



MICROFICHE 18

50282

République Tunisienne

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F

1

NATIONS UNIES

PROJET TUN.69-228

UNIVERS DE NAFSA

ex. M. M. M.

ETUDE SUR MODELE MATHEMATIQUE PLAN HORIZONTAL
DU BILAN GLOBAL DE L'AQUIFERE

SYNTHÈSE AU 30.11.1972

S. M. M. M.

1 RATONS UNIS

PROJET TUN.69-528

11 DUNES DE NEFZA

1
1
1 ETUDE SUR MODELE MATHEMATIQUE PLAN HORIZONTAL
1 DU BILAN GLOBAL DE L'AQUIFERE

1 SYNTHESE AU 30.11.1972

1 G. DE M. BILLY

DUMES DE NEPZA

ETUDE SUR MODELE MATHEMATIQUE PLAN HORIZONTAL DU
BILAN GLOBAL DE L'AQUIFERE

REVUE AU 30 NOVEMBRE 1974

S. DE MARSLY

DUMES DE NEPZA

ETUDE SUR MODELE MATHEMATIQUE PLAN HORIZONTAL DU
BIAN SIGNAL DE L'AQUIFERE

REVUE AU 30 NOVEMBRE 1974

S. DE MARSLY

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
I. INTRODUCTION	4
II. MISE SUR MODELE DE L'AQUIFERE DE NEFZA	6
A/ Aquifères représentées	6
B/ Maillage	7
C/ Limites du modèle	7
1/ Sur la première couche	7
2/ Pour la deuxième couche	9
D/ Représentation de l'Oued Berkoukch	10
E/ Répartition de l'infiltration sur la dune	11
F/ Carte de transmissivité initiale	13
1/ Transmissivité horizontale	13
2/ Transmissivité de passage verticale	13
G/ Carte des coefficients d'emmagasinement.	14
III. CALAGE EN REGIME PERMANENT	15
A/ Données disponibles pour le calage	15
B/ Tests et modifications apportées par le calage	16
1/ Perméabilité et taux d'infiltration	16
2/ Essai de comparaison de ce taux d'infiltration avec un calcul d'évapotranspiration	17
3/ Suppression de la portion d'aquifère située autour du forage 7362 (E22)	19
4/ Ajustements locaux des transmissivités	20
C/ Résultats du calage en régime permanent.	21
IV. CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE	24
A/ Tarissement de la nappe en 7 mois, $S = 10 \%$	24
B/ Tarissement de la nappe mois par mois pendant 4 mois, $S=20 \%$	25
C/ Evolution de la nappe de Septembre 69 à Septembre 72.	26
D/ Conclusion sur les calages.	29
V. UTILISATION DU MODELE POUR LES PREVISIONS DE CAPTAGE	30
A/ Fonctionnement du collecteur pilote pendant 6 mois	30
B/ Projets de captage par collecteur de l'ensemble de la ressource en régime stabilisé.	37
	.../...

TABLE DES MATIERES
(Suite)

	<u>Pages</u>
1/ Collecteur complet côtier à 65 %	33
2/ Collecteur mixte complet à 65 %	34
3/ Collecteur mixte complet drainant davantage les Nékmas.	35
a) Pompage à 65 %	35
b) Pompage à 70 %	36
c) pompage à 75 %.	36
4/ Conclusion sur le captage en permanent.	37
C/ Simulation d' un collecteur complet mixte sur 20 ans à 90 %.	37
VI. CONCLUSION.	41

LISTE DES PLANCHES

- Planche 1 - Carte d'extension des lentilles argileuses
2 - Maillage de la 1ère couche
2 bis - Maillage de la 2e couche
3 - Carte d'épaisseur de la nappe
4 - Carte du toit du substratum
5 - Carte piézométrique calculée par le modèle - Ajustement
6 - Carte des transmissivités
7 - Carte des débits d'infiltration
8 - Carte piézométrique ; collecteur complet aval en régime permanent à 65 %
9 - Carte piézométrique ; collecteur complet aîse en régime permanent à 65 %
10 - Carte piézométrique ; collecteur aîse trainant davantage les Nègres, 65 %
11 - idem, 70 %
12 - idem, 75 %
13 - Carte piézométrique ; collecteur aîse à 90 %, au bout de 20 ans
14 - idem, carte des rabattements par rapport à l'état initial.

I. INTRODUCTION

L'étude qui suit a pour but principal d'estimer l'ensemble des ressources en eau disponibles dans l'aquifère dunaire de Nefza. Elle entame par la suite l'étude des premiers projets de captage de cette ressource. Dans le cadre des modèles mathématiques construits pour étudier l'aquifère de Nefza, cette étude vient après le modèle plan vertical qui a servi à étudier le comportement de l'aquifère le long d'un profil perpendiculaire à la côte passant par le forage A 3 ter.

En effet, ce premier modèle plan vertical était destiné à implanter le collecteur pilote en étudiant le mouvement du biseau salé sous l'influence des pompages. Le résultat obtenu était valable pour le profil central étudié, et ne pouvait en aucun cas être extrapolé aux 10 km de front des dunes.

Le modèle actuel plan horizontal permet au contraire d'évaluer la ressource globale, ainsi que sa répartition dans l'espace. L'implantation du collecteur définitif se fera ultérieurement en testant une hypothèse de captage sur le modèle général plan horizontal, et en vérifiant avec le modèle plan vertical sur plusieurs profils perpendiculaires à la côte, que le comportement de l'interface eau douce-eau salée est compatible avec le projet de captage.

Le modèle plan horizontal a été réalisé en utilisant le programme SIMONE (écrit par A. LEDOUX) mis à la disposition du projet par le Laboratoire d'Hydrogéologie Mathématique de l'Ecole des Mines de Paris.

.../...

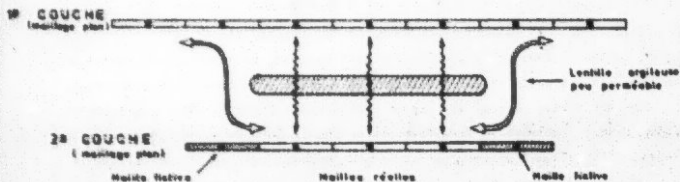
Il s'appuie sur l'ensemble des données recueillies par le projet sur l'aquifère de Nefza, dont il réalise la synthèse dans la phase que l'on appelle "calage".


Nous regarderons successivement les hypothèses nécessaires à la mise sur modèle, le calage en flux permanent et transitoire et les résultats obtenus en terme de ressources.


Pour finir, on abordera l'exploitation du modèle pour étudier des projets de captage.

L'ensemble du travail présenté ici a été guidé dans sa réalisation par MM. MOULLARD et ZEBIDI, et aidé par la participation de MM. BENSALAH et CONTIE. Je tiens à leur exprimer ici ma reconnaissance.

SCHEMA DES COMMUNICATIONS ENTRE 1^{RE} ET 2^{ME} COUCHE



 Liaison hydraulique directe
 (Résistance de passage négligeable à travers la maille lative)

 Liaison hydraulique à travers l'argile
 (Résistance de passage élevée)

II. MISE SUR MODELE DE L'AQUIFERE DE NEZA

Nous renvoyons tout d'abord le lecteur aux pages 6 et 7 du précédent rapport (Résultats acquis par les modèles mathématiques Octobre 72) et aux autres rapports du projet pour y lire une description de l'aquifère et de son comportement hydraulique.

A/ Aquifères représentés

Le modèle utilisé est bidimensionnel (modèle plan horizontal). Un seul aquifère devrait donc en principe être représenté, l'aquifère principal proprement dunaire. Cependant la carte d'extension des lentilles argileuses (planche 1 établie par MM. NOULLARD et ANDRIEUX) montre que dans la partie centrale (zone du collecteur pilote) il existe véritablement un deuxième aquifère alluvionnaire sous l'aquifère dunaire, séparé de celui-ci par une lentille argileuse. C'est cet empilement qui avait été étudié sur le précédent modèle.

Du fait de la relativement grande extension de cette anomalie, et de son importance dans le comportement hydraulique, il a été décidé de modifier légèrement le programme SIMONE pour adjoindre à l'aquifère monocouche dunaire étudié, une deuxième couche limitée à l'extension de la seule lentille argileuse centrale. Le modèle est donc bicouche, chaque couche étant reliée à la précédente:

- verticalement à travers un écran argileux peu perméable
- horizontalement au pourtour de la lentille argileuse par l'intermédiaire d'une maille fictive suivant le schéma en coupe ci-contre.

.../...

L'aquifère du Flysch, peu perméable, n'a pas été représenté. L'eau qu'il peut éventuellement amener à la dune est prise en compte dans le taux de l'alimentation de l'aquifère, alimentation qui provient essentiellement de la pluie.

Les autres lentilles argileuses n'ont pas été directement représentées par elles se trouvent presque entièrement au-dessus du niveau phréatique de l'aquifère. Leur rôle est néanmoins pris en compte pour moduler l'infiltration de la pluie (voir plus loin).

B/ Maillage

Les mailles sont des carrés de 375 m de côté. En effet, la densité de l'information est à peu près uniformément répartie, et les captages futurs peuvent être implantés en divers points de l'aquifère, ce qui justifie une égale précision du modèle sur l'ensemble.

Il y a 395 mailles pour représenter l'aquifère dunaire et sa prolongation dans la plaine des Makmas, et 33 mailles pour représenter la 2e couche sous la lentille argileuse. Ces 33 mailles sont entourées de 14 mailles fictives pour assurer la liaison latérale avec l'aquifère dunaire au pourtour de la lentille, ce qui porte à 442 le nombre de mailles du modèle.

La surface représentée occupe près de 56 km².

C/ Limites du modèle

Les planches 2 et 2 bis montrent le maillage et les limites adoptées.

1/ Sur la première couche (Planche 2), la mer constitue une limite rectiligne aval, dont le potentiel est imposé et nul. Cette limite draine donc l'aquifère. Le rivage passe grossièrement par le centre des mailles de la limite (mailles 5, 16, 27 ...etc, 368).

Au Nord-Est du modèle, l'Oued Zouara forme une seconde limite à potentiel imposé. En effet, cet oued draine l'aquifère comme le montre les jaugages différentiels effectués (voir plus loin). Une ligne de sources est

.../...

Le plus visible le long de l'oued dans la vallée (zones de sables mouvants). L'Oued impose donc sa cote à l'aquifère. À partir de la carte topographique au 1/50.000 e, on a déterminé le point de cote 10 m du lit de l'oued, qui se trouve dans la maille 4, à l'extrémité du modèle. On a donc simplement interpolé linéairement le potentiel entre la mer (0) et 10 m, pour les mailles intermédiaires 6, 7, 8, 12, 13, 14.

L'ensemble de la limite Sud-Est, Sud et Sud-Ouest jusqu'à la mer suit le contour de l'aquifère d'origine, en y incluant la plaine des Mekmas. Cette limite est à Flux nul (sans alimentation). Cependant elle ne recouvre pas la crête du bassin versant superficiel ou souterrain de la zone : l'eau qui s'infiltré entre la limite d'extension de l'aquifère et la limite de bassin versant vient certainement alimenter l'aquifère en circulant dans la zone non saturée ou en formant temporairement une nappe qui se vide dans l'aquifère d'origine.

Ce type de comportement est confirmé par l'observation suivante : au voisinage de la maille 38, de petites affluences du substratum imperméable pointent sous la dalle. L'eau qui y tombe ruisselle et crée de petites cascades qui arrivent sur la dalle. Au bout de quelques dizaines de mètres de parcours sur le sable, ces cascades disparaissent car l'eau s'infiltré : cette eau ne peut que parvenir à la nappe.

Pour la limite Sud (mailles 298, 313...355), le bassin versant superficiel correspondant occupe à lui seul 13 km². Il se situe en altitude à 528 m (Djebel SMIER) et est traversé par de nombreux oueds qui viennent se jeter dans la plaine des Mekmas. Ces oueds augmentent localement l'infiltration (voir plus loin : infiltration) à l'intérieur de la plaine des Mekmas. Cette infiltration sera donc répartie le long des oueds, mais pas nécessairement à la périphérie de l'aquifère comme pour la partie précédente. Cette limite Sud sera donc à Flux nul.

Enfin la limite Sud-Est (maille 254, 267...298...377) est également à Flux nul. En effet, cette zone est très peu perméable, et généralement la piézométrie y est très proche du niveau du sol. Les isopièzes

paraissent être à peu près orthogonales à l'ouest Bou Terfess qui ne semble donc pas jouer de rôle hydraulique. Seules les mailles 367 à 390 recevront une faible alimentation pour expliquer l'allure des isopièzes.

À proprement parler, cette plaine des Meknas ne fait pas partie de l'aquifère dunaire où l'on peut espérer récupérer une importante quantité d'eau. Elle a été incluse dans le modèle pour deux raisons.

- essayer d'étudier l'influence éventuelle des captages en dunes sur le drainage de la plaine (demande formulée par MM. LEVANTE et KLEINMANN).

- éloigner les limites du modèle du contact de l'aquifère dunaire avec la plaine des Meknas, dont la nature aurait été difficile à préciser si l'on avait voulu y arrêter le modèle.

En tout état de cause, l'imprécision sur la nature des limites de la plaine des Meknas sera de très faible influence sur l'aquifère dunaire principal, vu la faible perméabilité de cette plaine.

Signalons enfin, qu'au voisinage des mailles 42 à 65, au Nord Est du modèle, l'aquifère disparaît du fait d'une remontée du substratum. On a simplement extrait du modèle les 5 mailles correspondantes. Le pourtour interne de cette zone est donc une limite à Flux nul. Cependant l'infiltration de la pluie sur cette région est supposée reportée sur les mailles immédiatement en aval (42, 53 et 64) pour les mêmes raisons que l'infiltration sur le bassin versant superficiel).

Le bombement symétrique au Sud-Ouest de l'aquifère, est représenté légèrement différemment (voir au calage) du fait de notre ignorance du fonctionnement exact de l'aquifère dans cette zone lors de la construction du maillage en Octobre 72.

2/ Flux la 2e couche, la nature des limites est représentée Flanche 2 bis. Les mailles fictives hachurées (396, 397, 400, 401...etc,442) assurent la liaison de la 2e couche avec la première au pourtour de la lentille. Les mailles normales non hachurées sont en liaison verticale avec les mailles

.../...

de la première couche à travers l'écran argileux. En particulier, les mailles 408, 416, 420 et 427 qui sont situées sous les mailles à potentiel imposé nul de la 1ère couche (85, 97, 111 et 125) permettent de représenter l'extension en mer de l'aquifère profond tel qu'il a été observé sur le modèle plan vertical. Ce sont des mailles de travail s'étendant jusqu'à 185 m en mer (le biseau est supposé se trouver à environ 180 m en mer d'après les premiers modèles). Elles ne communiquent que verticalement avec les mailles de la 1ère couche à travers l'argile.

Enfin, les traits hachurés symbolisent des limites étanches entre mailles. C'est le cas entre les mailles fictives, qui ne sont qu'une répétition des mailles réelles de la 1ère couche, en liaison avec celles par l'intermédiaire d'une résistance négligeable.

C'est aussi le cas des mailles de la limite de la 2e couche qui ne communiquent pas horizontalement avec la première : mailles situées en bordure de la remontée du substratum (399, 405, 406) et celles du "trou" central (412, 413, 419, 424, 425, 426) qui ne semblent pas communiquer avec la 1ère couche comme l'ont montré les études sur le premier modèle plan vertical, ainsi que les données piézométriques.

D/ Représentation de l'Oued Berkoukech

Dans la plaine des Meknas, cet oued est en communication avec la nappe qu'il draine généralement (voir plus loin). Cependant on s'aperçoit que la nappe est parfois en charge par rapport au lit de l'oued, en particulier au voisinage de la maille 337. De plus, la structure en alternance sable et argile de la plaine des Meknas conduit à penser que l'oued Berkoukech ne draine la nappe qu'à travers une couche argileuse qui permet à la nappe d'avoir une charge supérieure à celle du lit de l'oued.

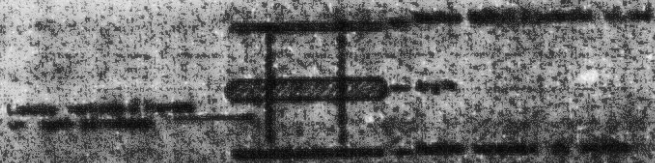
.../...

P.N.L.O.
REGIONS VISEES
PROJET 08120

MAPPE DES DUNES DE NEFZA

20

SCHEMA DE REPRESENTATION DE L'OUED BERKOUKECH



Ceci a été représenté sur le modèle de la façon suivante : un potentiel constant égal à la cote du lit de l'oued est imprimé sur une maille fictive placée au-dessus de la maille du modèle où passe l'oued. Ces deux mailles sont liées par une résistance de passage qui simule la couche argileuse cochant l'oued, suivant le schéma ci-contre. La valeur à donner à la perméabilité de l'argile sera l'objet du calage, en fonction du débit effectivement drainé par l'oued.

Ce type de liaison peut fonctionner dans les deux sens : si la nappe a une charge supérieure à celle de l'oued, celui-ci draine (cas actuel). Si c'est l'inverse, l'oued alimente (cas où on a rebattu la nappe, et où il y aurait toujours de l'eau dans l'oued).

Voici les numéros des mailles où une telle représentation a été adoptée, avec la valeur des potentiels imposés dans l'oued, d'après extrapolation des cotes lues sur la carte au 1/50 000 ème :

COTES DANS L'OUED BIKKOURGICH

maille n°	310	324	323	337	336	351	365	364	372	371	370
cote (m)	42	33	33	28	25	20	16	13	10	7	5

Enfin la maille 369, à l'embouchure, a été représentée en potentiel imposé ordinaire, à la cote + 2, comme pour l'oued Zouarn, du fait de la présence de la zone dunaire à l'embouchure de l'oued :

2/ Répartition de l'infiltration sur la dune

Le taux d'infiltration de la pluie est une des grandes inconnues de l'aquifère de Nefza que le calage du modèle a pour objet de lever. On verra à ce sujet les calculs d'évapotranspiration justificatifs qui ont été proposés.

Cependant cette infiltration peut être différemment répartie dans l'espace. En effet, nous avons déjà vu que la limite amont du modèle a une infiltration supérieure, car elle reçoit l'eau venant de la limite du bassin versant,

.../...

De plus, les deux lentilles argileuses, situées au dessus du niveau de l'aquifère jouent certainement un rôle dans cette répartition. On a d'abord supposé que la moitié de l'eau infiltrée traversait l'écran argileux pour arriver à la nappe, le reste circulant au-dessus de l'argile (sorte de nappe perchée) pour se déverser dans l'aquifère principal qu'à la limite d'extension de la lentille argileuse.

Ulérieurement, au cours du calage, il a fallu ramener cette proportion à 10 % d'infiltration à travers l'argile et 90 % d'écoulement sur l'argile. L'extension de la lentille argileuse Sud a aussi été légèrement augmentée par rapport à la carte donnée par la géophysique, (qui constitue une extension minimum) pour tenir compte de la présence de cette argile au forage 7327 (maille 203) et de la forme des isopiezes. Cette extension intéresse les mailles 187 à 189, 203 à 205, 219 à 221, 236, 237, 254 et 272.

Ensuite on s'est aperçu au cours du calage que l'infiltration est pratiquement nulle dans la plaine des Meknes, en particulier dans la zone aval où la surface piézométrique est supérieure à la cote du sol.

Enfin, comme il a été dit plus haut, les oueds venant du Djebel SERRIK alimentent par endroit la nappe. C'est en particulier le cas au voisinage des mailles 260 et 277, où il a été nécessaire d'introduire une infiltration importante (25 l/sec) pour obtenir le bombement de l'isopieze 40. Cette hypothèse est confirmée par la présence d'une zone marécageuse à cet endroit, qui longe la dune, où l'infiltration peut être élevée. La carte au/50.000 ème indique même une disparition des oueds à cet endroit.

Le résultat final de cette répartition spatiale de l'infiltration est représenté par un facteur d'infiltration efficace, sur la planche 2. Ce facteur est à multiplier par la pluie infiltrée (par exemple 500 mm/an) et par la surface de la maille (0,14 km²) pour avoir le débit d'infiltration moyen continu par maille. C'est déjà le fruit du calage.

La deuxième couche ne reçoit, elle, aucune infiltration directe de la pluie, et n'est alimentée que par l'intermédiaire de la première couche.

.../...

7/ Carte des transmissivités initiales

1/ Transmissivités horizontales

Les onze essais de débit réalisés sur l'aquifère donnaient une première idée de la répartition des transmissivités. En comparant ces valeurs aux épaisseurs de la nappe (voir Planche 3 : carte des épaisseurs de nappe dressée par Mr. MOULAUD) on a vu qu'en première approximation la transmissivité était proportionnelle à l'épaisseur, c'est à dire que la perméabilité de l'aquifère était à peu près constante, ce qui semble naturel pour un matériel homogène.

On a donc introduit initialement l'épaisseur de nappe en chaque maille, que l'on a ensuite multiplié par une perméabilité constante que l'on a pu faire varier. On n'a pas envisagé d'anisotropie horizontale.

Ulérieurement, au cours du collage, il a fallu cependant modifier localement certaines transmissivités.

2/ Transmissivités de passage verticales

En ce qui concerne les transmissivités de passage entre mailles superposées de la 1ère et 2ème couche, on a repris les valeurs établies par le modèle plan vertical pour la coupe passant par A 3 ter, à savoir (a étant le côté de la maille) :

	Perméabilité K de l'argile	Épaisseur E de l'argile	Transmissivité de passage $TP = \frac{K}{a} \cdot a^2$
mailles normales	10^{-7} m/sec	7,5 m	$19 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles en air	$1,75 \cdot 10^{-7}$ m/sec	7,5 m	$33,2 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles fictives	$1,05 \cdot 10^{-5}$ m/sec	7,5 m	$2000 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles sous Ber- kouchek	$2 \cdot 10^{-7}$ m/sec	5 m	$56 \cdot 10^{-4}$ m ² /s

TABLÉAU DES PERMÉABILITÉS ET DES TRANSMISSIVITÉS DE PASSAGE VERTICALES ENTRE MAILLES.

V/ Carte des transmissivités initiale

1/ Transmissivité horizontales

Les onze essais de débit réalisés sur l'aquifère donnaient une première image de la répartition des transmissivités. En comparant ces valeurs aux épaisseurs de la nappe (voir Planche 3 : carte des épaisseurs de nappe dressée par Mr. MOUILLARD) on a vu qu'en première approximation la transmissivité était proportionnelle à l'épaisseur, c'est à dire que la perméabilité de l'aquifère était à peu près constante, ce qui semble naturel pour un matériel dunaire.

On a donc introduit initialement l'épaisseur de nappe en chaque maille, que l'on a ensuite multiplié par une perméabilité constante que l'on a pu faire varier. On n'a pas envisagé d'anisotropie horizontale.

Ultérieurement, au cours du calage, il a fallu cependant modifier localement certaines transmissivités.

2/ Transmissivités de passage verticales

En ce qui concerne les transmissivités de passage entre mailles superposées de la 1ère et 2ème couche, on a repris les valeurs établies par le modèle plan vertical pour la coupe passant par A J ter, à savoir (a étant le côté de la maille) :

	Perméabilité K de l'argile	Epaisseur de l'argile	Transmissivité de passage $T_p = \frac{K}{a} \cdot a^2$
mailles normales	10^{-7} m/sec	7,5 m	$19 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles en mer	$1,75 \cdot 10^{-7}$ m/sec	7,5 m	$33,2 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles fictives	$1,05 \cdot 10^{-5}$ m/sec	7,5 m	$2000 \cdot 10^{-4}$ m ² /sec
mailles sous Ber- koubrech	$2 \cdot 10^{-7}$ m/sec	5 m	$56 \cdot 10^{-4}$ m ² /s

TABLEAU DES PERMEABILITES ET DES TRANSMISSIVITES DE PASSAGE VERTICALES ENTRE MAILLES.

III - CALAGE EN RÉGIME PERMANENT

Le modèle ainsi défini (mail. . conditions aux limites, valeur des paramètres, transmissivités et débit), le programme SIMONE peut calculer par la méthode des différences finies la hauteur piézométrique qui en résulte en chaque maille, en régime permanent, et la valeur des débits qui sortent de l'aquifère: débit perdu en mer, débits drainés par les oueds Zouara et Berkoukch.

Le régime réel de la nappe n'est pas permanent : elle oscille faiblement du fait de l'inégale répartition des pluies au cours de l'année. Cependant ces battements sont relativement faibles : de l'ordre de 40 cm. Il est donc tout à fait justifié de choisir un état moyen de la nappe et de considérer qu'il réalise à peu près un régime permanent.
Le taux d'infiltration de la pluie que l'on aura affiché sera donc un taux moyen au cours de l'année.

A/ Les données disponibles pour le calage sont doubles :

- La piézométrie mesurée (on a choisi celle de Mai 72)
- Les jaugages différentiels dans les oueds, qui ont fourni les valeurs suivantes :

<u>Oued Zouara</u>	Station II en amont du modèle	Station III maille 4	Station IV maille 2	
20/7/72	0,360	0,796	0,612) m ³ /sec
17/8/72	0,336	0,556	0,528	
21/9/72	0,579	0,362	0,648	

.../...

On en déduit que cet oued draine un peu moins de 300 l/sec de la nappe. Cependant l'analyse chimique de cette eau a montré que sa composition n'est pas entièrement celle de l'eau des laves, mais intermédiaire avec celle du Flysch. On en a déduit que dans les 300 l/sec se trouvait peut-être un peu d'eau venant directement du Flysch, et que, pour ne pas surestimer ce drainage de la nappe par le Zouma ce qui conduirait à un taux d'infiltration très élevé, il valait mieux par prudence essayer d'obtenir un drainage entre 150 et 200 l/sec sur le modèle.

Oued Berkoukeh

28/5/72
13/6/72

Station unique
n° 361

0,0564)
0,0143) m³/sec

À partir de Juillet, les prélèvements par pompage dans l'oued assèchent le Berkoukeh.

On tentera d'obtenir sur le modèle environ 50 l/sec. Il faut remarquer ici qu'une fraction non négligeable de ce débit provient des sources que l'on peut observer dans la plaine des Mekmas au contact avec la dans, dans la région des mailles 322-323. Nous verrons plus loin que sur le modèle, le Berkoukeh draine bien l'essentiel de son débit dans cette zone.

On va s'efforcer de restituer ces observations sur le modèle.

B/ Tests et modifications apportées par le calage

Une trentaine de passages ont été réalisés pour obtenir un ajustement convenable entre observations et résultats des calculs.

Nous n'allons décrire ici que les modifications les plus significatives qu'il a été nécessaire d'introduire pour aboutir.

1/ Perméabilité et taux d'infiltration

- Les premiers essais ont eu pour but de régler l'un par rapport à l'autre taux d'infiltration et perméabilité de l'aquifère. On est parti de $K = 2,5 \cdot 10^{-4}$ m/sec (soit $T = 1,5 \cdot 10^{-2}$ m²/sec pour 60 m de sable, valeur fréquemment mesurée) et de $Q = 300$ mm/sg. Le résultat obtenu

.../...

était une piézométrie environ 40 m trop basse dans la partie ouest de la dune. Ce jeu était donc inacceptable. Le compromis auquel on a abouti conduit à :

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m/sec} \\ Q = 495 \text{ mm/an} \end{array} \right.$$

La transmissivité est donc partout inférieure ou au plus égale aux valeurs les plus faibles estimées lors des essais de débit (qui eux-mêmes sous-estiment généralement les transmissivités) alors que le taux d'infiltration est relativement élevé.

Étant ce couple de valeur est un compromis raisonné et la valeur de l'infiltration est vraisemblablement plus élevée encore.

2/ Essai de comparaison de ce taux d'infiltration avec un calcul d'évapotranspiration

Le calcul qui suit n'a pas pour objet de prouver la validité du chiffre de 500 mm/an avancé ci-dessus, mais plutôt de mettre en évidence, le caractère particulier des pluies de la région de Sefza (concentrées d'abord sur quelques mois, et de plus concentrées en quelques jours pour les mois pluvieux : il tombe des crages d'en moyenne 25 mm en quelques heures, ce qui est classique pour un climat méditerranéen, contre les 7 à 8 mm par jour commun dans les régions tempérées de la France et de l'Europe du Nord.

Le calcul nous permettra aussi d'analyser les variations d'alimentation d'une année sur l'autre, en fonction de la piézométrie.

À l'Institut National de la Recherche Agronomique en Tunisie, MM. BAILLY et COMBREMONT nous ont fourni les valeurs suivantes, pour les consommations en eau d'un couvert végétal dense, exprimé en mm par jour :

J	P	N	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1 à 1,5	2	3	4	4	4	4	4	3	3	2	1,5 à 2

CONSUMMATION EN EAU DE LA VEGETATION, MM/JOUR

.../...

Ces chiffres sont un ordre de grandeur, valables quand existe en suffisance l'eau nécessaire. Pour un couvert végétal de faible densité, on peut appliquer un coefficient d'abattement de 70 %, de même que pour un sol nu, qui cependant évaierera moins en été :

La plante puise son eau dans la réserve du sol, appelée "Capacité de rétention", "capacité au champ", par les agronomes "réserve facilement utilisable" (RFU) par les hydrologues. Elles ralentit sa consommation quand cette réserve se vide, et ensuite tire sur la nappe à un taux très réduit, par remontée capillaire, quand cette réserve est vide. Ce taux de remontée capillaire peut évoluer entre 1,5 et 0,5 mm /jour (ou même moins quand la nappe est à plus de 10 m sous le sol).

Pour Nefza, 1/4 de la dune environ est nu, le reste est boisé d'eucalyptus, de mimosa, de caïnes liège, à densité moyenne. La nappe est relativement profonde sous le sol, parfois à plus de 30 m et, en règle générale, à plus de 10 m dès que l'on s'écarte d'une bande littorale de 500 m de large environ. Le sol, sableux, est relativement léger et nous adopterons une réserve RFU de 100 mm, ce qui est déjà élevé. Nous allons calculer mois par mois, en année moyenne, la valeur de :

- ETP évapotranspiration potentielle du mois
- RFU contenu de la réserve en fin de mois
- ETR évapotranspiration réelle du mois
- INFIL l'infiltration pendant le mois.

Nous appliquerons, pour avoir ETP, les chiffres cités plus haut avec abattement de 70 %, et nous supposerons qu'il n'y a pas de reprise sur nappe. La pluie moyenne utilisée est celle enregistrée à Tabarka, légèrement augmentée pour tenir compte de l'altitude moyenne plus élevée de la dune que celle de la station de Tabarka (voir aussi station de Tamer). Tous les chiffres ci-dessous sont exprimés en mm.

.../...

Mois	Mai	J	M	A	M	J	J	Ao	S	O	N	D	Total
PLUIE	175	125	92	75	40	20	5	10	63	130	160	190	1085
ETP	32	42	63	84	84	84	84	84	63	63	42	32	757
RPS	100	100	100	31	47	0	0	0	0	62	100	100	-
NCR	32	42	63	84	84	67	8	10	60	63	42	32	504
INPIE	143	23	29	0	0	0	0	0	0	0	95	158	501

CALCUL DE L'ÉVAPORATION ET DE L'INFILTRATION SUR LA DUNE

Sous retenons sur une infiltration de 500 mm/an, sans avoir effectué un calcul optimiste : on pourrait probablement retrouver de même une infiltration plus élevée en diminuant ETP.

N/ Dépression de la portion d'aquifère située autour du forage 7562 (B22)

Dans ce forage, la cote de l'eau assurée s'est établie à + 45,00 m environ, c'est à dire à un niveau incompatible avec les mesures piézométriques voisines. Différentes hypothèses ont été émisees pour l'expliquer, pendant l'élaboration du modèle, en particulier un niveau fictif qu'un léger pompage ferait disparaître. Un tel cas a été réalisé et a montré au contraire que ce niveau correspond effectivement à un aquifère.

L'hypothèse retenue à l'heure actuelle avec MM. ZEBIDI, MOULLARD et TALBOT, est que ce forage se trouve sur un bombement du substratum (ceci est confirmé par la carte du toit du substratum Planche 4 établie par géophysique et sondages par MM. MOULLARD et ARDREHEU, et par la cote du substratum obtenu sur le forage : + 5' m.).

Sur ce bombement se crée une petite nappe perchée, alimentée par les précipitations, et qui se vidange lentement dans l'aquifère principal dunaire, en contrebas. Ceci est aussi confirmé par l'évolution de la charge au forage : elle baisse de plus de 2 m en 3 mois, alors que les piézomètres dans l'aquifère dunaire bougent de quelques dizaines de cm ou plus pendant la même période.

Le maillage initial contenait cette série de l'aquifère. Pour

.../...

le supprimer, on a simplement affecté des transmissivités nulles aux mailles 318 à 320, 332 à 334, 347. Ceci permet d'y laisser une infiltration normale, qui s'écoule sur les mailles voisines. On ne réalise en effet une barrière impénétrable qu'entre 2 mailles de transmissivité nulle, car la transmissivité moyenne entre 2 mailles est, dans le programme SIMONE, la moyenne arithmétique des transmissivités des deux mailles. Les charges calculées dans ces mailles indiquent seulement le sens de l'écoulement de l'eau qui s'y infiltre verticalement, vers l'aquifère proprement dit.

4/ Ajustements locaux des transmissivités

La carte des transmissivités finalement retenue est représentée
Planche 6.

À partir de la carte initiale, les modifications principales
portent sur :

- L'introduction d'une zone de très faible perméabilité entre les forages 7327 et 7289, qui se prolonge jusqu'au forage 7362 (mailles 185-186 à 316-317).

Ceci n'est à première vue pas en accord avec la carte du toit du substratum, ni avec les résultats de l'essai de débit du forage 7327 (C 14-15).

Cependant, cette faible transmissivité est indispensable pour restituer l'augmentation brusque des gradients hydrauliques de part et d'autre du forage 7327 (C 14-15). De plus, l'examen des sondages électriques de cette zone montre que, s'il n'y a pas de remontée du substratum, en revanche, on peut estimer que la résistivité des sables saturés est plus faible là qu'ailleurs (100 à 120 ohm/m contre 150 à 200 généralement), ce qui peut s'expliquer par un sable plus argileux donc moins perméable. Enfin, si un changement de pente n'est pas observé lors de l'essai de débit du C 14-15, ceci peut provenir de la conduite de l'essai : l'eau pompée était rejetée à 200 m et se réinfiltrait. L'image positive de cette réinfiltration a

.../...

- pu masquer l'image négative de la zone à faible transmissivité, située à peu près à la même distance.
- La diminution des transmissivités dans l'ensemble de la plaine des Meknas, en accord avec les saisis de débits réels.
 - L'augmentation des transmissivités dans le voisinage des forages 7206 (A 1-2 bis) et 7209 (A 19).

C/ Résultats du calage en pointant

L'ajustement des niveaux piézométriques observés et calculés est représenté planche 5 (listing du programme Simone). On a tracé les deux séries d'isopièzes, et reporté les valeurs mesurées sur les forages aux points de mesure. C'est sur ces valeurs mesurées qu'il faut juger l'ajustement, les courbes isopièzes réelles n'étant pas toujours connues avec précision et tracées alors en pointillé.

Les différences observées sont partout inférieures au mètre.

La carte des transmissivités correspondante, sous forme de listing, est donnée Flanche 6. On remarquera que, dans la zone du forage A 3 ter étudié précédemment en coupe, les transmissivités sont pratiquement les mêmes que celles utilisées sur le modèle plan vertical. L'unité employée est en 10^{-4} m²/sec.

La carte des débits est donnée Flanche 7. L'unité est le l/sec. Sur les mailles ordinaires, le nombre indique l'infiltration amenée par la pluie (comptée négativement). Ainsi - 2,2 l/sec correspond à 495 mm/an sur les 0,14 km² de chaque maille.

Sur les mailles à potentiel imposé (au rivage et dans l'oued Zouara), ce nombre indique la valeur du débit quittant le modèle par la maille (compté positivement). Enfin, pour les mailles qui communiquent avec une deuxième couche (zone sous la lentille argileuse centrale ou sous l'oued Berkoukch), ce nombre est la somme algébrique des débits amenés dans la maille par l'infiltration et quittant la maille vers la 2e couche.

.../...

On aboutit alors aux totaux suivants :

SORTANT	(- drainage par l'oued Zouara amont (jusqu'au jaugage) : 137,9 l/sec	
	(- " " " aval (après le jaugage) : 32,0 -	
	(- " " Berkoukch amont (jusqu'au jaugage) : 52,9 -	
	(- " " " aval (après le jaugage) : 11,0 -	
	(- Débit s'écoulant en mer, 1ère couche : 560,2 -	
	(- " " " 2ème couche : 61,2 -	
		total : 855,2 l/sec
ENTRANT	(- infiltration directe normale (495 mm/an) 348 l/sec	
	(- infiltration réduite sous argile et plaine	
	(des Mekins 32,1 l/sec	
	(- infiltration différée à l'aval des lentilles	
	(argileuses 209,4 l/sec	
	(- infiltration aux limites amont du modèle 213,7 l/sec	
	(- infiltration des oueds du Djebel SERIR 27,5 l/sec	
		total: 854,5 l/sec

La différence entre débits entrant et sortant du modèle constitue l'erreur de fermeture du modèle. Elle est plus qu'négligeable.

Que penser de ce calage ? Il est vraisemblablement pessimiste quant aux ressources disponibles. En effet, la piézométrie est très acceptable, tandis que débits, et surtout transmissivités, sont probablement sous-estimés, comme le montre le tableau suivant :

.../...

FORAGE	MAILLE M	Transmissivités du modèle (m ² /s)		Transmissivités mesurées lors des essais de débit (m ² /s)		
		1ère couche	2ème couche			
7342	51	$1,13 \cdot 10^{-2}$		$11,4 \cdot 10^{-2}$	$11,7 \cdot 10^{-2}$	$14,7 \cdot 10^{-2}$
7274	98/417	$0,17 \cdot 10^{-2}$	$0,60 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$11,6 \cdot 10^{-2}$
7056	112/421	$0,17 \cdot 10^{-2}$	$10,30 \cdot 10^{-2}$	$1,07 \cdot 10^{-2}$	$1,14 \cdot 10^{-2}$	
7206	126/428	$0,45 \cdot 10^{-2}$	$0,30 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$12,2 \cdot 10^{-2}$
7268	140	$1,01 \cdot 10^{-2}$		$10,9 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$12,2 \cdot 10^{-2}$
7143 bis	160	$1,06 \cdot 10^{-2}$		$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$11,8 \cdot 10^{-2}$
7227	203	$1,02 \cdot 10^{-2}$		$1,1 \cdot 10^{-2}$		
7289	233	$1,52 \cdot 10^{-2}$		$1,1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$11,9 \cdot 10^{-2}$
6782	244	$10,30 \cdot 10^{-2}$		$10,3 \cdot 10^{-2}$	$10,26 \cdot 10^{-2}$	
6077	294	$0,30 \cdot 10^{-2}$		$0,3 \cdot 10^{-2}$	$0,45 \cdot 10^{-2}$	
6783	337	$10,09 \cdot 10^{-2}$		$10,02 \cdot 10^{-2}$		

Cependant avant de l'utiliser à des fins de prévision, nous allons essayer de simuler le comportement transitoire de l'aquifère.

IV. CALAGE EN REGIME TRANSITOIRE

Comme nous l'avons déjà dit, il y a peu d'information sur le comportement transitoire de la nappe, car elle fluctue très peu au cours de l'année, les battements sont de l'ordre de 30 cm. Ceci est d'ailleurs un phénomène qu'il faut expliquer.

Trois calculs ont été réalisés en transitoire pour caler S et juger de la validité du calage en permanent :

- tarissement de la nappe si l'on supprime l'infiltration pendant 7 mois, avec une porosité utile de la nappe libre de 10 %
- tarissement de la nappe mois par mois pendant 4 mois, si l'on supprime l'infiltration, porosité utile de 20 %.
- évolution de la nappe de septembre 69 à septembre 72 pour tenter de restituer les anomalies de la pluviométrie et de la piézométrie.

A/ Tarissement de la nappe en 7 mois. S = 10 %

Les calculs d'évapotranspiration effectués plus haut montrent que les excédents de la pluie sur l'évaporation ont lieu de Novembre à Mars. Il y a donc 7 mois où le système ne reçoit rien.

Il est évident que la pluie tombée au mois de Mars n'arrive à l'aquifère que bien plus tard, du fait de la grande épaisseur de la zone non saturée (10 à 30 m) et de la présence des lentilles argileuses qui diffèrent l'infiltration. En effet, le niveau maximum, pour les piézomètres en amont de la nappe, est atteint en Juillet, soit 4 mois après la pluie. Mais de combien ce retard

.../...

évalue-t-il en même temps la durée de l'infiltration ? En d'autres termes, s'il s'infiltré 100 mm au mois n, les 100 mm n'arrivent-ils pas à la nappe au mois n+4 au mois n+7 par exemple ?

La seule observation que nous ayons est que le niveau dans la nappe ne tarit guère plus que de 40 cm dans l'année.

Le calcul réalisé constitue une limite : S est probablement sous-estimé avec 10 %, 7 mois de tarissement est très improbable. Le pas de temps utilisé pour les calculs était de 10 jours.

En effet, le résultat du calcul montre un abaissement de l'ordre de 7 m dans les parties amont de l'aquifère au bout des 7 mois, et encore de 2 à 3 mètres quand on se rapproche du rivage.

Ceci est donc en contradiction avec les mesures : il ne peut y avoir 7 mois de tarissement de l'alimentation de l'aquifère.

B/ Tarissement de la nappe mois par mois pendant 4 mois ; S = 20 %

Nous avons pris maintenant un coefficient d'emmagasinement optimiste par rapport aux essais de débit réalisés, qui donnent une valeur de l'ordre de 15 %.

Le but du calcul tenté est de voir pendant combien de mois on peut supprimer l'alimentation de l'aquifère sans pour autant qu'il ne tarisse davantage que les 40 cm observés. Le pas de temps utilisé pour le calcul est aussi de 10 jours.

La réponse obtenue est que, dès après un mois d'absence d'alimentation, la nappe baisse par endroit jusqu'à 40 cm. A 2 mois, les rabattements vont de 30 à 80 cm. A 4 mois, on obtient presque 2 m en amont de la nappe, et près du mètre en moyenne sur la nappe.

On en conclut que l'absence d'alimentation de la nappe ne saurait durer davantage qu'un mois ou à la rigueur 2. En d'autres termes, l'infiltration de la pluie qui, à la surface du sol, n'occupe que 5 mois par an, ne parvient à la nappe qu'après un retard, et surtout un étalement dans le temps, qui lui fait occuper 10 à 11 mois de l'année.

.../...

L'alimentation de la nappe est donc pratiquement constante tout au long de l'année.

Ceci n'est pas très étonnant vu la grande épaisseur de sables non saturés que l'infiltration doit traverser (10 à 30 m) et le rôle joué par les lentilles argileuses au-dessus du niveau phréatique, sur lesquelles l'eau infiltrée doit venir former de petites nappes perchées qui se vidangent ensuite dans l'aquifère principal aux limites des lentilles, amortissent ainsi beaucoup les irrégularités de la pluviométrie.

C/ Evolution de la nappe de Septembre 69 à Septembre 72

En regardant l'évolution des piézomètres depuis leur création (les premiers remontent à un an et demi), on s'est aperçu de l'existence d'une baisse systématique des niveaux dans l'aquifère, de l'ordre de 40 cm, d'une année par rapport à la précédente, baisse à laquelle se superpose l'oscillation saisonnière des niveaux (voir les relevés d'observation piézométrique). En regardant la pluviométrie à la Station de Tabarka, on s'est aussi aperçu de l'existence d'un fort contraste entre les pluies de 69-70, 70-71, et 71-72, cette dernière année étant bien moins arrosée.

Il a paru intéressant d'essayer de vérifier sur le modèle que cette différence de pluviométrie pouvait expliquer la baisse systématique de niveau observée.

Pour cela, on a d'abord calculé l'infiltration supposée de la pluie, en utilisant la loi d'évaporation proposée au paragraphe III - B2. La pluie considérée devient ici la pluie réelle du mois, et non plus une pluie moyenne. En comparant l'infiltration obtenue chaque mois avec l'infiltration moyenne du mois telle qu'elle a été calculée au paragraphe III-B2, on calcule donc un $\frac{1}{2}$ déficit ou un excédent d'infiltration par rapport aux années moyennes, noté INFIL. Ces calculs sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

.../...

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Total
PLIE COY.	60	130	160	190	175	135	85	75	40	20	5	10	1085
ETP	63	63	42	32	32	42	63	84	84	84	84	84	757
INFIL COY.	0	0	85	158	145	93	22	0	0	0	0	0	501
Pluie 69-70	84,2	249	41,7	392	102	147	96,3	57,9	83,7	0	14	1,5	1270
ETR	63	63	42	32	32	42	63	84	84	74	14	1,5	594
RPU	11	100	100	100	100	100	100	74	74	0	0	0	
INFIL	0	96	0	360	70	105	37	0	0	0	0	0	664
INFIL	0	+96	-85	+202	-73	+12	+11	0	0	0	0	0	+163
Pluie 70-71	1,5	171	16,5	270	196	197	227	105	45,6	4,7	8	2,4	1245
ETR	1,5	63	42	32	32	42	63	84	84	67	8	2,4	521
RPU	0	100	74	100	100	100	100	100	62	0	0	0	
INFIL	0	8	0	210	164	155	163	20	0	0	0	0	720
INFIL	0	+6	-85	+52	+21	+62	+141	+20	0	0	0	0	+219
Pluie 71-72	153	117	65,8	44,5	108	117	109	159	25,9	31,7	2,1	2,3	945
ETR	63	63	42	32	32	42	63	84	84	84	2,1	2,3	614
RPU	96	100	100	100	100	100	100	100	52	0	0	0	
INFIL	44	23	12	76	70	45	56	0	0	0	0	0	326
INFIL	+44	-62	-146	-67	-23	+23	+56	0	0	0	0	0	-175

TABEAU DES VARIATIONS D'INFILTRATION

DE 69 A 72.

Nous allons maintenant utiliser ces valeurs en raisonnant en superposition d'écoulement. Nous supposons que les années antérieures à Septembre 69 ont été des années normales, et que la nappe, si tout avait continué normalement, aurait oscillé faiblement autour de sa position moyenne. A cette oscillation vont s'ajouter les perturbations provoquées par l'excédent puis le déficit d'infiltration. Nous allons calculer cette perturbation comme un rabattement à partir de l'état normal, en injectant puis soutirant de la nappe l'excédent puis le déficit ci-dessus. Notre état initial sera nul (rabattement nul), correspondant à l'état ordinaire de la nappe.

Nous afficherons ces débits mois par mois, étant entendu qu'il existe un écolage important entre l'infiltration et l'alimentation. Ainsi ce que nous calculerons pour le mois de Janvier 70 pourra très bien se passer en réalité 4 ou 5 mois plus tard : ce qui nous intéresse, c'est de voir si, sur les trois ans simulés, on observe bien une baisse de l'ordre de 40 cm des niveaux au cours de la dernière année.

Or, c'est effectivement le résultat obtenu lors de ces calculs : les niveaux montent pendant les deux premières années, atteignent un maximum vers le printemps 71, maximum qui vaut en moyenne effectivement 40 cm sur l'aquifère, puis se mettent à décroître pour devenir proches de zéro à la fin Septembre 1972. Le pas de temps utilisé pour les calculs était le mois.

Ce calcul n'est pas très significatif vu les faibles variations de niveau observées et calculées. Il est cependant intéressant car il confirme quelque peu le coefficient d'emmagasinement choisi ainsi que les calculs d'évapotranspiration et d'infiltration.

En l'absence de données supplémentaires concernant le régime transitoire, nous conserverons, pour les prévisions, les transmissivités, les coefficients d'emmagasinement et les débits d'infiltration tels qu'ils ressortent du calage.

Seul, le fonctionnement du collecteur pilote pourra désormais nous renseigner davantage sur le comportement en transitoire de l'aquifère.

.../...

D/ Conclusion sur les colages :

Des calculs réalisés , il ressort que le versant marin de la dune de Nefza déverse environ :

620 l/sec en mer

170 l/sec dans l'oued Zouara

60 l/s dans l'oued Berkoukeh

TOTAL 850 l/s.

Cette ressource lui provient de la pluie, avec un taux d'infiltration de 500 mm (soit 45 %). Bien que la pluie est concentrée sur les 5 mois d'hiver, cette alimentation arrive à la nappe de façon presque uniforme tout au long de l'année.

D/ Conclusion sur les calculs :

Des calculs réalisés , il ressort que le versant marin de la dune de Nefza déverse environ :

620 l/sec en mer

170 l/sec dans l'oued Zouara

60 l/s dans l'oued Berkoukeh

TOTAL 850 l/s.

Cette ressource lui provient de la pluie, avec un taux d'infiltration de 500 mm (soit 45 %). Bien que la pluie est concentrée sur les 5 mois d'hiver, cette alimentation arrive à la nappe de façon presque uniforme tout au long de l'année.

V. UTILISATION DU MODELE POUR LES PREVISIONS DE CAPTAGE.

Comme nous l'avons dit en introduction, il ne s'agit pour l'instant que des premières exploitations du modèle, les tests définitifs devant avoir lieu en utilisant simultanément les modèles plan vertical et plan horizontal.

On a cependant voulu dégrossir le problème dès aujourd'hui, afin de fournir une base de discussion lors de l'élaboration en commun des hypothèses de captage à tester.

On a simulé successivement :

- le fonctionnement du collecteur pilote pendant 6 mois à 200 %
- 3 projets de collecteurs complets, en régime permanent, c'est à dire après stabilisation;
- le fonctionnement en transitoire sur 20 ans de l'un de ces projets de collecteur complet.

A/ Fonctionnement du collecteur pilote pendant 6 mois.

Ce collecteur a déjà été étudié sur le modèle plan vertical dans le précédent rapport. Cependant, on était obligé d'y faire l'hypothèse que le collecteur pilote avait une extension illimitée le long de la mer, puisque l'on raisonnait dans un plan perpendiculaire au collecteur.

On a voulu tenter ici de calculer les rabattements engendrés dans l'espace par le collecteur pilote en tenant compte de son extension réelle.

Les débits qu'il est actuellement prévu de pomper sur le collecteur ont été répartis sur chacune des mailles du modèle où se trouvent les forages, en supposant que les trois forages pompent chacun 20 l/sec en captant

.../...

simultanément les deux couches, pratiquement on fait la moitié de ce débit de chacune des couches. Ceci donne :

Maille N°	93	112	126	417	421	428	Total
Debit pompé l/sec	17	27	28	17	27	28	144
couche n°		1				2	1+2

DEBIT POMPE SUR LE COLLECTEUR PILOTE

Le pas de temps critique du système étant de 375 secondes on a utilisé une méthode de résolution implicite-explicite (dite de Crank-Nicholson) avec un coefficient de pondération de 0,4 en faveur de l'implicite. Voici la série des pas de temps utilisés :

Nombre de pas de temps	5	5	1	5	1	1	1	1
Durée, jours	1	5	10	10	30	30	30	30
Temps de simulation célèbre, jours	5	20	30	60	90	120	150	180
Affichage des résultats			*	*	*	*	*	*

PAS DE TEMPS DU TRANSITOIRE

On a calculé les rebattements par rapport à un état initial poursuivant une évolution transitoire normale (battement annuel de la nappe). La transmissivité est supposée rester constante. L'infiltration est aussi supposée ne pas être affectée par ces prélèvements. Voici mois par mois les résultats obtenus.

.../...

Maille n°	98	112	126	417	421	428	100	101	140	128	129	130	71
couche	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
Pièce.	7137	7134	7135	7138			7055	7054	7268	7275	7276	7277	7053
1 mois	1,8	2,5	2,0	2,4	3,8	3,0	0,2	0,0	0,7	0,2	0,1	0,1	0,3
2 mois	2,8	3,4	2,6	2,7	4,1	3,3	0,4	0,1	0,9	0,4	0,2	0,2	0,5
3 mois	3,3	3,9	2,9	2,9	4,3	3,4	0,6	0,3	1,0	0,6	0,3	0,2	0,6
4 mois	3,6	4,1	3,0	3,0	4,4	3,5	0,8	0,4	1,1	0,8	0,4	0,3	0,6
5 mois	3,8	4,3	3,1	3,1	4,5	3,6	1,0	0,5	1,1	1,0	0,5	0,4	0,7
6 mois	3,9	4,4	3,2	3,2	4,6	3,6	1,2	0,6	1,2	1,1	0,6	0,5	0,8

RABATTEMENT AUTOUR DU COLLECTEUR PILOTE

Pour comparer ces résultats à ceux obtenus précédemment sur le modèle plan vertical, il faut noter que le coefficient d'emmagasinement utilisé sur ce dernier était de 10 % (contre 15 % maintenant) par souci de sécurité quand au comportement de l'interface. De plus, on s'aperçoit que sur le modèle plan horizontal l'extension limitée du collecteur pilote provoque un appel d'eau dans toutes les directions, ce qui engendre un rabattement grossièrement circulaire autour du collecteur, au lieu d'être parallèle à la côte. Enfin le maillage du modèle horizontal est beaucoup plus espacé que celui du modèle vertical, et le rabattement que l'on calcule représente une valeur moyenne sur une maille de 375 m de côté, contre des mailles de 10 à 80 m sur le modèle vertical.

Ceci étant, on constate effectivement que les rabattements sont moins importants sur le modèle horizontal, et surtout qu'ils s'étendent beaucoup moins loin dans l'espace : en 6 mois, les rabattements ne s'étendent pas au-delà de 3 kms de part et d'autre du collecteur.

L'étude des résultats du collecteur pilote devra donc se faire en utilisant successivement les deux modèles, le modèle général pour étudier la répartition des rabattements dans l'espace, le modèle plan vertical pour y

.../...

reporter ces rabattements et en déduire la progression de l'interface,

B/ Projets de captage par collecteur de l'ensemble de la ressource en régime stabilisé.

On a voulu calculer, en régime permanent, quel serait l'état piézométrique de l'aquifère pour différentes hypothèses de captage, à savoir :

- captage totalement côtier, à 400 m environ du rivage
- captage côtier dans la partie Nord-Est, mais captage plus en amont (à 1 500 m de la côte) dans la partie Sud-Ouest, pour se placer en amont de la zone peu perméable située entre le forage C 14-15 et la mer.
- augmentation des prélèvements au voisinage de la plaine des Moknas, pour y rabattre davantage la nappe à des fins de drainage.

On supposera que la transmissivité et l'infiltration moyenne restent les mêmes que celles déterminées lors du calage.

1/ Collecteur complet côtier à 65 %

Le collecteur est situé dans la première maille qui borde la maille à potentiel imposé représentant la mer, soit à 400 m de celle-ci environ. Il s'étend de la maille 40 à la maille 300, soit sur 6,800 km. En chaque maille on pompe 65 % du flux s'écoulant naturellement en mer, tel qu'il ressort du calage en permanent réalisé (Planche 7). Ce débit est supposé prélevé de façon continue, et un régime stabilisé s'être établi. La somme des débits ainsi pompés est de 370 l/s.

On a cependant ajouté à ce collecteur une branche perpendiculaire à la côte, des mailles 44 à 48, destinée à capter le flux s'échappant vers l'oued Zouarn. Ce petit collecteur s'étend sur 1,500 km et pompe au total 90 l/sec.

.../...

Ce qui porte à 460 l/sec le débit total continu capté, pour une longueur de collecteur de 8,300 km. Ces collecteurs pourraient être réalisées par une série de forages tas les 100 ou 200 m.

Le chiffre de 65 % de récupération choisie vient de l'essai en permanent réalisé sur le modèle plan vertical, qui avait donné de bons résultats quant à l'avancée du biseau.

La carte piézométrique obtenue est représentée Planché 8. Le long du collecteur, la charge est généralement voisine de 2 m, cependant, devant la zone peu perméable située à la hauteur du forage C 14-15, la charge devient beaucoup plus faible et tombe jusqu'à 0,30 m. Comme ces charges sont des valeurs moyennes sur les mailles, ceci paraît beaucoup trop peu pour assurer la protection contre l'arrivée de l'eau salée, et à cet endroit le collecteur obtier ne semble pas justifié.

Nous allons donc tester un collecteur plus amont dans cette zone.

2/ Collecteur mixte complet à 65 %

On a simplement déplacé vers l'amont la branche du collecteur précédent pour la mettre en amont de la zone peu perméable. On obtient ainsi :

- collecteur côtier à 400 m de la mer, de la maille 40 à la maille 169, soit sur 3,750 km, captant 215 l/sec.

- Collecteur amont à 1 500 m de la mer, de la maille 167 à 235 puis à 1 800 m de la mer de la maille 254 à 288, soit en tout sur 2,400 km, captant 125 l/sec.

- Collecteur perpendiculaire à la mer, proche de la plaine des Moknas pour tenter de la drainer, de la maille 306 à 309 soit sur 0,750 km, captant 30 l/sec.

- Collecteur perpendiculaire à la mer, pour capter l'eau s'écoulant vers l'Oued Louarn, comme sur le passage précédent, de la maille 44 à la maille 48, soit sur 1,500 km et captant de même 90 l/sec.

Soit au total un débit capté de 460 l/sec avec 8,400 km de collecteur.

.../...

La carte piézométrique obtenue est représentée Plaque 9.

On constate que, pour un débit total capté équivalent, la charge obtenue est plus régulière et est partout supérieure au mètre, mis à part trois mailles au Nord-Est (40, 51, 61) situées au bord de la rampe du substratum, et par conséquent mal alimentées.

En point de vue de drainage de la plaine des Nekras, l'influence est très sensible, on a rabattd la nappe entre 2,50 m et 1 m dans les mailles voisines du collecteur, par rapport au passage précédent de 0,60 m à 1,500 m environ vers le Sud Est.

Depuis, il faut noter que ces pompes ont inversé le sens des circulations au voisinage de l'Oued Berkousch, alors que celui-ci tirait la nappe dans le passage précédent à collecteur entièrement obturé (22 L/sec sur les 4 premières mailles, 336, 337, 323, 324, 310), maintenant il est supposé alimenter la nappe, sur les mêmes mailles, de 26 L/sec. Ceci provient de la répartition de la liaison de l'oued avec la nappe, qui peut fonctionner dans un sens comme dans l'autre. Mais cette alimentation de la nappe par l'oued ne se fera que s'il existe de l'eau disponible pour l'infiltration dans l'oued : sinon les rabattements dans la plaine des Nekras seraient encore plus importants.

Les passages qui suivent vont tester l'influence sur ce drainage d'une augmentation des débits pompés dans cette branche de collecteur proche de la plaine des Nekras. On a résolument laissé la liaison Berkousch - nappe, qui va donc alimenter la nappe encore davantage : cette hypothèse occulterait en effet une approche pessimiste du drainage de la plaine des Nekras.

V/ Collecteur reste tirant toujours les Nekras

n/ Pompes à 59 m

L'ensemble des collecteurs restent identiques à ceux du passage précédent, sauf celui de 750 m des mailles 306 à 308, proche des Nekras, dont le débit passe de 30 à 50 L/sec. Le résultat est présenté Plaque 10.

Par rapport au passage précédent, on engendre ainsi un

.../...

rabattement supplémentaire de 1 à 2 m dans les mailles voisines du collecteur et de 0,30 m à 1 500 m.

Le reste de la piézoétrie est pratiquement inchangé.

Mais le débit amont par l'oued Berkoukeh dans les 5 premières mailles passe de 26 l/sec à 42 l/sec : l'essentiel du débit pompé dans ce collecteur est censé provenir de l'oued, s'il n'en était pas ainsi, les rabattements engendrés seraient plus importants.

b/ Pompage à 70 %

On a maintenant augmenté l'ensemble des débits de toutes les branches du collecteur défini sur les deux passages précédents, afin d'augmenter le taux d'exploitation de 65 à 70 % du débit s'écoulant dans chaque maille p-mpée. Ceci donne :

- collecteur côtier, maille 40 à 169, sur 3,750 km, débit 232 l/sec
- collecteur amont, maille 187 à 236 et 254 à 288, sur 2,400 km, débit 133 l/sec.
- collecteur plaine des Mekmas, maille 306 à 300, sur 0,750 km, débit 63 l/sec.
- collecteur du Zouara, maille 44 à 48, sur 1,500 km, débit 98 l/sec.
- debit total = 514 l/s

La carte piézoétrique correspondante est représentée Planche 11 ; on constate que sur la maille voisine de la mer la charge a diminué de 20 à 40 cm. La charge est un peu basse en regard du collecteur côtier, mais pourrait encore être réduite en regard du collecteur amont.

a/ Pompage à 75 %

Une nouvelle augmentation de tous les débits donne

- collecteur côtier, sur 3,750 km, débit 249 l/sec
- collecteur amont, sur 2,400 km, débit 143 l/sec
- collecteur Mekmas, sur 0,750 km, débit 68 l/sec.

.../...

- collecteur Zouara, sur 1,500 km, débit 105 l/s

total 565 l/s

La carte piézométrique est représentée Planche 12.

On obtient entre 20 et 40 cm supplémentaire de rabattement par rapport au passage précédent. Les charges sont vraiment trop basses vis à vis du collecteur côtier, mais encore relativement élevées vis à vis du collecteur amont. Une meilleure répartition de ces débits est donc souhaitable.

4/ Conclusion sur le captage en permanent

Ces premières exploitations cherchent seulement à dégrossir le problème de l'implantation du collecteur. On peut en tirer à l'heure actuelle les conclusions suivantes :

- dans la partie Nord Ouest de la dune, le collecteur amont à 1 500 m de la mer est préférable au collecteur côtier, à cause de la zone de faible transmissivité qui fait écran aux écoulements.
- il est possible de capter au moins 100 l/sec de l'eau s'écoulant vers l'ouest Zouara par un collecteur parallèle à cet ouest.
- des captages dans la dune au voisinage de la plaine des Meknes aurait un effet très bénéfique sur le drainage de cette plaine, même si le débit pompé est relativement faible (50 l/sec).

C -) Simulation du collecteur complet mixte sur 20 ans à 90 %

On a voulu simuler le comportement du collecteur complet mixte décrit au paragraphe B-3 précédent en régime transitoire sur 20 ans. Ce collecteur ne représente certes pas le projet définitif, qui devra être testé simultanément sur les deux modèles, mais on attend de cette simulation une confirmation de l'ordre de grandeur avancé sur le modèle vertical de la "réserve unique" (one time reserve) que l'on peut exploiter une seule fois.

.../...

Voici les débits continus pompés, correspondant à environ 90 % du flux transitant dans les mailles pompées :

- collecteur côtier, sur 3,750 km ; débit 283 l/sec
- collecteur mont, sur 2,400 km , débit 171 l/sec
- collecteur Mukna, sur 0,750 km , débit 61 l/sec
- collecteur Zouarn, sur 1,500 km, débit 126.1/sec

total 661 l/sec pour
8,400 km de collecteur.

La simulation prise pour état initial le régime permanent sans pompage représenté Flanche 5, c'est à dire le résultat du colage. On suppose également que la transmissivité reste constante (on néglige la variation d'épaisseur mouillée de la nappe), et que l'infiltration est répartie uniformément au long de l'année et à la valeur établie par le colage. Autrement dit, on néglige les faibles oscillations saisonnières de la nappe. Le coefficient d'emmagasinement de la nappe libre vaut toujours 15 %.

Le tableau suivant donne les évolutions des rabattements avec le temps en différents points de l'aquifère.

Maille n°	24	46	112	117	123	250	254	256	263	307	337	341	367
Distance à la mer	3,000	3,000	375	2250	4500	375	1875	3375	5250	3000	3000	4500	3000
1 mois	0,1	2,1	1,7	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0
6 mois	1,3	5,6	3,7	0,5	0,0	0,1	5,4	0,9	0,1	6,8	0,5	0,0	0,0
1 an	2,2	7,5	4,3	1,6	0,4	0,3	6,2	2,5	0,4	8,8	0,9	0,1	0,1
3 ans	3,6	10,8	5,3	5,0	3,6	0,7	13,9	6,9	2,5	12,5	1,6	1,0	0,5
5 ans	4,1	12,3	5,8	7,2	6,8	0,9	16,5	9,3	4,4	14,1	1,9	2,0	0,8
8 ans	4,6	13,6	6,2	9,0	9,5	1,0	18,5	11,4	6,7	15,3	2,1	3,2	1,1
11 ans	4,8	14,3	6,4	10,0	11,1	1,1	19,6	12,5	8,3	16,0	2,2	4,2	1,2
14 ans	5,0	14,7	6,5	10,6	12,0	1,1	20,2	13,2	9,3	16,4	2,3	4,8	1,3
17 ans	5,0	14,9	6,6	10,9	12,5	1,1	20,5	13,6	10,0	16,6	2,3	5,3	1,4

20 ans	5,1	15,1	6,6	11,1	12,7	1,1	20,3	13,9	10,4	16,7	2,4	5,6	1,4
Charge à 20 ans	9,1	8,7	-0,1	16,1	27,1	1,3	13,1	26,0	13,6	19,5	28,8	42,5	26,7

RABATTEMENT DANS LE NAVY COLLECTEUR MIXTE COMPLET A 204

La carte piéométrique, au bout des 20 ans et la carte correspondante des rabattements sont représentées Planches 13 et 14.

On constate :

- que l'essentiel du rabattement est obtenu dans les 10 premières années de fonctionnement, mais que, dans les parties amont de la nappe, le rabattement continue encore jusqu'à 20 ans, et même probablement au-delà, bien que les réserves aient en oeuvre deviennent négligeables.
- que, pour le collecteur côtier, on obtient des charges pratiquement nulles entre le collecteur et la mer, après 11 ans et jusqu'à 20 ans, ce qui avait déjà été obtenu sur le modèle plan vertical.
- mais que la répartition des débits choisis n'est pas optimale : sur le collecteur côtier, les trois mailles en aval de la remontée du substratum (40, 51, 61) sont mal alimentées et ont un rabattement trop important (charges voisines de zéro dès 3 ans). De plus, on pompe trop sur le collecteur côtier, et pas assez sur le collecteur amont : ce collecteur amont récupère les eaux qui auparavant s'évacuaient vers la zone perméable centrale du collecteur côtier (effet de drain de la zone centrale ajouté à l'effet de barrière de la zone peu perméable Nord-Ouest).
- Enfin, que les rabattements sont beaucoup plus importants pour les collecteurs amont que pour le collecteur côtier, du fait du rôle de limite joué par la mer, même en l'absence d'envahissements importants de l'interface.

En conclusion de cet essai, on peut dire que le projet de collecteur complet doit s'orienter vers un renforcement des débits du collecteur

.../...

ament, le collecteur côtier étant limité à la zone centrale. Les calculs réalisés ne contredisent pas les estimations de durées de vie avancées avec le modèle plan vertical (15 à 20 ans en pompant à 90 % des ressources).

Il reste à préciser ce projet et à le tester sur les deux modèles : l'hypothèse d'un collecteur final amont, mise en route entre 15 et 20 ans après le collecteur côtier, reste aussi à tester avant de proposer le projet de captage. Enfin le travail des économistes conduira peut-être à tester des hypothèses de captage par forages répartis dans la dune, au cas où celle-ci pourrait être mise en partie en culture.

VI. CONCLUSION

Le calage en régime permanent du modèle plan horizontal de la dune de Hafza (versant maritime seul) a permis d'estimer la ressource moyenne de l'aquifère à 850 l/sec se décomposant comme suit :

- débit s'écoulant en surface 620 l/sec
- débit drainé par l'oued Zouara 170 l/sec
- débit drainé par l'oued Berkoukch 60 l/sec

Cette évaluation n'est pas optimiste en regard des valeurs de transmissivité mesurées, que nous avons systématiquement tenté de minorer sur le modèle, afin de ne pas surestimer la ressource.

Via à via de la pluviométrie relevée dans la région, cette ressource correspond à une infiltration efficace de 500 mm/an, soit 45 % de la pluie. Ce chiffre peut être très approximativement justifié par des calculs d'évapotranspiration basés sur la consommation en eau de la végétation, ainsi que sur une capacité au champ du sol de l'ordre de 100 mm. Elle n'est pas non plus anormale vue l'intensité et la concentration des orages dans le temps. Cette alimentation arrive, enfin, à la nappe de façon très uniforme tout au long de l'année, du fait du rôle joué par les lentilles argilieuses et de la grande épaisseur de sable sec qui la surmonte.

Un premier agencement du mode d'exploitation de cette ressource a été tenté. Il en ressort à l'heure actuelle les indications suivantes :

.../...

- le collecteur devra être situé en amont, à 1 500 m de la mer, pour la partie Nord-Ouest de l'aquifère. Il ne pourra rester le long de la côte que pour la partie centrale de la dur

- des ailes de ce collecteur devront drainer latéralement l'aquifère pour récupérer d'une part le débit drainé à l'heure actuelle par l'oued Zouira, et pour améliorer d'autre part le drainage de la plaine des Makmas, ce qui est nécessaire pour la mise en valeur, et se révèle efficace.

Le collecteur étudié jusqu'ici mesure environ 8,5 km de long et récupère 560 l/sec en débit fictif continu tout au long de l'année ; ce régime semble pouvoir être maintenu indéfiniment. Sous réserve du bon fonctionnement du collecteur pilote, ce débit devrait pouvoir être prélevé à raison de 1.120 l/sec pendant les 6 mois d'irrigation.

Il pourrait être porté à 700 l/sec ou plus pendant les 15 à 20 premières années de fonctionnement, quitte à déplacer ensuite vers l'amont la portion côtière du collecteur et à diminuer le débit.

Le projet définitif de captage sera établi par la suite après l'examen des propositions des économistes, en testant les hypothèses définitives de captage à la fois sur le modèle plan vertical précédemment construit (pour étudier le comportement de l'interface eau douce-eau salée) et sur le modèle plan horizontal actuel (pour définir la mise à contribution dans l'espace de la ressource).

Enfin, l'examen du comportement du collecteur pilote permettra d'arrêter définitivement le projet.








COLLECTEUR COTIER DE NEPTA

EXTENSION DES LENTILLES ARGILEUSES

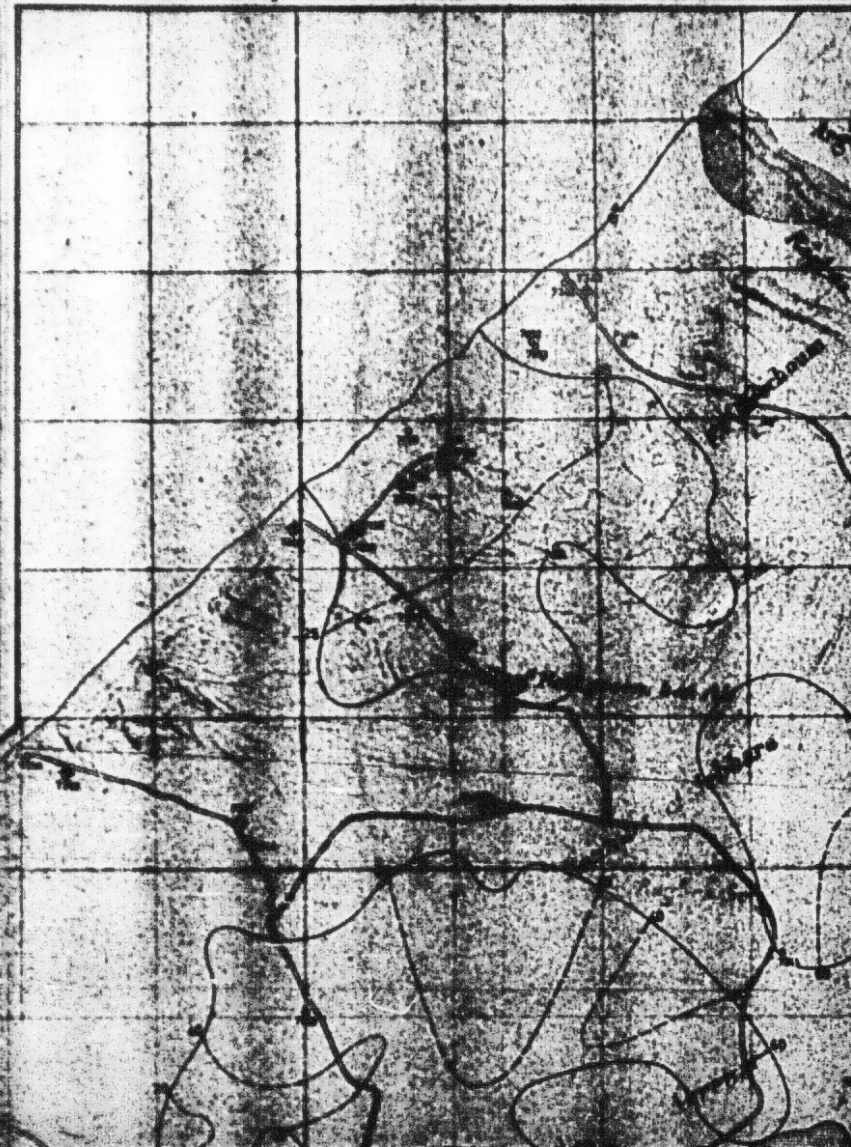
ÉCHELLE 1:25 000

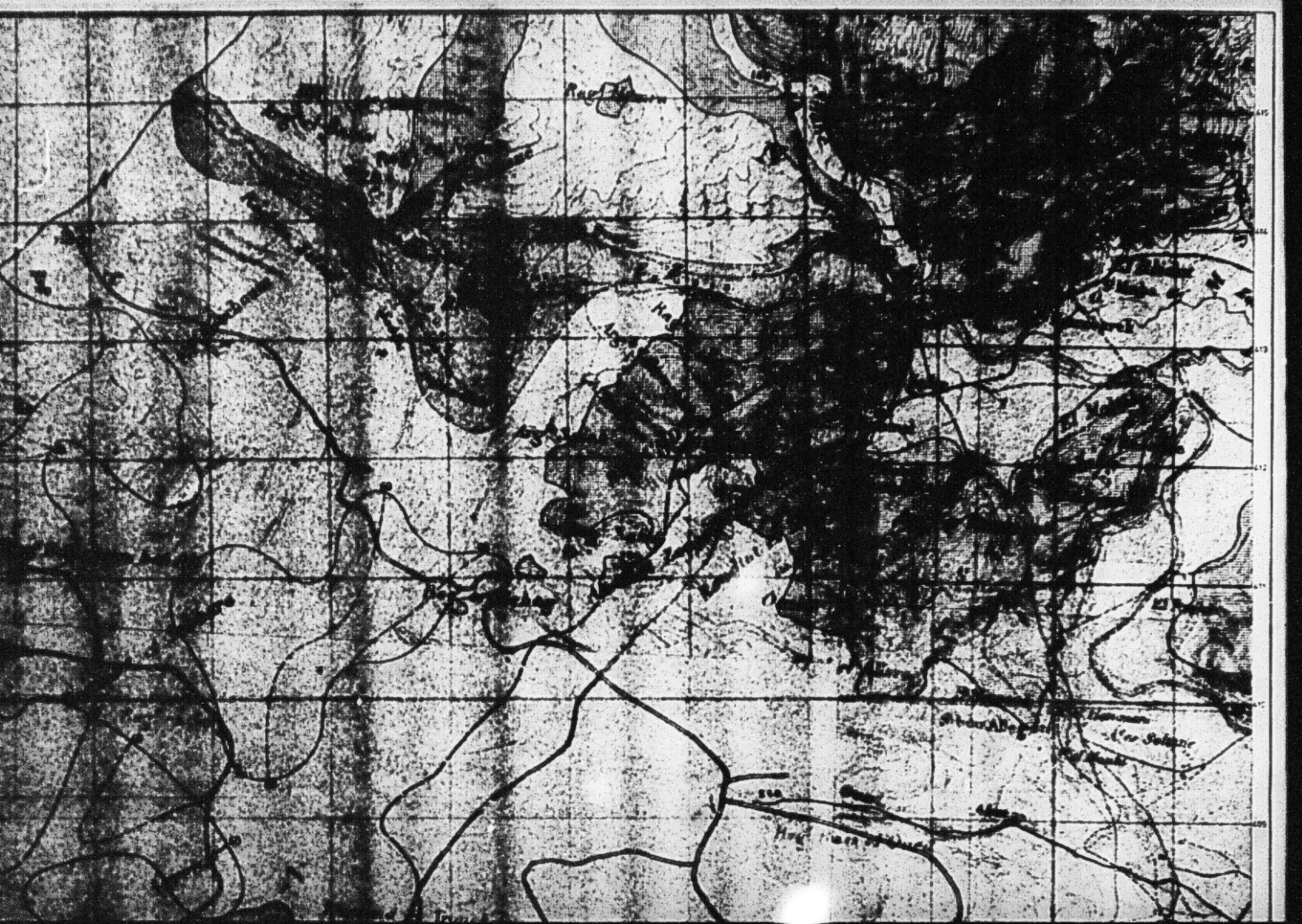







LEGENDE

-  Substratum indifférencié
-  Alluvions
-  Sables éoliens
-  Forage et son numéro
-  Pésomètre et son numéro
-  Ligne de partage des eaux superficielles
-  Côte absolue du toit de la lentille

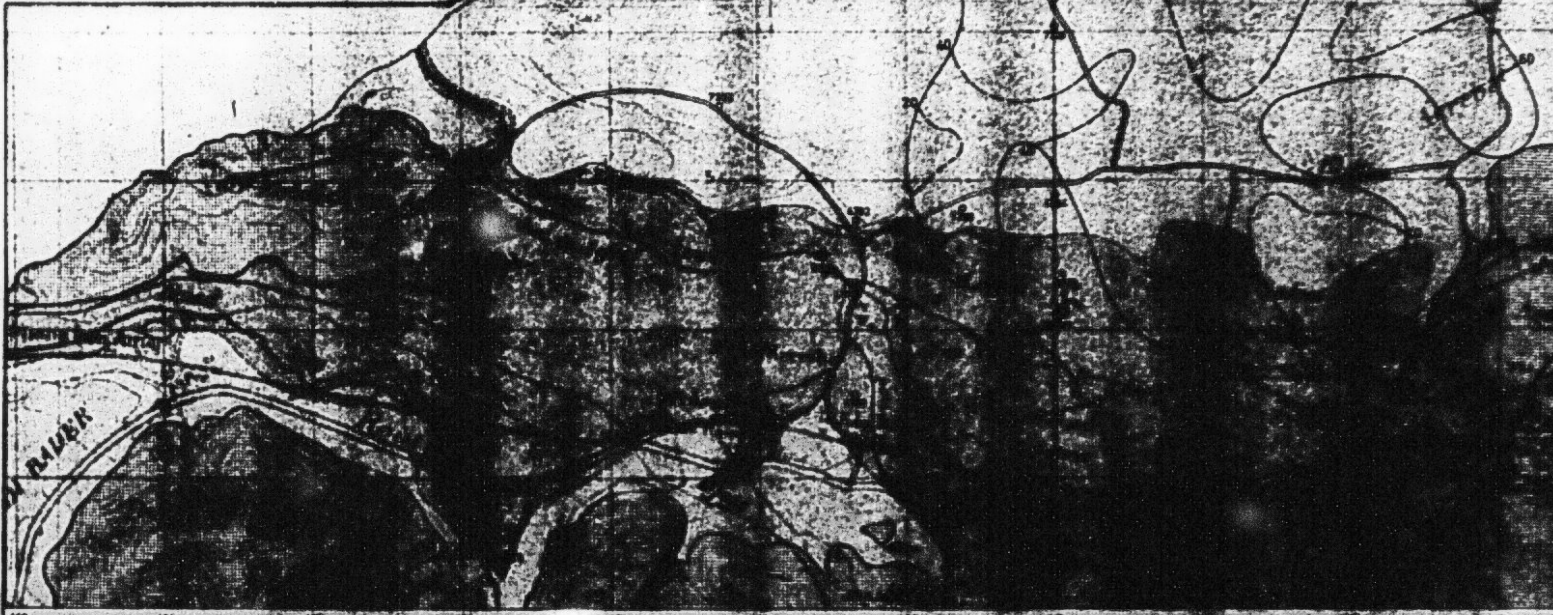
Le réseau des rivières et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOISSE.










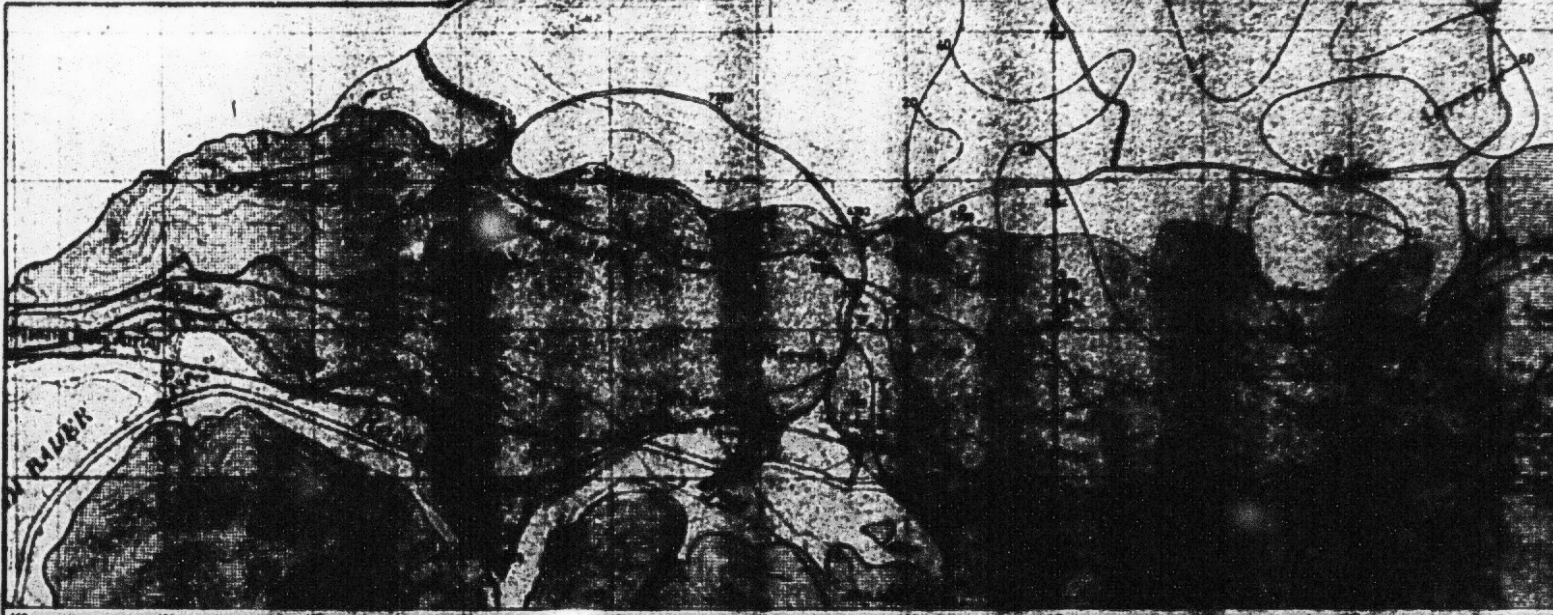
-  Sables grisâtres
-  Forage et son numéro
-  Piézomètre et son numéro
-  Ligne du partage des eaux superficielles
-  Cote absolue du toit de la lentille

Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord avec les coordonnées géographiques d'origine VOIRDI.



-  Sables purses
-  Forage et son numéro
-  Pizomètre et son numéro
-  Ligne de partage des eaux superficielles
-  Cote absolue du toit de la lentille

Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOIRDI.


















683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694

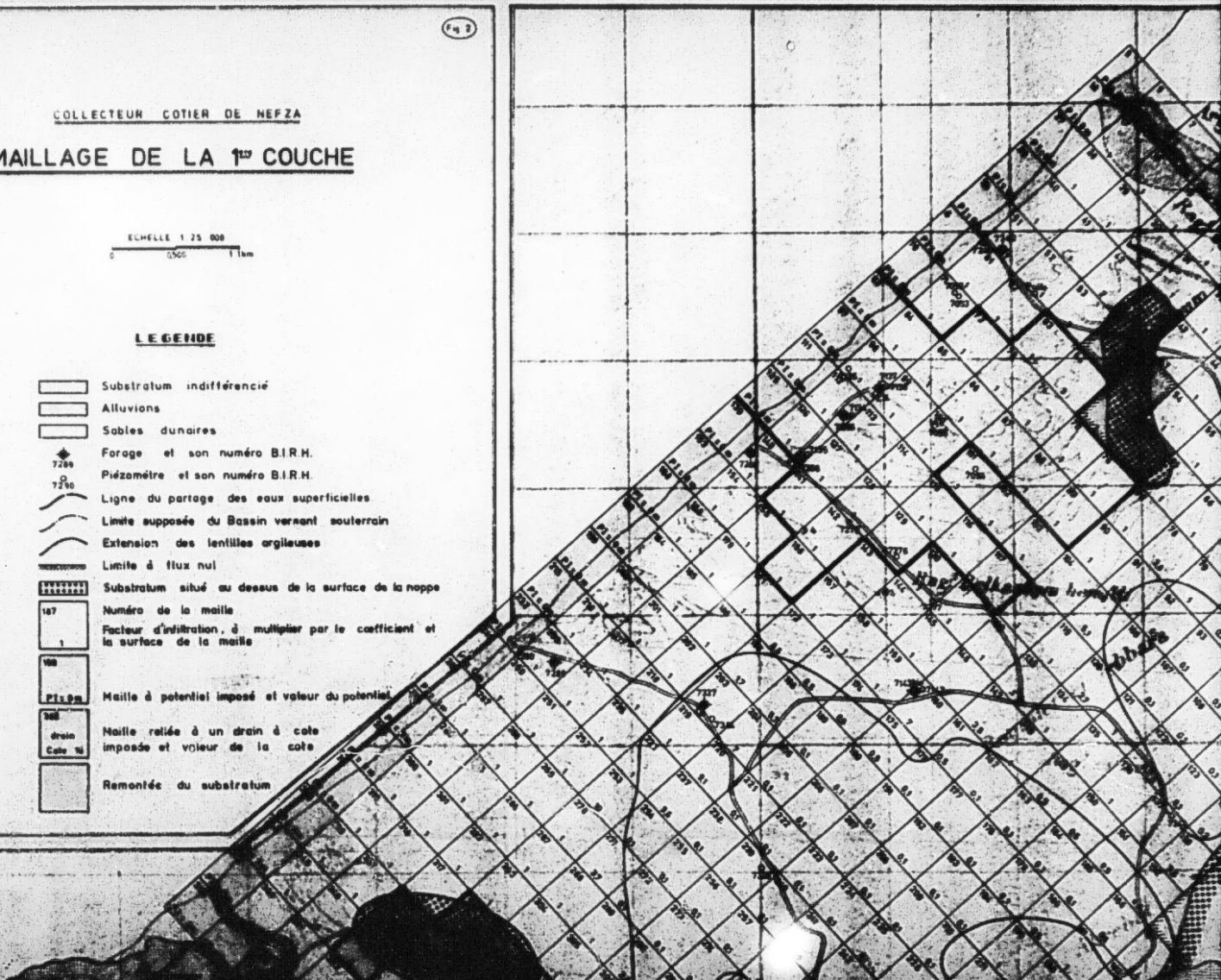
COLLECTEUR COTIER DE NEFZA

MAILLAGE DE LA 1^{RE} COUCHE

ECHELLE 1 25 000
0 500 1 km

LEGENDE

-  Substratum indifférencié
-  Alluvions
-  Sables dunaires
-  Forage et son numéro B.I.R.H.
-  Piézomètre et son numéro B.I.R.H.
-  Ligne du partage des eaux superficielles
-  Limite supposée du Bassin versant souterrain
-  Extension des lentilles argileuses
-  Limite à flux nul
-  Substratum situé au dessous de la surface de la nappe
-  Numéro de la maille
-  Facteur d'infiltration, à multiplier par le coefficient et la surface de la maille
-  Maille à potentiel imposé et valeur du potentiel
-  Maille reliée à un drain à cote imposée et valeur de la cote
-  Remontée du substratum





SUITE EN

F

2



MICROFICHE N°

50282

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

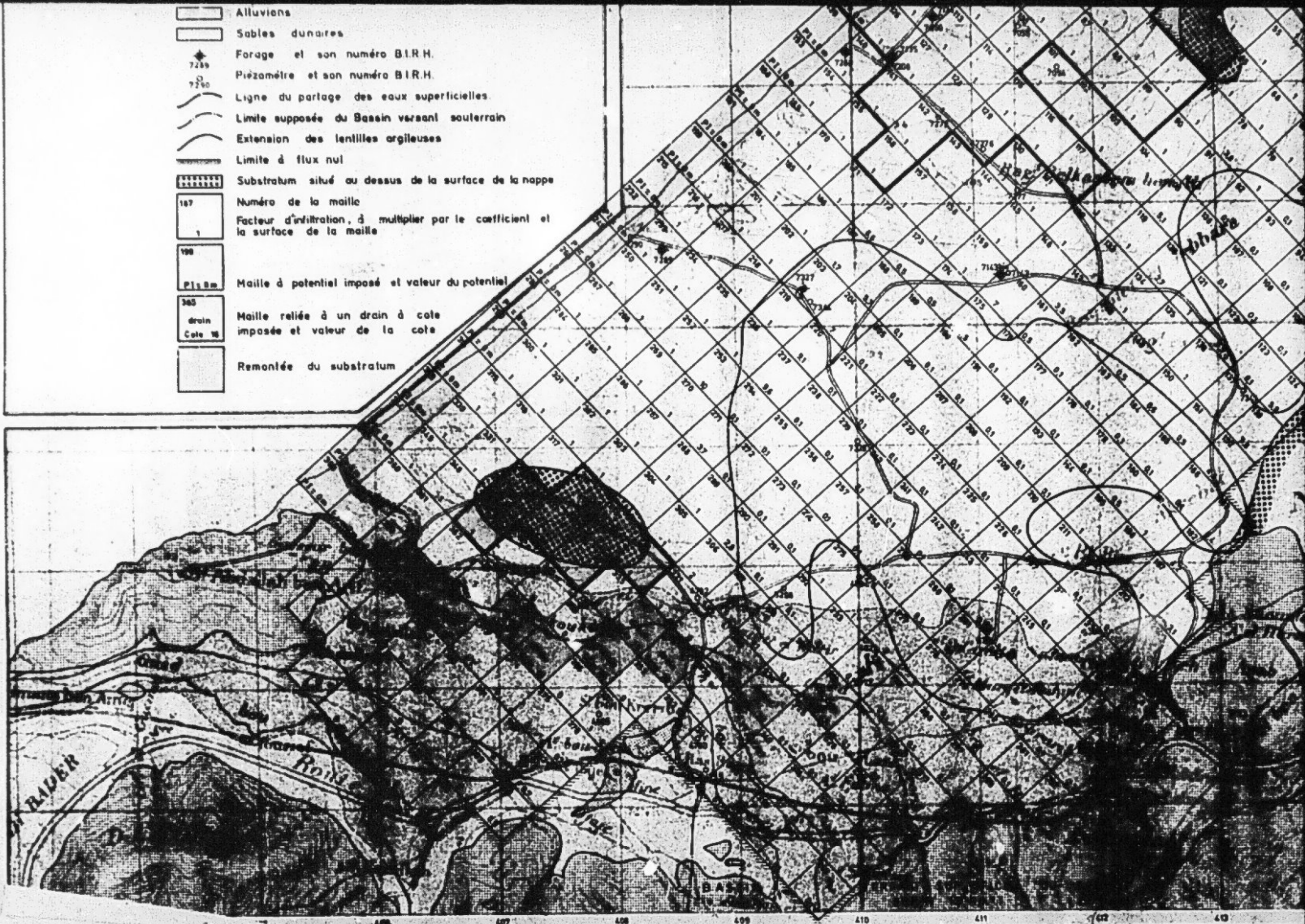
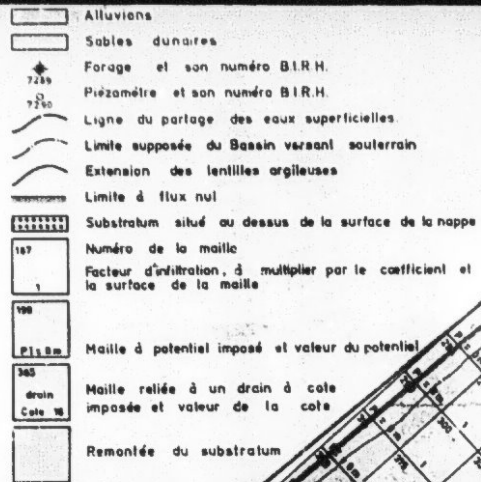
CENTRE NATIONAL DE
DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

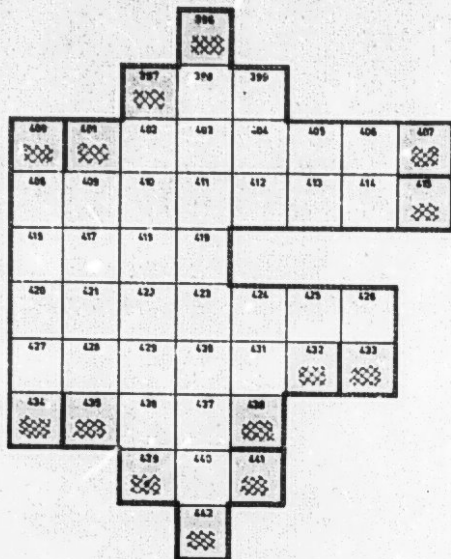
الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 2



MAILLAGE DE LA 2^{ème} COUCHE



Maille fictive en communication directe avec la couche 1

Limite blanche entre maille

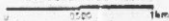
Maille normale de la 2^{ème} couche

Cette couche se situe sous la 1^{ère} couche;
la maille 408 vient sous la maille 79, et la 434 sous la 129.
Cette portion d'aiguillette est représentée sur les listings en bas et à
droite de la 1^{ère} couche

COLLECTEUR COTIER DE NEFZA

CARTE DES EPAISSEURS DE LA NAPPE

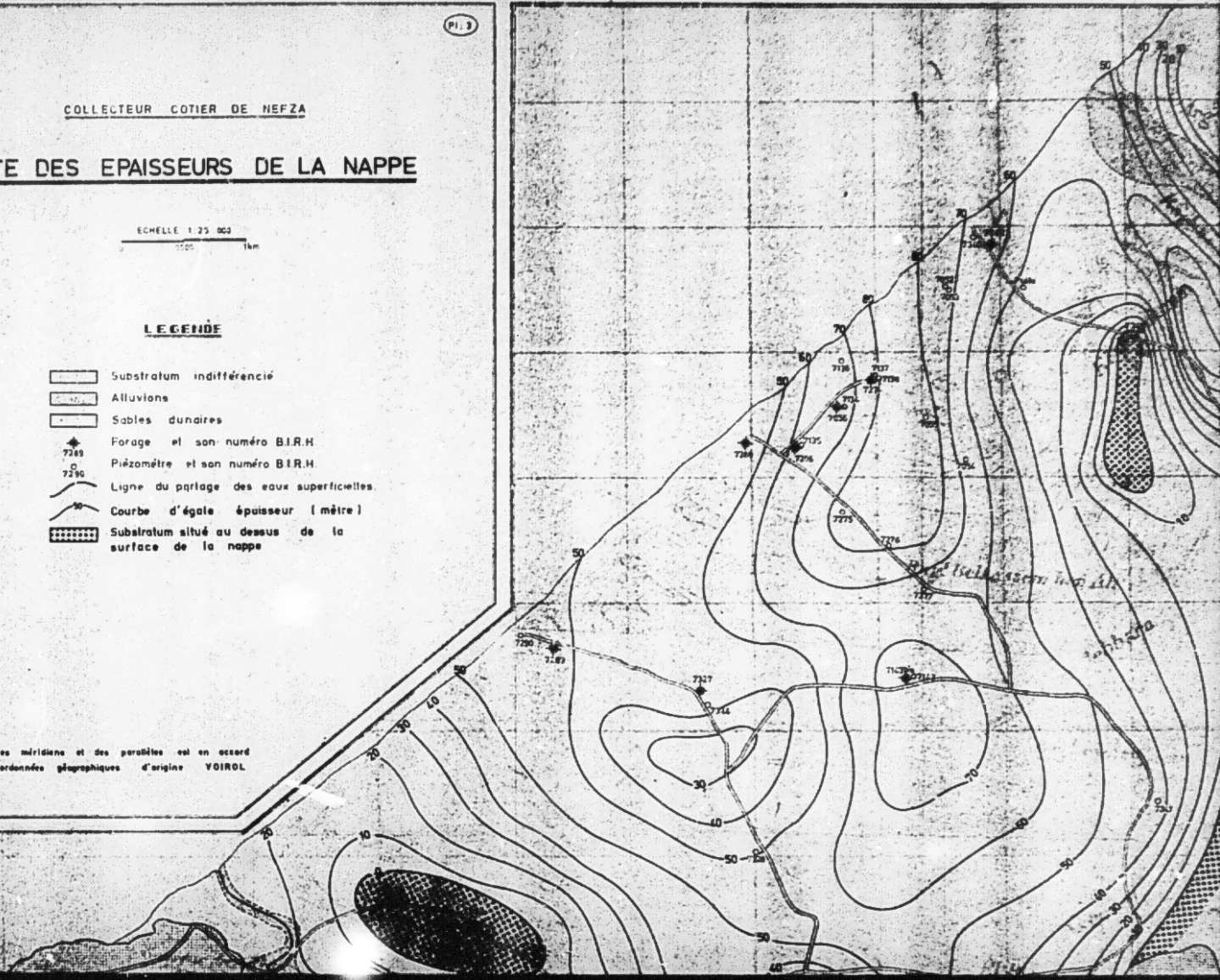
ECHELLE 1:25 000

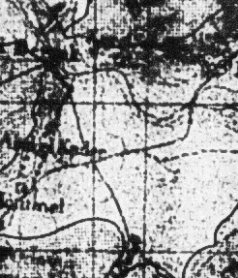








LEGENDE

- Substratum indifférencié
- Alluvions
- Sables dunaires
- Forage et son numéro B.I.R.H.
- Piézomètre et son numéro B.I.R.H.
- Ligne du partage des eaux superficielles.
- Courbe d'égalité épaisseur (mètre)
- Substratum situé au dessus de la surface de la nappe

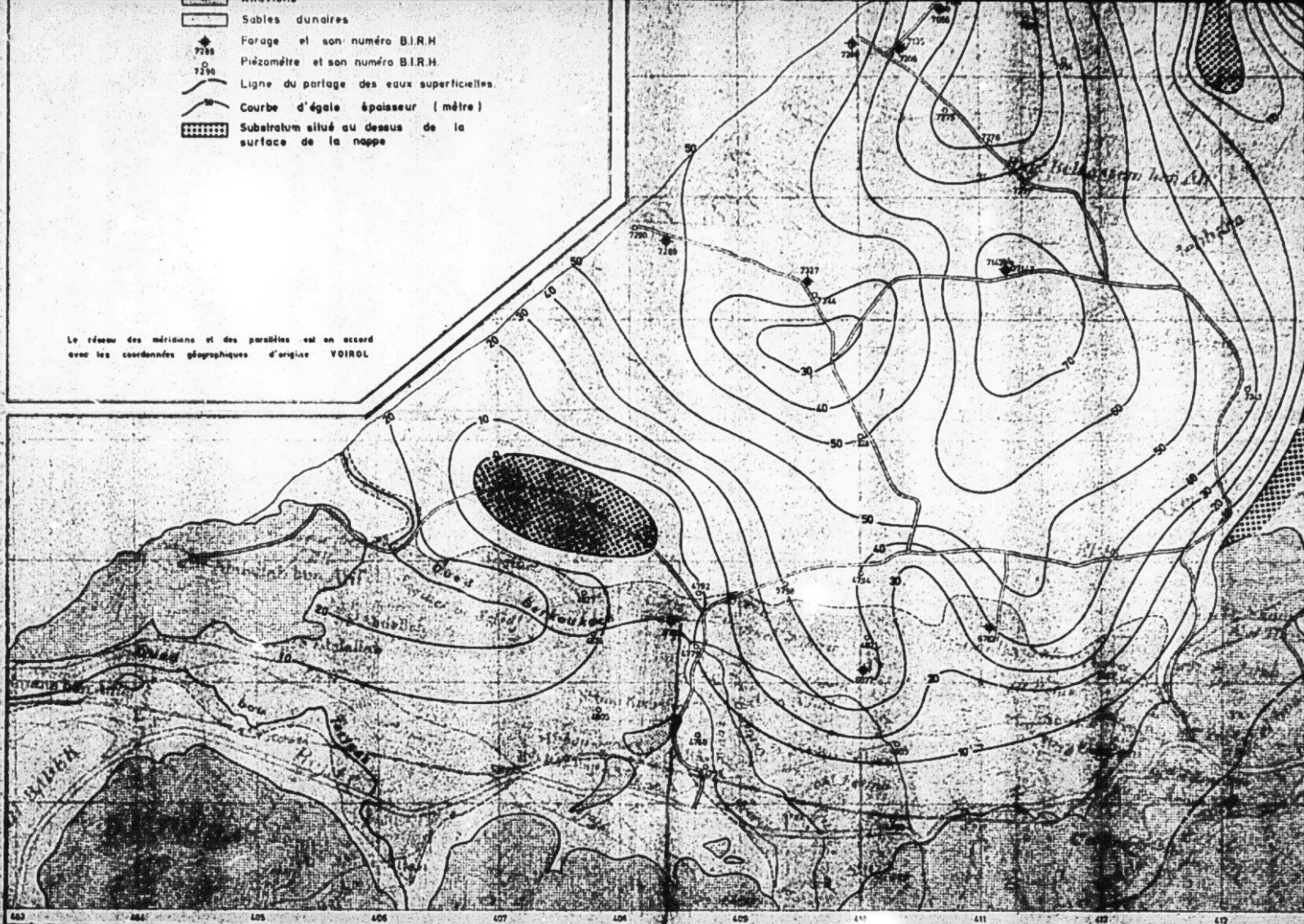
Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOIRD.





-  Sables dunaires
-  Forage et son numéro B.I.R.H.
-  Piézomètre et son numéro B.I.R.H.
-  Ligne du partage des eaux superficielles.
-  Courbe d'égale épaisseur (mètre)
-  Substratum situé au dessus de la surface de la nappe

Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOIROL












COLLECTEUR COTIER DE NEFZA

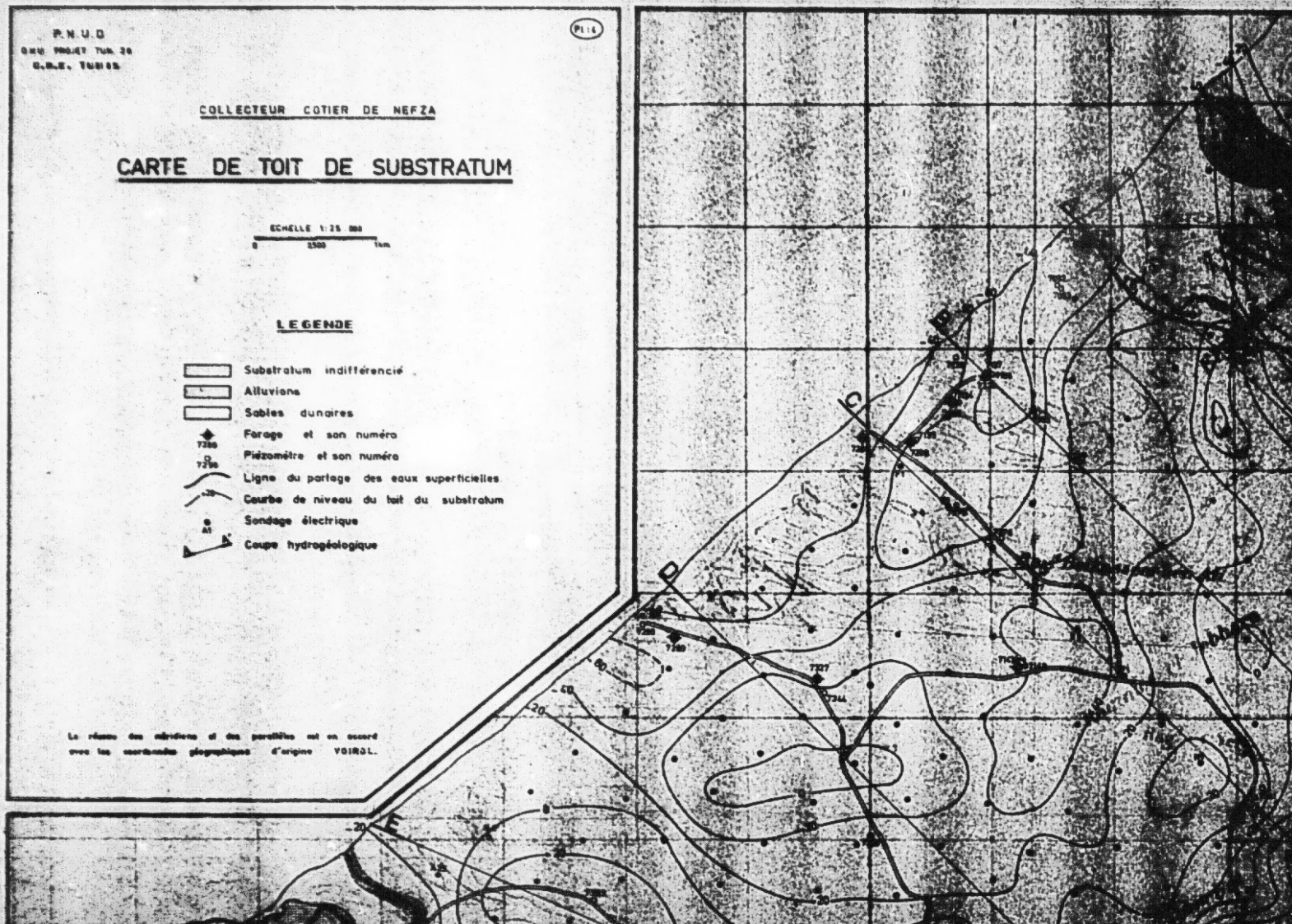
CARTE DE TOIT DE SUBSTRATUM

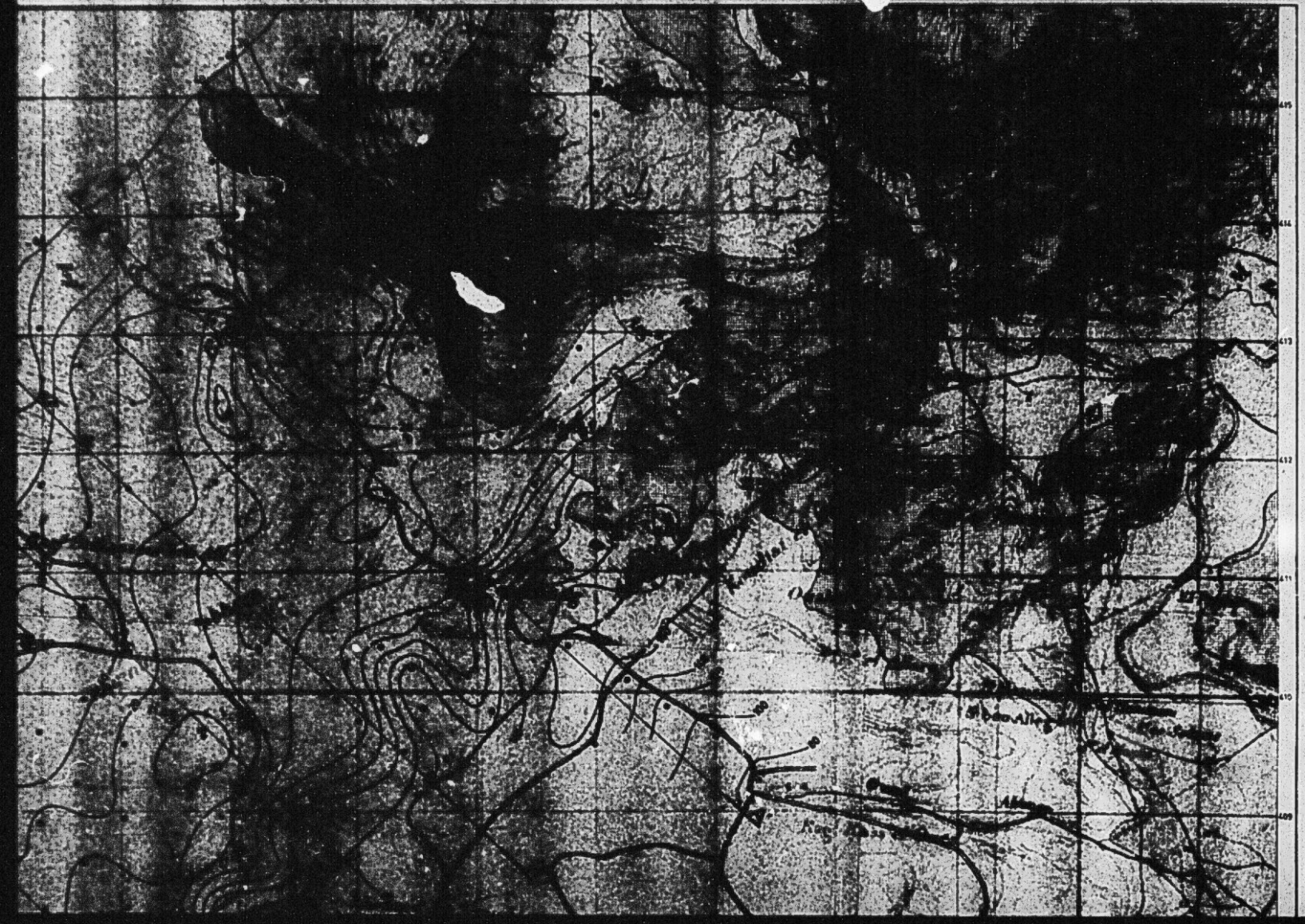
ECHELLE 1:25 000
0 2500 5000 10000








LEGENDE

-  Substratum indifférencié
-  Alluvions
-  Sables dunaires
-  Forage et son numéro
-  Piézomètre et son numéro
-  Ligne du partage des eaux superficielles
-  Courbe de niveau du toit du substratum
-  Sondage électrique
-  Coupe hydrogéologique

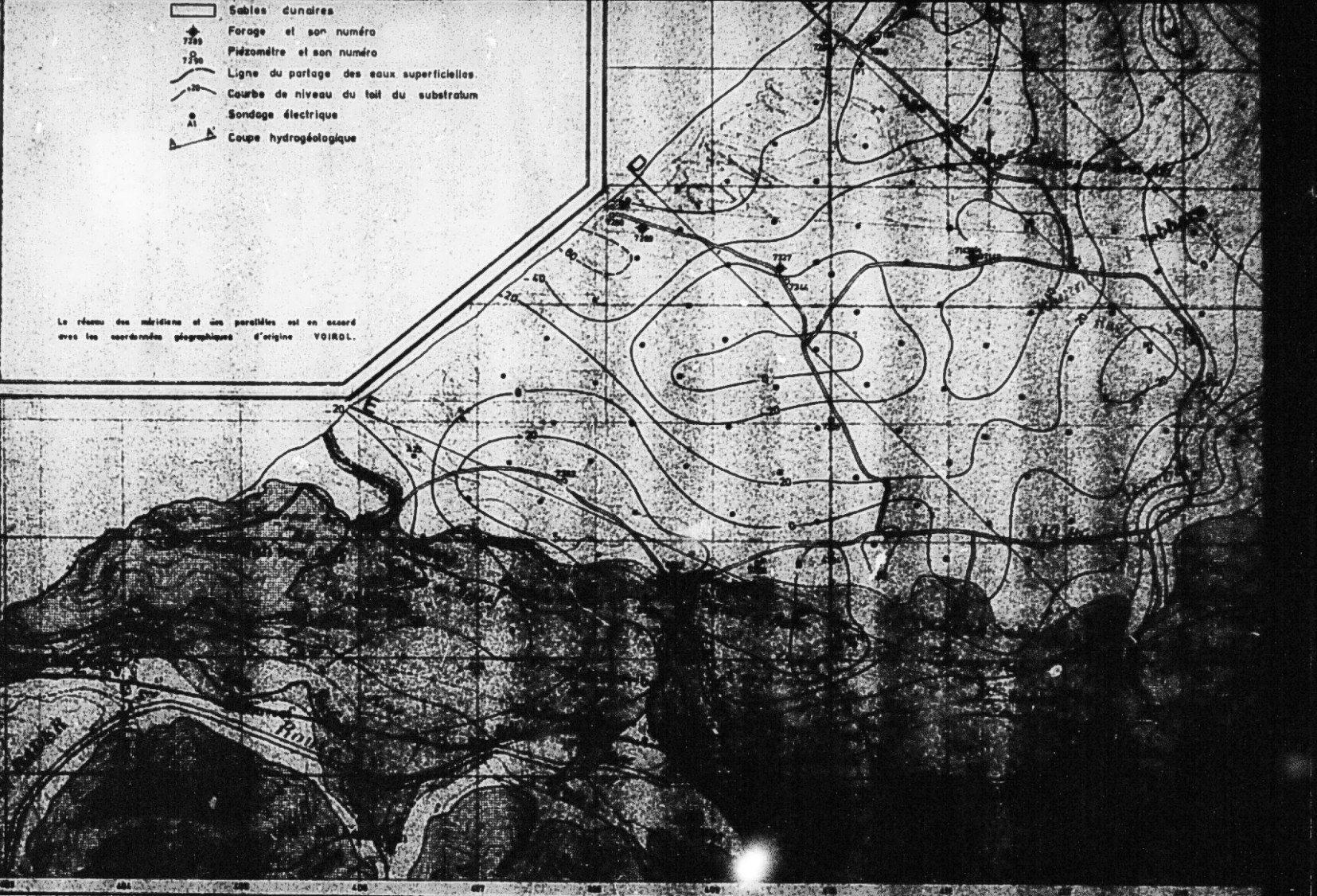
Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOIRSL.





-  Sables dunaire
-  Forage et son numéro
-  Piézomètre et son numéro
-  Ligne du partage des eaux superficielles
-  Courbe de niveau du toit du substratum
-  Sondage électrique
-  Coupe hydrogéologique

Le réseau des méridiens et des parallèles est en accord
avec les coordonnées géographiques d'origine VOIROL.





45.2

45.1

45.0

44.9

44.8

44.7

44.6

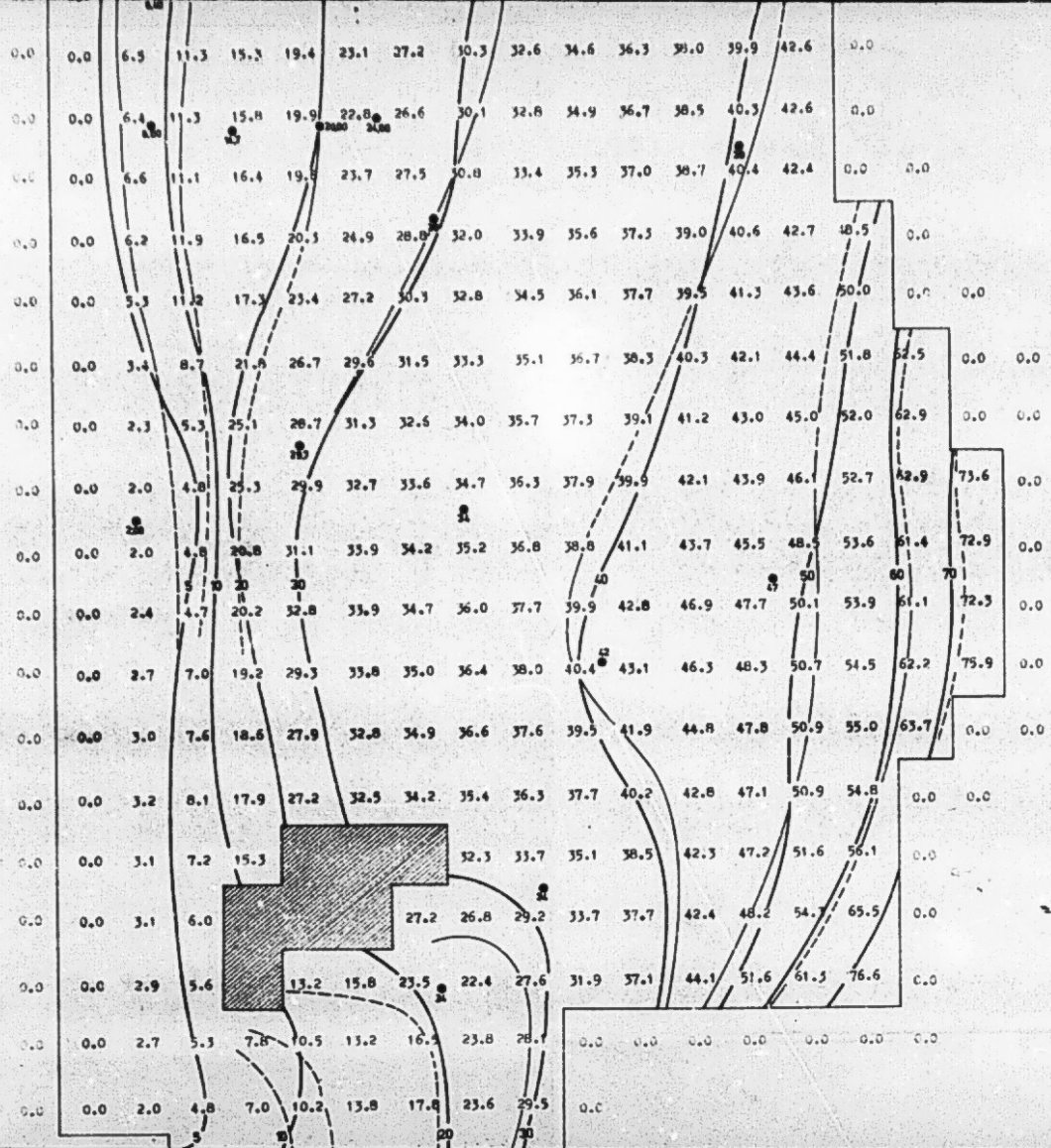
W. Hill

St. Louis

St. Louis

St. Louis

St. Louis



12 CONCRETE

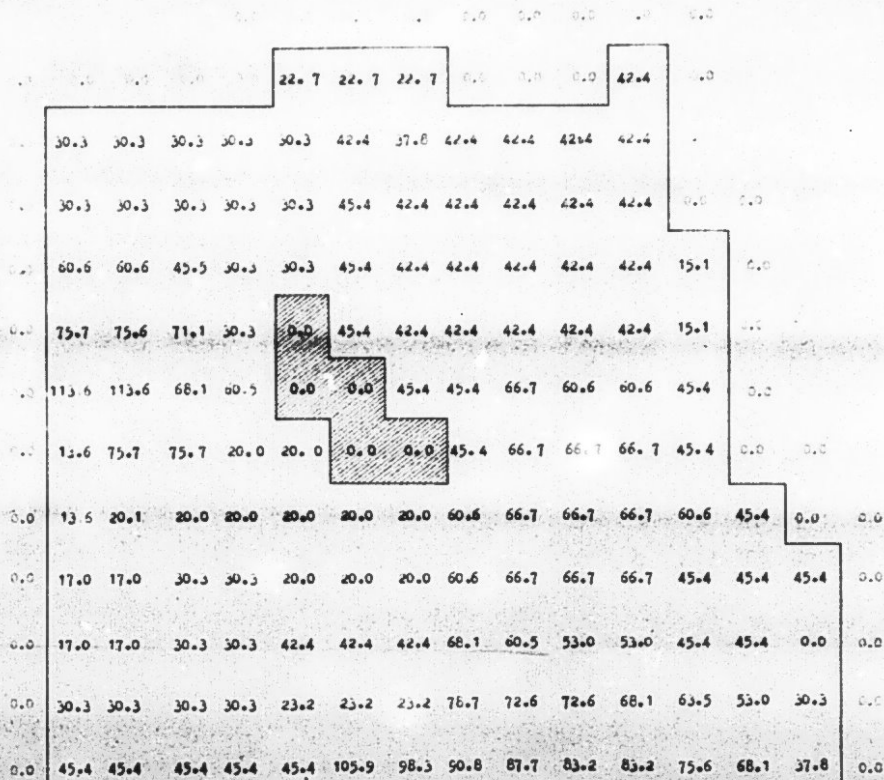
NAPPE DES DUNES DE NEFZA

MODELE PLAN HORIZONTAL

CARTE DES TRANSMISSIVITES

Legende

135 : Transmissivité ($10^{-4} m^2/s$)



0.0	17.0	17.0	30.3	30.3	42.4	42.4	42.4	68.1	60.5	53.0	53.0	45.4	45.4	0.0	0.0
0.0	30.3	30.3	30.3	30.3	23.2	23.2	23.2	76.7	72.6	72.6	68.1	63.5	53.0	30.3	0.0
0.0	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4	105.9	98.3	90.8	87.7	83.2	83.2	75.6	68.1	37.8	0.0
0.0	101.5	101.5	45.4	45.4	113.5	105.9	105.9	105.9	105.9	98.3	90.8	83.2	72.6	45.4	0.0
0.0	75.6	75.6	90.8	45.4	75.7	75.7	75.7	105.9	105.9	105.9	93.8	83.2	75.6	22.7	6.1
0.0	75.6	75.6	75.6	81.8	45.4	45.4	45.4	60.6	105.9	105.9	93.8	83.2	72.6	22.7	7.6
0.0	75.6	75.6	9.8	9.8	101.5	90.9	90.9	90.9	60.6	101.4	60.6	60.6	71.1	15.1	7.6
0.0	151.5	151.5	9.8	9.8	101.5	90.9	90.9	90.9	60.6	96.8	60.6	60.6	72.6	15.1	7.6
0.0	151.5	151.5	9.8	9.8	50.9	90.9	90.9	90.9	83.2	87.7	60.6	60.6	75.6	15.1	7.6
0.0	151.5	151.5	11.4	11.4	11.4	50.9	90.9	45.4	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	15.1	12.1
0.0	75.6	75.6	13.6	13.6	13.6	21.2	25.8	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	30.3	15.1	7.6
0.0	75.6	75.6	13.6	13.6	13.6	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	30.3	30.3	30.3	30.3	15.1
0.0	60.5	60.5	13.6	13.6	13.6	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	30.3	30.3	30.3	30.3	15.1
0.0	45.4	37.8	11.5	11.5	11.5	22.7	22.7	27.2	30.3	30.3	30.3	22.7	22.7	15.1	15.1
0.0	33.3	27.2	7.6	7.6	0.0	0.0	0.0	22.7	22.7	30.3	30.3	15.1	15.1	15.1	7.1
0.0	33.3	27.2	24.2	0.0	0.0	0.0	22.7	22.7	9.1	9.1	4.5	1.7	1.7	1.7	1.7
0.0	33.3	27.2	24.2	0.0	22.7	3.8	2.3	9.1	9.1	4.5	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
0.0	36.3	33.3	30.3	28.7	3.8	3.8	2.3	2.3	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

18 COUCHE

NAPPE DES DUNES DE NEFZA

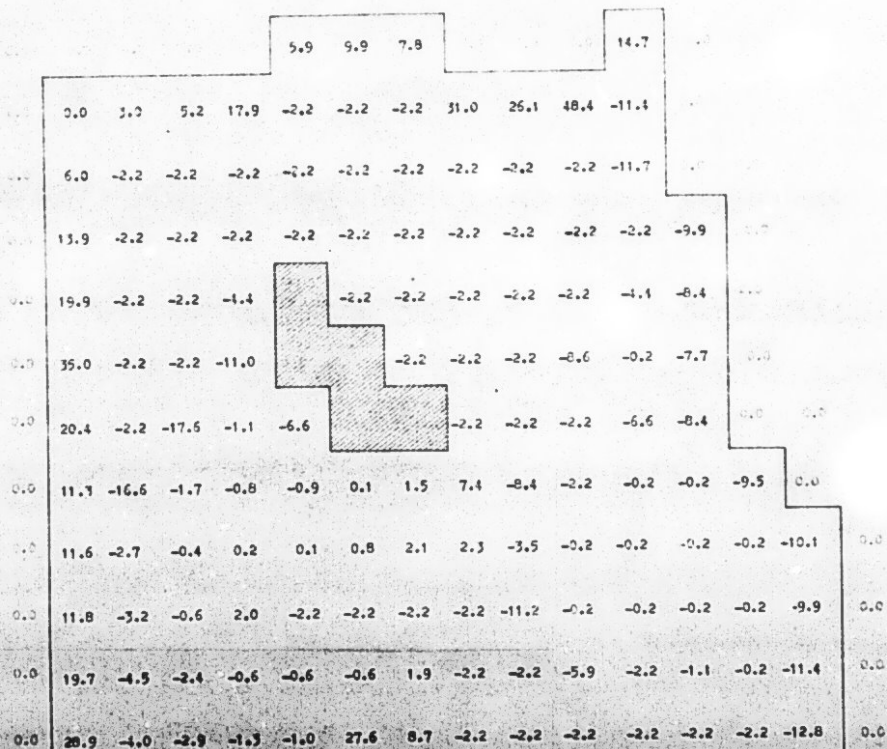
MODELE PLAN HORIZONTAL

DEBITS D'INFILTRATION
ET DE DRAINAGE

Légende

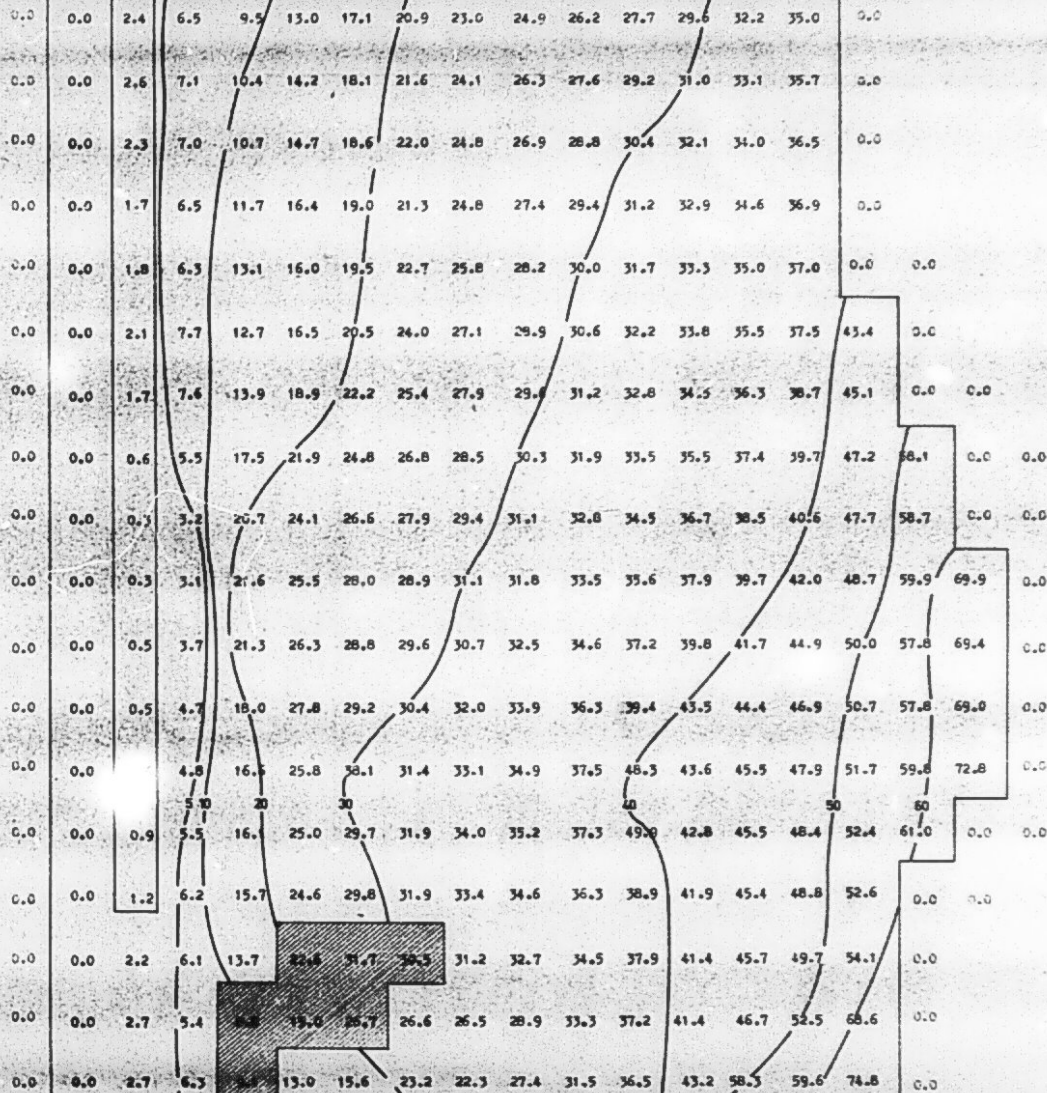
26.1 : Drainage (l/s)

-2.2 : Infiltration (l/s)

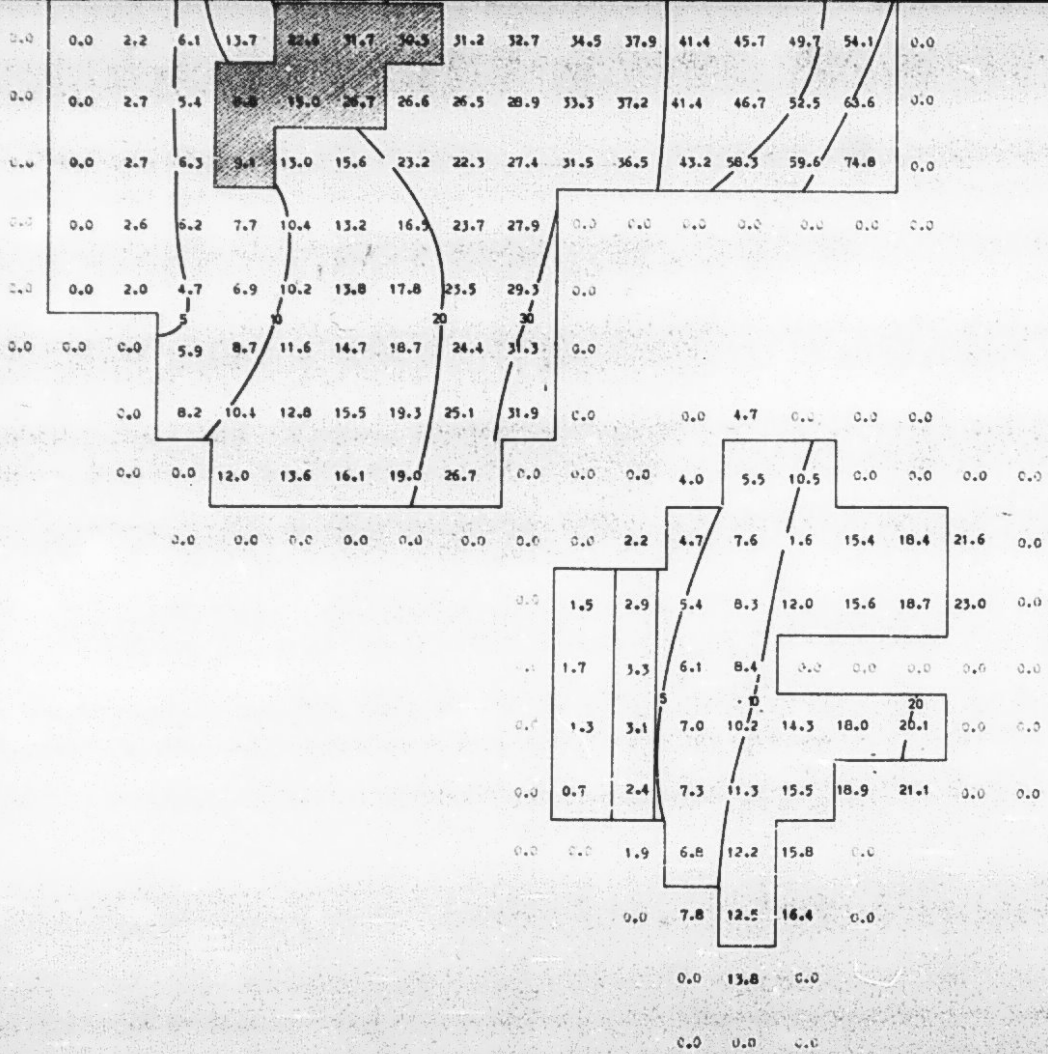


0.0	11.6	-2.7	-0.4	0.2	0.1	0.6	2.1	2.3	-3.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-10.7				
0.0	11.8	-3.2	-0.6	2.0	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-11.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-9.9	0.0			
0.0	19.7	-4.5	-2.4	-0.6	-0.6	-0.6	1.9	-2.2	-2.2	-5.9	-2.2	-1.1	-0.2	-11.4	0.0			
0.0	28.9	-4.0	-2.9	-1.3	-1.0	27.6	8.7	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-12.8	0.0			
0.0	67.0	-39.7	-2.4	-1.5	7.6	-2.2	-2.2	-2.2	-7.7	-2.2	-1.1	-1.1	-1.1	-10.1	0.0	0.0		
0.0	46.7	-2.2	-27.3	-1.9	22.9	-2.2	-2.2	-15.4	-1.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-7.5	0.0		
0.0	40.0	-2.2	-2.2	4.6	-14.5	-1.1	-1.1	-1.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-1.1	-2.2	-9.2	0.0	0.0	
0.0	25.9	-2.2	-2.2	-2.2	-3.7	-12.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-2.2	-2.2	-2.2	-7.0	0.0	0.0
0.0	34.7	-2.2	-2.2	-2.2	-4.2	-15.4	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.9	-2.2	-0.2	-0.2	-7.7	0.0	0.0
0.0	29.9	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-20.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-2.2	-5.9	0.0
0.0	30.0	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-21.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-6.2	0.0
0.0	18.4	-2.2	-2.2	-2.2	-2.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-20.9	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-4.8	0.0
0.0	20.7	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-8.1	-0.2	-0.2	-0.2	-2.2	-2.2	-6.6	-2.2	-0.2	-0.2	-0.2	-9.9	0.0
0.0	18.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-6.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-11.0	0.0	0.0
0.0	13.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-4.4	-1.1	-0.2	-0.2	6.7	-0.2	-0.2	-4.4	0.0	0.0	
0.0	9.4	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	0.0	11.7	2.4	-0.2	-0.2	-0.2	-2.2	0.0		
0.0	9.3	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	0.0	10.0	6.3	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-4.4	0.0		
0.0	9.0	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	0.0	0.0	13.2	-0.0	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-4.4	0.0		
0.0	9.3	-2.2	-2.2	-2.2	0.0	1.1	2.6	0.0	-2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

12 CONCRETE



1e COURNE




2e COUCHE

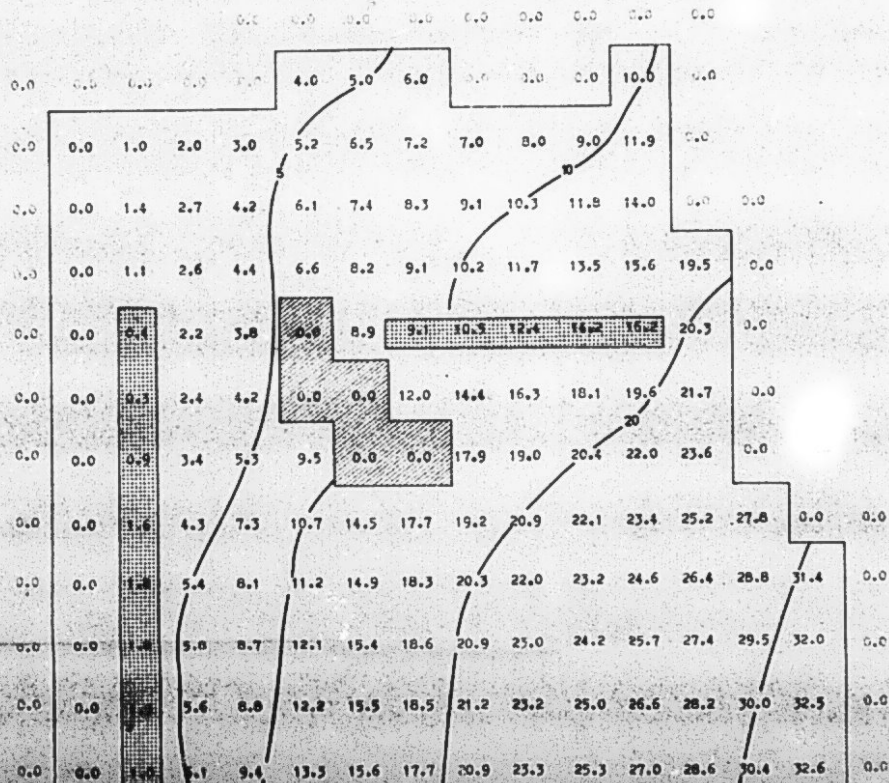
NAPPE DES DUMES DE NEFZA

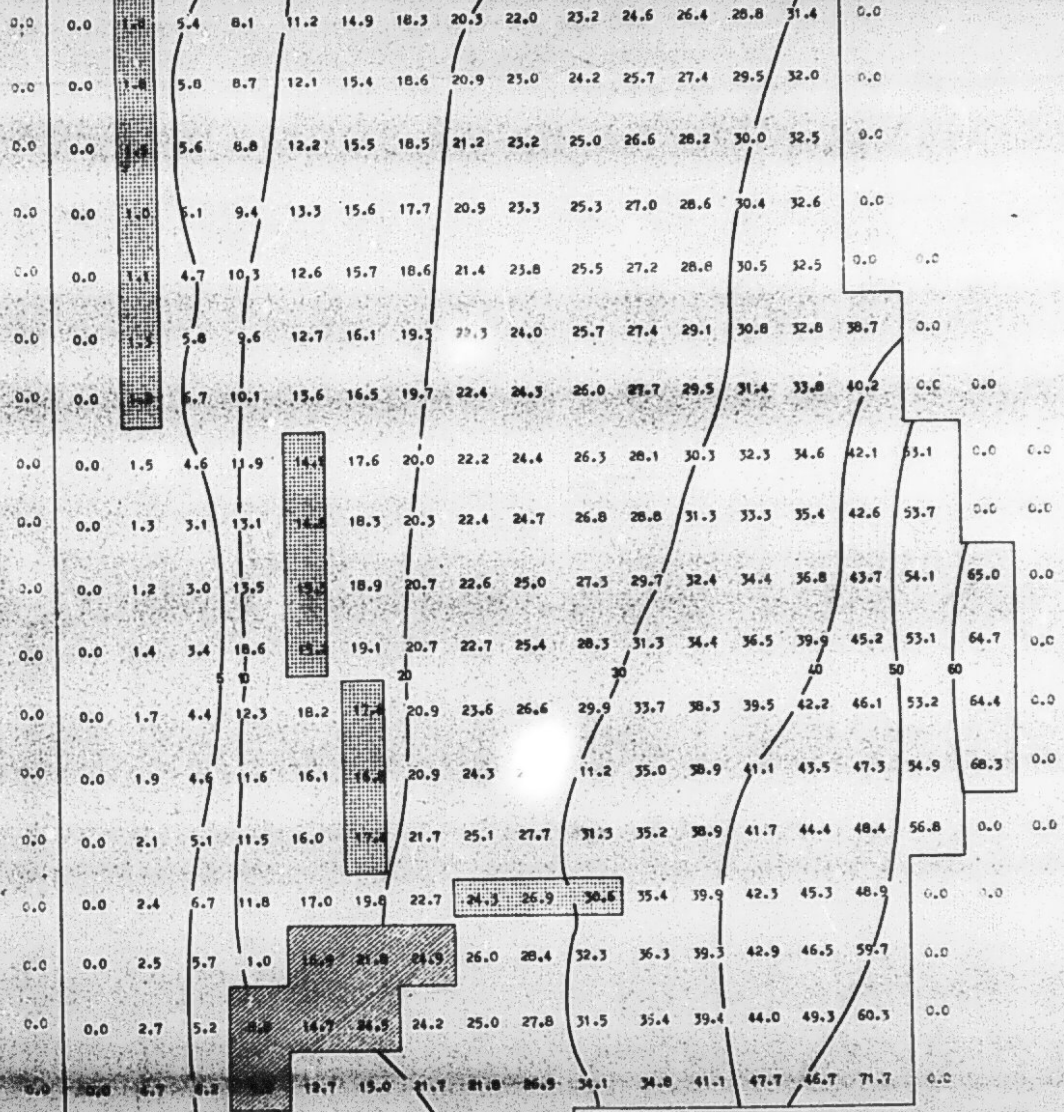
CARTE PIEZOMETRIQUE

COLLECTEUR MIXTE EN
REGIME PERMANENT A 65%

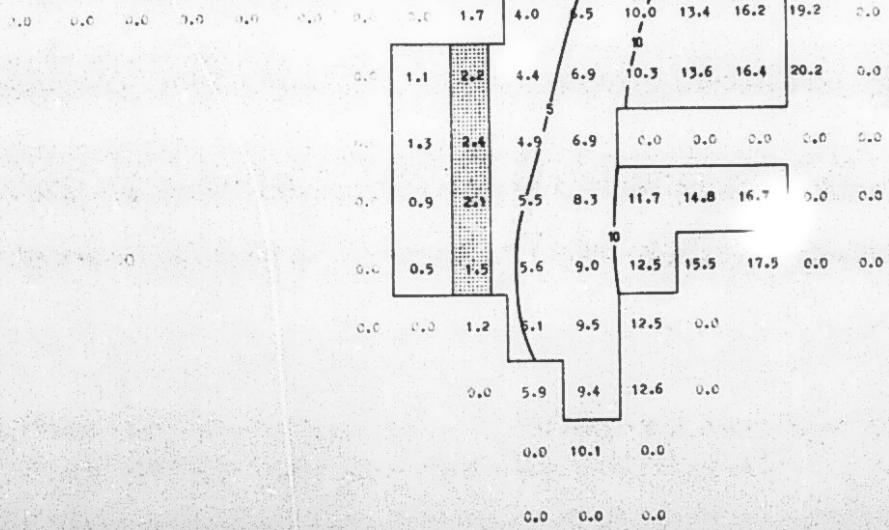
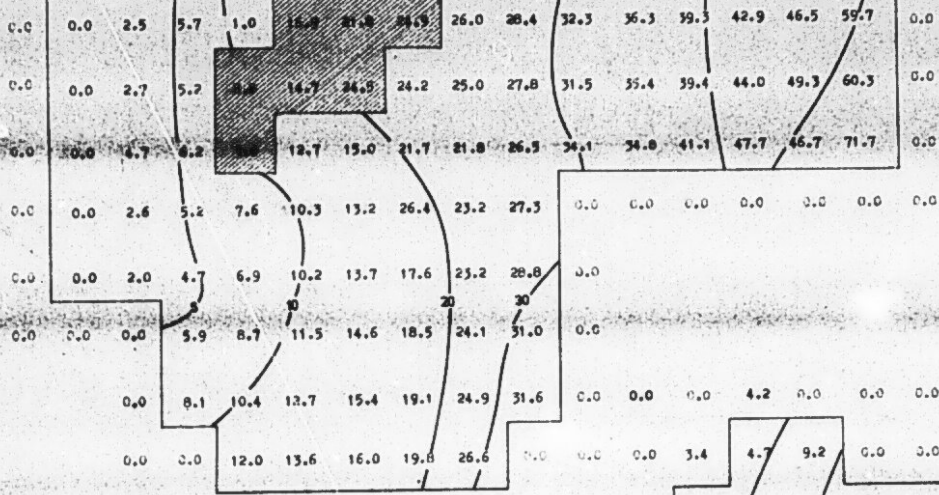
Légende

 Collecteur
8.9 Piezometrie (mètres)





12 CONCRE



2^e COUCHE

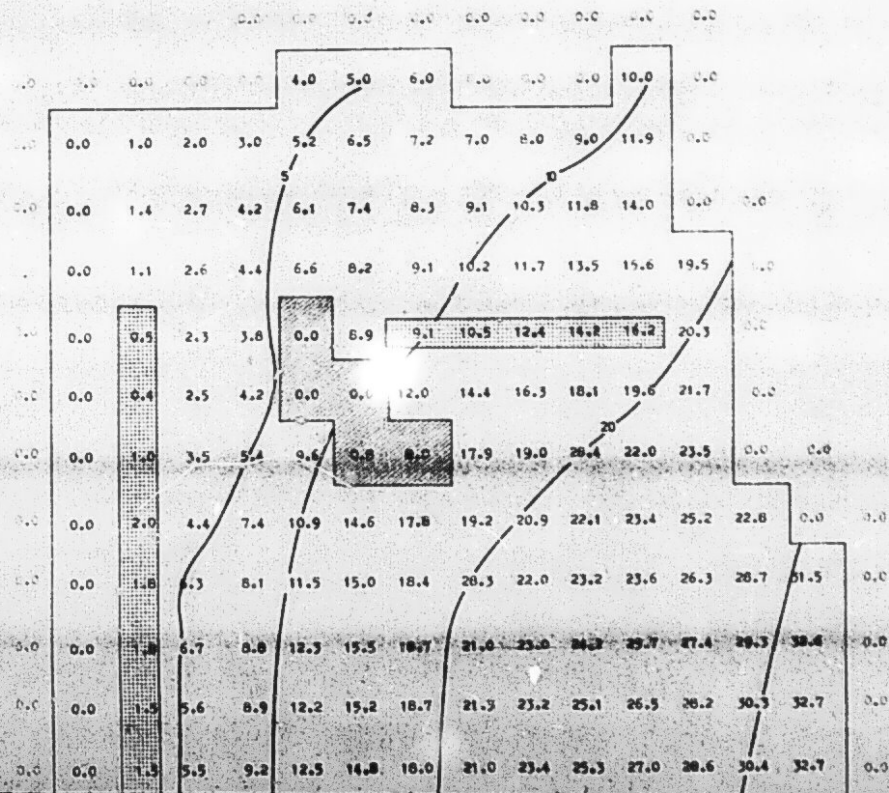
NAPPE DES DUNES DE NEFZA

CARTE PIEZOMETRIQUE
COLLECTEUR MIXTE
DRAINANT D'AVANTAGE LES MEKNAS

REGIME PERMANENT A 65 %

Légende

- Collecteur
- 9.7 Piezometre (mètres)





SUITE EN

F

3



MICROFICHE N°

50282

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

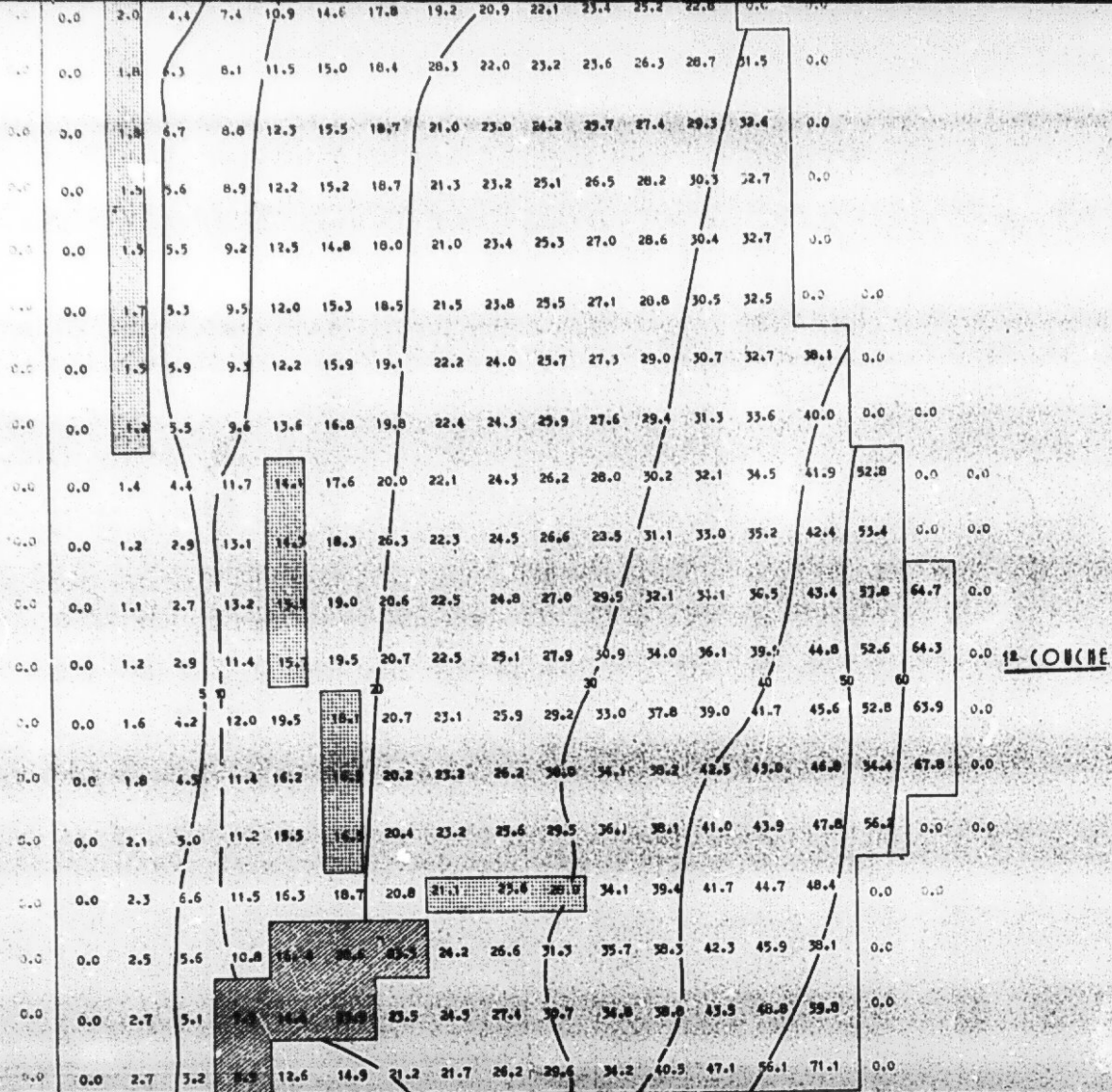
DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس


F 3

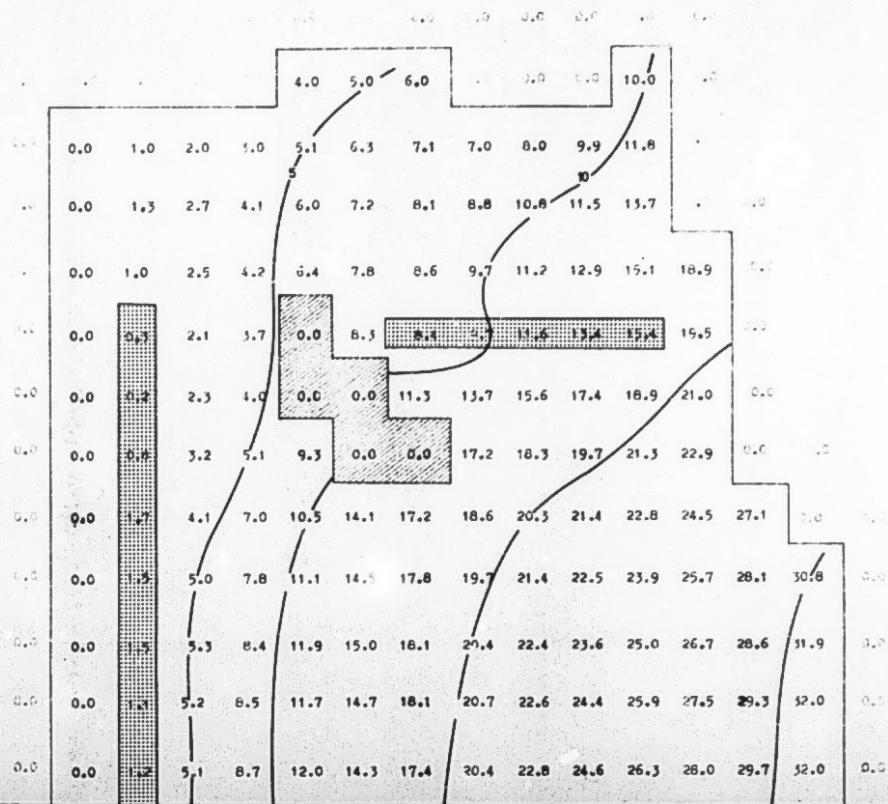


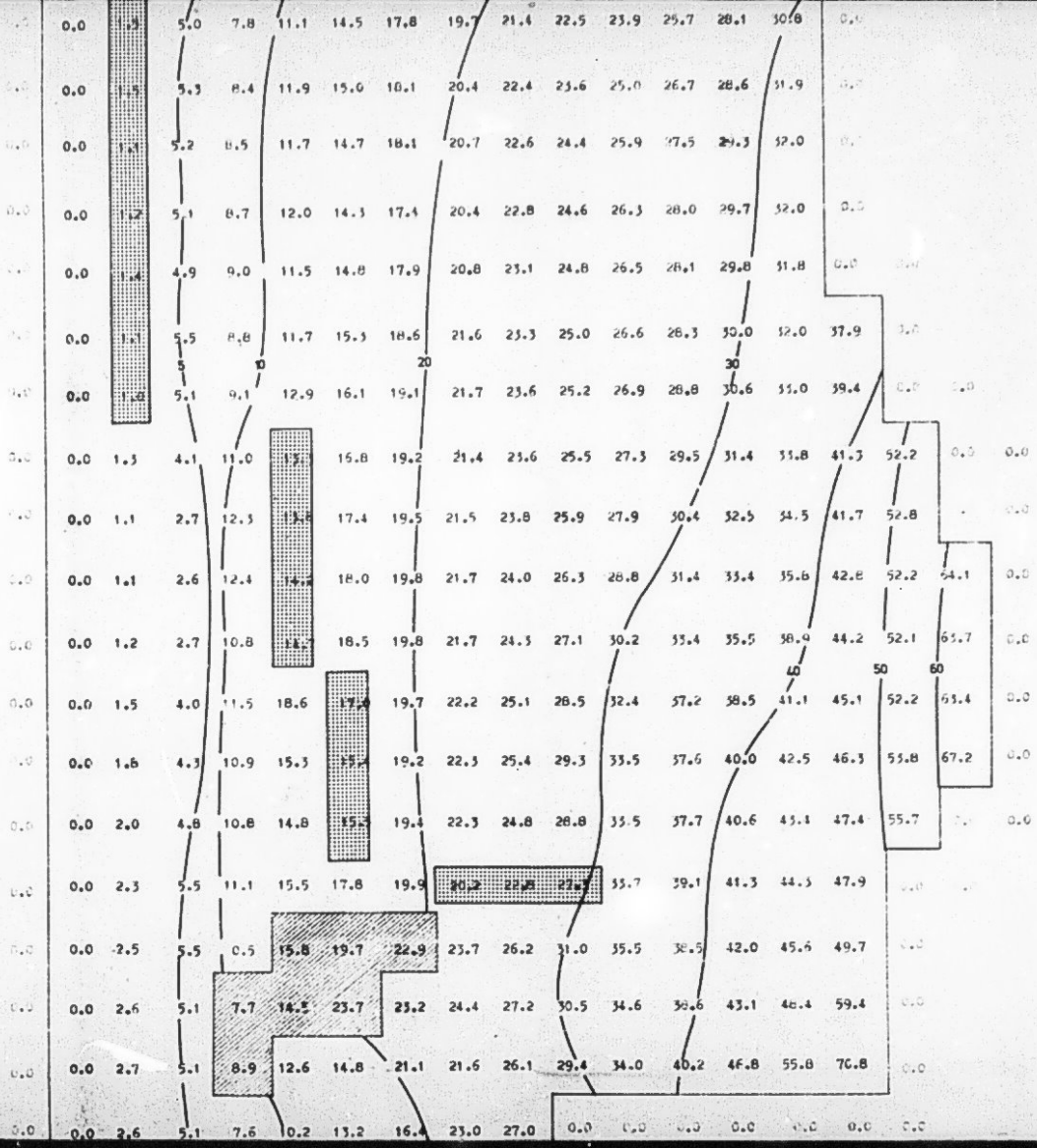
12 COUCHE

NAPPE DES DUNES DE NEFZA
CARTE PIEZOMETRIQUE
COLLECTEUR MIXTE
DRAINANT D'AVANTAGE LES MEKNAS
REGIME PERMANENT A 70%

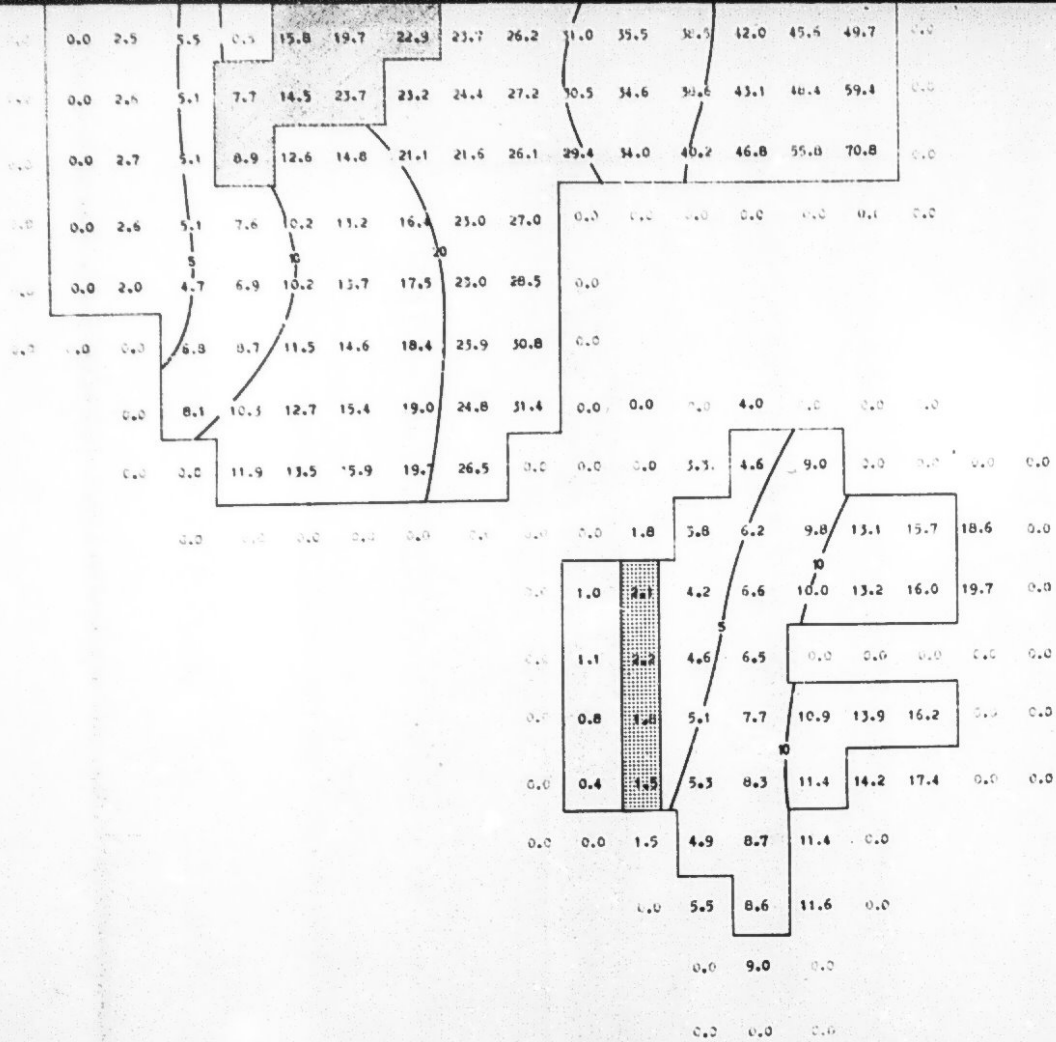
Legende

-  Collecteur
7.9 Piezometrie (mètres)







12 COUCHE

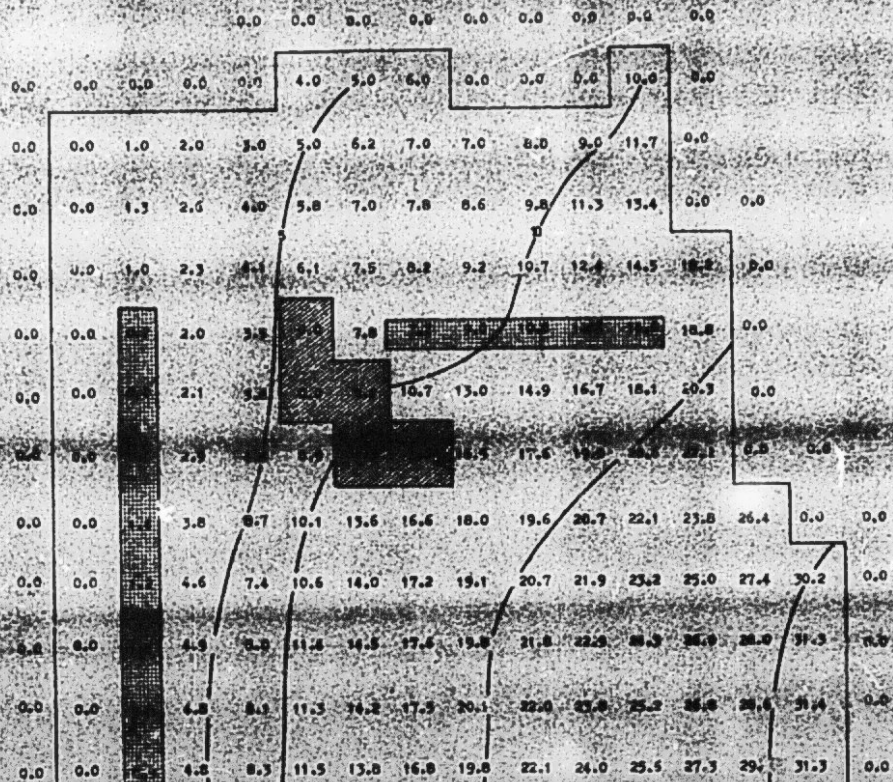


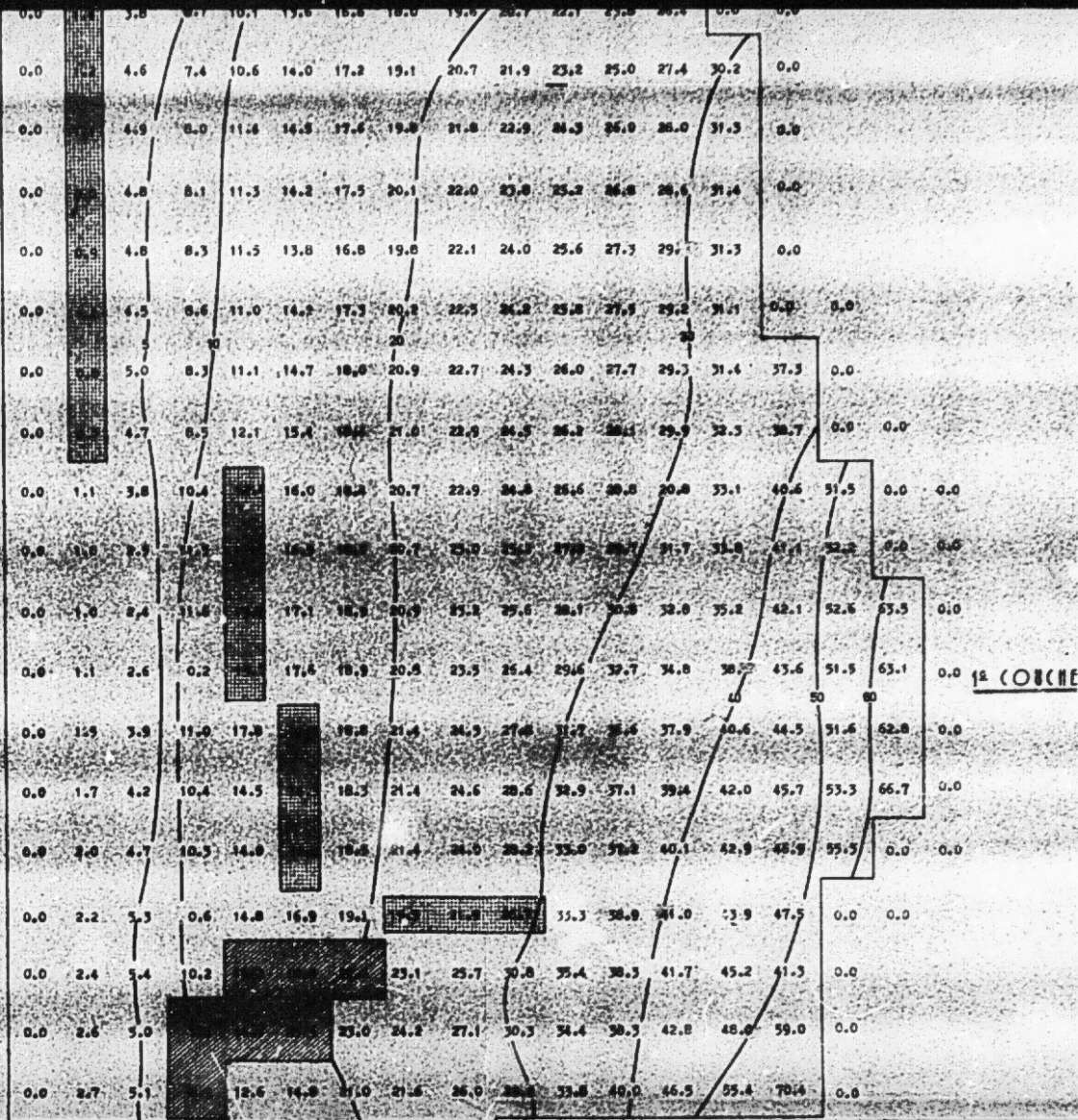
28 COUCHE

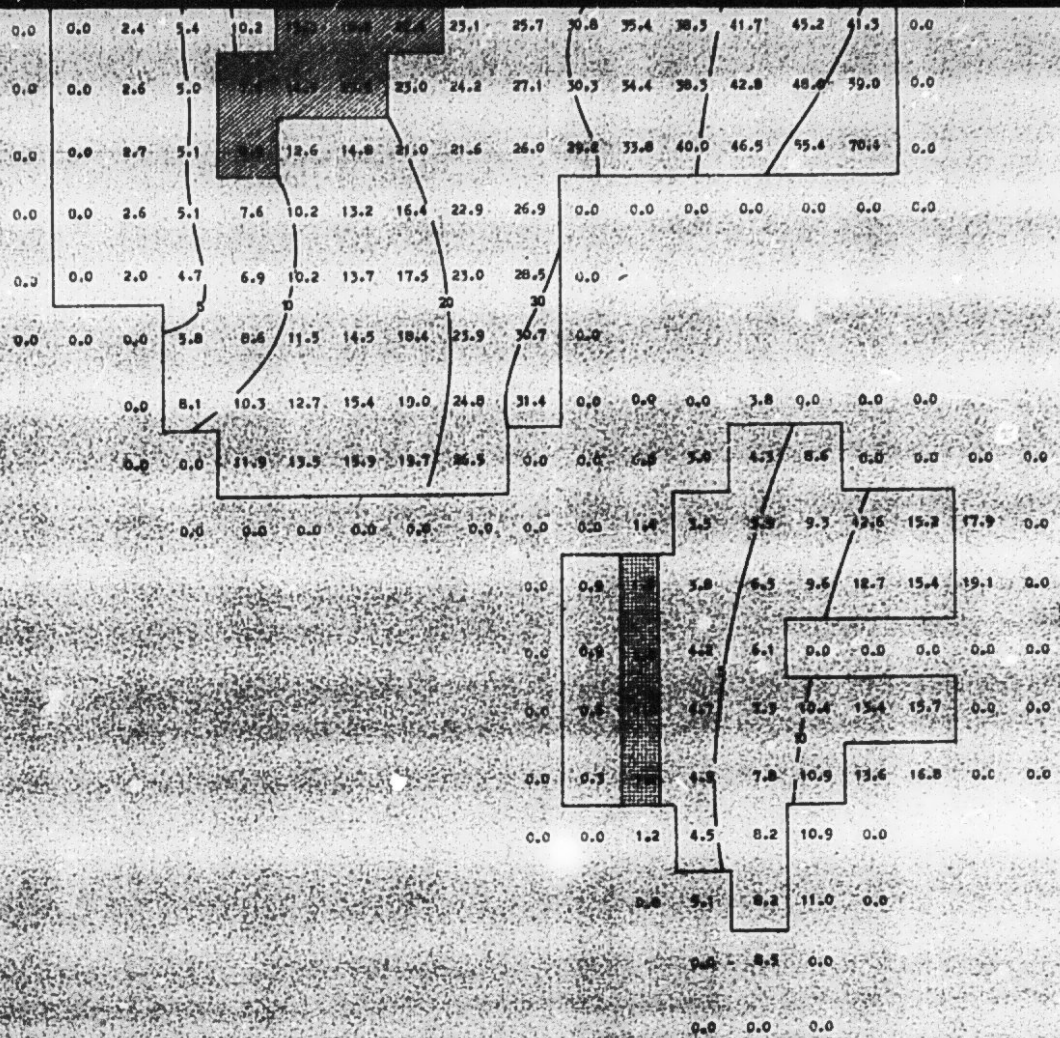
NAPPE DES DUNES DE NEFZA
CARTE PIEZOMETRIQUE
COLLECTEUR MIXTE
DRAINANT D'AVANTAGE LES MEKNAS
REGIME PERMANENT A 75 %

Légende

 Collecteur
 Piezometrie (mètres)







2^a CONTE

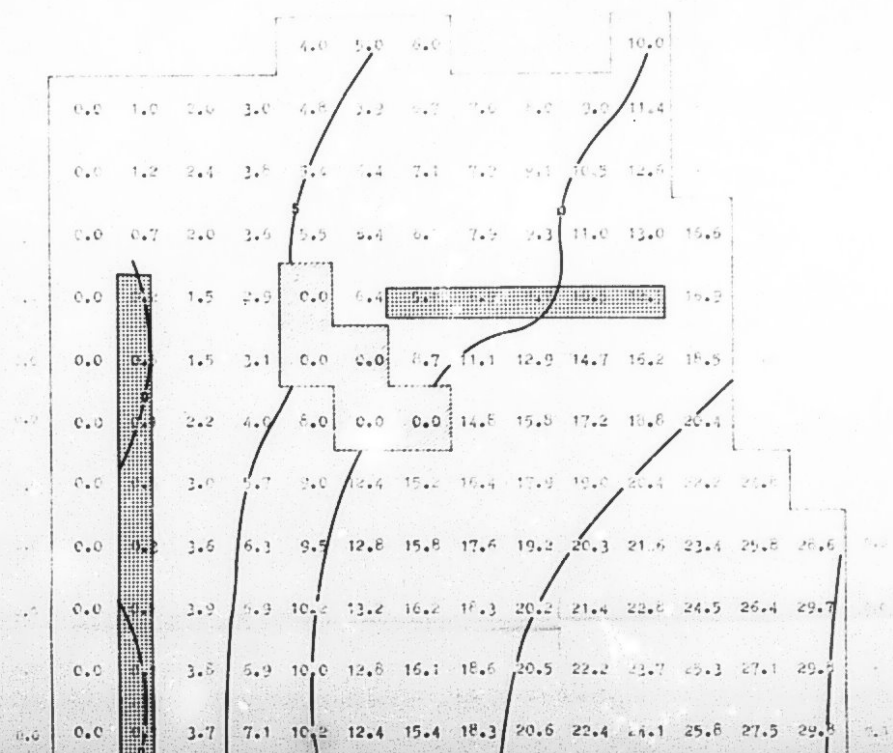
MAPPE DES NIVEAUX DE L'EAU

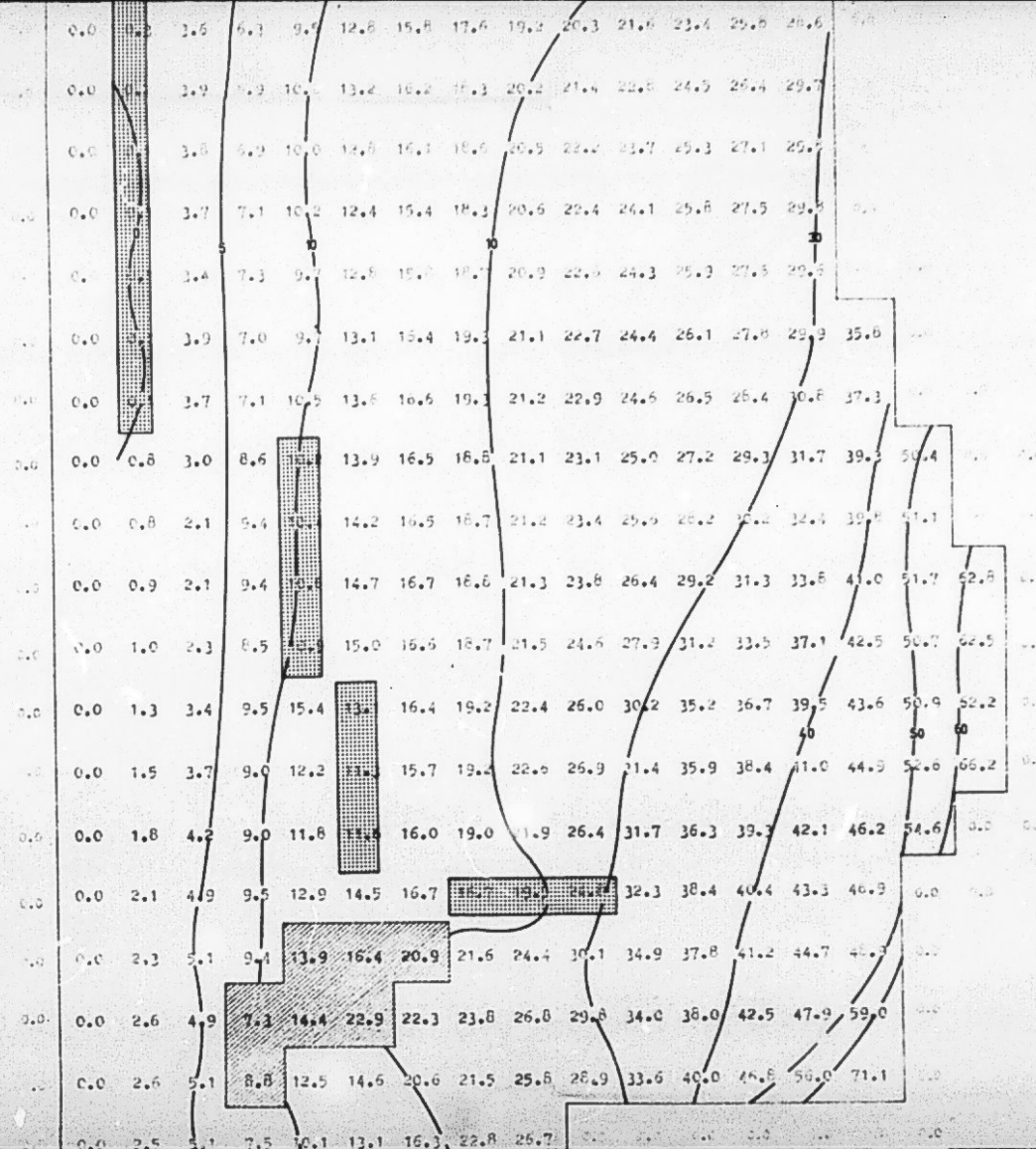
CARTE PIEZOMETRIQUE

COLLECTEUR MIXTE A 90 %
AU BOUT DE 20 ANS

Légende

-  Collecteur
- 5.5 Piezometrie (mètres)







1st COURSE

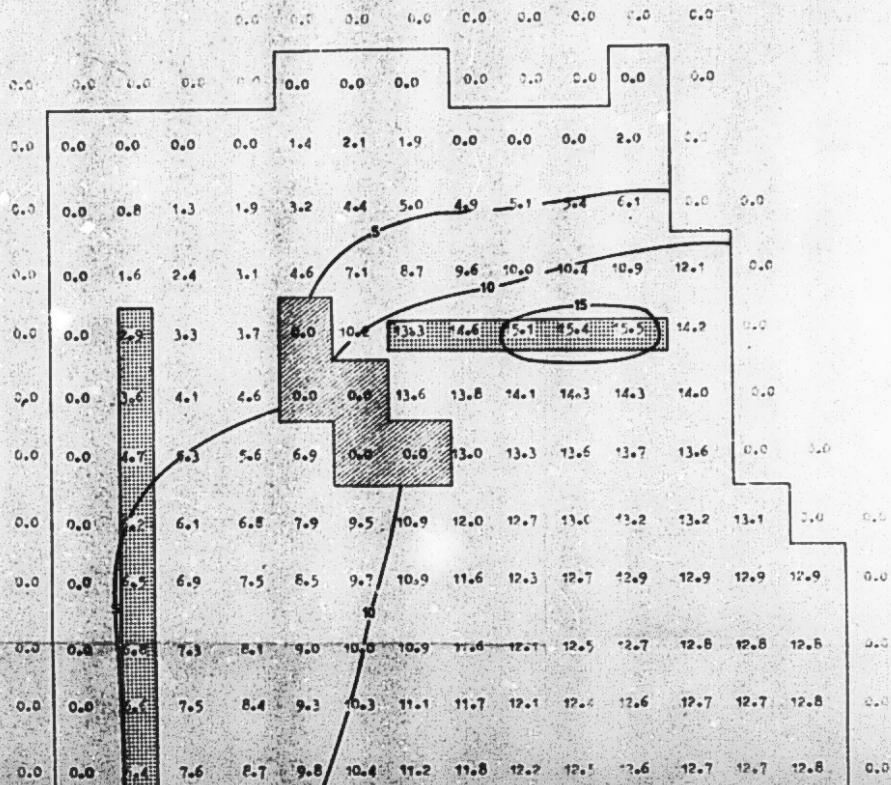
NAPPE DES DUNES DE NEFZA

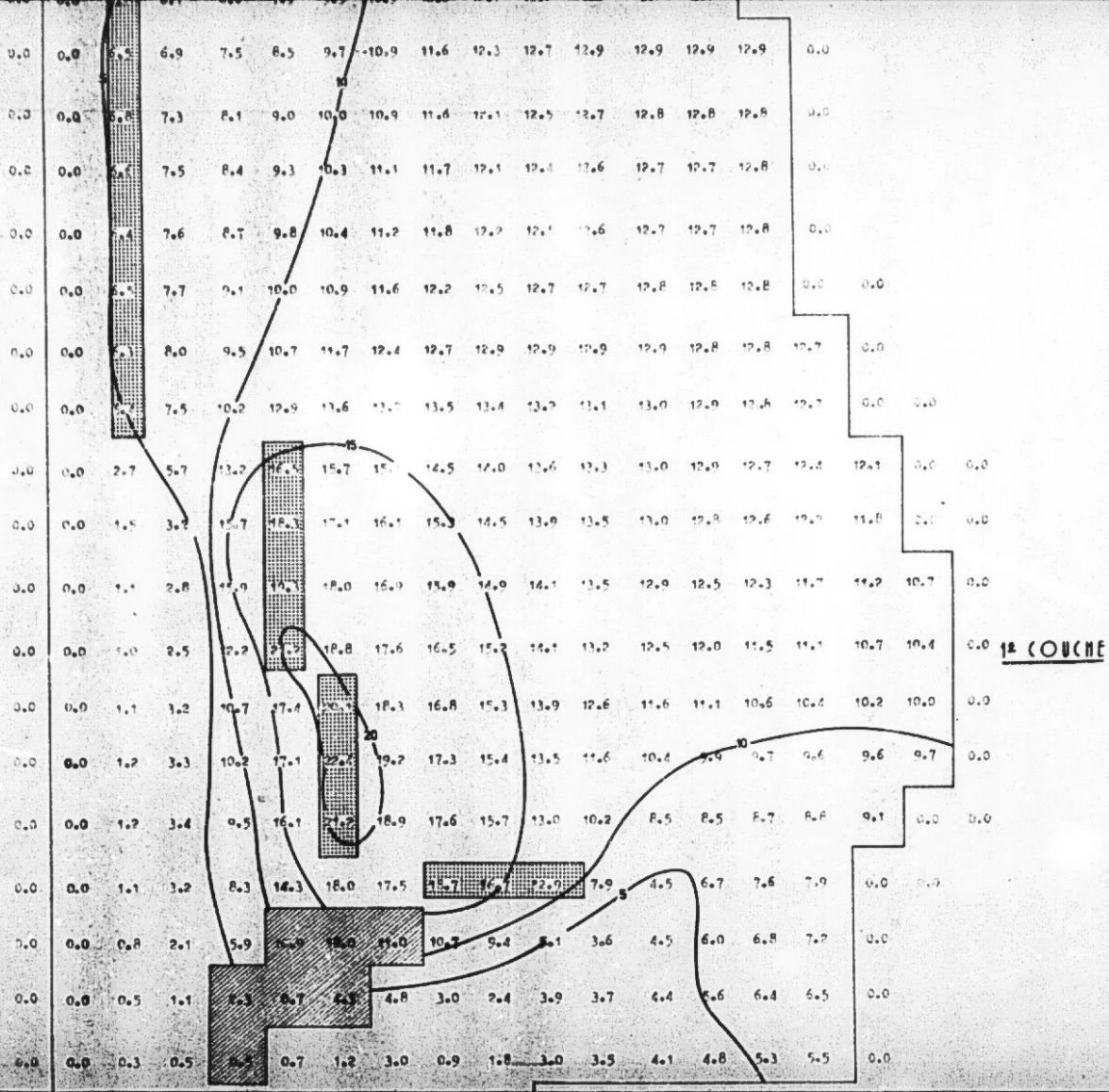
RABATTEMENTS A PARTIR DE L'ETAT INITIAL

COLLECTEUR MIXTE A 90% APRES 20ans

Légende

-  Collecteur
-  Rabattements (mètres)





FIN

... **94** ...

VUES