



MICROFICHE N°

08789

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

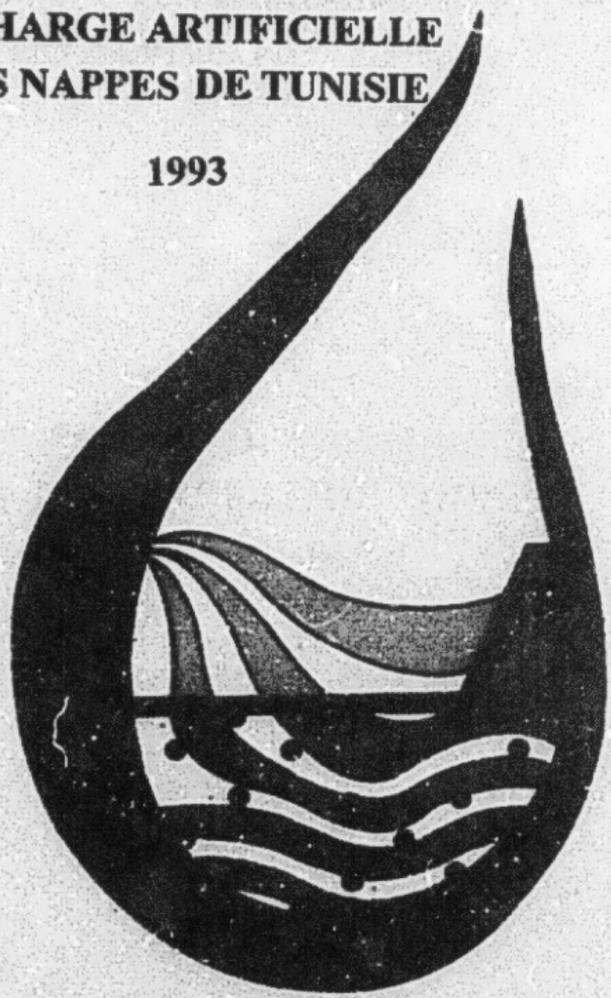
المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 1

GODR 1789

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES DE TUNISIE

1993



Publication de la **DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU**
43, Rue de la Manoubia - Tunis 1008 - Tél: 490 900 - Fax : 381 648

**REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE**

***DIRECTION GENERALE
DES RESSOURCES EN EAU***

**RECHARGE ARTIFICIELLE
DES NAPPES DE TUNISIE**

1993

PUBLICATION DE LA DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU

**RECHARGE ARTIFICIELLE
DES NAPPES DE TUNISIE 1993**

Publication de la **DIRECTION GENERALE DES RESSOURCES EN EAU**

SOMMAIRE

AVANT - PROPOS

ALLOCATION DE MONSIEUR LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE

PREMIERE PARTIE : LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES EN TUNISIE 1993

I- DEFINITION ET OBJECTIF DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES EN TUNISIE

III- RECHARGE DES NAPPES EN 1993

DEUXIEME PARTIE : LA RECHARGE ARTIFICIELLE A TRAVERS LES DIFFERENTES NAPPES DE TUNISIE : COMMENTAIRES & TABLEAUX PAR SITE

RECHARGE ARTIFICIELLE DU SYSTEME AQUIFERE DE MORNAG

I- INTRODUCTION

II- TECHNIQUE ADOPTE POUR LA RECHARGE

II-1- Dispositif de recharge

II-2- Dispositif de suivi et mode opératoire

III- IMPACT DE LA RECHARGE SUR LA NAPPE

III-1- Impact de la recharge sur les fluctuations piézométriques

III-1-1- Période de recharge allant du 3-12-91 au 1-10-92

III-1-2- Période de recharge allant du 15-3-93 au 31-12-94

III-2- Impact de la recharge sur la salinité de l'eau de la nappe

IV- CONCLUSION

RECHARGE DES NAPPES DU GOUVERNORAT DE BIZERTE

I- RECHARGE DE LA NAPPE DE MATEUR

II- RECHARGE DE LA NAPPE DE RAS DJEBEL

II-1- Station de Sidi el Guebbari

II-2- Station de Bri Ata

RECHARGE DES NAPPES DU CAP-BON

I- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE AU CAP-BON

I-1- Expérimentation de la recharge artificielle sur les nappes du Cap-Bon

I-1-1- Recharge à partir des eaux de surface

I-1-2- Recharge à partir des eaux usées traitées

I-2- Recharge artificielle opérationnelle des nappes au Cap-Bon

I-2-1- Recharge par injection dans les puits de surface

I-2-2- Recharge par injection dans les bassins d'infiltration

I-2-3- Recharge par épandage sur sol perméable (région d'el Gobba)

II- EVALUATION DE LA RECHARGE DES NAPPES AU CAP-BON EN 1993

II-1- Recharge de la nappe de Grombalia

II-1-1- Station El Gobba

II-1-2- Station Sidi Alaya

II-2- Recharge de la nappe de l'Oued Souhil à partir des eaux usées traitées

II-2-1- Recharge par épandage dans le lit de Foued Souhil

II-2-2- Recharge par bassins

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES D'EAU SOUTERRAINE DU SYNCLINAL DE NADHOUR-SAOUEF

I- INTRODUCTION

II- HYDROGEOLOGIE

II-1- L'aquifère calcaire de l'Eocène inférieur

II-2- L'aquifère gréseux de l'Oligocène

II-3- L'aquifère gréseux du Miocène

II-4- Les ressources et l'exploitation de ces nappes

III- RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES

- III-1- Barrage Es Sahel
- III-2- Barrage El Oglia

IV- EFFET DE LA RECHARGE SUR LES NAPPES DE NADHOUR

- IV-1- Effet du barrage Essahel
- IV-2- Effet du barrage El Oglia

RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE TEBOULBA

- I- INTRODUCTION
- II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN

- I- INTRODUCTION
- II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE

- II-1- Recharge à partir du barrage de Sidi Sâad
- II-2- Recharge à partir du barrage El Houareb

III- IMPACT DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN EN 1993

- III-1- Recharge à partir du barrage El Houareb
- III-2- Recharge à partir du barrage de Sidi Sâad

RECHARGE DE LA NAPPE DE L'UNDERFLOW DE L'OUED SILIANA

- I- INTRODUCTION
- 2- ASPECTS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES
- 3- TRAVAUX POUR LA RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE
- 4- EVALUATION DE L'IMPACT DE LA RECHARGE DE L'UNDERFLOW DE L'OUED SILIANA

III- RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES

III-1- Barrage Es Sahel

III-2- Barrage El Oglia

IV- EFFET DE LA RECHARGE SUR LES NAPPES DE NADHOUR

IV-1- Effet du barrage Essahel

IV-2- Effet du barrage El Oglia

RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE TEBOULBA

I- INTRODUCTION

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE

RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN

I- INTRODUCTION

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE

II-1- Recharge à partir du barrage de Sidi Sâad

II-2- Recharge à partir du barrage El Houareb

III- IMPACT DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN EN 1993

III-1- Recharge à partir du barrage El Houareb

III-2- Recharge à partir du barrage de Sidi Sâad

RECHARGE DE LA NAPPE DE L'UNDERFLOW DE L'OUED SILIANA

1- INTRODUCTION

2- ASPECTS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

3- TRAVAUX POUR LA RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE

4- EVALUATION DE L'IMPACT DE LA RECHARGE DE L'UNDERFLOW DE L'OUED SILIANA

AVANT-PROPOS

Pour quoi cet annuaire ?

L'annuaire de recharge artificielle des nappes de Tunisie est édité pour la première fois cette année, afin de mettre l'accent sur la nouvelle orientation donnée à cette activité au cours de l'année 1993 qui est aussi passée du stade expérimental au stade opérationnel de développement des ressources en eau souterraines.

Cet annuaire récapitulant l'activité de recharge artificielle des nappes en 1993, vient à la suite d'une journée scientifique organisée par la D.G.R.E. le 29/04/1992 sur le thème "Recharge Artificielle des Nappes à Travers la Maîtrise des Eaux de Surface". Au cours de cette journée, Monsieur le Ministre de l'Agriculture a bien souligné le rôle de la recharge artificielle dans la Stratégie Nationale de Développement des Ressources en Eau (voir encadré). Il a également recommandé de mettre en place une stratégie spécifique à cette activité afin de préparer le pays à l'après l'an 2000.

C'est dans ce sens qu'il a été fixé comme objectif d'atteindre d'ici l'an 2000, le stockage et la mise en place dans les nappes, de l'équivalent de 100 Mm³/an à l'aide de la recharge artificielle et ce à partir de l'excès en eau des barrages, barrages et lacs collinaires et des eaux maîtrisées par la C.E.S.

Ce premier annuaire présente le bilan de cette activité menée en 1993 dans cet objectif.

A. MAMOU

**Directeur des Eaux
Souterraines**

**Allocution de Monsieur le Ministre de l'Agriculture
à la clôture de la 10^{ème} Journée des ressources en eau sur
"la recharge artificielle à travers la maîtrise des eaux de surface"
(INAT - Tunis, 29/04/92)**

Je suis très heureux de clôturer cette 10^{ème} Journée des Ressources en Eau organisée par la Direction Générale des Ressources en Eau et consacrée à la "Recharge Artificielle des nappes à travers la maîtrise des Eaux de Surface" : cette journée s'inscrit dans une tradition louable instaurée par la Direction Générale des Ressources en Eau, pour mettre en évidence l'effort scientifique que fournit le Ministère de l'Agriculture dans le domaine hydraulique.

Le choix des thèmes de cette journée atteste de l'intérêt que nous portons à la recherche des moyens adéquats pour développer les ressources, préserver leur qualité et les adapter à l'évolution rapide des besoins.

La recharge artificielle apparaît comme un moyen efficace pour créer dans le système global des ressources en eau un volant souterrain qui en règle le fonctionnement et permet une répartition optimisée dans l'espace et dans le temps des ressources en eau disponible.

La maîtrise des eaux de surface à travers la construction de 21 nouveaux barrages, de 1000 lacs collinaires, de 200 barrages collinaires et de 4000 ouvrages d'épandage de crues, permet d'intégrer cette action dans la Stratégie Nationale de Développement des ressources en eau et de la considérer dès à présent comme une option fondamentale dans la gestion rationnelle des Ressources en eau du pays.

Les directions techniques et les CRDA sont invités à tenir compte de cette nouvelle composante de la Stratégie Nationale de Développement des ressources en eau et à élaborer des projets de recharge artificielle à partir des ressources conventionnelles et non conventionnelles. Ces projets doivent contribuer d'une part, à atténuer les effets de la surexploitation en augmentant les quantités d'eau souterraine en préservant leur qualité et d'autre part, à protéger l'environnement contre toute source de pollution.

Il est donc recommandé d'attacher à cette action autant d'importance, sur le plan budgétaire et sur le plan de la planification, qu'à toute autre action de mobilisation et de gestion des ressources en eau.

Il est aussi nécessaire de définir un cadre législatif pour cette activité et notamment de finaliser les textes de loi en vue de dégager les droits des bénéficiaires ainsi que leurs obligations.

Le CNEA est appelé à élaborer les études de faisabilité des projets de recharge artificielle des nappes.

Parallèlement, j'invite les organismes de recherches à s'intéresser aux aspects théoriques et expérimentaux de cette action et à les intégrer dans leur programme en vue d'améliorer les connaissances dans le domaine et de développer les techniques d'application permettant de généraliser cette opération à travers les différentes régions du pays.

PREMIERE PARTIE :

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES EN TUNISIE 1993

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES DE TUNISIE 1993

I- DEFINITION ET OBJECTIF DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE :

Les nappes aquifères sont différenciées sur la base de leur alimentation naturelle en nappes à ressources renouvelables et nappes à ressources non renouvelables ou "fossiles". La Tunisie avec ses différentes entités hydrogéologiques compte un potentiel en eau souterraine qui est 1840 Mm³/an se répartissant en 1171 Mm³/an à partir des nappes profondes et 669 Mm³/an à partir des nappes phréatiques.

Les ressources en eau des nappes phréatiques sont considérées comme étant renouvelables en totalité. Celles des nappes profondes ne sont qu'en partie renouvelables, elles se répartissent en

- 600 Mm³/an comme ressources renouvelables essentiellement situées dans le Nord et le Sud du pays,
- 570 Mm³/an comme ressources non renouvelables localisées dans les nappes sahariennes du Sud Tunisien.

Le renouvellement des eaux souterraines se fait à travers la recharge naturelle et artificielle des nappes. La recharge naturelle est un mécanisme commandé par la fréquence et la quantité des pluies, la configuration du bassin versant et la densité de son réseau hydrographique ainsi que la nature lithologique du sol et du sous-sol.

La recharge artificielle des nappes est une opération commandée par l'homme soit directement par des aménagements spécifiques favorisant l'infiltration jusqu'à la nappe, soit par son impact sur l'environnement faisant varier les conditions climatiques ainsi que par les conditions de ruissellement et d'infiltration. Cette recharge est de nature à influencer les nappes tant par l'apport quantitatif en eau qu'elle y introduit que par les changements de qualité.

La recharge artificielle des nappes quand elle vise le développement des ressources en eau souterraine, est menée dans le but d'optimiser l'infiltration jusqu'à la nappe de l'eau rechargée tout en tenant compte des changements de qualité que cette opération peut entraîner au niveau de la nappe.

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES EN TUNISIE

La Tunisie se caractérise par un climat semi-aride et aride avec des ressources en eau très limitées et des régimes pluviométriques et hydrométriques à grande variabilité spatiale et temporelle. Cette caractéristique était à l'origine du développement à travers l'histoire, des techniques hydrauliques pour la maîtrise et la gestion des ressources en eau. C'est ainsi qu'il existe dans toutes les régions du pays, une multitude d'ouvrages hydrauliques traduisant le

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES DE TUNISIE 1963

I- DEFINITION ET OBJECTIF DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE :

Les nappes aquifères sont différenciées sur la base de leur alimentation naturelle en nappes à ressources renouvelables et nappes à ressources non renouvelables ou "fossiles". La Tunisie avec ses différentes entités hydrogéologiques compte un potentiel en eau souterraine qui est 1840 Mm³/an se répartissant en 1171 Mm³/an à partir des nappes profondes et 669 Mm³/an à partir des nappes phréatiques.

Les ressources en eau des nappes phréatiques sont considérées comme étant renouvelables en totalité. Celles des nappes profondes ne sont qu'en partie renouvelables, elles se répartissent en

- 600 Mm³/an comme ressources renouvelables essentiellement situées dans le Nord et le Sud du pays,
- 570 Mm³/an comme ressources non renouvelables localisées dans les nappes sahariennes du Sud Tunisien.

Le renouvellement des eaux souterraines se fait à travers la recharge naturelle et artificielle des nappes. La recharge naturelle est un mécanisme commandé par la fréquence et la quantité des pluies, la configuration du bassin versant et la densité de son réseau hydrographique ainsi que la nature lithologique du sol et du sous-sol.

La recharge artificielle des nappes est une opération commandée par l'homme soit directement par des aménagements spécifiques favorisant l'infiltration jusqu'à la nappe, soit par son impact sur l'environnement faisant varier les conditions climatiques ainsi que par les conditions de ruissellement et d'infiltration. Cette recharge est de nature à influencer les nappes tant par l'apport quantitatif en eau qu'elle y introduit que par les changements de qualité.

La recharge artificielle des nappes quand elle vise le développement des ressources en eau souterraine, est menée dans le but d'optimiser l'infiltration jusqu'à la nappe de l'eau rechargée tout en tenant compte des changements de qualité que cette opération peut entraîner au niveau de la nappe.

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES EN TUNISIE

La Tunisie se caractérise par un climat semi-aride et aride avec des ressources en eau très limitées et des régimes pluviométriques et hydrométriques à grande variabilité spatiale et temporelle. Cette caractéristique était à l'origine du développement à travers l'histoire, des techniques hydrauliques pour la maîtrise et la gestion des ressources en eau. C'est ainsi qu'il existe dans toutes les régions du pays, une multitude d'ouvrages hydrauliques traduisant le

grand souci qui a poussé l'homme pour profiter au maximum de cette précieuse ressource naturelle.

Parmi ces ouvrages se distinguent ceux conçus essentiellement pour la maîtrise des eaux de ruissellement et des crues, tels que les Miskat, les Jessours et les Mgoud. Actuellement, ces ouvrages ont été améliorés et complétés par le traitement des bassins versants par des ouvrages de conservation des eaux et des sols ainsi que par la construction de lacs collinaires, de barrages collinaires à pertuis ouverts et de grands barrages de stockage.

Les petits aménagements hydrauliques permettent de limiter la vitesse du ruissellement des eaux et de favoriser leur infiltration dans les zones de piedmont bordant les structures aquifères. Les barrages de stockage permettent de mieux disposer des eaux des crues et d'assurer l'injection volontaire des eaux de surface, au niveau des aires d'alimentation des systèmes aquifères. Cette pratique constitue évidemment, un aspect de la recharge artificielle des nappes d'eaux souterraines.

Cette conception de la gestion intégrée des eaux de surface et des eaux souterraines, a été introduite en Tunisie depuis les années soixante-dix. Elle permet de sauvegarder et de maintenir l'équilibre hydrodynamique des systèmes aquifères fortement sollicités par l'exploitation intensive de leurs eaux souterraines et d'amortir la baisse des niveaux piézométriques qui est à l'origine de la dégradation de la qualité chimique des eaux par l'intrusion d'eau salée dans les nappes côtières ou limitrophes des dépressions salées.

Cette recharge artificielle des nappes a été entreprise au départ comme une pratique expérimentale dont la maîtrise a nécessité la diversification des dispositifs (bassins, tranchées, lit d'oued, puits, forages, etc...) utilisés pour l'infiltration de l'eau ainsi que la diversification de l'eau utilisée dans ce but (eau de pluie, eau des barrages, eau usée, etc...). Maintenant qu'elle est devenue un moyen de développement de la ressource et de la préservation de sa qualité, elle constitue un choix national dont l'objectif est d'optimiser la mobilisation des ressources en eau de surface et souterraines et de développer l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles.

Les tendances actuelles de l'exploitation des ressources en eau montrent qu'avec le début du siècle prochain, la Tunisie enregistrera une mobilisation quasi-totale de ses ressources en eau souterraine ce qui incite le pays à maîtriser toutes ses ressources en eau connues. Dans ce sens, la recharge artificielle des nappes est un moyen de développement de la ressource en eau souterraine et de préservation de sa qualité. Elle est ainsi parmi les principaux supports de la stratégie décennale des ressources en eau, (1991-2000)

L'expérience Tunisienne acquise dans ce domaine, par la multiplication des expérimentations à travers plusieurs régions du pays et la diversification des techniques de recharge utilisées a permis de maîtriser :

- l'injection de l'eau dans des puits de surface et des forages, choisis dans cet objectif,
- la recharge par bassins d'infiltration,
- l'épandage dans les lits des oueds et sur les terres cultivables perméables

Les premiers essais de recharge artificielle ont été effectués en Tunisie en 1970, dans le cadre de l'alimentation de la nappe de Mateur (Gouvernorat de Bizerte). L'injection a eu lieu dans un puits de surface qui a été creusé dans les calcaires campaniens de Ras El Ain.

Parallèlement, ces opérations expérimentales de recharge de nappes se sont poursuivies au cours des années 1970, dans la nappe phréatique de Téboulba dont la surexploitation avait entraîné le développement d'un important cône de dépression piézométrique (-15 m en 1940 et -40 m en 1971), favorisant l'intrusion saline simultanément à partir de la mer et de la sebkha de Mokaine.

De même, la recharge de la nappe de l'underflow de l'oued Siliama entreprise en 1972, visait la limitation de la vitesse d'écoulement de l'oued par la création de diguettes en travers de la partie amont du lit de l'oued là où la nappe est libre et le niveau piézométrique est relativement profond.

Dans la région de Mezzel Bouzeifa, sur la rive droite de l'oued Sidi Saïd une première opération expérimentale de recharge artificielle par bassins a été réalisée entre 1975 et 1984. La station de recharge bâtie sur ce site en 1975, se compose de 3 bassins et de 7 forages d'injection dont la profondeur est de 50 m. Cette station n'a fonctionné que durant une courte durée, à cause de l'insuffisance du stock d'eau dans le petit barrage qui l'alimentait.

Suite à la mise en eau en Décembre 1982 du barrage de Sidi Saïd, des opérations de lâchers de le lit de l'oued Zeroud ont été pratiquées en 1988 et 1989 afin de favoriser l'alimentation de la nappe de Kairouan et de préciser les paramètres d'infiltrabilité de l'eau sur ce site.

Parallèlement des opérations de maîtrise des eaux de crues ont été menées sur plusieurs bassins versants comme ceux de Metameur à Medenine, de Oued el Felka à Sidi Bouzid et de Zeuss-Koutine entre Gabès et Médenine.

Avec la recharge expérimentale entreprise en 1988 le long du lit de l'oued Zeroud à partir du barrage de Sidi Saïd, ces expérimentations ont pris une échelle plus grande du fait que les volumes d'eau mobilisés pour la recharge sont devenus plus importants.

La maîtrise des eaux de ruissellement par les aménagements en C.E.S. a fait l'objet d'une expérimentation minutieuse au niveau de la nappe et du bassin versant de Metameur dans le gouvernorat de Medenine (A. MAMOUCHE & B. KHALIL, 1988). Cette expérimentation se base sur l'observation de l'impact des aménagements hydrauliques sur la quantité d'eau des crues infiltrée jusqu'à la nappe. Cette expérimentation a été par la suite étendue à d'autres bassins versants similaires dans la partie aride de la Tunisie comme c'est le cas dans des bassins versants d'el Ferch à Tataouine, de Zeuss-koutine à Gabès et de Gafsa-nord à Gafsa.

Les aménagements en C.E.S. sont devenus depuis les années 80, une option de base dans la conservation des sols et la maîtrise des eaux de ruissellement. Ces aménagements sont de plus en plus orientés vers la favorisation de l'alimentation des nappes phréatiques. Ils sont renforcés dans ce but, par les barrages et les lacs collinaires.

Avec le début des années 90, la recharge induite des nappes a acquis en Tunisie une dimension opérationnelle comme une nouvelle option permettant le développement des ressources en eau souterraines et la préservation de leur qualité chimique.

Elle est actuellement pratiquée en utilisant l'excès des réserves en eau des barrages et barrages collinaires. Cette nouvelle orientation a permis de développer une ressource non conventionnelle qui permet de faire face aux problèmes engendrés par la surexploitation des nappes (baisse des niveaux piézométriques et dégradation de la qualité chimique de l'eau) ainsi qu'à ceux de l'intrusion saline.

Depuis le début des années 90, neuf systèmes aquifères répartis à travers les gouvernorats du Nord et du Centre du pays, bénéficient de la recharge artificielle à partir des eaux des barrages, des barrages et lacs collinaires et des eaux usées traitées.

Actuellement la recharge artificielle des nappes est pratiquée en Tunisie pour le développement des ressources en eau souterraine. Elle est essentiellement orientée vers deux principales techniques :

- l'épandage des eaux sur des surfaces perméables principalement le long des lits des oueds,
- l'injection d'eau dans des bassins d'infiltration localisés dans l'aire d'alimentation naturelle de la nappe.

La recharge à partir de puits ou forages aménagés dans cet objectif, n'est qu'accessoirement utilisée (cas de nappe de Téboulba) vu que sa contribution volumique est souvent limitée à quelques centaines de milliers de m^3 /an.

III- RECHARGE DES NAPPES EN 1993 :

Les opérations de recharge artificielle menées en 1992 sur les nappes du pays ont permis l'injection d'environ de 23,365 Mm^3 , répartis à travers sept systèmes aquifères. Durant l'année 1993, ces opérations ont concerné neuf réservoirs d'eau souterraine ayant bénéficié d'un volume de 33,95 Mm^3 , soit une augmentation par rapport à l'année précédente de l'ordre de 45,3 %. Celle-ci est expliquée par l'instauration de nouvelles stations de recharge de nappes et surtout l'intensification des injections dans la nappe de la plaine de Kairouan.

Le tableau suivant résume la situation de la recharge artificielle des nappes à travers le pays :

Recharge artificielle des nappes souterraines
Bilan de l'année 1993

Site	Réseau sacr.	Nature du site	1 ^{er} Tr (m ³)	2 ^e Tr (m ³)	3 ^e Tr (m ³)	4 ^e Tr (m ³)	Tot.93 (Mm ³)	Ressort. (m)	Tot.92 (Mm ³)	Situation 92-93 (Mm ³)
Mervac	40	carrière	52 056	353 639	314 425	157 320	0 877	0 1 - 4 29	1 32	2 197
O. Khelil	26	canal	154 000	212 000	75 000	235 000	1 076	0 35 - 2 6	2 1	3 176
B. Jebel	20	Carrière/TO	53 000	4 295	0	0	0 057	3 75	0 4	0 457
O. Sembli	60	bassin/canal	40 000	0	0	20 000	0 060	0 2 - 0 7	0 147	0 207
Bel Khelid	49	bassin	765 897	0	0	0	0 766	0 5 - 2 7	1 148	1 911
Tébourba	46	20	97 000	83 000	73 000	134 000	0 387	0 95 - 10 1	0 120	0 507
O. Mergueth	25	canal	3 200 000	8 440 000	3 664 000	2 762 674	18 067	1	14 13	32 197
O. Zérouk	45	canal	4 700 000	4 700 000	2 654 000	158 760	12 213	en hausse	4 0	16 213
O. Siliana	6	canal	0	44 000	25 920	2 200	0 072	2 4	0	0 072
Nadhour	1	canal	0	45 002	328 050	0	0 373	0 2	0	0 373
TOTAL (Mm³)			9 442	13 882	7 134	3 470	33 948	-	23 245	97 313

Il ressort de ce tableau que l'essentiel de cette recharge est réalisé par épandage dans les lits des oueds à raison 93,8 % du volume injecté. L'injection dans les puits et les bassins est relativement faible et elle ne représente que 6,2 % du total. Ainsi l'injection dans les lits des cours d'eau qui constituent les principaux axes d'alimentation naturelle des nappes aquifères qu'ils traversent, semble être la technique la mieux appropriée pour la recharge, des nappes surtout lorsque le bassin versant est doté d'une infrastructure hydraulique permettant le stockage de l'eau et sa disponibilité pour toutes les périodes de l'année.

**Le Directeur
des Eaux Souterraines**

A. MAMOU

Ce commentaire est établi avec la collaboration de Mr. H. CHAIEB, Chef du service des recherches et Expérimentations Hydrogéologiques qui a procédé également à la préparation des états détaillés de la deuxième partie fournis par les Arrondissements des Ressources en Eau.

Les commentaires relatifs aux nappes ayant fait l'objet d'une recharge artificielle en 1993, sont établis par les hydrogéologues à l'échelle régionale. Ces commentaires ne présentent qu'un résumé sur l'activité menée et les résultats obtenus dont l'objectif est d'évaluer l'impact de la recharge. Des publications spécifiques à cette activité sont éditées par la DGRE conformément aux références bibliographiques annexées à chaque commentaire.

L'homogénéisation des commentaires fournis par les arrondissements régionaux et leur mise en forme ainsi que les références bibliographiques sont élaborés par Mr. H. CHAIEB.

DEUXIEME PARTIE :

**LA RECHARGE ARTIFICIELLE A TRAVERS LES
DIFFERENTES NAPPES DE TUNISIE**

COMMENTAIRES & TABLEAUX PAR SITF.

RECHERCHES HYDROLOGIQUES SUR LE SYSTÈME
AQUIFÈRE DE MORNAG
(Canton de San Arous)

1. INTRODUCTION

La plaine de Mornag constitue la zone aval du bassin hydrologique de l'Oued Méliane. Elle couvre une superficie de 200 km². Le système aquifère logé dans cette plaine, est constitué par des niveaux sédimentaires allant des grès oligocènes aux alluvions quaternaires. Ces formations souvent lenticulaires et rarement stratiformes, sont parfois détritiques et argileuses. Les horizons aquifères y sont connus dans les sables et graviers du Quaternaire ainsi que dans les grès du Miocène et de l'Oligocène. C'est particulièrement la nappe phréatique qui est intensivement exploitée dans ce système aquifère. Cette nappe, de plus en plus sollicitée, est actuellement à un stade de surexploitation très avancé. Le premier périmètre de sauvegarde y a été décrété en juillet 1991.

Cette plaine regroupe en fait, un système aquifère complexe au sein duquel, on distingue une nappe phréatique cantonnée dans le Quaternaire récent et une nappe profonde, représentée par un aquifère complexe profond. Cette nappe profonde est logée dans les séries du Quaternaire ancien occupant le centre de la cuvette de la plaine de Mornag (200 m), les séries gréseuses du Miocène, recoupées au Nord de la plaine et les séries gréseuses de l'Oligocène donnant de petites nappes dans les grès qui surmontent les argiles de l'Eocène supérieur et les calcaires de l'Eocène qui sont susceptibles de fournir plusieurs niveaux aquifères avec des captages aux pieds des collines de Khlédia (EN-NABLI M., 1980).

Ainsi, deux entités aquifères constituent le système de Mornag, le synclinal Oligo-miocène de Khlédia et la plaine alluvionnaire de Mornag. Dans le synclinal de Khlédia l'alimentation de la nappe se fait par infiltration à partir des affleurements : (collines de Khlédia, El Telle, Rouf, Radès). Dans la plaine alluvionnaire de Mornag, les deux niveaux aquifères précédemment distingués sont : le niveau profond qui est en charge et l'aquifère superficiel phréatique qui est le plus important. L'alimentation de cette entité se fait par infiltration directe de la pluviométrie, par infiltration des eaux du ruissellement au pied des reliefs de bordure et par infiltration des eaux des crues des oueds El Hmma et Méliane.

L'exploitation de ce système aquifère se fait par les puits de surface captant la nappe phréatique et par 164 forages captant la nappe profonde. Cette exploitation est évaluée à environ 33,60 Mm³/an alors que les réserves régulatrices annuelles ne sont

qui d'environ 26,83 Mm³/an (ENNABLI M., 1987) soit une surexploitation de 6,77 Mm³.

La réponse piézométrique de la nappe à cette forte exploitation s'est traduite par une tendance générale vers la baisse qui est de 1 à 2 m/an en périodes sèches (DGRE, 1991). Une certaine remontée, très atténuée en périodes pluvieuses caractérise certaines zones de la nappe dont l'exploitation est réduite. Afin de préserver la nappe de Mornag contre les effets de la surexploitation les mesures suivantes ont été adoptées :

- l'instauration en juillet 1991, d'un périmètre de sauvegarde des eaux souterraines,
- la réalisation des travaux d' Conservation des Eaux et du Sol dans la partie des affleurements afin de favoriser la recharge de la nappe dans les zones de surexploitation.
- la recharge de la nappe à partir des eaux du canal Medjerdha-CapBon au niveau des grès cligo-miocènes de Khlédia dont le site est très favorable à la recharge directement dans la formation aquifère, d'autant plus qu'il est situé à proximité du réseau d'adduction de l'eau irriguant le périmètre public de Mornag.

II- TECHNIQUE ADOPTÉE POUR LA RECHARGE :

II-1- Dispositif de recharge :

Le site de recharge de la nappe de Mornag à Khlédia consiste en une carrière abandonnée qui est située dans l'enceinte du Centre de Formation de la Société Tunisienne d'Electricité et de Gaz (carte n° 28, Bir Mochergua). Cette carrière présente la forme d'une cuvette triangulaire dont la superficie est d'environ 1250 m² et sa profondeur varie de 3,6 à 11 m (KALLALI A., 1992).

Le niveau piézométrique de la nappe au niveau de ce site de recharge est de 26,2m par rapport au terrain naturel. L'eau injectée dans la carrière est prise sur le canal Medjerdha-Cap Bon. Elle est adductée par l'intermédiaire de deux conduites BOWER (diamètre = 133 mm et 108 mm) sur une distance de 1100 m. Ces conduites provisoires, accusent avec le temps, une diminution du débit résultant des pertes au niveau des joints, ce qui a nécessité leur remplacement par une conduite en AMIANTE CIMENT (diamètre=400 mm) qui est en cours d'installation.

II-2- Dispositif de suivi et mode opératoire

Le dispositif de suivi de la recharge de la nappe de Khlédia consiste à contrôler la piézométrie de la nappe et la salinité de son eau. Un réseau constitué de 36 puits et d'un piézomètre (n° 11094/2) permet d'avoir des relevés piézométriques qui sont effectués une fois par mois. Ce réseau est en phase de renforcement par des piézomètres équipés par des centrales d'acquisition automatique de données.

L'opération de recharge a démarré le 3-12-1991 et elle a subi un arrêt du 1-10-1992 au 15-3-1993. La durée d'injection d'eau varie entre les saisons estivale et hivernale, à raison de 20 h/j en été et de 5 h/j en hiver. Les volumes injectés (Tableau n°1) sont variables dans le temps à cause de la diminution du niveau du plan d'eau dans le canal. Le débit injecté a varié de 80 l/s pendant la première période de recharge, à 60 l/s au cours de l'année 1993. Le tableau suivant récapitule les volumes d'eau injectés au cours des années 1992 et 1993.

Tableau n°1 : volume injecté dans la nappe au cours des 2 années de la recharge 1992 et 1993

Mois	Volume 10 ³ m ³	Mois	Volume 10 ³ m ³
Déc-91	127,728	Jan-93	0
Jan-92	96,496	Fév-93	0
Fév-92	131,904	Mar-93	32,056
Mar-92	138,672	Avr-93	125
Avr-92	122,832	Mai-93	134,284
Mai-92	142,848	Jun-93	94,355
Jun-92	142,464	Jui-93	102,285
Jui-92	142,632	Août-93	133,92
Août-92	143,136	Sep-93	78,22
Sep-92	141,984	Oct-93	65,695
Oct-92	0	Nov-93	56,613
Nov-92	0	Déc-93	34,992
Dec-92	0		
Total 10 ⁶ m ³	1.331	Total 10 ⁶ m ³	0,877

III- IMPACT DE LA RECHARGE SUR LA NAPPE :

III-1- Impact de la recharge sur les fluctuations piézométriques :

Afin de mettre en évidence l'impact de la recharge sur les variations du niveau piézométrique de la nappe de Mornag, le piézomètre N° 94/2 ainsi qu'un réseau de surveillance de 36 puits sont contrôlés périodiquement une fois par mois. Le report sur un graphique des relevés piézométriques mensuels réalisés sur les points de surveillance a permis de constater une certaine périodicité des phases de remontée et d'abaissement du niveau piézométrique, en fonction des trois cycles de recharge et d'arrêt d'injection d'eau.

III-1-1- Période de recharge allant du 3-12-1991 à 1-10-1992 :

Le volume total injecté (Vinj) a été de 1 320 696 m³. Ce cycle s'est traduit par une baisse accentuée du niveau de la nappe qui est due à un pompage intensif, malgré une pluviométrie qui a été excédentaire durant cette période. Les relevés pluviométriques au niveau de la station Khlédia CTV donnent un apport moyen mensuel au niveau de la nappe qui est de 42,6 mm.

III-1-2- Période de recharge allant du 15-3-93 à 31-12-94 :

L'injection de l'eau dans la carrière a été faite à raison d'un débit de 60 l/s pour un temps variant de 5 à 20 h/jour. Le volume total injecté est de Vinj = 877,440 m³. L'épuisement des réserves régulatrices de la nappe au démarrage de ce cycle semble

résulter de l'effet d'une période estivale à pluviométrie déficitaire (Pmoy mensuelle = 28,6mm).

L'influence de la recharge pratiquée au niveau de la carrière de Khléda s'est faite sentir sur la nappe de Mornag au terme de 20 mois, par une remontée piézométrique sensible. Cette remontée est observée sur la majorité des points de surveillance. Les observations piézométriques effectuées dans la zone de recharge ont permis de conclure que la région située entre le site de recharge et Henchir Awin, a subi une remontée du niveau de la nappe pendant les deux années de recharge et le rabattement de la piézométrie résultant du pompage a été complètement résorbé par la recharge. Dans la région située entre le site de recharge et El Khléda Es Sghira, aucune fluctuation n'a été signalée du fait que le nombre de points d'eau pompés est réduit. Cependant, dans la région située entre le site de recharge et Henchir Mbarek, on constate que la densité des points d'eau pompés est plus importante, ce qui a introduit une baisse du niveau piézométrique de la nappe par rapport à celui enregistré avant la recharge.

III-2- Impact de la recharge sur la salinité de l'eau de la nappe :

Dans la région de Khléda, les puits et forages sont creusés dans les grès de l'oligocène et les alluvions. Les forages profonds captent les grès et les moins profonds sont logés dans les alluvions quaternaires argilo-sableuses.

La composition chimique des eaux de la nappe des alluvions quaternaires, présente le même faciès chimique que l'eau de la nappe des grès oligocène (SCHOELLER, H., 1932). Ceci permet de concevoir une communication entre les eaux des deux nappes, sur les bords du synclinal. Le résidu sec (RS) des eaux des grès oligocènes varie de 0,4 à 0,78 g/l et atteint exceptionnellement 1,16 g/l. Les eaux provenant des basses terrasses quaternaires ont un résidu sec de 0,7 g/l. Avant l'opération de recharge, le résidu sec des eaux des puits de surveillance situés à proximité des grès oligocènes, varie de 0,7 à 1,7 g/l. La salinité est plus élevée dans les puits les plus proches du cours aval de l'Oued Méliane (puits n° 451 et n°9).

L'eau injectée dans le canal en hiver, aux stations de FOUNDEK EL DJID et GHEDIR EL GOULLA situées successivement à 30 km au NW et 27 km au SE de la station de pompage, présente une salinité variant de 0,5 à 1 g/l. En été, cette salinité ne dépasse guère les 2 g/l ($1,3 < RS < 1,9$ g/l). Le résidu sec moyen est de 1,4 g/l (Tableau n°3 et n°4).

Au cours de l'opération de recharge, une augmentation modérée du taux de salinité a été constatée, au niveau des points les plus proches du site de recharge. Plus le puits est éloigné du site de recharge, plus l'accroissement de la salinité de son eau est mis en évidence. L'augmentation de la salinité de l'eau des puits N°481, N°9, N°20 semble avoir comme origine, les apports de l'Oued Méliane qui reçoit des affluents dont l'écoulement pérenne est à salinité élevée tel que Oued El Hammam (O Mellah) recevant les eaux thermales de Djebel Oust (RS = 17,8 g/l), les lâchers du Barrage Bir Mechergua (RS = 3,5 g/l) et la dépression empruntée par l'Oued Méliane aux abords de Khléda qui se caractérise par des sols alluviaux, fluviaux, limoneux, sales en profondeur et contenant souvent des argiles.

Les mesures effectuées après un arrêt de la recharge durant 4 mois, montrent un accroissement modéré de la salinité de l'eau de la nappe qui est une conséquence de l'arrêt de la recharge.

**Tableau N°2: Salinité de l'eau du canal MAJERDHA CAP-BON
Station Foundouk Ejdid**

Mois	Salinité (g/l)	Mois	Salinité (g/l)
Jan-92	0,83	Jan-93	1,33
Fév-92	1,66	Fév-93	0,51
Mar-92	0,77	Mar-93	0,99
Avr-92	1,3	Avr-93	1,16
Mai-92	1,4	Mai-93	1,78
Jun-92	1,32	Jun-93	1,5
Juil-92	1,37	Juil-93	1,32
Août-92	1,28	Août-93	1,42
Sep-92	1	Sep-93	1,6
Oct-92	0,83	Nov-93	1,66
Nov-92	1,57	Oct-93	1,74
Dec-92	1,65	Dec-93	1,54

**Tableau N°3: Salinité de l'eau du canal MAJERDHA CAP-BON
Station Ghédir El Goulla**

Mois	Salinité (g/l)	Mois	Salinité (g/l)
Jan-92	1,9	Jan-93	0,83
Fév-92	1,16	Fév-93	0,81
Mar-92	0,43	Mar-93	0,87
Avr-92	1,28	Avr-93	1,79
Mai-92	1,7	Mai-93	1,81
Jun-92	1,42	Jun-93	1,52
Juil-92	1,58	Juil-93	1,46
Août-92	1,36	Août-93	1,42
Sep-92	1,29	Sep-93	1,6
Oct-92	1,12	Nov-93	1,74
Nov-92	1,78	Oct-93	1,64
Dec-92	1,85	Dec-93	1,47

IV - CONCLUSION :

La nappe de Mornag est incontestablement en situation de surexploitation du fait de l'extension continue du champ de captage et de l'accroissement des prélèvements en eau à partir des puits et forages. Cette situation a imposé le recours à la réalimentation artificielle de la nappe. Pour ceci un site a été choisi dans une ancienne carrière de sables dans les grès Oligo-miocènes de Khlédia. Cette opération de recharge a démarré le 3/12/1981, est pratiquée afin d'apporter à la nappe une ressource supplémentaire et maîtriser son régime hydrologique. Les conditions de cette recharge sont les suivantes :

- Volume moyen annuel injecté = 1,32 Mm³/an,
- Pluie : cimetrie moyenne annuelle = 470 Mm/an,
- Exploitation moyenne annuelle = 2,4 Mm³/an

Il en est résulté les constatations ci-après résumées :

- un apport en eau à la nappe qui est d'environ $0,26 \text{ Mm}^3/\text{an}$,
- un débit unitaire d'infiltration dans les grès de l'Oligocène, estimé à $3,4.10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$,
- une remontée du niveau piézométrique de la nappe qui est en moyenne de $1,34 \text{ m}$ pour une variation piézométrique de 0 à 3 m constatée au niveau des points de surveillance,
- un rabattement du niveau de la nappe au niveau de certains points de suivi de la piézométrie, complètement résorbé par la recharge,
- L'eau des grès oligo-miocènes est d'une salinité variant $0,7$ à $1,7 \text{ g/l}$. L'eau de la recharge présente une salinité variant de $0,5$ à $1,9 \text{ g/l}$. Ces ordres de grandeur aboutissent à une conservation de la qualité chimique de l'eau de la nappe,
- une tendance vers la salinisation de l'eau de la nappe dans la zone située à proximité de l'oued Méiane.

Dans l'ensemble, les résultats de cette recharge mettent en évidence un impact positif tant sur le plan apport volumique en eau à la nappe que du point de vue de la conservation de la qualité chimique de son eau. Ces premières constatations sont encourageantes pour multiplier ces opérations d'alimentation de cette nappe et les étendre à d'autres zones.

Mme H. LABEN MAMOU

BIBLIOGRAPHIE

ENNABLI M., (1980) : Etude hydrogéologique des aquifères du Nord Est de la Tunisie. Pour une gestion intégrée des ressources en eau.
Thèse Doct. Es Sciences, Université de Nice, 1980.

KALLALI A., (1992) : Recharge artificielle du système aquifère de la plaine de Mornag
In Actes de la 10^{ème} journée des ressources en eau (29.04.92)
DGRE - Tunis, Septembre 1992, pp.53-62

DGRE (1991) : Annuaire piézométrique de Tunisie
DGRE - Tunis, 1991, pp. 93 - 95

ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIEZOMETRIQUE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE MORNAG

(ANNEE 1993)

Puits / Piezomètre	N° GRH	Côte du repère	Niveau statique (m)											
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
9	1,15	32	17,3	17,3	17,2	17,2	17,22	17,33	17,55	17,53	17,52	17,4	17,3	17,22
451	0,3	32	16,3	16,5	16,14	16,1	16,49	16,7	16,82	16,7	16,66	16,35	16,2	16,19
452	0,8	35	17,32	17,3	16,8	16,81	16,85	17,35	18	18	17,7	17,48	17,95	16,97
431	TN	35	17,8	17,1	17,1	15,1	17,95	20,2	19,26	19,2	pf	17,45	16,97	16,63
476	1	36	17,85	17,7	16,62	17,9	18,16	20,6	19,4	19,5	pf	pf	pf	18,2
477	1,35	39	18,45	18,3	18,15	18,32	19,27	19,2	19,9	19,9	19,9	19,53	19,5	18,55
481	0,25	36	15,5	15,4	15,1	15,1	16,03	16,35	16,64	16,7	17,06	16,9	16,98	15,58
489	0,7	39	17,33	16,89	16,6	16,8	17,02	17,25	18,5	18,2	18,3	17,85	18	17,12
471	1,4	45	23,6	p	23,7	23,35	23,3	28,3	pf	pf	pf	pf	pf	24,04
467	0,85	50	24,6	p	26,98	26,99	26,9	27,3	27,3	25,7	25,7	25,7	25,7	28
28	0,65	55	16,66	16,45	16,7	16,71	17,04	17,2	17,8	17,8	19,3	18	17,9	25,7
425	1,1	50	23,1	22,9	23,4	23,85	45,42	26,9	26,9	28,6	29,6	29,6	29,6	29,6
421	0,5	43	pf	21,95	21,67	22,02	22,18	22,1	24,03	24,9	24,9	23,65	23,78	22,78
426	0,8	40	19,6	19,35	19,6	19,97	20,05	20,18	20,8	22,1	20,8	20,65	19,75	19,75
427	1,1	40	17,18	17,2	16,6	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	18,8	17,4	16,25
429	TN	37	17,85	18,2	17,9	18,15	18,17	19,38	18,9	18,9	18,9	18,9	18,9	17,6
441	1,8	40	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	20,1	22,05	22,05	22,05	22,05	20,45	20,45
384	0,1	52,5	26,45	26,5	26,34	26,31	26,4	26,4	28,74	28,74	28,74	25,78	25,7	25,7
3	0,4	34	19,17	18,95	18,7	19,08	19,42	19,1	19,15	20,1	20,2	18,73	18,75	18,2
2	0,6	32,5	16,89	16,7	16,3	16,25	16,23	16,35	16,5	16,54	16,56	16,2	16,1	15,9
6	0,3	34	19,29	21,8	21,8	21,8	22,42	19,3	17,68	17,7	18,57	18,2	18,1	17,87
440	0,5	35	22,76	23,05	20,97	23,25	25,67	27,35	27,35	26,7	26,7	15,1	15,6	15,42
444	0,7	32	16,17	15,85	15,51	15,6	15,58	15,8	15,9	15,54	15,1	15,6	15,42	15,22
510	0,55	31	14,86	14,85	14,9	15	15,07	16	16	14,9	14,85	14,85	14,8	14,8
8	1,15	31,5	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	19,16	19,16	19,16	19,16	19,16	19,16	19,16
511	1	33	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
443	0,6	37	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
94/2	0,3	37	17,35	28,39	23,8	23	23,75	24,65	27,06	34,23	36,37	25,6	26,1	24,22
22	1	45	31,7	31,7	31,21	31	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72	31,72
13	0,4	32,5	17,75	18,25	22,55	20,75	24	25	21,25	21,25	21,25	21,25	21,25	20,62
371	0,5	50	28,02	27,95	28,15	29,2	29,75	28,95	28,95	28,95	28,95	28,95	28,95	28,95
18	0,8	35	15,52	15,45	15,3	17	16,6	16,6	16,6	16,6	14,7	13,05	13	13,84
20	0,1	29	12,25	12,13	12,13	12,28	12,32	12,6	12,6	12,65	12,72	12,5	12,4	12,5
517	0,8	31	12,74	12,8	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6	12,6
520	0,8	30	13,2	13,18	14,2	13,2	13,2	13,95	13,95	14,02	14,56	14	13,61	13,31
531	TN	35	13,14	13	12,75	13,03	13,02	13	13,02	13,04	13,2	13,52	12,18	12,17

pf : porte fermée

ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES LOIS DE LA RECHARGE
DE LA NAPPE DE MORNAG

(ANNEE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier	-	-	-
Février	-	-	-
Mars	60 l/s	52 056	0,87
Avril	60 l/s	125 000	1,79
Mai	60 l/s	134 284	1,81
Juin	60 l/s	94 355	1,52
Juillet	60 l/s	102 285	1,46
Août	60 l/s	133 920	1,42
Septembre	60 l/s	78 220	1,3
Octobre	60 l/s	63 695	1,74
Novembre	60 l/s	56 633	1,64
Décembre	60 l/s	18 580	1,47

RECHARGE DES NAPPES DE BIZERTE

(Gouvernorat de Bizerte)

1- RECHARGE DE LA NAPPE DE MATEUR :

La nappe de Mateur est une cuvette sédimentaire dont la structure est largement recommandé par l'effondrement et la sédimentation plio-quaternaire (M. ENNABLI, 1968). Elle abrite une nappe phréatique dans les sédiments quaternaires et une nappe profonde dans les calcaires campaniens.

Cette nappe a fait l'objet d'une série d'expérimentations pour sa recharge artificielle depuis la fin des années soixante vu qu'elle a été fortement sollicitée pour l'alimentation en eau potable de la région de Bizerte (ZEBIDI H. et MOLLARD J., 1969).

Trois pratique de recharge artificielle ont été testées pour l'alimentation de la nappe phréatique de Mateur. La première opération a été effectuée en 1970, et elle a porté sur l'infiltration dans des puits. Le volume d'eau injecté à cette époque dans un puits creusé dans les calcaires campaniens de Ras El Ain, était de $4\ 032\ m^3$. Cette injection a duré 50 heures. La remontée enregistrée à 200 m du puits d'injection était de 0,5 m.

La seconde opération a été réalisée en 1971 ; elle avait pour objectif d'étudier le pouvoir infiltrant du lit de Foued Khélij, ancien lit de Foued Joumine. Ces essais expérimentaux ont eu lieu dans un bassin de longueur 100 m et de largeur 5 m, creusé dans le lit de Foued. Le volume total d'eau pompé de Foued Joumine et injecté dans les bassins était de $64\ 500\ m^3$, durant 1579 heures en 65 jours. La capacité d'infiltration qui en a été déduite, est de 10 l/s.

Le premier programme pour son alimentation artificielle dans le but de développer ses ressources a été conçu en 1971, (BIZE J., 1971) mais la mise en application de ce programme n'a pu être exécutée.

Avec la mise en exploitation du barrage de Joumine en 1983, la recharge de la nappe de Mateur a connu une nouvelle orientation suite à la réduction des prélèvements en eau qui ont été pratiqués (REKAYA M., 1988)

La nouvelle phase de recharge effectuée sur cette nappe après la mise en eau du barrage Joumine en Octobre 1983 est déclenchée suite à l'apparition d'un débit d'urgence variant de 300 à 400 l/s à travers la structure calcaire de la rive droite. On a profité depuis le mois de septembre 1984, de l'écoulement apparu dans Foued Joumine pour en dévier une partie vers Foued Khélij ce qui a permis d'entamer une nouvelle opération de recharge par épandage dans le lit de ce dernier.

Cette nouvelle phase de recharge qui s'est poursuivie en 1988, s'est faite sur la base de nouvelles expérimentations (RASSAS S., 1988).

Les jaugeages différentiels réalisés en cinq sites de mesure, sur les débits provenant des émergences du barrage, montrent que l'essentiel de l'infiltration des eaux, se produisait sur un tronçon d'environ 1,5 km de long, depuis la bifurcation de l'oued Joumine avec l'ancien bras de O. Khélij. Le débit moyen était de 320 l/s. Il a été réduit actuellement, à environ 80 l/s en raison de la cimentation de l'émergence. Cependant, cette opération se fait actuellement dans des conditions médiocres en raison du champ de roseaux qui occupe le lit de l'oued et réduit l'infiltration. Un aménagement du lit de l'oued doit être assuré annuellement afin de favoriser la recharge de la nappe.

Le volume total dérivé vers l'oued Khélij en 1993, à raison d'un débit variant de 3 à 70 l/s, est d'environ 1,08 Mm³. Les remontées des niveaux piézométriques, enregistrées par les 26 puits surveillés, ont varié de 0,35 à 2,6 m.

II. RECHARGE DE LA NAPPE DE RAS DJEBEL

Deux pratiques de recharge ont été testées en 1993 sur la nappe de Ras Djebel, celle par bassin, dans la carrière de Sidi El Guebbari et celle par injection dans les puits de surface, dans la zone de Bni Ata. L'eau provenait des barrages collinaires Bni Ata, Chouk El Fefel et Châbat El Hout, dont la capacité totale est d'environ 500 000 m³.

II.1. Station de Sidi El Guebbari

II-1-1- Description du site de recharge

Le site de recharge de la nappe de Ras Djebel est situé au Nord de la ville de Ras Djebel au lieu dit "Sidi El Guebbari", à proximité d'une vanne de la conduite d'eau d'irrigation provenant d'un barrage collinaire. Ce site correspond à une ancienne carrière de sables consolidés qui sont en continuité hydraulique avec la nappe phréatique. Ces sables sont très perméables et présentent une zone non saturée d'environ 8m.

Au droit du bassin d'infiltration qui fait une superficie de 1000 m² et une profondeur moyenne de 4m, l'aquifère est constitué d'alternances de sables et de graviers consolidés avec des niveaux discontinus et ponctuels riches en sables marneux. Les formations mio-pliocènes formant la majeure partie des affleurements géologiques de la zone de recharge, sont essentiellement constituées de matériaux grossiers (sables, graviers) avec des limons ou des argiles en quantité réduite. La partie supérieure de la formation aquifère se compose d'encroûtements calcaires très localisés, de sables consolidés correspondant aux accumulations dunaires et de marnes brunes ou grises plus ou moins foncées formant le substratum imperméable.

II-1-2- Contrôle et suivi de l'impact de la recharge

II-1-2-1- Mode opératoire

L'opération de recharge expérimentale pratiquée sur la nappe de Ras Djebel a consisté à verser l'eau provenant du barrage collinaire "Chouk El Fefel" situé à 10km environ du site de recharge, dans le fond de la carrière. Cette opération a démarré le 26 janvier 1993 avec un débit de 1500 m³/j, le volume ainsi injecté jusqu'au 15 mars 1993 est d'environ 55 506 m³.

Le dispositif de recharge est composé de 200 m de tubes galvanisés de diamètres 100 mm, un filtre à tannis (boite à boue) réduisant les particules fines et amortissant le phénomène de colmatage du bassin avant que les eaux s'y déversent et un compteur d'eau de diamètre 100 mm qui permet de comptabiliser les volumes d'eau injectés

II-1-2-2- Suivi de la recharge

L'observation de la remontée du plan d'eau de la nappe est assurée à l'aide de 60 puits de surface répartis sur une superficie de l'ordre de 6 Km². Une surveillance hebdomadaire du niveau statique et bimensuelle de la salinité est assurée. L'injection se fait continuellement pendant 24 heures avec un débit de 17 l/s.

Durant l'opération de recharge des pannes d'ordre technique ont engendré des coupures d'eau de recharge aux dates suivantes :

- 1ère coupure : 6 Février 1993 , reprise après 2 jours
- 2ème coupure : 24 Février 1993 , reprise le 1 Mars 1993
- 3ème coupure : 5 Mars 1993 , reprise après 2 jours

La zone de remontée du niveau piézométrique est devenue de plus en plus large en fonction des volumes déversés. Sur le site, le niveau piézométrique de la nappe se situait avant la recharge, à 11,80 m/TN. Au-delà de 1000 m vers l'aval (Direction SE), le niveau piézométrique n'était que de 3,50 m/TN. La pente hydraulique moyenne de la nappe dans cette zone, est de l'ordre de 8,3 %. Cette situation s'est nettement améliorée après une remontée de 4 m, qui a aussi ramené la pente piézométrique à 4%.

II-1-2-3- Evolution de la piézométrie

L'effet de la recharge sur la nappe Ras Djebel à partir des eaux du barrage collinaire "Chouk Felfel" s'est avéré rapide et même immédiat comme le traduisent les remontées des niveaux piézométriques observées aux puits N°146, 132 et 123. On a enregistré pendant toute la période de recharge une moyenne de remontée d'environ 3 cm/jour.

L'analyse des observations piézométriques des puits n°146 et 136 dégage une réponse rapide au début de la recharge (25 cm/jour) qui s'est poursuivie jusqu'au 16 Février, date à laquelle l'effet de la remontée s'amortit pour devenir pratiquement stationnaire. Ce comportement est essentiellement dû à ce que le niveau piézométrique de ces deux puits se trouvaient avant la recharge au-dessous de son équilibre statique. Ce niveau est relevé rapidement suite aux effets de la recharge pour atteindre le niveau de l'eau dans le bassin de recharge. Dans le puits n°123, la vitesse de remontée de 4,38 cm/jour est presque la même en tout moment de l'opération de recharge.

La remontée au puits n°144 présente deux comportements, le premier traduit un retard de réponse durant presque la première moitié de l'opération de recharge où on n'a enregistré aucune remontée, le deuxième est comparable à celui du puits n°146. Le retard de réponse reflète l'influence de la distance des puits par rapport au bassin de recharge. L'onde d'alimentation n'est donc arrivée au puits n°144 que lorsqu'elle a saturé par équilibre hydrodynamique cette distance.

Le dispositif de recharge est composé de 200 m de tubes galvanisés de diamètres 100 mm, un filtre à tamis (boîte à boue) retenant les particules fines et amortissant le phénomène de colmatage du bassin avant que les eaux s'y déversent et un compteur d'eau de diamètre 100 mm qui permet de comptabiliser les volumes d'eau injectés.

II-1-3-2- Suivi de la recharge

L'observation de la remontée du plan d'eau de la nappe est assurée à l'aide de 60 puits de surface répartis sur une superficie de l'ordre de 6 Km². Une surveillance hebdomadaire du niveau statique et bimensuelle de la salinité est assurée. L'injection se fait continuellement pendant 24 heures avec un débit de 17 l/s.

Durant l'opération de recharge des pannes d'ordre technique ont engendré des coupures d'eau de recharge aux dates suivantes :

- 1ère coupure : 6 Février 1993 , reprise après 2 jours
- 2ème coupure : 24 Février 1993 , reprise le 1 Mars 1993
- 3ème coupure : 5 Mars 1993 , reprise après 2 jours

La zone de remontée du niveau piézométrique est devenue de plus en plus large en fonction des volumes déversés. Sur le site, le niveau piézométrique de la nappe se situait avant la recharge, à 11,80 m/TN. Au-delà de 1000 m vers l'aval (Direction SE), le niveau piézométrique n'était que de 3,50 m/TN. La pente hydraulique moyenne de la nappe dans cette zone, est de l'ordre de 8,3 %. Cette situation s'est nettement améliorée après une remontée de 4 m, qui a aussi ramené la pente piézométrique à 4%.

II-1-2-3- Evolution de la piézométrie

L'effet de la recharge sur la nappe Ras Djebel à partir des eaux du barrage collinaire "Chouk Fefel" s'est avéré rapide et même immédiat comme le traduisent les remontées des niveaux piézométriques observées aux puits N°146, 132 et 123. On a enregistré pendant toute la période de recharge une moyenne de remontée d'environ 3 cm/jour

L'analyse des observations piézométriques des puits n°146 et 136 dégage une réponse rapide au début de la recharge (25 cm/jour) qui s'est poursuivie jusqu'au 16 Février, date à laquelle l'effet de la remontée s'amortit pour devenir pratiquement stationnaire. Ce comportement est essentiellement dû à ce que le niveau piézométrique de ces deux puits se trouvaient avant la recharge au-dessous de son équilibre statique. Ce niveau est relevé rapidement suite aux effets de la recharge pour atteindre le niveau de l'eau dans le bassin de recharge. Dans le puits n°123, la vitesse de remontée de 4,38 cm/jour est presque la même en tout moment de l'opération de recharge.

La remontée au puits n°144 présente deux comportements, le premier traduit un retard de réponse durant presque la première moitié de l'opération de recharge où on n'a enregistré aucune remontée; le deuxième est comparable à celui du puits n°146. Le retard de réponse reflète l'influence de la distance des puits par rapport au bassin de recharge. L'onde d'alimentation n'est donc arrivée au puits n°144 que lorsqu'elle a saturé par équilibre hydrodynamique cette distance.

L'onde d'alimentation n'est donc arrivée au puits n°144 que lorsqu'elle a saturé par équilibre hydrodynamique cette distance.

Au puits n°140 la réponse est peu ressentie, à cause de sa profondeur relativement élevée et ceci pendant toute la période d'observation le niveau dynamique s'est maintenu à une valeur presque constante.

Ainsi, on peut affirmer que l'effet de la profondeur et de la distance du puits par rapport à la position du bassin de recharge. Les ondes équipotentielles présentent des effets moindres toute en s'éloignant latéralement et verticalement du site de recharge, comme le traduit le tableau ci-après.

N° Puits	Eloignement latéral (m)	Eloignement Vertical (m)	Remontée (m)	Vitesse moy. de remontée (cm/j)
146	75 dir SE	5	3,75	9,40
132	1000 dir E	4	1,25	3,16
123	200 dir NE	6,5	1,75	4,38
144	50 dir SE	8	3,75	9,40
140	700 dir SE	10	0,50	1,13

Dans les zones les plus exploitées et éloignées de la carrière, une baisse du niveau statique est essentiellement enregistrée à Temda. Dans la zone littorale, au Nord du site de recharge, aucune remontée n'a été enregistrée. L'évolution du niveau piézométrique montre à l'échelle de la zone contiguë au site de recharge une remontée généralisée à l'ensemble de la région. La vitesse de propagation des ondes de remontée, après avoir été très rapides au début de l'injection, s'est maintenue à une moyenne de 200 m/jour jusqu'à la fin de l'opération.

Au site de recharge Sidi El Guebbari la réponse de la nappe se traduit par un amortissement de l'impulsion et une régularisation de la quantité d'eau efficace atteignant effectivement l'aquifère. Ce type de réponse correspond au pouvoir de régularisation de la formation au voisinage du site, dont le comportement constitue un facteur favorable à la recharge de la nappe.

On a donc, enregistré une remontée du niveau statique de l'ordre de 4 m au voisinage proche du site de recharge. Les puits de surface situés à quelques centaines de mètres de la carrière n'ont enregistré que des faibles remontées (40 cm au puits N°206 à El Maskat, 10 cm au puits N°167 à Kâa Ballout). Dans les zones les plus exploitées et éloignées de la carrière, une baisse du niveau statique est essentiellement enregistrée à Temda. Dans la zone littorale, au Nord du site de recharge, aucune remontée n'a été enregistrée.

II-1-2-3. Evaluation du volume de recharge

Le volume de la recharge de la nappe est estimé à partir de sa remontée piézométrique en découpant la zone de recharge en 8 secteurs correspondant aux 8 intervalles entre deux courbes de remontée équidistantes; le volume de la remontée est égal à la somme des volumes.

Ainsi, le volume réel dont la nappe a bénéficié est donc de 41.000 m^3 , soit ainsi un taux de recharge moyen de 74 %. Le volume $V = 19.000 \text{ m}^3$ est pratiquement perdu par l'effet conjugué d'imbibition de la plage d'infiltration et par évaporation. Ce volume réel n'a participé qu'avec 10 % à la résolution complète et rationnelle des effets de surexploitation notamment dans les zones les plus éloignées du site de recharge vers El Maskat et Temda.

II-2- Station de Bni Ata :

Cette station comporte 10 puits d'injection dont 8 puits abandonnés et 2 puits en état d'exploitation. L'opération de recharge a été pratiquée du 7 Avril au 10 Mai 1993. Le débit injecté est d'environ 20 l/s, soit un volume total de 4.295 m^3 . Le réseau d'observation compte 20 puits de surface. La remontée du niveau piézométrique dans le puits le plus proche, a été d'environ 1 m.

Les conditions hydrauliques dans les barrages collinaires ne permettent pas pour le moment, de reprendre cette opération de recharge. Le volume total injecté ayant servi à la recharge de la nappe de Ras Djebel en 1993, sur les deux sites, est d'environ 60.000 m^3 . L'objectif est d'atteindre un volume de 300.000 à $400.000 \text{ m}^3/\text{an}$.

A. KALLALI

BIBLIOGRAPHIE

1- NAPPE DE MATEUR

ENNABLI M., (1968) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la plaine de Mateur (Thèse 3^{ème} cycle. F.Sc. de Paris) Tunis - BIRH, 1968, 192p. 52 Fig.

ZEBIDI H. & MOULLARD (1969) : Bassin de l'oued Joumine, possibilités de suralimentation artificielle de la nappe de Mateur.

BIRH - Tunis, 1969, 6 p. 1 Tab.

BIZE J., (1971) : Alimentation artificielle de la nappe de Mateur. Projet d'aménagement expérimental et programme des opérations.

DRE - Tunis, Projet INES, 1971, 39 p.

REKAYA M., (1988) : Recharge artificielle dans la plaine de Mateur, un outil de valorisation d'un système aquifère potentiel.

DGRE - Tunis, Mars 1988, 16 p. 9 Fig.

RASSAS S., (1988) : Recharge artificielle de la nappe de Mateur à partir de l'ancien lit de l'oued Joumine.

DEA à la F.Sc. de Tunis, Oct. 1988, 84 p. 38 Fig., 11 tab.

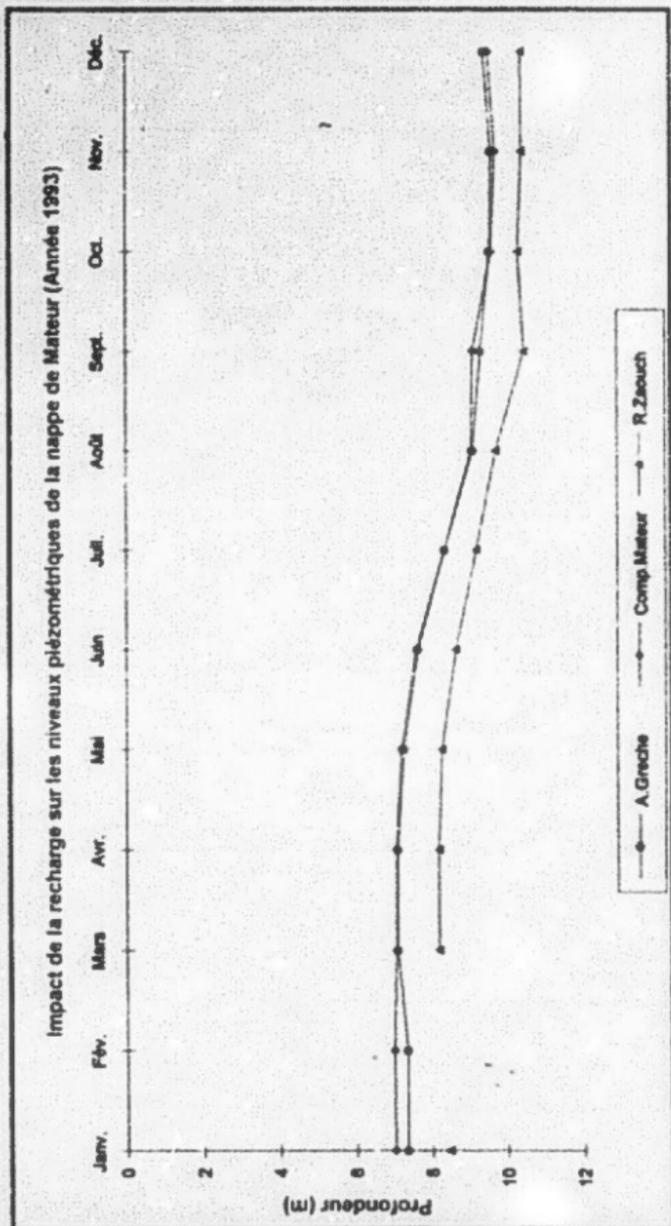
2- NAPPE DE RAS JEBEL :

ENNABLI M., (1969) : Etude hydrogéologique de la plaine de Ras Djebel.

BIRH - Tunis, 1969, 136 p., 108 tabl. 8 pl. 187 Fig.

CHOURA A., (1993) : Impact de la surexploitation et de la recharge artificielle de la nappe de Ras - Djebel.

DEA - Fac. Sc. de Tunis (23/04/94), DGRE - Tunis, 1993, 56 p. Annexes et Fig.



**ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIEZOMETRIQUE RECHARGE DE LA NAPPE DE
MATEUR**

(ANNÉE 1993)

Puits / Piezomètre	N°	Côte du repère	Niveau statique (m)											
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Mad BOUSSBI	1		6,6	6,53	7,28	7,28	7,4	8,0	8,13	9,4	7,8	8,1	9,78	9,75
JAOUARI	2		5,88	5,70	5,25	5,25	5,8	6,2	7,18	7,9	8,1	8,28	7,9	7,92
A. JEMELI	3		3,9	3,86	3,9	3,9	3,82	4,25	5,4	6	6,5	6,3	6,15	6,05
T.GAROUACH	4		4,68	4,49	4,4	4,4	4,6	5,18	5,4	5,95	6	6,08	5,8	5,72
M.BEL ACH	5		5,5	5,4	5,27	5,27	5,68	6,1	6,8	7,5	6,8	7,3	7,4	7,37
S.BEL ACH	6		5,2	5,13	5,06	5,06	5,22	5,9	6,68	7,25	7	7,6	7,4	7,34
Mad DRIDI	8		5,55	5,44	5,35	5,35	5,58	6,43	7,2	7,4	7	7,62	7,4	7,43
M.DOURESSOUA	10		5,53	5,6	5,52	5,52	5,6	6,25	7,1	7,7	7,1	8,2	8	7,86
H. EL MASRI	11		3,38	3,37	3,30	3,30	3,25	3,95	4,4	5,35	5,7	5,82	5,7	5,7
Mad HMISS	12		4,38	4,68	4,4	4,4	4,88	5,5	5,85	6,4	6,1	6,85	6,55	6,55
A. UHME	13				5,32	5,32	5,40	6,2	7	7,2	7,2	7,62	7,3	7,3
A. GAROUACH	14		6	5,9	5,9	5,9	6,05	6,7	6,92	8,0	8,1	8,5	8,25	8,05
S.B KOKALA	15		5,03	5,2	5,26	5,26	5,2	5,95	6,45		6,5	7,1	7,05	6,82
T. MGHAR	16		5,45	5,35	4,6	4,6	5,55	6,18	6,75	7,05	7,2	7,6	7,2	7,2
B.HEDHJ	17			5,35	5,5	5,5	5,5	6,43	7,0	7,3		7,62	7,35	7,1
A. GRECHE	19		7,35	7,35	7,1	7,1	7,27	7,65	8,35	9,1	9,3	9,55	9,6	9,4
B. CHAABANE	20		8,5	8,44	8,42	8,42		9,02	9,72	10,37	11,2	-	-	-
COMP.MATEUR	21		7,02	7,0	7,05	7,05	7,2	7,6	8,35	9,05	9,1	9,6	9,7	9,52
BIR EL OUED	22		6,1	-	5,98	5,98	6,12	6,6	7,3	8,05	8,5	9,0	9,85	-
R.ZAOUCH	23		8,42	-	8,24	8,24	8,44	8,88	9,4	10,2	10,5	-	10,85	-
R.ZAOUCH	24		8,77	-	8,58	8,58	8,7	9,08	9,5	10,22	11,0	10,65	10,7	10,7
R.ZAOUCH	25		8,45	-	8,18	8,18	8,27	8,65	9,18	9,7	10,45	10,3	10,4	10,38
R.ZAOUCH	26		8,72	-	8,66	8,66	8,7	9,1	9,62	10,2	10,62	10,5	10,55	10,4

**ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE MATEUR**

(ANNÉE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier	188,8	505 667	
Février	125,2	303 029	
Mars	111,3	298 015	
Avril	111,6	289 330	
Mai	106,1	284 177	
Juin	101,2	262 362	
Juillet	100,0	267 840	
Août	98,4	263 624	
Septembre	93,9	243 390	
Octobre	91,8	245 992	
Novembre	86,4	223 964	
Décembre	79,8	213 964	

RECHARGE DES NAPPES DU CAP-BON

(Gouvernement de Nabeul)

Les nappes du Cap Bon qui sont pour l'essentiel de leurs ressources phréatiques, ont fait l'objet d'une exploitation intensive qui n'a cessé de s'accroître depuis le début des années 70. (M. ENNABLI, 1980a). Cette situation a dès le départ orienté la planification vers la recharge artificielle de ces nappes comme remède à la surexploitation (M. ENNABLI, 1980b).

I- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE AU CAP-BON

I-1- Expérimentation de recharge artificielle sur les nappes au Cap-Bon

I-1-1- Recharge à partir des eaux de surface

La conception de la recharge des nappes du Cap Bon a été élaborée depuis 1971 dans le cadre de l'intensification de l'exploitation des eaux souterraines du Nord et du Centre du pays (M. ENNABLI, 1971).

Les premières expérimentations de recharge de ces nappes ont été démarrées entre 1975 et 1978 sur la nappe de Grombalia et précisément dans la zone de Menzel Bou Zelfa-Béni Khaled (M. ENNABLI, 1975). Ces opérations ont consisté à recharger la nappe à partir des eaux de la retenue du barrage Bézigah situé aux environs de Menzel Bou Zelfa sur la rive droite de l'oued Sidi Saïd qui constituent un des principaux axes d'alimentation de la nappe (M. REKAYA, 1985a). En 1975, une station expérimentale de recharge artificielle fut bâtie à cet endroit. Cette station est composée de trois bassins d'infiltration couvrant au total 4050 m² et ayant une profondeur variant de 1,5 à 2 m. A ces bassins, sont associés 7 forages d'injection remplis de gravier et d'un massif granulo-classé, d'une profondeur de 50 m.

Le suivi de l'évolution du niveau de la nappe est assuré par une batterie de 12 piézomètres équipés de limnigraphes. Cette station a été momentanément abandonnée suite à l'insuffisance du stock d'eau dans le petit barrage de la région.

Outre la recharge par bassins, une quarantaine de puits de surface répartis entre Menzel Bouzelfa et Béni Khaled dont la plupart étaient abandonnés, ont servi de puits d'injection pour 55 opérations expérimentales de recharge. Le volume moyen injecté par puits était de 3446 m³. La durée moyenne de l'essai était de 21 jours. Parallèlement à cette recharge à partir des puits, le lit de l'oued Sidi Saïd passant au Sud de Menzel Bouzelfa, a été aménagé afin de servir à l'infiltration des eaux qui y sont lâchées.

Le caractère expérimental de ces opérations, la non disponibilité en permanence des eaux dans le barrage et les problèmes survenus à la suite de l'éboulement de certains puits de l'injection, ont fait que cette opération n'a pu être poursuivie malgré le résultat positif constaté au niveau de la nappe.

En 1984, une opération de recharge dans des bassins d'infiltration a été effectuée au niveau de la station de recharge de Foued Sidi Saïd à Menzel Bouzelfa. Elle a permis l'injection d'un volume de $100\ 000\ m^3$ durant environ trois mois. Les remontées du niveau piézométrique enregistrées ont atteint 2 à 3 m. Parallèlement, d'autres essais d'injection dans des puits de surface ont été effectués, avec un volume total injecté dans les 40 puits testés, qui est de $137\ 840\ m^3$. Cette opération a duré 21 jours et elle a été limitée dans le temps à cause du colmatage du fond des bassins et de l'indisponibilité des eaux de recharge.

Ces expérimentations ont permis de s'assurer des conditions pratiques de la faisabilité de l'opération et ont mis en évidence, les contraintes liées à l'évaluation des paramètres hydrauliques pouvant être généralisés sur des sites similaires, mais à grande échelle.

Ainsi, il en a été déduit pour les puits de surface, une capacité d'infiltration variant de 1 à 4 l/s/puits. Alors qu'au niveau des bassins d'injection, la capacité d'infiltration varie de 1 à $2\ m^3/jour$. La capacité d'infiltration varie essentiellement avec la turbidité des eaux de recharge et leur concentration en matière en suspension (M.E.S.), ainsi qu'avec la perméabilité de la formation aquifère et l'épaisseur de la zone non saturée.

1-1-2- Recharge à partir des eaux usées traitées

Compte tenu de l'infrastructure disponible et de l'existence, sur la rive droite de Foued Souhil, d'une ferme agricole appartenant au Centre des Recherches du Génie Rural (Ministère de l'Agriculture), un site a été choisi au niveau de cette ferme pour pratiquer en 1985-86, la recharge artificielle à partir des eaux usées traitées, dans la nappe de Foued Souhil à Nabeul qui présente un environnement hydrogéologique favorable. (M.REKAYA, 1985b, M. REKAYA, 1986).

Cette station se compose de quatre bassins d'infiltration, de forme carrée, de 20 m de côté et de 1,5 à 1,7 m de profondeur. Le contrôle de l'effet de cette recharge y a été assuré par une batterie de 18 piézomètres répartis en deux axes suivant la direction de l'écoulement de la nappe. La première opération d'injection a été réalisée du 4/12/85 au 28/08/86. Le volume total injecté durant 69 jours était de $57\ 514\ m^3$, soit une moyenne de $833\ m^3/j$. Cette station a été également réalisée au cours de l'année 1988 (M. REKAYA, 1988) et par la suite à partir du mois d'Octobre 1991 et jusqu'à nos jours, avec des intervalles d'arrêts en périodes d'irrigation. La capacité d'infiltration testée sur ces bassins, est en moyenne, $1,5\ m^3/m^2/j$. (M. REKAYA, 1992).

1-2- Recharge artificielle opérationnelle des nappes au Cap Bon :

Durant les trois dernières années de la décennie des années 80 caractérisée par une sécheresse poussée, les nappes phréatiques du Cap Bon ont accusé des baisses piézométriques notables dont l'ampleur a été intensifiée par la surexploitation. L'année hydrologique 1990-91 fut une année excédentaire du point de vue pluviométrique et par conséquent les barrages de la région ont déversé et afin de stocker l'eau dans la nappe, il a été envisagé de reprendre les opérations de recharge sur une grande échelle.

Cette opération a consisté en la pratique de la recharge :

- par injection dans les puits de surface,
- par infiltration dans les bassins de recharge,
- par épandage sur des surfaces perméables.

1-2-1- Recharge par injection dans les puits de surface :

Cette opération a été tentée à Menzel Bou Zelfa et à Lebna. En effet, après plusieurs contacts entrepris avec les autorités locales, les organisations syndicales et les agriculteurs eux même, une trentaine de puits de surface furent sélectionnés au départ afin de les utiliser comme puits d'injection mais lors de la mise en oeuvre, deux contraintes principales se sont apparues : la première liée à la non disponibilité de matériel et d'équipements (tubes bauer,...), la seconde liée à la réticence des agriculteurs et à l'absence de leur collaboration. Certains ont même demandé une garantie de remplacement de leur puits en cas où l'opération de recharge cause l'éboulement du puits.

Ces contraintes ont fait que seuls trois puits de surface appartenant à des privés à Menzel Bou Zelfa ont pu être utilisés pour l'injection de l'eau. Alors qu'au niveau de Lebna, seuls quatre puits de surface appartenant à l'OTD, ont pu être exploités dans cet objectif. Aussi bien au niveau des puits situés à Mer Bou Zelfa que ceux situés à Lebna, l'injection a subi plusieurs interruptions et la durée de recharge n'a été que de deux mois à Menzel Bou Zelfa et d'un mois à Lebna. A Menzel Bou Zelfa, la moyenne d'injection par puits, est de 3000 m³/mois, alors qu'à Lebna elle a été de 4500 m³/mois.

1-2-2- Recharge par injection dans des bassins d'infiltration :

Ce type de recharge a été pratiqué dans la station de Sidi Saïd à Menzel Bou Zelfa où trois nouveaux bassins de dimension 60m x 40m x 2,5m ont servi pour l'injection de l'eau dans la nappe. Le volume d'eau injecté du 20 Février au 8 Juillet 1991, a été de 11300 m³. Au niveau de cette station le problème majeur qui est apparu est le colmatage du fait que l'eau de recharge est très chargée en matières en suspension. Toutefois, le rayon d'action de cette recharge a dépassé le kilomètre et les puits de surface ont accusé une remontée variant de 0,5 à 6 m.

1-2-3- Recharge par épandage sur sol perméable (la région d'El Gobba) :

Cette opération de recharge a été pratiquée dans la région d'El Gobba. Trois facteurs ont permis la réussite de cette opération :

- des conditions hydrogéologiques très favorables (sol très perméable et pente de surface adéquate),
- la proximité des vannes branchées sur une conduite principale du réseau des eaux de Nord,
- la disponibilité de terrain appartenant à l'état (OTD et INRAT) couvrant environ 100 ha.

Le périmètre d'El Gobba, étant un périmètre sans couvert végétal, l'opération de recharge y a démarré parallèlement aux travaux de Génie Civil qui ont consisté à pratiquer des sillons et des diguettes à travers tout le périmètre afin de le subdiviser en trois grands quartiers en fonction du nombre de prises d'eau sur le réseau.

Entre les mois de Février et de Mai 1993, il a été possible d'injecter au niveau de ce site 1 Mm^3 . L'impact de cette recharge sur la nappe piézométrique s'est révélé très sensible avec des remontées du niveau piézométrique variant entre 10 m sur le site de la recharge et 1 m à 2 km environ vers l'aval. Cet impact positif a persisté durant la saison estivale malgré les forts prélèvements pour l'irrigation ce qui a encouragé plusieurs autres agriculteurs à ne pas avoir recours aux eaux du canal du Nord du fait qu'ils ont pu satisfaire leurs besoins à partir de leurs propres puits. D'autres exploitants ont réduit de façon substantielle leurs prélèvements sur le réseau du canal.

II- EVALUATION DE LA RECHARGE DES NAPPE AU CAP BON EN 1993 :

L'année 1993 a enregistré en plus des stations traditionnelles de recharge habituelles d'El Gobba, Sidi Alaya (nappe de Grombalia), de l'oued Souhil (nappe de Nabeul-Hammamet) l'entrée en expérimentation de la recharge à partir des eaux usées traitées dans le lit de Oued Souhil

II-1- Recharge de la nappe de Grombalia :

II-1-1- Station El Gobba :

Le volume total injecté par épandage à partir du Canal des eaux du nord, dans les bassins mis en place sur le terrain perméable, est de $0,72 \text{ Mm}^3$. La surveillance de la remontée des niveaux piézométriques, a été assurée par un réseau de 46 puits de surface. Les remontées observées ont varié de 0,5 à 2,7 m

II-1-2- Station Sidi Alaya :

Le volume total injecté est de $46 150 \text{ m}^3$. Les remontées observées dans les puits de surface voisins, ont varié de 0,5 à 2,5 m. Le volume total utilisé pour la recharge de la nappe de Grombalia en 1993, est donc de $0,766 \text{ Mm}^3$

II-2- Recharge de la nappe de l'Oued Souhil à partir des eaux usées traitées :

Durant l'année 1993, deux techniques de recharge ont été pratiquées au niveau de la nappe de Oued Souhil.

II-2-1- Recharge par épandage dans le lit de l'oued Souhil :

Au cours du dernier trimestre de l'année 1993, la recharge de cette nappe a été reprise par l'épandage dans le lit mineur de l'oued souhil et par injection dans les bassins creusés sur la rive gauche du lit majeur de cet oued. Le volume total ainsi injecté, est de $20 000 \text{ m}^3$. Ce site ne dispose pas encore de réseau d'observations piézométriques adéquate.

II-2-2- Recharge à travers les bassins d'infiltration :

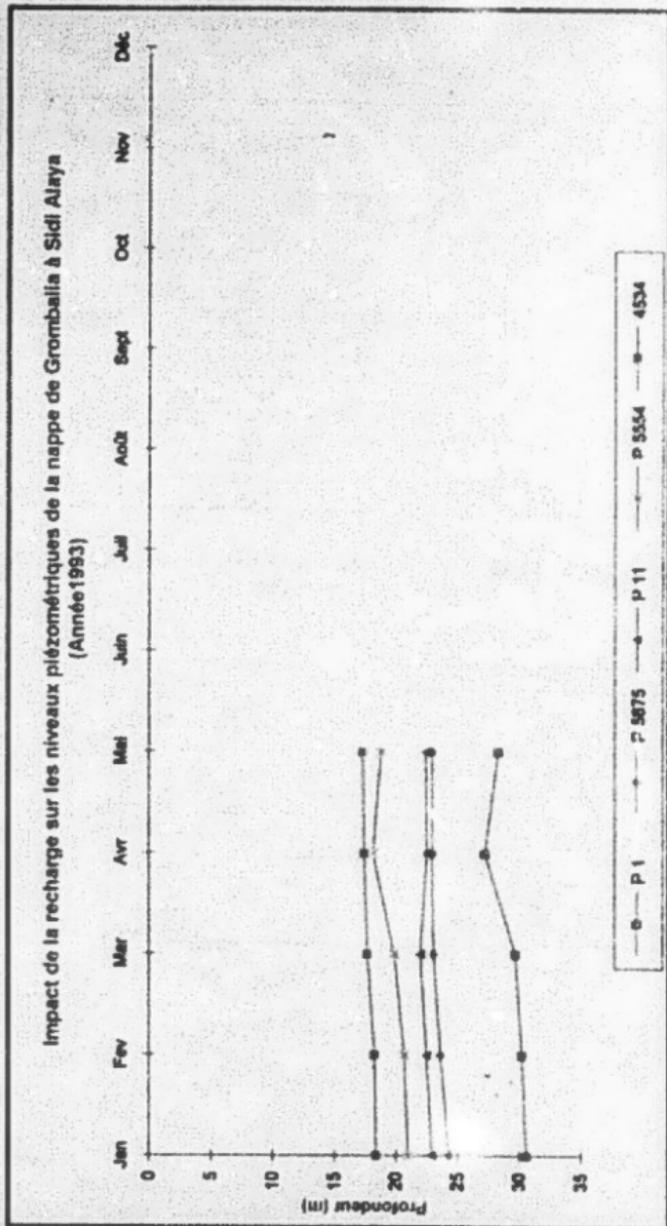
Le volume total injecté à travers les bassins d'infiltration en 1993 sur la nappe de oued Souhil est de 40 000 m³. Les remontées enregistrées par un réseau de 18 piézomètres et de 42 puits de surface ont varié de 0,2 à 0,7 m.

Au total, la nappe de Oued Souhil a bénéficié de 60 000 m³ d'eau usée traitée dont on estime près de 60% de ce volume ayant rejoint la nappe.

M. REKAYA

BIBLIOGRAPHIE

- M. ENNABLI (1980b) : Etude de la roquette tunisienne pour un projet pilote concernant l'infiltration d'eau usée épurée pour recharger la nappe. DRE-Tunis, Sep. 1980, 60 p. Fig.
- M. ENNABLI (1971) : Projet d'intensification de l'exploitation des eaux souterraines dans le Nord et le Centre de la Tunisie : Alimentation artificielle de la nappe de Mateur. DRE, Tunis.
- M. ENNABLI (1975) : Recharge artificielle de la nappe de Grombalia-Soliman. Note de présentation du projet 73/010. DRE, Tunis, 3 p.
- M. REKAYA (1985b) : Réutilisation des eaux usées. Recharge de la nappe de l'oued Souhil à partir des eaux usées traitées. Programme. Projet RAB 80/011. DGRE-Tunis, 1985, 9p., 3Fig.
- M. ENNABLI (1980a) : Etude hydrogéologique des aquifères du Nord-Est de la Tunisie. Pour une gestion intégrée des ressources en eau. Thèse Doct. Es Sciences, Université de Nice.
- M. REKAYA (1985a) : L'expérience Tunisienne en matière de la recharge des nappes aquifères. DRE, Tunis, 9p.
- M. REKAYA (1991) : Projet de recharge artificielle des nappes aquifères au Cap Bon. DGRE-Tunis, 1991, 13 p.
- M. REKAYA (1992) : La recharge artificielle des nappes du Cap Bon. Actes de la 10^{ème} journée des ressources en eau (INAT-Tunis, 29-4-92). DGRE-TUNIS, SEPT. 1992, PP.20-42.
- M. REKAYA (1986) : Expérimentation pilote de recharge artificielle à partir des eaux usées traitées : cas de la nappe de l'oued Souhil (Nabeul) In Séminaire maghrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture. (Tunis, 23-26-4-86, DGRE-Tunis, 1986, 21p.)
- M. REKAYA (1988) : The Tunisian experience in ground water artificial recharge recharge by treated waste Water. DGRE-Tunis, Août 1988, 11p.



**ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIÉZOMETRIQUE
DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE OUED SOUHIL**

(ANNÉE 1993)

Puits / Pézomètre	N° LHE	Côte du repère	Niveau statique (m)												
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
PZ.1			11,51	11,52	11,64	11,19								11,96	11,95
1Bis			11,52	11,52	11,65	11,20								11,98	11,98
2			11,55	11,56	11,61	10,94								11,66	11,67
2 Bis			11,38	11,39	11,64	10,76								11,49	11,50
3			11,87	11,87	11,95	11,60								12,04	12,05
4			11,62	11,55	11,58	11,15								11,63	11,64
4 Bis			11,55	11,61	11,65	9,79								11,70	11,71
C. 1			9,97	10,04	10,10	10,03								10,02	10,03
C. 2			10,75	10,79	10,86	10,72								10,81	10,83
7			10,40	10,43	10,57	10,38								10,70	10,80
8			10,02	10,07	10,16	10,09								10,68	10,60
9			11,11	11,13	10,19	11,30								12,27	11,83
10			11,71	11,71	11,81	11,43								12,30	12,29
11			11,51	11,52	11,63	11,29								12,05	12,03
12			11,11	11,10	11,00	10,78								11,86	11,80
13			11,49	11,51	11,61	11,27								12,56	12,35
13			10,59	10,57	10,67	10,64								11,35	11,30
14			.	.	11,18	.								.	.

**ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES LORS DE LA RECHARGE
DE LA NAPPE DE OUED SOUHIL**

(ANNÉE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier			
Février		1782	
Mars		481	
Avril		43477	
Mai			
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE GROMBALIA (EL GOBBA)

(ANNEE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier		170 694	
Février		118 692	
Mars		137 880	
Avril		120 199	
Mai			
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIÉZOMETRIQUE
DE LA RECHARGE DE LA NAPPES DE GROMBALLA (SIDI ALAYA)
(ANNÉE 1993)

Puits / Pneumètre	No TRF	Cote de repère	Niveau statique (m)													
			Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc		
1			30,60	30,33	29,70	27,23	28,29									
3676			23,60	23,27	22,84	24,11	-									
3677			24,30	23,66	23,03	22,96	22,96									
3673			0 000	0 000	0 000	0 000	0 000									
3672			-	-	-	-	-									
9			-	-	-	-	-									
11			22,90	22,47	21,96	22,50	22,44									
3336			0 000	0 000	0 000	0 000	0 000									
3334			20,76	20,65	19,87	18,15	18,80									
17			0 000	0 000	0 000	0 000	0 000									
3360			-	-	-	-	-									
22			-	-	-	-	-									
3377			-	-	-	-	-									
4134			18,39	18,28	17,68	17,40	17,28									
23			20,26		19,32	19,55	18,73									
26			0 000		22,75	22,55	22,36									
27			23,69		22,45	23,60	26,50									
5710			15,44		14,97	15,10	15,16									
29			24,82		0 000	0 000	0 000									
4333					0 000	15,75	15,17									
31					17,3	17,46	17,51									
5466					18,73	18,46	22,50									
5458					28,50	28,39	28,30									
34					23,00	24,87	23,06									
4498					28,00	27,96	28,03									
5693					26,47	26,26	26,40									
4372					21,28	20,97	20,69									
3201					20,64	20,40	20,45									
4371					18,93	18,13	19,44									
4327					21,09	20,91	20,76									
4386					23,95	23,79	24,93									
3237					22,55	22,20	23,46									
3894					21,80	21,73	21,70									
4413					21,47	21,49	23,21									
4607					15,45	13,54	13,65									
4090					27,64	27,21	27,18									

ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DATES INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPES DE GROMBALLA (SIDI ALAYA)
(ANNÉE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volumé injecté (m ³)	Salture (g/l)
Février		135 910	
Mars		111 780	
Avril		67 840	
Mai		73 345	
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES DU SYNCLINAL DE NADHOUR-SAOUEF

(Gouvernorat de Zaghuan)

I- INTRODUCTION :

Le synclinal de Nadhour-Saouef se situe sur le versant sud de la dorsale tunisienne. Le climat de cette région est semi-aride avec une pluviométrie variant de 300 à 350 mm/an. Le relief y est accentué sur les bordures au niveau des affleurements géologiques calcaires et gréseux. Par contre, les marnes de l'Eocène supérieur et les marnes sableuses du Mio-plio-quaternaire tapissent le fond des plaines.

Dans le synclinal de Nadhour-Saouef, on distingue trois niveaux aquifères qui sont les grès du Miocène, les grès de l'Oligocène et les calcaires de l'Eocène inférieur. L'alimentation de ces nappes se fait soit par l'infiltration directe des eaux de pluies au niveau des affleurements de bordure, soit par l'infiltration des eaux des crues le long des lits des oueds.

Dans le cadre du programme décennal de la mobilisation des eaux de surface (1991-2000), quatre barrages collinaires ont été programmés dans le synclinal de Nadhour-Saouef, sur les oueds El Oglia, Sahel, Hedada et Saadine. Les trois premiers sont déjà réalisés et ont été fonctionnels en 1993.

La rétention des apports des eaux de ruissellement de tous ces oueds, estimée à $6.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, priverait les nappes d'eau souterraines situées en aval, d'un apport qui a été estimé à $2.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (HORRICHE F. & KHANFIR R., 1993).

Afin de remédier à cette situation et dans le but de mieux profiter des eaux de surface, il a été projeté la recharge de la nappe de Nadhour-Saouef par les eaux retenues par les barrages collinaires. Cette opération a pour but de développer le volume d'eau infiltré en augmentant le taux d'infiltration et en maintenant le débit d'écoulement de l'oued.

II- HYDROGEOLOGIE :

Au niveau du synclinal Nadhour-Saouef, on distingue trois niveaux aquifères :

II-1- l'aquifère calcaire de l'Eocène inférieur :

Les calcaires eocènes qui affleurent au niveau des reliefs de bordure à l'Est et à l'Ouest du synclinal, prolongent en profondeur sous cette structure synclinale où ils ont été reconnus comme étant aquifères. Ces calcaires ont été reconnus par trois forages qui sont ceux de Souar (N° IRH 10735/2) et de Regba (N° IRH 10969/2) implantés sur le flanc ouest et d'El Hmira (N° IRH 18530/4) implanté sur le flanc Est. Ces forages ont traversé des calcaires blanchâtres assez bien fissurés dont le débit spécifique est de l'ordre de 3 à 10 l/s/m. La salinité de l'eau y est inférieure à 1,5 g/l.

II-2- L'aquifère gréseux de l'Oligocène :

Les grès de l'Oligocène reconnus également comme étant aquifères, affleurent sur les reliefs de bordure du synclinal mais ils s'approfondissent au coeur de la structure. Cet aquifère a été reconnu par onze forages dont le débit spécifique varie de 1 à 3 l/s/m. La salinité de l'eau y est partout inférieure à 1 g/l.

II-3- L'aquifère gréseux du Miocène :

Les grès miocènes affleurant au niveau des reliefs de bordure sont aussi aquifère mais ils s'approfondissent au centre du synclinal ou leur épaisseur pourrait dépasser 300 m. Ces grès reconnus par cinq forages se sont révélés aquifères avec un débit spécifique variant de 0,5 à 1,0 l/s/m. La salinité de l'eau y est généralement inférieure à 1 g/l.

II-4- Les ressources et l'exploitation de ces nappes :

Les ressources de la nappe des calcaires de l'Eocène supérieur, ne sont pas encore évaluées et leur exploitation est encore très faible du fait que son eau ne sert qu'à desservir en eau potable, quelques zones rurales.

Les nappes du Mio-plio-quaternaire, des grès Miocène et de l'Oligocène sont communicantes entre elles. Leurs ressources exploitables ont été évaluées à 270 l/s soit $8,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ (M. Hamza, 1990). L'exploitation de ces nappes par puits et forages a été estimée en 1990, à 51 l/s soit $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

Les ressources disponibles sont alors de l'ordre de 219 l/s ($6,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$). Vu l'écoulement souterrain de la nappe, ces ressources contribuent à l'alimentation de la nappe de Sisseb située en aval. Cette nappe souffre d'une surexploitation manifeste qui a provoqué depuis plusieurs années une baisse continue de son niveau piézométrique qui est de l'ordre de 2 m/an. En conséquence, toute augmentation de l'exploitation des nappes de Nadhour-Saouef est de nature à affecter directement l'alimentation souterraine de la nappe de Sisseb et d'aggraver l'impact de surexploitation. Il est donc indispensable de développer l'alimentation de cette nappe à travers l'optimisation de l'infiltration des eaux superficielles des différents oueds de la région.

III- RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES :

La première expérimentation de recharge des nappes de Nadhour a été réalisée par des lâchers à partir du barrage collinaire d'El Ogla en 1990/91 (du 14/06/91 au 30/06/91) (KHANFIR R., 1992). Le volume total de ces lâchers était de $2,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. Il a été estimé que sur ce volume $1,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ se sont écoulés dans l'oued au delà du dernier point de jaugeage, $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ se sont évaporés et $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ se sont infiltrés jusqu'à la nappe. Au niveau de l'unique piézomètre situé sur le bord de l'oued, on a enregistré une remontée de 1,4 m (graphique 1). Au cours de l'année 1993, deux opérations de recharge ont été pratiquées à partir des barrages Es Sahel (du 10 au 26/04/1993) et El Ogla (du 28/06/93 au 27/07/93) (AYADI MF., 1994).

III-1- Barrage Es Sahel

Le débit des lâchers a été de l'ordre de 59 l/s durant 16 h/j. Le volume total de ces lâchers est évalué à $44,7 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Le volume infiltre est estimé à $33,9 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ durant la période d'observation, ce qui correspond à un débit fictif continu de 28 l/s soit 5,6 l/s/Km.

III-2- Barrage El Ogla :

Le débit des lâchers a varié entre 429 l/s et 141 l/s durant 16 h/j. Le volume total des lâchers est évalué à $372,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Le volume infiltre dans toute la zone surveillée est estimé à $358,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ durant la période d'observation, ce qui correspond à un débit fictif continu de 143,1 l/s soit 14,3 l/s/Km.

IV- EFFET DE LA RECHARGE SUR LES NAPPES DE NADHOUR :

L'effet de la recharge de la nappe de Nadhour-Saouef, à partir des eaux des barrages Essahel et El Ogla, a été suivi à l'aide d'un limnigraphe installé sur le piézomètre de l'Oued Essahel, (situé au bord de l'oued où l'infiltration est maximale)

qui a enregistré entre Avril et fin Septembre 1993 une remontée de 2,62 m dont 2 m enregistrés après les lâchers à partir du barrage El Ogla et 0,62 m après celles du barrages Es Sahel (graphique n°2)

IV-1- Effet du barrage Es Sahel :

La remontée piézométrique a commencé après 12 jours de lâchers sur le barrage Es Sahel et elle s'est poursuivie pendant 7 jours (du 23 au 29/04/93). Au cours de cette période, cette remontée a été de 0,5 m pour un volume infiltré de 33900 m³. La deuxième phase de remontée (0,12 m) semble être due aux pluies survenues entre le 7 et 8 Mai 1993. La remontée journalière y a été estimée à 7 cm/j pour une infiltration moyenne de 1695 m³/j.

IV-2- Effet du barrage El Ogla :

Une première phase de remontée du niveau piézométrique a été enregistrée après 21 jours de lâcher d'eau à partir du barrage El Ogla. Cette remontée qui s'est poursuivie pendant 7 jours (du 18 au 25/07/93) Elle est due aux volumes d'eau lâchés pendant les 5 premiers jours (108 000 m³). La remontée moyenne est estimée à 3,4 cm/j pour une infiltration moyenne de 10. 190 m³/j. La remontée (0,76m) n'a commencé qu'après 57 jours (du début des lâchers) et s'est étalée sur 19 jours ce qui correspond à une remontée journalière moyenne de 4 cm/j pour une infiltration moyenne de 6 291 m³/j.

Mme M. AYADI CHIKHAOU

BIBLIOGRAPHIE

HORRICHE F., & KHANFIR R., (1993) : Pour une gestion intégrée des ressources en eau de la plaine du Fahs.

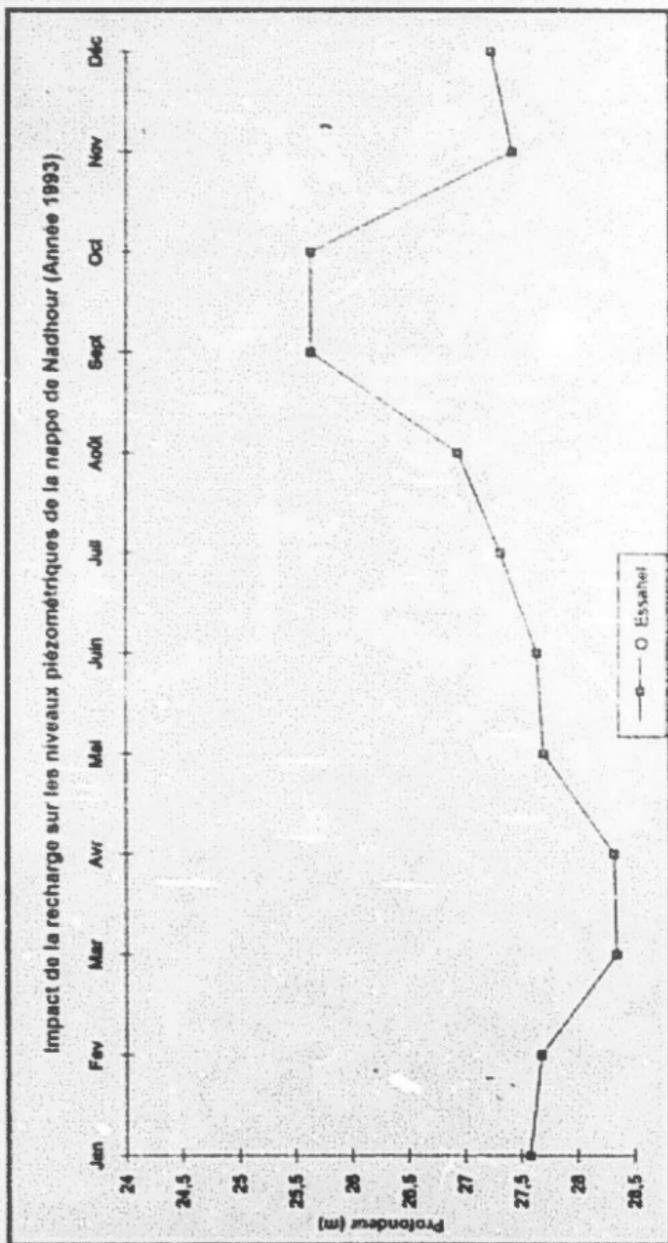
DGRE-Tunis, Mars 1993, 83 p. 19 Fig. 10 Tabl.

KHANFIR R., (1992) : Recharge artificielle des nappes d'eau souterraines du synclinal de Nadhour-Saouaf à partir du barrage collinaire de l'oued el Ogla.

DGRE - Tunis, Mars 1992, 9 p. 3 cartes.

MF., AYADI (1994) : Recharge artificielle des nappes du synclinal du Nadhour-Saouaf à partir des barrages collinaires du Sahel et d'el Ogla.

HAMZA M., (1990) : Hydrogéologie du synclinal de Nadhour-Saouaf
DGRE - Tunis, Janvier 1990, 150 p.



**ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIEZOMETRIQUE
DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE NADHOUR**

(ANNEE 1993)

Puits / Piezomètre	N° DRII	Côte du repère	Niveau statique (m)											
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
O. Essaha	10631/2	123	27,58	27,68	28,34	28,32	27,7	27,64	27,32	26,94	25,64	25,64	27,43	27,24

**ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE NADHOUR**

(ANNEE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier			
Février			
Mars			
Avril	45,5	44700	2,51
Mai			
Juin	429	74131	1,8
Juillet	150	372300	2
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE DE TEBOULBA

(Gouvernorat de Monastir)

I- INTRODUCTION :

La nappe de Teboulba correspond à un ancien cordon dunaire littorale situé entre Moknine et Teboulba qui se présente sous forme d'un plateau dont l'altitude varie d'une trentaine de mètres vers l'Ouest, à une vingtaine de mètres vers l'Est. Ce cordon plonge assez brutalement vers la mer alors qu'une pente relativement douce le relie à la Sebkhia du côté Sud.

La nappe de Teboulba s'étend sur une superficie d'environ 35 Km², longeant la côte sous forme d'une bande entre la mer au nord-est et la Sebkhia de Moknine au sud-ouest. La roche réservoir est constituée de lentilles de sables fins intercalées entre des assises d'argiles sableuses du Plio-quaternaire. Un banc argileux épais et continu attribué au Pliocène, constitue le substratum de cet aquifère.

Cette nappe a été captée par 800 puits de surface dont 299 puits en état d'exploitation et 501 puits abandonnés. Son exploitation actuelle est d'environ 1,5 Mm³ alors que ses ressources exploitables provenant uniquement de l'infiltration directe de la pluie, ne dépassent guère 0,65 Mm³, ceci fait une surexploitation de 0,85 Mm³ 130 % des ressources. Cette surexploitation s'est faite sentir depuis quelques années, par une baisse continue du niveau piézométrique de la nappe.

En effet, avant l'année 1940 et au centre du plateau, existait un cône de dépression piézométrique qui a été constaté à l'Ouest de la ville de Teboulba avec un creux atteignant la côte -15 m au-dessous du niveau de la mer. Ce cône n'a cessé de se développer pour atteindre en 1971, les côtes -30 à -40 m par rapport au niveau de la mer. Ceci a entraîné une double intrusion saline, la première venant de la mer du côté Nord et la seconde à partir de la Sebkhia de Moknine du côté Sud (INESS, 1973)

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE ARTIFICIELLE :

Devant la situation inquiétante de la baisse piézométrique de la nappe phréatique de Teboulba, il a été décidé au début des années soixante-dix, de soulager la nappe de Teboulba en assurant l'alimentation en eau du périmètre irrigué à partir des eaux du barrage Nebhana. Par la suite, à l'arrivée de cet appoint au périmètre, l'idée de se servir partiellement de ces eaux, en période excédentaires, pour la recharge de la nappe, s'est développée (M. BESBES, 1972 et INESS, 1973) et ce à fin de

- sauvegarder la nappe en limitant l'extension du cône de la dépression piézométrique qui a atteint à l'époque, une superficie de 12 Km².

- freiner l'invasion des eaux salées arrivant à la nappe,
- régénérer les zones déjà envahies et prolonger l'exploitation de la nappe à partir des puits existants en stockant au sein de la nappe une eau de bonne qualité.

La recharge expérimentale de cette nappe a été conçue sous forme d'injection de l'eau du barrage dans 4 puits de surface. Les essais ont duré 138 jours et le volume injecté a été de $186\ 000\ m^3$. Le but de ces essais préliminaires consistait à dégager un ordre de grandeur des capacités d'infiltration des puits. Signalons que lors de l'essai, le débit spécifique des puits a considérablement baissé, en passant de plus de 10 l/s/puits, au début de l'essai, à environ 3 l/s/puits, à la fin de l'essai et ce suite à la présence de matériaux en suspension dans l'eau utilisée pour la recharge (BEN SALAH et al, 1975).

En se basant sur les résultats, des simulations évaluant le volume d'eau nécessaire à la recharge de la nappe en vue de ramener les niveaux dans la dépression piézométrique à la côte zéro de la mer ; il a été estimé que cette opération nécessite l'injection d'un volume de $7.10^6\ m^3$. Un tel volume n'étant pas disponible, un autre scénario prévoyant de ramener le niveau de la nappe à une côte variant de -10 à -15 m, a mis en évidence la nécessité d'injecter un volume de $2,5\ 10^6\ m^3$ répartis en 5 ans, à raison de $0,5\ 10^6\ m^3$ /an dans une trentaine de puits de surface et ce en admettant une exploitation limitée à $1,1\ 10^6\ m^3$ /an et une pluviométrie moyenne de 375 mm avec un coefficient d'infiltration de 5%. Cependant l'utilisation concurrentielle des eaux du barrage pour l'irrigation, même le volume de $0,5\ 10^6\ m^3$ /an n'a pu être réservé à la recharge. Il n'a été possible d'injecter qu'un volume limité à $1.4\ 10^6\ m^3$ /an repartit sur 6 ans.

Durant cette période, on a pu dénombrer 737 jours d'injection, ce qui revient en moyenne à $1868\ m^3$ /j. Entre 1972 et 1976, l'injection a été pratiquée sans aucun traitement préalable des eaux issues du barrage. Celles-ci avaient une salinité moyenne de 0,96 g/l et une teneur en M.E.S. de 1,3 g/l (EL BATTI D., 1975). Ceci a entraîné une réduction notable de la capacité d'injection par puits à cause de l'effet de colmatage qui s'est produit. A partir de 1976, des bassins d'infiltration ont été installés juste à proximité des puits, ce qui a permis de réduire de façon efficace, la teneur en M.E.S. des eaux de recharge et par conséquent, le colmatage des puits (la teneur en M.E.S. est passée de 1,3 g/l à 0,17 g/l) (EL BATTI D., 1977 et EL BATTI D., 1978).

Malgré la différence notable entre les prévisions avancées par le modèle de simulation et les volumes d'eau réellement injectés dans la nappe de Tebouiba, le résultat obtenu a été largement perceptible. En effet, le cône de dépression piézométrique a été largement résorbé. Le modèle ne prévoyait qu'une remontée de la piézométrie à la côte -10 à -15 m, mais cette remontée s'est faite dans la réalité jusqu'à la côte -5 m et même par endroits, à la côte zéro. Ceci a permis la remise en exploitation de nombreux puits qui étaient au paravent et pendant plusieurs années, à sec.

D'autre part, aux alentours des puits d'injection, la salinité de l'eau a accusé des valeurs nettement inférieures à celles qui s'y sont manifestées. Ainsi, il a été constaté, une nette régression de l'extension des zones montrant des salinités de 4,5 g/l au profit de celles ayant une salinité ne dépassant pas les 2 g/l (ZEBIDI H., et EL BATTI D., 1981).

Après un long arrêt des opérations de recharge de cette nappe, une dernière campagne a été entamée le 15 Juillet 1992 et elle s'est poursuivie en 1993. Elle avait fait profiter à la nappe de Téboulba un volume total de $0,507.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ dont $0,387.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ injectés au cours de l'année 1993. Le volume d'eau journalier injecté dans un réseau de 17 puits de surface a varié de $600 \text{ m}^3/\text{j}$ à $1000 \text{ m}^3/\text{j}$, pendant au maximum 12 h/j. Le réseau de suivi de l'impact de cette recharge sur la nappe, est composé de 43 puits de surface et de 3 piézomètres qui sont répartis sur une superficie de 12 km^2 . Les remontées du niveau piézométrique ont varié selon l'éloignement des puits observés par rapport aux puits d'injection, d'un maximum de 16,7 m (puits N°468) à moins d'un mètre au point le plus éloigné.

F. MAALEL

BIBLIOGRAPHIE

- BESBES M., (1972) : Aspect hydrodynamique de l'injection par puits à Téboulba
DRE-Tunis, 1972, 8 p. Annuaire, 26 fig. 3 Pl.
- INESS (1973) : Nappe de Téboulba essais d'alimentation artificielle
DRE - Tunis, 1973, 57 p. 44 pl. 31 fig.
- BEN SALAH D., BESBES M., DE MARSILLY G., MOULLARD L., & ZEBIDI H., (1975) : Alimentation artificielle par puits pour la régénération et la conservation de l'aquifère colier de Téboulba.
Communication présentée au 3ème colloque inter. sur les eaux souterraines (1-5/11/75, Palermo), 10 p.
- ZEBIDI H., et EL BATTI D., (1981) : recharge artificielle de la nappe de Téboulba
DRE-Tunis, 1981, 9 p. 5 Fig.
- EL BATTI D., (1977) : Note sur la poursuite de la recharge artificielle de la nappe de Téboulba,
DRE - TUNIS, Novembre 1977, 3 p.
- EL BATTI D., (1975) : Recharge artificielle de la nappe de Téboulba campagne 1974-75.
DRE - Tunis, Mai 1975, 5 p.

ANNEXE N°1 : SURVEILLANCE PIÉZOMETRIQUE
DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE TEBOULBA

(ANNÉE 1993)

Puits / Pézomètre	N° IRLI	Côte du repère	Niveau statique (m)											
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
171	-	-	35,20	35,00	35,20	36,00	36,30	37,15	40,95	41,00	41,60	41,40	41,50	36,10
191	-	-	31,00	30,80	31,80	32,20	31,50	32,15	32,75	29,20	29,20	29,20	29,20	28,00
423	21,108	-	26,00	25,80	26,15	28,00	28,80	25,90	25,40	26,00	27,00	27,60	27,60	26,00
455	-	-	29,20	28,95	29,20	30,00	31,20	29,10	29,00	25,50	31,70	31,30	30,70	29,60
456	21,698	-	33,70	33,60	34,00	38,00	35,30	36,80	39,00	39,00	42,00	38,05	38,00	39,65
465	23,727	-	-	21,70	22,15	22,60	24,55	26,00	26,10	27,70	28,40	24,70	24,30	23,20
467	-	-	31,35	19,80	18,03	19,60	18,50	18,05	18,20	18,10	17,70	16,90	17,05	16,15
468	-	-	22,00	18,00	16,60	18,20	18,15	17,10	16,60	16,00	17,05	16,10	14,50	13,90
469	23,096	-	29,90	29,60	20,90	24,20	22,95	19,60	19,60	20,00	20,50	19,65	21,50	17,35
473	-	-	22,35	21,90	21,30	23,20	22,40	20,55	22,60	21,00	22,75	21,90	22,15	19,60
476	-	-	18,80	28,00	27,70	28,40	28,10	27,80	27,80	28,00	30,00	30,00	29,35	27,00
486	20,435	-	17,40	16,50	16,55	16,55	21,20	17,65	17,65	16,65	18,00	19,55	17,20	17,00
487	-	-	20,50	21,40	22,00	26,40	26,60	23,15	20,40	20,00	26,00	24,60	24,70	17,80
489	23,450	-	21,25	22,65	22,40	22,30	22,40	22,20	22,10	22,00	22,00	22,35	22,00	21,20
500	-	-	18,80	17,89	17,75	18,40	19,10	20,70	20,10	20,00	20,45	22,35	22,60	21,20
503	-	-	21,35	20,80	20,70	24,60	24,00	21,70	23,60	23,00	23,00	23,05	22,40	21,00
518	-	-	21,05	20,45	20,40	23,00	24,20	21,00	21,00	23,05	22,80	22,40	20,10	19,70
522	-	-	14,35	14,10	13,85	14,30	14,20	14,60	14,25	15,45	16,40	15,20	15,20	14,15
525	23,167	-	15,70	15,30	15,10	22,40	15,30	15,00	15,10	14,65	17,40	16,10	14,20	14,65
526	-	-	25,45	24,90	24,70	25,05	25,30	24,65	24,10	25,00	25,00	25,30	25,25	24,10
527	-	-	27,10	26,30	26,10	26,50	26,70	25,50	25,50	25,50	26,95	25,30	25,20	24,10
529	-	-	26,70	26,50	26,35	26,50	26,30	26,10	26,65	25,50	26,00	27,00	27,30	25,00
531	-	-	24,95	24,15	23,00	23,75	22,60	22,40	23,50	22,50	22,20	21,60	21,30	20,80
533	-	-	-	21,00	20,50	20,80	21,30	20,85	20,30	14,35	19,00	18,45	18,45	17,90
538	-	-	22,20	21,50	22,00	21,90	20,50	19,95	21,05	22,00	31,25	30,20	31,20	19,20
543	21,881	-	28,10	27,80	27,30	29,40	31,00	28,50	27,10	28,00	31,50	30,20	30,05	26,00
544	-	-	-	30,15	29,60	30,30	29,30	29,10	29,05	28,50	29,10	28,00	28,50	26,70
546	-	-	33,10	32,40	32,15	31,80	32,20	31,80	31,45	32,00	32,00	31,80	29,60	28,00
547	-	-	-	25,80	25,00	24,70	25,60	24,80	24,50	23,80	24,30	24,10	24,00	23,10
550	-	-	-	24,50	24,30	23,00	22,80	21,85	21,60	22,00	22,90	22,50	22,50	21,00
552	-	-	28,40	27,50	27,30	29,25	28,80	25,35	25,40	25,00	25,40	24,70	24,60	23,00
553	-	-	32,00	31,30	31,50	33,20	32,60	31,00	30,65	30,00	31,40	30,80	28,80	27,20
556	22,526	-	32,00	31,65	31,40	31,65	32,40	31,40	31,25	30,00	28,00	28,10	29,40	26,30
558	-	-	-	26,80	26,40	26,50	27,60	27,25	26,15	26,00	27,30	26,90	26,80	25,40
559	-	-	-	26,30	25,95	26,10	26,15	28,10	27,25	25,80	27,45	28,40	27,65	23,60
560	22,043	-	33,00	32,00	30,80	30,80	30,75	28,70	27,65	29,00	29,30	27,20	27,20	24,30
563	22,734	-	32,00	31,80	32,80	31,60	30,90	30,90	30,65	30,00	31,40	28,60	29,60	27,40
565	22,094	-	30,10	29,10	28,65	31,60	31,60	29,50	29,00	29,00	33,20	24,70	31,30	29,25
566	23,055	-	28,95	28,80	32,60	32,40	31,60	29,50	29,40	30,90	34,10	32,60	32,15	29,00
570	21,196	-	26,95	20,35	25,85	25,40	25,60	25,60	24,35	25,00	33,00	26,30	26,60	27,30
901	-	-	28,70	27,80	28,20	28,00	28,00	27,70	28,65	28,70	28,45	28,00	28,00	27,60
902	-	-	22,40	22,10	21,70	21,45	21,30	21,40	21,10	21,25	21,25	21,15	21,15	20,55
903	-	-	23,80	23,50	23,40	23,40	23,40	23,30	23,20	23,20	23,20	23,15	23,15	23,10

ANNEXE N°2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE TEBOULBA

(ANNÉE 1993)

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier	16,66	30230	0,90
Février	24,52	42900	0,90
Mars	23,89	26316	0,90
Avril	18,00	16848	0,90
Mai	12,39	32681	0,90
Juin	19,90	37397	0,90
Juillet	20,85	32434	0,90
Août	21,47	15211	0,90
Septembre	25,43	28203	0,90
Octobre	23,97	32720	0,90
Novembre	25,10	45590	0,90
Décembre	26,00	47219	0,90
TOTAL	-	347769	-

RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN

(Gouvernorat de Kairouan)

I- INTRODUCTION :

La nappe de la plaine de Kairouan couvre une superficie d'environ 3000 km². Elle correspond à une vaste cuvette d'effondrement, comblée par une épaisse (300 à 700 cm) sédimentation détritique continentale constituée de sables et d'argiles plio-quadernaire. Cette sédimentation renferme un système multicouche. Les horizons aquifères y sont superposés et séparés par des séquences semi-permeables qui mettent en charge les horizons les plus profonds. Le système recèle des ressources en eau renouvelables d'environ 57 Mm³. Le niveau superficiel, limité à une profondeur de 50 m, est capté par 3240 puits de surface qui prélèvent un volume de 26 Mm³. Les niveaux sous-jacents sont captés par 112 forages profonds allant jusqu'à 590 m de profondeur et prélevant un volume de 16,8 Mm³.

Dans les conditions naturelles, d'avant la construction des barrages, la nappe de Kairouan et essentiellement alimentée par les deux principaux oueds de la Tunisie centrale, le Zéroud et le Merguellil qui contribuent respectivement avec 28 Mm³ et 12 Mm³. Après la construction du barrage de Sidi Sâad sur Foued Zeroud, en 1982 et celui d'El Houareb sur Foued Merguellil, en 1989, l'un des objectifs fixes était de réserver annuellement pour la recharge de cette nappe, un volume de 40 Mm³ à partir du barrage Sidi Sâad et un volume de 20 Mm³ à partir de celui d'El Houareb. Cette quantité permettra à la nappe de garantir l'équivalent de sa alimentation naturelle et de stocker le maximum d'eau dans le réservoir aquifère.

II- HISTORIQUE DE LA RECHARGE :

II-1- Recharge à partir du barrage de Sidi Sâad :

Les premières expérimentations sur la recharge des nappes en Tunisie Centrale remontent à la fin des années soixantes (Ohling J., 1969). Durant cette période un intérêt particulier a été accordé aux fluctuations piézométriques de la nappe de Kairouan sous l'effet des crues de Foued Zeroud (Besbes M., 1969).

Une série d'expérimentations menées sur l'infiltration à travers le lit de Foued Zeroud a permis de passer à la simulation prévisionnelle de la variabilité de la recharge de la nappe sous un climat semi-aride (BESBES M., et al, 1976 & BESBES M., 1978) ainsi qu'à la simulation de l'effet d'un barrage sur l'alimentation d'une nappe comme celle de Kairouan (BESBES M., et al, 1977).

L'ensemble de ces expérimentations et simulations prévisionnelles ont préparé la nappe de Kairouan à une nouvelle situation de gestion des ressources en eau commandée par la construction des barrages de Sidi Sâad et d'El Houareb.

Depuis la mise en eau du barrage de Sidi Saâd sur l'oued Zeroud, en Décembre 1982, la nappe de Kairouan n'a bénéficié au cours d'une période à régime hydrologique déficitaire (1983-1989), d'aucune alimentation à travers le lit de cet oued. L'essentiel des apports en eau piégés par la retenue du barrage, provenant des étages et des faibles crues dont la salinité des eaux a dépassé les 4 g/l, ne permettant pas ainsi de faire des injections qui pourraient détériorer la qualité chimique des eaux de la nappe.

Avec cette situation il a été constaté, une baisse importante de l'ensemble de la surface piézométrique de la nappe, accompagnée d'un accroissement sensible de la salinité de ses eaux. Il a été convenu d'entreprendre en 1988 et 1989 des essais de recharge de la nappe par des lâchers contrôlés à partir du barrage de Sidi Saâd, dans le lit de l'oued Zeroud et d'observer le comportement de l'onde de crue (BOUZAIANE S. et al, 1988 & SAADAOUI M., et al, 1989). L'objectif de ces essais était d'évaluer les volumes réellement infiltrés dans la plaine. Les résultats obtenus sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau n°4 : Essais de recharge de la nappe de Kairouan (1988-89)

Année	1988		1989	
	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
Volume lâché	4 693	100	5	100
Perte à El Bhira	2 389	51	2 52	50,4
Rétention dans la plaine	1 918	40,8	2 21	44,6
Perte au delà du pont Zafrana	0 386	8,2	0 25	5

Ces essais ont mis en évidence les pertes énormes observées dans la structure d'El Bhira située en amont de la plaine de Kairouan ainsi que la bonne infiltrabilité dans le lit de l'oued entre le cassis de Menzel Mhiri au lieu dit "Hencher Bouzid" et le pont de Zafrana (SAADAOUI M., et al, 1989). Il a été recommandé que les lâchers devraient se faire par la suite, en continu et à faible débit directement dans la plaine et tout en évitant la cuvette d'El Bhira. Ceci a exigé d'installer une conduite d'amener d'eau entre le barrage et le site de recharge de Sidi Salah.

La pose de cette conduite n'a pu être achevée qu'en Octobre 1992. Il s'est avéré par la suite que la vanne qui devrait servir pour la recharge présente une certaine instabilité dès que le débit dépasse 500 à 600 l/s. Actuellement, cette conduite ne permet de transiter qu'un débit de 441 l/s, alors qu'elle a été conçue au départ pour lâcher un débit arrivant jusqu'à 5 m³/s.

De part les lâchers, il faut noter les déversements et les opérations de dévasement qui sont parfois déclenchés et qui permettent d'évacuer vers la plaine de Kairouan, un volume d'eau assez important contribuant à la recharge de la nappe. Cependant il faut en soustraire les petits volumes qui s'infiltrent entièrement dans la structure d'El Bhira et n'arrivent pas jusqu'à la plaine de Kairouan. Ainsi, depuis la mise en eau du barrage Sidi Saâd, le volume global lâché à partir de ce barrage est d'environ 370 Mm³, il se répartit comme suit :

Tableau n° 2 : Lâchers et déversements du barrage de Sidi Saâd (1983-93)

Année	Lâchers en Mm ³	Dévas. en Mm ³	Déverse. en Mm ³	Total Mm ³
1983	0,019	0,694	0	0,713
1984	0	1,038	0	1,038
1985	0	0,806	0	0,806
1986	0	3,157	0	3,157
1987	0	1,777	0	2,777
1988	5,023	7,562	0	12,587
1989	8,870	9,415	0	18,285
1990	49,496	60,252	64,084	173,832
1991	46,492	23,387	15,105	85,984
1992	15,968	5,321	4,209	25,498
1993	21,358	12,124	12,392	46,305
Total Général Mm ³				370,662

L'impact des différentes essais de recharge sur le niveau piézométrique de la nappe de Kairouan, était insignifiant à cause du régime d'exploitation continu auquel la nappe a été soumise depuis plusieurs années. Avec la réapparition des grosses crues (Janvier 1990), cette nappe a bénéficié d'une recharge substantielle, dont l'effet s'est fait sentir dans les mois suivants avec des remontées de plus de 8 m dans le secteur amont. Les apports de ces crues à la nappe ont été estimés par modélisation, à environ 50,4 Mm³ (H. CHAIEB, F. MAALEL, 1992). Ces différents essais ont servi pour la modélisation des lâchers des barrages de Sidi Saâd et d'el Houareb et leur impact sur la nappe de Kairouan (CHAIEB H., 1992).

II-2- Recharge à partir du barrage El Houareb :

La mise en eau du barrage El Houareb a été effectuée en 1989. Cette situation n'a pas manqué d'influencer la piézométrie de la nappe au niveau de cet ouvrage (CHADLY B., 1990). Il en est résulté un changement du fonctionnement hydrodynamique au niveau du seuil d'el Houareb. Cependant, dès l'arrivée de la première crue qui a été retenue par la digue le 23 Août 1989, on a enregistré l'apparition d'émergences dans la fosse de l'évacuateur des crues, à travers la structure calcaire du Turonien du Dj El Houareb. Celle-ci montre l'existence d'une parfaite communication entre les deux systèmes aquifères de Ain Beidha et de Kairouan. En effet, la création d'une charge hydraulique supplémentaire par le plan d'eau du lac de la retenue, au dessus de la surface piézométrique de la nappe, a entraîné un accroissement important du débit souterrain qui se déverse dans la nappe de Kairouan, à travers le seuil hydraulique d'El Houareb. La partie apparente de ce débit qui transite sous l'évacuateur des crues, rejoint l'oued Merguelli en passant par un fossé d'acheminement. Observé depuis son apparition, le débit de émergence a parfois dépassé les 500 l/s (CHADLY B., 1992). Ce débit s'infiltre entièrement dans les six premiers kilomètres du lit de l'oued et contribue efficacement à l'alimentation de la nappe. Au bout d'une année, les remontées du niveau piézométrique ont dépassé le 6 m au droit du piézomètre M21 située à environ 2 km en aval du barrage. La remontée s'est lentement étendue vers l'aval. En effet, au mois de mars 1993, soit 43 mois après la mise en eau du barrage et l'apparition des émergences, l'influence de cette recharge induite a commencé à se faire sentir à l'aval du pont GP3, soit à environ 12 Km en aval du barrage.



SUITE EN

F

2



MICROFICHE N°

08789

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 2

Tableau n° 3 : Lâchers et déversements du barrage El Houareb (1989-93)

Année	Lâchers en Mm ³	Déversement en Mm ³	Déversement en Mm ³	Total (Mm ³)
1989	1,87	0	0	1,870
1990	11,035	0	0	11,035
1991	13,279	0	0	13,279
1992	14,116	2,84	0	16,956
1993	17,649	0	0	17,649
Total Général (Mm ³)				60,789

III- IMPACT DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN EN 1993:

L'année 1993 a été marquée sur le plan de la recharge de la nappe de Kairouan, par l'organisation d'une opération de recharge par l'épandage des eaux du barrage El Houareb, dans le lit de l'oued Merguellil. Cette expérimentation s'est déroulée du 19 Avril au 8 Mai 1993 (BOUZAIENE S., et al, 1993). Elle a eu pour objectifs de tester l'aptitude du lit de l'oued à absorber les débits lâchés et à identifier le scénario optimal pour optimiser l'infiltration de l'eau. L'observation de l'impact de cette recharge a été poursuivie jusqu'au mois d'Octobre 1993.

Au cours de l'année 1993, la nappe de Kairouan a bénéficié d'un volume d'eau global de 63,954 Mm³ qui a été injecté à raison de 46,305 Mm³ dans le lit de l'oued Zeroud et de 18,1 Mm³ dans celui de l'oued Merguellil. Le tableau suivant récapitule la répartition de ces volumes entre les lâchers, les déversements et les déversements enregistrés

Tableau n°4 : Recharge de la nappe de Kairouan en 1993

Barrage	Année	Lâchers	Déversement	Déversement	Total
Sidi Sâad	1993	21,358	12,125	12,292	46,305
El Houareb	1993	17,649	-	-	17,649
Total Général (Mm ³)					63,954

III-1- Recharge à partir du barrage El Houareb :

L'opération de recharge de la nappe de Kairouan à partir du barrage El Houareb entreprise en Avril et Mai 1993, a consisté à lâcher un volume de 5,295 Mm³ avec un débit variant de 1 à 15 m³/s. A ce débit devaient s'ajouter celui des émergences qui a varié au cours de cette année de 300 à 413 l/s. La baisse de ce débit enregistrée vers la fin de l'année, est expliquée par la baisse de la cote du plan d'eau dans la retenue du barrage. Le volume total injecté dans le lit de l'oued Merguellil est d'environ 18,1 Mm³. Le réseau de surveillance composé de 18 piézomètres et 2 puits de surface, a affiché par rapport à l'année 1992, des baisses du niveau piézométrique de la nappe allant jusqu'à 1,65 m au piézomètre X8. La remontée du niveau piézométrique a atteint 1 m au piézomètre M22. Cette remontée est liée à la propagation de l'onde de recharge.

III-2- Recharge à partir du barrage de Sidi Saâd :

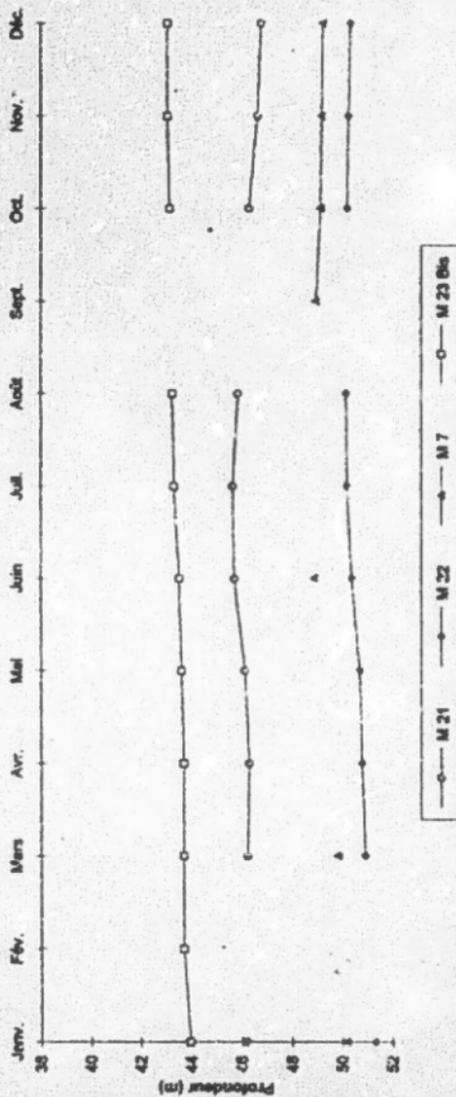
Au cours de l'année 1993, le débit jaugé au niveau des vannes de la conduite d'amener d'eau à partir du barrage de Sidi Saâd, a varié de 200 à 600 l/s. Le volume total injecté dans le lit de l'oued Zéroud est de 12,2 Mm³. Pendant cette année, on a enregistré sur le réseau de surveillance constitué de 15 piézomètres et de 25 puits de surface, des baisses du niveau du plan d'eau allant jusqu'à 1,66 m (piézomètre P1). Cette baisse semble être essentiellement due au déficit d'alimentation de la nappe à partir du lit de cet oued. En effet, l'injection qui y a été pratiquée n'a été que localisée à cause du faible débit qui s'écoule dans le lit, et elle n'arrive pas à compenser l'effet de l'exploitation plus forte et plus généralisée.

B. CHEDLY

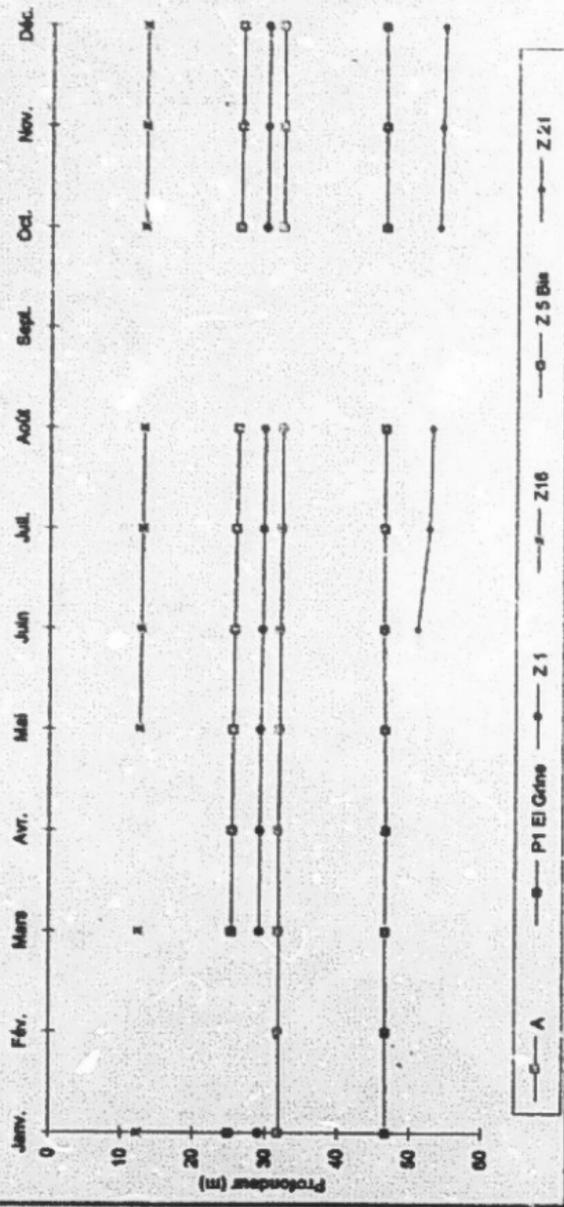
BIBLIOGRAPHIE

- BESBES M., (1969) : Plaine de Kairouan, Fluctuations du niveau piézométrique en relation avec l'infiltration des crues du Zéroud. Premiers résultats
DRE - Tunis, 1969.
- BESBES M., DELIOMME J.P. & DE MARSILY G., (1978) :
Estimating recharge from ephemeral streams in arid regions : a case study at Kairouan - Tunisia.
WRR, Vol 14, 1978, n° 2.
- BESBES M., ENNABLI M., DE MARSILY G. & SALEM A., (1976) : On the variability of ground water recharge under semi-arid conditions
Comm. 25^{ème} congrès - géolo. Mondial. Sect. 11. Sydney 1976.
- BESBES M., & DE MARSILY G., (1977) : Prévion de l'influence d'un barrage sur l'alimentation des nappes souterraines à l'aval.
Comm. Cong. AII, Birmingham, 1977.
- BOUZAIANE S., DJERIDI M. & AYACHI M., (1988) : Recharge de la nappe de Kairouan par les lâchers du barrage de Sidi Saâd.
DGRE - Tunis, MARS 1988, 17 p.
- OHILING J., (1969) : Résultats des essais d'infiltration dans le lit de l'oued Zéroud
DRE - Tunis, 1969.
- CHAIIB H., (1992) : Modélisation des lâchers des barrages de Sidi Saâd et d'el Houareb et leur impact sur les nappes de Kairouan.
Actes de la 10^{ème} journée des ressources en eau (Tunis, 29/04/92).
DGRE - Tunis, SEPT. 1992, pp. 5-18.
- CHAIIB H., et MAALEL F., (1992) : Situation de l'infiltration des crues de l'année hydrologique 1989-90 dans la plaine de Kairouan.
DGRE-Tunis, 1992.
- SAADAoui M., JERIDI M., & AYACHI M., (1989) : Recharge de la nappe de Kairouan par les lâchers du barrage de Sidi Saâd.
DGRE-Tunis, 1989.
- CHADLY B., (1990) : Etat provisoire de la piézométrie au niveau du barrage el Houareb.
DGRE-Tunis, Juin 1990, 15 p. Annexes.
- CHADLY B., (1992) : Note sur l'état d'évolution de la nappe de Kairouan / rés. la ferr. sure du barrage d'el Houareb.
DGRE-Tunis, Mai 1992, 24 p.
- BOUZAIENE S., CHAIIB H., El. MAALEL F., (1993) : Recharge de la nappe de Kairouan par les lâchers du barrage El Houareb sur l'oued Merguebil - Compagne du 19 Avril au 8 Mai 1993.
DGRE - Tunis, Sept. 1993, 30 p.

Impact de la recharge sur les niveaux piézométriques de la nappe de Kairouan : Oued Merguellil
(Année 1983)



Impact de la recharge sur les niveaux piézométriques de la nappe de Kairouan : Oued Zéroud
(Année 1993)



**ANNEXE N°1 : RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIBOUAN
SURVEILLANCE PIÉZOMETRIQUE
ANNEE : 1993**

Puits / Pézomètre	N° IHH	Côte du repère	Niveau statique (m)											
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
A	12377	0,30	51,94	31,87	31,84	31,82	31,93	32,01	32,18	32,20	-	32,13	32,17	32,10
E	12590	0,74	19,26	-	19,10	19,27	-	-	-	19,26	-	19,87	-	19,74
N	13264	0,79	42,27	-	42,41	42,48	42,58	42,68	42,80	42,99	-	43,11	43,26	43,42
PI El Grize	9685	0,86	46,66	46,57	46,56	46,52	46,41	46,26	46,24	46,29	-	46,25	46,21	46,10
M 21	13188	1,12	46,20	-	46,22	46,28	46,11	45,70	45,64	45,85	-	46,28	46,63	46,78
M 22	12318	0,37	51,33	-	50,91	50,78	50,69	50,36	50,18	50,13	-	50,19	50,26	50,35
M	13138	0,79	29,27	-	29,35	29,53	29,53	29,81	30,00	30,19	-	30,16	30,23	30,21
AB1	18317	0,70	18,20	-	18,21	-	-	18,48	18,50	18,52	-	18,65	18,60	18,54
X 8	18546	0,80	15,88	15,88	15,88	16,12	16,18	16,72	16,86	16,86	-	16,73	16,67	16,53
P Bis	18097	0,70	57,11	-	57,38	-	-	57,66	-	-	-	58,44	-	58,72
B Bis	18286	0,83	24,86	-	24,70	25,04	25,09	26,00	25,95	25,76	-	25,51	25,37	25,24
C Bis	18287	0,80	20,31	20,22	20,30	20,50	20,54	21,44	21,69	21,50	-	21,00	20,82	20,78
K	12836	0,67	34,61	-	35,15	-	-	36,34	-	-	-	37,04	-	36,14
PI Bir Zadden	6582	0,33	-	-	-	-	15,96	-	-	-	-	16,38	-	-
J	12737	0,40	-	-	-	-	6,90	-	-	-	-	7,00	-	-
M 7	12839	0,50	50,17	-	49,81	-	-	48,86	-	-	-	49,13	49,17	49,24
PZ L Ter	19046	0,70	21,36	-	21,32	-	-	21,46	-	-	48,93	49,10	-	21,83
PZ 56 (PI)	9064	0,35	32,56	-	31,75	-	-	32,25	-	-	-	35,10	-	34,42
Z1	13268	0,80	29,02	-	29,10	29,15	29,23	29,40	29,54	29,67	-	29,78	29,87	29,94
Z 16	13029	0,27	12,37	-	12,45	-	12,63	12,73	12,82	12,98	-	13,03	13,07	13,13
M 17	12693	0,70	23,41	23,62	-	-	23,92	24,30	24,30	24,75	-	24,75	24,40	24,56
Z 5 Bis	18290	0,34	24,90	-	25,23	25,24	25,45	25,63	25,78	26,00	-	26,11	26,23	26,37
Z 13 Bis	18289	0,05	14,99	-	15,10	-	-	15,34	-	-	-	15,66	-	15,74
M 23 Bis	18291	0,80	43,15	43,70	43,70	43,69	43,60	43,52	43,32	43,24	-	43,14	43,07	43,07
M 3 Bis	18292	0,80	41,82	-	41,62	41,58	41,40	41,27	41,32	41,36	-	41,40	41,40	41,43
M 10 Bis	18288	0,80	27,82	27,85	27,89	27,89	28,89	28,10	28,21	28,39	-	28,54	28,62	28,69
X 12	18534	0,90	-	18,57	18,78	19,10	18,90	19,19	19,39	19,59	-	19,75	19,57	19,38
M 1	12276	-	23,16	-	23,16	-	-	23,18	-	-	23,38	23,43	-	-
Z 3	12278	0,65	29,94	-	29,76	-	-	29,84	-	-	-	30,15	-	à sec
Z 11	12439	0,70	25,22	-	25,19	-	-	25,35	-	-	-	25,78	-	25,72
Z 6	13267	0,65	28,93	-	28,92	-	-	29,11	-	-	-	29,67	-	29,89
B. Kamessa	3482	0,55	26,85	-	26,88	-	-	à sec	-	-	-	28,81	-	à sec
M 18	12716	1,10	-	-	-	-	12,97	-	-	-	-	13,10	-	-
M 14	12484	1,20	-	-	-	-	19,60	-	-	-	-	19,96	-	-
M 9	12375	1,00	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec	à sec
Bir ABZ	12361	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,81	-	-
B. CHHD	12360	0,4	-	-	-	-	6,00	-	-	-	-	5,70	-	-
M 24	19178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52,24	52,46	52,79
Bir Bâik	3668	1,0	-	-	-	-	5,60	-	-	-	-	5,76	-	-
B. Soundnia	5741	1,0	-	-	-	-	12,10	-	-	-	-	12,30	-	-
Bir Hadj H.	12358	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,90	-	-
B. AB.Zine	4996	0,9	-	-	-	-	23,46	-	-	-	-	-	-	-
B. Ouled Nr.	3659	0,5	-	-	-	-	26,71	-	-	-	-	-	-	-
B. H Garoui	14579	0,9	16,24	-	16,35	-	-	16,84	-	-	-	26,84	-	-
-	12384	0	16,78	-	16,90	-	-	16,90	-	-	-	P	-	P
Bir B.B.M.	11831	0	18,67	-	18,75	-	-	19,06	-	-	-	à sec	-	à sec
Bir R. Zlassi	1576	0,8	22,08	-	22,11	-	-	P	-	-	-	P	-	P
Bir A.B.A.	2324	1,20	à sec	-	-	-	-	-	-	-	-	22,99	-	-
Bis El Khattab	3520	1,05	31,30	-	31,19	-	-	31,35	-	-	-	31,90	-	32,00
Bir El Brahms	7811	0,92	30,20	-	30,15	-	-	30,21	-	-	-	30,45	-	30,15

ANNEXE N°1 : RECHARGE DE LA NAPPE DE KAÏROUAN (SUITE)

SURVEILLANCE PIÉZOMETRIQUE
ANNÉE : 1993

Puits / Piézomètre	N° IRH	Côte du repère	Niveau statique (m)												
			Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
Bir Sidi Farhat	2035	0,90	30,73	-	30,69	-	-	30,74	-	-	-	-	30,98	-	31,08
Bir El Argoub	3508	0,72	38,60	-	38,56	-	-	38,65	-	-	-	-	38,92	-	38,98
Bir Combattant	3519	1,65	46,45	-	46,28	-	-	46,34	-	-	-	-	46,60	-	46,76
Bir El Fijj N°1	1435	0,30	49,96	-	49,83	-	-	49,65	-	-	-	-	49,67	-	49,80
Elr J.B. Cherifa	8705	0,60	55,24	-	55,11	-	-	54,96	-	-	-	-	54,88	-	54,96
Bir B.B. Guerra	12350	0,40	25,13	-	25,07	-	-	P	-	-	-	-	P	-	25,50
Bir Letaief	1491	0,80	26,63	-	26,51	-	-	26,71	-	-	-	-	P	-	27,14
Bir Sahalet	11073	0,70	22,34	-	-	-	-	22,44	-	-	-	-	P	-	22,78
Bir Kanek	3513	0,20	42,00	-	41,95	-	-	41,90	-	-	-	-	41,85	-	41,82
Bir S.Mansour	9201	0,40	39,49	-	39,43	-	-	39,41	-	-	-	-	39,41	-	39,27
Bir Hadj Sadok	14711	0,30	36,15	-	36,12	-	-	36,12	-	-	-	-	36,12	-	36,13
Bir M.El Ajimi	8764	1,05	12,42	-	12,50	-	-	P	-	-	-	-	12,90	-	12,97
Bir Djebelli	B 21	0,10	à sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	à sec	-	à sec
Elr Kilani	3489	0,75	20,42	-	20,44	-	-	20,94	-	-	-	-	à sec	-	à sec
Bir Hmidette	5302	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	à sec	-	à sec
Bir Dhoubher	3491	0,90	22,12	-	22,14	-	-	22,45	-	-	-	-	à sec	-	à sec
Bir El Haouzen	3492	0,85	25,48	-	25,63	-	-	25,89	-	-	-	-	à sec	-	à sec
Bir El Médaine	4471	0,65	37,86	-	38,00	-	-	38,35	-	-	-	-	38,91	-	39,15
Bir Hmidette	3600	0,80	53,27	-	53,66	-	-	53,69	-	-	-	-	54,80	-	55,30
-	8852	0,50	16,62	-	16,66	-	-	16,70	-	-	16,78	-	16,80	-	16,89
-	2021	0,90	19,74	-	19,75	-	-	19,87	-	-	20,00	-	P	-	20,09
Z 4	12371	à sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Z 21	19184	0,80	-	-	-	-	-	50,92	52,55	52,88	-	-	53,75	54,10	54,37
Houflla I	19103	-	-	-	71,86	-	-	71,59	-	71,35	-	-	71,24	71,32	71,32

ANNEXE N°2 :

1. RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN (O. ZEROUJ)

VOLUMES ET DEBITS INJECTES

ANNEE : 1993

Mois	Débit injecté (ls)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier		46,35 · 10 ⁰⁰	2,70
Février			
Mars			
Avril			
Mai			
Juin			
Juillet			
Août			
Septembre			
Octobre			
Novembre			
Décembre			

* Volume total injecté par les lâchers, les déversements et les dévassements effectués au barrage de Sidi Sâad en 1993.

2. RECHARGE DE LA NAPPE DE KAIROUAN (O. MERGUELLI)

VOLUMES ET DEBITS INJECTES

ANNEE : 1993

Mois	Débit injecté (l/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier	403	1 079 395	1,89
Février	400	1 071 360	-
Mars	413	1 106 179	2,04
Avril	364	4 292 488	1,84
Mai	386	3 682 862	1,93
Juin	365	977 616	2
Juillet	312	835 660	2,56
Août	312	835 660	2,33
Septembre	365	977 616	2,51
Octobre	363	985 651	2,52
Novembre	366	580 294	2,52
Décembre	308	824 447	2,28

RECHARGE DE LA NAPPE DE L'OUED SILIANA

(Gouvernement de Siliana)

1- INTRODUCTION :

La recharge de la nappe de l'underflow de l'oued Siliana est un des premiers cas proposés pour le renforcement de ses ressources en eau par la maîtrise des eaux de crues de cet oued. En effet, depuis 1970, des données hydrogéologiques complémentaires ont été collectées et analysées afin d'examiner les possibilités de recharge artificielle de cette nappe (ZEBIDI H., 1970). L'analyse de cette information a été poussée jusqu'au stade de la modélisation prévisionnelle dans le but de s'assurer des apports supplémentaires à la nappe et des sites propices à cette recharge (INESS, 1974).

Depuis, la nappe de l'underflow de l'oued Siliana a été soumise un régime d'exploitation intensive qui a nécessité des actions de sauvegarde suite à la baisse excessive de sa piezométrie résultant de l'effet conjugué d'une forte exploitation et d'une série d'années pluviométriquement déficitaires (OUESLATI M.N. & ROUISSI A., 1988). Ces actions n'ont pu être mises en application qu'en 1991.

2- ASPECTS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES :

La nappe de l'underflow de l'oued Siliana se situe dans une plaine d'effondrement qui s'est établie à travers le synclinal de Massouj et sa bordure anticlinale méridionale.

Les données des prospections réalisées entre 1963 et 1970 et des différents sondages exécutés dans cette plaine permettent d'y distinguer trois zones où l'épaisseur des alluvions quaternaires aquifères subit des variations notables suivant la position du substratum (INESS, 1974).

Le long du cours d'eau actuel de l'oued Siliana, les forages d'eau ont révélé la présence d'alternances grossières (sables, graviers et galets) reposant sur un substratum marneux. Dans la partie amont de ce cours d'eau les formations aquifères sont souvent grossières et la nappe y est libre. En allant vers l'aval, les formations détritiques admettent dans leur partie moyenne un niveau argileux qui met en charge la nappe et finit par se relier vers l'aval avec le substratum imperméable dont le toit s'approche de la surface du sol à l'occasion de la disparition des séries grossières.

L'alimentation de cette nappe se fait essentiellement à travers le lit de l'oued dans la zone où la série grossière est proche de la surface du sol et où la nappe est libre.

RECHARGE DE LA NAPPE DE L'OUED SILIANA

(Gouvernement de Siliana)

1- INTRODUCTION :

La recharge de la nappe de l'underflow de l'oued Siliana est un des premiers cas proposés pour le renforcement de ses ressources en eau par la maîtrise des eaux de crues de cet oued. En effet, depuis 1970, des données hydrogéologiques complémentaires ont été collectées et analysées afin d'examiner les possibilités de recharge artificielle de cette nappe (ZEBIDI H., 1970). L'analyse de cette information a été poussée jusqu'au stade de la modélisation prévisionnelle dans le but de s'assurer des apports supplémentaires à la nappe et des sites propices à cette recharge (INESS, 1974).

Depuis, la nappe de l'underflow de l'oued Siliana a été soumise un régime d'exploitation intensive qui a nécessité des actions de sauvegarde suite à la baisse excessive de sa piezométrie résultant de l'effet conjugué d'une forte exploitation et d'une série d'années pluviométriquement déficitaires (OUESLATI M.N. & ROUISSI A., 1988). Ces actions n'ont pu être mises en application qu'en 1991.

2- ASPECTS GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES :

La nappe de l'underflow de l'oued Siliana se situe dans une plaine d'effondrement qui s'est établie à travers le synclinal de Massouj et sa bordure anticlinale méridionale.

Les données des prospections réalisées entre 1963 et 1970 et des différents sondages exécutés dans cette plaine permettent d'y distinguer trois zones où l'épaisseur des alluvions quaternaires aquifères subit des variations notables suivant la position du substratum (INESS, 1974).

Le long du cours d'eau actuel de l'oued Siliana, les forages d'eau ont révélé la présence d'alternances grossières (sables, graviers et galets) reposant sur un substratum marneux. Dans la partie amont de ce cours d'eau les formations aquifères sont souvent grossières et la nappe y est libre. En allant vers l'aval, les formations détritiques admettent dans leur partie moyenne un niveau argileux qui met en charge la nappe et finit par se relier vers l'aval avec le substratum imperméable dont le toit s'approche de la surface du sol à l'occasion de la disparition des séries grossières.

L'alimentation de cette nappe se fait essentiellement à travers le lit de l'oued dans la zone où la série grossière est proche de la surface du sol et où la nappe est libre.

A travers son écoulement souterrain, la nappe de l'oued Siliana présente des variations notables dans sa piézométrie suivant l'alimentation qu'elle reçoit en périodes pluvieuses au point qu'elle alimente l'oued Ouzafa (cours d'amont de Siliana) et entretient ainsi un écoulement de surface pendant plusieurs mois de l'année. Le débit d'étiage moyen de cet oued est de l'ordre de 60 l/s. (BEN GSIM A., 1986). C'est l'eau provenant de cet écoulement qui sera mise à profit pour renforcer l'alimentation de la nappe dans la partie où elle est libre.

La technique envisagée pour cette recharge artificielle consiste à construire des diguettes en terre avec seuils déservoirs au milieu à travers le lit de l'oued, afin de limiter la vitesse d'écoulement et de favoriser l'infiltration. Une première approche de cette recharge de l'underflow de l'oued Siliana, consiste à freiner l'écoulement, par des diguettes en terre levées en travers de l'oued dans sa partie amont où la nappe est libre et le niveau piézométrique est profond. Des diguettes de 1 m de haut et 120 m de largeur, construites de cailloux, de terre et de branchages, barrent l'écoulement, et sont à l'origine de la création de petites retenues sur toute la largeur du lit ; ce qui a permis d'augmenter la surface d'infiltration des alluvions et de favoriser la recharge induite de la nappe.

Cette technique a été testée lors d'une première série d'expérimentations réalisées en 1972 et 1973. Ces expérimentations ont permis de conclure un débit spécifique d'infiltration qui est de :

- campagne 1972 : $q = 0,29 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jour}$

- campagne 1973 : $q = 0,34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jour}$

Le débit de recharge infiltré dans le sol est obtenu par jaugeage différentiel entre l'amont et l'aval. La première campagne de recharge de la nappe de l'underflow de l'oued Siliana remonte à 1972 (Mars à Août 1972) Elle a été réalisée avec 4 diguettes qui ont été détruites à deux reprises par les crues du printemps. Les débits infiltrés ont variés de 18 à 53 l/s ; cette variation sensible est due au colmatage du fond du lit par les dépôts silteux des crues. Le volume total infiltré à cette époque est estimé à 248 831 m^3 .

Au cours de la deuxième campagne qui a démarré après les crues du printemps (Mai à Août 1973), on a procédé au curage systématique des dépôts silteux à la fin de chaque crue, ce qui a permis l'amélioration des débits infiltrés qui sont ainsi passés à 60 l/s, soit un volume total de 321 408 m^3 . L'objectif de faire bénéficier la nappe d'un apport supplémentaire par recharge, de 1,2 Mm^3/an , n'a pu être atteint.

Suite à la baisse piézométrique observée entre 1985 et 1989, la zone non saturée s'est développée dans la zone propice à la recharge pour atteindre 25 à 35 m. La nappe de l'underflow de l'oued Siliana dont les ressources exploitables sont évaluées à 1,9.10⁶ m^3/an . Cette exploitation se fait à l'aide de 12 forages (DGRE, 1993).

Il en a été conclu que la technique des diguettes qui seraient détruites par les pluies n'est pas très efficace et les travaux ont été orientés vers la construction de seuils-déservoirs permanents.

3- TRAVAUX POUR LA RECHARGE ARTIFICIELLE DE LA NAPPE :

La dernière opération de recharge de la nappe de l'underflow de l'oued Siliana a démarré à partir du 15/10/91, date d'achèvement des travaux de construction du premier seuil en dur à travers le lit de l'oued Ouzafa, dans la zone favorable à cette recharge (DGRE, 1992).

La partie de la nappe intéressée par cette recharge s'étend sur 1600 m le long du lit de ce cours d'eau. C'est à travers cette zone que trois ouvrages sous forme de seuils déversoirs y ont été construits. Les dates d'exécution de ces ouvrages sont les suivantes :

- premier seuil : travaux du 24/5/91 au 15/10/91
- deuxième seuil : travaux du 16/1/92 au 29/7/92
- troisième seuil : travaux du 8/10/92 au 23/2/92

Parallèlement à ces travaux relatifs à la construction de ces seuils déversoirs, le réseau piézométrique a été renforcé par le débouchage de certains piézomètres comblés et la création de certains autres piézomètres. Actuellement le suivi de cette recharge est assuré par l'intermédiaire de 9 piézomètres et d'un forage.

4- EVALUATION DE LA RECHARGE DE L'UNDERFLOW O. SILLANA :

Le suivi de l'opération de recharge de l'underflow de O Siliana, est assuré par des jaugeages différentiels à l'amont du premier site et à l'aval de chacun des deux sites. Malheureusement, les différentes mesures effectuées jusqu'à nos jours, ne permettent pas d'avoir une évaluation précise du débit qui transite de l'amont à l'aval de chaque site et d'en déduire les volumes réellement injectés dans la nappe.

Cette évaluation ne porte que sur les deux années 1993-94 qui ont été caractérisées dans la région par un net déficit pluviométrique. Ceci a fait que cette recharge n'a intéressé que les eaux d'étiage.

Au cours de l'année 1993, les débits jauges en amont du premier seuil ont varié de 10 à 490 l/s. Le volume ayant rejoint la nappe a été estimé à $0,072 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Le niveau piézométrique de la nappe a subi une remontée de 2,4 m au piézomètre U2 et une baisse de 1,18 m au piézomètre Saniet Chraïet.

Les fluctuations du niveau piézométrique n'ont été surveillées qu'à l'aide de 5 piézomètres (U2 N°IRH 5338/3, P3 N°IRH 5356/3, Saniet Chraïet, O Romana et Znagna), le sixième piézomètre qui est implanté dans la partie aval de l'underflow, sera achevé en 1994. Les remontées dues à la recharge durant la période Août 1992 - Avril 1993, sont de 4,77 m au piézomètre U2, de 1,67 m au piézomètre Saniet Chraïet et de 17,86 m au piézomètre Rouana.

Depuis le début de cette opération de recharge en Octobre 1991, le piézomètre U2 situé plus en amont, a accusé une remontée maximale de 8,34 m. Au mois de Septembre 1993, une légère baisse du niveau piézométrique y a été observée, elle est due au déficit pluviométrique enregistré ces derniers temps et à l'exploitation intensive du système aquifère.

Il en résulte que les aménagements confectionnés à travers le lit de l'oued Guzafa ont contribué au cours de l'année 1993 à apporter une recharge supplémentaire à la nappe qui est de l'ordre de 72 000 m³.

Comparé aux ressources renouvelables annuellement au niveau de cette nappe (1,9 10⁶ m³), cet apport par la recharge artificielle est encore faible (3,7 %) et demande à être renforcé lors des périodes pluvieuses par le curage périodique de l'aire localisée derrière les seuils de dérivation.

M.N. OUESLATI

BIBLIOGRAPHIE

H. ZEBIDI (1970) : Underflow de l'oued Siliana : données hydrogéologiques complémentaires, possibilités de recharge artificielle.
DRE, Tunis, 1970.

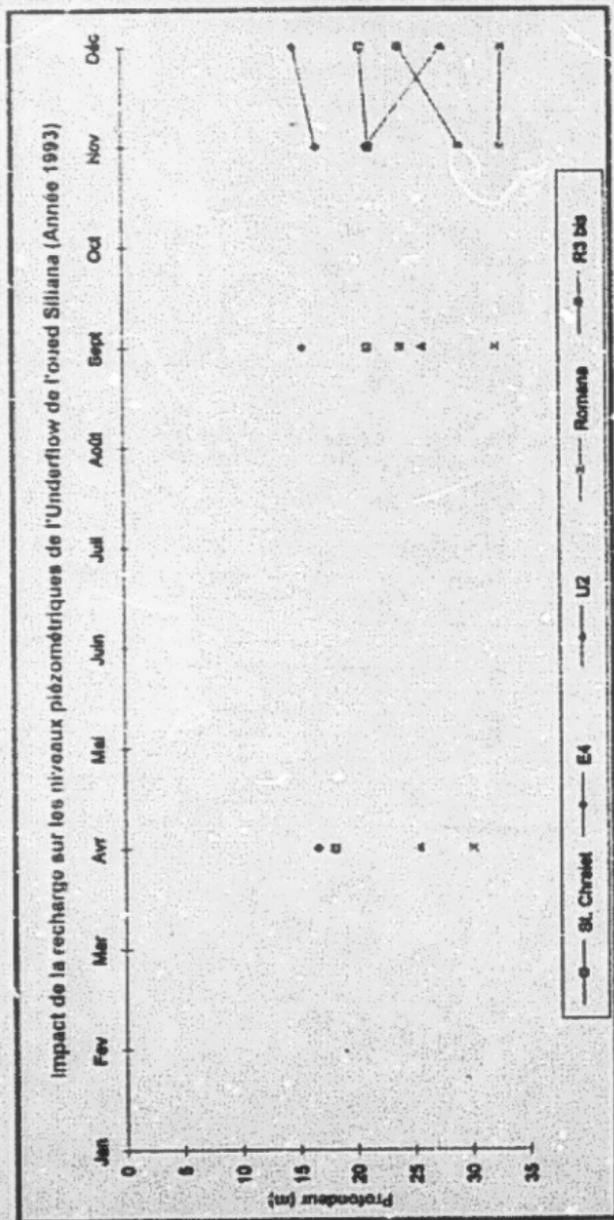
INESS (1974) : Underflow de l'oued Siliana - Etude hydrogéologique et modèle d'essai d'alimentation artificielle
DRE-Tunis, 1974, 61 p.

OUESLATI M.N. & ROUSSI A., (1988) : Actions à entreprendre pour la sauvegarde de la nappe de l'underflow de l'oued Siliana
DRE - Tunis, 1988, 9p

BEN GSIM A., (1988) : Ressources en eau du gouvernorat de Siliana,
DGRE-Tunis, Septembre 1988, 35 p Annexes

DGRE (1993) : Annuaire piézométrique de Tunisie 1993
DGRE-Tunis, 1993, 405 p. pp 109-123

DGRE (1992) : Annuaire piézométrique de Tunisie 1992
DGRE-Tunis, 1992, 382 p. pp 109-115



ANNEXE N° 1 : SURVEILLANCE PIEZOMETRIQUE DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE L'UNDERFLOW DE O. SILIANA

(ANNEE 1993)

Puits/	N°	Côte du	Niveau statique (m)												
			repère	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Piezomètre	DREI														
PZ 4343b/3	5331/3						20,23					20,22		21,83	22,50
PZ 4450b/3	4450/3						19,75					19,48		19,86	19,86
PZ UZ	5338/3						25,34					25,86		21,14	27,68
PZ P3bis	5356/3						-					20,57		21,02	20,88
PZ R3bis	5411/3						-					24,02		29,25	24,05
PZ n.4	5412/3						-					9,793		9,32	9,11
Saint Christel	5470/3						8,87					15,51		16,75	14,90
O. Romana	6763/3						18,13					21,12		21,33	20,62
Zaouma	6767/3						20,14					32,25		32,90	32,93
	6790/3						-					-		38,72	38,48

**ANNEXE N° 2 : VOLUMES ET DEBITS INJECTES
LORS DE LA RECHARGE DE LA NAPPE DE L'UNDERFLOW DE O. SILIANA**

(ANNEE 1993)

	Débits injecté (L/s)	Volume injecté (m ³)	Salinité (g/l)
Janvier			
Février			
Mars			
Avril			
Mai			
Juin			
Juillet			
Août		25,920	1,0
Septembre			
Octobre			
Novembre		2500	0,9
Décembre			

FIN

71

VUES