



MICROFICHE N°

08782

République Tunisienne

MINISTRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الفلاحي
تونس

F 1

ONDA 9282

**DIRECTION GENERALE
DES RESSOURCES EN EAU**

**IMPACT DE LA PROSPECTION ET DE L'EXPLOITATION
DES EAUX SUR L'ENVIRONNEMENT**

MARS 1992

A. MAMOU

REPUBLICQUE TUNISIENNE
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION GENERALE
DES RESSOURCES EN EAU

IMPACT DE LA PROSPECTION ET DE L'EXPLOITATION
DES EAUX SUR L'ENVIRONNEMENT

MARS 1992

A. MAMOU

SOMMAIRE

INTRODUCTION : Importance de l'eau dans la vie de l'homme

1- L'eau dans la nature

1-1 Etats et dynamique de l'eau

1-1-1 Apports

1-1-2 Ecoulement

1-1-3 Réserves

1-2 Usages de l'eau

2- Cycle de l'eau et bilan d'eau

2-1 Cycle de l'eau à l'échelle du globe

2-2 Cycle de l'eau à l'échelle d'un bassin versant

2-3 Cycle de l'eau à l'échelle d'une nappe

3- Mobilisation de l'eau

3-1 Mobilisation des eaux de surface

3-1-1 La ressource potentielle

3-1-2 La ressource mobilisable

3-1-3 La ressource régularisable

3-2 Mobilisation des eaux souterraines

CHAPITRE I : EVALUATION ET GESTION DES EAUX DE SURFACE

1- Notions élémentaires

1-1 L'hydrologie

1-2 Précipitations

1-3 Ruissellement

2- Impact de la maîtrise des eaux de surface

2-1 Réserves et stock en eau de surface

2-2 Protection des infrastructures économiques et des agglomérations

3- Etude de cas de maîtrise des eaux de surface et son impact sur le milieu

3-1 Cas du barrage d'Aswan

3-1-1 Caractéristiques

3-1-2 Impact

3-2 Cas de la mer d'Aral

3-2-1 Situation naturelle

3-2-2 Situation économique et sociale

3-3 Cas de la mer morte

SOMMAIRE

INTRODUCTION : Importance de l'eau dans la vie de l'homme

1- L'eau dans la nature

1-1 Etats et dynamique de l'eau

1-1-1 Apports

1-1-2 Ecoulement

1-1-3 Réserves

1-2 Usages de l'eau

2- Cycle de l'eau et bilan d'eau

2-1 Cycle de l'eau à l'échelle du globe

2-2 Cycle de l'eau à l'échelle d'un bassin versant

2-3 Cycle de l'eau à l'échelle d'une nappe

3- Mobilisation de l'eau

3-1 Mobilisation des eaux de surface

3-1-1 La ressource potentielle

3-1-2 La ressource mobilisable

3-1-3 La ressource régularisable

3-2 Mobilisation des eaux souterraines

CHAPITRE I : EVALUATION ET GESTION DES EAUX DE SURFACE

1- Notions élémentaires

1-1 L'hydrologie

1-2 Précipitations

1-3 Ruissellement

2- Impact de la maîtrise des eaux de surface

2-1 Réserves et stock en eau de surface

2-2 Protection des infrastructures économiques et des agglomérations

3- Etude de cas de maîtrise des eaux de surface et son impact sur le milieu

3-1 Cas du barrage d'Aswan

3-1-1 Caractéristiques

3-1-2 Impact

3-2 Cas de la mer d'Aral

3-2-1 Situation naturelle

3-2-2 Situation économique et sociale

3-3 Cas de la mer morte

- 3-3-1 Situation actuelle
- 3-3-2 Conséquences des aménagements
- 3-3-3 Projets en vue

- 3-4 Cas de la mer saharienne
- 3-5 Cas du barrage de Sidi Saad

- 3-5-1 Caractéristiques de l'ouvrage
- 3-5-2 Fonctionnement

- 3-6 Cas des travaux de C.E.S. dans le Sud tunisien

- 3-6-1 Rôle des aménagements en C.E.S.
- 3-6-2 Situation actuelle

CHAPITRE II : EVALUATION ET MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES

- 1- Notions élémentaires en hydrogéologie

- 1-1 Nappe ou système aquifère
- 1-2 Ecoulement souterrain
- 1-3 Emmagasinement
- 1-4 Réserves/Ressources/Renouvellement
- 1-5 Gestion des eaux souterraines

- 2- Impact de la mobilisation des eaux souterraines

- 2-1 Ouvrages et techniques de mobilisation
- 2-2 Impact des ouvrages de mobilisation des eaux souterraines sur leurs caractéristiques

- 2-2-1 A la réalisation

- 2-2-2 Au cours de l'exploitation

- 2-3 Impact de la mobilisation des eaux souterraines sur leur gestion

- 3- Etude de cas de l'impact de mobilisation des eaux souterraines sur le milieu

- 3-1 Cas des nappes phréatiques en Tunisie

- 3-2 Cas de surexploitation en Arizona (U.S.A.)

- 3-3 Cas de la péninsule de Qatar

- 3-4 Cas de la nappe du Complexe terminal dans le Sud tunisien

- 3-5 Cas de la rivière artificielle (Libye)

INTRODUCTION : IMPORTANCE DE L'EAU DANS LA VIE DE L'HOMME

1- L'EAU DANS LA NATURE :

1-1 Etats et dynamique de l'eau :

L'eau existe dans la nature sous ses trois formes : solide, liquide et gazeuse. Définie par l'élément eau, l'hydrosphère est largement intersectante avec l'atmosphère et la biosphère, même si l'espace où cet élément prédomine les océans contient l'écrasante majorité de l'eau de la planète (95 à 97 % environ, 135.10^{16} m^3).

Une quantité minime en proportion ($4 \text{ à } 5.10^6 \text{ m}^3$) circule entraînée dans le flux général des eaux atmosphériques et continentales (en surface et dans le sous-sol).

Le cycle de l'eau mu par l'énergie solaire est régulé par l'énorme réservoir océanique. Ces eaux douces principalement et ce flux, globalement estimé à $1,1 \text{ à } 1,2.10^4 \text{ m}^3/\text{an}$, ont cependant une importance primordiale pour la vie terrestre pour l'écosystème global aussi bien que pour l'évolution de la lithosphère. Leur connaissance est l'objet principal de l'hydrologie, qui considère plus particulièrement les phases du cycle de l'eau à l'état liquide et les passages dans les deux sens entre cet état et d'autres, concernant les continents.

Tout domaine terrestre défini par des limites physiques naturelles est le champ spatial d'une partie du cycle général de l'eau dans l'hydrosphère. Un tel champ défini dans l'espace et dans le temps, constitue un "système d'eau" naturel caractérisé par :

- une structure qui détermine ses capacités à contenir et à conduire l'eau,
- des quantités d'eau présentes (stock) plus ou moins en mouvement (flux) et par des potentiels d'énergie,
- des échanges d'eau avec des systèmes connexes : flux entrant (apports), flux sortant (écoulement) et par un équilibre dynamique entre ces flux et les variations du stock internes, dont le bilan global traduit la loi de conservation de la matière,
- des interactions internes et des échanges d'énergie eau/milieu physique (minéral ou vivant), déterminant notamment les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau,
- une sensibilité à diverses impulsions extérieures (naturelles ou éventuellement artificielles-actions humaines-) et une aptitude à réagir ou répondre à ces impulsions par des variations d'état interne et/ou par des réactions sur les systèmes connexes, c'est à dire son comportement.

L'eau dans son milieu naturel est décrite plus particulièrement d'un point de vue quantitatif qui permet d'y différencier : apports écoulement, composition, réserves, bilan et relation apports/écoulements et fonctions.

1-1-1 Apports :

Les apports d'eau naturels d'un système peuvent avoir deux origines :

- les précipitations, sources des apports dits "internes"
- les importations d'eau naturelles éventuelles qui forment des apports "externes".

* **Apports d'eau internes** : ils correspondent :

- soit, en tant "**qu'apports bruts**", aux précipitations totales, sous diverses formes (liquides, solides), sur le territoire considéré,
- soit, en tant "**qu'apports nets**", aux précipitations dites **efficaces** (ou utiles), c'est à dire soustraites initialement à l'action de l'évapotranspiration.

Les précipitations efficaces ont la signification de potentiels d'écoulement (immédiat ou différé) locaux, qui comprennent à la fois :

- les apports d'eau de ruissellement (flux superficiel),
- les apports d'eau par infiltration (flux souterrain).

L'évaluation de leur flux moyen résulte de l'intégration dans l'espace ces différences -évaluées sur des périodes assez longues- entre les précipitations totales (**P**) et les évapotranspirations réelles (**ET_r**) annuelles moyennes locales :

$$P \text{ efficace} = P - ET_r$$

* **Apports d'eau naturelles d'origine externe** : ils correspondent aux importations d'eau (**Q_{im}**), ou affluences par des cours d'eau de surface (**Q_{imr}**) et/ou par des nappes souterraines (**Q_{ims}**) entrant dans le système.

1-1-2 Ecoulement :

C'est le flux sortant ou **effluence** d'un domaine délimité (bassin versant, réservoir aquifère, etc...).

L'écoulement total est la somme (**Q**) des flux d'eau naturels superficiels (**Q_R**) ou souterrains (**Q_S**) sortant du territoire.

$$Q = Q_R + Q_S$$

L'écoulement total peut être subdivisé selon son origine, sa destination et ses modalités d'évolution.

- Selon son origine : en:
 - **Écoulement interne** : résulte des apports des précipitations efficaces sur le domaine : $E_i = Q - Q_{im}$
 - **Écoulement réexporté** : correspond aux importations (**Q_{im}**) entrant dans le territoire.

1-1-3 Réserves :

Les réserves sont les stocks d'eau naturels présents dans le territoire à une date donnée ou en moyenne en se référant à une période définie-soit en surface soit dans le sol.

La relation entre la réserve moyenne d'un système donné et le flux moyen qui le traverse est le **renouvellement** de la réserve.

1-2 Usages de l'eau :

La notion d'utilisation de l'eau est ambivalente, car elle conjugue deux concepts qui se rapportent respectivement :

- à la sphère économique : utiliser l'eau, c'est le fait de la rendre "utile", de l'employer pour obtenir des résultats désirés ("satisfaire des besoins"). Dans la sphère économique, l'utilisation (d'un bien ou d'un service) est déterminée par l'objectif de production et/ou de consommation de l'unité de gestion qui en décide et qui apprécie ses résultats.

- au milieu naturel : utiliser l'eau, comme tout autre élément de ce milieu, est transformer la structure et les caractéristiques d'état de l'eau considérée dans le milieu naturel. L'utilisation de l'eau en tant que milieu, se définit par les actions qui tendent à en modifier le cycle et les caractéristiques. Elle s'évalue essentiellement en tant que résultats de ces actions sur le milieu (impact).

L'utilisation de l'eau du milieu naturel conjugue son exploitation en tant que ressources et sa maîtrise en tant qu'éléments hostile en contraignant, par des actions visant souvent à la fois ces deux finalités.

Dans la chaîne d'actions par lesquelles passer l'eau : prélèvement-usage-restitution, l'analyse considèrera :

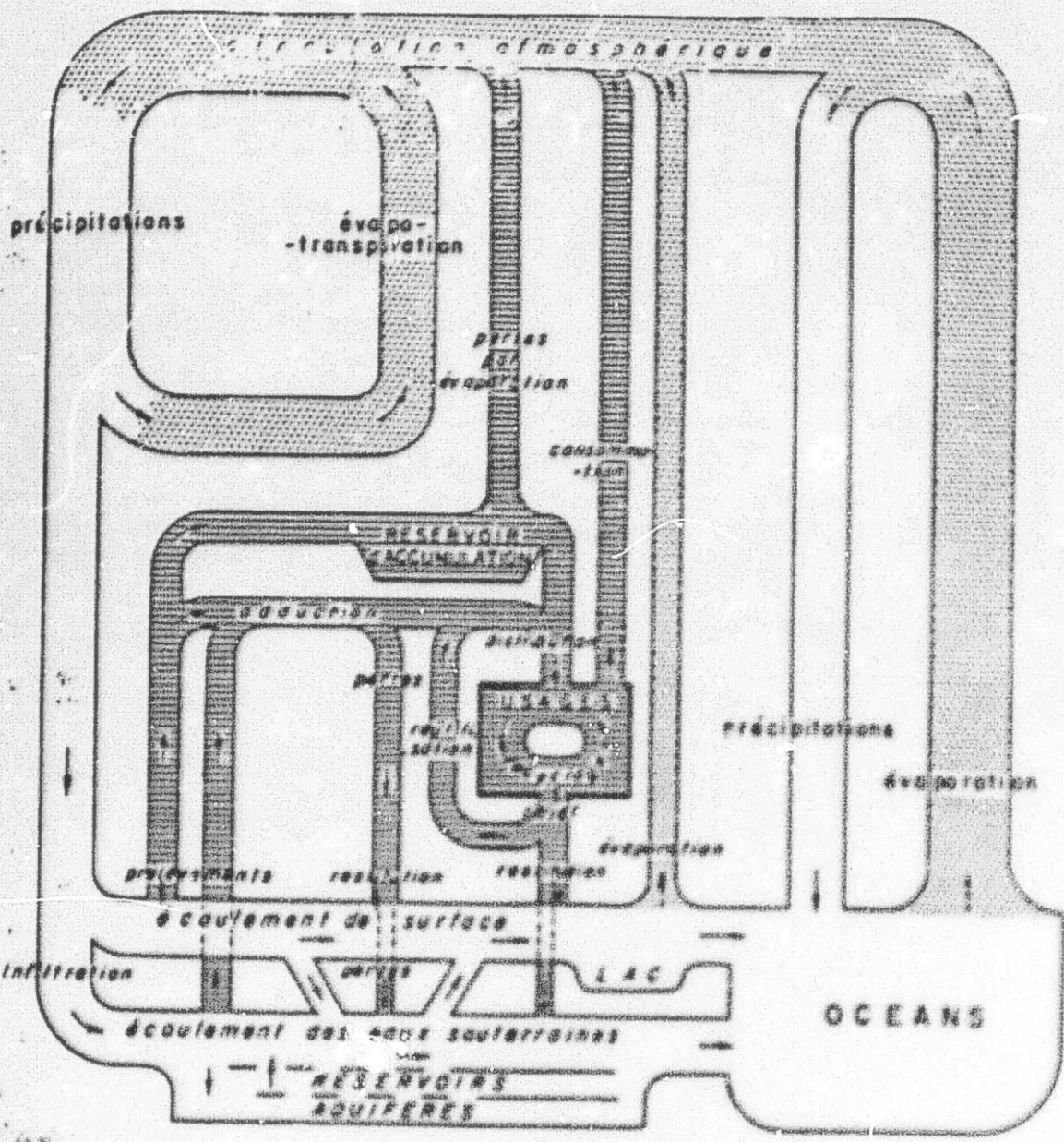
- l'usage : en se référant directement aux objectifs de l'utilisateur,
- alors que les actions de prélèvement et de restitution seront considérées principalement du point de vue de leurs effets sur le milieu.

Les usages de l'eau sont classés en fonction de deux systèmes de référence :
Fonction de l'eau et milieu de son utilisation.

Tableau n° 1 : Classification des usages de l'eau

Actes d'utilisation	Actes d'utilisation								
	Prélèvement	Abandon	Reprise						
Producteur	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Producteur-transporteur	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Distributeur	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Usager-exploitant (réseau d'assainissement public)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Usager-exploitant (réseau d'assainissement privé)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Usager-exploitant-producteur de surplus	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Exploitant non usager à deux produits	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Usager non exploitant (réseau de distribution et à un réseau d'assainissement)			(+)	(+)	*	*	*	*	*
Usager non exploitant (réseau d'assainissement collectif)			(+)	(+)	*	*	*	*	*
Collecteur-exploitant (réseau d'assainissement)					*	*	*	*	*

(*) : usager-exploitant ; (+) : usager non exploitant



 flux de vapeur
 flux artificielle (système d'assainissement)

- Cycles de l'eau

L'application d'une fonction par l'usage, modifie les caractéristiques de l'eau, en dégradant nécessairement, ou détruisant- en tout ou partiellement l'aptitude correspondante. L'usage diminue ou annihile-use- ainsi les concepts d'emploi-acte utilitaire et d'usure.

2- CYCLE DE L'EAU ET BILAN D'EAU :

Le cycle de l'eau est la somme des processus et transformations à travers les changements et les utilisations par lesquelles passent la molécule de l'eau avant de revenir à son état de départ.

Le bilan d'eau est l'équation exprimant l'égalité des apports d'eau (internes+importés) et des sorties d'eau (écoulement total naturel sortant en surface et souterrain) rapportés au même domaine spatial et à la même période en référence, compte tenu de l'éventuelle différence de réserve. C'est un bilan de volumes rapportés à cette période et exprimables en flux moyens.

Le bilan d'eau peut comporter à la fois les précipitations totales (P) et les importations (Q_{im}) en entrée et l'évapotranspiration réelle (ET_r) et l'écoulement (Q):

$$P + Q_{im} = Q + ET_r = \Delta S$$

ΔS : différence de réserves est généralement négligeable dès que la période de référence est assez longue (= 10 années).

Les divers éléments composant un bilan d'eau s'expriment en unités homogènes :

- soit en flux moyen annuel (10⁶ ou 10⁹ m³/an),
- soit en flux rapporté à l'unité de surface du territoire, équivalent à une hauteur d'eau moyenne (mm/an), expression facilitant des comparaisons entre des territoires différents,
- soit en pourcentage de chaque terme.

2-1 Cycle de l'eau à l'échelle du globe :

$$P = R + E$$

- Sur les continents (en 10¹² m³/an)

$$P = 119, R = 47 \text{ et } E = 72$$

- Sur les océans (en 10¹² m³/an)

$$P = 577, R = 47, E = 530$$

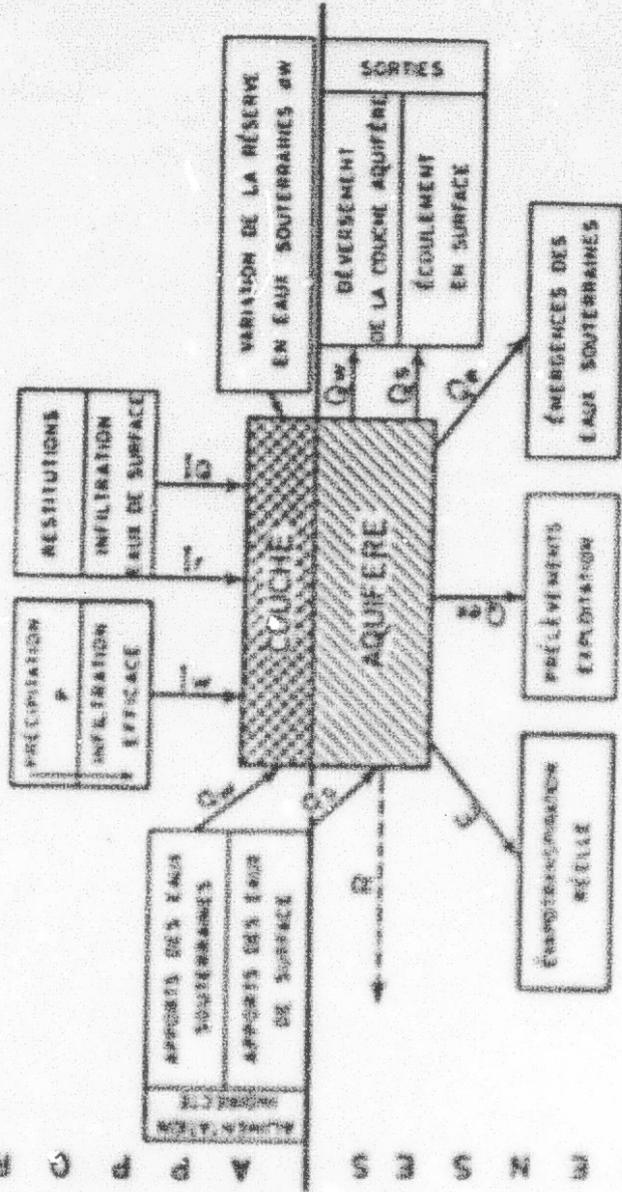
2-2 Cycle de l'eau à l'échelle d'un bassin versant :

$$P = R + I + E$$

L'infiltration (I) compense les pertes des eaux souterraines. Une fraction de l'infiltration (SI) est destinée au renouvellement de la quantité d'eau contenue dans le sol et le sous-sol qui subit des variations en fonction de divers facteurs dont le plus important est l'évapotranspiration. L'écoulement hypodermique (I_w) est associé aussi à l'eau infiltrée dans le sol. Une partie de cet écoulement de sub-surface est de nature à réapparaître en surface sous forme d'écoulement de surface dans les

S
T
R
I
C
T
I
O
N
S
A
P
P
O
R
T
S
D
E
P
E
N
S
E
S

A P P O R T S



$$I + I' + R + Q_w + Q_s = E + R + Q_e + Q_a + Q_w \pm \Delta W$$

Schéma des éléments principaux du bilan de la couche aquifère.

zones en aval.

2-3 Cycle de l'eau à l'échelle d'une nappe :

$$I_w + I_Q + I_r + q_w + q_s = E + R + Q_{ex} + Q_e + Q_s + Q_w = d_w$$

où I_w : infiltration efficace

I_Q : infiltration des eaux de surface

I_r : Restitution à l'aquifère (irrigation, industrie, eau domestique)

q_w : Apports des eaux souterraines adjacentes ou profondes

q_s : Apports des eaux de surface des bassins voisins

E : Evapotranspiration réelle

R : ruissellement

Q_{ex} : Emergence des eaux souterraines (sources)

Q_s : Ecoulement en surface vers les bassins voisins

Q_w : Déversement dans les couches aquifères adjacentes ou profondes

d_w : Variation des réserves

3- MOBILISATION DE L'EAU :

La notion de ressource en eau procède de la relation conceptuelle entre la définition des besoins et l'existence ou l'occurrence dans le milieu naturel d'écoulements et de réserves d'eau plus ou moins facile à exploiter et plus ou moins capable de supporter les effets des utilisations pour satisfaire les demandes.

L'évaluation de la ressource en eau doit se référer à un système de ressource concernant à la confrontation entre offre et demande au sens d'exploitation de mobilisation.

La mobilisation des ressources en eau ne se conçoit que sur la base d'une certaine estimation des ressources potentiellement exploitables et d'une demande en eau bien définie permettant d'évaluer les caractéristiques de l'eau à partir de ce système.

Une ressource potentielle est une ressource qui existe ; elle a été mise en évidence par les études et les inventaires. L'évaluation d'une ressource peut être totalement indépendante de son aptitude à être utilisée mais sa mobilisation est toujours identifiée sur la base de son usage.

3-1 Mobilisation des eaux de surface :

3-1-1 La ressource potentielle :

- En eau de surface : est définie pour un bassin hydrographique comme l'apport moyen en eau (ou module) du cours d'eau principal de ce bassin.
- En eau souterraine : est le potentiel en eau mobilisé.

Pour certaines régions dont l'interaction entre eaux de surface et eaux souterraines est bien établie (oued/nappe : nappe s'alimentant par les crues d'un oued), une partie du potentiel en eaux de surface se retrouve improductivement dans le potentiel exploitable de la nappe ; l'évaluation des ressources totales de tel système géographique doit donc tenir compte de cette interaction.

3-1-2 La ressource mobilisable :

Pour les eaux de surface des considérations d'ordre technologique et économique font qu'il n'est point possible d'envisager la mobilisation de l'ensemble des ressources potentielles et ce pour deux raisons.

- l'évaluation des ressources potentiellement exploitables en eau de surface est faite sur la base d'un flux moyen souvent caractérisé par des écarts sensibles aux valeurs extrêmes.

C'est le cas plus particulièrement dans les zones arides et semi-arides.

- la mobilisation de la dernière tranche en ressources potentiellement mobilisables ne peut se faire qu'avec un coût relativement de loin plus élevé et parfois avec des performances technologiques de mobilisation fort élevées.

En ne décomptant dans les ressources en eau de surface mobilisable que la part des ressources potentielles dont la mobilisation est techniquement et économiquement envisageable, celle-ci peut être assurée de différentes pratiques dont les grands barrages, les barrages collinaires, la dérivation et l'épandage, ainsi que le pompage au fil de l'eau.

3-1-3 La ressource régularisable :

C'est la part des ressources mobilisables dont l'utilisation peut être garantie quelque soient les circonstances. L'évaluation des ressources régularisables dépend, pour les eaux de surface, essentiellement des facteurs suivants :

- la variabilité du régime d'écoulement,
- les aléas climatique de la région
- le mode de gestion de la ressource (capacité de stockage et pourcentage de mobilisation).

L'ensemble de ces facteurs font que le volume régularisé est impérativement inférieur au volume mobilisé. A l'exception des volumes évaporés ou infiltrés dans les retenues, l'excédent des ressources mobilisables par rapport à celles qui sont régularisables, se retrouvera dans le lit du cours d'eau en aval et peut être remobilisé de nouveau (stockage, épandage, infiltration, pompage, etc...).

3-2 Mobilisation des eaux souterraines :

Alors qu'un cours d'eau n'est qu'un conducteur, un aquifère est à la fois un conducteur et un réservoir. Dès sa genèse, la notion de ressource ne se réduit pas à la seule dimension d'un flux mais englobe aussi l'effort de mobilisation (coût) et conditions d'exploitations (qualité, quantité et usage).

La connaissance de la ressource devient ainsi et plus particulièrement pour l'eau souterraine, une condition. Elle ne peut s'acquérir d'une manière exhaustive pour un aquifère que s'il est déjà plus ou moins transformé par l'exploitation.

Dans sa dimension quantitative, la ressources en eau souterraine est implicitement une ressource renouvelable mais la notion de réservoir associé aux aquifères fait que tenant compte de la dimension des ouvrages d'exploitation et de sa durée, la mobilisation des eaux d'un aquifère est une variation dans le temps du rapport flux/stock.

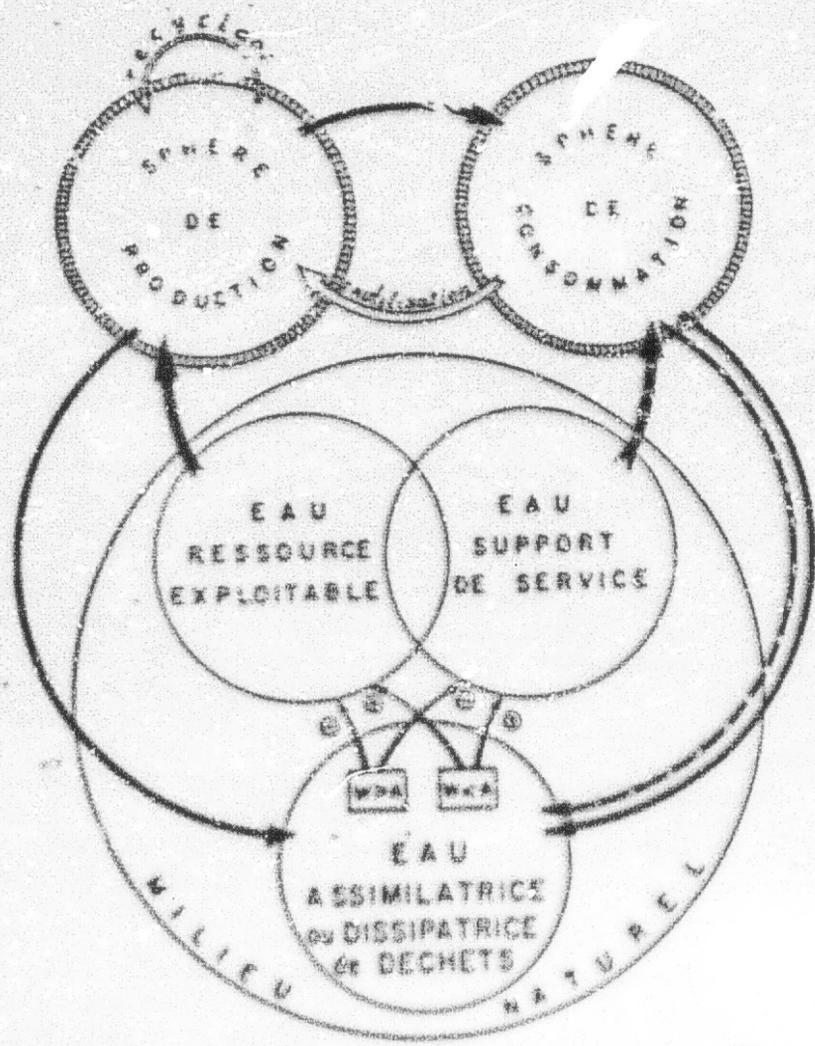
La mobilisation des eaux souterraines est en réalité une préparation à la mise en exploitation qui table sur la maîtrise de ce rapport flux/stock. Pour les eaux souterraines, l'ensemble des ressources potentielles évaluées sont mobilisables mais l'exploitation ne peut en aucun cas, dépasser la mobilisation ; elle peut par contre être de même ordre de grandeur. Dans ce cas les notions de mobilisation, régularisation et exploitation sont confondues. La maîtrise du rapport flux/stock d'un aquifère est alors une gestion des ressources qui se fait en fonction des parts du renouvelable et du non-renouvelable dans le système et en fonction des changements irréversibles au niveau des caractéristiques hydrogéologiques.

La ressource non renouvelable correspond en théorie à la réserve d'un aquifère mais en pratique à sa partie déstockable. La réserve d'un aquifère peut à elle seule, offrir une ressource en eau non renouvelable mobilisable par déstockage, donc nécessairement limitée à terme.

La ressource renouvelable quant à elle, est tributaire des échanges s'établissant entre l'eau de surface et la nappe à travers le pouvoir régulateur de la zone non saturée.

En tant qu'offre la ressource en eau non renouvelable, se définit comme un stock potentiel, prélevable une seule fois pendant la durée considérée.

La ressource renouvelable est une notion commune aux eaux souterraines et aux eaux de surface et correspond au flux naturel en eau dont la phase souterraine est comptabilisée soit au niveau des apports (infiltration) ou des sorties (écoulement souterrain). En toute rigueur, pour ce genre de ressources, la distinction entre les parties de surface et souterraines a peu d'intérêt si on ne prend pas en considération l'ensemble du flux de la ressource en eau matérialisant la dynamique du système.



)))
 ↑
 ↑
 ↑
 .
 .

Sphères artificielles
 Sphère naturelle
 Flux des biens (eau + facteur de production)
 Flux des services (eau + support)
 Recyclage, réutilisation
 Quantité rejetée (déchets)
 Capacité d'assimilation ou d'autodépuration

Cycle économique de l'eau

CHAPITRE I : EVALUATION ET GESTION DES EAUX DE SURFACE

1- NOTIONS ELEMENTAIRES :

1-1 L'Hydrologie :

L'hydrologie de surface s'intéresse aux écoulements dans le réseau hydrographique et aux phénomènes qui sont à son origine comme les précipitations (pluies, neige, gelée, etc...). Elle met en jeu plusieurs études dont principalement :

- l'évaluation des ressources disponibles en eau de surface soit en régime naturel, soit après aménagement (barrages, lacs, collinaires, etc...), et le calcul du volume mobilisé ou régularisé nécessaire pour répondre à un usage déjà défini.
- la prévision des risques de crues et des ouvrages nécessaires pour la protection de l'environnement (réseau de drainage, digues de protection des agglomérations, barrages écrêteurs, etc...).

Bien souvent, un ouvrage (barrage) doit répondre à plusieurs objectifs simultanés et parfois contradictoires : une retenue devant assurer la régularisation des crues doit être vidée le plus vite possible, ce qui est l'objectif opposé d'une retenue devant augmenter un débit d'étiage. D'où des problèmes difficiles liés à la gestion des ouvrages hydrauliques à buts multiples.

Deux méthodes sont souvent utilisées en hydrologie :

- la **méthode stochastique** : les précipitations et les débits d'écoulement de surface, à cause de la variabilité des pluies, sont étudiés comme des variables aléatoires.
- la **méthode déterministe** : les processus de ruissellement et d'infiltration sont étudiés sous l'angle physique déterministe (équations de mouvement) à partir d'une impulsion supposée connue : la pluie, sur laquelle est concentrée toute la variabilité.

Le bassin versant hydrographique est représenté dans ce cas comme une boîte noire que l'on étudie suivant la théorie des systèmes :



1-2 Précipitations :

Les précipitations regroupent toutes les eaux météoriques recueillies par un bassin versant. La hauteur de précipitation est la hauteur de la lame d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient immobilisées. Elle est assimilée au volume total d'eau tombée (en m³) divisé par la section pluviométrique (en m²). Les données pluviométriques permettent de tracer des lignes d'égale hauteur de précipitation ou **isohyètes**. Les mesures pluviométriques sont représentées graphiquement en courbes des hauteurs de précipitations classées en fonction du temps. Cette classification permet de dégager certaines définitions qui sont à la base des analyses pluviométriques.

- Précipitations annuelle moyenne ou module pluviométrique annuel :

C'est la moyenne arithmétique des hauteurs de précipitations annuelles (exprimées en mm) sur une série d'années aussi grande que possible. C'est donc aussi la moyenne des précipitations mensuelles moyennes.

- Précipitation mensuelle moyenne : C'est la moyenne des hauteurs de précipitation du mois considérées sur un grand nombre d'années.

- Indice pluviométrique : C'est le quotient de la hauteur de précipitations annuelles par le module pluviométrique annuel ou aussi l'indice pluviométrique annuelle. On définit de même, un indice pluviométrique mensuel qui est le rapport de la précipitation mensuelle à la précipitation mensuelle moyenne.

1-3 Ruissellement et écoulement de surface :

Si l'intensité de la pluie est forte, le sol ne peut ingurgiter l'apport d'eau : passés les premiers instants et l'humidification de la zone tout à fait supérieure du sol, un excès d'eau apparaît en surface. La tranche supérieure du sol est saturée sur une faible épaisseur, mais cette humidité ne se propage pas assez vite pour absorber toute l'eau qui tombe.

La pellicule d'eau de surface peut alors circuler sur le sol, c'est ce qu'on appelle le ruissellement. On distingue même un peu artificiellement, un ruissellement pur en surface et d'un "écoulement hypodermique" qui se fait dans les premiers centimètres du sol ou de la végétation. Ce ruissellement circule suivant la ligne de la plus grande pente du sol et vient alimenter le réseau hydrographique et de drainage naturel (fossés, ruisseaux, rivières, etc...). Il entraîne des particules solides par érosion, ce qui génère le transport solide des rivières.

Le ruissellement engendre l'écoulement de surface qui se traduit par les cours d'eau. Le débit d'un cours d'eau est le volume total liquide (m^3/s) qui traverse une section droite du lit. Les aménagements hydrauliques sont de nature à perturber le régime des cours d'eau et le débit mesuré dans ce cas est différents du débit naturel.

A l'échelle d'un bassin versant, s'observe un retard au ruissellement entre l'instant où tombent les premières gouttes de pluie et celui de l'effet à l'exutoire. Le débit, même si la pluie a cessé, croît avec les arrivées successives des apports du ruissellement de divers secteurs du bassin versant jusqu'à la pointe de crue. Puis, il décroît et, en fin de ruissellement, il est uniquement alimenté par les apports des écoulements hypodermiques et souterrains. Si la période de décrue se prolonge, seules les nappes souterraines continuent à alimenter l'écoulement. L'intensité du ruissellement de surface est fonction de la nature géologique du bassin et de l'importance des précipitations.

2- IMPACT DE LA MAITRISE DES EAUX DE SURFACE :

la ressource mobilisable en eau de surface se divise, en tant que flux, en :

- ressource quasi-permanente qui correspond aux écoulements d'étiage,
- ressource variable qui oscille entre les deux extrêmes qu'enregistre l'écoulement en fonction des variations du régime pluviométrique.

La ressource quasi-permanente étant relativement stable tant sur le plan volumique que qualitativement, elle est généralement exploitée soit par dérivation soit par pompage au fil de l'eau. Elle caractérise tant la zone humide que les deux zones sub-aride et aride.

La ressource variable est d'autant plus variable que le régime pluviométrique du bassin versant considéré est situé dans la zone semi-aride ou aride. Elle est soumise à des variations appréciables tant dans le volume à maîtriser que dans la qualité de l'eau ou du transport solide qu'elle charrie. C'est cette partie de la ressource en eau de surface qui se présente comme étant la plus aléatoire et la moins stable dans le temps et qui présente l'impact le plus redouté au niveau des aménagements hydrauliques et des agglomérations ou de l'infrastructure économique.

2-1 Constitution de stocks exploitables :

Les réserves ou stocks en eau de surface sont les quantités d'eau retenues par des ouvrages spécifiques (barrages, barrages collinaires et lacs collinaires) dans le but de leur utilisation différée dans l'un des secteurs de l'activité économiques.

Les réserves se caractérisent par leur volume et leur qualité chimique qui conditionnent leur utilisation. Elles sont soumises à deux facteurs importants qui sont à la base de leur diminution : le puisage commandé et les pertes.

Le puisage se fait soit par pompage soit par adduction vers d'autres zones où l'eau est employée dans un objectif bien connu (irrigation, alimentation domestique ou industrielle, plaisance, etc...).

Les pertes difficilement contrôlables en totalité sont aussi de deux types : des pertes en surface (fuite et évaporation) et des pertes en profondeur (infiltration).

Dans la région aride et semi-aride, l'évolution quantitative et qualitative des réserves en eau de surface est conditionnée de près, par le régime des pluies et de l'écoulement de surface. Considérées dans certains cas comme d'une importance stratégique (en périodes de sécheresses, en cas d'alimentation des grandes agglomérations urbaines, etc...), ces réserves sont gérées de telle manière qu'elles soient en mesure de répondre à l'objectif même en cas de privation d'alimentation et aussi en cas d'alimentation non conforme à l'usage (débit d'étiage avec des eaux à salinité élevée).

Les réserves en eau de surface correspondent à l'intervention de l'homme au niveau d'un maillon du cycle hydrologique (ruissellement) dans le but de s'en passer des aléas naturels liés à l'irrégularité de la pluviométrie et à l'impact destructeur ou insuffisant de l'écoulement. La constitution des réserves en eau de surface est davantage une gestion de la ressource variable mobilisable par régularisation que celle de la ressource quasi-permanente mobilisable par prise au fil de l'eau (étiage). Les volumes de stockage conditionnent la nature des ouvrages de rétention et leurs dimensions.

L'efficacité d'une régularisation par un réservoir d'accumulation peut se dégrader au cours des temps (comblement par les sédiments) ; l'aménagement détruit alors à terme et de la manière irréversible, la potentialité originale du système de ressource (site de barrage de retenue).

2-2 Protection des infrastructures économiques et des agglomérations :

L'effet destructif des eaux de surface est lié à leur avènement massif à la suite de certains phénomènes climatologiques excédentaires ou à la défaillance d'un système d'accumulation ou d'adduction. Si le deuxième aspect est de loin, plus facile à maîtriser parce qu'il peut être prévu dans les conditions normales de maintenance et de gestion, le premier aspect est par contre, plus difficilement maîtrisable du fait qu'il dépend des conditions aléatoires du régime climatique.

Cet impact met en évidence beaucoup plus l'importance de l'eau comme une énergie que comme une ressource, ce qui accorde à la maîtrise de cette énergie une importance de loin plus grande que celle orientée vers son utilisation ou sa mobilisation.

Ainsi, l'aménagement de l'eau revient dans ce cas, à une définition dans la conception et dans l'action, des limites et des modalités de la transformation du régime et de la structure.

Les actions d'aménagement visent dans ce cas précis, de corriger les défauts du système concrétisés par l'excès du régime. Ceci fait que les actions d'aménagement d'un système d'eau n'ont pas obligatoirement ou du moins exclusivement et directement trait à l'utilisation de l'eau mais ont par contre, un objectif de maîtrise des excès de l'eau dans le milieu naturel et la minimisation des dangers qui en découlent. Vu sous cet angle l'aménagement hydraulique aura un objectif de protection (par déviation, régulation, écrêtement, etc...) du milieu naturel et de conservation de la ressource.

La régularisation semble être ainsi l'action qui traduit l'ensemble des objectifs visés par la protection et la conservation.

Les aménagements de régularisation, par constitution de stock, ont pour but de corriger des écarts entre les variations dans le temps des flux respectifs de la ressource et la capacité d'absorption du système naturel ou du système d'utilisation. Ces aménagements visent à transformer des flux naturels en stocks permettant eux même de produire des flux maîtrisés assortis d'une certaine garantie.

Les critères d'aménagement se basent dans ce cas sur une approche probabiliste qui associe à l'occurrence de retour du phénomène un certain risque accepté ou à éviter. C'est donc en se référant à une certaine normale que ce risque est évalué. Plus cet écart à la normale est grand, plus est faible la probabilité pour que le phénomène se produise et plus est grand le risque si un aménagement conséquent n'est pas entrepris.

3- ETUDE DE CAS DE MAITRISE DES EAUX DE SURFACE ET SON IMPACT SUR LE MILIEU :

3-1 Cas du barrage d'Aswan :

3-1-1 Caractéristiques :

Le barrage d'Aswan achevé en 1968 est édifié pour répondre à deux principaux objectifs :

- le stockage de la ressource en eau pour son utilisation dans l'irrigation, l'alimentation en eau et la production d'énergie,
- le contrôle des crues du Nil afin de protéger la basse-vallée.

Ce barrage considéré comme le plus important projet de développement des eaux du Nil, présente les caractéristiques suivantes :

- largeur de la rivière au niveau du site : 250 m
- longueur de l'ouvrage : 3600 m
- hauteur de l'ouvrage : 111 m
- longueur du lac-réservoir : 500 km
- largeur moyenne du lac-réservoir : 12 km
- capacité du lac : 162.10⁹ m³
- Durée des travaux : 1960-1970

Ce barrage permet à l'Egypte de bénéficier chaque année de 75.10⁹ m³ en plus de l'apport annuel du Nil qui est de 48.10⁹ m³. Les eaux de ce barrage ont permis d'augmenter de 10% les superficies irriguées et de produire 1.10⁶ kw/h.

Ce barrage a sauvé l'Egypte des risques d'inondations entre 1973 et 1976 et son eau a pu être utilisée pendant la période sèche de 1980-87 et plus particulièrement en 1984, pour les différents usages à raison de 84.10⁹ m³.

3-1-2 Impact :

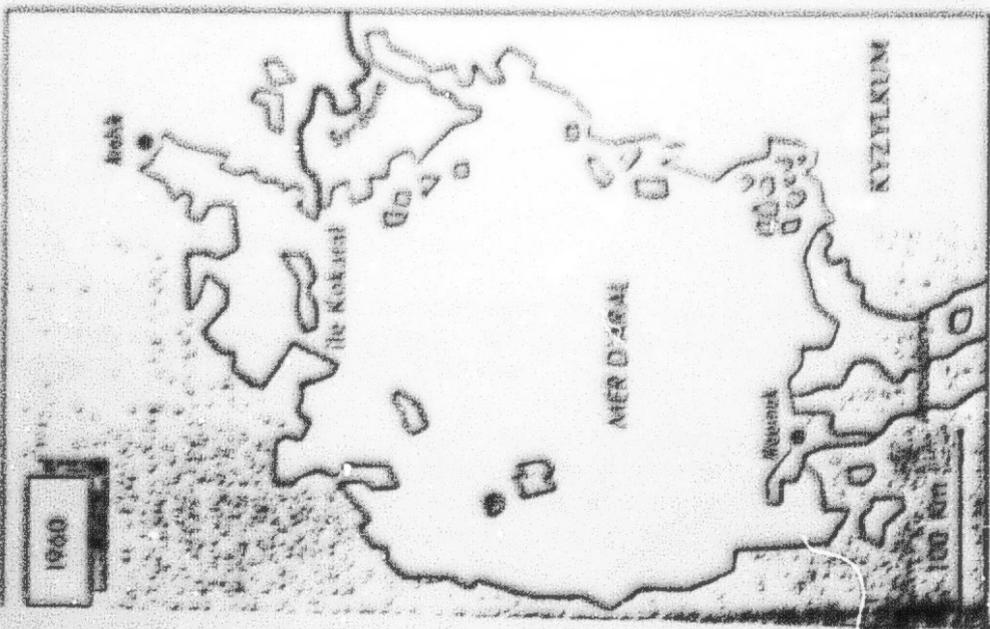
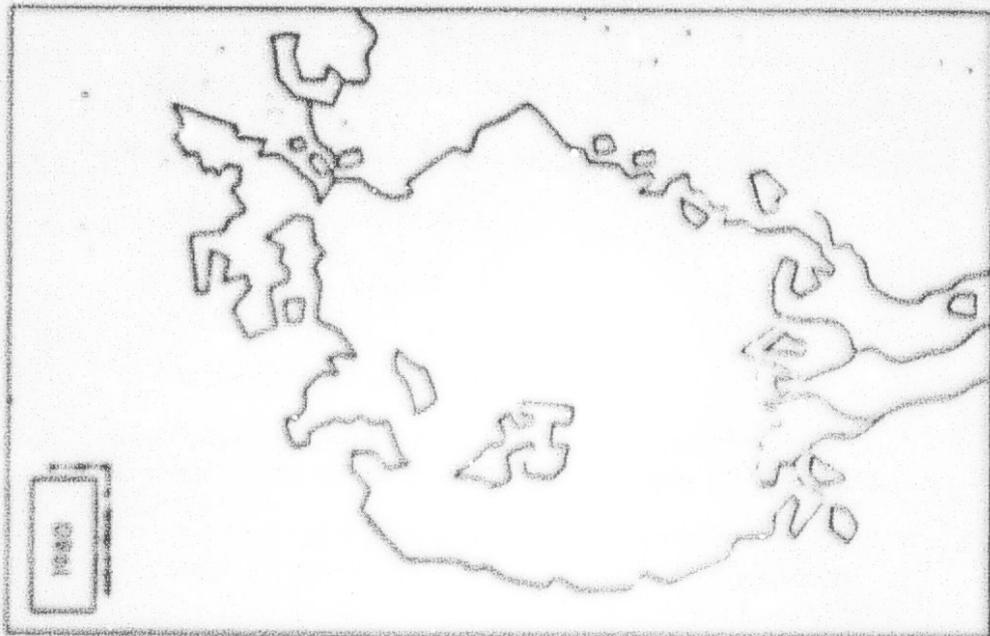
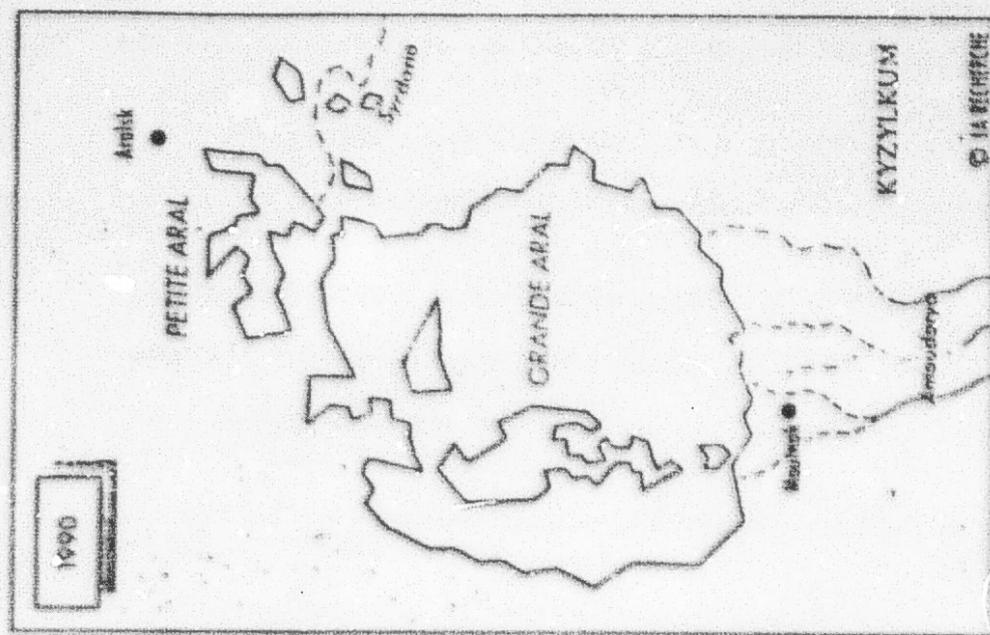
- sédimentation dans la retenue,
- dépôt de près de 80 cm d'alluvions sur 167 km en aval,
- érosion côtière au Nord du delta,
- augmentation de l'évaporation à partir de la retenue (1010 m³/an l'équivalent de 100 millions de \$/an),
- augmentation de la salinité de l'eau du Nil en aval,
- instabilité tectonique et secousses telluriques (secousse de 6,4 R en 1981). Le barrage est supposé supporter des secousses de 5,0 R,
- démantèlement des agglomérations submergées par les eaux de la retenue,
- création de la tradition des pêcheurs sur les rives de la retenue,
- augmentation des infections de Belharsiose en Haute Egypte,
- surélévation du niveau piézométrique des nappes et augmentation de la salinité de leurs eaux,
- baisse de la productivité des terres suite à la salinisation et au manque de drainage ainsi qu'à la baisse de l'amendement naturel apporté par les alluvions.

3-2 CAS DE LA MER D'ARAL :

3-2-1 Situation naturelle :

La mer d'aral (Asie Centrale) constitue un réservoir fermé, situé dans une zone désertique dont l'alimentation en eau est assurée par les deux fleuves : Sydraria et Amoudaria. Durant les glaciations quaternaires, la mer d'aral était reliée à la mer caspienne, par le paléochenal d'Ouzboi. Depuis 1960, cette mer connaît un retroussement continu de sa superficie. Suite à la réduction du volume annuel en eau de surface qui lui parvenait.

- superficie de la mer d'aral : - 1960 : 1100 km²
- Volume annuel d'alimentation : - 1960 : 50-55.10⁹ m³
 - 1990 : 450 km²
 - 1987 : 10.10⁹ m³
 - 1988 : 20.10⁹ m³
 - 1989 : 10.10⁹ m³



- **niveau statique de la mer d'aral** : - 1910-1960 : stabilisation avec fluctuations de moins de 1 m.
- **baisse du NS de la mer d'aral entre 1960 et 1990** : 14 m
- **réduction de la superficie de la mer d'Aval entre 1960 et 1990** : 28 000 km²
- **augmentation de la salinité de l'eau (1960-90)** : de 9,5-11,5 g/l à 28-30 g/l,
- **augmentation de la superficie irriguée (1960-90)** : de 2,9 à 7,5.10⁶ ha,
- **alimentation annuelle en eau de surface ruissellée** : 11.10⁹ m³/an dont la moitié arrivait précédemment au lac d'aval,
- **volume actuel d'eau d'irrigation (y compris la reprise du drainage 35 à 40 %)** : 70.10⁹ m³/an,
- **changement dans la salinité de l'eau de Sydaria** :
 - * **amont** : -1950 : 0,5 g/l -1980 : 2,5 g/l
 - * **aval** : -1950 : 1,0 g/l -1980 : 15-25 g/l
- **réduction de la pêche** : 40000 à 50000 T/an (1970) à rien en 1979,
- **réduction de la superficie de réseaux** : de 28000 km² à 200 km²,
- **amplitudes thermiques** :
 - * **hiver** : -50°C au lieu de -25°C
 - * **été** : +50°C au lieu de +35°C (réduction de la période de sans gelées à 170-180 jours),

3-2 Situation économique et sociale :

- **Mortalité infantile (1970-90)** : de 45 % à 72 %,
- **Mortalité par le Cancer de l'oesophage** : 7 fois supérieure à la moyenne de l'URSS,
- **Production du coton** : -1960 : 2,8.10⁶ T/an, -1986 : 5.10⁶ T/an,
- **production agricole** : -1950 : 3,8.10⁹ roubles, -1980 : 15,8.10⁹ roubles,

3-3 Cas de la mer morte :

3-3-1 Situation actuelle :

La mer morte (Palestine) est une mer intérieure de **1105 km²** de superficie avec une longueur de 76 km et une largeur moyenne de 15 km. Cette mer se présente sous forme d'une dépression qui est la plus profonde dans le monde (-392 m/NGM). Le fait que cette dépression est complètement fermée a favorisé la salinisation croissante de son eau.

Suite aux travaux de dérivation entrepris par Israël sur les fleuves Jourdan et Yarmouk au cours des années cinquante, le niveau de base de la mer morte s'est rebattu en 1990, jusqu'à -410 m/NGM.

D'un autre côté, la Jordanie projete l'édification d'un grand barrage sur le Jourdan d'une capacité de rétention de **26.10⁶ m³** ainsi que deux autres barrages de **200.10⁶ m³** de rétention. Ces aménagements son de nature à entrainer la baisse de niveau de base de la mer morte jusqu'à -430m/NGM et à réduire sa superficie à **500 km²**.

3-3-2 Projets israéliens en vue :

Trois projets de mer intérieure reliant les eaux de la Méditerranée à la mer morte sont en vue afin de rétablir son niveau jusqu'à -393 m/NGM et d'en profiter pour :

- la production d'électricité hydraulique (570 Megawatts ce qui correspond à 8 % la consommation annuelle d'Israël),
- la production de l'énergie solaire (1,5.10⁶ MW),
- la production d'eau dessalée à partir de l'énergie nucléaire,
- transformation des schiste bitumineux en hydrocarbures (2.10⁹ T/an).

3-3-3 Conséquences des aménagements :

- accroissement de la salinité des eaux de la mer morte et du Jourdan,
- accentuation du caractère continental de la région,
- réduction des espèces végétales et animales et des terres cultivables.

3-4 Cas de la mer saharienne :

Ce projet conçu depuis le début de ce siècle ne cesse de revenir dans le cadre des grands aménagements hydrauliques envisagés en zone saharienne. Il a pour objectifs de relier les chotts tuniso-algériens par un canal de près de 500 km, à la Méditerranée afin d'assurer :

- l'ouverture du Sud algérien sur la mer,
- la production de l'énergie hydraulique,

Une étude sérieuse entreprise par la Tunisie et l'Algérie (1986) a démontré que ce projet aura comme conséquences :

- une portée stratégique du fait que le canal prévu subdivise la Tunisie en deux entités géographiques,
- une portée économique très profonde :
 - * salinisation des eaux des nappes de Gabès, Kébili et Djérid,
 - * détérioration du climat des oasis (augmentation du taux d'humidité),
 - * accumulation de sel en grandes quantités sans possibilités de son utilisation économique.

3-5 Cas du barrage de Sidi Saad (Kairouan) :

3-5-1 Caractéristiques de l'ouvrage :

- Barrage principal :

hauteur au dessus des fonds de fouilles	: 70 m
longueur en crête	: 560 m
Largeur en crête	: 8 m
volumes total des remblais	: 4.438.000 m ³

- Digue du col :

. Hauteur au dessus des fonds de fouilles	: 48 m
. Longueur de crête	: 520 m
. largeur en crête	: 8 m
. volumes des remblais	: 3.080.000 m ³

- Retenue :

. Côte de la retenue normale	: 270 m
. Côte des plus hautes eaux	: 302,5 m
. Capacité à retenue normale	: 209.10 ⁶ m ³
dont 78.10 ⁶ pour tranche morte et 131.10 ⁶ pour l'irrigation	
. Capacité à retenue maximale	: 1994.10 ⁶ m ³
. surface du lac à retenue normale (côte 270 m)	: 1800 ha
. surface du lac inondable	: 6200 ha

- Ouvrages hydrauliques annexes :

- . débit d'évaluation : 570 m³/s
- . évaluation de crue exceptionnelle
- . Longueur en crête : 60 m

3-5-2 Fonctionnement :

En automne 1969, la vaste plaine de Kairouan fût inondée d'une incroyable masse d'eau jamais vue jusqu'à là. Ponts, routes, voies ferrées, pylones électriques, maisons furent détruits, hommes et troupeaux périrent dans les flots. L'oued Zéroud, n'ayant pas une embouchure permanente sur la mer mais se jetant d'habitude dans une dépression de terrain, la Sabkhet el Kalbia, devient tout à coup un gigantesque fleuve en furie atteignant un débit de pointe que peu de grands fleuves dans le monde ont dépassé.

Une masse d'eau avec un débit de 17.000 m³/s déferlait alors sur plus de 20km de large à travers la plaine de Kairouan isolant pendant plusieurs jours, Kairouan du reste du pays. C'est à la suite de cet événement catastrophique qu'a été décidée l'édification du barrage de Sidi Saad avec un objectif principal qui est la protection de la ville et de la plaine de Kairouan. Comme autres objectifs secondaires, cet ouvrage répond à la constitution d'un stock en eau qui est susceptible d'être utilisé pour l'irrigation (4000 ha) et la recharge de la nappe (28.10⁶ m³/an).

Depuis sa fermeture en 1965 et jusqu'à la fin de 1989, cet ouvrage n'a reçu que de petites crues qui ont fini par remplir sa retenue jusqu'à la côte du déversement mais avec une eau de qualité chimique médiocre (4,0 g/l). La qualité moyenne de l'eau devait être en conditions normales, de l'ordre de 2,0g/l.

Cette situation rendait l'eau impropre à l'irrigation et à la recharge de la nappe mais, on ne pourrait vidanger la retenue pour deux raisons : la salinité excessive de l'eau et la nécessité de réceptionner le barrage à plein. Cette situation s'est traduite en aval dans la plaine de Kairouan, par une baisse piézométrique continue atteignant en fin 1989, les 7 à 10 m. Parallèlement, la salinité de la nappe phréatique a enregistré un accroissement sensible (1,0 à 2,5g/l).

En réalité, cette situation piézométrique de plus en plus alarmante, résulte d'une demande en eau accrue au niveau des nappes du Kairouanais qui est largement influencée par le déficit pluviométrique des années 1966-89.

La salinité de l'eau de la retenue n'a pu revenir à des valeurs acceptables (1,8 à 2,2 g/l) qu'après les pluies de Janvier 1990. La baisse de la nappe s'est partiellement résorbée par la suite après le déversement de Sidi Sâad et des lâchures pratiquées dans le lit de l'oued en vue de recharger la nappe (remontée de 2 à 5 m).

3-6 Cas des travaux de C.E.S. dans le Sud tunisien :

3-6-1 Rôle des aménagements en C.E.S. :

Les aménagements de conservation des eaux et des sols (C.E.S.) ont pour objectif de limiter les dégâts occasionnés par le ruissellement à forte intensité dans les régions semi-arides et arides. Ces aménagements se présentent sous forme d'ouvrages d'épendage ou de rétention (barrages, banquettes, seuils, etc...). Leur rôle principale est d'atténuer la vitesse d'écoulement de surface et de répartir la lame d'eau sur une surface plus étendue afin de favoriser son infiltration dans le sol.

Ces ouvrages sont conçus dans la partie amont du bassin versant afin de maîtriser le ruissellement et de protéger les parties basses (plaines) des inondations. Réalisés sur les lits des oueds, ces ouvrages (seuils et banquettes) permettent à la nappe de bénéficier d'une certaine alimentation supplémentaire qui peut être de 1 à 1,5 fois l'apport normal à la nappe à l'échelle annuelle.

3-6-2 Situation actuelle :

La carte de l'érosion en Tunisie fait apparaître que les terres érodées couvrent une superficie de 3.10^6 ha dont $1,5.10^6$ ha qui sont gravement affectés. Ainsi, 10.000 ha de terre agricole sont perdus annuellement. Ce phénomène se traduit par une diminution de la fertilité des terres agricoles (1,5 % par an), l'envasement des retenues de barrages (B. Oued el Kebir crée en 1927 et complètement envasé, Chiba à capacité réduite à 35 % et Nebhana à 30 %) et une perte en eaux de surface aboutissant à la mer ou dans les dépressions fermées qu'on ne peut maîtriser par les ouvrages classiques (barrages, lacs collinaires etc...).

L'activité en aménagement de C.E.S. a connu un sérieux développement depuis 1985. Etant au cours des années 1978-84 de l'ordre de 15.000 ha de superficie aménagée par an, cette activité s'est intensifiée graduellement pour atteindre en 1989, 76 400 ha. La planification de cette activité pour les dix ans 1990-2000, vise de traiter annuellement 60.000 ha en banquettes, cordons, etc... Ces ouvrages ont pour objectif de mobiliser 50.10^6 m³/an par des lacs collinaires ainsi que 600.000 m³/an par les autres ouvrages (gabions et jessours) et ceci en plus de l'épendage de 6.10^8 m³/an en eaux de crues par les ouvrages de déviation.

CHAPITRE II : EVALUATION ET MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES

1- Notions élémentaires en hydrogéologie :

L'hydrogéologie est la science qui étudie les caractéristiques et le comportement de l'eau dans le sol sous forme de nappes. Elle correspond à la partie souterraine du cycle d'eau. Si dans le cas des eaux de surface, tout l'intérêt est accordé à l'eau elle-même (flux), dans le cas des eaux souterraines, l'eau ne peut être dissociée dans son mouvement, du système aquifère (nappe).

1-1 Nappe ou système aquifère :

Un système aquifère est définissable par sa structure, son comportement hydrodynamique et ses conditions aux limites. Cet ensemble se traduit par un modèle conceptuel hydrodynamique.

Vis à vis de son milieu, l'eau d'une nappe occupe un certain volume de l'espace qu'elle sature avec une certaine pression qui permet de différencier les nappes en :

- **nappes libres** : une nappe libre est un milieu poreux qui n'est saturé que sur une certaine hauteur et est surmonté du milieu poreux sec ou non saturé. La nappe est limitée vers le bas, par un substratum imperméable.

- **nappes captives** : une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu (ou pas) perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote du toit de la nappe.

1-2 Ecoulement souterrain :

Une nappe d'eau souterraine se caractérise par son alimentation et ses sorties qui conditionnent son écoulement souterrain. Cet écoulement est aussi tributaire du type de la nappe.

Ainsi, dans une nappe libre, l'eau circule vers les exutoires qui sont les points bas de la topographie (sources, rivières, réseau hydrographique, mer, dépression fermée, etc...) suivant une certaine vitesse.

La surface piézométrique de la nappe adopte une certaine pente qui est plus ou moins similaire à celle de la surface topographique. La vitesse d'écoulement souterrain est largement influencée par la perméabilité de la formation aquifère. La vitesse d'écoulement souterrain des nappes libres est de quelques m/an à quelques 10 m/an. Il est rare que la surface piézométrique accuse une pente supérieure à 10%.

Une nappe captive se caractérise par une eau soumise à une compression qui lui permet de remonter brusquement au dessus du toit imperméable de la nappe quand il est crevé. Une nappe captive est jaillissante (ou artésienisme) si sa pression (ou compression) est suffisante pour faire remonter son eau plus haut que la surface du sol lorsque son toit est crevé.

La vitesse d'écoulement souterrain des nappes captives est généralement plus faible que celui des nappes libres (quelques m/an). La pente hydraulique de leur surface piézométrique est aussi généralement plus faible (quelques % à quelques %).

CHAPITRE II : EVALUATION ET MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES

1- Notions élémentaires en hydrogéologie :

L'hydrogéologie est la science qui étudie les caractéristiques et le comportement de l'eau dans le sol sous forme de nappes. Elle correspond à la partie souterraine du cycle d'eau. Si dans le cas des eaux de surface, tout l'intérêt est accordé à l'eau elle-même (flux), dans le cas des eaux souterraines, l'eau ne peut être dissociée dans son mouvement, du système aquifère (nappe).

1-1 Nappe ou système aquifère :

Un système aquifère est définissable par sa structure, son comportement hydrodynamique et ses conditions aux limites. Cet ensemble est traduit par un modèle conceptuel hydrodynamique.

Vis à vis de son milieu, l'eau d'une nappe occupe un certain volume de l'espace qu'elle sature avec une certaine pression qui permet de différencier les nappes en :

- **nappes libres** : une nappe libre est un milieu poreux qui n'est saturé que sur une certaine hauteur et est surmonté du milieu poreux sec ou non saturé. La nappe est limitée vers le bas, par un substratum imperméable.

- **nappes captives** : une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu (ou pas) perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote du toit de la nappe.

1-2 Ecoulement souterrain :

Une nappe d'eau souterraine se caractérise par son alimentation et ses sorties qui conditionnent son écoulement souterrain. Cet écoulement est aussi tributaire du type de la nappe.

Ainsi, dans une nappe libre, l'eau circule vers les exutoires qui sont les points bas de la topographie (sources, rivières, réseau hydrographique, mer, dépression fermée, etc...) suivant une certaine vitesse.

La surface piézométrique de la nappe adopte une certaine pente qui est plus ou moins similaire à celle de la surface topographique. La vitesse d'écoulement souterrain est largement influencée par la perméabilité de la formation aquifère. La vitesse d'écoulement souterrain des nappes libres est de quelques m/an à quelques 10 m/an. Il est rare que la surface piézométrique accuse une pente supérieure à 10%.

Une nappe captive se caractérise par une eau soumise à une compression qui lui permet de remonter brusquement au dessus du toit imperméable de la nappe quand il est crevé. Une nappe captive est jaillissante (ou artésianisme) si sa pression (ou compression) est suffisante pour faire remonter son eau plus haut que la surface du sol lorsque son toit est crevé.

La vitesse d'écoulement souterrain des nappes captives est généralement plus faible que celui des nappes libres (quelques m/an). La pente hydraulique de leur surface piézométrique est aussi généralement plus faible (quelques % à quelques %).

1-3 Emmagasinement :

La capacité d'emmagasinement d'un aquifère donné correspond à son aptitude à libérer ou à stocker un certain volume d'eau par unité de volume du milieu aquifère.

L'emmagasinement spécifique correspond à la capacité d'emmagasinement par unité de variation de charge hydraulique correspondante.

La capacité d'un aquifère correspond à sa contenance en eau gravitaire en fonction de son volume total (moyen ou maximal) de roche saturée et de son coefficient d'emmagasinement.

La capacité d'emmagasinement d'un aquifère captif correspond à sa capacité en eau gravitaire à laquelle s'ajoute son emmagasinement captif.

1-4 Réserves/Ressources/Renouvellement :

Les réserves en eau d'une nappe correspondent aux quantités d'eau gravitaire contenues, à une date donnée, dans un aquifère.

Dans le cas d'une nappe libre les réserves en eau correspondent au volume d'eau dégagé par le rabattement d'une hauteur (δH) de la surface libre (ou la charge piézométrique). Ce volume n'est cependant pas immédiatement disponible car le profil d'humidité de la zone non saturée demande un certain temps pour descendre de cette hauteur.

Dans le cas d'une nappe captive, la variation de charge (δH) n'entraîne aucun dénoyage de la nappe mais elle entraîne une "production" d'eau sous l'influence de deux phénomènes :

- la décompression de l'eau,
- le tassement du milieu poreux.

L'ensemble de ces deux effets est combiné dans la définition du coefficient d'emmagasinement (volume d'eau libéré par unité de surface et par variation δH de charge). Ainsi la réserve d'une nappe captive est le produit du coefficient d'emmagasinement (S) par la surface de la nappe.

La ressource en eau est la fraction exploitable des réserves qu'elles soient sous forme d'un flux ou d'un stock. On y distingue :

- la ressource renouvelable qui est mobilisable par "captage", c'est à dire dérivation du flux naturel, y compris par prise aux émergences naturelles,
- la ressource non renouvelable qui est mobilisable par "déstockage" de la réserve produisant un flux artificiel nécessairement temporaire, analogue à la production d'une exploitation minière.

Les trois principaux types de la stratégie d'exploitation des eaux d'un aquifère se distinguent selon la part prise par le déstockage ou l'aboutissement rapide à un régime d'équilibre dynamique. Ce sont :

- la priorité d'exploitation des ressources renouvelables : l'équilibre visé est à court ou à moyen terme. Le prélèvement sur le stock n'est que la conséquence de la baisse du niveau pour atteindre un nouvel équilibre dynamique,

- l'exploitation temporaire, volontaire et contrôlé de la réserve d'un aquifère à ressources renouvelables insuffisantes. Le déstockage fournit dans ce cas, la majeure partie de la production d'eau pendant une période de déséquilibre assez longue, suivie d'un passage projeté à terme vers un régime de rééquilibre final.

- l'exploitation minière pure poursuivie jusqu'à ce que les conditions d'exploitation soient jugées impraticables stopée.

1-5 Gestion des eaux souterraines :

Le choix d'une stratégie d'exploitation d'eau souterraine procèdera de la confrontation des ressources disponibles aux demandes d'exploitation tout en examinant en détail les objectifs économiques et les contraintes techniques et en ayant présent à l'esprit les types de la ressource et les changements qui peuvent être introduits par l'exploitation sur ses caractéristiques. Dans ce sens, il y a lieu de constater que :

- les objectifs économiques de l'utilisation de l'eau sont plus ou moins ambitieux et modifiables à différentes échéances, soit avec une optique conservatrice de protection des "droits acquis" par les premiers exploitants "installés", soit dans une orientation plus volontaire et "productiviste" de développement.

- les contraintes sont aussi évolutives et certaines sont elles mêmes liées à d'autres objectifs économiques ou/et écologiques.

Le tout doit être compatible avec la planification économique générale et l'aménagement du territoire. Le choix des durées et des phases de croissance puis de stabilisation des productions d'eau par déstockage de réserves, est essentiel et plus particulièrement avant la décroissance fatale (choix de planification à implications structurelle)

Les schémas de mobilisation et d'exploitation de la ressource peuvent être suffisamment flexibles en raison des incertitudes irréductibles qui affectent la connaissance initiale du système aquifère et à cause des incertitudes sur l'évolution des divers facteurs conditionnant l'exploitation et la demande en eau.

L'exploitation des réservoirs aquifères ne mettent pas en oeuvre de grands ouvrages indivisibles comme c'est le cas des eaux de surface et son développement permet à tout moment, des modifications et ce du fait du progrès de connaissances qu'elle induit. La connaissance d'un réservoir aquifère est en effet interactive avec son exploitation.

Une exploitation des réserves en eau souterraine suivant une stratégie voulue et plus particulièrement une exploitation intensive des ressources renouvelables, nécessite une autorité et une organisation de gestion collective adéquates. Cette autorité doit disposer à cette fin, d'instruments et d'informations utiles lui permettant de prendre les décisions nécessaires. Enfin, une exploitation de réserves délibérée et planifiée implique que soit prévue une forme de relais au terme projeté. Ce relais peut consister à :

- substituer d'autres sources et modes d'approvisionnement pour satisfaire la demande en eau (transfert, dessalement, réutilisation d'eau usée ou de drainage, etc...)

- transformer les demandes en eau elles-mêmes en réduisant certaines (déplacement ou suppression de certaines utilisations).

2- IMPACT DE LA MOBILISATION DES EAUX SOUTERRAINES :

2-1 Ouvrages et techniques de mobilisation :

La mobilisation des eaux souterraines se fait par trois types d'ouvrages :

- **les sources** qui sont des manifestations naturelles en surface des nappes mais dont l'aménagement et l'adduction sont l'apport de l'homme en vue de la mobilisation de leurs eaux,

- **les puits de surface** dont la profondeur n'excède que rarement les 30 m et qui sont destinés à la mobilisation des eaux des nappes phréatiques,

- **les forages** ouvrages à diamètre réduit (0,2 à 0,5 m) mais pouvant avoir des profondeurs allant jusqu'à 2000 m. Ces ouvrages ont pour objectif la mobilisation des ressources en eau des nappes profondes.

D'autres ouvrages comme les galeries drainantes, les foggaras et les tranchées sont parfois employés pour la mobilisation des eaux souterraines mais ces ouvrages ne sont pratiques que dans certaines conditions particulières de mobilisation des ressources de certaines nappes. Avec l'évolution des techniques de mobilisation des eaux souterraines et de l'intensification de l'exploitation des nappes, les puits et les forages sont devenus les ouvrages les plus couramment utilisés dans cette mobilisation.

L'aménagement des sources ne permet en général de maîtriser que la partie renouvelable des ressources où celle tributaire de l'artésianisme de la nappe (décompression). Or, cette partie des ressources est généralement modeste comparée aux réserves géologiques qui ne sont mobilisables que par puits ou forages.

Le creusement de galeries, tranchées et foggara, est une pratique ancienne qui allouit les frais de mobilisation en même temps qu'elle nécessite une maintenance souvent disproportionnée avec la quantité d'eau mobilisée.

Les puits de surface destinés à l'exploitation des nappes phréatiques sont souvent gros diamètre (1 à 5 m) et d'une profondeur ne dépassant les 30 m que dans les parties excentriques de la nappe. Ces ouvrages très abordables, tant sur le plan coût de réalisation que maîtrise de gestion, restent le meilleur moyen de mobilisation des eaux des nappes phréatiques. Leur productivité est en conformité avec celle de ces nappes (0,1 à quelques l/s pour rabattements non excessifs).

Les forages constituent, une mutation technologique des puits de surface tant sur le plan des caractéristiques que des méthodes de creusage. Le passage des méthodes traditionnelles de creusage mobilisant l'énergie musculaire vers des méthodes ayant recours à l'énergie thermique puis électrique, a largement contribué au développement des techniques de forage qui sont ainsi passées des simples machines élévatoires aux machines rotatives.

Le forage à percussor, qui était la forme la plus classique du sondage s'est poursuivi depuis l'antiquité (2000 ans avant J.C. en Chine) jusqu'au milieu du 19ème siècle.

Ce n'est qu'au 19ème siècle que le sondage carotté a été mis au point et depuis les techniques de forage ont connu des développements variés qui ont abouti à l'adaptation de l'outil du forage à la nature de la formation à forer. Le forage rotatif (Rotary) constitue dans ce sens, un sérieux développement et il

continue à faire la technique la plus répandue pour le creusage de sondages atteignant les couches les plus profondes.

Les ouvrages de mobilisation des eaux souterraines sont ainsi aussi variés que ceux utilisés pour la mobilisation des eaux de surface. Les forages et puits se caractérisent par la flexibilité de leur répartition spatiale et la possibilité de substitution d'un ouvrage par un autre au fur et à mesure de son vieillissement ou de son endommagement.

2-2 Impact des ouvrages de mobilisation des eaux souterraines sur leurs caractéristiques :

L'impact des puits et des forages sur les caractéristiques des aquifères qu'ils captent se révèle à deux étapes dans la vie de ces ouvrages :

2-2-1 La réalisation :

C'est plus particulièrement le cas des sondages qui offrent au moment de leur réalisation, les possibilités de contamination des aquifères recoupés par les produits de sondage (boues, acides, produits de traitement, mousse, etc...). En plus d'une éventuelle contamination, ces ouvrages peuvent faire l'objet d'une mise en communication de niveaux aquifères différents. Ceci se traduit par l'un des phénomènes suivants :

- la contamination chimique et les mélanges d'eau,
- la pollution thermique,
- la dépression piézométrique.

2-2-2 Au cours de l'exploitation :

- **Impact sur la piézométrie :** L'intensification de l'exploitation d'une nappe est de nature à influencer sa piézométrie pour deux raisons :

- l'augmentation des prélèvements désature les nappes libres et décompressionne les nappes captives,
- le rapprochement des ouvrages de captage : crée un cône de dépression qui se creuse et s'amplifie dans les zones à forte densité d'ouvrages d'exploitation.

Si l'effet de l'intensification des prélèvements est plus ou moins général à l'ensemble de la nappe et se traduit par la baisse généralisée de sa piézométrie, celui résultant de l'interférence entre les ouvrages d'exploitation très rapprochés, est plus localisé. Il se présente sous forme d'un cône de dépression dont l'extension est d'autant plus grande que les prélèvements sont importants et les ouvrages sont rapprochés et denses.

Dans le cas de l'augmentation des prélèvements généralisée à l'ensemble de la nappe, la variation de la piézométrie dans le temps au niveau d'un point d'observation est décroissante continue, tandis que dans celui d'une intensification d'exploitation localisée, elle n'est décroissante qu'au cours du pompage. L'arrêt du pompage se traduit par une tendance de la piézométrie pendant un certain temps vers la remontée ou la stabilisation.

- Impact sur la qualité chimique de l'eau :

La mobilisation de l'eau d'une nappe par exploitation est de nature à mettre en mouvement deux types de mécanismes hydrodynamiques :

- la désaturation,
- la drainance.

Dans le cas de la **désaturation**, la composition chimique de l'eau peut subir de **sérieuses variations** suite à la mise en mouvement d'eau plus ou moins liée à la roche encaissante ou en introduisant des changements dans la composition de l'eau et des gaz au sein de l'aquifère. La **drainance** est par contre, un phénomène qui fait appel à l'eau d'un autre niveau aquifère à travers une formation très peu perméable. L'eau ainsi drainée est susceptible d'avoir ou d'acquérir lors de sa drainance, d'autres caractéristiques chimiques différentes de celles de la formation aquifère.

Le phénomène de désaturation considéré dans un cadre plus long qui est celui des ressources renouvelables d'une nappe libre, se traduira en fonction de l'alimentation et de l'exploitation, par des changements de qualité de l'eau, (amélioration ou la dégradation). Généralement, il est rare que la dégradation chimique de l'eau d'une nappe, puisse être arrêtée et inversée sous l'effet du fonctionnement normal d'un aquifère. Ceci ne se produit que dans le cas de certaines nappes phréatiques à faible emmagasinement. Cette situation de dégradation irréversible est par contre, est fréquemment constatée dans le cas des nappes soumise à l'**intrusion saline** qui est un phénomène de salinisation à partir d'eau saumâtre (Sebkhet ou Chott) ou marine. Le phénomène de salinisation par intrusion ne peut être limité ou retardé que par une **recharge artificielle** (ou induite) de la nappe mais il ne peut être inversé.

2-3 Impact de la mobilisation des eaux souterraines sur leur gestion :

Dans quelles conditions et jusqu'à quel point les réserves en eau souterraines sont elles exploitables par **déstockage** ou **surexploitation** ? La réponse dépend certes des caractéristiques des stocks, du taux de renouvellement et de la répartition de la demande dans le temps et en fonction du coût de la mobilisation, de la maintenance des équipements et de celui de l'exploitation.

Dans le cas des ressources renouvelables un choix prudent tentera d'établir l'équilibre entre le **taux de renouvellement** et les **réserves exploitées** à une échelle de temps donnée. Cette situation qui permet à l'aménagiste de préserver les caractéristiques de l'aquifère, peut se poser en termes économiques plus limitant ou dans un contexte de demande en eau (zone aride ou semi-aride) qui l'incitent à choisir la surexploitation.

Les conséquences d'une telle surexploitation sont dans ce cas, maîtrisables dans les limites de certains choix économiques (recharge de nappe, arrêt pour une longue période de l'exploitation, etc...). Seuls l'impact hydrochimique est parfois irréversible (intrusion saline ou mélange entre les eaux de plusieurs aquifères).

Dans le cas des eaux non renouvelables, la surexploitation des ressources est un choix plus difficile à adopter du fait que ceci engage la responsabilité de la génération présente vis à vis des générations futures. En effet, la surexploitation revient dans ce cas, à une exploitation minière qui ne permet de déstocker les réserves qu'une seule fois. Un tel choix est irréversible par ses conséquences sur les caractéristiques de la ressource et sa pérennité même. Dans ce cas, une cohérence s'impose entre la **durée** et le **débit** d'exploitation dans le cadre d'un choix de stratégie qui tente de concilier les objectifs avec les contraintes (planification).

3- ETUDES DE CAS :

3-1 Cas des nappes phréatiques de Tunisie :

L'exploitation des nappes phréatiques de Tunisie a connu une nette progression entre 1980 date de premier inventaire exhaustif, et 1990 comme le traduit le tableau n° 2.

La comparaison de la situation générale de ces trois dates fait apparaître une tendance nette vers l'accroissement entre 1980 et 1990 (fig.N°1), tant du nombre total des puits que de celui des puits équipés et de l'exploitation globale. Ceci traduit une nette volonté de la mobilisation des ressources en eau des nappes phréatiques reflétant la politique d'encouragement adoptée par l'administration dans le secteur agricole.

Si l'évolution du nombre total des puits du pays ainsi que celui des puits équipés ont enregistré entre 1985 et 1990, un accroissement plus sensible qu'entre 1980 et 1985, l'exploitation globale des nappes phréatiques a été par contre, plus soutenue entre 1980 et 1985. Cette situation reflète très nettement la tendance vers la surexploitation de la plupart des nappes phréatiques du pays. Cette constatation est d'autant plus vraie que les années 1985-90 se sont caractérisées entre 1987 et 1989, par une sécheresse aigue ce qui n'a pas été le cas, pour les années 1980-85.

Le stade de surexploitation atteint par la majeure partie des principales nappes phréatiques du pays résulte d'une tendance généralisée vers l'équipement (électrique) des puits (38,2 % en 1980, 49,6 % en 1985 et 56,7 % en 1990). Parallèlement, l'exploitation est passé de 395 Mm³/an en 1980, à 563 Mm³/an en 1985 puis à 699 Mm³/an en 1990.

Cet accroissement de l'exploitation a été à l'origine de l'augmentation de la salinité de l'eau de la plupart des nappes dont l'exploitation dépasse les ressources. Parmi, ces nappes, certaines enregistrent une baisse continue de leur piézométrie qui est de l'ordre de 0,5 à 1,5 m/an.

Les nappes dont la surexploitation est manifeste, accusent un nombre de puits abandonnés qui est de plus en plus grand en même temps qu'il y a déclassement des puits de l'usage pour l'eau potable vers l'utilisation agricole.

3-2 Cas de surexploitation en Arizona (U.S.A.) :

Les ressources renouvelables des aquifères de l'Arizona sont estimées à 0,37.10⁹ m³/an (flux moyen). Leur exploitation croissante depuis le début du 20^{ème} siècle, approche ou dépasse depuis 1960 6.10⁹ m³/an dont près des 9/10 qui sont affectés à l'irrigation. La plus grande partie des prélèvements est soustraite aux réserves des aquifères alluviaux (1500 10⁹ m³ jusqu'à 370 m de profondeur). Sur les 225.10⁹ m³ extraits entre 1920 et 1980, près de 90 % sont extraits aux réserves géologiques (surexploitation volontaire).

Des baisses de niveau allant jusqu'à 70 m en sont résultées et progressent de 1 à 3 m/an. Ceci a été à l'origine d'un affaissement du sol en plusieurs aires urbaines, allant jusqu'à 3 à 4 m.

Cette situation étant intenable pour l'après l'an 2000, un scénario du "Water Plan" de l'Arizona (1977) envisage une forte réduction des prélèvements qui seront ramenés vers 2000-2010, à 0,5.10⁹ m³/an. Cette baisse sera compensée en partie par l'amenée d'eau de surface dérivée de Rio Colorado (1,5.10⁹m³/an). Ce plan nécessite aussi une réduction des demandes (suppression partielle des irrigations, considérées comme l'utilisation la moins profitable".

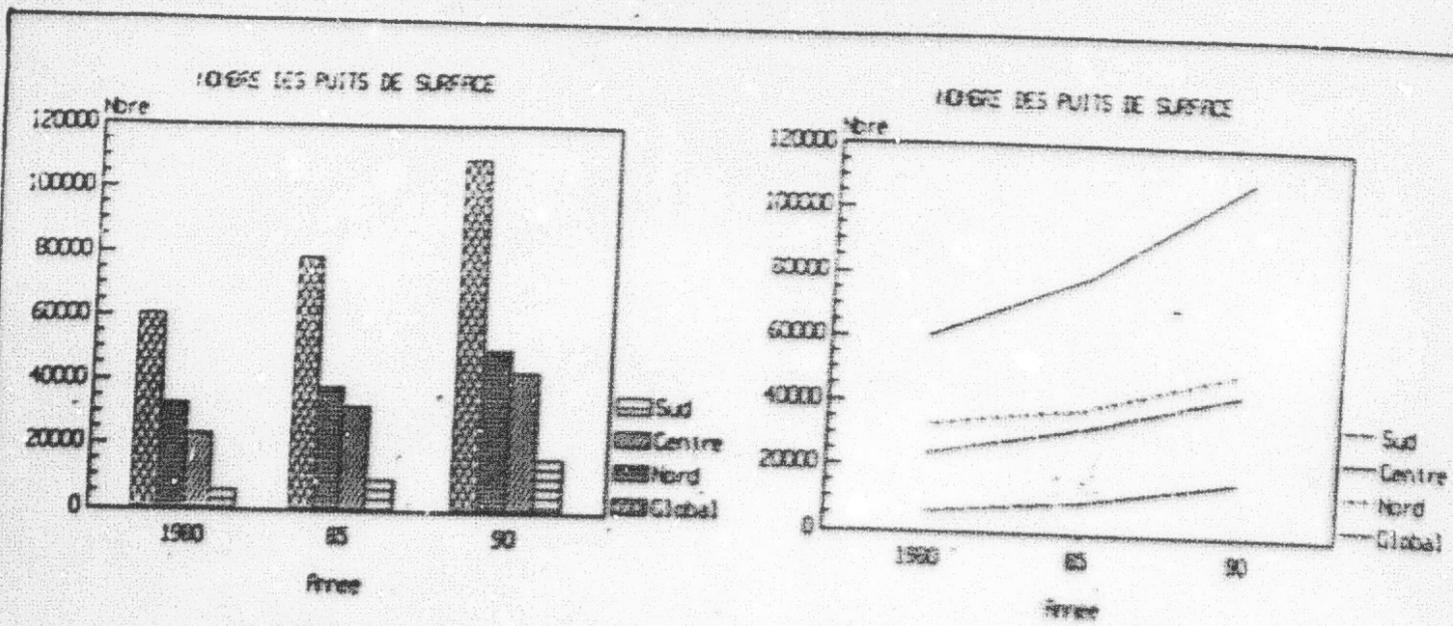


FIG N°1-A : Evolution du nombre total des puits (1980-90)

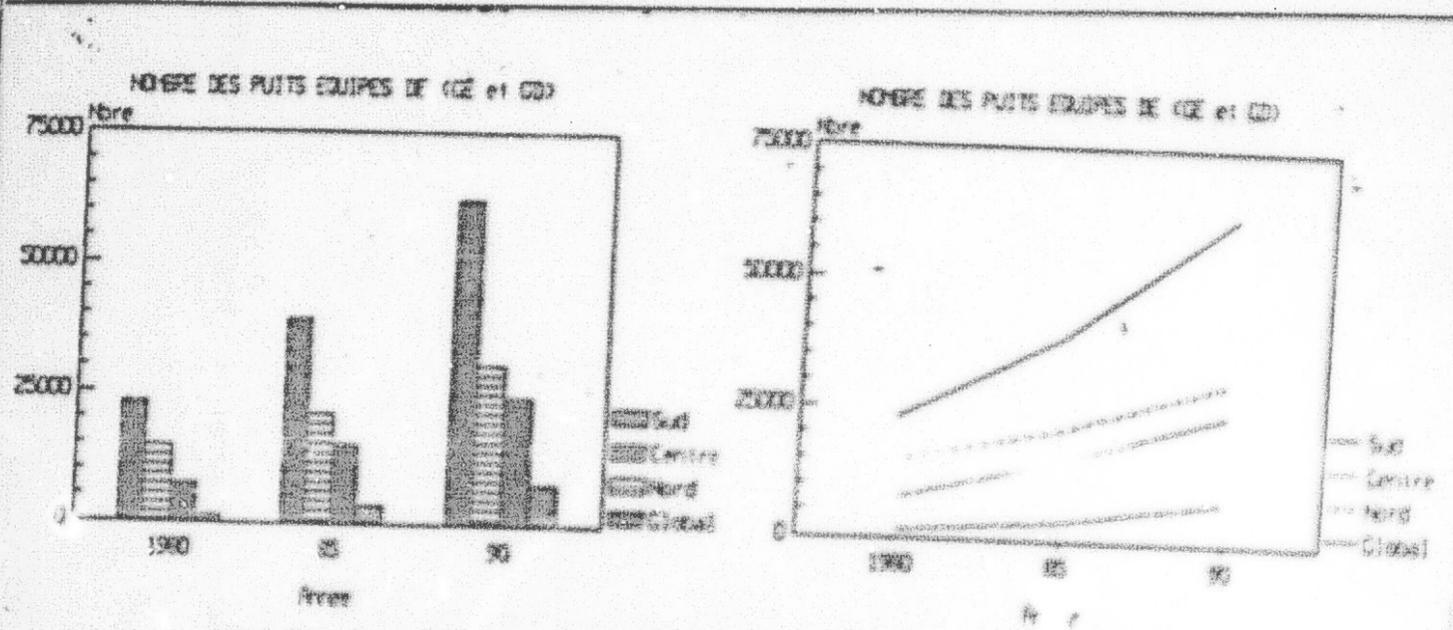


FIG N°1-B : Evolution du nombre des puits équipés (1980-90)

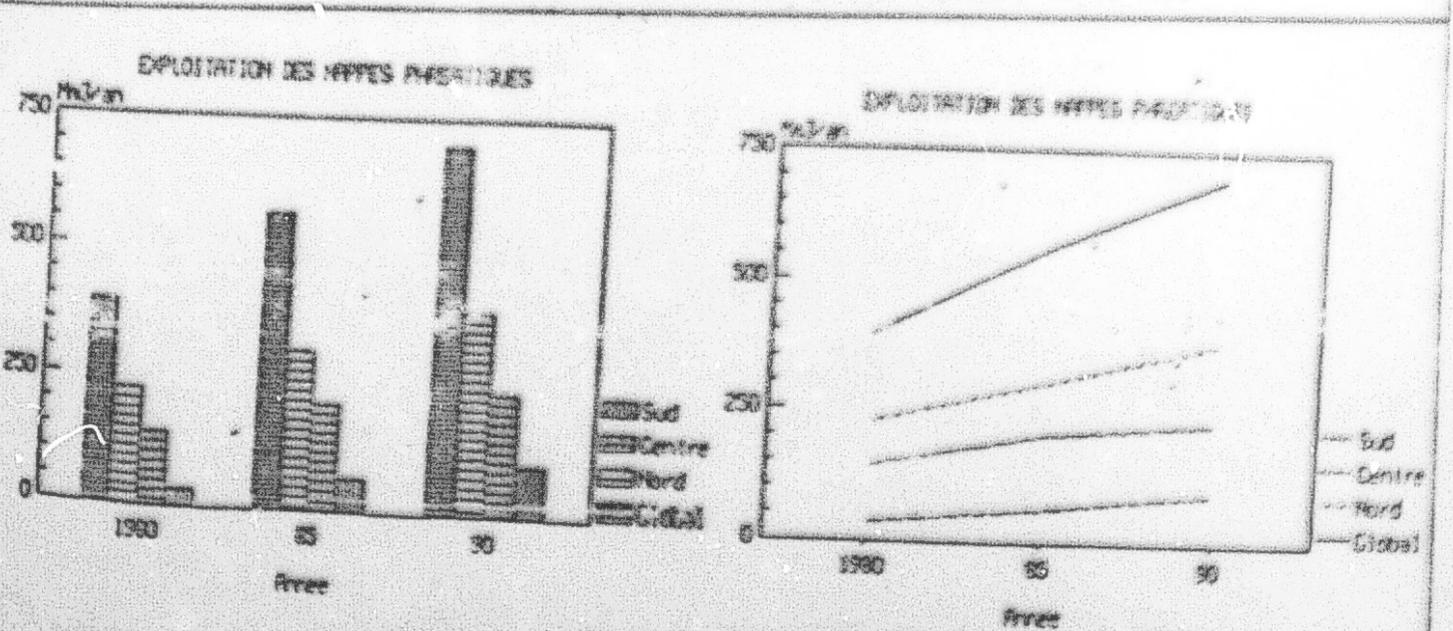


FIG N°1-C : Evolution de l'exploitation des nappes phréatiques (1980-90)

3-3 Cas de la péninsule de Qatar :

Projet de restauration d'un régime d'exploitation d'eau souterraine en équilibre, après une phase d'exploitation de réserve avec recharge artificielle.

La péninsule de Qatar (10 600 km²) correspond à un aquifère multicouche éocène et paléocène dont l'exploitation des réserves s'est développée depuis une vingtaine d'années avec des prélèvements qui excèdent nettement les apports : un bilan d'eau moyen pour 1971-75, s'établissait ainsi (en 10⁶m³/an) :

Entrées :	Sorties :
- alimentation (flux moyen) : 22,6	- Débit naturel (mer) : 10
- déstockage : 27,4	- Prélèvements : 40
50	50

Un projet de recharge artificielle par injection de 60.10⁶m³/an d'eau douce produite par dessalement d'eau de mer, a été étudié. Il permettrait un retour à l'équilibre tout en accroissement la production.

3-4 Cas de la nappe du Complexe Terminal du Sud tunisien :

La nappe du Complexe terminal est d'une extension saharienne (350.000 km²). Elle est commune à la Tunisie, l'Algérie et la Libye. Son flux d'alimentation actuelle est de 580.10⁶ m³/an. Son exploitation se faisait avant le début du siècle, à partir des puits, des sources et des foggaras. Avec la création des forages, cette exploitation n'a cessé de s'accroître. C'est plus particulièrement le cas depuis le début des années cinquante.

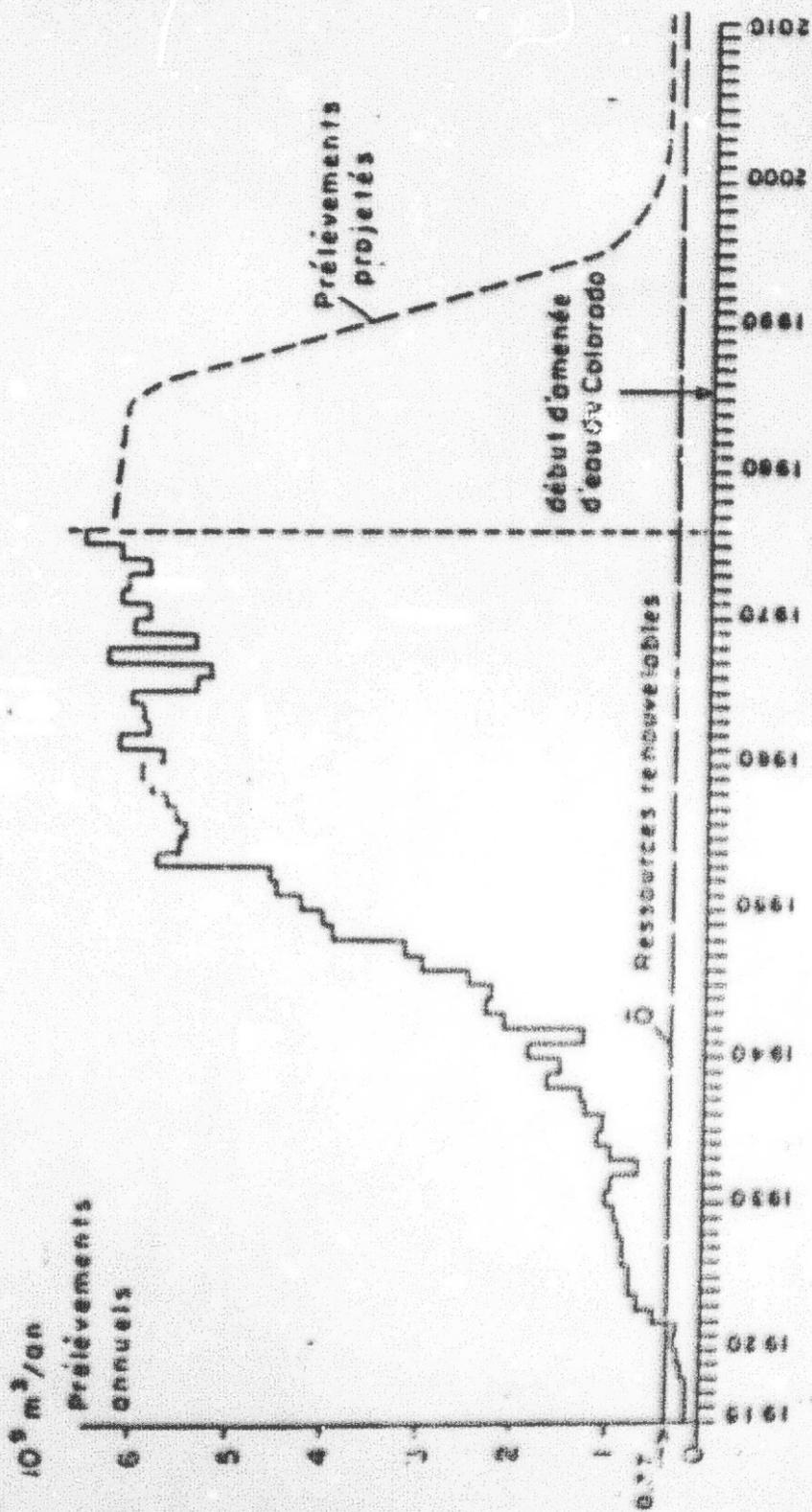
Dans la région de Nefzaoua (Kébili), l'exploitation de cette nappe a pratiquement triplé entre 1960 (1900 l/s) et 1990 (6840 l/s) Cette situation est le résultat d'une conjoncture particulière essentiellement liée aux faits que cette nappe est accessible par forages à faible profondeur et qu'elle est jaillissante sous la majeure partie de la Nefzaoua.

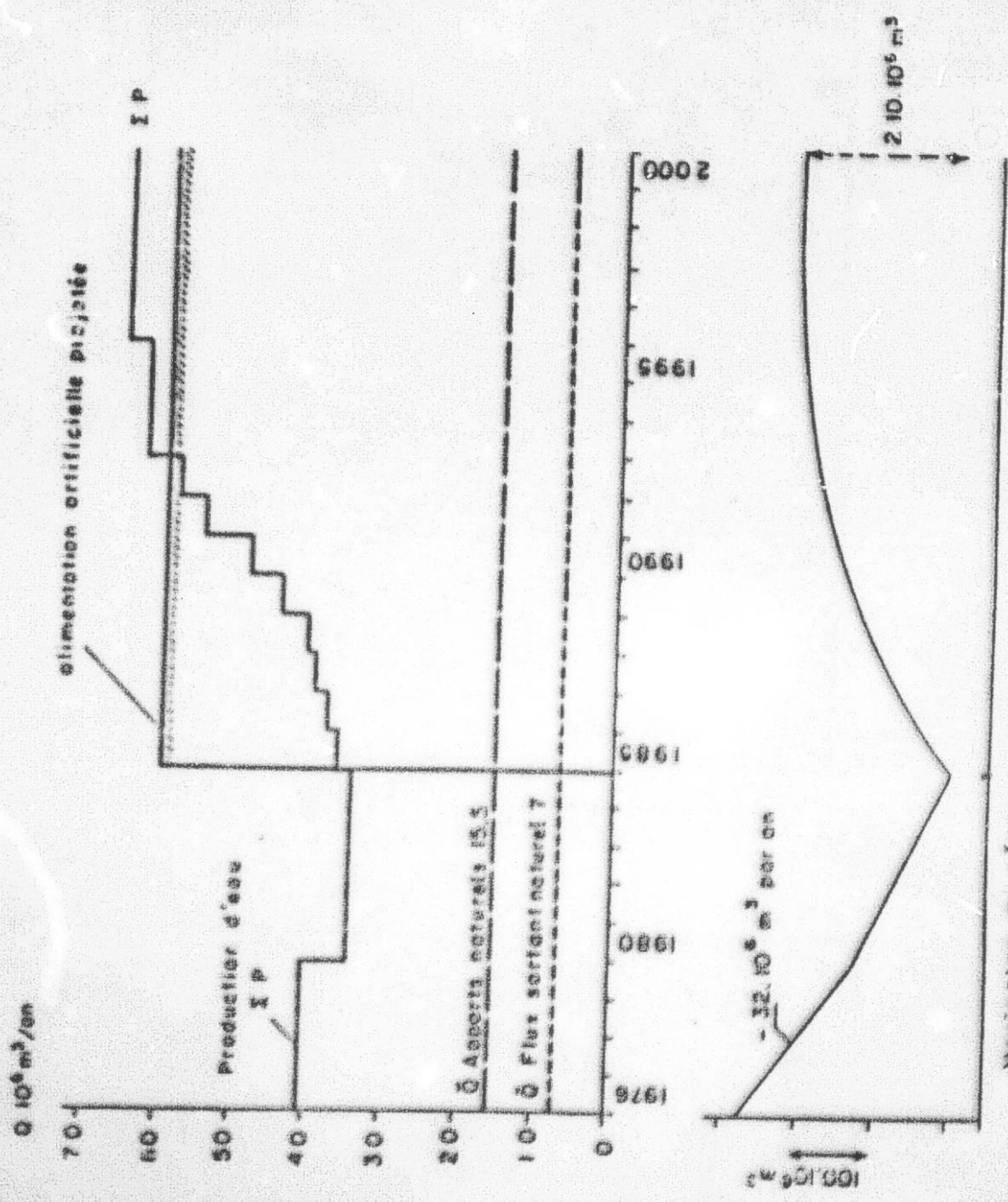
Cette configuration de la nappe a largement favorisé les créations de sondages particuliers (sans autorisation) qui arrivent à percer le toit de la nappe et à profiter de son jaillissement au point qu'en 10 ans plus de 600 sondages à bras ont été ainsi créés. Ces sondages exploitent plus de 2600 l/s.

Les ressources exploitables étant évaluées à 4500 l/s, elles étaient exploitées à raison de 3000 l/s au moment où le phénomène de sondages illicites s'est manifesté. Actuellement, l'exploitation légale de la nappe est de 4200 l/s auxquels s'ajoute le débit des puits illicites (2640 l/s).

Une des premières conséquences de cette surexploitation est la baisse piézométrique généralisée qui ne cesse de s'aggraver. Elle se traduit par une baisse et même en certains endroits, par la disparition de l'artésianisme.

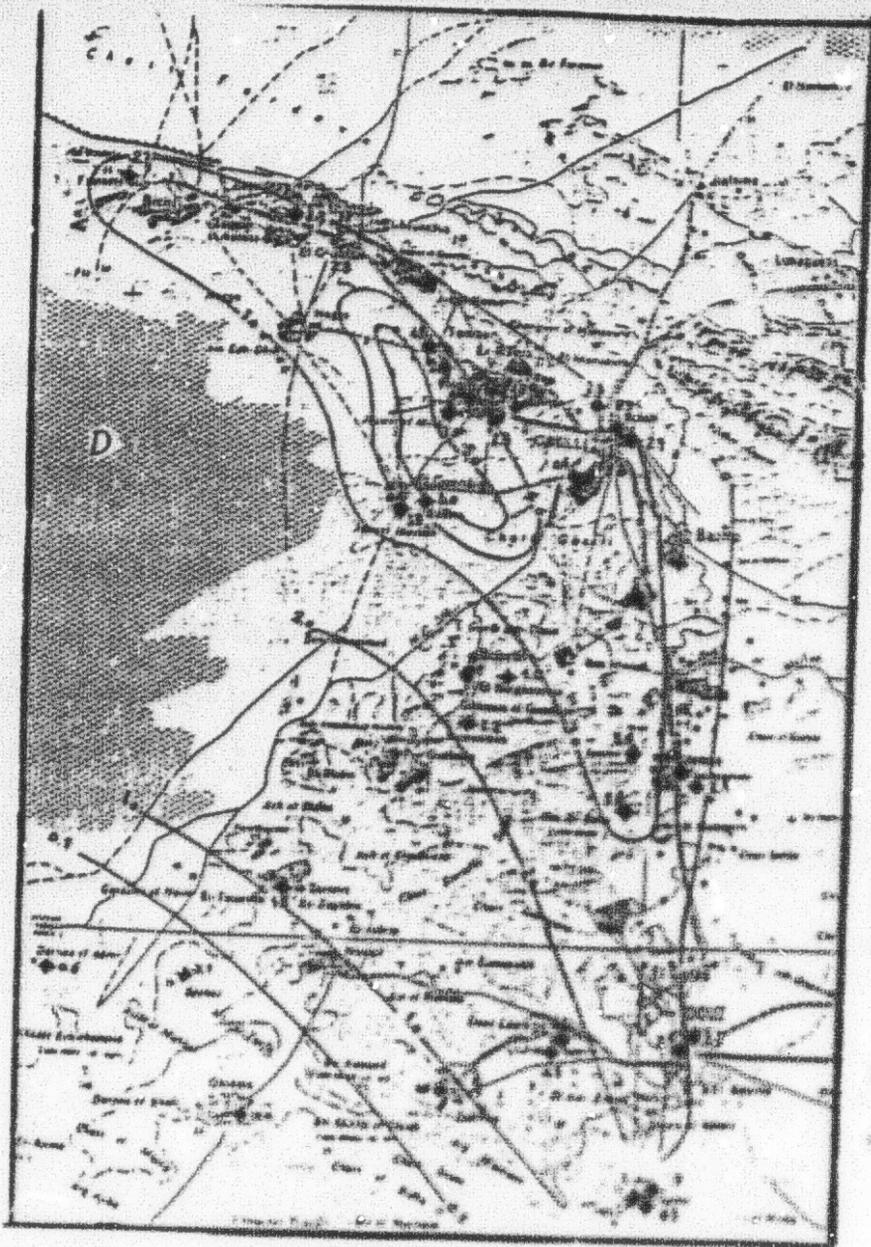
Ceci est particulièrement le cas dans la Presqu'île de Kébili où la baisse est la plus sensible et l'artésianisme est le plus faible. Cette zone est aussi très vulnérable à l'accroissement de la salinité. En effet, la proximité du Chott et les communications hydrogéologiques avec des niveaux aquifères sous-jacents plus salés favorisés par la tectonique sont à l'origine de l'augmentation de salinité qui y a été constatée (1,5 g/l entre 1975 et 1990).



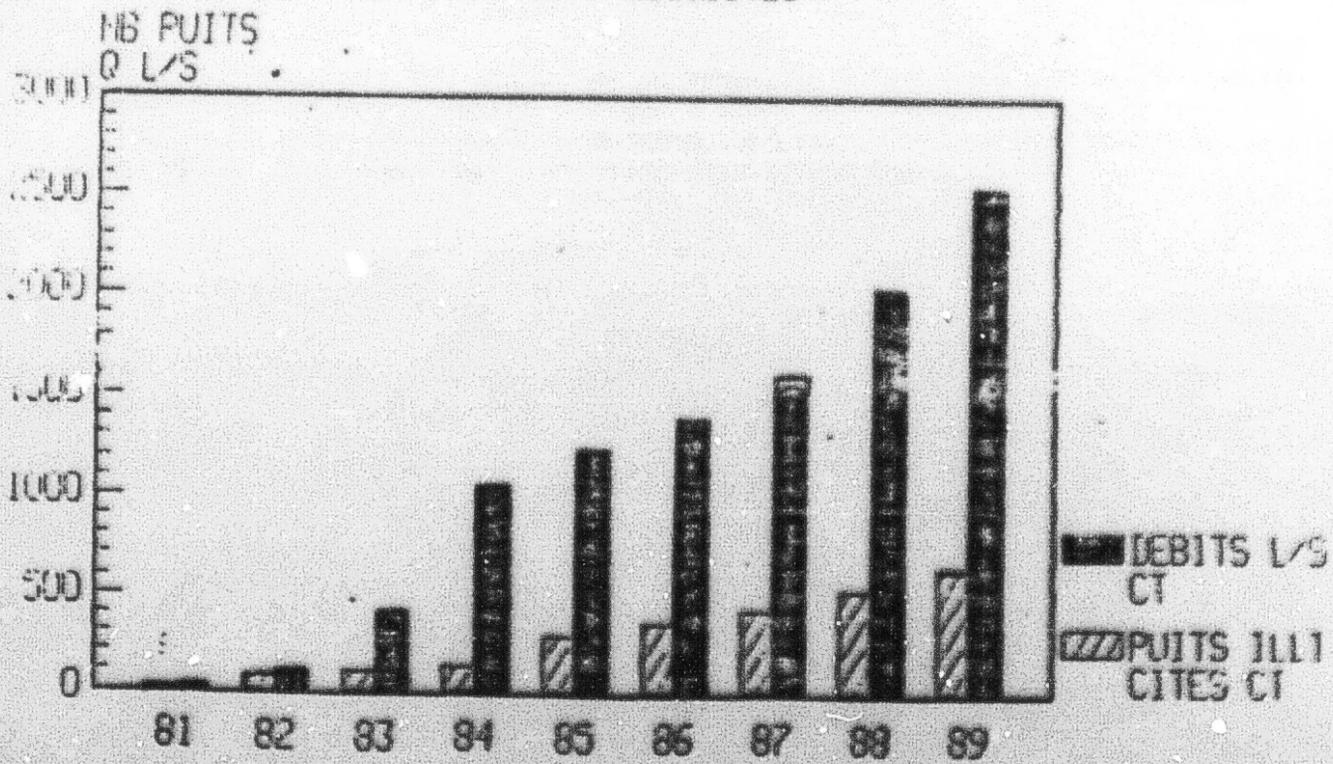


Variation de réserve projetée

QATAR-Nord - Projet de reconstitution de réserve à partir de 1985 par alimentation artificielle.



EVOLUTION DE L'EXPLOITATION DE LA MAPPE
ET PAR PUIITS ILLICITES



3-5 Cas de la rivière artificielle "Libyenne" :

3-5-1-Projet d'el Kufra :

Exemple d'exploitation des réserves d'un aquifère captif en zone aride, sans phase de rééquilibre finale en perspective (cas de l'aquifère des grès de Nubie du bassin d'el Kufra en Libye qui est l'équivalent du Continental Intercalaire saharien).

D'une extension de l'ordre, de 250.000 km², l'aquifère des grès de Nubie d'el Kufra reçoit une alimentation actuelle qui est estimée à quelques millions de m³/an. La puissance de l'aquifère est de l'ordre de 800 à 1000 m. La production en eau projetée est estimée à 220.10⁶ m³/an par environ 160 forages d'une profondeur de l'ordre de 240 à 350 m. Les forages seront espacés d'environ, 1100 m.

Cette production prévue pour 50 ans, conduira au destockage de près de 11.10⁹ m³, ce qui aura pour conséquence, des rabattements finaux de 50 à 130 m (NP dans les forages est initialement de -70 à -150 m).

Toutefois, une surestimation initiale de l'emmagasinement du réservoir (quasi libre dans sa partie supérieure) a conduit à sous évaluer les rabattements prévus. Les rabattements réels se sont révélés deux fois plus importants ce qui a contraint à réviser le plan d'investissement (coût total doublé) et les calculs de rentabilité du projet (irrigation de 15500 ha débuté en 1968-71).

Cet exemple illustre bien la relativité de la ressource (ici non renouvelable) offerte par un aquifère très étendu à la localisation de l'utilisation de l'eau.

3-5-1 Projet d'e Sarir et Tazerbou :

Production d'eau pour la zone côtière (Ajadiah, Dj el Akhdar et Syrte).

La production prévue à partir des champs d'es Sarir de Tazerbou est de l'ordre de 270.10⁶ m³/an à partir de 251 forages. Elle est conçue pour 50 ans dans le but d'irriguer 75000 ha.

Une des premières conséquences de cette mobilisation massive d'une réserve en eau non renouvelable, est une baisse piézométrique généralisée est de l'ordre de 7 m en 5 ans (1,4m/an).

A la lumière des premières observations, il s'est avéré qu'il est possible de produire 2.10⁶ m³/j à partir de ces deux champs pour une baisse finale de l'ordre de 100 m (2 m/an) ramenant ainsi le niveau de la nappe entre -140 et -180 m au bout de 50 ans. Ceci rendra l'exploitation non économique à terme.

A. MAMOU

FIN

40

VUES