

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

المعلمة الوطنية المتمدة للتحريات
المكتبة - BIBLIOTHEQUE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

CONTRIBUTION A
L'ETUDE
DES FOGGARAS

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

Mr. S. BENZIADA

Mr y. AYAD

Mr. S. BENZIADA

Mr N. KHADRAOU1

PROMOTION 1996

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
وزارة التعليم الوطني
Ecole Nationale Polytechnique

MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

CONTRIBUTION A
L'ETUDE
DES FOGGARAS

Proposé par :

Etudié par :

Dirigé par :

Mr. S. BENZIADA

Mr. Y. AYAD

Mr. S. BENZIADA

Mr. N. KHADRABOU

PROMOTION 1996

E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi — EL-HARRACH — ALGER

DEDICACE

à ma Mère

à ma Mère

à ma Mère

à mon Père

à mes Frères et Soeurs

à tout ceux qui ont fait des sacrifices
pour le bonheur des autres.

Je dédie mon travail

Yazid

à ma Mère

à ma Mère

à ma Mère

à mon Père

à toute ma famille du plus petit au plus grand.

à tout mes amis de l'E.N.P.

à mon Frère ARAR Mourad

à tout ceux à qui je pense , et auquel je
ne pourrai citer leur nom.

Je dédie ce modeste travail

Nourredine



REMERCIEMENTS

Nous commençons d'abord à REMERCIER le bon Dieu «ALLAH» tout puissant pour sa Clémence et sa Miséricorde.

Il m'est très agréable de présenter mes sincères remerciements aux personnes qui ont été proche de nous durant la réalisation de ce travail, tant sur le plan humain que scientifique, et en particulier, nous remercions Mr BENZIADA qui a su nous diriger avec patience et compréhension, pour ses directives et orientations qui nous ont été très utiles, qu'il trouve ici toute notre gratitude.

Nous n'oublierons pas de remercier Mr B. MOUHOUCHE pour son aide et ses précieux conseils qui ont été décisifs dans l'aboutissement de ce projet, ainsi que ses encouragements.

A tous ceux qui nous ont soutenu et qui ont contribué de près ou de loin dans notre réussite, nous les remercions vivement.

Merçi.



Page

au lieu de

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
 المكتبة — BIBLIOTHEQUE
 Ecole Nationale Polytechnique

il faut noter

9 basin hydrologique basin hydrogeologique
 10 prelevement par forage par foggara.
 20 fig 6 fig 7
 46 sans equipement de la reserve epuisement de la reserve.

Tableau P50 1853 1832
 5369 6348

P50 titre du tableau Total pour le Truc-Gourara.

P50 $L_{total} = 1317 \text{ km}$ 1377 Km

P51 Inzegmir Inzenghir

P49

2047,2	moyen
--------	-------

moyen	2047
-------	------

P63 $Q = 2,425$ $Q = 2,942 \text{ l/s}$

P63 211 foggaras 382 foggaras.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : DEFINITION ET HISTORIQUE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINE.....	3
CHAPITRE II : IMPLANTATION DE PART LE MANDE DES FOOGARAS.....	5
CHAPITRE III : RESSOURCE EN EAU SOUTERAINNE DU SAHARA SEPTENTRIONAL (ALGERIE / TUNISIE) (Aquifère du continental intercalaire et du complexe terminal).....	7
III-1 — Système aquifère du continental intercalaire.....	10
III-2 — Système Aquifère du complexe terminal.....	14
CHAPITRE IV : LES FOGGARAS EN ALGERIE.....	25
IV-1 — Description et type des Foggaras.....	25
IV-1-1 — Description d'une Foggaras.....	25
IV-1-2 — Types de Foggaras.....	25
A) — Foggaras du Touat-Gourara.....	25
B) — Les Foggaras de l'Ahaggar.....	52
CHAPITRE V : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES FOGGARAS...	55

CHAPITRE VI : LE DECLAIN DES FOGGARAS.....	56
a) — Facteurs physiques.....	56
b) — Facteurs humains.....	57
CHAPITRE VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU CONTINENTAL IN- TERCALAIRE ET CONSIDERATIONS ECONOMI- QUES.....	59
VII-1 — Entretien et coût d'entretien des Foggaras..	60
VII-2 — Selection et amélioration des Foggaras.....	61
• CONCLUSION GENERALE.....	67

INTRODUCTION

Élément fondamental, l'eau fait partie de l'histoire des pays et se lie inexorablement à la vie de l'homme, elle en influence l'imaginaire collectif et conditionne profondément la société, qui bien qu'avec des systèmes différents, a toujours dû la contrôler en mettant en oeuvre toutes ces capacités intellectuelles et créatrices.

Mais la course aux nouvelles technologies efface le «souvenir» de ce que la science apporte à un moment donné seules les technologies assimilées profondément dans la traditions des peuples résistent à l'oubli.

Parmi les techniques très anciennes utilisées jusqu'à nos jours, dans plusieurs pays c'est le système de captage par galeries souterraines appelées FOGGARA.

Notre présent travail s'intéresse essentiellement à la collecte des renseignements et de données sur ce système de captage traditionnel et n'est qu'une étude bibliographique préliminaire qui permettra de défricher le terrain pour de prochaines études plus complète est plus détaillées.

De plus l'aspect hydraulique sera aborder, dans le but est de proposer des solutions pour l'amélioration de ce système de captage, qui peut rendre encore des services remarquables à l'humanité lorsqu'il est savamment canalisée au moyen de paramètres technologiques actuels.

CHAPITRE -1-

DEFINITION ET HISTORIQUE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINE

I- DEFINITION ET HISTORIQUE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINE.

Forggara , Kanât , Kettara , Kariz designent sous des vocables différents la même chose , ce procédé ingénieux par lequel les populations du désert ont essayé de parer à l'insuffisance de la nature.

Ces termes designent une canalisation d'eau souterraine qui draine la nappe phréatique , déterminée par des considerations de topographie et de climat . Cette technique de captage souterrain aurait pris naissance en IRAN , ou ce système très répondu représente un véritable patrimoine hydraulique encore utilisé de nos jours ; comme l'atteste la quânat qui alimentait Irbil en Perse construite a la fin du VII siecle , avant jesus-christ .

Cette technique c'est ensuite propagée vers l'Ouest et le Sud de l'IRAN,et fut introduite en Espagne et au Maroc (Marrackech) par les Ommeyades au cours des premieres siecles de l'Islam.

Donc l'utilisation de ces canalisation est ancienne , sa présence en Algerie est compris entre le IV et le X siècle.

Les chroniqueurs du Touat et du Tidikelt prétendent que le foggara est venue de Marrackech , ce qui serait en relation avec le texte d'AL-IDRFSSI (VI siecle de l'hégire) traduction de Dozy et Gaue , cité par M Perès. << lorsque Ubaid ALLAH Ibn Yûns venit à Marrackech peu de temps après la fondation de cette ville (470 hégire , soit 1078) , il n'existait qu'un seul jardin appartenant a Abul-Fadl , client du prince des musulmans .L'ingenieur se dirigea vers la partie superieure du terrain attenant à ce jardin y creusa un puits carré de larges dimensions de la il fit partir une tranché derigée immédiatement vers la surface du sol.

Les habitants de la ville voyant le procédé réussir s'empresserent de creuser la terre et d'amener l'eau dans les jardins. Des lors , les habitations et les jardins commencerent à se multiplier et la ville de Marrackech prit un aspects brillant >>.

Mais d'après d'autres hauteurs de recueils "Saheb El Aouzil" , "Echrâa El Bassiti" , "Insaf El Minsoure " , la construction de foggara dans le Touat serait antérieure a la fin du premier cisecle de l'hégire.Et dans le "Echrâa El Bassiti " , il est dit que le premier homme qui à creusé une foggara à Tamentit (Touat) était le nommé "El Malik El

CHAPI :DEFINITION ET HISTORIQUE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINE.

Mançour" qui craignant d'être poursuivi par le roi ennemi, chercha refuge dans le Ksar isolé , alors qu'il était en fuite vers le Soudan.El Mançour venait du village d'El Kouine de la régence égyptienne , et etait passer par l'Andalousie.

A son arrivé à Tamentit ou',pensant qu'il pourrait vivre en paix dans ce centre ou' l'eau jaillissait ;il entreprit la création de la foggara qu'il appela "hennou". Les foggaras se multiplièrent par la suite et atteignirent en l'an 300 de l'hegire le nombre de 360 .

A partir de cette époque les foggaras se généraliserent dans tout le Touat .

Aussi l'auteur de "l'insaf El Missoure"dit qu'il était de passage aux environs de Marrackech ou Telemcen,ou il a rencontré un nommé Yaoumara parmi les "Arabes bruns" celui ci avait creusé des puits communiquant entre eux .

Ibn Khaldoun signale qu'une chronique locale (ecrite au debut du XVII siècle par El Tniloni) ; raconte la fuite d'une foule d'arabes après la destruction du gouvernement Obeidite dans le Maghreb . Ils s'installèrent au touat ou' ils trouverent refuge , ils entreprirent des travaux d'irrigation au moyen de canaux souterrains , tels que n'en n'avaient jamais établi de semblables , des populations qui les avaient précédés . Ces canaux furent nommées "foggara".

Comme on le voit ces chroniques sont sujetes a' caution, cependant de nombreux écrits sembleraient concorder sur un point :la faggarra a été introduite par les arabes au Touat .

On peut donc placer approximativement l'introduction de la foggara entre IV et le VI siècles .

CHAPITRE -II-

IMPLANTATION DE PART LE MONDE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GELERIE SOUTERRAINE.

II) IMPLANTATION DE PART LE MONDE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINES.

Le mode d'irrigation par canalisations souterraines se localise dans les régions des plateaux désertiques et sub désertiques d'Afrique du Nord et d'Asie.

En Asie , la ville de "Theheran" été alimentée autrefois par 35 canaux connue sous le nom de "Kanêt" ou "Kharez" .

En "Syrie" des canaux souterrains sont également nombreux dans les plateaux de l'Est , entre Homs , Alep,Palmyre et DAMAS.

Palmyre était alimenté par des sources Themoles et des canalisations dont la plus longue est celle "d'Abou Fouares" mesurait 10 Km de long.

Autour de la ville de "Yemen" existe des ouvrages du même genre et portent le nom de "Sahridj".

En "Armenie" des canaux sousterrains existent au lac de Van et aux sources du Tigre.

En Afrique du Nord , la ville de Marrackech est entourée de cultures qui sont arrosées au moyen des galeries souterraines qui atteignent 8 Km de longueur et portent le nom de "Khattara".

Dans le sud tunisien des ouvrages comparables aux foggara se trouve à Menchia dans le Nefzoua ainsi que dans l'oasis d'El Guetar ou' ils portent le nom "Ngoula" ou "kriga".

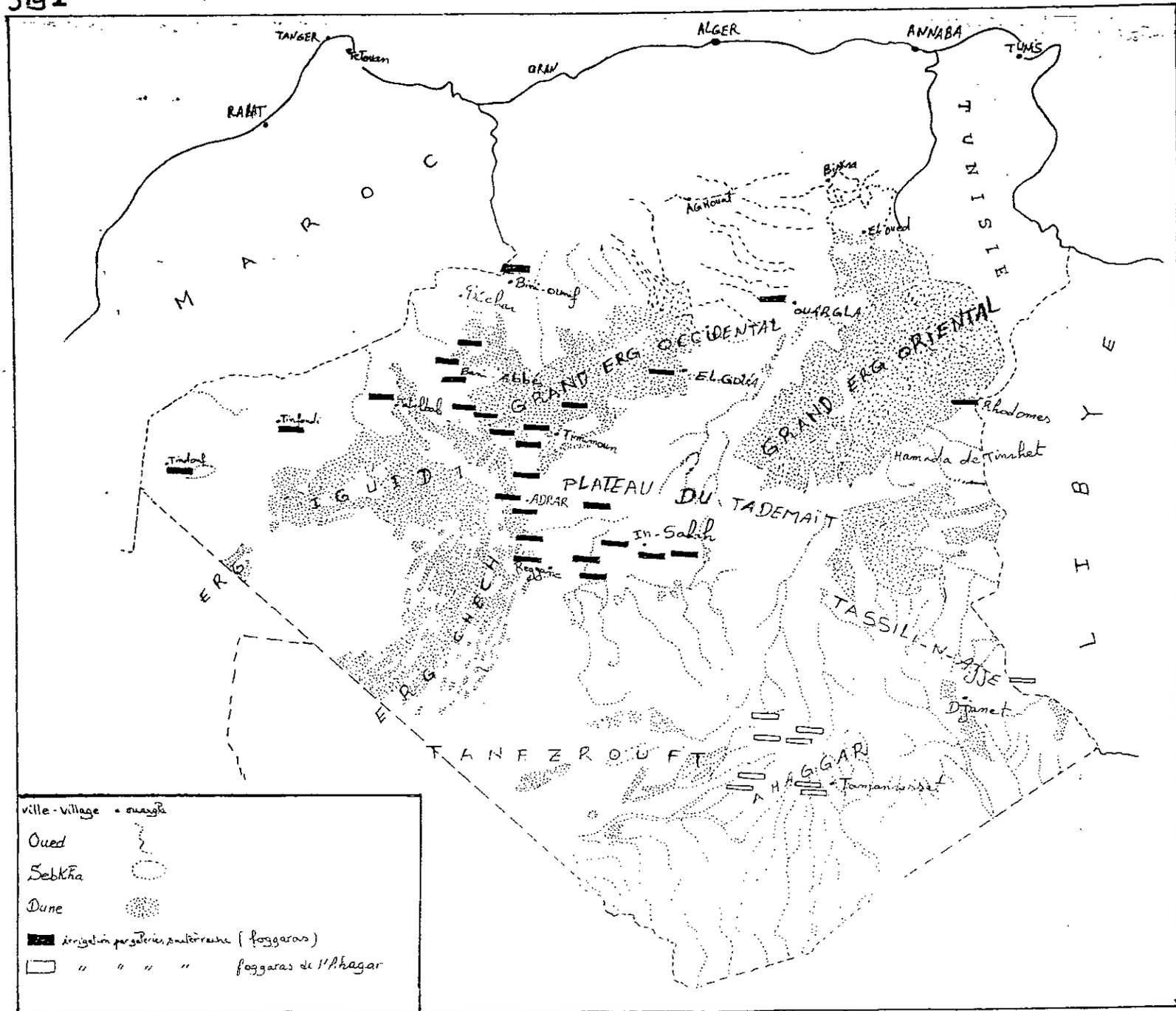
De même qu'en Egypte dans les oasis du desert libyque à Bahoria et Ferafrah des foggaras d'une construction soignée et d'une technique savante ont été réalisées avec une technique savantes .

En Algérie ,l'étude de la carte du Sahara montre que les oasis sont distribuées sous forme d'arc de cercle , qui s'étend du grand Erg occidental au Grand Erg oriental (fig 1).

CHAP II:IMPLANTATION DE PART LE MONDE DU SYSTEME DE CAPTAGE PAR GALERIE SOUTERRAINES

Du plateau du Tadmait se succèdent ainsi les palmerais du Gourara , du Touat et du Tidikelt , constituent une seule région dénommé par les anciens géographes "Archipel Touatien",et dont la similitude des caractères physiques , économiques et humaines est caractérisée par son système de galeries souterraines appelées "foggara".

Fig 1



CHAPITRE -III-

RESSOURCE EN EAU
SOUTERRAINE DU SAHARA
SEPTENTRIONAL (ALGERIE-
TUNISIE) (Aquifères du
continental intercalaire et du
complexe terminal).

III RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DU SAHARA SEPTENTRIONAL (ALGERIE-TUNISIE).(Aquifères du continental intercalaire et du complexe terminal).

1) INTRODUCTION :

Situé dans l'un des plus vastes et des plus arides deserts du monde , le bassin sédimentaire du Sahara septentrional couvre une superficie de 780.000 Km² sur plus de 2000 m de dépôts, deux formations sableuses et argilo-sableuses constituent deux aquifères importants:

A la base dans le continental intercalaire et au sommet dans le complexe terminal.

Vers le Nord -Est , dans l'Extrême -Sud Tunisien , ils se confondent en une seule unité : L'aquifère de la Djeffara .

L'aquifère du continental intercalaire , le plus important couvre une superficie de 600.000 Km² , avec une puissance du réservoir utile de 120 à 100 m.

Les transmissivités s'échelonnent de 6 à 30 10^{-3} m² / s et les eaux sauf au Nord-Est ,sont de bonne qualité pour l'irrigation cette aquifère est de type général a nappe captive , avec des secteurs a nappe libre a proximité des affleurements. L'établissement d'un modèle numérique de simulation en régime permanent a permis de préciser les comportements de l'aquifère et de préciser les données du bilan.

(Les entrées de 8,49 m³/s équilibraient les sorties en 1959 ,mais en 1970 , l'accroissements des prélèvements par sondages de 0,32 à 3,05 m³/s a provoquer des abaissements importants de la surface piézométrique.

-L'aquifère du complexe terminal , couvre 350.000 Km² , avec une puissance moyenne de 50 à 100 m et des extrêmes de 30 et 1000 m.

2) CADRE GEOGRAPHIQUE :

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional s'étend sur 780.000 Km² (Algerie 700.000 , Tunisie 80.000) .Il est limité au Nord par l'Atlas saharien de la frontière Marocaine au golfe de Gabès, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Saoura ; au Sud par la bordure des plateaux de terrains anciens du Sahara central (Hammades) du Tinrhert , à l'Est par la méditerranée (golfe de Gabes). Par les reliefs du Djebel Dahar (Libye) et conventionnellement par la frontière Algero-Libyenne. "fig 2 " .

Le bassin forme une vaste cuvette à fond plat dont l'altitude décroît du Nord au Sud , de 700 m à 200 m dans le sous bassin occidental et de 700 m dans le sous bassin oriental centre sur une grande dépression endoréique aire d'évaporation dont l'altitude est souvent au dessous du niveau de la mer , occupé par les chotts Mebhir (-40 m) , El Rharse (-30m) Djerid et Fedjadj (+20m).

3) CLIMAT ET POPULATION :

L'extrême aridité , avec des hauteurs de précipitations annuelles moyennes inférieures à 100 mm , cette valeur moyenne n'a pas grande signification car la pluie peut faire défaut pendant plusieurs années consécutives, alors que deux à trois jours de pluie peuvent apporter 50 à 100 mm, voire 200 à 300 mm comme au mois de novembre 1969, année humide exceptionnelle de fréquence centenaire

La population s'élevait en 1966 à 887.100 habitants dont 60% en Algerie et 40% en Tunisie

4) BASSIN HYDROGEOLOGIQUE ET SYSTEMES AQUIFERES :

4-1. STRUCTURE GEOLOGIQUE :

Le bassin sédimentaire comporte à sa base des formations marines paléozoïques enfermant de l'eau salée et des gisements d'hydrocarbures .Elles sont surmontées en discordance , par les formations du secondaire et du Tertiaire épaisses de plus de 2000 m.

Le quaternaire est essentiellement constitué par des sables dunaires , lesquels peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (fig 3).

CHAPITRE III : RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DU SAHARA SEPTENTRIONAL (Algérie-Tunisie).

Les pendages sont général faibles. La série est accidentée de grandes failles subverticales , sur , toute son épaisseur .Les plus importantes sont celles de la zone de fracture Sud-atlassique au Nord-Est et de la dorsale de Amguid El Biod, au centre du sous-bassin oriental.

La série supérieure qui contient seule des eaux souterraines de qualité utilisable, constituée en alternance de sables ,grès ,sables argileux, calcaires ou dolomies,et d'argiles et d'évaporites ;comporte trois grands réservoirs aquifères.

formations	réservoir aquifère
Complexe terminal (C.T) sablo-grésseux du crétacé supérieure au miocène.	Aquifère multicouche du C.T, à nappe libre ou localement captive.
Continental intercalaire (C.T) sablo greseux et argilo-sableux de crétacé inférieur principalement pouvant comprendre à la base des couches du jurassique et du trias.	Aquifère multicouche du C.I , à nappe captive ou localement libre , étendu dans tout le bassin.
série complexe de la Jeffara (au NE , dans le sud-Tunisien : région de Gabès , Djerba) C.I plus argileux effondré à grande profondeur sous le golfe de Gabès.	Aquifère de la Jeffara: Prolongement local du C.T et en partie du C.I.

4-2.BASSIN HYDROLOGIQUE:

les caractéristiques morphologiques(dépressions endoréiques),et structurales permettent de distinguer trois bassins hydrogeologiques,délimités par une dorsale subméridienne.M'zab et axe Ghardaia-In Salah et par l'axe du jebel Dahar (fig 2)

-Bassin occidental, de 280.000 Km², drainé vers le sud et recouvert partiellement par le grand Erg occidental avec C.I et C.T en partie séparés;

-Bassin oriental,plus étendu, avec 500.000 Km² drainé vers le nord et occupé en grande partie par le Grand Erg oriental,avec C.I et C.T séparés;

-Bassin de la Djeffara, à l'est, dans la zone côtière du golfe de gabès, principale récepteur des eaux souterraines du bassin oriental.

SOUS - CHAPITRE -III. 1-
SYSTEME AQUIFERES DU
CONTINENTAL
INTERCALAIRE.

III-1. SYSTEME AQUIFERE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE:

Les formations perméables du C.I ont été reconnues par :

- Les affleurements de surface réduite comparée à l'étendue du bassin (fig 2) .Ceux-ci sont localisés au Nord-Ouest vers Béchar , au Sud-Ouest avec le Gourara , au Sud dans les deux plateaux du Tinrhert et du Tademaït et au Nord -Est dans la Dahar et la région des Chotts Djerid et Fedjadj ;

- De nombreux forages de recherche d'eau et de pétrole , soit sous recouvrement perméable de sable éoliens aquifères du Grand Erg occidental , soit sous couverture impreméable.

A- CONSTITUTION ET GEOMETRIE DU RESERVOIR :

La formation du C.I est constituée de dépôts continentaux sablo-gréseux et sableux-argileux avec intercalations d'argiles et d'argiles sableuses marines du crétacé inférieur .C'est un système aquifère multicouche .

La géométrie du reservoir étendu sur 600.000 Km² est connu en profondeur grace aux données de 615 sondages dont 25 ans dans le Sud Tunisien , et part d'importantes compagnes de prospection géophysiques (fig 3 et 4) .

B- PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES :

Les transmissivités et les coefficients d'emmagasinement ont été évalués par des pompages d'essais (groupés) et par des calculs théoriques (tab 1) .

paramètres	transmissivités	coefficients d'emmagasinement
zones	T (10 ⁻³ m ² /s)	S (10 ⁻³)
Oued Rhir	06	50
Ouaragla	08	1
Zelfana	25	1
Chott Fedjkadj	30	1

TABLEAU N° 1 VALEURS DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE DU CI .

Porosité totale : En moyenne 26 % (entre 22 et 28 %) ; porosité effective (coefficient d'emmagasinement en nappe libre) : 20%.

C- HYDRODYNAMIQUE DU SYSTEME AQUIFERE :

L'écoulement de la nappe de C.I à été bien identifié par l'analyse de la distribution des potentiels exprimée par deux cartes de la surface piézométrique en 1956 et 1970, elle fait apparaître 3 sous bassins hydrogéologiques définis par les zones d'alimentation et d'exutoires (fig 5).

- Sous bassin du bas Sahara au Nord -Est, Drainée par l'aire d'évaporation du Chott Djerid et l'exutoire souterrain du Golfe de Gabès.

Les grands axes d'écoulement sont de direction W-E.

- Sous bassin du Grand Erg occidental -Tademaït, alimenté au Nord-Ouest par les piémonts de l'Atlas Saharien, et au centre à travers le Grand Erg occidental. Ses grands axes d'écoulement de direction N-S et NNE -SSW, traduisent le drainage vers l'exutoire des foggaras;

-Sous bassin du Tinrhert - Grand Erg oriental, à direction d'écoulement S-N, de la zones d'alimentation du Tinrhert vers le sous bassin du bas Sahara.

D- COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE :

-Le système aquifère du C.I est de type général à nappe captive, dans le centre et le Nord -Est du bassin, des eaux profondes (1500 à 2000 m), sont jaillissantes sur les bordures : M'zab, piémonts de l'Atlas Saharien, Tademaït, Tinrhert et Dahar, à nappe libre, les eaux sont peu profondes et à température normale.

-Les apports d'eau au système s'effectuent :

* par infiltration des eaux de ruissellement des reliefs à la périphérie du domaine et des précipitations sur lesaffleurements.

* Par transfert de l'aquifère à nappe libre du Grand Erg occidental avec un flux entrant de $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

not. inkrannuels

-L'exutoir principal du système est au Nord -Est .L'écoulement souterrain vers le golfe de Gabès le flux sortant $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, et le débit sortant par les exutoires représentés par les foggaras aux limites Sud-Ouest à potentiel imposé du Tademaït et estimé à $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$.

On y ajoute les débits des fuites à travers le toit de l'aquifère -failles de la dorsale d'Amguid El Beod ($0,6 \text{ m}^3/\text{s}$) , drainance ascendante dans les dépressions des chotts Djerid et Fedjadj ($0,3 \text{ m}^3/\text{s}$).

Les prélèvements par foggara (El Goléa -Ghardaia) s'élevaient à $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1956 et à $3 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1970.

E- EXPLOITATION , HISTORIQUE ET ETAT ACTUEL :

L'aquifère est exploités par des foggars à régime en pratique constant et par des forages , en général artesiens , parfois avec pompage en nombre croissant .L'exploitation par les foggaras remonte à plusieurs milénaires .

Le début de développement des exploitations par forage se situe entre 1950 et 1960 , sauf la zone d'IN Salah , El Goléa et Tidikelt ou il a commencé à la fin du XII siècle .

Si l'origine des observations remonte a 1900 les données précises sur l'évolution des débits et des niveaux piézométrique n'ont été prises en compte qu'a partir de 1956 .

HISTORIQUE D'EXPLOITATION :

* Les foggaras : Trois ensembles de mesures réalisées en 1932 -1950 et 1960 , montre que si les débits unitaires varient , des débits globeaux par groupe de palmeraies sont demeurés sensiblement constants :

$0,887 \text{ m}^3/\text{s}$ au Gourara.

$2,085 \text{ m}^3/\text{s}$ au Touat .

$0,683 \text{ m}^3/\text{s}$ au Tidikelt .

Le debit total constant , à été fixé à $3,7 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 50% des prélèvements (1975).

CHAPITRE III : RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE DU SAHARA SEPTENTRIONAL (Algerie-Tunisie).

*Les forages : Les premiers forages artesiens apparaissent vers la fin du siècle dernier .El Goléa (1891) , In Salah 1900 et Fort Flotters (1904).

Par la suite le nombre des ouvrages augmente avec une croissance accélérée entre 1950 et 1960.

Cette croissance rapide , consécutive des perfectionnements de la technique du forages profonds (plus de 1000 m) est marquée par les ouvrages profonds du bassin du bas Sahara : ZELFANA -Guerara -Oued Rhir et Sud Tunisien.

Les prélèvements relativement constants avec 0,3 m³/s jusqu'en 1950 s'élevent brusquement à 3 m³/s en 1970 , les prélèvements totaux (forages et foggaras) stationnaires autour de 4 m³/s jusqu'en 1950 , passent dans la décennie suivante à 6,7 m³/s pour rester sensiblement constants entre 1960 et 1970 .

La croissance annuelle de l'exploitation des eaux souterraines est de 110 l/s (3,5 millions de m³/an).

SOUS-CHAP-III.2-

SYSTEME AQUIFERE DU
COMPLEXE TERMINAL.

III-2. SYSTEME AQUIFERE DU COMPLEXE TERMINAL:

Il couvre la majeure partie du bassin du Sahara septentrional sur 350.000 km². Ses affleurements sont très étendus (fig 4 et 7).

Dans le bassin occidental , sous les sables du grand Erg occidental ; il est en relation étroite avec l'aquifère du C.I sous-jacent, auquel il a donc été intégré.

A- Constitution :

Les formations du C.T, très hétérogènes , englobent les assises perméables du senonien et du Mio-Pliocène et celles du Turonien sur les bordures (Dahar , M'zab) . Il est possible de distinguer , en fait , deux couches aquifères principales, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables :

-Sables du Mio-Pliocène

- Formation carbonatée du Sénonien supérieur et de l'Eocene inférieur ,à la base.

B- Paramètres hydrodynamiques :

Les paramètres hydrodynamiques ont été mesurés par des pompages d'essais, ou calculés puis homogénéisés, complétés et régionalisés, par le calage des modèles de simulation hydrodynamiques numériques. (tableau 2).

Situations	transmissivités T (10 ⁻³ m ² /S)	coefficients d'emmagasinement S (10 ⁻³)
Ouargla	8 à 100	5 à 30
Oued - Rhir	4 à 50	0,5 à 5
Nefzaoua Djerid	20 à 200	0,5 à 2
Centre du bassin	50 à 300	5 à 150
Sud Ouest	40 à 70	150
Sud Est	15 à 150	150 à 250

Tableau N° 2 Valeurs des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère du C.T

La porosité totale moyenne est estimée à 30% pour les sables du Mio-Pliocène et à 20% pour les formations carbonatées du Sénonien et de l'Eocène inférieur.

C- Hydrodynamique du système aquifère.

L'écoulement dans le système aquifère est identifié par l'analyse de la surface piézométrique de l'année 1950 .

Elle a été construite à partir des points de mesure et en se basant, en dehors des zones d'exploitation , sur la surface piézométrique mieux connue, de 1970.

Dans ce cadre général il est possible de distinguer quatre sous-bassins (fig 8).

- Sous-bassin à nappe radiale convergente occupant tout le territoire du sud , les bodures SSE et SSW .Les niveaux piézométriques décroissent du sud au nord, de 160 m à 110m , avec des gradients hydrauliques respectifs de $2,5 \cdot 10^{-4}$ dans l'axe, de 10^{-3} à l'est et de $1,4 \cdot 10^{-3}$ à l'ouest dans la région de Ouargla.

-Sous bassin central à nappe plane,à très faible gradient,hydraulique 10^{-4} vers le nord.

-Sous bassin de l'oued Rhir, au nord -ouest (Touggourt Beskra)

- Sous bassin du Rhasa - Nefza -Djerid , au nord-est.

Le système aquifère du C.T est de type général à nappe libre , sauf dans le secteur central où les eaux souterraines sont captives sous le toit des argiles Miocène supérieur . Le toit du réservoir est peu profond, 100 à 400 m, et la surface piézométrique voisine de la surface du sol.

Les apports d'eau aux limites du systèmes s'effectuent essentiellement par:

- infiltration des eaux de ruissellement à la périphérie du bassin hydrogéologique, sur le parcours des oueds qui descendent des reliefs, puis s'écoulent sur les formations perméables des affleurements .Un apport faible des infiltrations des précipitations en année exceptionnellement pluvieuse , dans le Grand Erg oriental estimé à $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les exutoires sont constitués principalement par les grandes cuvettes d'évaporation à drainance ascendante estimés à $6,65 \text{ m}^3/\text{s}$ et par les sources qui y émergent dans les points les plus bas estimés à $3,35 \text{ m}^3/\text{s}$ (1950) et (2,4 en 1970) et par prélèvements par un grand nombre de frages, en majorité artésiens (2000 en Algerie , totalisent $8,5 \text{ m}^3 /\text{s}$ en 1950 et $12,6 \text{ m}^3 /\text{s}$ en 1970).

D- Exploitation historique et état actuel.

L'historique des débits des sources captées et des forages est établi depuis 1895.

Pour les sources En Algerie en 1855 , 21 sources connues dans l'oued Rhir ont Tari : En Tunisie , le debit des emergences de l'ordre de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ d au début du siècle , a baissé régulièrement pour atteindre $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1975.

Pour les puits et les sondages, les premières exploitations par puits artésiens creusés à la main , à Ouargla et dans l'Oued Rhir , remontent à 1855.

Leur débit total était alors de $1 \text{ m}^3/\text{s}$. En 1900, le développement des forages mécaniques, porte le débit exploité à $3,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Celui- ci augmente jusqu'en 1930 à $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Il diminue ensuite à $5 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1945 pour croître à nouveau conséquence des pompages , et atteindre près de $9 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1975.

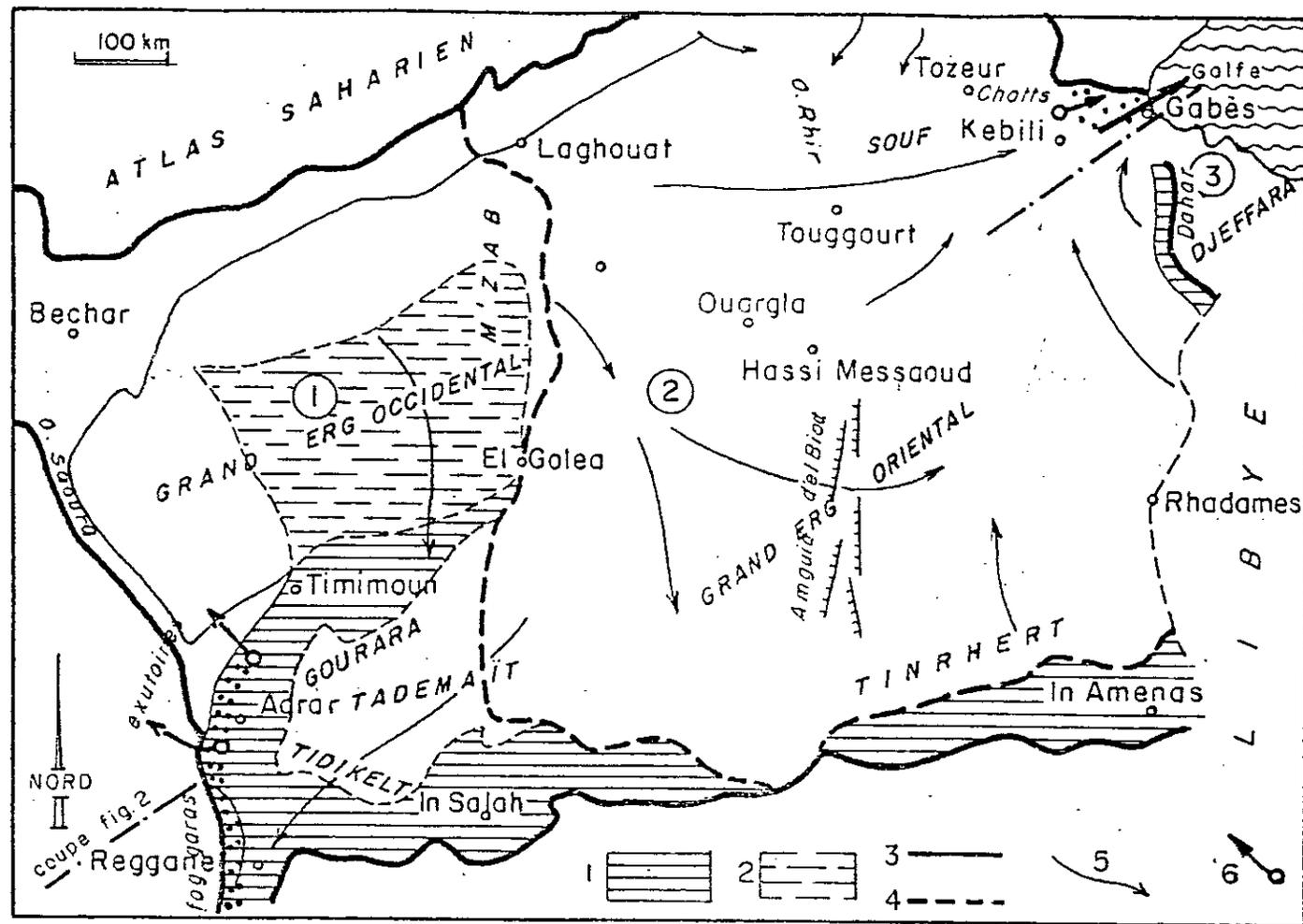


FIGURE 2 — Bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Cadre général du système aquifère du Continental intercalaire (C.I.).

1. Affleurements de la formation ; 2. Affleurements sous le Grand Erg occidental (drainance) ; 3. Limites du bassin hydrogéologique ; 4. Ligne de partage des eaux souterraines ; 5. Direction de l'écoulement souterrain ; 6. Exutoires principaux.

① sous-bassin occidental ; ② sous-bassin oriental ; ③ sous-bassin de la Djeffara.

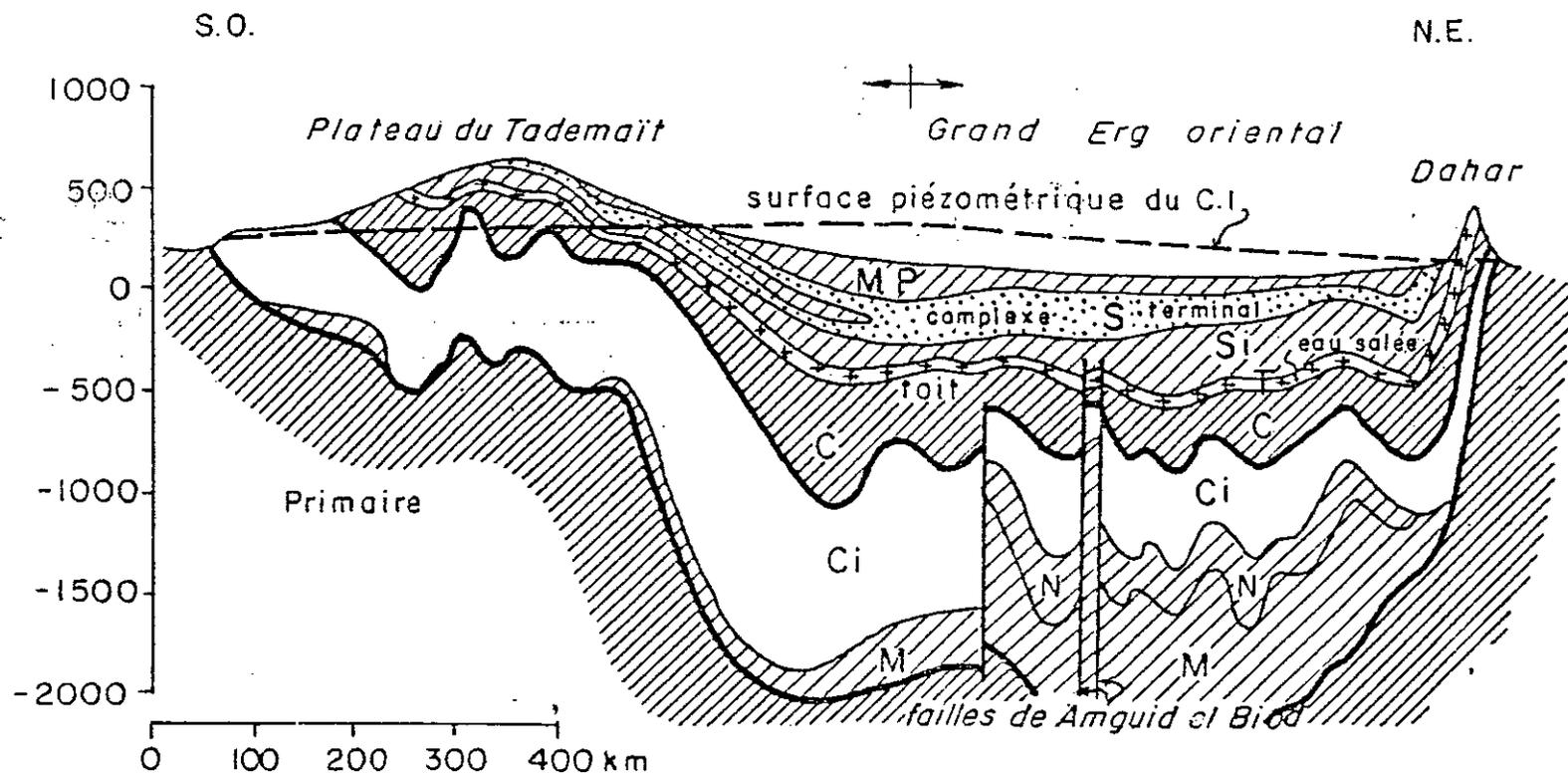


FIGURE 3 — Coupe hydrogéologique schématique du bassin hydrogéologique du Sahara septentrional.

En haut : en pointillés, la formation du Complexe terminal ; MP : Mio-Pliocène ; S : Formation perméable sablo-gréseuse du Complexe terminal, du Crétacé sup. au Miocène.

Au centre : formation géologique imperméable d'argiles et évaporites ; Si : Sénonien inférieur argilo-gypseux ; T : Turonien dolomitique (aquifère à eaux salées) ; C : Cénomanien argileux et évaporites.

En bas : Ci : formation géologique perméable sablo-gréseuse du Continental intercalaire, du Crétacé inférieur. Substratum de l'aquifère : N : Néocomien argileux ; M : Malm (Jurassique supérieur).

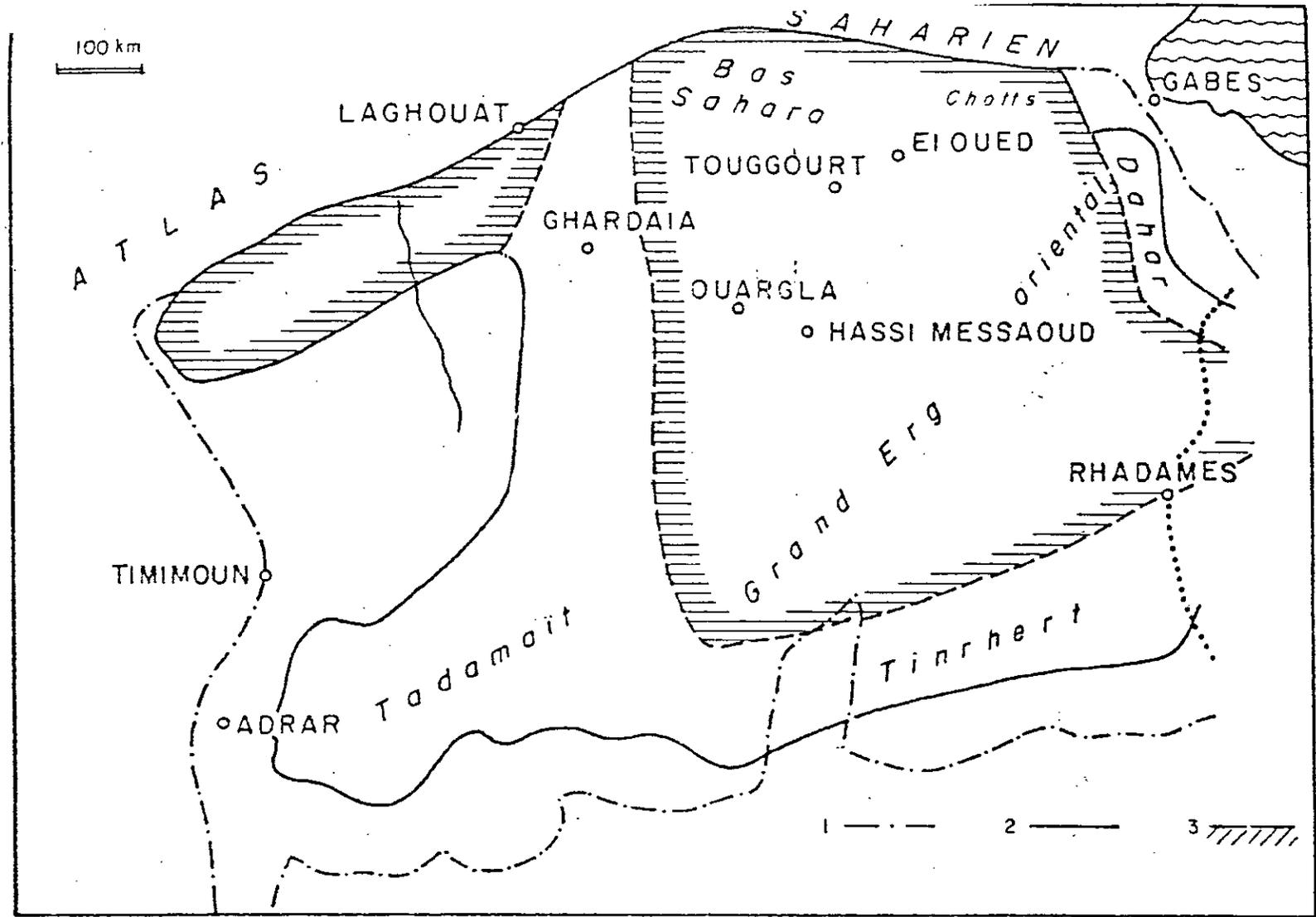


FIGURE 4. — *Limites des deux grands systèmes aquifères du Sahara septentrional.*

1. Système aquifère du Continental intercalaire : 2. Système aquifère du Complexe terminal : 3. Limite de l'aire d'exploitation du système aquifère du Complexe terminal.

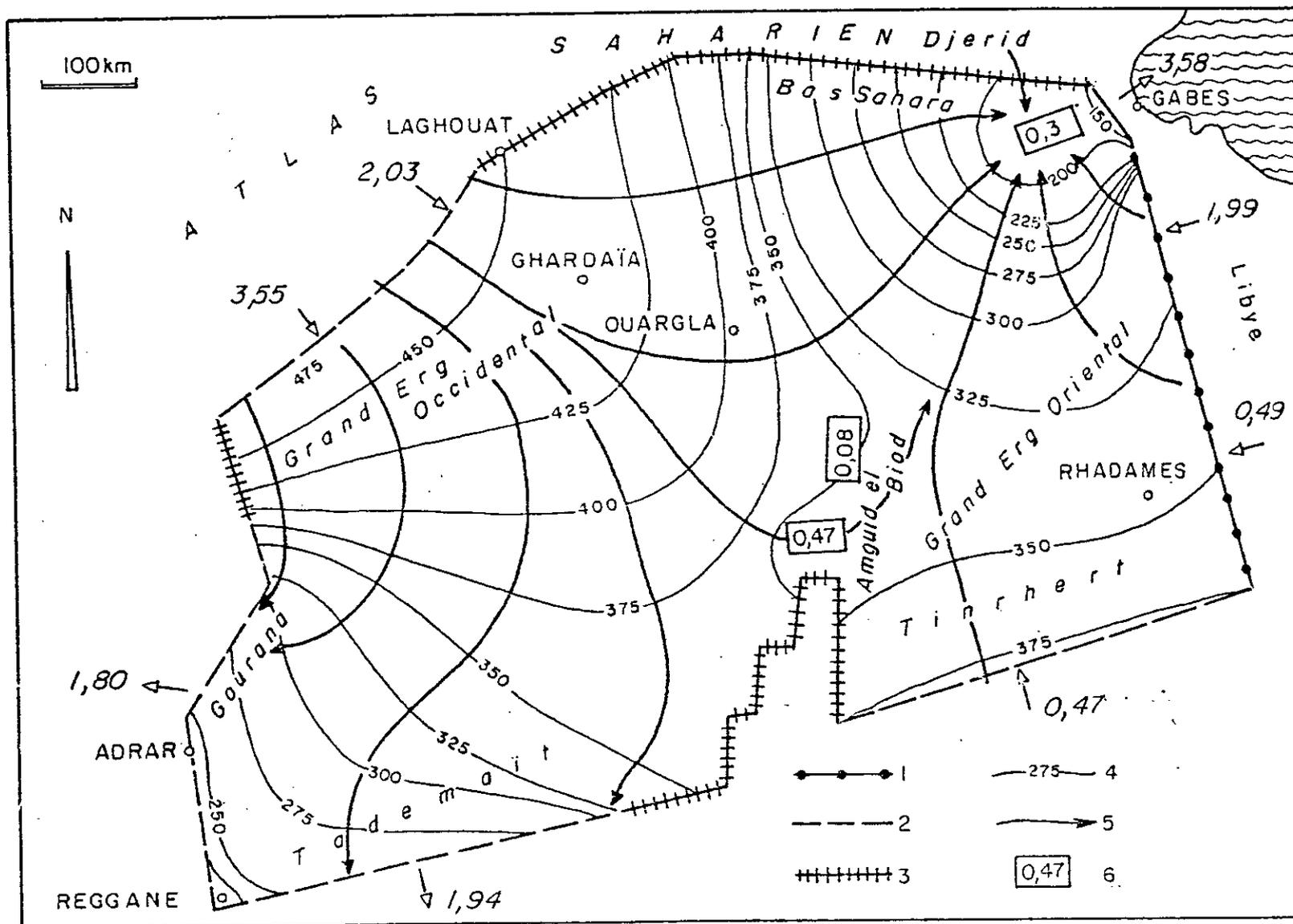


FIGURE 5 — Système d'écoulement de l'aquifère du Continental intercalaire. Carte piézométrique et conditions aux limites (1956). Flux entrant et sortant en m^3/s .
 1. Conditions de flux ; 2. Conditions de potentiel ; 3. Limite imperméable ; 4. Courbe équipotentielle avec son altitude ; 5. Ligne de courant ; 6. Flux de percolation verticale ascendante, en m^3/s .

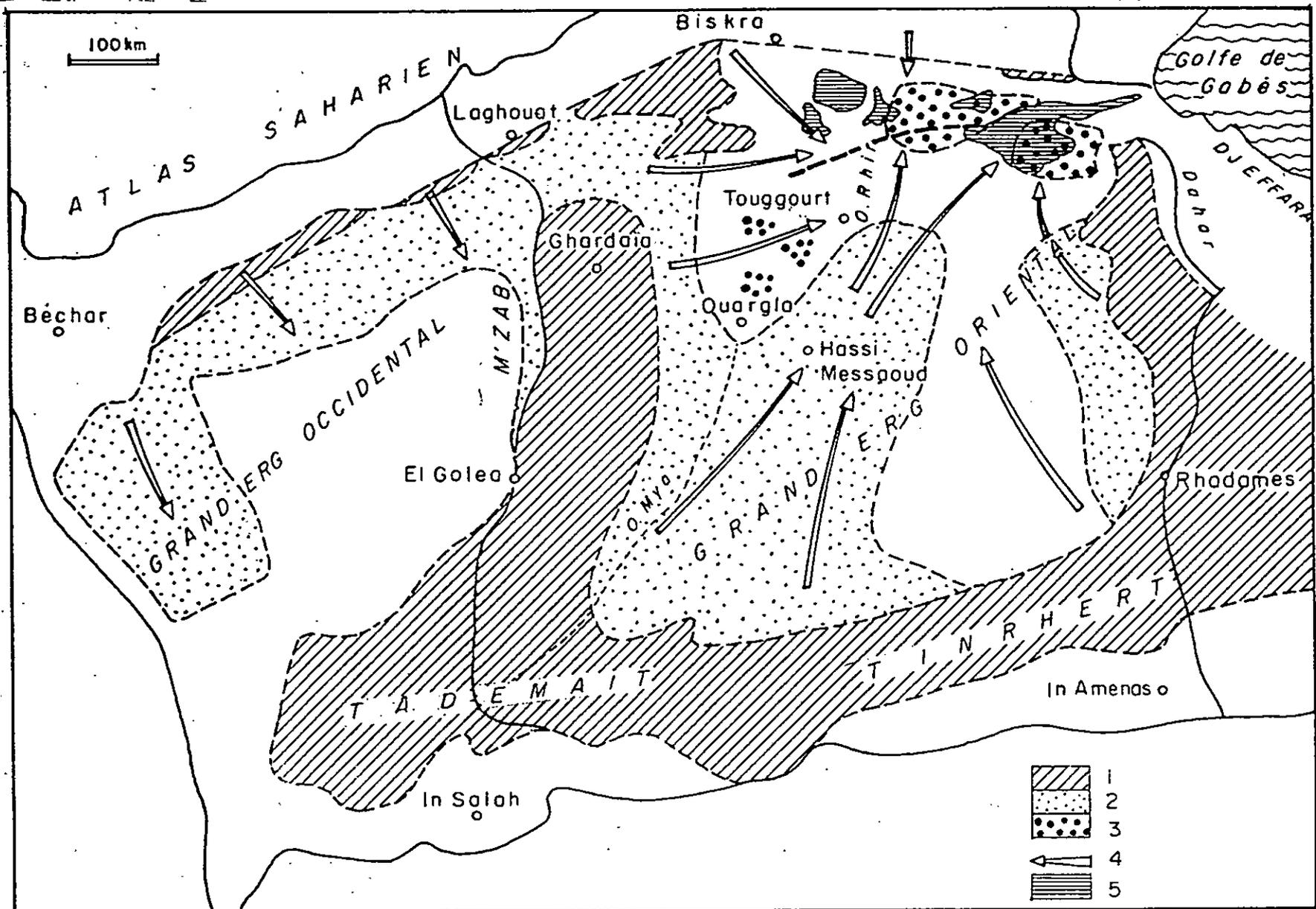


FIGURE 3 — *Système aquifère du Complexe terminal du Sahara septentrional.*

1. Affleurements du Crétacé supérieur et de l'Eocène ; 2. Crétacé supérieur ou Mio-Pliocène sous recouvrement perméable ; 3. Zone de percolation verticale et cuvettes d'évaporation ; 4. Directions d'écoulement souterrain ; 5. Chott.

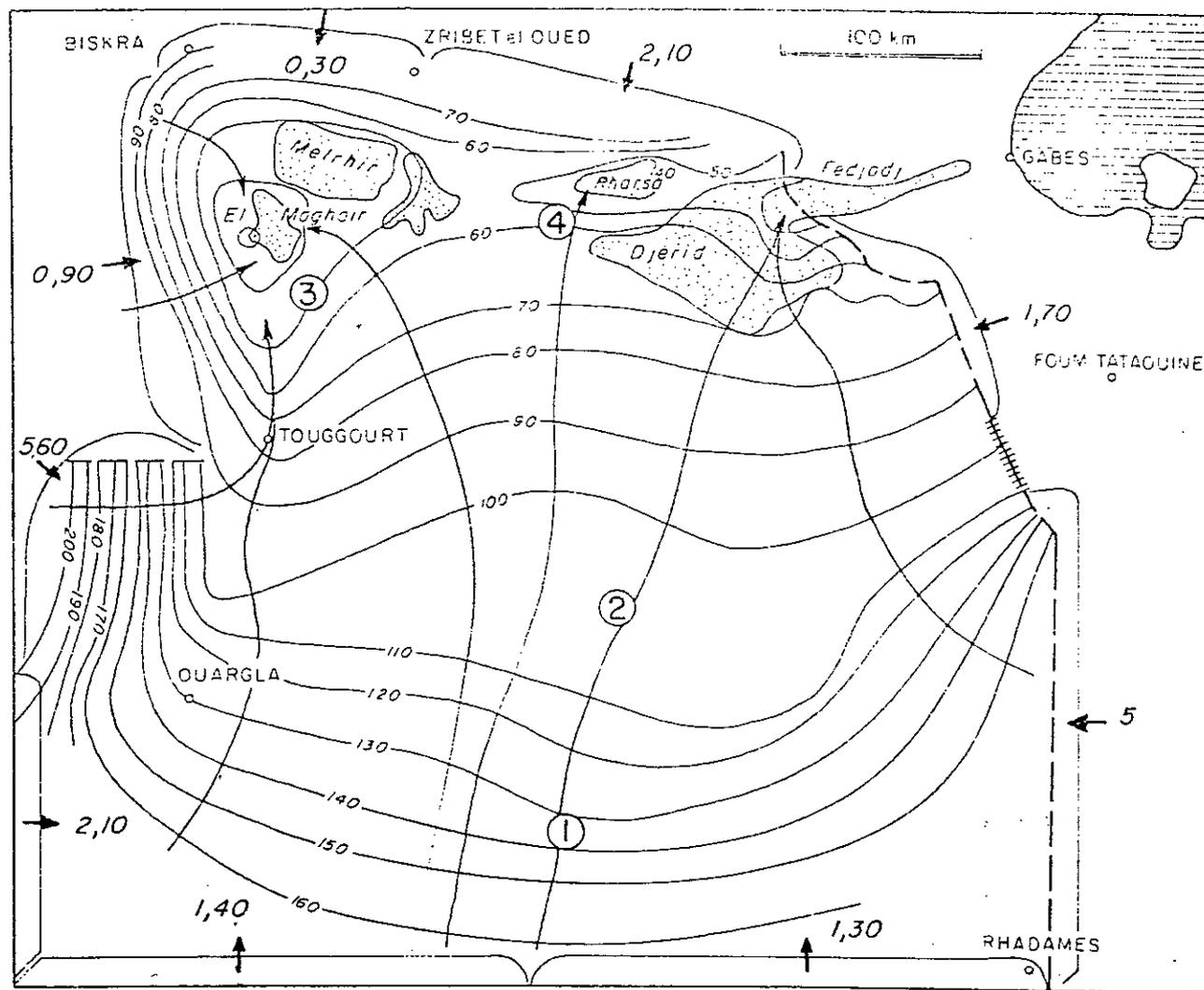


FIGURE 8 — Système d'écoulement de l'aquifère du Complexe terminal. Carte piézométrique de 1950. Conditions aux limites. Flux entrant et sortant en m^3/s .
 1. Nappe radiale convergente du sud ; 2. Nappe plate centrale ; 3. Nappe de l'oued Rhr ; 4. Nappe du Rharsa-Nefza-Djerid.
 (Même légende que fig. 5).

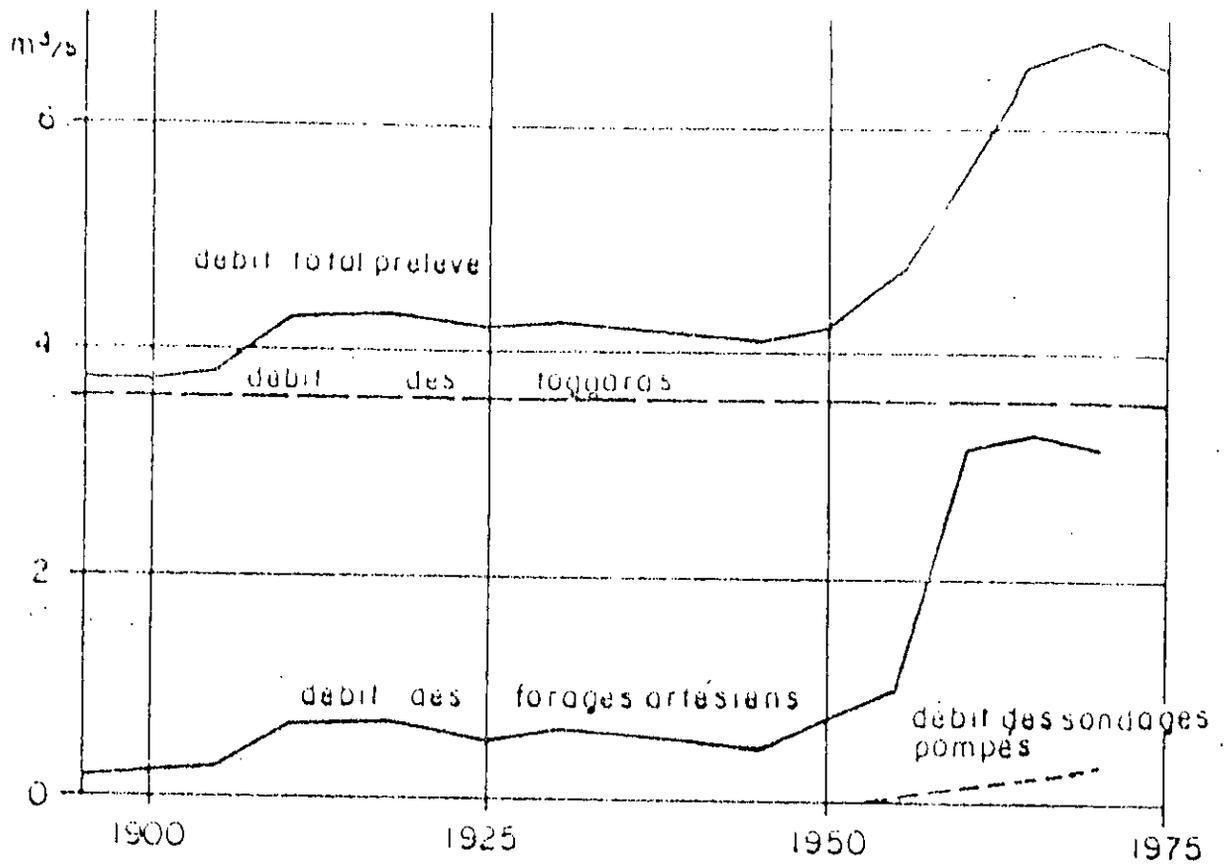
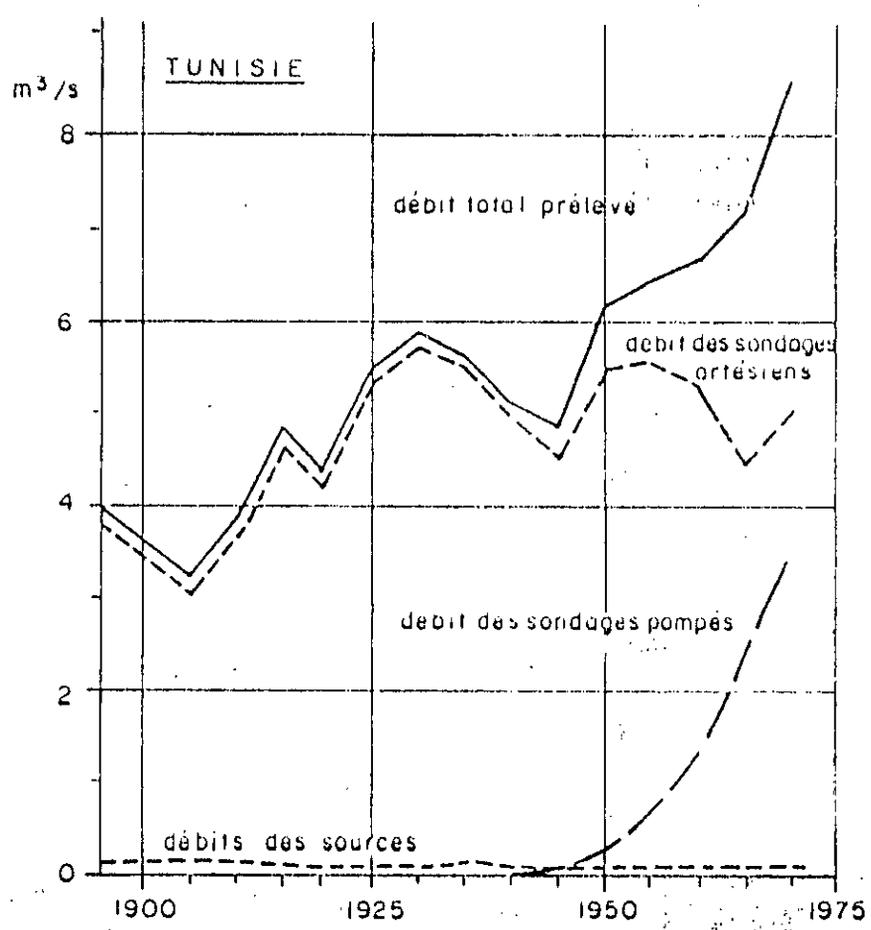
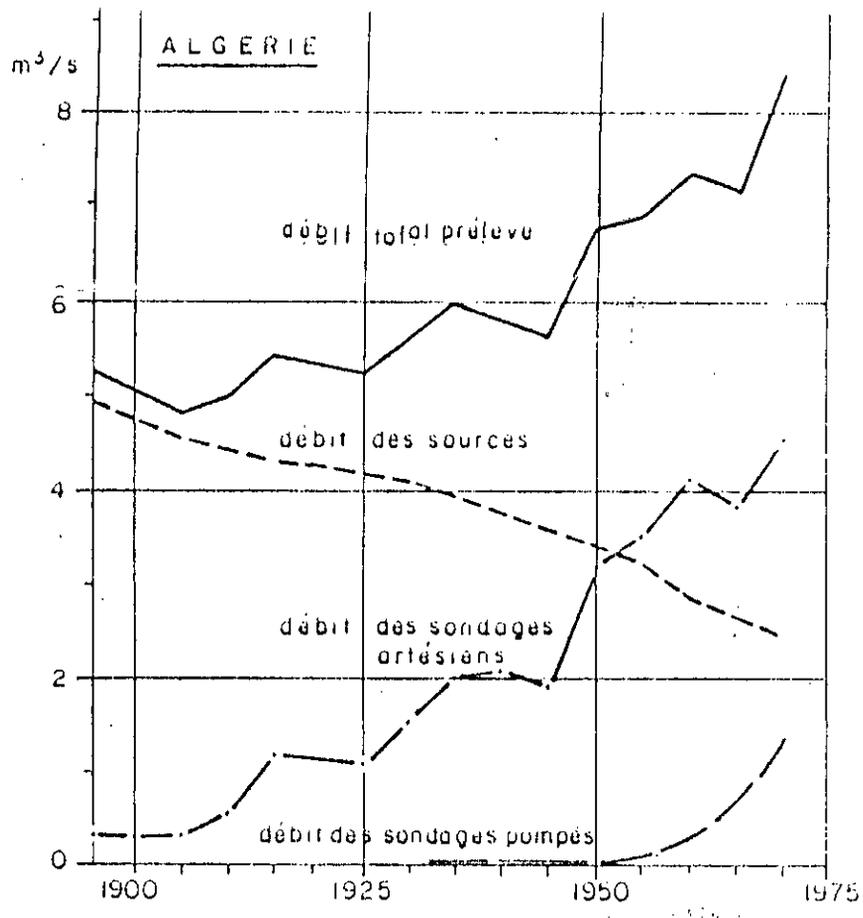


FIGURE 12 — Historique des prélèvements dans l'aquifère du Continental intercalaire en Algérie et en Tunisie.



24
 FIGURE — Historique des prélèvements dans l'aquifère du Complexe terminal en Algérie et en Tunisie.

IV-1. DESCRIPTION ET TYPES DE FOGGARAS EN ALEGRIE.

IV-1-1. DESCRIPTION D'UNE FOGGARA :

Une foggara se compose dans l'ensemble, de puits en nombre plus ou moins important, de profondeur variable reunis à leur base par une galerie souterraine dont le tracés est, extremement sinueux.

La galerie souterraine à une longueur rarement inférieur à une centaine de mètres et très souvent supérieur à 7 ou 8 km. La longueur moyenne de ces ouvrages est de l'ordre de 2,5 km.

La distance qui sépare deux puits consécutifs n'est pas constante elle varié entre 10 et 60 m, ces puits ne jouent aucun role dans la production en eau de la foggara et n'ont été creuse que pour permettre l'evacuation des déblais lors de son creusement et de son nettoyage. Ces puis ont un role d'ouvrage de visite.

IV-1-2. TYPES DE FOGGARS EN ALGEIRE (fig 1) :

selon l'origine de la reserve d'allimentation en distingue deux sorte de foggars en Algerie :

- A) Foggara du Touat Gourara
- B) Foggara de d'Ahaggar

A-FOGGARA DU TOUAT - GOURARA :

A-1.SITUATION GEOGRAPHIQUE ET DEMOGRAPHIQUE DE LA REGION

la region du Touat -Gourara se presente comme une zone allongée sensiblement orientée Nord-Sud d'une longueur de 270 km et d'une largeur de 15 à 20 km elle est limitée par :

- Le Plateau du Tadmaït à l'Est
- Le grand Erg occidental au Nord
- L'Erg Chech à l'Ouest
- Le Plateau du Tanezrouft au Sud

Le Sahara est peuplé par 970.000 habitants(1982). Cette population se repartie le long de la vallée de l'Oued R'hir à l'Est, ou vivent près de 700.000 Habitants.

A l'Ouest c'est sensiblement dans la vallée de l'Oued Guir Saoura que se repartissent 270.000 Habitants le long d'un ruban d'oasis s'étendant sur 700 km entre Béchar et Reggane.

Le Touat - Gourara qui constitue la partie la plus meridionale de cet ensemble, compte 145.000 habitants, s'édentaires repartis le long d'un chapelet de 250 oasis s'egrenant sur 350 km et représentant 6400 Hectares plantés presque exclusivement de palmiers - dattiers.

A -2- Climat du Touat-Gourara :

Le Touat- Gourara qui se situent au 28 parallele à une altitude de 200 m environ en plein cocur du sahara, ont un climat continental excessif cartactérisé par

- Une Grande sechrésse due à la rareté des pluies
- Une Chaleur élevée constante avec de gros écarts journaliers de temperatures
- Un Régime de vents assez regulier.

La pluviometrie annelle moyenne sèlève à 14mm, les précipitations étant observées d'octobre à avril.

Les précipitations à caractère orageux se produisent surtout d'octobre à décembre. Le maximum des précipitations annuelles observé est de 48 mm à Timimoun, 66mm à Adrar.

L'hiver est doux, mais durant la période de Mai à Octobre la température moyenne à l'ombre est voisine de 40°, avec des écarts entre le jour et la nuit de l'ordre de 20°.

Les vents dominants soufflent d'Est-Nord-Est, et sont frequents au printemps et au début de l'Eté.

Les vents les plus violents transportent du sable; c'est au mois d'avril que les tempêtes de sable sont les plus fortes.

A-3. Geologie de la Region :

Geologiquement, cette region se trouve située sur le rebord sud occidental du vast bassin secondaire qui s'étend de l'Atlas Saharien à la Hammada de Tihert d'une part et du Touat. Gourara au Golfe de Gabés d'autre Part .

De Reggan à Timimoun les terrains de cet ensemble structural sont les grés du continental intercalaire ceux ci viennent se terminer en biseau sur le substratum du Basin, ils sont recouverts par les terrains argilo- guypseux de la transgressions cenomanienne, eux memes surmontés d'une d'alle calcaire turonienne et de senonien.

Dans la région qui nous intéresse, le pendage général des couches du continental intercalaire est nue, n'ayant pas subit de tectonique violente, mais si l'on se dirige vers le plateau du Tademaît, le phénomène de subsistance jouent, le pendage des couches supérieures reste nul alors que le continental intercalaire a tendance à plonger et à s'enfoncer pour atteindre 2500m de profondeur dans la région du chott Melrir centre de la cuvette.

Ces formations, du continental intercalaire au senonien, reposent sur le "Socle Africain" d'age primaire et infra- cambrien ce substratum apparait très nettement à la faveur de la disparition du continental Intercalaire dans la depression empreintée par l'oued Saoura, oued Messaoud ou'il forme la limite occidental du Touat, puis dans la region comprise entre Ksobi et Timimoun et enfin, à 25 km à l'Est de Reggan ou apparaissent les affleurements de primaire du pays pretassilien qui s'étend jusqu'aux premiers contreforts de Hoggar. Les series du socle primaire et infra-cambrien on subi la tectonique hereynienne et sont très plissées et faillée.

La direction tectonique générale étant Nord-Ouest-Sud-Est la région du Timimoun et d'Adrar, et Nord -Sud dans la région de Reggan.

La surface de ce socle, qu'elle soit ou non recouverte par le continental intercalaire, n'est pas uniforme et les structures anticlinales se détachant en relief dans la topographie sont frequemment la cause d'échancrures dans le continental Intercaliaire sous lequel elle se prolongent nettement..

Enfin les formations primaires et anterieures sont recouvertes presque totalement, à l'Ouest par les sables dunaires de l'erg Cheche et vers le Nord -Ouest,

dans la region de Charaouine et Timimoun soit par les dunes du Grand Erg soit par les terrains des gours, couches rouges continentales d'âge tertiaire.

A-4 .MODE DE CONSTRUCTION DE LA FOGGARA

A-4-1 CONSTRUCTION DES PUITTS :

L'alignement relatif des puits à la surface du sol , superieur suit un tracé sensiblement réctiligne pour la galerie .En réalité , celui ci est extreme capricieux ; disposition qui s'explique par la technique employée par les Ksouriens pour le creusement .

Dans la plupart des cas, une " Khechba " (tronc de palmier coupé en quatre dans le sens de la longueur) est placée sur la bouche du puit , alignée en surface avec l'ouvrage suivant ; au fond les ouvriers reprennent cet alignement pour le donner à la galerie .

Si l'on considère que la verticalité des puits est loin d'être parfaite et que leurs diametres est petit (0,8 m à 1 m) on comprend aisement le tracé fantaisiste donné au conduit.

parfois ,on laisse pendre deux ficelles fixées aux extrémités de la Khechba ,deux pierres y sont attachées pour les tendre , et l'alignement ainsi concrétisé , les ouvriers s'efforcent de le suivre .

Comme nous l'avons dit, les puits ne sont forés que pour permettre l'évacuation de déblais et le curage de la foggara ;ils représentent donc un très gros travail qui n'apportera rien de plus au débit de la foggara.

Leurs profondeurs est très variables , rarement inférieure à 1m ,pouvant parfois atteindre 40m .Ils sont creusés jusqu'à la nappe ,et le forage cesse des qu'ils atteignent l'eau, on procède ensuite au creusement de la galerie qui les réunira aux précédents .

Leurs verticalités est tres relative , ainssi dailleurs que leur forme et leurs diamètre ; ils sont très rarement circulaires (de 0,50 à 1 m)

Leur orifice extérieur est entouré par tous les deblais résultant de leur creusement et de celui de la galerie . Ces deblais accumulés en forme de cône produisent l'impression d'une topinière.

Pour éviter la pénétration du sable dans l'ouvrages , tous les orifices sont obturés par quelques pierres plates jointes à de l'argile , donnant un bouchon suffisamment étanche.(photo 1et 2)

photo 1: Puit d'accé et de travail de la grande foggara "Ain Raïer"
à Timimoun, region du Touat et du Gourara -

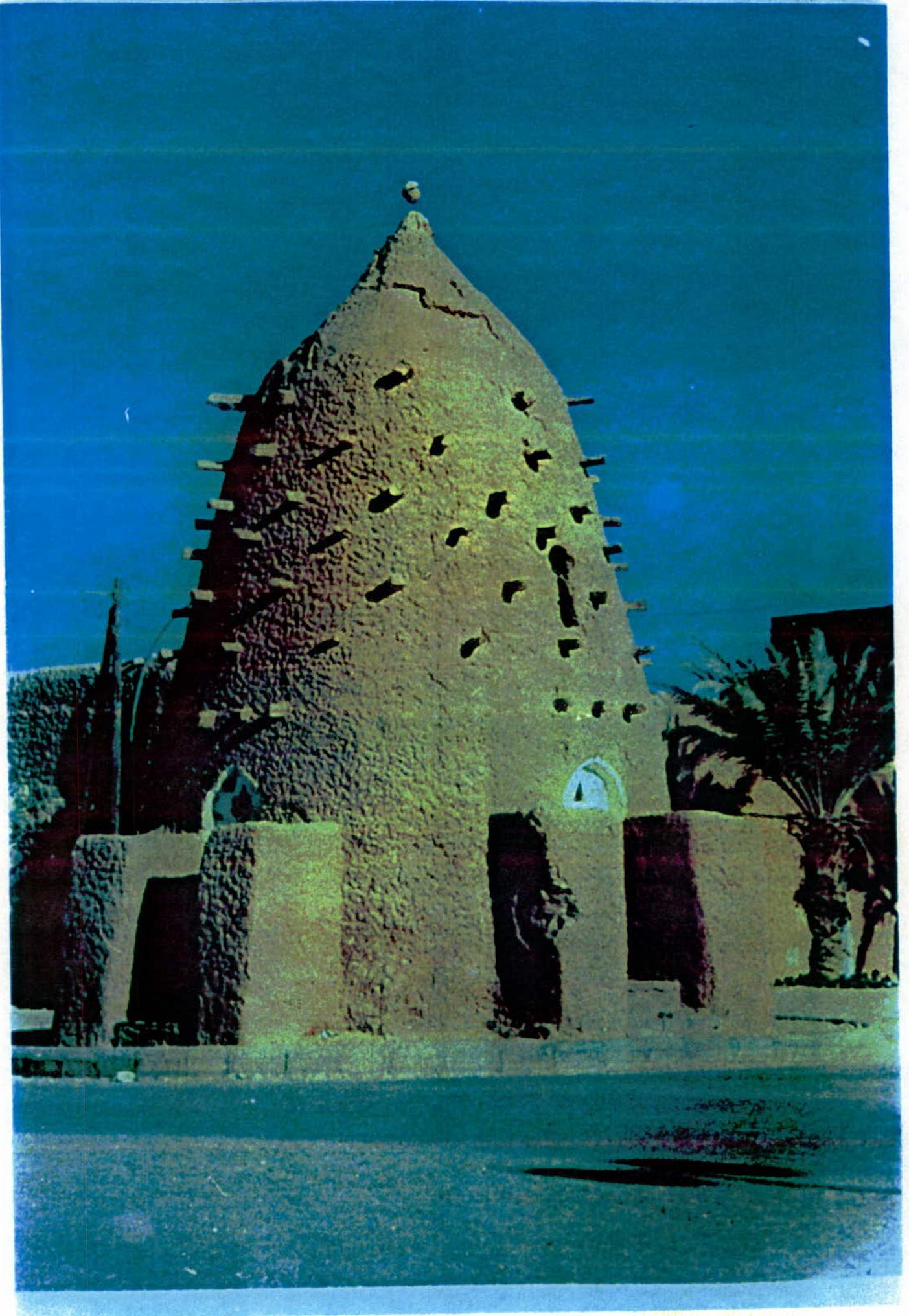


Photo 2 Puits d'accès et de travail des Kettara place de Tameslouht region du Haouz de Marrakech :



A-4-2. CONSTRUCTION DE LA GALERIE

La largeur de la galerie qui relie les puits en profondeur varie entre 0,30 et 1,5 m mais reste le plus souvent au dessus de 0,75 m cette galerie est très irrégulière et présente une succession d'étranglement et d'élargissements .Sa hauteur est très variable et parfois à rampes dans l'eau pour y circuler ; alors que plus loin cette hauteur est supérieure à 2 m.

Les parois de la galerie sont fréquemment recouvertes d'une croûte de plusieurs millimètres d'argile , c'est l'ameza qui conduit l'eau jusqu'au bassin . Cette améza est recouverte de pierres plates jointes éventuellement à l'argile qu'on voit en déblai là ou se termine la partie drainante pour finir à fleur du sol .

La pente de cette galerie est extrêmement faible .Elle est de l'ordre 1mm / mètre

La galerie est creusée d'aval on amont en remantant le courant son point d'origine est une source qui à pu se tarir , ou bien les utilisateurs ont voulu augmenter son débit.

Au debut de la construction la galerie prend son premier passage à ciel ouvert d'un niveau convenable à la surface à irriguer.

A-5. FONCTIONNEMENT D'UNE FOGGARA:

Le fonctionnement général de la foggara est représenté par la figure 10 Dans la partie amont entre les points D et F , la galerie pénètre sous la surface de la nappe phréatique et la draine , tandis que la partie aval , entre les points D et B permet grâce à une légère pente l'écoulement des eaux vers la surface du sol.

Pour que la création d'une foggara soit possible , il est nécessaire donc que la nappe phréatique soit à une côte supérieure à celle des jardins à irriguer.Cette condition est généralement remplie quand une région plate est drainée par un système de depression (oueds ou sebkhas) qui provoque un rabattement important de la nappe.

La direction des foggaras est donc indépendante du pendage des couches .Elle ne depend que de la topographie locale .Elle est toujours dans la direction d'écoulement de la nappe.

Le drainage effectué par les premières tranchées a provoqué un rabattement de la nappe ,et une migration du point D vers le point F , il finit par y avoir une stabilisation du point D à partir du moment ou le débit est égal au flux du debit affluant.

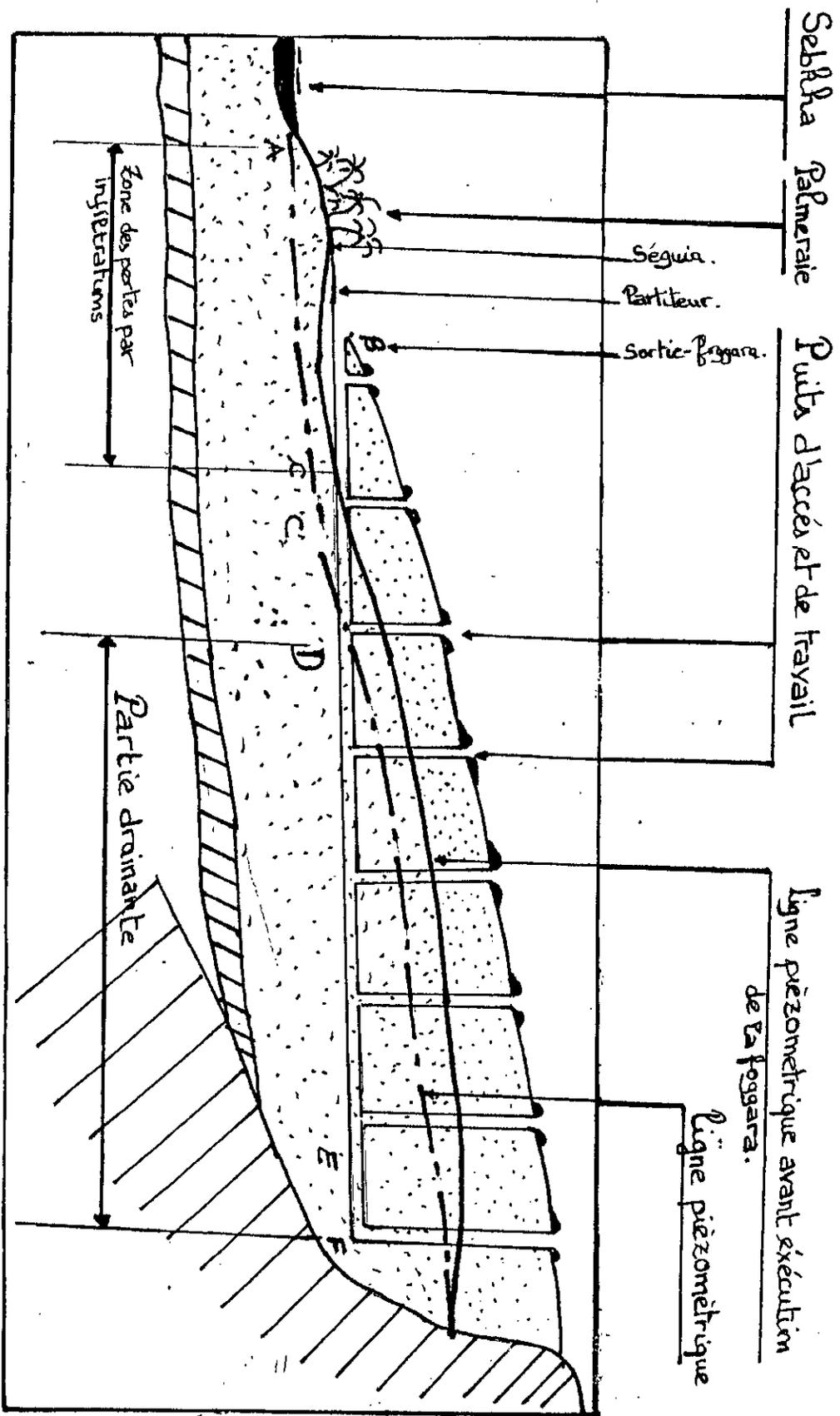
Toute augmentation du débit ne peut se faire qu'en prolongeant vers l'amont la tête de la galerie (point F).

Mais si le debit prelevé est superieur au flux du debit , la migration du point D vers le point F se poursuit , avec aubout d'un certain temps , baisse du débit de la foggara.

Bien mieux , la migration du point D vers le point F de la foggara augmente la partie des pertes par infiltration.

On s'accorde généralement à estimer que la fraction des débits perdus par infiltration dans la partie amont et de 10 à 20% du débit total drainé.

Les travaux d'allongement ont été exécutés au fil des siècles , mais par suite de la pente du terrain la profondeur des puits de travail est devenu de plus en plus grande au fur et à mesure qu'on allonge la faggara, et le rendement du travail devient de moins en moins intéressant , c'est ainsi que l'allongement des grandes foggaras de Timimoun exige actuellement le forage de puits de 40m de profondeur pour 10 m de galerie drainante.



fig^N 10 DESCRIPTION ET SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UNE FOGGARA.

A-6 .MESURE ET REPARTITION DE L'EAU.

A-6-1 .REPARTITION DES EAUX:

La repartition se fait a travers un genre de pengne en pierre tendre et facile a gratter.C' est la " KASRIA" (photo 3)

Pour faciliter la mesure et eviter un gros debit a la fois , la kasria doit avoir un nombre

suffisant d'ouvertures par lesquels l'eau s'echappe facilement sans faire retour en arriere . Ces ouvertures qui permettent a l'eau de couler dans les rigoles ne sont pas obligatoirement égales .IL arrive même d'avoir plusieurs ouvertures qui déversent a la fois dans le meme MAJRA .

L'eau d'une foggara est repartie par de nombreuses " KASRIA" . La première qui recoit la totalité du debit de la foggara est la KASRIA - LAKBIRA (le partiteur principal).

Cette Kasria principale repartie le debit de la foggara generalement en trois ou cinq grandes rigoles qui sont les "MAJARA" , au singulier "MAJRA" (fig 11) .

Apartir d'EL KASRIA LAKBIRA LAMJARA vont en éventail dans toutes les directions de

la palmeraie . Au debut de ces MAJARAS des KASRIAS secondaires repartissent les eaux dans d'autres MAJARAS plus petits ou des "segua" (petites rigoles). LA SEGUIA , au pluriel c'est les SOUAGUI. les SOUAGUI rejoignent les majens(Bassin de récupération) qui se trouve a l'endroit le plus haut du jardin et ou l'eau s'accumule pendant vingt quatre heures . Les vannes d'irrigations sont souvent en general le matin de bonne heure en été et dans la grande matinée en hiver . D'autres Kasrias minimales se trouvent tout le long des differents parcours suivant la necessite (photo 4).

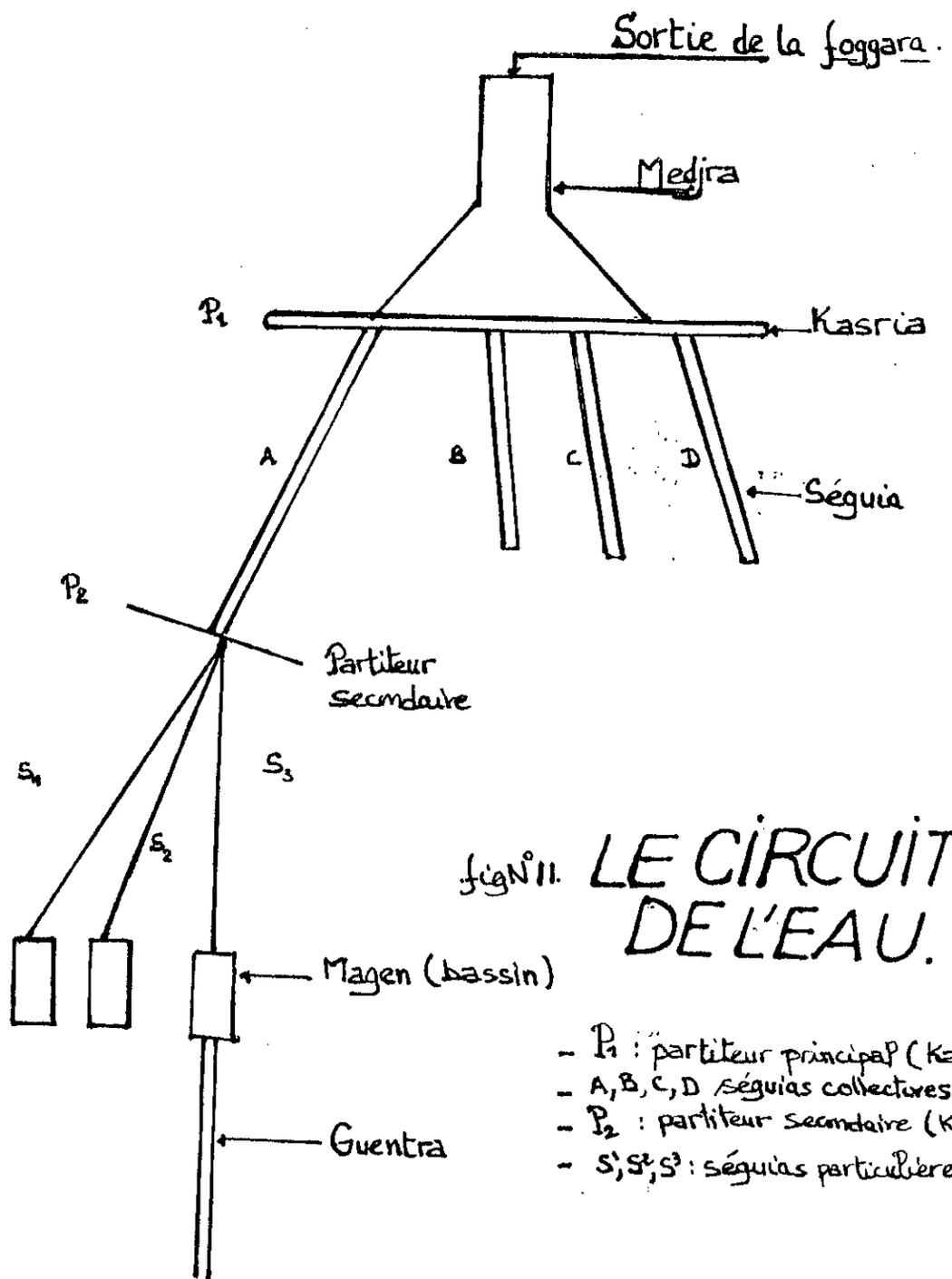
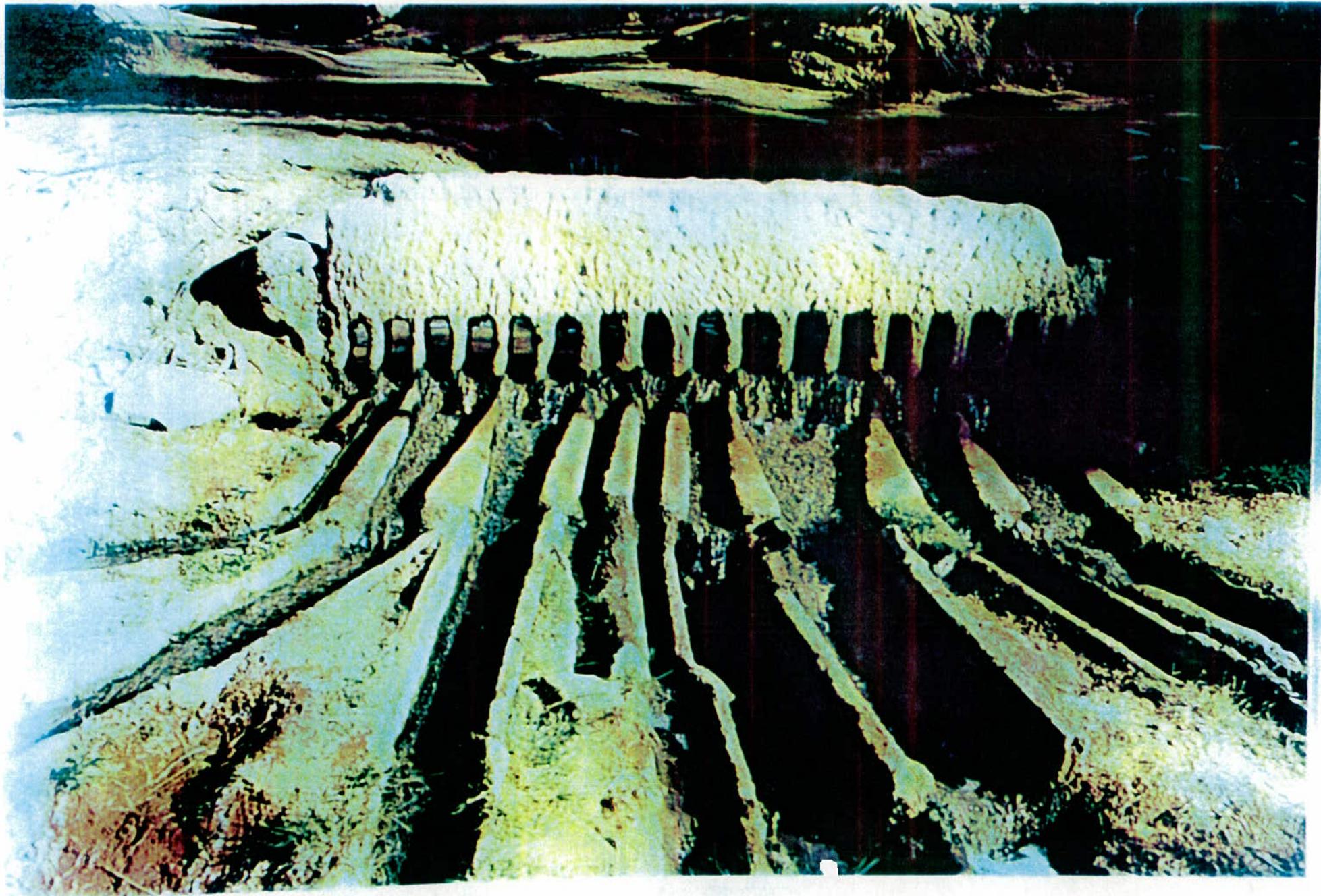


fig N° 11. LE CIRCUIT DE L'EAU.

- P₁ : partiteur principal (Kasria).
- A, B, C, D Séguias collectores.
- P₂ : partiteur secondaire (Kasria).
- S₁, S₂, S₃ : séguias particulières.



I
 S
 G
 I
 P
 A
 J
 P
 fo
 de
 pr
 Pe
 la
 A
 L
 ce
 to

Photo 3: Grand peigne dans la palmeraie de Timimoun, Algerie -

Photo 4 - Seguia dans la palmeraie de Timimoun, Algerie -



A -6-2.MESURE DES DEBITS :

La foggara appartient a ceux qui l'on crée , ils ont le droit de vendre cette eau aux possesseurs des jardins sur des surfaces pouvant etre irriguées par l'eau de cette foggara ou même à des particuliers qui n' ont n'en pas du tout , ces derniers peuvent donc louer leurs part à d'autres.

Chaque foggara possède un registre dans lequel sont inscrit les nombres de part revenant aux differents propriétaires. Aucune modification ne peut s'y faire sans la présentation d'un acte dachat signé par le vendeur et deux temoins connus au moins.

Si l'acte est ecrit par la main du vendeur lui même sa signature peut être valable.ou cas ou le vendeur se trouve illetre la signature de deux temoins suffit.

Ce registre est confié au "chahed "du village qui est généralement "Imam" de la mosquée. Ce dernier recoit une remuneration en nature,un nombre de "habbas maboud" lui est remis ,et n'en devient pas propriétaire,il ne peut, non plus pas les vendre, mais il a le plein droit de les exploiter pendant toute la durée de sa fonction il recoit en plus pour chaque opération une somme d'agent dont le montant n'est pas défini mais qui est équivalent à un salaire d'un ouvrier monyen.

Cette rémunération lui est remise par le propriétaire qui reclame la mesure.

En générale un seul Chahed est chargé d'une foggara mais il peut en avoir plusieurs. Le Chahed assure une grande responsabilité.Il doit veiller a maintenir exact le nombre de habba maboud enregistrees, le nombre de part d'eau doit être toujours égal au nombre de part d'eau contenues dans les differents actes que possèdent les propriétaires.

Le Chahed represente la Djemâa de la foggara en maintenant strictement l'exactitudes des différentes opérations et modifications dans le registre seule l'assemblée générale " la Djemâa " peut prendre des décisions importantes concernant la foggara Kial el ma ou El kiel (le mesureur) qui est choisi à l'unanimité par les Djemâas de plusieurs foggaras ou tout simplement par le Djemâa locale doit manifester une honnêteté parfaite et une conduite irréprochable dans la societe.

Il est chargé de la répartition des eaux des foggaras suivant la liste que lui remet le Chahed a chaque mesure .

Kial El Ma lui au contraire , chargé de plusieurs foggaras doit a chaque mesure collaborer avec le Chahed de la foggara à mesurer.

A chaque opération Kial El ma doit être assisté d'un manoeuvre occasionnel qui l'aide à manipuler l'argile nécessaire à la consolidation de la position de la "chegfa" et faire la construction provisoire des petits chenaux qui relient les ouvertures de la "Kasria" à la "chegfa" .

Ce manoeuvre est renuméré par celui au profit de qui la mesure se fait.

Il ya aussi "EL HASSAB" à qui est attribué la fonction de comptable. Il faut qu'il soit posé, intelligent, et ne fasse pas d'erreures.

"EL HASSAB" lui est payé occasionnellement, il reçoit pour chaque mesure une somme d'argent il est donc à la charge de celui qui organise le mesure et qui le fait venir.

La mesure commence généralement le matin à neuf heures et demi.

A-6-3 .CODIFICATION DE LA MESURE :

La part d'eau est la " habba Maâboud" elle est une partie fractionnaire de la "Habba zerig".Le nombre de habbas Maâboud possédées est fixe.

La habba zerig est l'unité de mesure, qui correspond à peu près à huit litres minutes.

Avant toute répartition, qu'il s'agit d'une Kasria principale ou secondaire, Kial El ma doit d'abord savoir le nombre de habba zerig fournis par la foggara.

Cette operation se fait à l'aide d'un instrument de fabrication locale appelé "Chegfa" le nom Chegfa vient du mot arabe "Chckfa"(photo 5) cet appareil est parfois d'une forme cylindrique de 15cm de haut et 25 à 30 cm de diamètre, ouvert de chaque coté. Némoins certaines chegfa ont la base fermée, c'est une evolution tout a fait nouvelle Kial El ma en possède plusieurs, les grandes servent à mesurer la Kasria la kbira et moyennes kasriates, les petites servent à mesurer les eaux des kasriates secondaires .La chegfa porte une ou deux rangées de trous circulaires de dimensions différentes percés sur un cercle horizontal, chaque trou represente une habba zerig ou un nombre fractionnaire déterminé d'un habba zerig. La Chegfa porte également un portillon de 10cm sur 15cm environ par lequel l'eau y entre.

Voici maintenant comment El Kial procède, il fait une plate forme bien nivelée entre la kasria et la madjra et supprime une partie suffisante des lits de toutes les souaguis partant de cette kasria.

On ne laisse personne prendre l'eau de la foggara pendant la mesure surtout pas entre la kasria et les premières 100 mètres et ce afin de ne pas gêner l'écoulement constant de l'eau ,pour cela une surveillance est assurée par un ou deux gardiens, pendant l'opération. Le kial commence la mesure par l'ouverture la plus à droite de la kasria.

Pendant la mesure de celle ci l'eau des autres ouvertures coule librement en désordre dans les séguias.

Et avans tout partage de l'eau, parfois même avant que les travaux de fouille soient terminés , tous ceux qui ont participé à l'établissement de la foggara soit par leur travail,soit par leur capitaux procèdent à une première repartition purement theorique.

On fixe pour chacun, une part proportionnelle à son apport le débit est divisé à cet effet en un certain nombre de parties .

Ce partage est consigné dans un écrit spécial appelé "registre de la foggara" "Zmam el Foggara" qui est essentiellement la liste nominative des propriétaires d'eau avec l'indication de leur part. Cette liste est tenue à jour des mutations de propriétés par des témoins, sachant lire et écrire l'arab: " Le Chahed".

Les répartitions d'eau nécessitent des opérations équivalentes à la règle de trois, mais celle ci étant absolument inconnues chez les oasiens, ils doivent pour arriver aux résultats utiliser des méthodes très compliquées, il est inutile de préciser que pour la majeure partie des ksours, une seule personne est capable de faire des calculs, dans les grands oasis comme Timimoun il y en a cependant trois ou quatre. On les appelle "hasseb" comptable ou "amin" homme de confiance. C'est une véritable charge que les responsables leguent à leurs enfants.

On voit que dans cette région où l'eau est à la base de la propriété les Ksouriens ont su établir un véritable état civil de la propriété et l'institution d'un régime foncier savant et volué qui remonté à un passé assurément fort éloigné. Toute mesure ou répartition 'accompagne d'une inscription dans des registres spéciaux affectés aux partages des achats et ventes d'eau.

La part de chacun étant ainsi déterminée on procède au partage du débit obtenu par volume sur chaque propriétaire.

La mesure du ébit de la foggara s'effectue non seulement lors du premier établissement de la foggara mais lorsque le débit initial se modifie soit qu'il ait été réduit par des éboulements de la galerie, soit qu'il ait au contraire augmenté à la suite des travaux de réfection ou d'extension. Parfois même elle est faite à intervalles réguliers. C'est donc une opération relativement fréquente que toute personne séjournant un certain temps dans ces régions peut avoir l'occasion d'observer.

Pour amener le débit, on installe la chekfa au travers de la séguia qui reçoit l'eau de la foggara de façon que la seguia étant complètement barrée, toute l'eau s'écoule par les ouvertures de l'instrument. Ceci étant fait, " le kial el ma" procédant par totannements, bouche ou débouche un certain nombre de trous de la chekfa jusqu'à ce que l'équilibre soit établi ce qui est réalisé quand le niveau de l'eau reste stationnaire

dans la chekfa, affleurant l'extrémité inférieure de l'échancrure ou l'un des trous de poignon qui se trouve à la partie supérieure de la Chekfa . Il suffit alors donc de compter le nombre de habbas or de fractions de habba correspondant aux trous restés ouverts pour connaître le débit de la foggara.

Le débit à partager étant ainsi déterminé la part revenant à chacun des propriétaires se calcul suivant les méthode locales par les "hassabines". Il reste à procéder au partage effectif en attribuant à la seguia de chaque propriétaire la quantité d'eau qui lui revient, la intevient encore le "kiel el ma" et sa chekfa.

On commence par installer au débouche de la séguia principale un partiteur appelé "guasséria" ou "kasria", formé d'une pierre plate rectangulaire placée verticalement et percée d'ouvertures pratiquées à l'avance à des dimensions un peu inférieures à celles qu'elle doivent avoir définitivement. La tâche du kiel est précisément de modifier les dimensions de ces ouvertures ,de telles façon qu'elles correspondent exactement au débit revenant à chaque propriétaire. Pour ce faire, il place la chekfa, dont il n'a laissé ouverts que les trous correspondants au nombre de habbas à attribuer, sur la séguia secondaire, a faible distance (un demi-mètre environ) en aval de la kasria et il la met en communication en élevant de petits obstacles latéraux, avec l'ouverture correspondante de la kasria. Muni d'un petit pic, il agrandit alors, par tatonnements successifs l'ouverture de la guasseria jusqu'à ce que l'équilibre hydrostatique soit réalisé , le débit fournit par l'ouverture soit égal ou débit des trous de la chekfa. Il procède de meme pour chaque séguia secondaire appartenant à un propriétaire différent.

Toutes ces opérations ingénieuses visent au même but, qui est d'attribuer à chaque propriétaire sa part d'eau de la foggara dans le Touat-Gourara.

Il est intéressant de noter que ce mode de partage se retrouve au Maroc ,à Marrakech en raison des relations qui ont existé entre ce pays et les oasis Touatiennes.

ce système séduisant n'est pas exempte d'inconvénients pratiques graves. Tandis que le partage en temps suppose une irrigation periodique, le partage en volume met en permanence à la disposition du propriétaire toute l'eau que celui ci possède ,aussi chaque propriétaire collecte son eau dans un réservoir "mâajen" afin de pouvoir le diriger au fur et à mesure des besoins.

Ce système de distribution provoque des pertes importantes tant par évaporation que par infiltration .Les reservoirs ,larges et peu profonds constituent de veritables cuves de dessiciation ou l'eau qui séjourne s'évapore avec rapidité.D'autre part,les séguias,souvent tres longues sont généralement mal colmatées et une grande quantité d'eau se perd avant d'arriver aux cultures (problème d'efficiencie de distribution).

Il est néomoin possible d'améliorer sensiblement ce système de distribution en s'attachant d'abord à réaliser une meilleure étanchéité des séguias.

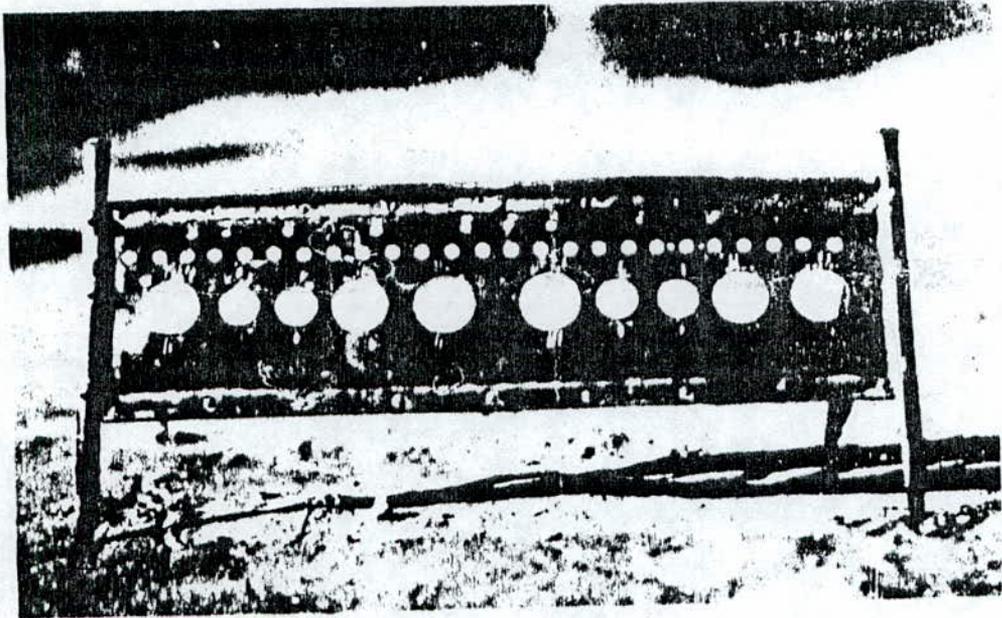


photo 5 Une plaque de jauge, la chekfa
La chekfa utilisée à Timimoun, dont l'unité est égale
à 1 litre 735 par minute

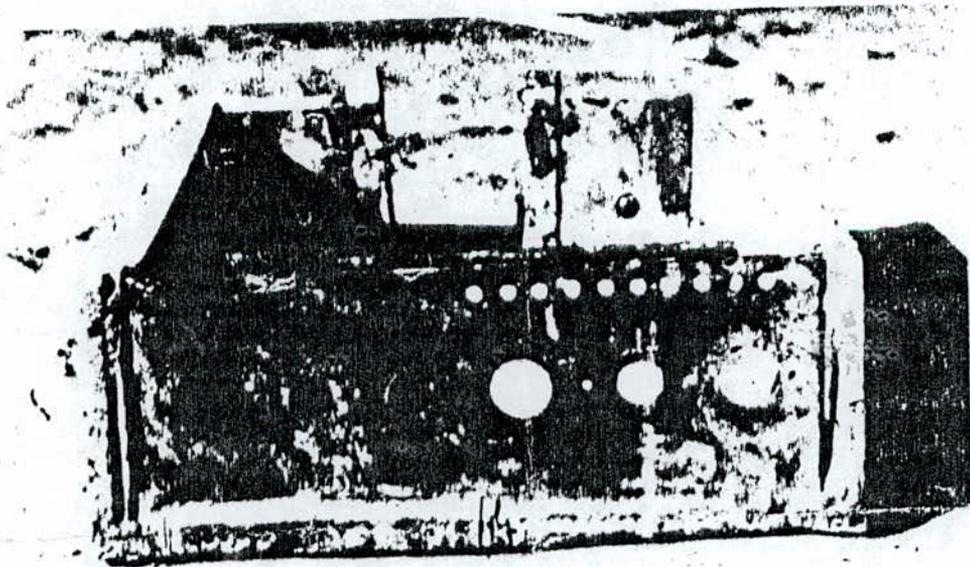


photo 5 Chekfa du beylik standardisée - 1 litre 48 par minute

A-7. RECENSEMENT ET DEBITS DES FOGGARAS

Les seules resourees en eau disponibles ; mais d'importance , sont constitués par la nappe du continental intercalaire qui affleure au Gourrara et se trouve à très faible profondeur au touat.

Cette nappe est captée par un reseau très ancien de 870 " foggaras " dont les 570 encores productives representant une longueur totale de près de 1400 Km .

Ces foggaras drainent et delivrent à l'irrigation un débit de 3 m³/sec (soit 94,6 millions de m³/an) (source ANRH 1983).

Toujours pour fixer les idées et faire ressortir l'importance du dispositif de captage , nous rappelons que :

-3,5 m³/s sont prelevés, depuis une époque récente par forages profonds dans la formation du C.I.

- Les 3 m³/s du Touat et du Gourara , auxquels il faut ajouter les 0,6 m³/s de Tidikelt, sont prelevés également dans la formation du continental intercalaire .

Mais ici la formation-aquifère étant topographiquemet plus haute et affeurant à la surface du sol et le captage peut ce faire par galeries souterraines.

Donc au total 7,1 m³/s sont prèlevés dans le continental intercalaire soit par forages profonds , soit par foggaras.

On s'accorde généralement à penser que cette ressource permettra encore le prelevement d'un débit suplémentaire.de 6 à 9 m³/s sans équipement de la reserve.

Le réservoir aquifère constitué par les différentes formations du sous sol saharien , remplis d'eau pendant les périodes pluvieuses du quaternnaire renferme une quantité d'eau qui pourrait ,en théorie et selon des estimations tres prudentes , etre évaluée à 6 x 10¹³ m³ correspondant par exemple à un débit fictif contenu de 1000 m³/s pendant 2.000 ans , ce qui veut dire qu'il faudrait 20 siècles pour parcourir le cycle complet.

Actuellement le debit des fouggaras ne varie pas et reste toujours constant égale à 3 m³/s (Mr: Kassir 1983).

CHAPIV : LES FOGGARAS EN ALGERIE

L'économie du Touat et du Gourara repose essentiellement sur l'agriculture et celle-ci évidemment se trouve conditionnée par l'eau.

Le tableau récapitulatif ci apres donne pour chaque palmeraie ou groupe de palmeraies:

- La superficie
- Le nombre des foggaras alimentant la palmeraie
- La longueur totale de ces foggaras

La caracteristique est définit comme étant le débit drainé par kilomètre de galerie.

CHAPIV : LES FOGGARAS EN ALGERIE

1 - FOGGARAS DU TOUAT :

Palmerales	superficie (ha)	Nbre de foggaras	longueurs (Km)	débit (l/s) 1932	débit (l/s) 1960	caractéristique (l/s/km)
- TAOUINI'	49	04	10.4	15.78	25.4	2.45
- ZAOUJET Reggane	20	07	18.4	12.28	13.7	0.74
- TIMOULEF	71	09	25.9	29.06	41.5	1.60
- TIMADINE	54	08	18.3	24.5	31.8	1.74
- EN - NEFIS	30	03	02.0	07.4	12.8	6.40
- AIT EL-MESSAOUD	23	02	06.0	05.15	06.9	1.15
- INZEGLOUT	221	14	38.1	58.3	66.5	1.75
- TINNOURT	53	06	12.9	13.9	27.4	2.12
- SALI'	213	13	29.8	113.8	94.8	3.18
- TILOULINE	131	09	19.1	73.3	68.8	3.60
- TITAOUINE	132	21	20.0	61.0	45.1	2.26
- INZEGMIR	292	35	39.9	128.8	136.1	6.86
- BOUALI	180	19	16.5	76.8	65.0	3.95
- EL-MENACIER	73	23	19.2	39.8	50.7	2.64
- ZAOUJET Kounta	97	19	19.1	44.1	37.1	1.95
- TABERKANT	169	26	33.3	74.5	78.2	2.45
- TIOURIMINE	81	14	27.1	37.3	28.0	1.04
- TITAF	153	17	23.1		54.0	2.34
- EL - AHMER	63	11	23.9	31.3	31.3	1.32
- TAMELT	45	08	11.5	18.3	22.2	1.94
- DJEDDID	53	10	17.0	25.4	26.7	1.57
- BA AHMAR	51	10	10.8	15.0	26.2	2.42
- BOUR-SIDI- YUCEF	27	06	11.1	16.5	15.9	1.43
- ZAOUJET Sidi Abdelkader	32	05	10.0	15.6	16.3	1.63
- MOULAY Omar	88	10	16.8	38.4	38.6	2.30
- Beni- Neni	61	05	08.7	20.4	19.4	2.24
- ALLOUCHIA	45	07	11.02	24.7	17.4	1.56
- TASFAOUT	75	16	14.3	31.1	31.7	2.34
- BOU-EN-NESS	54	09	16.5	140	13.1	00.86
- BOU FADDI	85	10	13.3	22.2	17.5	1.32
- TAMENTIT'	124	27	70.2	81.4	55.5	1.16
- Zaouiet Sidi Bekri	58	13	18.4	29.3	27.3	2.56
- Beni thameur	32	04	10.5	30.6	26.9	2.56
- Ouled bouhafs	55	04	07.6	18.2	20.2	2.66
- ADRAR	400	16	82.6	14.5	168.3	1.86
- TILILANE	24	04	14.5	09.1	08.1	0.56
- OUGUEDINE	40	10	21.2	29.3	35.0	1.65
- BOUZONE	30	06	05.8	11.2	12.8	2.20
- OUINA	35	06	09.1	32.7	28.0	3.08
- BENI OUAZAL	65	08	33.8	40.3	47.0	1.39
- BENI ILLOU	140	07	27.9	77.4	75.3	2.70
- ASEIBAT	150	10	29.1	81.7	68.4	2.34
- EL-MERAGUENE	14	03	05.5	06.4	05.9	1.07
- GUERRARA	20	03	03.5	06.8	08.4	2.40
- SBA	58	05	10.7	19.3	19.2	1.80
- KSADI	102	08	23.9		30.2	1.26
- EL-MAIZ	321	33	81.3		206.3	2.54
- KABERTEN	22	08	12.5		14.4	1.15
Total pour le TOUAT	4516	531	1011,3	2047,2	Moyen ne	2.08

CHAPIV : LES FOGGARAS EN ALGERIE

2- FOGGARAS DU GOURRARA :

N° ordre	Palmerales	superficie (ha)	Nbre de foggaras	longueurs (Km)	débit (l/s) 1932	débit (l/s) 1960	caractéristique (l/s/km)
1-1	- Saala - Meterfa	120	3	11,8	94,2	75,3	6,37
1-2	- Ouled Mahmoud	23	6	6,6	3,9	6,1	1,02
1-3	- Ouled Ali	66	4	13,1	23,5	49,4	3,77
2-1	- El Mansour	110	7	23,5	43,6	70,4	3,00
2-2	- Ighostène	77	3	12,4	28,7	51,4	4,15
3-1	- Ouled Abdessemoud	60	4	12,8	14,5	41,5	3,24
3-2	- Oufrane	60	8	15,9	4	22,1	1,39
3-3	- Tiberghamine	450	34	51,3	213,9	169,6	3,30
4-1	- Ouajda	40	5	7,9	14,1	23,9	3,04
4-2	- Taourirt	55	6	14,5	12,1	25,3	1,74
4-3	- Beni Melouk	35	11	18,4	8,2	14,7	0,80
5-1	- Lichta	20	5	6,8	14,6	8,3	1,22
5-2	- Zaouiet Sidi belkacem	65	9	12,3	14,7	22,4	1,82
5-3	- Ouled Nouh	60	9	13,9	26,85	25,8	1,86
5-4	- Timimoun	180	14	35,6	89,2	90,0	3,52
6-1	- Allarnellel	50	11	15,5	25,2	19,4	1,26
6-2	- Khiat	20	5	7,0	3,2	4,5	0,65
6-3	- Tafouat Guentour	28	6	12,7	25,0	21,1	1,66
6-4	- El Kef	35	13	13,7	11,7	21,2	1,55
7-1	- Badriane	45	9	11,1	13,6	11,2	1,01
7-2	- Tladet	27	3	5,4	9,0	11,4	1,92
7-3	- Ighzer	12	6	9,0	4,6	7,4	0,82
7-4	- Ferraoun	10	5	4,1	4,4	5,9	1,43
7-5	- Oumrade	5	5	2,4	0,4	0,9	0,35
7-6	- Tindjillet	3	4	2,3	0,6	1,2	0,53
8-1	- Hadj Guelmane	60	5	7,7	33,7	35,8	4,65
8-2	- Ouled Saïd	95	12	17,7	45,9	34,3	1,94
8-3	- Kali	42	11	13,2	45,0	23,9	1,81
	Total pour le GOURRARA	1832	214	366,0	894,8	828,3	Moyenne 2,44

CHAPIV : LES FOGGARAS EN ALGERIE

Palmerales	superficie (ha)	Nbre de foggaras	longueurs (Km)	débit (l/s)	caractéristique (l/s/km)
- TOUAT	4516	358	1011	2047	2.08
- GOURARA	1853	214	366	895	2.44
- TOTAUX	6369 68	572	1377	2942	2.26

De ce tableau , il ressort que le nombre de foggras actives pour le Touat et le Gourara s'élève à 572 représentant une longueur total de 1.317 Km.

Les débit drains distribués aux irrigation à 2,95 m²/s (2,05 m³/s pour le Touat , et 0,9 m³/s pour le Gourara).

Les débits drains par les foggara du Gourara bien que ne s'élevant qu'à 0,9 m³/s .

La caractéristique moyenne de l'ensemble des foggara de cette du Gourara ressort à 2,44 l/s/Km contre 2,08 pour le Touat .La raism de cette différence doit être attribuée à des différences de perméabilités des terrains aquifères du continental intercalaire [au fait que dans le Gourara la topographie permet de creuser ddes galeries rabatant davantage la nappe] .

L'analyse des variations de la valeur des caractéristiques de chacune des Toggaras alimentant une meme palmeraie fait apparaitre de garnds écorts autour de la valeure moyenne.

Dans le groupe de palmeraie d'Inzenghir (Touat) alimenté par 35 foggara représentant un total de 39,9 Km , la foggara " Kaddnis " de 1,7 Km à une caractéristique de 11,4 , la plus forte observée pour ce groupe de palmeries , la caractéristique moyenne de 3,41 est nettement supérieure à la moyenne du Touat.

Dans le groupe de palmeries de Tiberghamine (Gourara) irrigué par 34 foggaras représentant 51,3 Km , la foggara " Timmi Bayand " de 2,1 Km à une caractéristique de 9,6 et celle de "Sidi Mohamed " de 1,2 Km une caractéristique de 10,2 . Pour ce groupe de palmeraies , la caracteristique moyenne est de 3,30.

Par contre , dans la palmerie de Zaouiet Reggane (Touat) desservie par 7 foggaras représentant 18,4 Km , la caractéristique moyenne ressort à 0,74 , valeur nettement inférieure à la moyenne du Touat de 2,08.Des 7 foggaras , celle de " Dar cheir " à la plus forte caracteristique 1,44 La palmeraie alimentée par les foggaras ayant la plus faible caracteristique de 0,65.

La palmerie possédant les foggaras à plus forte caractéristique moyenne est celle de Saâla-Meterfa avec 6,37 l/s /Km .L'analyse des chiffres donnés dans le tableau précédant permet également de mettre en relief que , tout compte fait , une fraction importante de l'apport total draine par les foggaras .

B-Les Foggaras de l'Ahaggar :

D'introduction récente, la foggara s'est mieux conservée dans le Sahara Central, dans l'Ahaggar, il s'agit de quelque chose d'assez différent.

Les canalisations que les harratins de l'Ahaggar désignent sous le nom de "foggara" (en Touarèg : "iffeli") par analogie avec ce qui existe au Tidikelt, dont ils sont originaires sont de simples tranchées de drains souterrains sur une petite distance à ciel ouvert. Sur le reste du parcours ces foggaras sont creusées dans les alluvions d'un oued jamais dans la roche en place.

Elles sont donc plus sensibles aux oscillations de la nappe phréatique que les grandes foggaras du Nord.

Lorsque l'oued n'a pas coulé depuis longtemps, la foggara tarit ; mais si une crue survient, la foggara est démolie et les harratins se faisaient tirer l'oreille pour la refaire. et dans ces conditions, les cultures ne peuvent représenter la moindre stabilité ; c'est la raison pour laquelle il n'existe presque pas de villages permanents dans le Sahara central mais seulement des habitations temporaires autour des champs de cultures temporaires.

Le creusement de la foggara comporte plusieurs opérations. Un forrage est effectué à l'amont, un points qui permet de déceler l'eau et juger sa profondeur, puis on creuse cinq ou six puits reliés par un canal souterrain. Ce travail permet de juger de l'importance du débit. Trois hommes travaillent en collaboration l'un creuse les deux autres restent en surface, de chaque côté du puit, et descendent un couffin à l'aide de deux cordes attachées à chaque anse et rejettent les déblais à droite et à gauche du puit (fig 12).

Partant du jardin à irriguer, une séguia est établie en direction des puits d'amont, ce travail se fait en remblai d'abord, puis en déblai aussi longtemps que le permet la résistance, des alluvions à l'éboulement.

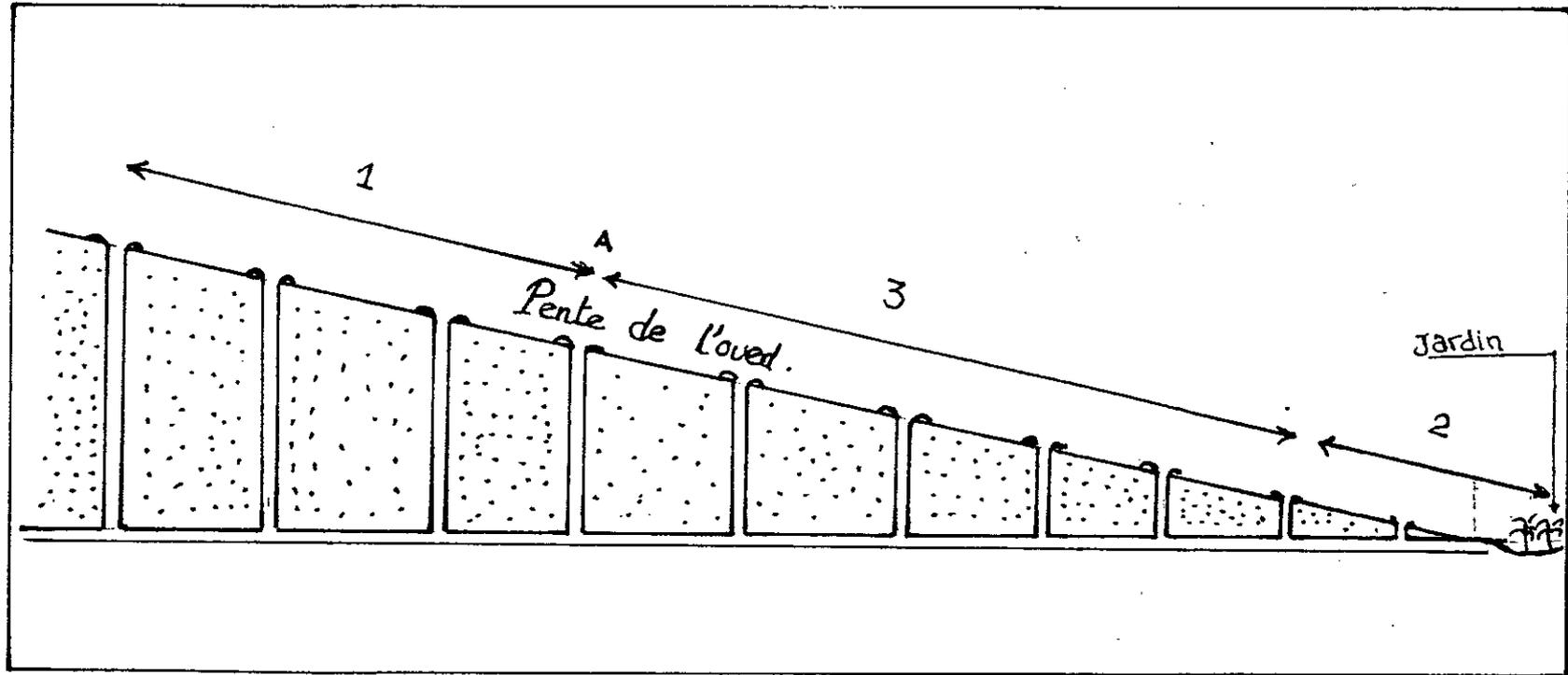
Entre la séguia d'aval et les puits d'amont sont ensuite creusés des puits espacés de 5 mètres, réunis entre eux par un tunnel. Un spécialiste aménage la pente optimum, suivant l'usage qui est de la hauteur d'une cheville par puits, soit environ 2 cm par mètre.

Lorsque tous ces puits et tunnels intermédiaires sont prêts, on ouvre le dernier tunnel (A) qui raccorde l'aval aux premiers puits d'amont. La foggara est alors terminée et l'eau va alimenter le " majen " qui est un réservoir régulateur d'ou partent les séguias d'irrigation.

Il faut un ou deux mois pour établir une foggara. Certaines d'entre elles "Abalessa" ont 6 km de longueur, et les puits d'amont atteignent 10 à 12 m de profondeur. Lorsque le débit diminue, d'autres puits sont creusés vers l'amont.

Ces foggaras, mettant en oeuvre des ressources d'eau locales limitées et n'ont ni l'importance, ni la consistance du débit des foggaras Touatiennes.

La répartition de l'eau fourni par ces foggaras s'opère très simplement sans mesure compliquée de débit, ni partage du volume comme au Touat. Rien d'analogue à la chekfa et a la kasria et chaque usager n'a le droit à l'eau que pendant un jour et une nuit consécutifs.



figⁿ12 Schéma montrant le creusement de la foggara !

CHAPITRE -V-

LES AVANTAGES ET LES
INCONVENIENTS DES
FOGGARAS.

V-LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES FOGGARAS:

Le système de foggara présente des avantages évidents .Il fournit un débit à peu près constant , indépendamment des pluies et des crues .Si à la longue la quantité d'eau diminue, il suffit de prolonger la galerie ou de creuser des galeries secondaires pour faire remonter le débit.

En outre la foggara assure l'arrosage par simple gravité , elle dispense de tirer l'eau .Et elle assure la protection contre l'évaporation .

Cependant ce système ne va pas sans inconvénients , comme le débit d'une foggara est généralement faible , de l'ordre de quelques litres ou plus par seconde , et le nombre des ayants droits est considérable , la part de chacun risquerait d'être insuffisante pour chaque jardin .Si on pratiquait une irrigation continue le propriétaire doit l'emmagasiner dans un bassin non profond et large qui constitue un magnifique bassin d'évaporation .

L'investissement en travail est colossal : pour creuser une foggara de 4 Km à une profondeur moyenne de 12 m , il faut environ 4800 Journées de travail /homme .Les conditions de travail des mineurs qui travaillaient à l'aveuglette, pliés en deux dans ces étroits boyaux ,forant à la pelle et à la pioche,remontant le sable dans des paniers,étaient très dures,sans parler des accidents que les éboulements rendaient fréquents.

Les foggaras transportent l'eau sans arrêt toute l'année ,de ce fait , l'eau qui n'est pas utilisée est perdue .Le débit est à son maximum pendant la saison des pluies , époque où la demande d'eau pour l'irrigation est au minimum , alors que pendant la principale période d'irrigation (l'été) les foggaras peuvent ne donner aucune eau durant les années de sécheresse.

Au lieu d'arroser les terrains situés en amont , les foggaras desservent les terrains situés en aval , qui sont souvent les sols les plus salins et les plus pauvres.

L'eau des foggaras est souvent de moins bonne qualité que l'eau des puits creusés dans les hauteurs

L'entretien et le curage demandent des soins constant , difficiles et pénibles;(il faut 500 jours de travail par kilomètre de galerie).

CHAPITRE -VI-

LE DECLIN DES FOGGARS.

VI- LE DECLIN DES FOGGARAS

Les foggaras ont connu autrefois une très grande prospérité. Depuis près d'un siècle elles sont en déclin; ce mouvement n'a fait que s'amplifier .

En moins d'un demi-siècle le réseau ancien de plus d'un millier de foggaras a accusé une régression considérable.

Au début en comptait plus de 870 galeries pour le Touat et 125 pour le Tidikelt .Aujourd'hui on enregistre d'après les derniers recensements 570 foggaras encore productives pour le Touat Gouarara et 89 pour le Tidikelt .

Donc le nombre de foggaras mortes se chiffre actuellement à près de 400, ce qui représente approximativement 40% d'abandon dans le réseau ancien. A noter que les foggaras mortes sont plus nombreuses dans les régions où l'on a foré des puits artésiens . Donc les foggaras sont en voie de régression , et cette régression a des raisons physiques et humaines qui sont les suivants:

a-Facteurs physiques :

Il est utile de rappeler que le désert est le résultat d'un phénomène climatique . Or c'est un fait que le débit des foggaras diminue universellement .Cela n'est pas dû seulement au manque d'entretien ;car celles que l'on récuré tous les ans donnent également moins d'eau et doivent être prolongées par de nouvelles têtes. Il semble que la nappe phréatique baisse de façon sensible dans les grès crétacés et que ce phénomène ait pour cause une raréfaction des pluies.

La conséquence de cet état de choses est que le problème de l'eau semble devoir aller en s'aggravant au Sahara Algérien.

Le niveau des foggaras baisse .Nous savons que les oasis essaient de prolonger la ligne des puits d'approfondir les drains pour parer à ce phénomène , mais la progression est limitée par le plateau et la profondeur excessive des puits ;et l'approfondissement des drains est limité par le niveau des jardins qu'on ne peut pas déplacer indéfiniment .

Un deuxième phénomène menace gravement les foggaras et les palmeraies c'est:l'ensablement.

Les vents dominants dans les oasis proviennent du Nord-Nord Est.On a vu que la configuration de la palmeraie était dictée par les foggaras .Celles-ci sont orientées Est- Ouest .

La palmeraie formée par l'accolement des jardins s'étend donc dans sa plus grande dimension sensiblement du Nord au Sud .Elle constitue alors un obstacle perpendiculaire au vent dominant et entraîne obligatoirement la formation de dunes .

La seule action de lutte possible est retardatrice.les oasiens dressent au sommet des dunes des haies de palmier.

Des observations faites sur place , échelonnées sur plusieurs années permettent de dire que les dunes avancent de 1mètre à 1,5 mètre par an .

Mais fait plus grave , les points vitaux de la palmeraie disparaissent progressivement sous les dunes ; il s'agit des foggaras , celles ci à l'origine . débouchent à l'air libre ,et pour arriver aux jardins ,elle doivent traverser des zones de dunes qui dans certains cas ,dépassent 1000 mètres de largeur donc l'assèchement de la nappe et l'envahissement par le sable compromettent ainsi sérieusement l'avenir des palmeraies a foggara du sud algérien .

b-Facteurs humains :

Des considérations d'ordre humaines entrent également en ligne de compte .Les foggaras demandent beaucoup de mains d'oeuvres , il n'est plus question d'en creuser de nouvelles , le simple entretien du reseau existant constitue déjà pour la population des oasis une tâche qui est presque au dessus de leur force.

L'évolution de l'esclavage entraîne une ravecation de la main d'oeuvre spécialisée dans le travail de la foggara .

Certains continuent l'oeuvre de la foggara , mais le nombre de travailleurs en décroissant .

CHAP VI : LE DECLIN DES FOGGARAS

A la main d'oeuvre qui se raréfie vient s'ajouter l'augmentation progressive des salaires , ceux-ci dans l'extrême Sud ont échappé un certain temps à la réglementation. ces salaires été fixés par les coutumes locale..

CHAPITRE -VII-

SOLUTIONS PERMETTANT DE
SOLICITER D'AVANTAGE LA
NAPPE DU CONTINENTAL
INTERCALAIRE ET
CONSIDERATIONS
ECONOMIQUE.

**VII- SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE
LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE ET
CONSIDERATIONS ECONOMIQUES :**

Le tableau donné à la fin de ce chapitre presente pour chacune des palmeraies du Touat et du Gourara:

-Le débit actuel des foggaras;

-Les besoins à satisfaire calculés sur la base d'une dose annuelle théorique d'arrosage de 21.000 m³ à l'hectar ;

-Le pourcentage des debits actuellement distribués par rapport aux débits nécessaires à une irrigation suffisante;

-Le déficit à combler.

Pour l'ensemble du Touat -Gourara , le debit total à combler actuellement exploite est de 2.942 l/s devrait passer à 4.171 l/s soit un déficit à combler de 1.229 l/s.

Pour combler en tout ou partie ce déficit , les solutions qu'il est possible d'envisager resultant des considerations développées bien avant sont les suivantes.

- 1) Entretien des foggaras.
- 2) Amélioration des foggaras par busage .

**CHAP VII : SOLUTIONS PERMETTANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE.....**

VII-1. ENTRETIEN ET COUT D'ENTRETIEN DES FOGGARAS :

Les foggaras demande un entretien périodique , un curage une fois par an au moins , ce travail impose une dépense considérable aux propriétaires , le coût de ces opérations fixent pour chaque foggara le prix de revient et de vente de l'eau.

Des enquêtes menées sur place et des renseignements obtenus auprès des services de l'ANRH on montré qu'on doit tabler sur une dépense d'entretien de l'ordre de 175.000 DA au Km de foggara (prix actualisé de 1982).

Les ouvriers qui travaillent à l'entretien des foggaras sont payés de 300 à 350 DA par jour .Il faut tabler sur 500 journées d'ouvriers au Kilomètre de galerie.

A partir de ce chiffre , on déduit le prix de revient du m³ d'eau suivant la caractéristique de la foggara , laquelle permet de chiffrer le volume d'eau annuelle au Km de galaerie.

donc :

$$\text{le coût de } 1 \text{ m}^3 = \left(\frac{175.000 \text{ DA}}{\text{volume d'eau annuelle (m}^3\text{)}} \right)$$

Le cout du m³ d'eau à la sortie de chaque foggara est donné selon les différentes caractéristiques par le tableau ci-dessous :

Caractéristiques C (l/s/Km)	Côut (DA) /Km
2	2,77
3	1,85
4	1,39
5	1,11

Tableau N° 3 : le coût du m³ d'eau à la sortie de chaque foggara

↑
d'entretien

VII-2. Selection et amelioration des foggaras existantes par busages :

Il n'est certes pas question de supprimer l'important système actuel de prélèvement d'eau par foggaras , lequel permet de soutirer de la nappe un débit total imporant de $3 \text{ m}^3/\text{s}$ environ.

Si l'eau obtenue a partir de ce système coute cher , c'est uniquement parceque les frais d'entretien sont élevés .De plus , on l'a vu , une fraction importante du débit , de l'ordre de 10 à 20 % est perdue dans la partie aval inactive des galeries par infiltration .

Il est possible d'imperméabiliser cette partie inactive des foggaras en logeant dans la galerie une conduite étanche et suffisamment résistante pour éviter l'ecrasement .Cette conduite supprimerait également les travaux actuels de déssablage et de curage.

En tablant sur une pente des foggaras de l'ordre de 2 mm par mètre et un coefficient de CHEZY égal à 0,30 dans la formule de BAZIN , on peut considérer que les petits débits (jusqu'à 3.00 l/mn) peuvent s'écouler dans des canalisations de 20cm de diamètre avec des vitesses de l'ordre de 0,20 m/s. Pour les gros débits , et avec toujours une pente de 2 mm par mètre , une canalisation de 40 cm de diamètre permet d'écouler 2.400 l/mn à des vitesses de l'ordre de 0,30 m/sec.

Les buses en ciment non armé fabriquées par éléments, de 1 m avec un ciment special pour lutter contre l'agressivité des eaux, permettrait de réaliser un revêtement qui , posé, ne devait pas coûter plus de 700 à 800 DA le mètre , soit 700.000 à 800.000 DA le (km).

En admettant que la longueur des foggars à " buser" , pour éviter les pertes par infiltration , represente 50 % de la longueur totale , le prix moyen ramené à la longueur totale de la foggara serait compris entre 350.000 à 400.000 DA le km pour une récupération de débit de l'ordre de 15 %.

Par ailleurs , les foggaras de caractéristiques inférieurs à 2 l/s/km doivent progressivement être abondonnées.

CHAP VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU CONTINENTAL INTERCALAIRE.....

Le tableau ci-après résume l'opération:

	Foggaras actuelles			Foggaras à conserver C > 2 l/s Km			
	Nombre	Largeur	Débit	Nombre	Longueur	Débit (l/s)	
		(Km)	(l/s)			Avant busage	après busage
Touat	358	1011	2047	136	430	1390	1600
Gourara	214	366	895	79	176	607,6	699
Total	572	1377	2942	382	606	2105	2425

Evidement, la question du choix du meilleur type de canalisation à adopter reste posée . Nous avons avancé les buses en béton de ciment pour fixer les idées, mais il reste certain que la canalisation en acier avec protection cathodique et un revêtement interieur special pourrait également convenir. De même, la canalisation en matière plastique peut être retenue comme solution possible.

Le choix du materiel dépendra de la pérennité qu'il donnera à l'ouvrage et de son prix.

Remarquons d'ailleurs que la dépense d'entretien s'élève actuellement à 175000 DA (source ANRH) par an et par km permet d'envisager des "busages" de prix encore relativement élevés restant encore économiquement plus intéressants que l'entretien actuel.

Le coût de l'opération reviendra au mètre cube d'eau.

INVESTISSEMENTS :

- Dépenses pour le curage des parties drainantes amont.
 $1/2 * 606 \text{ km} * 175.000 \text{ DA} \dots\dots\dots 53.025.000 \text{ DA}.$

- Dépenses du busage des parties aval.
 $1/2 * 606 \text{ km} * 800.000 \text{ DA} \dots\dots\dots 242.400.000 \text{ DA}$

295.425.000 DA

CHAP VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE.....

En tablant sur un taux d'amortissement de 10 % des frais à engager pour le "busage" les dépenses annuelles d'exploitation du système renoué comportant environ 211 foggaras représentant 606 km de galerie et débitant 2.425 l/s (soit 76,5 millions de m³ par an) s'établissent comme suit :

- Amortissement de busage des parties aval.(30 ans).
10 % [1/2 * 606 km * 800.000 DA]..... 24.240.000 DA.

 - Dépenses annuelles d'entretien et curage des parties amont.
[1/2 * 606 km * 175.000 DA].....53.025.000 DA
- TOTAL 77.265.000 DA.

soit au m³ d'eau : $\frac{77,256 * 10^6}{76,5 * 10^6} = 1,01$ DA le m³ d'eau

= 1 DA le m³ d'eau.

CHAP VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE

1 - FOGGARAS DU TOUAT :

N° d'ordre	Palmeraies	débit de foggaras (l/min)	besoins à satisfaire (l/min)	% de débit satisfait	débit à combler (l/min)
1-1	- TAOUINT	1.522	1.940	79%	
1-2	- ZAOUJET Reggane	0.820	800	100%	0
1-3	- TIMOULEF	2.487	2.840	88%	353
2	- TIMADINE	1.908	2.160	88%	252
3-1	- EN - NEFIS	767	1.200	64%	433
3-2	- AIT EL-MESSAOUD	413	920	45	507
4	- INZEGLOUT	3.998	8.840	45	4.852
5	- TINNOURT	1.650	2.120	78	470
6	- SALI	5.691	8.520	67	1.829
7-1	- TILOULINE	4.127	5.240	79	1.113
7-2	- TITAOUINE	2.703	5.280	51	2.577
8	- INZEGMIR	8.189	11.680	70	3.491
9	- BOUALI	3.904	7.200	54	3.296
10	- EL-MENACIER	3.041	2.920	100	0
11-1	- ZAOUJET Kounta	2.225	3.880	58	1.665
11-2	- TABERKANT	4.692	6.760	70	2.068
12	- TIOURIMINE	1.677	3.240	51	1.563
13	- TITAF	3.238	6.120	52	2.882
14	- EL - AHMER	1.878	2.520	75	642
15-1	- TAMELT	1.334	1.800	74	466
15-2	- DJEDDID	1.600	2.120	76	520
15-3	- BA AHMAR	1.571	2.040	77	469
16	- BOUR-SIDI YUCEF	953	1.080	88	127
17-1	- ZAOUJET Sidi Abdelkader	979	1.280	77	301
17-2	- MOULAY Omar	2.367	3.520	66	1.203
18-1	- Beni- Neni	1.167	2.440	53	1.273
18-2	- ALLIUCHIA	1.044	1.800	58	756
19	- TASFAOUT	1.986	3.000	66	1.014
20	- BOU-EN-NESS	846	2.160	39	1.314
21	- BOU FADDI	1.050	3.400	31	2.350
22	- TAMENTIT	4.886	4.960	99	0
23-1	- Zaoujet Sidi Bekri	1.736	2.320	75	884
23-2	- Beni thameur	1.613	1.280	100	0
24	- Ouled bouhafs	1.212	2.200	55	988
25	- ADRAR	9.096	16.000	57	6.904
26	- TILILANE	485	960	51	475
27	- OURGUEDINE	2.097	1.600	100	0
28-1	- BOUONE	768	1.200	64	432
28-2	- OUISSA	1.680	1.400	100	0
29	- BENI OUAZAL	2.820	2.600	100	0
30	- BENI ILLOU	4.516	5.600	80	084
31	- ASEIBAT	4.102	6.00	68	898
32	- EL-MERAGUENE	350	560	63	208
33-1	- GUERRARA	502	800	63	298
33-2	- SBA	1.152	2.230	50	1.168
34	- KSADI	1.806	4.080	44	2.274
35	- EL-MAIZ	12.377	12.840	97	463
36	- KABERTEN	861	880	100	0
	TOTAL	122.838	176.420	Moyenne 70 %	53.582

CHAP VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE

2 - FOGGARAS DU GOURRARA :

N° d'ordre	Palmerates	débit de foggaras (l/min)	besoins à satisfaire (l/min)	% de débit satisfait	débit à combler (l/min)
	- Saala - Meterfa	4.516	4.800	94	284
	- Ouled Mahmoud	363	920	39	557
	- Ouled Ali	2.958	2.460	100	0
	- El Mansour	4.241	4.400	97	159
	- Ighostène	3.082	3.080	100	0
	- Ouled Abdessemoud	2.490	2.400	100	0
	- Oufrane	1.327	2.400	55	1.073
	- Tiberghamine	10.175	18.000	57	7.825
	- Ouajda	1.434	1.600	90	166
	- Taourirt	1.516	2.200	69	684
	- Beni Melouk	884	1.400	63	516
	- Lichta	499	800	63	301
	- Zaouiet Sidi belkacem	1.338	2.600	51	1.262
	- Ouled Nouh	1.548	2.400	65	852
	- Timimoun	5.393	7.200	75	1.807
	- Allamellel	714	1.600	45	886
	- Khiat	272	800	34	528
	- Tafouat Guentour	1.720	1.420	100	0
	- El Kef	1.273	1.400	92	127
	- Badriane	672	1.800	37	1.128
	- Tladet	682	1.080	63	398
	- Ighzer	444	480	93	36
	- Ferraoun	351	400	88	49
	- Oumrade	51	200	25	149
	- Tindjiliet	74	120	62	46
	- Hadj Guelmane	2.152	2.400	90	248
	- Ouled Said	2.056	3.800	54	1.744
	- Kali	1.433	1.680	85	247
	TOTAL	53.682	73.840	Moyenne 73 %	20.158

**CHAP VII : SOLUTIONS PERMETANT DE SOLICITER D'AVANTAGE LA NAPPE DU
CONTINENTAL INTERCALAIRE**

Total pour le TOUAT et le GOURRARA :

Débits des foggaras 1960	Besoins à satisfaire	Débit à combler
176.520 (l/min)	250.260 (l/min)	73.740 (l/min)
2.942 (m ³ /s)	4.171 (m ³ /s)	1.229 (m ³ /s)

CONCLUSION

Tout le long de ce travail nous avons tenté de regrouper l'ensemble des données et travaux concernant les Foggaras en particulier ceux de notre pays.

Les informations que nous avons pu avoir étaient dispersées et difficiles à regrouper, néanmoins le maximum de documents et études disponibles ont été consultés et synthétisés, ce qui a permis d'avoir une idée globale mais aussi assez détaillée surtout ce qui concerne le mode de construction des Foggaras, le nombre de répartition géographique dans le Sud de l'Algérie, le débit drainé par ces dernières. En somme c'est une carte d'identité, complète de tout ce qui concerne ce mode ingénieux et séculaire, de captage des eaux en zone arides.

En parcourant l'histoire, nous avons démontré que les Foggaras a pris son origine au Perse puis transmise en Afrique du Nord et en particulier en Algérie, par les Arabes lors de la conquête musulmane.

Le mode de fonctionnement de ce système de captage est fort simple et ne repose que sur le rabattement de la nappe du (CI) à certain endroit de cette réserve d'eau. Il suffit au gens de suivre tout simplement le sintement de l'eau, en creusant sommairement des galeries avec des matériaux locaux pour enfin récupérer des quantités non négligeable d'eau pour arroser des oasis au complet et cela au temps où il n'y avait aucun moyen de pompage ni d'électricité d'ailleurs.

La Foggara ne constitue plus une raison de vie suffisante ce moyen est dépassé, ce n'est qu'une forme résiduelle, les laisser progressivement tarir et déplacer les populations qui s'accrochent désespérément à leurs traditions et une éventualité qui ne peut être envisagée, elle répond pas à la mission du développement du Sud que l'Algérie s'est assigné pour préserver l'équilibre des Oasis à Foggara, que font partie de son patrimoine historique et culturel.

S'avoir si l'on «doit» ou si l'on «peut» remplacer la Foggara n'est pas une question théorique, c'est d'abord une question à traiter par cas d'espèces (il faut sélectionner les Foggaras une par une) objet d'un choix à faire chaque fois en fonction de critères spécifiques à une situation donnée, et à reviser en fonction des conditions socio-économiques, hydrogéologique, et des moyens technologiques pour sauvegarder les Oasis Sahariens.

S'il serait donc ma venu de proposer et de conseiller une réponse de principe unique et générale, à cette question, il est par contre possible, et, on l'espère utile de formuler les recommandations suivantes :

— Il faut assurer le développement des régions du Sud tout en conservant les Foggaras, car elles permettent de conserver l'équilibre fragile de l'environnement Oasis, et les améliorer chaque fois que ceci est possible par les procédés suivants :

- La busage et le curage de la galerie
- Protection des puits par couvercle
- Réalisation de bassin d'accumulation des eaux à l'aval de chaque groupes e Foggaras.

- Faire éloigner les forages et les puits pour éviter le rabattement de la nappe.

Mais le puit jaillissant devra remplacer le Foggara toutes les fois que l'exploitation des ressources en eau par Foggara se présentera dans des conditions défavorables.

A la fin nous espérons que ce travail soit une contribution qui permettra dans l'avenir très proche par une meilleure maîtrise de ces informations de trouver des solutions rationnelles pour le développement des Oasis à Foggara.



- Bassin du Dar EL I l ana, Marrakech alimenté par les eaux des Kheffara de la région -

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ANDRE C. ESSAI SUR L'HYDROGÉOLOGIE DU GRAND ERG. «Travaux de l'Institut de Recherche Saharienne I.R.S.» (1958).

- [2] ARRUS R. L'EAU EN ALGERIE
«Presses Universitaires de GRENOBLE» (OPU 1985).

- [3] CASTANY G. HYDROGEOLOGIE GEOLOGIE DE L'INGENIEUR «Exploitation des réserves d'eau souterraine en zones aride et soumi-aride» (BRGM 1982).

- [4] COMHYD ACTES DU PREMIERS COLLOQUE MAGHREBIN (1995).

- [5] KOBOR-IWAO CASE STUDIES OF FOGGARA OASES IN THE ALGERIAN SHARA AND SYRIA

- [6] SAVORNIN J. LE PLUS GRAND APPAREIL HYDRAULIQUE DU SAHARA (Nappe artésienne dite de l'ALBIEN) «Extrait des travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes) Tome IV. (Alger 1947).

- [7] SGHAIR M. COURS SPECIALISE, DEVLOPPMENT DES ZONES ARIDES ET DESERTIQUES «Institut des Régions Arides Tunisie» (Novembre 1993).

REVUE

- [1] TECHNIQUES ET SCIENCES (Revue Maghrebine N°6 Avril 1991).