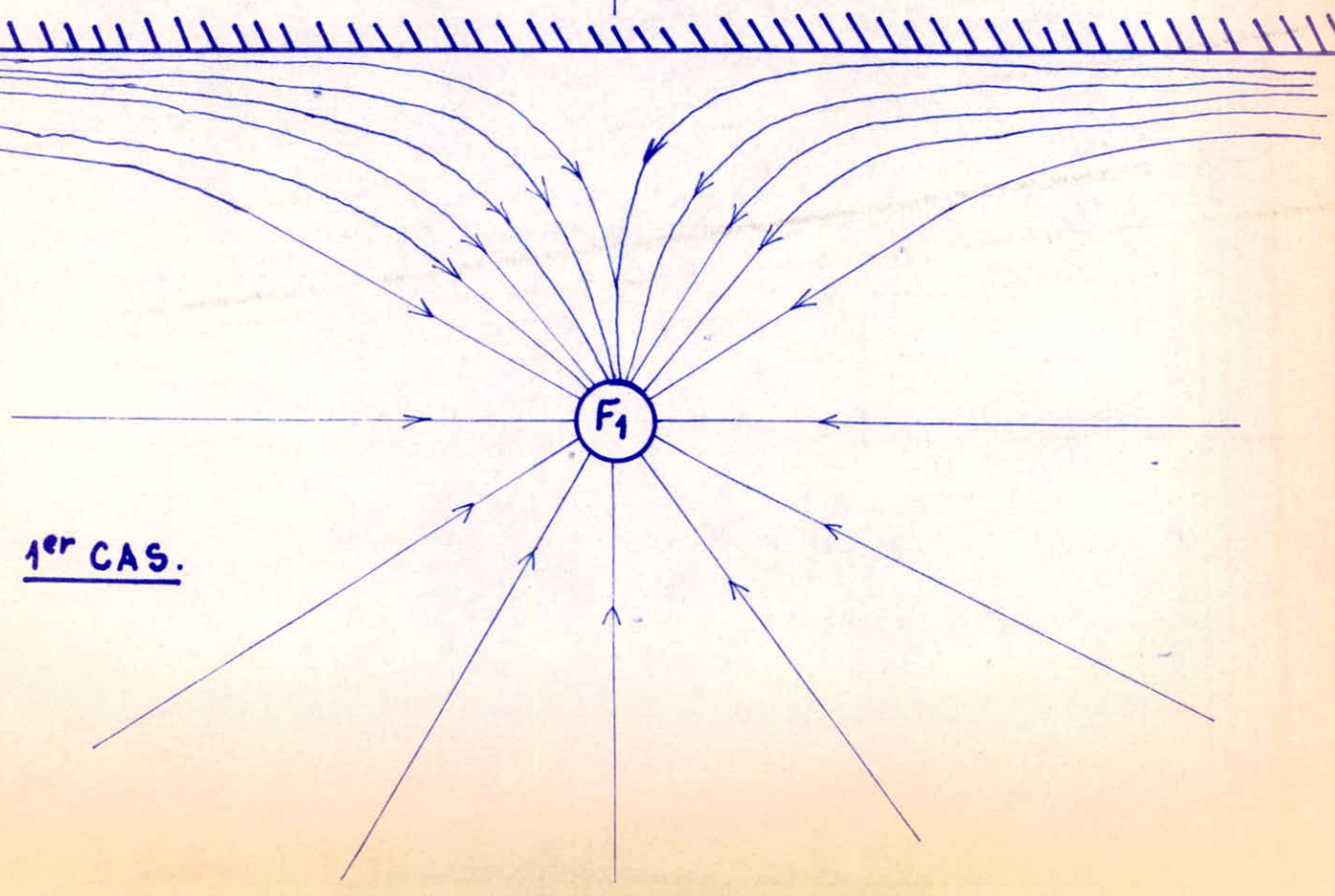
On a donc une matrice-rabattements $\Delta (16, 16)$ où la somme des 16 termes $\Delta (I, J)$ d'une même ligne représente le rabattement total dû à la limite imperméable.

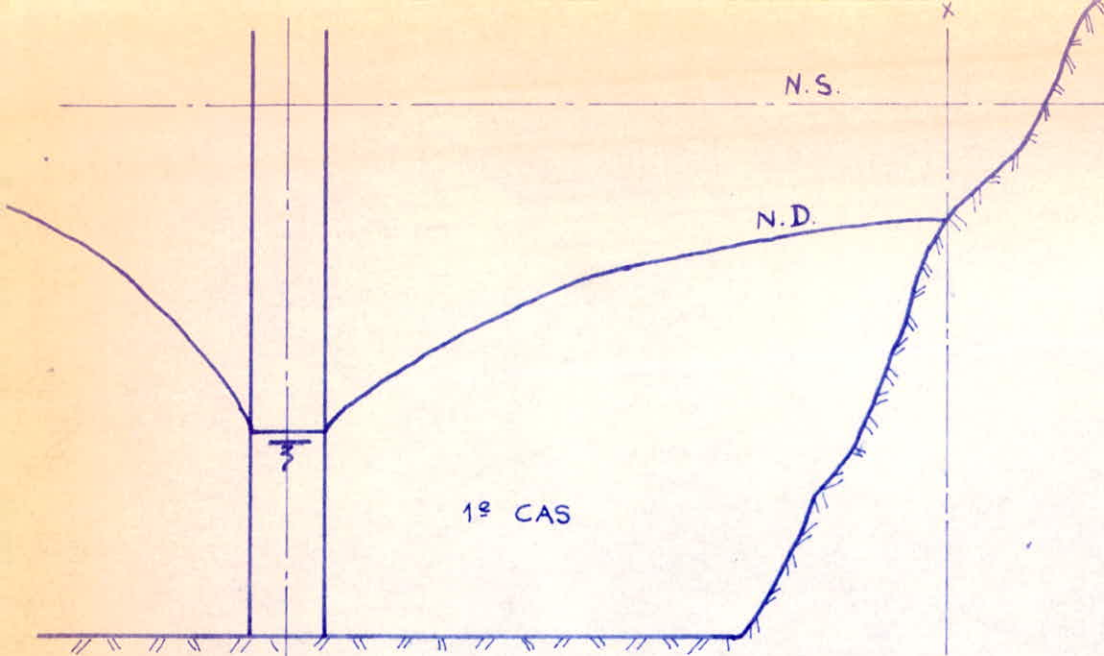
2^e CAS.



B.I

1^{er} CAS.





1^{er} CAS : Rabattement obtenu dans un forage F1 avec influence de la barrière impermeable (Δ_1)

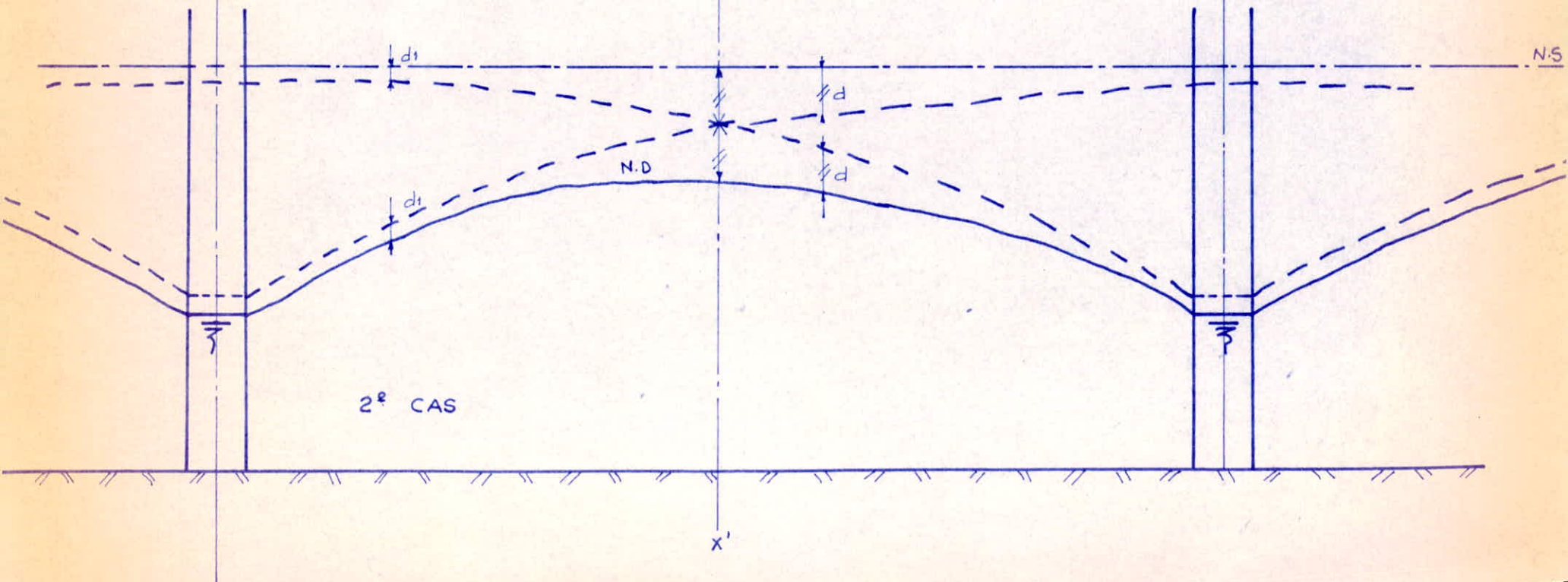
2^{es} CAS : rabattement obtenu dans un forage F1 avec influence d'un autre forage symétrique / axe xx' (Δ_2)

On constate que dans les cas, le profil du cône de pression est le même, que les rabattements sont égaux ($D_1 = D_2$)

Donc l'influence d'une barrière impermeable est la même que celle d'un forage situé symétriquement / axe xx'

① FORAGE REEL

② FORAGE IMAGE



2^{es} CAS

La méthode de calcul est la même que celle décrite précédemment. On donnera $T, S, t, X(I, J)$ et $Q(J)$ à l'entrée pour obtenir à $\Delta(I, J)$ à la sortie.

Les calculs développés sont donnés en annexe. Le rabattement total dû à la barrière imperméable influençant chaque forage est donné dans le tableau suivant.

REMARQUE :

On peut diminuer la valeur des rabattements dus à la limite imperméable en éloignant les forages de la barrière imperméable. Mais la situation de la zone de bonne transmissivité de la nappe à proximité de la B.I. limite cette condition.

Matrice-Rabattements dus à l'influence du 1^{er} front
Imperméable supposé agissant seul.

N°	DES	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀	I ₁₁	I ₁₂	I ₁₃	I ₁₄	I ₁₅	I ₁₆	TOTAL
		F ₁ T	F ₁ Co	F ₂ Co	F ₂ T	F ₈ T	F ₇ T	F ₅ T	F ₁₄	F ₄	F ₁ M	F ₂	F ₅	F ₄ T	F ₃ T	F ₇	F ₃	
1	F ₁ T	0,329	0,336	0,477	0,230	0,284	0,325	0,177	0,379	0,257	0,167	0,181	0,166	0,242	0,164	0,137	0,107	3,965
2	F ₁ Co	0,269	0,286	0,400	0,195	0,230	0,255	0,141	0,297	0,202	0,129	0,141	0,130	0,187	0,128	0,106	0,084	3,188
3	F ₂ Co	0,272	0,286	0,403	0,195	0,236	0,265	0,145	0,303	0,211	0,137	0,150	0,137	0,201	0,236	0,114	0,089	3,288
4	F ₂ T	0,230	0,243	0,341	0,165	0,198	0,224	0,122	0,261	0,179	0,117	0,128	0,164	0,172	0,116	0,09	0,07	2,795
5	F ₈ T	0,284	0,288	0,413	0,198	0,247	0,289	0,156	0,345	0,236	0,157	0,169	0,152	0,231	0,154	0,133	0,102	3,563
6	F ₇ T	0,325	0,319	0,465	0,224	0,289	0,358	0,188	0,428	0,295	0,203	0,215	0,192	0,299	0,199	0,172	0,131	4,310
7	F ₅ T	0,284	0,282	0,408	0,196	0,250	0,301	0,160	0,361	0,247	0,169	0,180	0,162	0,252	0,167	0,143	0,110	3,679
8	F ₁₄	0,291	0,286	0,419	0,201	0,265	0,329	0,174	0,408	0,284	0,200	0,210	0,186	0,301	0,199	0,174	0,132	4,065
9	F ₄	0,257	0,253	0,370	0,179	0,236	0,295	0,154	0,369	0,252	0,180	0,190	0,168	0,278	0,181	0,162	0,121	3,654
10	F ₁ M	0,278	0,270	0,400	0,195	0,262	0,258	0,176	0,434	0,301	0,225	0,233	0,206	0,350	0,227	0,140	0,153	4,116
11	F ₂	0,242	0,236	0,350	0,170	0,226	0,287	0,150	0,364	0,253	0,187	0,196	0,172	0,293	0,191	0,174	0,129	3,629
12	F ₅	0,221	0,217	0,320	0,155	0,203	0,257	0,135	0,323	0,224	0,164	0,172	0,152	0,258	0,168	0,154	0,114	3,246
13	F ₄ T	0,242	0,234	0,352	0,172	0,231	0,299	0,157	0,392	0,278	0,210	0,220	0,194	0,343	0,220	0,207	0,150	3,909
14	F ₃ T	0,218	0,214	0,318	0,155	0,206	0,265	0,139	0,345	0,242	0,182	0,191	0,168	0,293	0,185	0,174	0,127	3,431
15	F ₇	0,203	0,197	0,296	0,146	0,197	0,255	0,132	0,336	0,241	0,184	0,194	0,171	0,307	0,194	0,194	0,140	3,396
16	F ₃	0,187	0,183	0,273	0,133	0,178	0,228	0,120	0,299	0,211	0,160	0,169	0,149	0,262	0,166	0,164	0,119	3,009

- INFLUENCE du 1^{er} FRONT IMPERMEABLE -

Rabattement total cumulé dans chaque Forage :

(Rabattement propre + Rabattement-Influence des 16 forages + Rabattement-Influence du 1^{er} front impermeable.)

N°	DES.	Δ . propre + Δ . Influence des 16 F.	Δ . influence du 1 ^{er} Front (m.)	TOTAL (m.)
1	F ₁ T	11,413 m.	3,965 m.	15,378
2	F ₂ C ₀	11,559	3,188	14,747
3	F ₂ C ₀	13,429	3,288	16,717
4	F ₂ T	10,530	2,795	13,325
5	F ₈ T	11,909	3,563	15,472
6	F ₇ T	11,716	4,310	16,026
7	F ₅ T	11,045	3,679	14,724
8	F ₁₄	12,903	4,065	16,968
9	F ₄	12,087	3,654	15,741
10	F ₁ M.	9,260	4,116	13,376
11	F ₂	11,171	3,629	14,800
12	F ₅	10,731	3,246	13,977
13	F ₄ T	10,722	3,909	14,631
14	F ₃ T	10,320	3,431	13,751
15	F ₇	8,859	3,396	12,255
16	F ₃	8,812	3,009	11,821

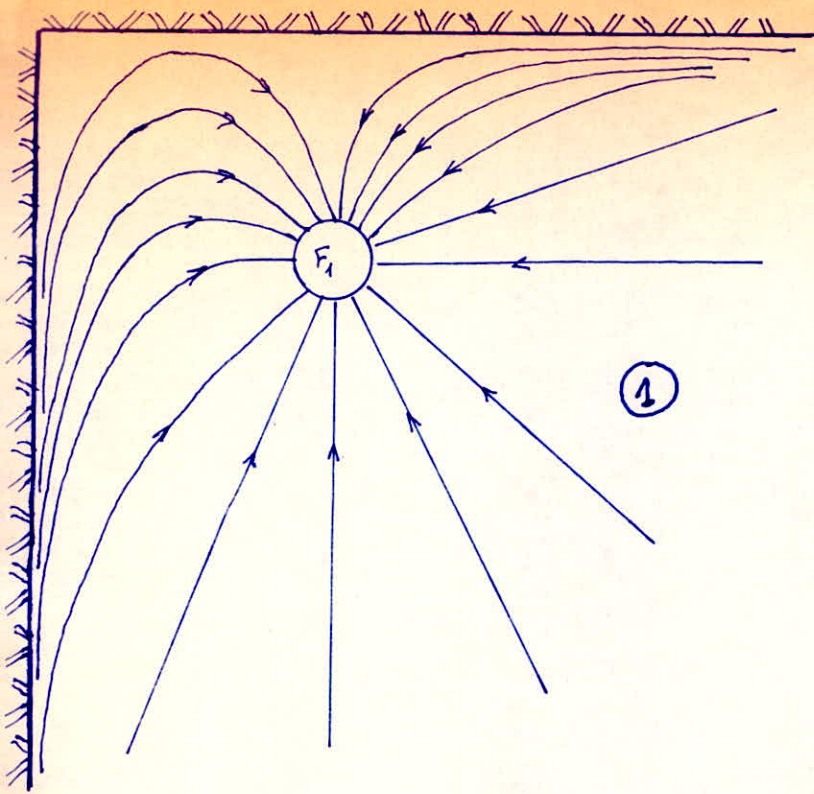
VII. INFLUENCE DE 2 BARRIERES IMPERMEABLES SUR LES RABATTEMENTS .

Considérons un forage pompé au débit Q dans une nappe limitée par 2 fronts imperméables. Les lignes de courant sont asymptotiques aux 2 limites imperméables, et radiales dans la partie sans limites (Fig. 1 a)

Ce forage serait soumis aux mêmes conditions d'écoulement s'il était soumis à l'influence de 3 autres forages implantés symétriquement par rapport aux 2 barrières imperméables. (Fig. 1 b)

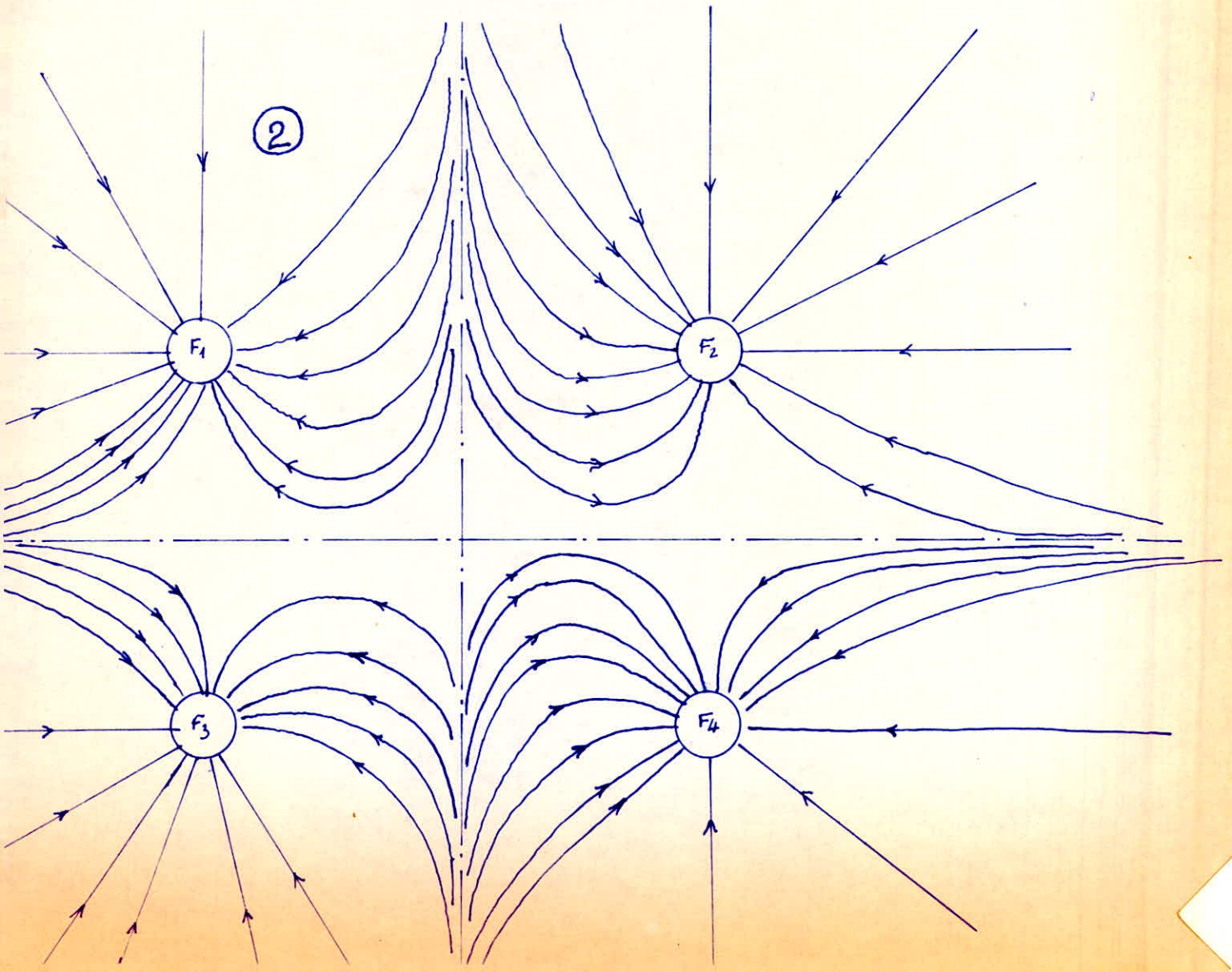
Les lignes de courant ont la même configuration et le rabattement constaté est le même.

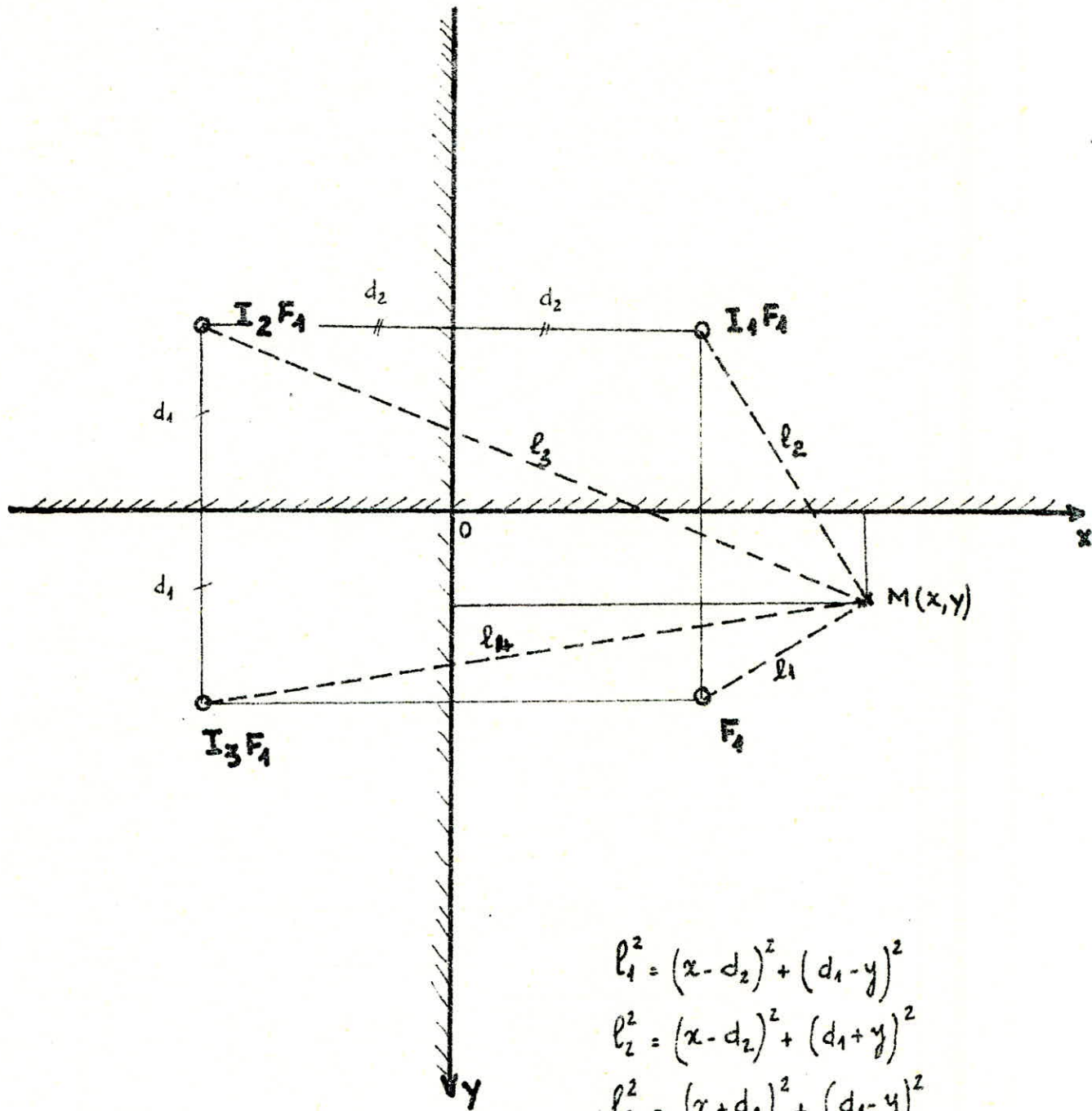
En effet :



- ① Ecoulement vers un forage dans une nappe limitée par 2 fronts perpendiculaires imperméables.
- ② Ecoulement vers un forage lorsque 4 forages sont pompés ensemble

Conclusion: On constate que les cas ① et ② sont analogues. Donc 2 fronts imperméables perpendiculaires ont la même influence sur un forage que 4 forages pompés simultanément





$$l_1^2 = (x - d_2)^2 + (d_1 - y)^2$$

$$l_2^2 = (x - d_2)^2 + (d_1 + y)^2$$

$$l_3^2 = (x + d_2)^2 + (d_1 - y)^2$$

$$l_4^2 = (x + d_2)^2 + (d_1 + y)^2$$

Evaluons le rabattement total en M:

$$\Delta M = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{l_1^2 S} + \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{l_2^2 S} + \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{l_3^2 S} + \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{l_4^2 S}$$

$$\Delta M = 4 \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{S} - \left[0,183 Q / T \left(\log (x-d_2)^2 + (d_1-y)^2 + \right.$$

$$\left. \log (x-d_2)^2 + (d_1-y)^2 + \log (x+d_2)^2 + (d_1-y)^2 + \log (x+d_2)^2 + (d_1+y)^2 \right]$$

①: Dérivons Δ par rapport à y :

$$\frac{\partial \Delta M}{\partial y} = - \left[\frac{0,183 Q}{T} \left(\frac{-2(d_1-y)}{(x-d_2)^2 + (d_1-y)^2} + \frac{2(d_1+y)}{(x-d_2)^2 + (d_1+y)^2} - \frac{2(d_1-y)}{(x+d_2)^2 + (d_1-y)^2} + \frac{2(d_1+y)}{(x+d_2)^2 + (d_1+y)^2} \right) \right]$$

Evaluons $\left(\frac{\partial \Delta}{\partial y} \right)$ pour $y = 0$:

$$\left(\frac{\partial \Delta M}{\partial y} \right)_{y=0} = - \frac{0,183 Q}{T} \left[\frac{-2d_1}{(x-d_2)^2 + d_1^2} + \frac{2d_1}{(x-d_2)^2 + d_1^2} - \frac{2d_1}{(x+d_2)^2 + d_1^2} + \frac{2d_1}{(x+d_2)^2 + d_1^2} \right] = 0$$

$$\boxed{\left(\frac{\partial \Delta}{\partial y} \right)_{y=0} = 0}$$

Donc l'axe Ox ($y=0$) n'est traversé par aucun flux.
Il se comporte donc comme une barrière imperméable.

② dérivons Δ_m par rapport à x :

$$\frac{\partial \Delta_m}{\partial x} = -\frac{0,183 Q}{T} \left[\frac{2(x-d_2)}{(x-d_2)^2 + (d_1-y)^2} + \frac{2(x-d_2)}{(x-d_2)^2 + (d_1+y)^2} \right. \\ \left. + \frac{2(x+d_2)}{(x+d_2)^2 + (d_1-y)^2} + \frac{2(x+d_2)}{(x+d_2)^2 + (d_1+y)^2} \right]$$

Evaluons $\left(\frac{\partial \Delta_m}{\partial x}\right)$ pour $x=0$

$$\left(\frac{\partial \Delta_m}{\partial x}\right)_{x=0} = -\frac{0,183 Q}{T} \left[\frac{-2d_2}{(d_1-y)^2 + d_2^2} - \frac{2d_2}{d_2^2 + (d_1+y)^2} + \right. \\ \left. \frac{2d_2}{d_2^2 + (d_1-y)^2} + \frac{2d_2}{d_2^2 + (d_1+y)^2} \right] = 0$$

$$\boxed{\left(\frac{\partial \Delta_m}{\partial x}\right)_{x=0} = 0}$$

Donc l'axe Oy ($x=0$) n'est traversé par aucun flux.
Il se comporte donc comme une barrière imperméable.

Nous avons ainsi démontré que pour $\alpha = \frac{\pi}{2}$ radians, le nombre d'images est 3.

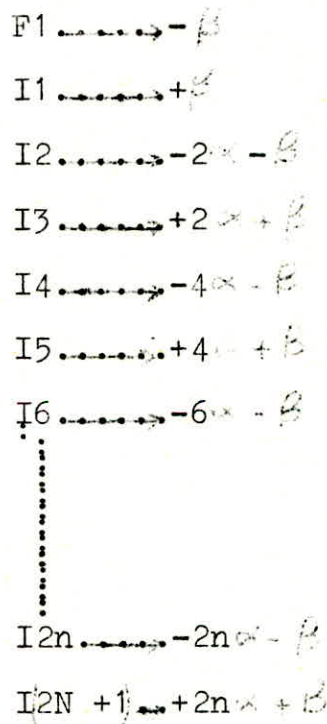
Proposons-nous de déterminer le nombre d'images pour un angle α quelconque.

VII. 1. CALCUL DU NOMBRE D'IMAGES EN FONCTION DE L'INCLINAISON DES 2 FRONTS IMPERMEABLES.

Soit α un angle quelconque déterminant l'inclinaison de deux fronts impermeables et n le nombre d'images d'un forage influencé par les deux fronts.

Proposons-nous de déterminer la relation n en fonction de α (Voir Fig. ci-contre.)

Ox étant l'axe de référence, le forage F(1) fait un angle ($-\beta$) avec Ox.



Mais le nombre d'images est fini ; lorsque l'image I_{2n} ou I_{2n+1} se confond avec $F1$, on peut affirmer que celle-ci est la dernière.

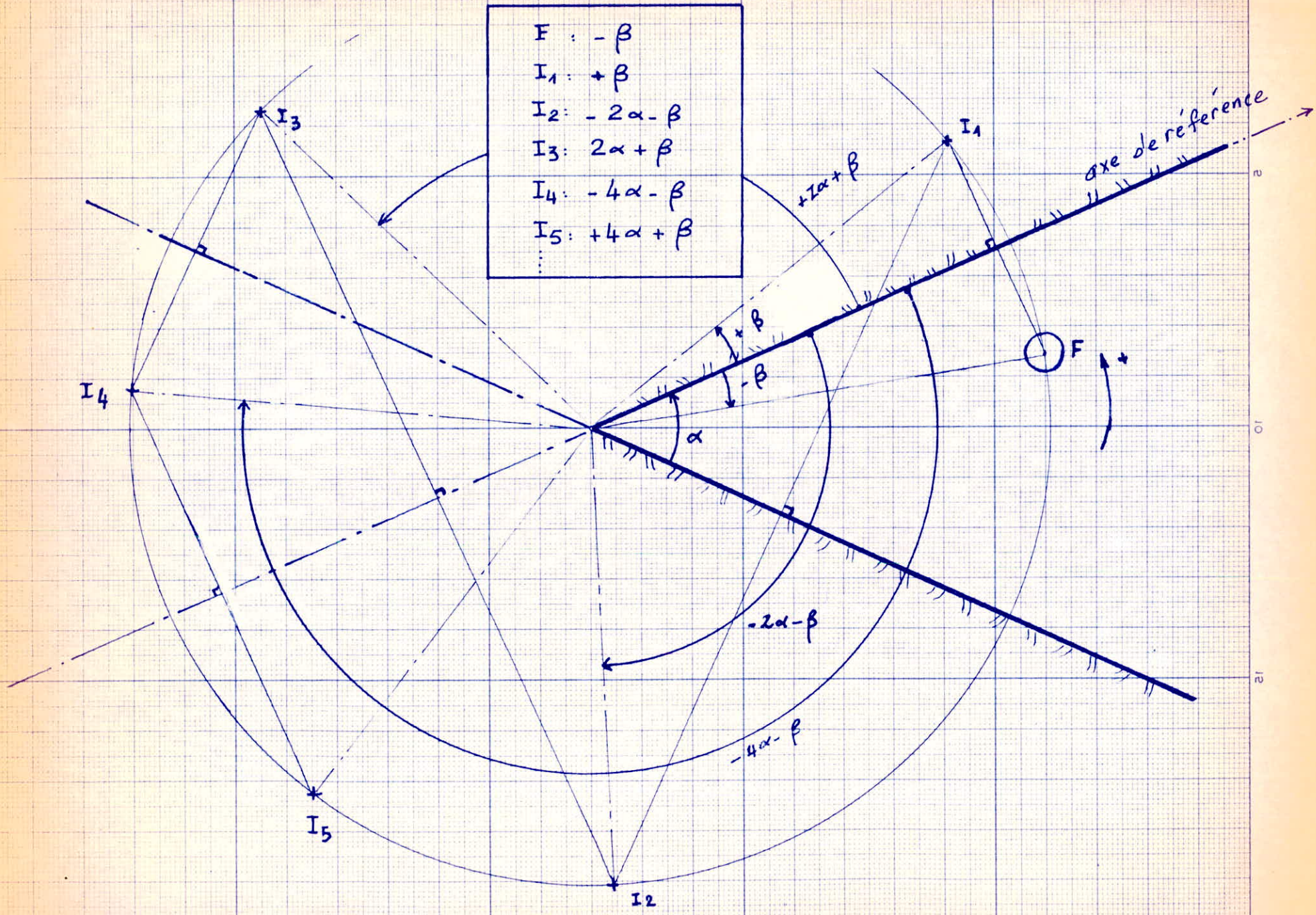
$$I_{2n} = F1 \rightarrow -2n\alpha - \beta = -\beta - 2K\pi$$

$$I_{2n+1} = F1 \rightarrow +2n\alpha + \beta = -\beta + 2K\pi$$

La première relation ($I_{2n} = I1$), étant indépendante de ...
 Nous avons directement le nombre d'images en fonction de l'inclinaison. (α)

ETABLISSEMENT DE LA FORMULE GÉNÉRALISÉE $N = f(\theta)$. (nombre d'Images en fonction de l'inclinaison des 2 Fronts imperméables)

- | | |
|-------|--------------------|
| F | $-\beta$ |
| I_1 | $+\beta$ |
| I_2 | $-2\alpha - \beta$ |
| I_3 | $2\alpha + \beta$ |
| I_4 | $-4\alpha - \beta$ |
| I_5 | $+4\alpha + \beta$ |



$$2n\alpha - \beta = -2K\pi \rightarrow 2n\alpha = -2K\pi$$

$$2n = \frac{2K\pi}{\alpha}$$

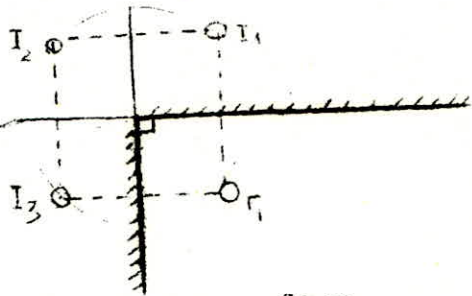
Or le nombre d'images est $N = 2n$ donc

$$N = \frac{2K\pi}{\alpha}$$

Cette relation, est vérifiée par la construction géométrique des images (symétrie par rapport aux lignes schématisant les fronts imperméables.)

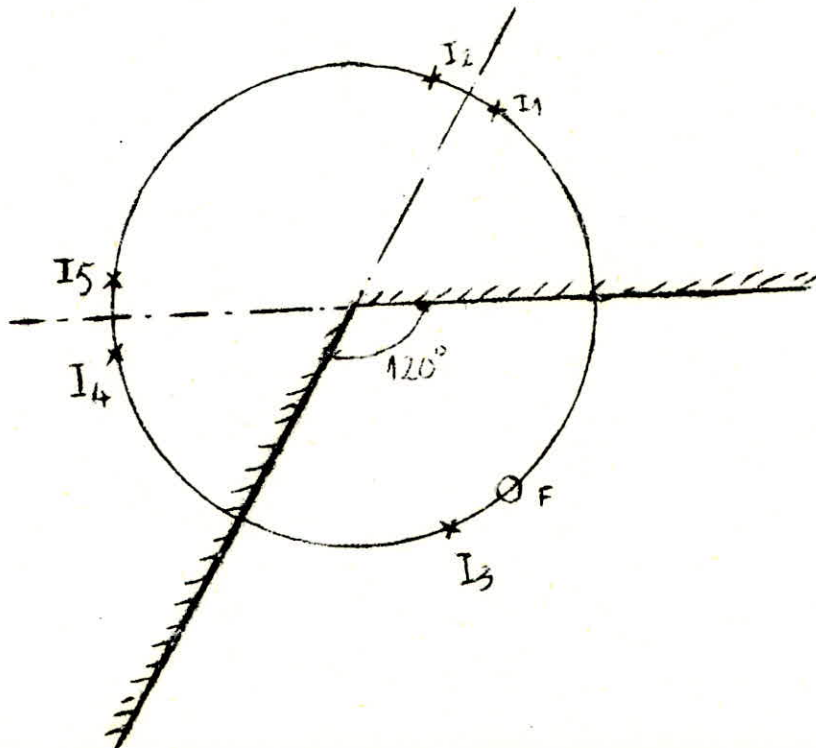
Exemple :

$$\text{Pour } \alpha = \frac{\pi}{2} \quad N = \frac{2\pi}{\frac{\pi}{2}} = 4 \text{ images.}$$



$$\text{Pour } \alpha = \frac{4\pi}{3} \quad (120^\circ) \quad N = \frac{2K\pi}{\frac{4\pi}{3}} = 3K \text{ Images.}$$

$$K = 2 \rightarrow N = 6 \text{ Images.}$$



Cette relation est aussi vérifiée par les conditions aux limites

Pour $\alpha = \pi$ (1 seul front imperméable)

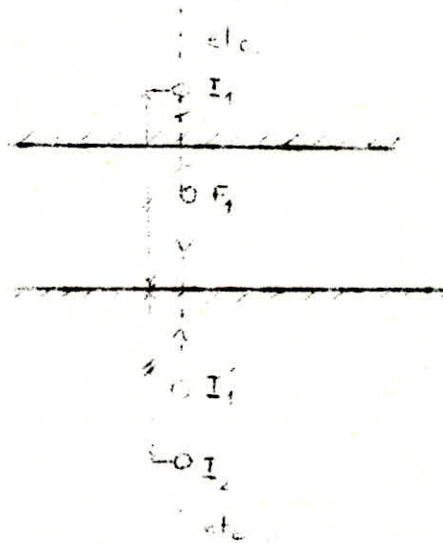
$$N = \frac{2K\pi}{\alpha} = \frac{2K\pi}{\pi} = 2K$$

Or $K = 1$ d'où $N = 1$ Image.



Pour $\alpha = 0$ (2 fronts parallèles.)

$$N = \frac{2K\pi}{\alpha} = \frac{2K\pi}{0} = \infty \quad (N = m \text{ images, } m \rightarrow \infty)$$



Cette relation étant établie appliquant-la aux limites de la nappe Mazafra. L'inclinaison des 2 fronts imperméables délimitant la nappe dans sa partie avale ne peut être définie avec exactitude. Néanmoins, on peut l'approximer en considérant l'inclinaison de la chaîne montagneuse (rebondissement du Sahel) l'angle adopté est de 144° , c'est-à-dire :

$$\alpha = \frac{4\pi}{5}$$

En fonction de cette inclinaison, la relation $N = F(\alpha)$ nous donne :

$$N = \frac{2K}{\alpha} = \frac{2K}{\frac{4\pi}{5}} = \frac{10K}{4} \quad \text{Images.}$$

Or dans ce cas et d'après la construction, $K = 4$ c'est-à-dire qu'on fera 4 tours de cercle pour retomber sur l'image originale.

Donc
$$N = \frac{10 \cdot 4}{4} \quad \text{Images.}$$

$$N = 10 \text{ Images.}$$

De premier abord, l'étude paraît assez simple : chaque forage sera influencé par 9 images situées sur le cercle-images (CI), pompées au débit Q et situées à des distances X (I) du forage original.

Mais du seul point de vue du raisonnement cette théorie est fautive.

1) 3 Images sont situées à l'intérieur de la nappe, alors que la théorie des images a été établie en considérant un forage image symétrique par rapport à la barrière imperméable, donc situé à l'extérieur de la nappe, et l'on a démontré ainsi que la limite XX' dans les deux cas était une ligne à flux nul.

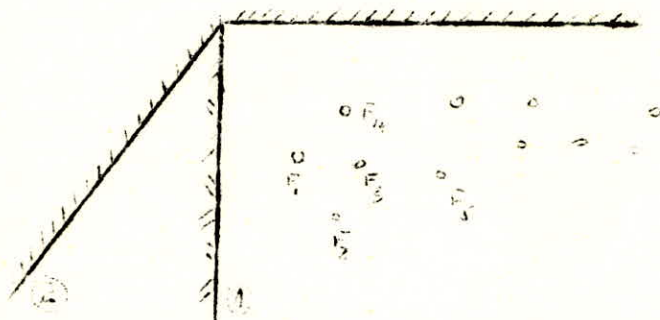
Si un forage-image n'était pas situé à l'extérieur de la nappe,

$\frac{\partial \Delta}{\partial y} \neq 0$, donc la limite XX' ne serait plus une ligne à flux nul, ce qui remettrait en question toute la théorie des images.

Du point de vue écoulement, en considérant 3 images à l'intérieur de la nappe, la configuration des lignes de courant n'est pas la même dans les 2 cas. En effet :



2) supposons une deuxième limite perpendiculaire à la première, schématisée suivant la figure ci-dessous



quelque soit la situation d'un forage dans la nappe l'influence de la limite à fronts perpendiculaire, est plus importante que la deuxième limite et le rabattement dans le 1er cas est plus grand que dans le 2er cas, ceci s'explique par le fait que les fronts sont plus rapprochés du forage et la nappe plus restreinte.

Or en adoptant la relation $N = f(\alpha)$, le forage est influencé par :

- 3 images dans le 1er cas
- 9 images dans le 2er cas.

Situées sur le même cercle image comme l'indique la figure. Donc la relation $N = f(\alpha)$ donne un rabattement plus important dans le 2er cas que dans le 1er cas ce qui est illogique et incorrect.

Toutes les tentatives pour un calcul exact se sont avérées sans résultats. Nous noterons au passage que nous n'avons trouvé aucune documentation à ce sujet et vu les nombreuses difficultés rencontrées, il nous a été impossible de fonder une théorie des images dans le cas de deux barrières imperméables à inclinaison (α) quelconque.

REMARQUE :

Neanmoins, la question pourrait être élucidée à notre avis en étudiant le problème sur modèle réduit avec application d'une similitude appropriée.

En effet, il suffit de reproduire les conditions hydrogéologiques de la nappe sur un modèle réduit, de limiter celle-ci par 2 Fronts imperméables et de déterminer le rabattement dans le forage pompé en fonction de l'inclinaison donnée aux 2 fronts.

Ceci pourrait donner une solution au problème .

Dans l'impossibilité de donner une solution exacte au problème, nous allons essayer de l'approximer en nous ramenant à un cas connu mais tout en justifiant cette approximation et en montrant que le 2ème cas d'étude est sensiblement analogue au 1er.

VII 2. SOLUTION APPROXIMATIVE DU PROBLEME.

Le cas connu est une nappe limitée par 2 fronts imperméables perpendiculaires ($\alpha = \pi/2$)

Le probleme est le suivant :

Sous quelles conditions peut-on assimiler l'influence de 2 fronts à 144° à l'influence de deux fronts perpendiculaires.

Les paramètres mis en jeu sont les suivants :

- extension de la nappe.
- distances entre les fronts et les forages.

Le 1er front ne subissant aucune variation géométrique, on aura une nappe équivalente à la première en remplaçant le 2ème front par un front perpendiculaire au 1er et tel que :

- la partie amont de la nappe retranchée soit sensiblement compensée par la partie aval ajoutée.

- les distances entre forages et limite soient approximativement respectées

L'équivalence de ces paramètres dans les deux cas justifie l'égalité approximative des rabattements. En effet le rabattement dans un forage est une fonction de la superficie de la nappe (apport d'eau, extension du rayon d'action)

Et de la distance au front imperméable : le rabattement étant inversement proportionnel à la distance.

$$\Delta = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{x^2 S}$$

On pourra donc calculer ainsi le supplément de rabattement dû à la 2ème limite imperméable.

REMARQUE :

Il existe cependant un compromis entre la barrière tracée en considérant le paramètre distances et la barrière tracée en considérant le paramètre extension de la nappe.

Ce dernier cas nous a paru **pessimiste**, quant à la valeur des rabattements. Nous avons donc considéré le premier cas qui est plus sécuritaire.

VII.3. CALCUL DU RABATTEMENT ADDITIONNEL DUE A LA 2^{ème} LIMITE.

Dans cette nouvelle configuration de la limite impermeable, chaque forage possède 2 images additionnelles.

On aura donc pour les 16 forages, 32 images situées respectivement dans le 3^{ém}e et le 4^{ém}e cadran de la figure schematisant la nappe infinie.

On considerera successivement les images du 3^{ém}e cadran et ensuite les images du 4^{ém}e cadran.

a) influence des images du 3^{ém}e cadran sur chaque forage :

Chaque forage sera influencé par son image-propre et les images des 15 autres forages. La méthode de calcul est analogue au cas d'une seule barriere impermeable: Matrice $\Delta (16, 16)$ dans la la somme des termes d'une même ligne représente le rabattement additionnel de chaque forage.

- le developpement des calculs, est donne en annexe.

- le rabattement additionnel total est donné dans le tableau ci-contre.

b) influence des images du 4^{ém}e cadran.

de même que le cas precedent chaque forage sera influencé par son image-propre et par les images des 15 autres forages.

- le developpement des calculs, est donne en annexe.

- le rabattement additionnel total est donné dans un tableau ci-contre.

REMARQUE :

Nous designerons par " rabattement total , moyen " le rabattement total cumulé dans chaque forage , calculé en considérant tous les parametres, Car nous donnerons par la suite une valeur " rabattement limite superieure " et une valeur " rabattement limite inferieure " .

- Matrice - Rabattements dûs à l'influence du 2° front Imperméable

- Images du 3° Cadran -

N°	DES.	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇	I ₈	I ₉	I ₁₀	I ₁₁	I ₁₂	I ₁₃	I ₁₄	I ₁₅	I ₁₆	TOTAL (m)
		F _{1T}	F _{1Co}	F _{2Co}	F _{2T}	F _{8T}	F _{7T}	F _{5T}	F ₁₄	F ₄	F _{1M}	F ₂	F ₅	F _{4T}	F _{3T}	F ₇	F ₃	
1	F _{1T}	0,187	0,239	0,314	0,163	0,160	0,150	0,091	0,172	0,118	0,067	0,079	0,076	0,096	0,068	0,053	0,045	2,084
2	F _{1Co}	0,191	0,233	0,310	0,158	0,162	0,159	0,094	0,182	0,125	0,073	0,084	0,080	0,105	0,073	0,059	0,049	2,142
3	F _{2Co}	0,179	0,221	0,290	0,150	0,151	0,152	0,092	0,183	0,115	0,067	0,077	0,073	0,096	0,067	0,054	0,044	2,020
4	F _{2T}	0,163	0,197	0,263	0,132	0,136	0,136	0,080	0,156	0,106	0,063	0,072	0,068	0,090	0,063	0,050	0,041	1,824
5	F _{8T}	0,160	0,202	0,264	0,136	0,135	0,079	0,078	0,147	0,101	0,058	0,067	0,065	0,082	0,058	0,046	0,038	1,725
6	F _{7T}	0,150	0,199	0,266	0,136	0,117	0,079	0,072	0,134	0,093	0,051	0,061	0,059	0,073	0,052	0,041	0,035	1,624
7	F _{5T}	0,146	0,190	0,259	0,128	0,125	0,115	0,071	0,134	0,091	0,052	0,063	0,059	0,074	0,052	0,041	0,035	1,642
8	F ₁₄	0,132	0,170	0,246	0,120	0,113	0,103	0,064	0,119	0,082	0,046	0,054	0,052	0,065	0,046	0,036	0,030	1,485
9	F ₄	0,118	0,156	0,202	0,106	0,101	0,093	0,057	0,106	0,072	0,041	0,048	0,046	0,058	0,041	0,032	0,027	1,311
10	F _{1M}	0,112	0,153	0,197	0,105	0,097	0,086	0,054	0,100	0,068	0,038	0,045	0,044	0,053	0,038	0,030	0,025	1,254
11	F ₂	0,105	0,141	0,181	0,096	0,090	0,082	0,051	0,094	0,064	0,036	0,042	0,041	0,051	0,036	0,028	0,024	1,169
12	F ₅	0,101	0,134	0,172	0,091	0,087	0,079	0,049	0,091	0,062	0,035	0,041	0,040	0,049	0,036	0,027	0,023	1,124
13	F _{4T}	0,096	0,131	0,168	0,090	0,082	0,073	0,046	0,084	0,058	0,032	0,038	0,037	0,045	0,032	0,025	0,021	1,063
14	F _{3T}	0,091	0,123	0,158	0,084	0,078	0,070	0,044	0,081	0,055	0,031	0,036	0,036	0,043	0,031	0,024	0,020	1,011
15	F ₇	0,079	0,109	0,140	0,075	0,068	0,060	0,038	0,070	0,048	0,026	0,031	0,030	0,037	0,026	0,020	0,017	0,881
16	F ₃	0,078	0,105	0,136	0,072	0,067	0,060	0,038	0,069	0,047	0,026	0,031	0,030	0,037	0,026	0,020	0,017	0,865

Matrice-Rabattements dus à l'influence du 2^{eme} front
Imperméable (Images du 4^{eme} cadran)

N°	DES.	I ₁ "	I ₂ "	I ₃ "	I ₄ "	I ₅ "	I ₆ "	I ₇ "	I ₈ "	I ₉ "	I ₁₀ "	I ₁₁ "	I ₁₂ "	I ₁₃ "	I ₁₄ "	I ₁₅ "	I ₁₆ "	TOTAL (m)
		F ₁ T	F ₁ Co	F ₂ Co	F ₂ T	F ₃ T	F ₇ T	F ₅ T	F ₁₄	F ₄	F ₁ M.	F ₂	F ₅	F ₄ T	F ₃ T	F ₇	F ₃	
1	F ₁ T	0,250	0,371	0,471	0,267	0,226	0,186	0,123	0,212	0,154	0,079	0,100	0,101	0,114	0,086	0,065	0,059	2,872
2	F ₁ Co	0,297	0,457	0,584	0,336	0,272	0,218	0,148	0,258	0,186	0,094	0,121	0,121	0,136	0,105	0,079	0,071	3,492
3	F ₂ Co	0,269	0,417	0,527	0,305	0,247	0,200	0,135	0,234	0,169	0,086	0,109	0,113	0,123	0,094	0,071	0,066	3,172
4	F ₂ T	0,267	0,420	0,535	0,322	0,252	0,200	0,137	0,236	0,172	0,086	0,112	0,117	0,124	0,096	0,072	0,067	3,223
5	F ₃ T	0,226	0,341	0,432	0,252	0,180	0,167	0,112	0,196	0,141	0,072	0,091	0,093	0,103	0,078	0,059	0,053	2,604
6	F ₇ T	0,186	0,273	0,350	0,200	0,167	0,139	0,091	0,160	0,114	0,059	0,074	0,075	0,084	0,063	0,048	0,043	2,134
7	F ₅ T	0,197	0,297	0,378	0,220	0,180	0,146	0,099	0,173	0,124	0,063	0,080	0,082	0,090	0,051	0,052	0,047	2,288
8	F ₁₄	0,163	0,248	0,316	0,181	0,151	0,123	0,083	0,144	0,103	0,053	0,067	0,068	0,075	0,057	0,043	0,039	1,920
9	F ₄	0,154	0,233	0,296	0,172	0,141	0,114	0,077	0,134	0,096	0,049	0,062	0,064	0,070	0,053	0,040	0,036	1,798
10	F ₁ M	0,133	0,197	0,251	0,227	0,121	0,099	0,066	0,115	0,082	0,042	0,053	0,054	0,060	0,045	0,034	0,031	1,617
11	F ₂	0,134	0,202	0,254	0,150	0,121	0,099	0,067	0,116	0,083	0,042	0,054	0,055	0,060	0,046	0,034	0,031	1,558
12	F ₅	0,135	0,208	0,264	0,156	0,125	0,101	0,068	0,118	0,086	0,043	0,055	0,057	0,062	0,047	0,035	0,032	1,600
13	F ₄ T	0,114	0,170	0,216	0,124	0,103	0,084	0,056	0,098	0,070	0,036	0,045	0,046	0,051	0,038	0,029	0,026	1,313
14	F ₃ T	0,115	0,175	0,220	0,129	0,104	0,084	0,046	0,099	0,071	0,036	0,046	0,047	0,051	0,039	0,029	0,027	1,322
15	F ₇	0,097	0,146	0,185	0,107	0,087	0,072	0,048	0,083	0,059	0,030	0,038	0,039	0,043	0,033	0,024	0,022	1,120
16	F ₃	0,102	0,155	0,202	0,118	0,093	0,075	0,051	0,088	0,063	0,032	0,041	0,042	0,045	0,035	0,026	0,023	1,198

- INFLUENCE du 2^{ème} FRONT IMPERMEABLE - VALEURS LIMITES

SUPERIEURES.

Rabattement total maximum cumulé dans chaque

FORAGE

N°	DES.	$\Delta p. + \Delta_{inf}$ des 16 Forages + Δ_{inf} du 1 ^{er} front imp.	Δ . influence du 2 ^e front imp. avec Valeurs Limites sup.	TOTAL (m)
1	F _{1T}	15,378 m.	8,873 m.	24,251 m.
2	F _{1Co}	14,747	10,705	25,452
3	F _{2Co}	16,717	9,494	26,211
4	F _{2T}	13,325	9,100	22,425
5	F _{8T}	15,472	7,936	23,408
6	F _{7T}	16,026	6,879	22,905
7	F _{5T}	14,724	7,028	21,752
8	F ₁₄	16,968	6,140	23,108
9	F ₄	15,741	5,607	21,348
10	F _{1M.}	13,376	5,086	18,462
11	F ₂	14,800	4,981	19,781
12	F ₅	13,977	4,917	18,894
13	F _{4T}	14,631	4,384	19,015
14	F _{3T}	13,751	4,309	18,060
15	F ₇	12,255	3,716	15,971
16	F ₃	11,821	3,764	15,585

VIII/ ENCADREMENT DES VALEURS TOTALES DES RABATTEMENTS DANS LES FORAGES.

- VALEURS LIMITES -

Le calcul du rabattement additionnel dû à l'influence des deux fronts imperméables n'étant pas fait avec précision absolue, il serait plus logique de donner une valeur limite supérieure et une valeur limite inférieure au rabattement total dans chaque forage.

Les rabattements propres et les rabattements dûs à l'influence des forages pompés simultanément ne subissant aucun changement, nous n'allons considérer que les rabattements dûs à l'influence des deux fronts imperméables.

VIII/

1- Valeurs limites inférieures :

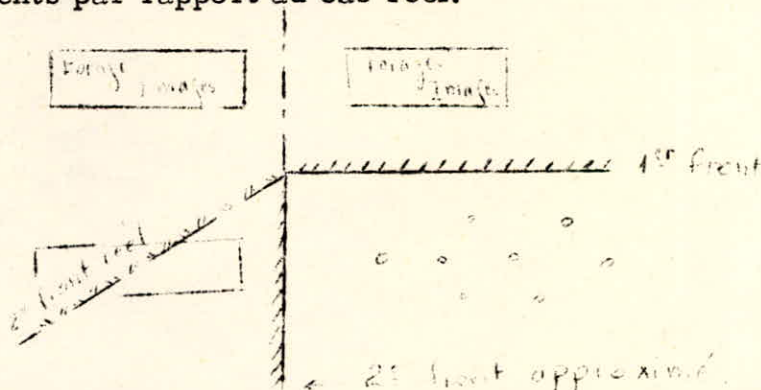
Ces valeurs seront obtenues pour une inclinaison des deux fronts égale à 180° : En effet, pour cette inclinaison, les deux fronts sont dans le prolongement l'un de l'autre, donc les forages ne subissent que l'influence d'une seule barrière im-
méable.

Ainsi, les valeurs limites inférieures seront les valeurs calculées au chapitre VI en ne tenant compte que du 1er front imperméable.

VIII/

2- Valeurs limites supérieures :

Ces valeurs seront obtenues pour une inclinaison des deux fronts égale à 90° suivant la schématisation ci-dessous. En effet, dans ce cas, on a diminué l'extension de la nappe et rapproché le 2ème front des forages, ce qui augmente la valeur des rabattements par rapport au cas réel.



Le rabattement additionnel dû au 2ème front sera dans ce cas la somme des termes d'une même ligne des deux matrices $\Delta (16, 16)$ car chaque forage est influencé par les 16 forages-images du 3ème cadran et les 16 forages-images du 4ème cadran.

De même que les autres cas, le calcul a été exécuté sur ordinateur. Le détail du calcul est donné en annexe (programme sur ordinateur). Nous reportons ici les valeurs totales des rabattements dûs à l'influence du 2ème front dans chaque forage.

.../...

Matrice - Rabattements dûs à l'influence du 2^e front Impermeable

Images du 3^e Cadran - Valeurs limites Supérieures -

N°	DES.	I'1	I'2	I'3	I'4	I'5	I'6	I'7	I'8	I'9	I'10	I'11	I'12	I'13	I'14	I'15	I'16	TOTAL (m)
		F1T	F1Co	F2Co	F2T	F8T	F7T	F5T	F14	F4	F1M	F2	F5	F4T	F3T	F7	F3	
1	F1T	0,289	0,332	0,444	0,220	0,242	0,249	0,144	0,284	0,193	0,117	0,133	0,125	0,167	0,117	0,095	0,077	3,234
2	F1Co	0,265	0,289	0,395	0,193	0,223	0,242	0,135	0,282	0,191	0,120	0,133	0,124	0,175	0,120	0,099	0,079	3,074
3	F2Co	0,253	0,282	0,387	0,191	0,214	0,230	0,129	0,265	0,180	0,112	0,125	0,117	0,162	0,112	0,092	0,073	2,933
4	F2T	0,220	0,243	0,334	0,163	0,186	0,203	0,113	0,236	0,161	0,102	0,113	0,099	0,149	0,097	0,084	0,067	2,577
5	F8T	0,242	0,278	0,375	0,186	0,205	0,210	0,121	0,242	0,165	0,100	0,113	0,106	0,144	0,100	0,081	0,066	2,743
6	F7T	0,249	0,303	0,403	0,203	0,210	0,203	0,121	0,233	0,160	0,093	0,119	0,103	0,133	0,094	0,077	0,062	2,775
7	F5T	0,230	0,271	0,363	0,181	0,195	0,195	0,113	0,223	0,152	0,091	0,104	0,098	0,130	0,092	0,073	0,060	2,579
8	F14	0,218	0,271	0,356	0,181	0,186	0,179	0,107	0,206	0,142	0,083	0,095	0,092	0,118	0,084	0,066	0,055	2,446
9	F4	0,193	0,239	0,316	0,161	0,165	0,160	0,095	0,184	0,125	0,073	0,084	0,080	0,105	0,074	0,059	0,048	2,168
10	F1M	0,195	0,251	0,328	0,170	0,167	0,156	0,095	0,180	0,122	0,070	0,082	0,079	0,099	0,072	0,056	0,047	2,176
11	F2	0,177	0,223	0,293	0,151	0,151	0,159	0,087	0,165	0,112	0,066	0,076	0,073	0,093	0,066	0,052	0,043	1,994
12	F5	0,167	0,206	0,273	0,132	0,142	0,137	0,082	0,159	0,107	0,063	0,073	0,069	0,090	0,063	0,050	0,041	1,863
13	F4T	0,167	0,218	0,283	0,149	0,144	0,133	0,081	0,153	0,105	0,059	0,070	0,067	0,084	0,061	0,047	0,040	1,870
14	F3T	0,157	0,201	0,263	0,129	0,134	0,126	0,076	0,145	0,099	0,057	0,066	0,063	0,081	0,057	0,045	0,037	1,744
15	F7	0,141	0,184	0,239	0,125	0,121	0,115	0,068	0,128	0,087	0,049	0,058	0,056	0,070	0,050	0,039	0,033	1,569
16	F3	0,134	0,171	0,224	0,116	0,115	0,108	0,065	0,124	0,084	0,049	0,056	0,054	0,069	0,048	0,038	0,032	1,498

Matrice - Rabattements dûs à l'influence du 2^e front Imperméable

Images du 4^e Cadran. - Valeurs limites Supérieures -

N°	DES.	I'' ₁	I'' ₂	I'' ₃	I'' ₄	I'' ₅	I'' ₆	I'' ₇	I'' ₈	I'' ₉	I'' ₁₀	I'' ₁₁	I'' ₁₂	I'' ₁₃	I'' ₁₄	I'' ₁₅	I'' ₁₆	TOTAL (m)
		F ₁ T	F ₁ Co	F ₂ Co	F ₂ T	F ₈ T	F ₇ T	F ₅ T	F ₁₄	F ₄	F ₁ M	F ₂	F ₅	F ₄ T	F ₃ T	F ₇	F ₃	
1	F ₁ T	0,509	0,779	0,955	0,500	0,440	0,358	0,237	0,416	0,291	0,151	0,191	0,191	0,216	0,164	0,124	0,109	5,639
2	F ₁ Co	0,623	1,313	1,392	0,736	0,577	0,427	0,297	0,504	0,360	0,178	0,232	0,238	0,265	0,199	0,148	0,134	7,631
3	F ₂ Co	0,546	0,994	1,161	0,649	0,505	0,399	0,264	0,452	0,325	0,162	0,210	0,215	0,233	0,180	0,135	0,121	6,561
4	F ₂ T	0,500	0,920	1,137	0,764	0,505	0,371	0,264	0,446	0,329	0,160	0,214	0,224	0,233	0,184	0,137	0,126	6,523
5	F ₈ T	0,440	0,721	0,884	0,505	0,405	0,320	0,216	0,376	0,269	0,136	0,175	0,179	0,196	0,151	0,113	0,101	5,193
6	F ₇ T	0,358	0,533	0,698	0,371	0,320	0,264	0,172	0,307	0,217	0,113	0,142	0,143	0,162	0,122	0,093	0,082	4,104
7	F ₅ T	0,379	0,595	0,741	0,423	0,345	0,276	0,189	0,330	0,236	0,120	0,154	0,157	0,172	0,133	0,100	0,089	4,449
8	F ₁₄	0,320	0,484	0,609	0,343	0,289	0,236	0,158	0,277	0,196	0,102	0,128	0,130	0,146	0,110	0,083	0,074	3,694
9	F ₄	0,291	0,451	0,568	0,329	0,269	0,217	0,147	0,255	0,184	0,094	0,120	0,123	0,134	0,103	0,078	0,070	3,439
10	F ₁ M	0,252	0,371	0,474	0,267	0,227	0,188	0,125	0,221	0,157	0,082	0,103	0,104	0,117	0,088	0,067	0,059	2,910
11	F ₂	0,255	0,387	0,490	0,285	0,233	0,190	0,129	0,223	0,160	0,082	0,105	0,107	0,118	0,090	0,067	0,060	2,987
12	F ₅	0,255	0,398	0,503	0,299	0,239	0,191	0,131	0,226	0,164	0,083	0,107	0,110	0,119	0,092	0,069	0,062	3,054
13	F ₄ T	0,216	0,332	0,408	0,233	0,196	0,162	0,108	0,190	0,134	0,070	0,088	0,089	0,099	0,075	0,057	0,050	2,514
14	F ₃ T	0,218	0,332	0,421	0,245	0,201	0,163	0,110	0,191	0,137	0,070	0,090	0,092	0,100	0,077	0,058	0,052	2,565
15	F ₇	0,184	0,275	0,352	0,203	0,168	0,138	0,092	0,161	0,115	0,059	0,075	0,076	0,084	0,064	0,048	0,043	2,147
16	F ₃	0,190	0,299	0,370	0,220	0,177	0,142	0,097	0,168	0,121	0,061	0,079	0,081	0,088	0,068	0,050	0,046	2,266

- INFLUENCE du 2^{ème} FRONT IMPERMEABLE - VALEURS LIMITE

SUPERIEURES.

Rabatement total maximum cumulé dans chaque
FORAGE

N°	DES.	$\Delta p. + \Delta_{inf}$ des 16 Forages + Δ_{inf} du 1 ^{er} front imp.	Δ . influence du 2 ^e front imp. avec Valeurs Limites sup.	TOTAL (m.)
1	F _{1T}	15,378 m.	8,873 m.	24,251 m.
2	F _{1Co}	14,747	10,705	25,452
3	F _{2Co}	16,717	9,494	26,211
4	F _{2T}	13,325	9,100	22,425
5	F _{8T}	15,472	7,936	23,408
6	F _{7T}	16,026	6,879	22,905
7	F _{5T}	14,724	7,028	21,752
8	F ₁₄	16,968	6,140	23,108
9	F ₄	15,741	5,607	21,348
10	F _{1M}	13,376	5,086	18,462
11	F ₂	14,800	4,981	19,781
12	F ₅	13,977	4,917	18,894
13	F _{4T}	14,631	4,384	19,015
14	F _{3T}	13,751	4,309	18,060
15	F ₇	12,255	3,716	15,971
16	F ₃	11,821	3,764	15,585

PRISE EN COMPTE DES
PERTES DE CHARGE
DANS L'OUVRAGE MEME

IX. CALCUL DES PERTES DE CHARGES DANS LES FORAGES.

Dans toute l'étude faite précédemment, on s'est limité au calcul des pertes de charge dans le massif de gravier. Ces pertes de charge sont dues à la circulation de l'eau dans la couche aquifère donc réglées par les caractéristiques hydrogéologiques et le facteur de l'écoulement. Mais dans le rabattement total, on doit aussi tenir compte :

- Des pertes de charge au contact et à la traversée de la crépine
- Des pertes de charge dans la crépine et la colonne ascensionnelle. (Casing)

En réalité, le calcul des pertes de charge dans les forages est beaucoup plus complexe. Le phénomène de colmatage dû aux restes de boue durant l'exécution du forage et aux arrivées de sable autour de la crépine (formant une zone très peu perméable) pendant l'exploitation influe aussi.

Ces pertes et charges se traduisent par un rabattement supplémentaire additionnel au rabattement total dans l'ouvrage de captage.

L'expérience a montré que l'expression de ces pertes de charge est de la forme :

$$\Delta H = BQ^n$$

où :

-B : coefficient dépendant des facteurs techniques du captage : diamètre \emptyset du casing et de la crépine, régularité et nature du tubage, perforation des crépines.

-n : exposant voisin de 2 (d'après JACOB)

Ainsi pour un forage pompé dans une nappe infinie, le rabattement total est :

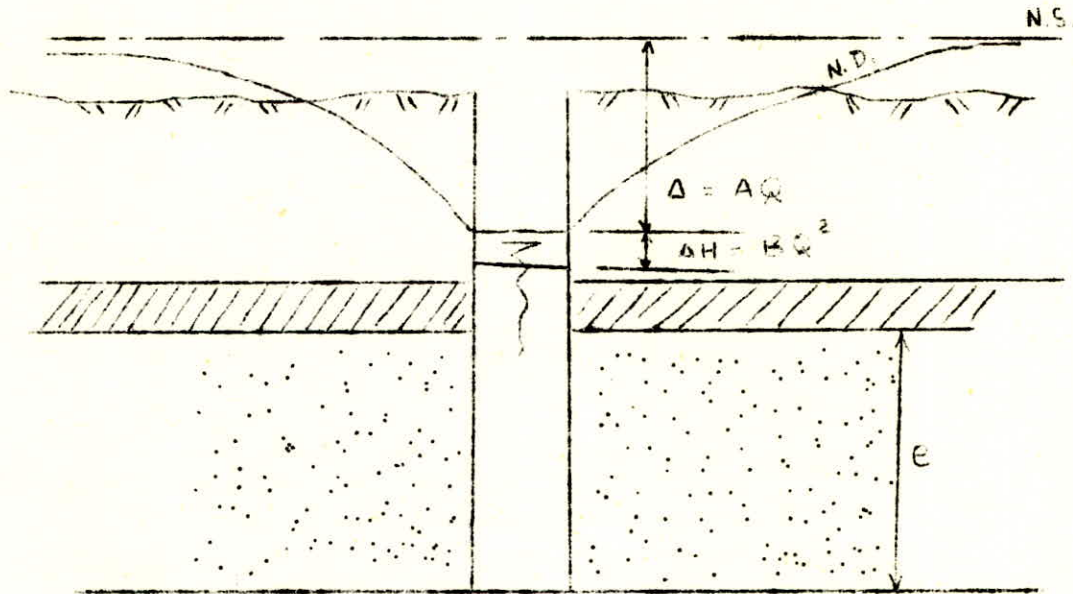
$$\Delta \text{ Total} = 0,183 \frac{\emptyset}{T} \log \frac{2,25 Tt}{R^2 S} + BQ^2$$

Si l'on pose :

$$\frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 Tt}{R^2 S} = A$$

On a :

$$\Delta_{\text{Total}} = A Q + B Q^2$$



IX. 1 Méthode de Calcul et résultats :

Pour la détermination des pertes de charges dans les forages, nous disposons de 3 méthodes :

- La 1^{ère} Méthode est basée sur les essais de pompage . C'est une méthode rigoureuse dans la mesure où les essais de pompage sont exécutés avec précision. C'est la méthode de calcul que nous utiliserons.

- Les 2 autres méthodes sont des méthodes empiriques. Nous les utiliserons pour la vérification de l'ordre de grandeur des résultats.

1ere Méthode : Cette méthode est basée sur les essais de pompage. En effet, le rabattement total dans le forage en exploitation est :

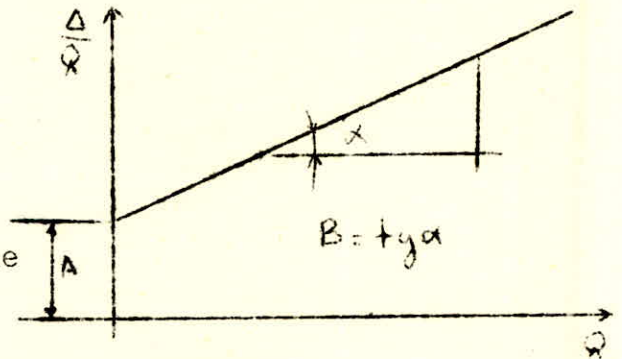
$$\Delta = A Q + B Q^2 \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta}{Q} = B Q + A$$

$\frac{\Delta}{Q}$: rabattement spécifique.

Cette équation ($\frac{\Delta}{Q} = B Q + A$) est de la forme : $y = Bx + A$

où :

A : ordonnée à l'origine
B : pente de la droite



$B = \text{tg } \alpha$ d'où

$$\Delta H = \text{tg } \alpha \cdot Q^2$$

Ainsi en traçant les 16 droites $\frac{\Delta}{Q} = f(Q)$ d'après les résultats fournis par les essais de pompage et en déterminant successivement les différentes pentes on peut calculer les pertes de charges d'après la loi :

$$\Delta H = \text{tg } \alpha \cdot Q^2$$

Les résultats sont reportés sur le tableau ci-contre (1ere colonne)

REMARQUE :

Les résultats fournis par les essais de pompages ne sont pas d'une précision absolue à cause de divers incidents survenus au cours des essais de pompage.

Ainsi les points se trouvent assez dispersés. Nous avons tracé les droites ($\Delta/Q = f(Q)$) approximativement et l'on a déterminé les différentes pentes. Mais dans un souci d'exactitude, on a fait les calculs des différentes pentes avec la méthode des moindres carrés.

L'Erreur affectant les résultats des pertes de charge n'étant pas importante, on a conservé les premières valeurs.

2eme Méthode : Cette méthode repose sur la loi générale des calculs de pertes de charge dans les conduites :

$$\Delta H = \frac{f_1}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

établie

majorée par des coefficients empiriques. Elle a été empiriquement par des chercheurs américains.

$$\Delta H = \left[0,0524 \left(\frac{f_1 L_1 / D_1 + \Sigma K}{A_1^2} + \frac{f_2 L_2 / D_2 + 1,6}{A_2^2} \right) \right] Q^2$$

où :

- ΔH : perte de charge totale dans les forages. (m)
- F_1 : coefficient de résistance du casing (m)
- L_1 : longueur du casing (m)
- D_1 : diamètre du casing (m)
- A_1 : section du casing. (m²)
- F_2 : coefficient de résistance de la crépine (m)
- L_2 : Longueur de la crépine (m)
- D_2 : diamètre de la crépine (m)
- A_2 : section de la crépine (m²)
- K : coefficient de majoration dû :

(Valve, changement de section etc....)

$$K \approx 12$$

$$F_1 \approx 0,05 \text{ (état ancien)}$$

$$F_2 \approx 0,05 \text{ (état ancien)}$$

Fournis

Les résultats par cette méthode sont reportés sur le tableau ci-contre (2em colonne)

REMARQUE : Bien que n'étant pas conforme aux résultats des pertes de charge fournis par la méthode des essais de pompage les résultats fournis par cette méthode permet de situer leur ordre de grandeur.

3eme Méthode :

été

Cette méthode est basée sur l'expérimentation pure et sujette à beaucoup d'approximations. Elle a été établie par RORABAUCH, qui après maintes constatations a donné une valeur au coefficient B, valeur valable pour tout forage.

La valeur de B étant fixée (≈ 500), la perte de charge sera fonction du carré du débit seulement. La courbe $\Delta H = BQ^2$ sera donc une parabole dont le tracé, établi par RORABAUCH, est schématisée sur la figure ci-contre. On pourra donc directement déterminer ΔH en fonction de Q.

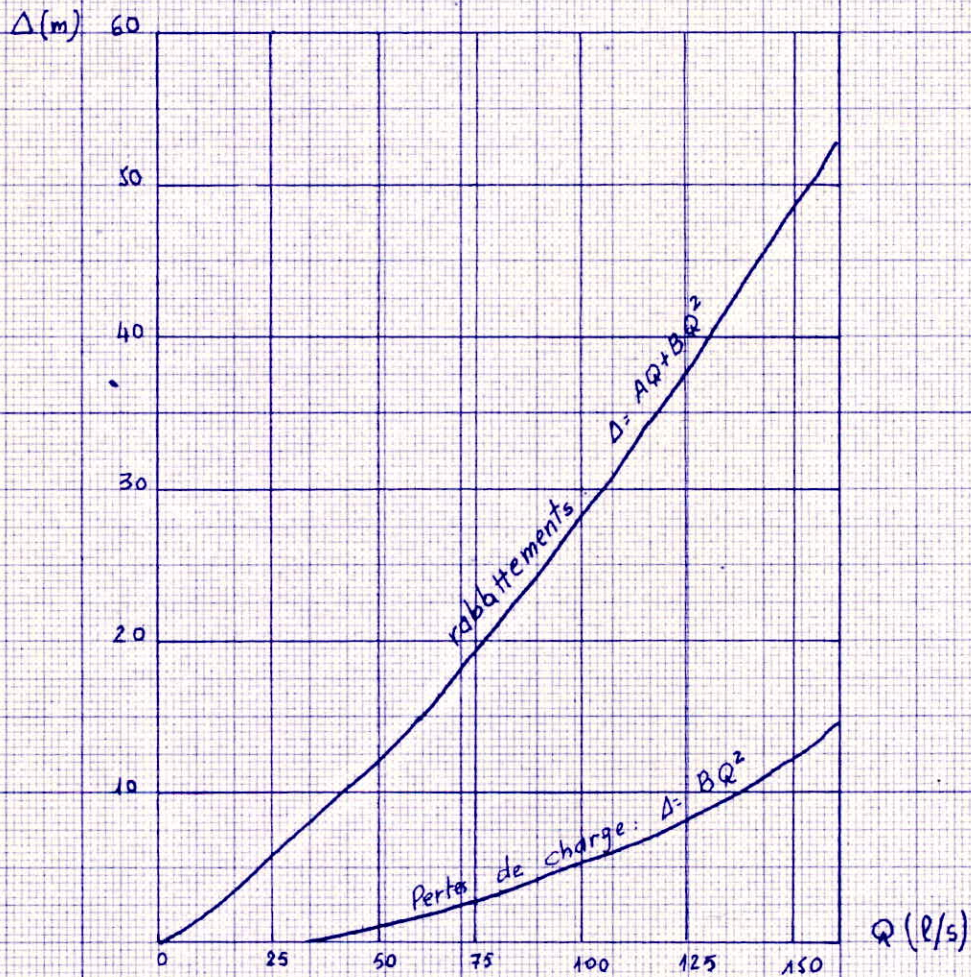
Les valeurs trouvées sont reportées sur le tableau ci-contre (3eme colonne).

REMARQUE : Cette méthode ne permet de donner qu'un ordre de grandeur des résultats des pertes de charge car la valeur du coefficient est très approximative. (B ,

CONCLUSION :

Etant assez proches des valeurs fournies par les méthodes expérimentales, les résultats des pertes et charge calculées à partir des essais de pompage sont corrects.

- Méthode de RORABAUCH -



Variation du rabattement total et des
Pertes de charge ($AH = BQ^2$) en fonction du
débit d'exploitation - RORABAUCH -

- CALCUL DES PERTES DE CHARGE -

- RESULTATS -

N°	DES	CALCUL de ΔH Par ESSAIS de POMPAGE
1	F _{1T}	0,28 m.
2	F _{1Co}	2,58
3	F _{2Co}	0,76
4	F _{2T}	0,38
5	F _{3T}	0,69
6	F _{7T}	1,41
7	F _{5T}	0,32
8	F ₁₄	1,62
9	F ₄	1,16
10	F ₁₁	2,18
11	F ₂	1,26
12	F ₅	1,20
13	F _{4T}	1,01
14	F _{3T}	0,42
15	F ₇	0,33
16	F ₃	0,95

CALCUL de ΔH par Methode empirique	
	0,55 m.
	0,88 m.
	1,62 m.
	0,45
	0,49
	0,28
	0,16
	0,70
	0,57
	2,07
	0,39
	0,27
	0,42
	0,26
	0,17
	0,14

CALCUL de ΔH par Rorabauch.	
	0,75 m.
	1,25 m.
	2,50
	0,75
	0,75
	0,75
	0,00
	1,30
	0,75
	0,00
	0,25
	0,25
	0,75
	0,25
	0,00
	0,00

Verification de l'ordre de grandeur des résultats.

POSSIBILITES D'EXPLOITATION

ET

PROFONDEURS DES POMPES

X/RABATTEMENT TOTAL NET DANS CHAQUE FORAGE .

-POSSIBILITES D'EXPLOITATION-

Le rabattement total net dans chaque forage sera la somme :

- du rabattement propre.
- du rabattement-influence des 15 forages voisins.
- du rabattement-influence des 2 fronts imperméables.
- du rabattement dû aux pertes de charge dans l'ouvrage même.

$$\Delta \text{ Total net} = \Delta \text{ Propre} = \Delta \text{ I. F.} + \Delta \text{ I. B.} + \Delta \text{ pde}$$

Les résultats reportés dans le tableau ci-contre représentent les rabattements totaux nets dans chaque forage encadrés par une valeur limite inférieure et une valeur limite supérieure.

Ainsi, en fonction de la valeur totale nette du rabattement déterminée dans chaque forage, on peut conclure quant à la possibilité d'exploitation de ce forage au débit choisi.

X 1 - Possibilité d'exploitation :

L'exploitation d'un forage à un débit choisi est limitée par la valeur maximum du rabattement tolérable. En effet, la profondeur maximum des pompes dans les forages est limitée au niveau inférieur du tubage. On ne peut pas descendre la pompe dans la zone crépinée. (aspiration de sable).

La profondeur de la pompe étant limitée et le niveau d'eau devant être toujours au-dessus du niveau de celle-ci, la valeur du rabattement maximum tolérable sera la profondeur de la pompe ou le niveau inférieur du tubage.

Remarque : La profondeur de la pompe où le niveau inférieur du tubage étant comptés à partir du niveau du terrain, il faut tenir compte de la cote du niveau statique par rapport au niveau du terrain pour le calcul du rabattement maximum tolérable.

Conclusion :

- Si le rabattement total net est inférieur au rabattement maximum tolérable : possibilité d'exploitation au débit d'exploitation choisi.
- Si le rabattement total net est supérieur au rabattement maximum tolérable : Impossibilité d'exploitation au débit d'exploitation choisi.

Nous reportons sur le tableau ci-contre :

- Les valeurs du rabattement total net dans chaque forage
- Les valeurs du rabattement maximum tolérable dans chaque forage.
- La conclusion sur la possibilité d'exploitation.

Ces valeurs ajoutées aux autres valeurs (rabattements propres, rabattements dus à l'influence des forages pompés simultanément, rabattements -influence dû à l'seul front imperméable),

↓
Nous donneront les valeurs limites supérieures et les valeurs limites inférieures des rabattements dans chaque forage

Ces valeurs sont données dans le tableau ci contre.

RABATTEMENT TOTAL NET DANS CHA-
QUE FORAGE ENCADRE PAR LES VA-
LEURS LIMITES NETTES SUP. et INF.

N°	DES.	Rabattement total net inferieur	Rabattement total net moyen	Rabattement total net maximum.
1	F ₁ T.	15,66 m.	20,61 m.	24,53 m.
2	F ₁ C ₀	17,06	23,00	28,03
3	F ₂ C ₀	17,43	22,67	26,97
4	F ₂ T.	13,71	18,75	22,81
5	F ₈ T.	15,76	20,49	24,10
6	F ₇ T.	17,44	21,19	24,32
7	F ₅ T.	15,04	18,97	22,07
8	F ₁₄	18,59	22,00	24,73
9	F ₄	16,90	20,01	22,51
10	F ₁ M.	15,55	18,43	20,64
11	F ₂	16,06	18,79	21,04
12	F ₅	15,18	17,90	20,09
13	F ₄ T	15,64	18,03	20,03
14	F ₃ T	14,17	16,44	18,42
15	F ₇	12,59	14,59	16,30
16	F ₃	12,77	14,43	16,54

Rabatement Maximum tolerable dans chaque forage: Possibilités d'exploitation.

N°	DES.	Rabatement Total net dans chaque forage v. L. S. (m)	Rabatement Maximum Tolérable			Possibilités d'exploitation
			/ ou niveau du terrain (m)	N.S. (m)	R.M.T (m)	
1	F ₁ T	24,53	35,0	- 1,0	34,0	oui
2	F ₁ C ₀	28,08	30,7	- 1,7	29,0	oui
3	F ₂ C ₀	26,97	32,0	- 1,2	30,8	oui
4	F ₂ T	22,81	35,0	- 0,6	34,4	oui
5	F ₈ T	24,10	35,0	- 0,4	34,6	oui
6	F ₇ T	24,32	35,0	+ 1,1	36,1	oui
7	F ₅ T	22,07	35,0	+ 0,8	35,8	oui
8	F ₁₄	24,73	27,7	+ 3,3	31,0	oui
9	F ₄	22,51	35,0	+ 1,8	36,8	oui
10	F ₁ M	20,64	26,8	+ 0,6	27,4	oui
11	F ₂	21,04	35,0	+ 1,9	36,9	oui
12	F ₅	20,09	49,0	+ 2,1	51,1	oui
13	F ₄ T	20,03	35,0	+ 1,2	36,2	oui
14	F ₃ T	18,42	36,5	+ 2,8	39,3	oui
15	F ₇	16,30	35,0	+ 1,4	36,4	oui
16	F ₃	16,54	33,0	+ 3,3	36,3	oui
		v. L. S. : Valeurs limites des rabattements calculés dans chaque forage. (m): en metres	Profondeurs maximums des pompes/ au niveau du terrain. (m)	côte du niveau statique/ au niveau du terrain (m)	(m)	

XI. PROFONDEURS DES POMPES :

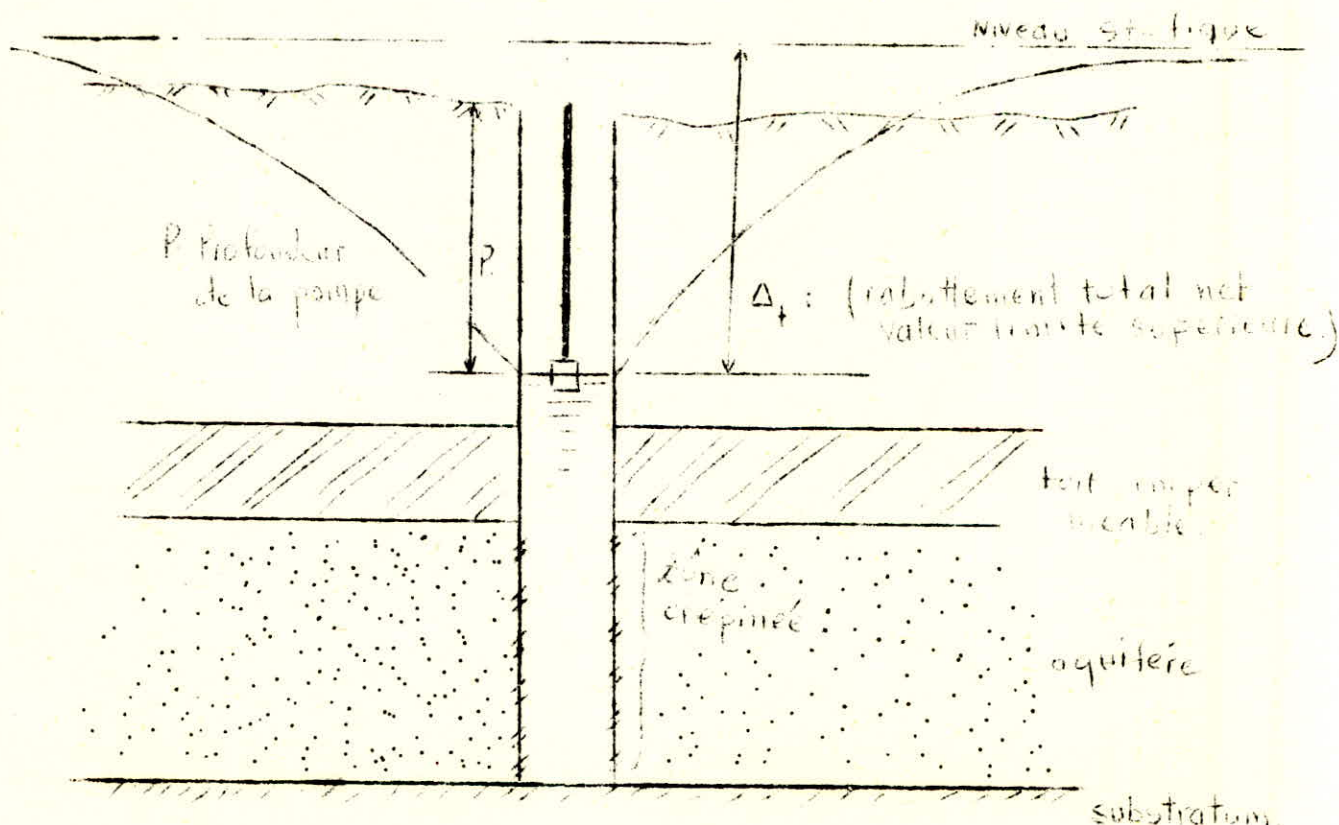
Le critère fondamental sur lequel nous nous baserons pour déterminer la profondeur de la pompe dans chaque forage est la valeur limite supérieure du rabattement total dans chaque forage. Ainsi, la profondeur de la pompe sera le rabattement limite supérieur, déjà calculé, mais compté à partir du niveau du sol. On devra donc tenir compte du niveau statique par rapport au niveau du terrain.

REMARQUE :

Nous n'avons pas pris comme critère fondamentale le rabattement total moyen car cette valeur bien que meilleure (condition économique et technique), pourrait faire défaut à cause de l'approximation de la deuxième barrière imperméable.

Nous avons préféré nous placer dans des conditions sécuritaires d'exploitation.

* net



- Profondeur des Pompes dans les Forages -

N°	DES.	Rabattement Total net dans chaque forage V. L. S.	Niveau statique par rapport au niveau du terrain.	Profondeur des pompes. (m)
1	F ₁ T	24,53 m.	- 1,0	25,5 m.
2	F ₁ Co	28,08	- 1,7	29,9
3	F ₂ Co	26,97	- 1,2	28,2
4	F ₂ T	22,81	- 0,6	23,4
5	F ₈ T	24,10	- 0,4	24,5
6	F ₇ T	24,32	+ 1,1	25,4
7	F ₅ T	22,07	+ 0,8	21,3
8	F ₁₄	24,73	+ 3,3	21,4
9	F ₄	22,51	+ 1,8	20,7
10	F ₁ M	20,64	+ 0,6	20,0
11	F ₂	21,04	+ 1,9	19,1
12	F ₅	20,09	+ 2,1	18,0
13	F ₄ T	20,03	+ 1,2	18,8
14	F ₃ T	18,42	+ 2,8	15,6
15	F ₇	16,30	+ 1,4	14,9
16	F ₃	16,54	+ 3,3	13,2

CONCLUSION.

La structure complexe de l'aquifère et des limites, les erreurs survenues au cours des essais de pompage, rendent impossible l'étude exacte de la nappe

Cependant, nous avons tenté de donner le maximum d'exactitude possible à nos résultats tout en restant dans les limites sécuritaires d'exploitation

Pour les valeurs de T et S qui sont les facteurs déterminants de la nappe, nous avons adopté un couple de valeurs sécuritaires et le temps de pompage au delà duquel s'établit le régime permanent, approximé à 10 Jours est une valeur optimiste.

Les calculs de rabattements, exécutés sur ordinateur sont d'une précision absolue.

Si l'influence de la Deuxième barrière imperméable est sans fondement scientifique rigoureux, nous avons toutefois donné une valeur limite supérieure et une valeur limite inférieure au rabattement additionnel dû à celle-ci.

Ces deux valeurs, nous ont permis d'encadrer la valeur moyenne du rabattement total net dans chaque forage par une valeur limite inférieure et une valeur limite supérieure.

Cette valeur limite supérieure est d'une importance capitale car elle nous permet d'affirmer que le rabattement total net n'excèdera jamais cette valeur, et les conclusions sur la possibilité d'exploitation et sur la profondeur des pompes sont très significatives.....

Bien que la présente étude ait une grande signification pratique, certains points théoriques (fronts imperméables à inclinaison quelconque....) n'ont pu être approfondis ; le dossier reste donc ouvert et nous laisserons aux intéressés pour de nouvelles tentatives.

En soia

Ce projet a présenté pour moi un grand intérêt. En le réalisant, j'ai vu les problèmes pratiques auxquels est confronté l'ingénieur pendant sa carrière, ma carrière.....

Je ne saurais donc terminer sans renouveler mes remerciements à tous les professeurs qui ont contribué à ma formation et à toutes les personnes qui m'ont aidé.

 l g e r, le 14 Juin 1974.

A. DOUMANI.

BIBLIOGRAPHIE

G.CASTANY

- Traite Pratique des Eaux Souterraines .
- Prospection et Exploitation des Eaux Souterraines .

A.COUCHET (D.E.M.R.H.)

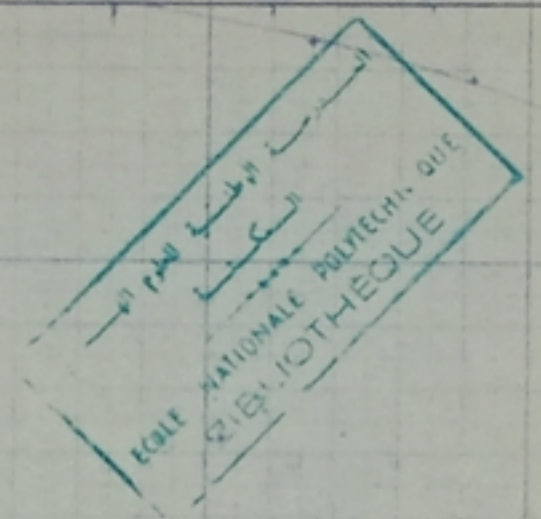
- Etude Hydrogéologique de la Nappe du Mazafran .

FORAGES DU MAZAFRAN - ESSAIS DE POMPAGE

N° de Forage	Lignes coordonnées (m)	Date et durée des essais	Débits (m³/h)	Durée des paliers (heures)	Δ h ₀ observé sur le forage (m)	Transmissivité calculée sur le forage (10 ⁻² m²/s)	Résultats sur les piézomètres										Observations		
							T		T		S		T		T			S	
							Descente (10 ⁻² m²/s)		Remontée (10 ⁻² m²/s)		S (x10 ⁻⁵)		T (10 ⁻² m²/s)		T (10 ⁻² m²/s)		S (x10 ⁻⁵)		
F1 Co Fev. - Avril 68 Co. For 181 05	37 70 496 70, 9 64 70 4 84 70, 20 90 70 4 110 70, 20 12° 3/8	13 au 16. 4. 68 74 heures	123 205 309 390	8 8 8 50	8 5.65 11.35 16.35	T descente = 2 T remontée = 3.14	Pas de piézomètres observés										Δ donnée par rapport au sommet du tube.		
F2 Co Juin - Août 68 CO For 188 00	38 4 53 - 15 71 4 81 - 10 87 4 107 - 20 12° 3/8 45	27 au 31. 7. 68 64 heures	171 239 301 390	12 12 12 48	1.91 2.75 3.83 3.40	T descente = 4 T remontée = 4	F10 440 0.40 0.66 1.00 1.31 F2 340 1.33 1.44 1.68 1.98 F3 1700 F4 700 0.39 1.19 1.43 1.85 F5 1050 0.39 0.50 0.62 0.81	3.2 5.0 6.4 6.4	4.0 Incl 4.4 Incl	40 1 2 -	11.0(?)						Idem.		
F14 bis Sept 68 EINA 115 00	43 4 70 - 27 103 4 105 - 3 12° 3/8 30	30. 11 au 9. 12. 68 97 heures	400 198 228 327 400	36 11h30 17 30 13 24	7.12 0.45 2.16 4.54 7.05	Ten régime permanent = 3 Pas de remontée	Pas de piézomètres observés										+1.50 Δ donnée/sol		
F1 Juin - juillet 67 SEGGTH 55 00	32.5 4 24 3 - 24 12°	6 au 7. 9. 67 11h30	26 36 85 30	4h45 1 55 1 50 3	5.47 9.13 21.76 8.21	T descente = 0.34	PH observé mais pas de données interprétables										+1.40		
F2 SEGGTH 118 00	39 4 31 - 52 97 4 113 - 16 12°	27. 11 au 2. 12. 67 117h30	147 245 350 400	24 48 23 22h30	6.58 13.82 21.72 27.60	T descente = 0.823 T remontée = 0.2207	P20 360 0.23 0.75 1.20 1.46 F4 540 0.26 0.70 1.12 1.35 F5 540 0.13 0.61 1.05 1.29	4.95 6.1 4.8	2 1.71 1.71	60 27 40							F6 & F7 en pistonage pendant cet essai.		
F5 Octobre 67 SEGGTH 100	53 4 60 - 7 66 4 100 - 33 12°	9. 1 au 12. 1. 68 76h30	292 298 425	24 24 28h30	6.93 12.76 25.65	T descente = 1.06 T remontée = 1.16	P20 190 1.08 ? 2.125 F2 540 0.77 1.24 2.21 P18 550 0.83 1.41 2.22 F4 580 0.75 1.16 1.81 F6 650 0.57 1.08 1.87 F7 1440 0.13 0.245 0.45	2.14 2.50 2.15 2.84 2.30 8.50	2.40 1.7 1.6 1.7 1.4 2.7	17 11 8 8.5 40 45							+2.60		
F7 Novembre 67 SEGGTH 81	40 4 50 - 10 64 4 80 - 26 12°	15. 2 au 19. 2. 68 96 h	430 324 212	48 24 24	16.70 11.45 6.54	T descente = 1.34 T remontée = 4.72	P12 150 1.59 1.04 0.49 P18 1070 0.57 0.64 0.97 F6 1130 0.56 0.62 0.89 F2 1270 0.37 0.53 0.92	4.14 8.54 9	5.65 Interprétable 7.5	130 15 17							Pistonage de F4 pendant l'essai pompage effectué pour palier décroissants		
F6 Novembre 67 SEGGTH 138	71 4 130 - 67 12°	6. 3 au 8. 3. 68 48h20	94 136 180 224	12 12 12 12h20	9.92 15.80 23.00 31.20	T descente = 0.41084 T remontée = 0.172028	P18 150 0.725 1.07 1.41 1.735 F5 650 0.42 0.625 0.83 1.015 P20 730 valeurs douteuses F2 960 0.215 0.345 0.475 0.61 F7 1130 0.09 0.16 0.19 0.225	1.40 1.94 Ininterprétables	1.34 1.34	17 6							Pistonage F3 et F4 pendant cet essai. - Fortes pluies		
F3 Septembre 67 SEGGTH 87	37 4 43 - 6 53 4 63 - 16 73 4 86 - 13 12°	8. 4 au 11. 4. 68 42h	147 255 350	18 12 12	6.98 15.50 26.92	T descente = 1.8 T remontée = 0.75	F31 610 0.665 1.19 1.70 F7 640 0.275 0.485 0.67 F5 1060 0.46 0.815 1.16 P20 1130 0.44 0.775 1.185 F2 1140 0.30 0.53 0.597	2.2 4.15 2.88 3.12 3.58	1.57 2.67 2.0 1.65	7.2 36.8 5.55 4.6 14.9							+3.80		
F4T Mars 68 THYSSEN 120	40 4 59 - 19 103 4 110 - 7 12° 5/8	16. 4 au 18. 4. 68 42h	151 260 351	16 12 12	3.30 6.85 10.20	T descente = 4.7 T remontée = 3.6215	F3T 550 0.26 0.32 0.52 F7 720 0.35 0.56 0.82 F2 770 valeurs douteuses F5 1080 0.33 0.33 0.51 P20 1080 0.22 0.35 0.535 P18 1100 0.19 0.33 0.52 F11m 1520 0.28 0.38 0.53	5.12 3.9 4.65 4.52 4.96 4.88	2.98 2.64 3.3 3.4 2.98 3.66	150 14.3 37.4 36.0 36.5 6.7							Panne de la pompe au cours de l'essai.		
F1Ma 1952 - 53 SEGGTH 45.95	32.60 4 41.75 - 9.15 12°	22. 4 au 24. 4. 68 42h	151 260 390	18 12 12	3.64 12.09 20.64	T descente = 1.87 T remontée = 1.68	F2 610 0.32 0.565 0.69 F4T 650 0.53 0.91 1.45 F3T 960 0.23 0.43 0.55 P20 970 0.30 0.525 0.645 F5 1140 0.28 0.44 0.605 F7 1360 0.24 0.445 0.555 F16 1350 0.28 0.43 0.65	2.75 3.32 3.21 4.05 3.07 3.21 3.32	2.16 2.2 2.6 2.32 2.20 3.27 2.60	64 6 49 10.4 21 14 22							+1.60		
F4 Octobre 67 SEGGTH 119	38 4 60 - 12 54 4 86 - 32 109 4 118 - 16 12°	2. 6 au 4. 5. 68 44h15	187 353 469	18 12 14h15	3.73 10.80 14.30	T descente = 2.07 T remontée = 1.08	P20 440 0.60 1.75 ? F2 540 0.475 1.70 F5 580 0.52 1.81 2.20 P18 1110 0.354 1.53 1.84 F4T 1320 0.19 0.65 0.923 F7 1800 0.095 0.46 0.70	3.4 3.7 3.3 5.0 5.9 10.3	1.1 1.1 1.1 1.36 2.35 4.4	15 330 17 8.4 28 44							Essai après rééquipement du forage.		
F2T Mars 68 THYSSEN 110	35 4 50 - 18 74 4 81 - 7 99 4 110 - 11 12° 5/8	6. 5 au 8. 5. 68 42h	240 380 550	18 12 12	6.42 12.20 17.95	T descente = 2.5 T remontée = 1.48	F7 4300 0.13 0.98 0.72 F4 2510 0.24 0.25 0.15 P20 870 0.20 0.22 0.19 F5 2910 0.09 0.12 0.82 F2 3050 0.06 0.08 0.31 P18 3430 0.10 0.10 0.85 F4T 3800 0.11 0.09 0.31	mesures Ininterprétables										fonctionnement irrégulier de la pompe	
F1T Février 68 THYSSEN 115.5	40 4 45 - 5 60 4 92 - 32 95 4 106 - 11 12° 5/8	13. 5 au 17. 5. 68 35h45	175 274 325	18 12 5h45	5.10 7.86 10.25	T descente = 3.86 ?	P4 100 0.53 0.97 1.23 F1Co 1060 0.20 0.978 0.60 F2T 1480 0.78 0.42 0.51 P3 2390 0.145 0.33 0.39	2.3 5.35 8.6	- - -	310 33 16.4							Panne de la pompe Pas de remontée mesurée		
F5T Avril - Mai 68 THYSSEN 91	40 4 47 - 7 54 4 67 - 13 81 4 86 - 3 12° 5/8	27. 5 au 29. 5. 68 42h	297 396 424	18 12 12	7.58 13.27 17.62	T descente = 1.5 T remontée = 1.1	F1T 1020 0.13 0.37 ? P4 1980 0.12 0.23 ? F2T 1650 0.32 0.33 ? F1Co 1670 0.13 0.25 ?	Mesures ininterprétables										Forte remontée de la nappe	
F6T Mai 68 THYSSEN 121	40 4 44 - 4 75 4 76 - 2 88 4 91 - 3 100 4 102 - 2 112 4 116 - 4 12° 5/8 15	15. 6. 68 2h	130	2	31		BILAN COTE NATIONALE BOUCHONS ETC										Mauvais forage.		
F7T Mai - Juin 68 THYSSEN 93	49 4 54 - 7 60 4 66 - 6 69 4 88 - 13 12° 5/8	21 au 23 - 6 - 68 42h	200 300 340	18 12 12	4.46 7.14 10.00	T descente = 2 T remontée = 1.2	F3T 540 ? F1T 990 0.34 ? P5 1800 0.27 F1Co 1920 0.09 F4T 2010 ?	3.1 5.15 3.2 (Mesures impossibles) 4.0 ?	? 3.40 101 19 ?							-0.22			
F3T Février 68 THYSSEN 117	61 4 45 - 5 70 4 93 - 23 107 4 112 - 3 12° 5/8	25. 6 au 27. 6. 68 42h	160 205 300	18 12 42	6.66 9.04 14.87	T descente = 0.6 T remontée = 0.4	F4T 580 0.28 0.37 0.53 P18 650 0.68 1.20 1.45 F2 670 0.67 1.04 1.38 F4 1070 0.41 0.63 0.81	4.78 2.30 1.70 2.76	3.5 1.4 1.5 2.1	135 17 21 13							+2.40		
F8 Mars - Juin 68 SEGGTH 259	180 4 258 - 78 6° 3/8	2 au 5. 7. 68 136h	180 260 315	16 12 106	14.20 22.32? 23.30	T descente = 1.06 T remontée = 0.78	F7 280 +0.34 +0.15 0.21 F4T 530 +0.18 +0.33 0.50 F3T 550 +0.34 +0.43 0.81 P17 880 0.79 1.05 1.30 P18 930 +0.35 +0.31 0.375 F2 1020 +0.10 +0.30 0.465 F4 1600 +0.18 +0.34 0.25	1.34	1.1	3.5							Seul le P17 est utilisé dans l'essai, comme le forage. Les autres piézos sont dans la nappe superficielle.		
F8T Juin - Avril 68 THYSSEN 98	42 4 85 - 43 12° 5/8	16. 8 au 18. 8. 68 43h20	260 393 452	18 13h20 12	9.84 13.93 18.48	T descente = 1.5 T remontée = 1.6	F6T 320 2.68 4.44 5.94 F8T 330 0.30 0.51 F1T 370 0.83 1.43 1.78 P5 1050 0.41 0.68 0.8 F1Co 1100 0.31 0.79 0.88	1.2 2.6 1.8 0.8 2.0	1.5 6.0 3.0 -	4 ? 34 20 28							-1.15		

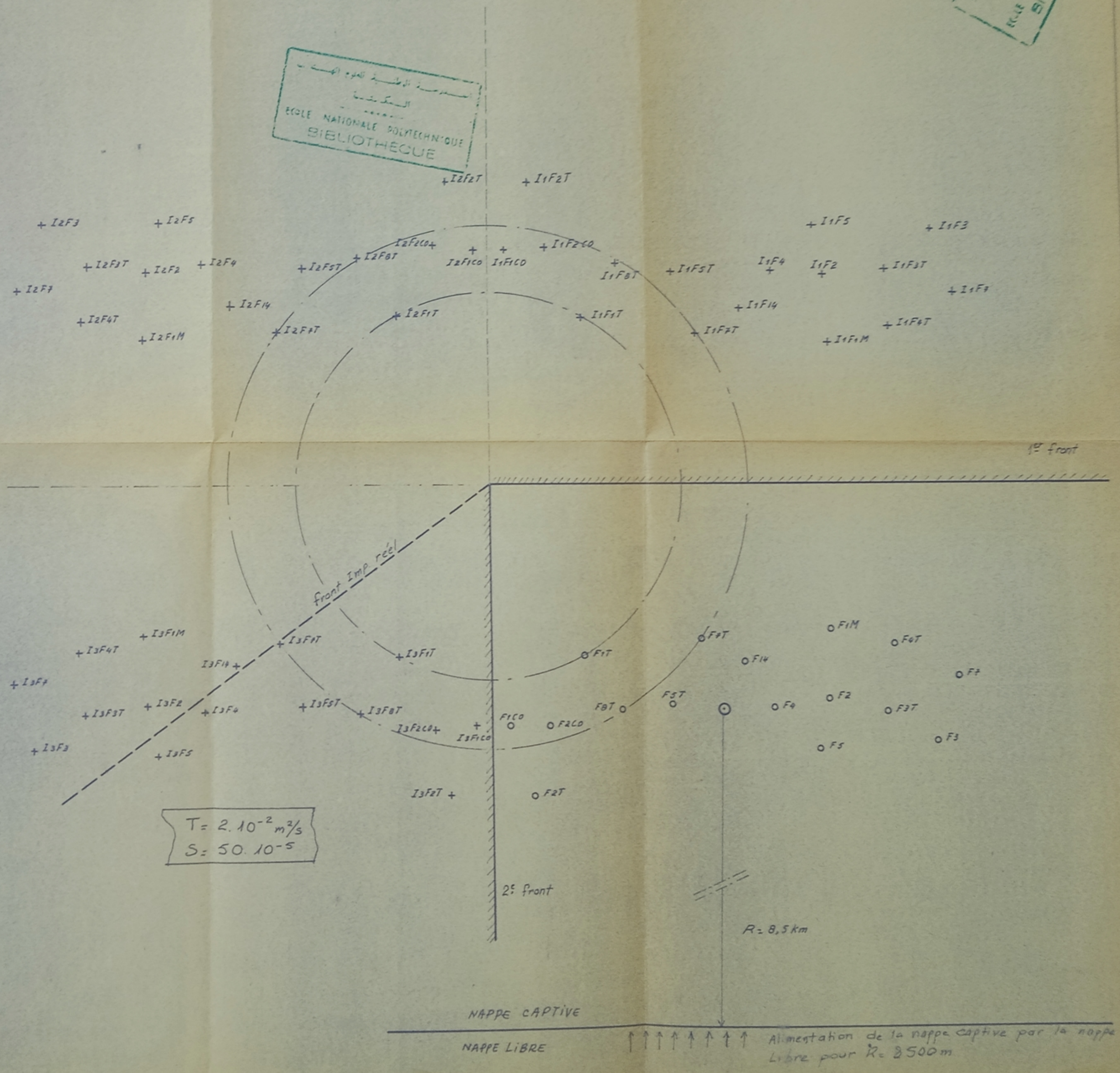
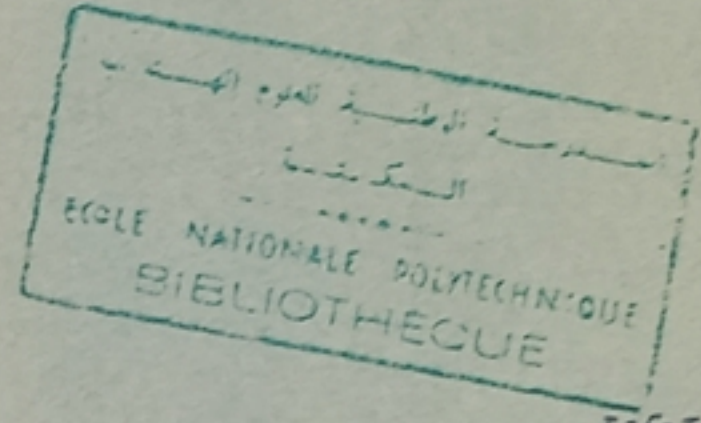
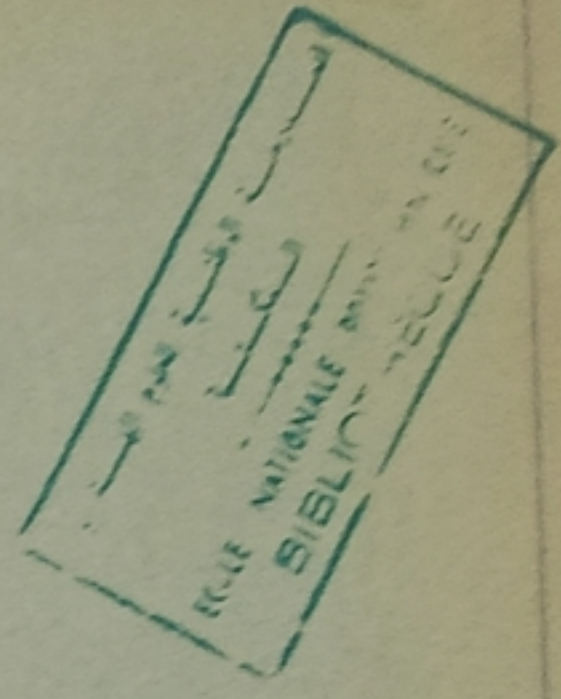
DOUMANI HYDR 1374
FORAGES DU MAZAFRAN

PH 4/74
 Courbes caractéristiques.



Influence de 2 barrières imperméables sur les rabattements
- Valeurs limites supérieures

ech 1/25.000

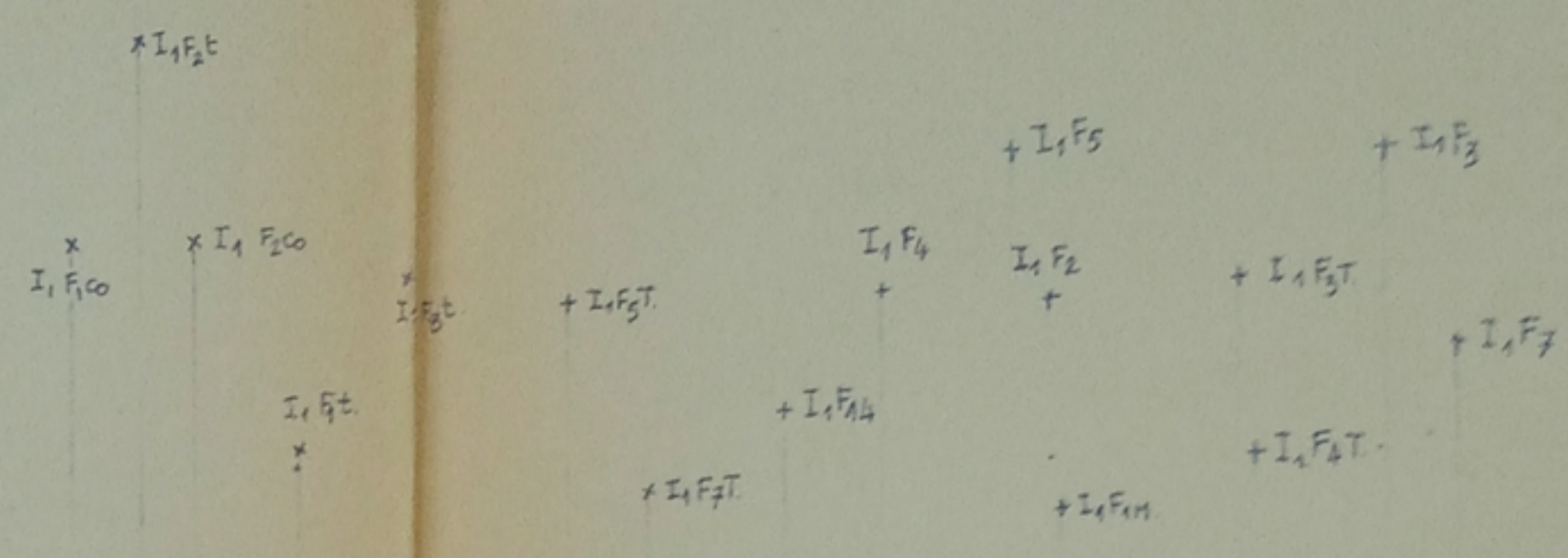
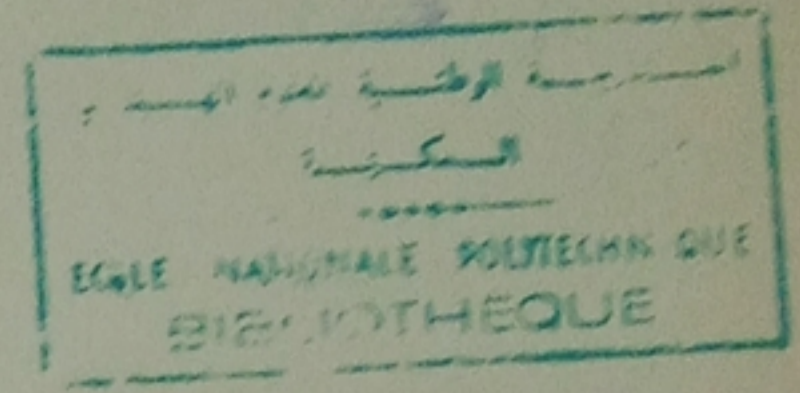


NAPPE CAPTIVE
NAPPE LIBRE

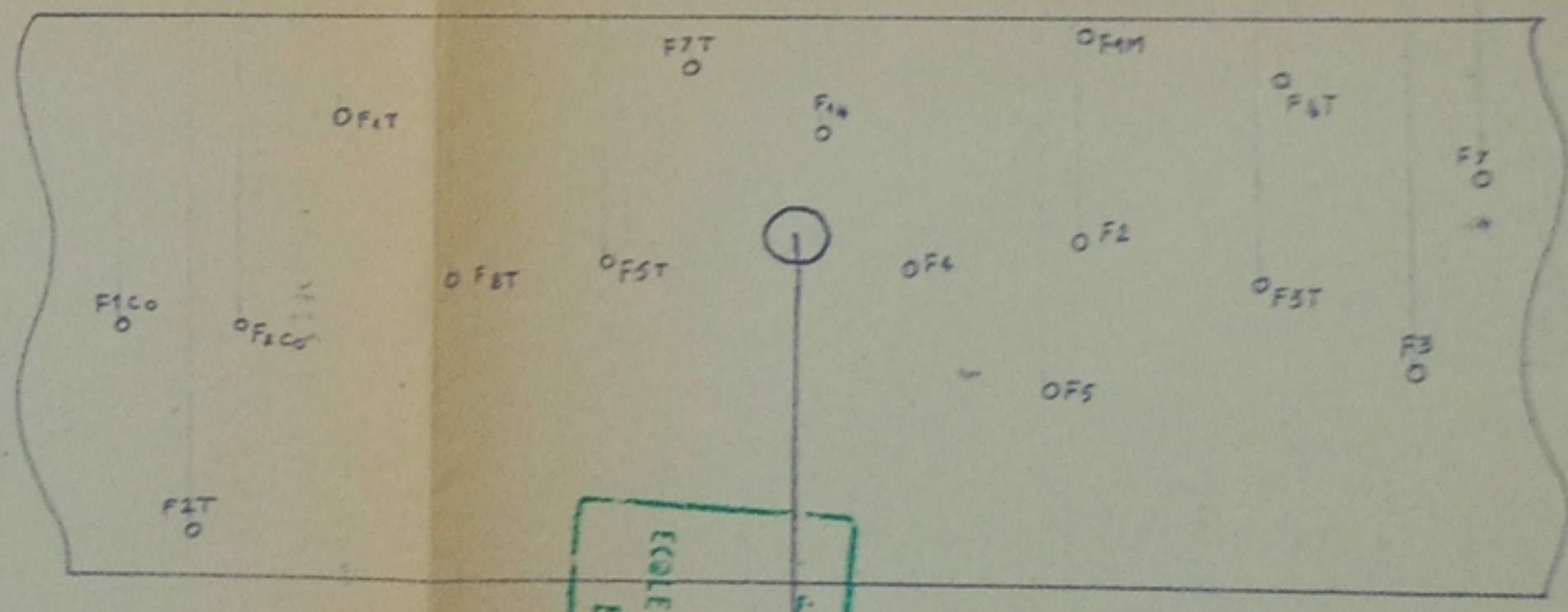
Alimentation de la nappe captive par la nappe libre pour $R = 8500 \text{ m}$

Influence d'un front imperméable Sur les rabattements dans les 16 Forages. Méthode des Images.

ech. 1/25000



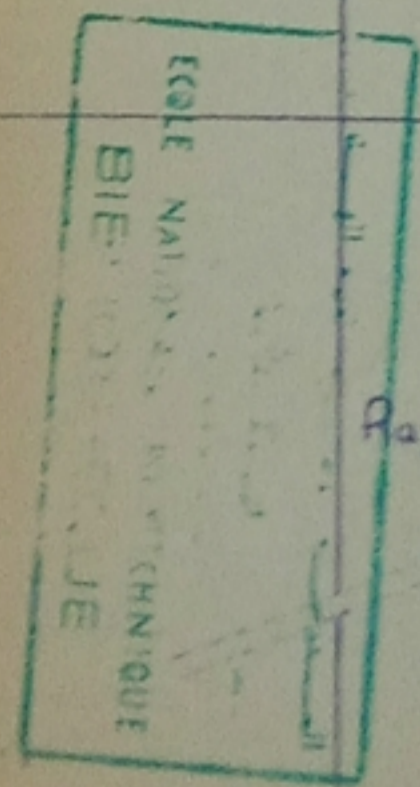
- barriere imperméable -



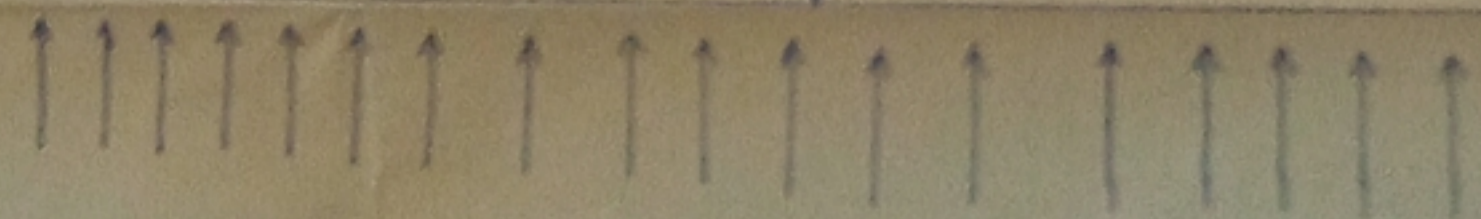
Nappe Captive

$T = 0,02 \text{ m}^2/\text{s}$

$S = 50 \cdot 10^{-5}$



Rayon d'action = 8,5 km.

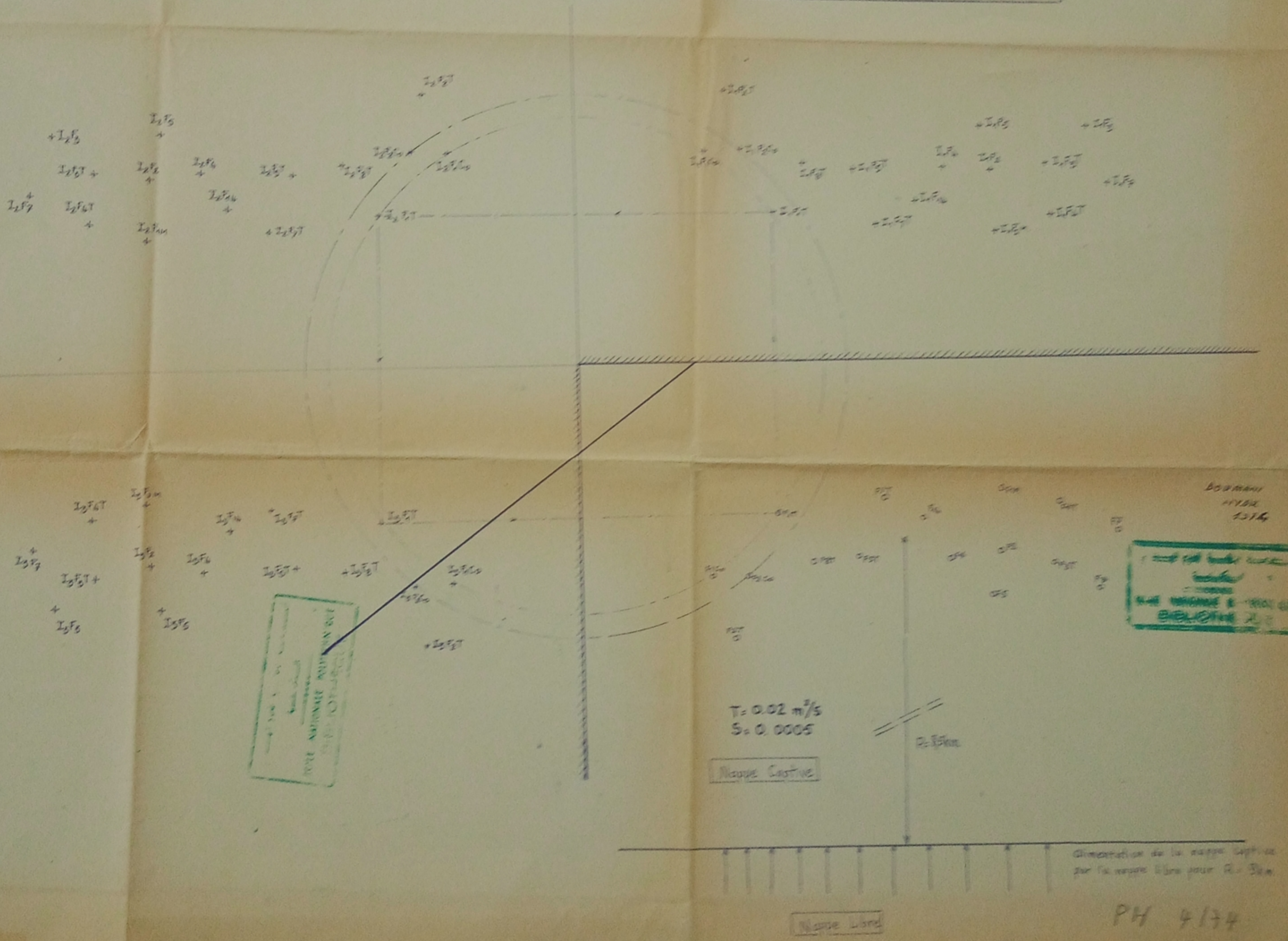


Alimentation de la nappe captive par la nappe libre pour R. 9 km.

Nappe Libre

Influence de 2 fronts imperméables sur les rabattements dans les forages. Méthode des Images.

ech. 1/25 000



BUREAU NATIONAL DE RECHERCHES
 GÉOLOGIQUES ET MINÉRIE
 BRUXELLES

BOURMANS
 1910
 1214

Alimentation de la nappe captive par la source libre pour R = 5 km

Nappe Libre

PH 4174

