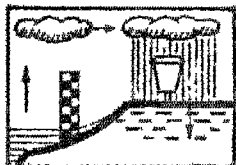


OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Service Hydrologique

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET  
DES AMÉNAGEMENTS RURAUX  
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE  
TUNISIE

ETUDE HYDROLOGIQUE POUR L'AMENAGEMENT  
DES EAUX DU NORD DE LA TUNISIE



P8  
DOS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

BUREAU CENTRAL HYDROLOGIQUE - PARIS



43803

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

-----  
Service Hydrologique

DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DES  
AMENAGEMENTS RURAUX

-----  
Ministère de l'Agriculture

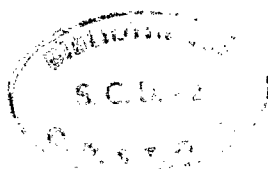
-  
TUNISIE

ETUDE HYDROLOGIQUE POUR L'AMENAGEMENT  
DES EAUX DU NORD DE LA TUNISIE

Par  
H. DOSSEUR

D8  
DOS

30 AOUT 1976



Avril 1974

13803

## S O M M A I R E

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	
<u>I - LE PROJET TUNISIEN</u>	3
1. <u>L'EAU POTABLE</u>	3
2. <u>LES IRRIGATIONS</u>	4
<u>II - MODELE DE SIMULATION</u>	7
1. <u>LE SCHEMA TOPOLOGIQUE</u>	7
1.1. Elaboration	7
1.2. Description	8
1.3. Exemple	9
2. <u>LE MODELE EAUTUN 1</u>	9
2.1. La version EAUTUN 1 proprement dite	10
2.2. La version EAUTUN 1A	10
3. <u>FONCTIONNEMENT SIMULE</u>	10
3.1. Organisation générale	11
3.1.1. Lecture des données	11
3.1.2. Boucle centrale	12
3.1.3. Sortie des résultats	12
3.1.4. Sous-programmes	13
3.2. Procédures de calcul	13
3.2.1. Initialisation	13
3.2.2. Exploitation des aménagements	14
3.2.3. Satisfaction des demandes pour l'irrigation	14
3.2.4. Restriction des demandes pour l'irrigation	15
3.2.5. Fonctionnement des nappes souterraines	16
3.2.6. Fonctionnement des périmètres irrigués	16
3.2.7. Calcul des apports réels et des utilisations sur chaque retenue	16
3.2.8. Calcul des salures	17
3.2.9. Sursalure dans SIDI SALEM	17
3.2.10 Demande en eau potable	18
<u>III - PREPARATION DES DONNEES</u>	21
1. <u>DONNEES HYDROLOGIQUES</u>	21
1.1. Apports en eau	21
1.1.1. Données disponibles	21
1.1.2. Homogénéisation des données de base	22
1.1.3. Calcul des apports en eau sur les unités hydrauliques	22

	2.
	Pages
1.2. Concentrations en sel	24
1.2.1. Données disponibles	24
1.2.2. Homogénéisation des données de base	24
1.2.3. Calcul des concentrations en sel sur les unités hydrauliques	27
1.3. Contrôle et réajustement des données hydrologiques	27
2. <u>AUTRES DONNEES</u>	28
2.1. Evaporation	28
2.2. Caractéristiques des réservoirs	29
2.2.1. Courbe de remplissage	29
2.2.2. Limites de fonctionnement	29
2.3. Programmes de demandes	29
2.4. Volumes d'alerte mensuels	29
2.5. Caractéristiques des nappes	30
2.5.1. Nappes de GHARDIMAOU et SIDI MESKINE	30
2.5.2. Nappe de BAJER	30
2.6. Coefficients de colatures	30
2.7. Données relatives à la sursalure dans SIDI SALEM	30
2.7.1. Longueur des berges triasiques soumises au batillage en fonction de la cote du plan d'eau	30
2.7.2. Capacité de la "réserve souterraine" des berges	34
IV - <u>EXPLOITATION DU MODELE</u>	35
1. <u>SATISFACTION DES DEMANDES POUR L'IRRIGATION</u>	35
2. <u>ESTIMATION DES FOURNITURES MAXIMALES POSSIBLES A PARTIR DE SIDI SALEM</u>	39
3. <u>EFFET DE SURSALURE DANS LA RETENUE DE SIDI SALEM</u>	39
4. <u>SATISFACTION DES BESOINS EN EAU POTABLE</u>	46
4.1. Prélèvement pour l'eau potable à EL AROUSSIA (eau stockée à SIDI SALEM)	46
4.2. Satisfaction des besoins en eau potable	48

L'analyse du Plan Directeur des eaux du Nord de la TUNISIE effectuée en 1969 par ITALCONSULT\* pour le compte de la B I R D et du Gouvernement Tunisien, a mis en évidence la nécessité d'entreprendre le réexamen d'un certain nombre de problèmes dont la connaissance paraissait insuffisante et exigeait un complément d'étude.

Parmi ces problèmes celui de la salinité des eaux, distribuées à des fins d'eau potable ou d'irrigation, apparaissait comme l'un des plus importants par ses conséquences directes sur le choix des schémas possibles et sur la rentabilité de l'ensemble du projet.

Or à cette époque, les premières solutions envisagées reposaient sur des estimations moyennes très hypothétiques concernant la qualité des eaux. En outre, ces estimations ne prenaient pas en compte l'incidence des modes d'exploitation de l'ensemble des aménagements hydrauliques prévus sur la salure effective des eaux prélevées.

L'Administration Tunisienne (Direction de l'Hydraulique et des Aménagements ruraux) a donc chargé l'ORSTOM de reprendre l'estimation la plus rigoureuse possible de la salure des eaux qui seront stockées dans la retenue de SIDI SALEM (réservoir principal du projet d'aménagement) et distribuées à l'aval de la prise d'EL AROUSSIA.

Compte tenu de la complexité des schémas prévus et de la nécessité d'opérer à un pas de temps mensuel en raison de la forte modulation saisonnière des salures observées, on ne pouvait envisager qu'une étude par exploitation fictive à l'aide d'un modèle mathématique de simulation.

En réalité, les nombreux problèmes qui allaient se poser aux projecteurs ne pouvaient être résolus que dans le cadre d'un modèle général prenant en compte la totalité des solutions possibles envisagées par le plan directeur pour assurer la satisfaction des besoins en eau de l'ensemble du Nord de la TUNISIE.

Cependant, à la demande de l'Administration Tunisienne soucieuse d'obtenir des résultats susceptibles de répondre très rapidement aux objectifs de la première phase du Plan, nous avons conçu un premier modèle simplifié (modèle EAUTUN 1) dont l'emprise géographique est limitée aux aménagements situés en amont d'EL AROUSSIA et dans lequel on considère de façon globale l'ensemble des demandes provenant de l'aval de cette retenue.

Ensuite ce programme EAUTUN 1 a fait l'objet d'une version plus élaborée (modèle EAUTUN 1 A) qui permet d'examiner de façon détaillée le problème primordial de la satisfaction des besoins en eau potable de la région de TUNIS et du CAP BON.

En accord avec l'Administration Tunisienne, nous envisageons dans une étape ultérieure l'extension géographique du modèle avec la prise en compte des ouvrages hydrauliques prévus dans la région de l'ICHKEUL et des installations de dessalement de l'eau de mer et de traitement des eaux usées.

---

\* Etude du Plan Directeur des eaux du Nord de la TUNISIE - Rapport général ITALCONSULT - ROME, Juillet 1970 -

Les moyens de calcul automatique disponibles à TUNIS ne permettaient pas de réaliser sur place une telle opération qui nécessitait l'utilisation d'un ordinateur puissant à très grande capacité de mémoire.

L'étude a donc été effectuée à PARIS par le Service Central Hydrologique de l'ORSTOM qui utilise les moyens de calcul d'un ensemble IBM 370/168.

Par contre, l'introduction dans le modèle des données hydrologiques indispensables n'était possible que grâce à la participation de la Direction des Ressources en Eau et en Sol (D.R.E.S.) dont la Division Ressources en Eau assure la gestion du réseau hydrométrique tunisien et l'élaboration des données de base.

Dès à présent, il convient de signaler l'importance capitale que revêt ce travail considérable du recueil, de la critique et de la mise en forme d'une information hydrologique continue et de bonne qualité de laquelle dépend entièrement le crédit que l'on peut accorder aux résultats d'une telle étude.

Cette note reprend sous une forme synthétique la description des méthodes utilisées et l'analyse des principaux résultats acquis en 1973 qui ont fait l'objet de cinq notes techniques détaillées :

- Utilisation des Eaux du Nord de la TUNISIE - ORSTOM - Bureau Central Hydrologique (PARIS - 1973 -)

- Note A : Schéma topologique,
- Note B : Modèle de simulation EAUTUN 1,
- Note C : Préparation des données hydrologiques,
- Note D : Exploitation du modèle de simulation EAUTUN 1,
- Note E : Besoins en eau potable - Modèle de simulation EAUTUN 1 A -

# UTILISATION DES EAUX DU NORD DE LA TUNISIE

Fig. 1

17 N° d'unité hydraulique

Station de jaugeage

Barrage construit

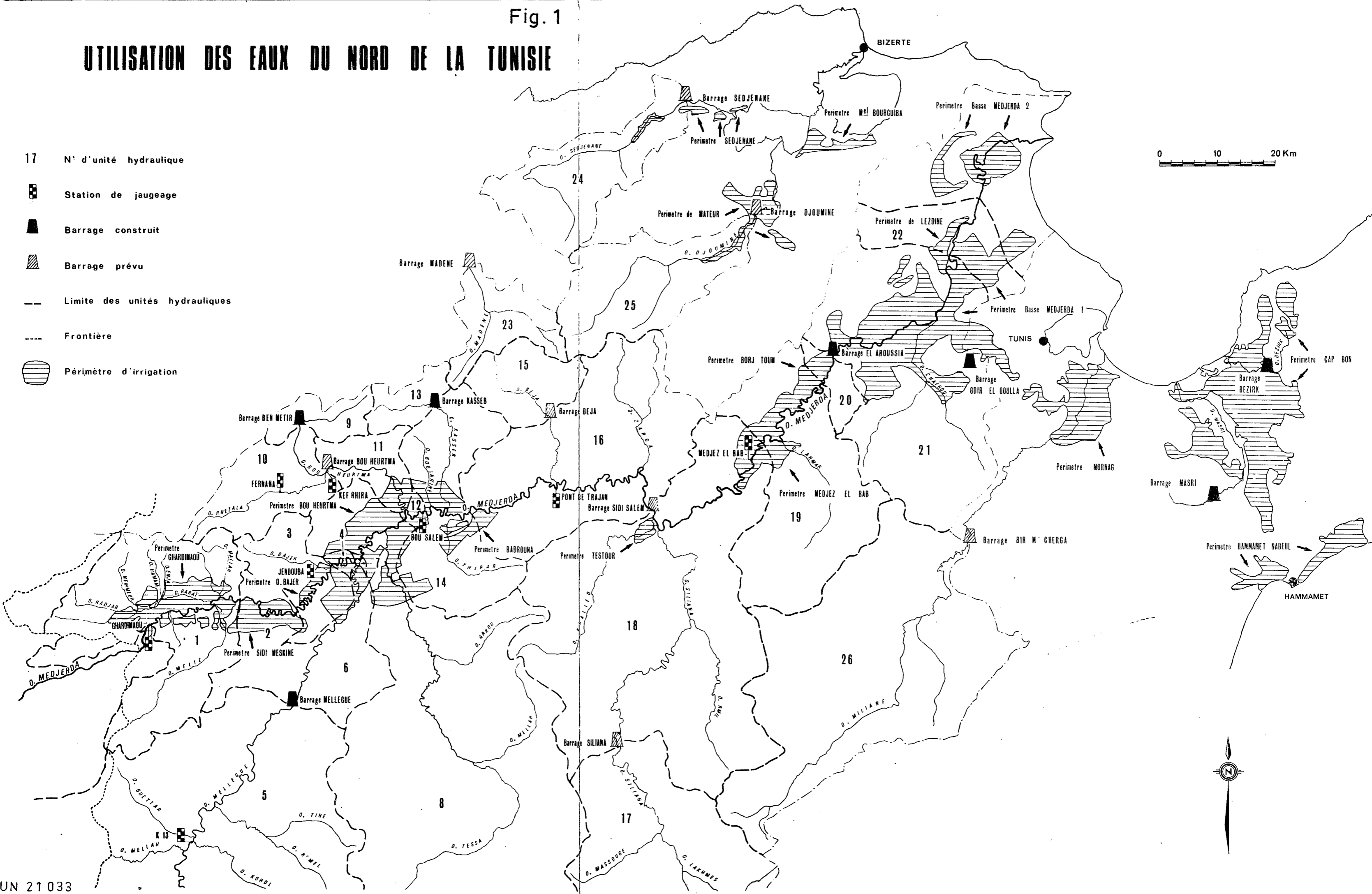
Barrage prévu

Limite des unités hydrauliques

Frontière

Périmètre d'irrigation

0 10 20 Km



I - LE PROJET TUNISIEN

Les études fondamentales effectuées par les Autorités Tunisiennes ont rapidement montré la nécessité d'un Plan Directeur des Eaux qui constitue l'élément de base du projet tunisien.

Ce projet est destiné à subvenir à un accroissement futur des besoins en eau potable (utilisations domestiques, industrielles, publiques et administratives) des grandes villes du Nord de la TUNISIE par un ensemble de travaux le moins onéreux possible et fournissant, en même temps, la possibilité d'utiliser les eaux excédentaires pour l'irrigation tout en s'efforçant de rendre optimal le taux de rendement de l'ensemble du système.

Il envisage donc la combinaison des utilisations des ressources en eau disponibles pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture ; c'est dire que les réalisations prévues joueront un rôle considérable dans le développement économique de la TUNISIE.

Nous examinerons très sommairement ce projet afin de situer notre travail dans le cadre des études en cours de réalisation.

1. L'EAU POTABLE :

Actuellement l'agglomération de TUNIS et de sa banlieue est fournie en eau potable à partir de deux sources d'alimentation :

- les adductions du sud alimentées par les eaux souterraines des nappes de la région de KEBIR et de DJOUGGAR dont les disponibilités moyennes sont estimées à  $12.10^6$  m<sup>3</sup> par an,
- l'adduction du nord venant de la retenue de BEN METIR (sur l'oued EL LIL). Cette conduite qui assure en outre le service le long de son parcours, doit être doublée en 1974 par une conduite provenant de la retenue du KASSEB. Ces eaux provenant du nord sont stockées à proximité de TUNIS dans le petit réservoir de GDIR EL GOULLA avant d'être traitées et distribuées.

Les possibilités globales de ces ressources en eau potable sont estimées à environ  $85.10^6$  m<sup>3</sup>/an.

La zone du CAP BON est actuellement alimentée à partir de ressources souterraines locales (HAMMAMET - NABEUL, SOLIMAN, KORBA) qui sont estimées à  $5.10^6$  m<sup>3</sup>/an et dont l'exploitation est peu susceptible d'être améliorée.

Dans une récente étude\* ITALCONSULT a estimé jusqu'à l'horizon 2 000 les besoins globaux en eau potable pour la zone de TUNIS et agglomérations desservies en route et la zone du CAP BON en tenant compte de l'évolution prévisible des consommations ménagère, publique, industrielle et touristique ainsi que des pertes sur le réseau.

\* Plan Directeur Hydroagricole de la TUNISIE du Nord - La demande et l'alimentation en eau potable - ITALCONSULT - ROME, Octobre 1972 -



Ces besoins sont les suivants :

Année	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Besoins ( $10^6$ m <sup>3</sup> )	74.46	107.50	134.31	178.75	207.26	248.24

Compte tenu de ces estimations, les ressources actuelles estimées à  $90.10^6$  m<sup>3</sup> peuvent suffire jusqu'à l'horizon 1978.

Ensuite, pour subvenir à l'accroissement de la demande, différents schémas hydriques ont été élaborés en faisant appel à de nouvelles sources d'eau possibles, à savoir :

- les ressources du bassin de la MEDJERDA avec  
le barrage de SIDI SALEM sur la MEDJERDA,  
le barrage de BOU HEURTMA sur l'oued BOU HEURTMA,
- les ressources de l'ICHKEUL avec  
le barrage de SEDJENANE sur l'oued SEDJENANE,  
le barrage de DJOUMINE sur l'oued DJOUMINE,  
le barrage de MADENE sur l'oued MADENE,
- les eaux déssalées après traitement.

Parmi ces sources nouvelles, la retenue de SIDI SALEM est celle dont le coût d'investissement par m<sup>3</sup> d'eau est le plus bas ; en outre parmi les barrages prévus il est celui qui est le plus proche de TUNIS ; par contre, il est alimenté par des eaux dont la salure est beaucoup plus élevée que celle des eaux du nord.

Le choix et la programmation de l'ordre d'appel à l'une ou l'autre de ces sources potentielles conduisent à plusieurs variantes de schémas hydriques dont il s'agira de comparer la validité tant sur le plan technique (efficacité à satisfaire les besoins en quantité et qualité) que sur le plan économique (possibilités de développement régional) et financier (rentabilité).

## 2. LES IRRIGATIONS :

A chacune de ces variantes correspondent des possibilités d'irrigation différentes qui dépendent des quantités et de la qualité des eaux restant disponibles après usage pour l'eau potable.

Le projet tunisien doit permettre un développement graduel de l'irrigation dans la basse vallée de la MEDJERDA (plan minimal de 33 000 ha) ainsi que sur les périmètres du MORNAG, du TESTOUR et du CAP BON en accordant la priorité à la sauvegarde des agrumes existant dans la région du CAP BON (environ 6 000 ha) (figure 1).

En plus des agrumes, les cultures envisagées sont les autres arbres fruitiers, les cultures maraîchères, les céréales et fourrages.

L'ensemble des terres disponibles pouvant être irriguées d'ici l'an 2000 représentent environ 44 000 hectares répartis de la façon suivante :

BASSE MEDJERDA 1 et 2, LESDINE	12 350 ha,
MORNAG	8 808 ha,
CAP BON	22 522 ha.

A ces périmètres, il faut ajouter les surfaces irrigables de la région du lac ICHKEUL (périmètres de SEDJENANE et DOUIMISS, MATEUR, MENZEL-BOURGUIBA) dont l'irrigation est partiellement ou totalement envisagée selon le schéma retenu, à partir des réservoirs de SEDJENANE et de DJOUMINE.

Enfin, il faut prendre en considération un certain nombre de projets déjà programmés ou en cours de réalisation sur la haute et moyenne MEDJERDA qui concernent la région du Plan Directeur et ont donc une influence sur celui-ci.

Il s'agit essentiellement des projets d'irrigation de la région de DJENDOUBA-BOU SALEM (périmètres I à VI du BOU-HEURTMA, de SIDI MESKINE et de l'oued BAJER) et du projet de GHARDIMAOU.

Les projets de GHARDIMAOU et de SIDI MESKINE utilisent à la fois les eaux souterraines de la nappe alluviale de la MEDJERDA et les apports directs pompés dans le fleuve (GHARDIMAOU) ou provenant de la retenue du MELLEQUE (SIDI MESKINE).

Pour les périmètres du BOU HEURTMA, il est prévu un système complexe d'alimentation à partir du MELLEQUE du BOU-HEURTMA et de la MEDJERDA. Au total ces projets doivent permettre en l'an 2000 de valoriser par irrigation environ 41 500 hectares dont la répartition est donnée dans le tableau 1 :

Tableau 1

Projet d'irrigation des terres disponibles sur la Haute et Moyenne MEDJERDA (Horizon 2000)			
Périmètre	Superficie (ha)	Périmètre	Superficie (ha)
GHARDIMAOU	5 200	BOU HEURTMA I, II, IV	10 382
SIDI MESKINE	3 400	BADROUNA	3 200
BAJER	1 500	TESTOUR	354
BOU HEURTMA III et V	8 295	MEDJEZ EL BAB	3 346
BOU HEURTMA VI	2 600	BORJ TOUM	3 284



## II - LE MODELE DE SIMULATION

Le modèle EAUTUN 1 effectue le fonctionnement simulé de l'ensemble des ouvrages hydrauliques prévus dans le cadre du Plan Directeur, mais n'intéressant que le système hydrologique du bassin de la MEDJERDA limité à EL AROUSSIA.

Comme nous l'avons déjà signalé, ce modèle a été conçu pour répondre immédiatement au problème de l'estimation correcte des salinités aux différents points de prélèvements et plus particulièrement dans la retenue de SIDI SALEM et à la prise d'EL AROUSSIA.

### 1. LE SCHEMA TOPOLOGIQUE :

#### 1.1. Elaboration :

Pour la construction du modèle nous avons pris en considération toutes les suggestions émises par le maître d'oeuvre et par ses consultants, ce qui nous a permis d'élaborer un schéma topologique général (figure 2). Ce schéma est la représentation synoptique du système hydrologique, constitué par les rivières et leurs bassins versants, et de tous les éléments existants ou envisageables du projet d'aménagement.

Pour des raisons d'efficacité dans la phase d'exploitation du modèle, il est nécessaire qu'un tel schéma soit aussi complet que possible dès sa conception originale. Il s'avère en effet beaucoup plus facile d'opérer par la suite la suppression provisoire ou définitive d'un élément du modèle que de lui en adjoindre un nouveau.

Avant d'établir ce schéma topologique, nous avons procédé à la localisation géographique de ses principaux éléments constitutifs :

- les bassins hydrologiques intéressés (MEDJERDA, ICHKEUL, MILIANE, MADENE),
- les autres sources d'eau (déssalement de l'eau de mer, traitement des eaux usées),
- les utilisations d'eau potable (TUNIS, CAP BON),
- les périmètres d'irrigation,
- les retenues et réservoirs envisageables,
- les points de prélèvements par pompage,
- les systèmes de transferts artificiels (conduits, canaux),
- les centrales hydroélectriques.

Cette localisation conduit à un découpage géographique en unités hydrauliques dont on trouve la représentation sur la figure 1.

Ce découpage est effectué de telle façon qu'à l'échelle du mois on puisse opérer sur chacune des unités un bilan hydraulique global des entrées et des sorties. Ainsi, pour l'ensemble du projet, nous avons obtenu 26 unités (ou secteurs) numérotées de 1 à 26. On constate que certaines de ces unités ont une superficie pratiquement nulle ; il s'agit en fait d'unités fictives créées pour rendre compte de certaines particularités du fonctionnement hydraulique comme par exemple les unités 4 et 7 qui matérialisent les deux possibilités dont on dispose pour satisfaire la demande D<sup>4</sup> (périmètres du BOU HEURTMA III et V) par pompage dans la MEDJERDA soit à l'amont, soit à l'aval du confluent du MELLEGUE.

La figure 2 donne la représentation conventionnelle du schéma topologique général tel qu'il pouvait être défini au début de notre étude. Compte tenu de la demande de l'Administration de procéder dans un premier temps à l'élaboration d'un modèle simplifié, nous avons repris ce schéma en limitant l'extension géographique des sources d'eau disponibles au seul bassin de la MEDJERDA à EL AROUSSIA et en simplifiant certains processus de prélèvements (par exemple des prélèvements à l'aval ou à l'amont d'un confluent, ramenés à un prélèvement unique à l'aval). Ceci nous conduit au schéma topologique du modèle EAUTUN 1, dont on trouvera sur la figure 3 la forme la plus complète correspondant à la version EAUTUN 1 A (avec dispositif détaillé pour la satisfaction des besoins en eau potable).

## 1.2. Description :

Nous n'entrerons pas dans le détail du schéma topologique\* pour lequel nous nous contenterons de donner quelques explications qui en faciliteront la compréhension :





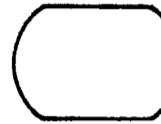







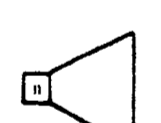

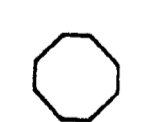

- on retrouve sur ce schéma les unités hydrauliques qui résultent du découpage géographique. Chaque unité est délimitée par un point et comporte son numéro d'identification,
- on a distingué les écoulements dans les cours d'eau (réseau naturel représenté par des traits pleins fléchés) des écoulements dans les circuits d'utilisation (pointillés fléchés) et des transferts artificiels par conduites ou canaux (doubles pointillés),
- les apports naturels portent le numéro n de l'unité qu'ils reçoivent. On a distingué les apports provenant d'une tête de bassin (symbole An) de ceux provenant d'un bassin partiel ou intermédiaire (symbole ACn),
- les aires d'utilisation sont caractérisées par leur demande qui sont symbolisées par Dj, j étant l'indicatif de l'aire d'utilisation. Dans le modèle simplifié EAUTUN 1, on a regroupé la totalité des demandes pour l'irrigation à l'aval d'EL AROUSSIA en une seule demande symbolisée par DAR,
- les barrages réservoirs sont affectés du numéro d'identification de l'unité à laquelle ils appartiennent. Les réservoirs qui n'ont pas d'alimentation naturelle sont identifiés par le symbole Rm (SAÏDA, GDIR EL GOULLA),
- les usines hydroélectriques ne figurent sur le schéma qu'à titre indicatif, car elles ne sont pas prises en considération dans le modèle simplifié,

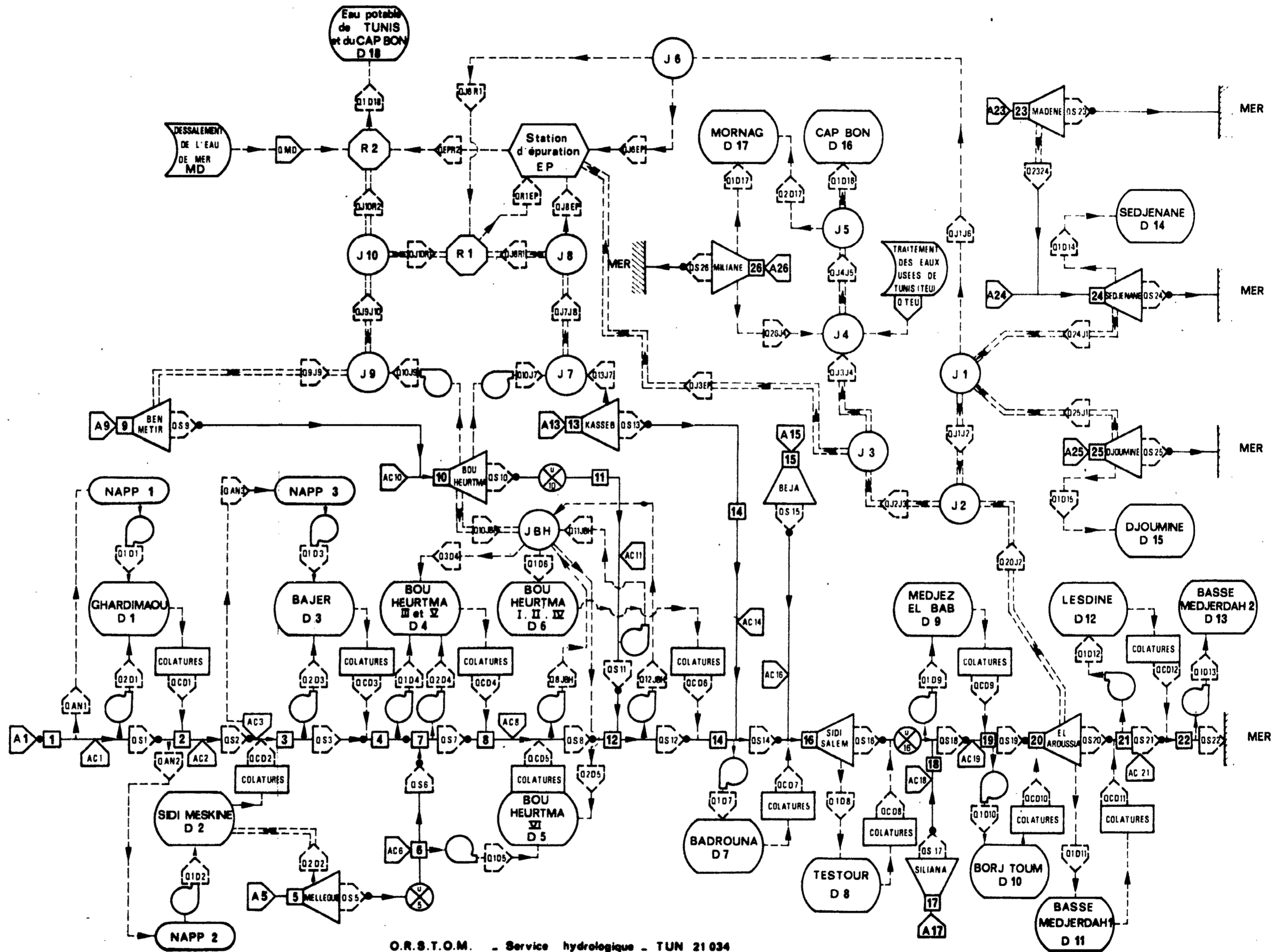
---

\* voir "Utilisation des Eaux du Nord de la TUNISIE" Note A - Schéma topologique - Janvier 1973 -

Fig. 2 - AMENAGEMENT DES EAUX DU NORD DE LA TUNISIE

Schéma topologique générale

-  Apport naturel en tête de bassin dans l'unité n
-  Simple transfert d'eau (par exemple avec QSn débit de sortie de l'unité n.)
-  Numéro de l'unité hydraulique
-  Nappe souterraine
-  Zone d'utilisation
-  Colatures
-  Jonction (ou éventuellement dispatching)
-  Station d'épuration pour la production d'eau potable
-  Dispositif de pompage
-  Apport naturel du bassin versant intermédiaire relatif à l'unité n.
-  Transfert vers une zone d'utilisation (sortie définitive du système des unités hydrauliques)
-  Délimitation des unités hydrauliques
-  Barrage - Réservoir
-  Système de fourniture d'eau par des moyens artificiels
-  Réservoir sans alimentation naturelle (non incorporé à une unité hydraulique)
-  Usine hydroélectrique à l'aval immédiat de l'unité n



Cette mire doit être lisible dans son intégralité  
 Pour A0 et A1: ABERPFTHLJDOCQVWVWNSZXKY  
 zsaocmvvnxirfkhdpggyjt 7142385690  
 Pour A2A3A4: ABERPFTHLJDOCQVWVWNSZXKY  
 zsaocmvvnxirfkhdpggyjt 7142385690

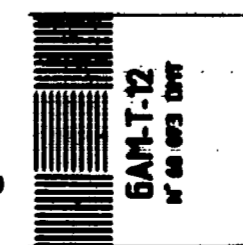
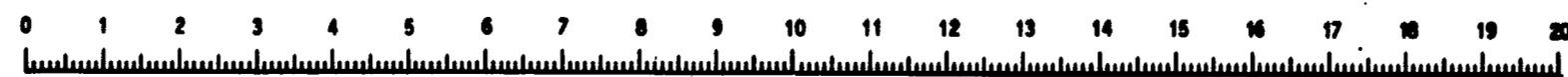







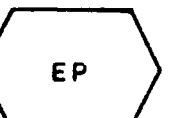





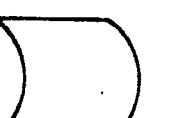


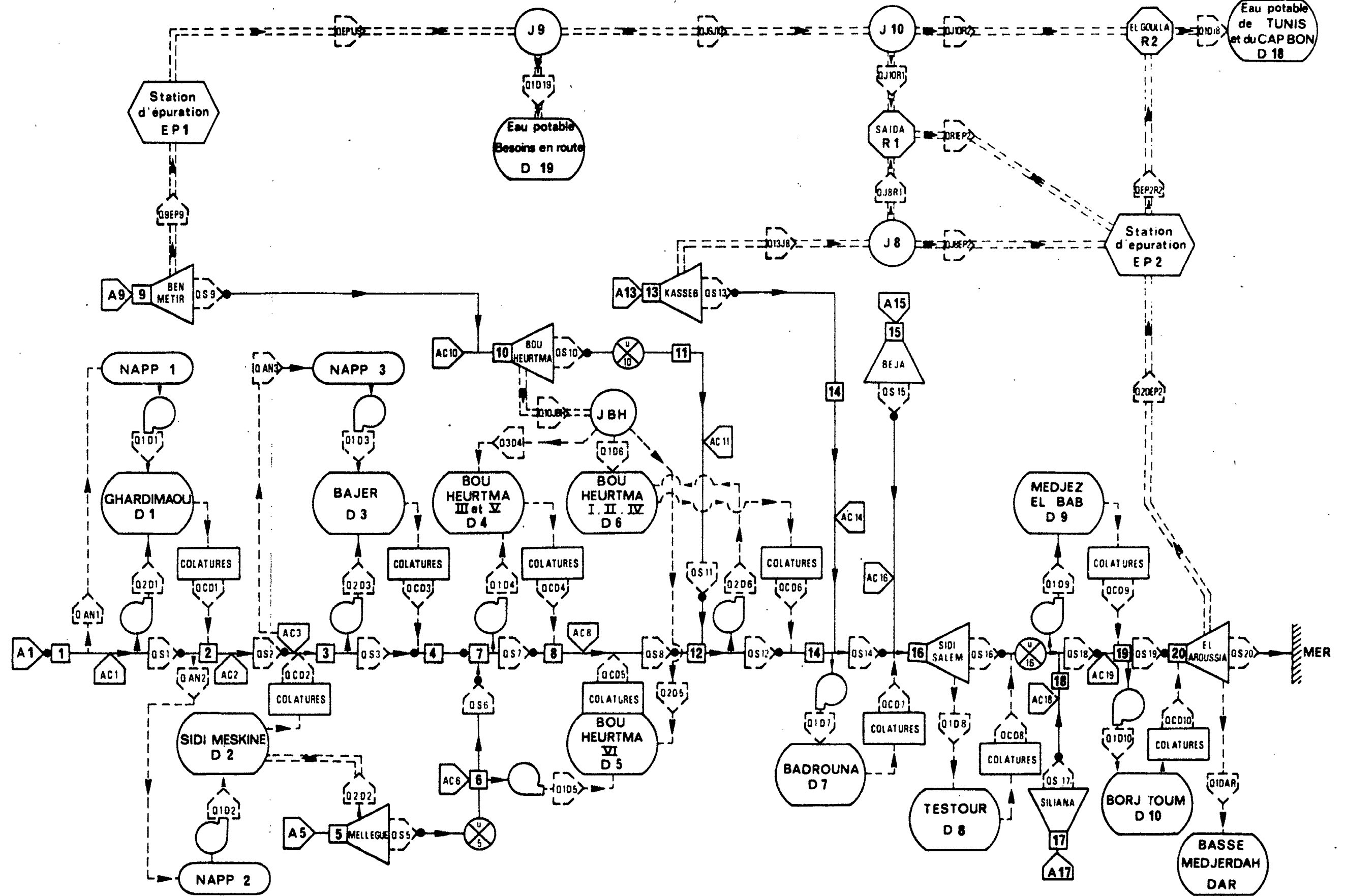


Fig. 3 - UTILISATION DES EAUX DU NORD DE LA TUNISIE

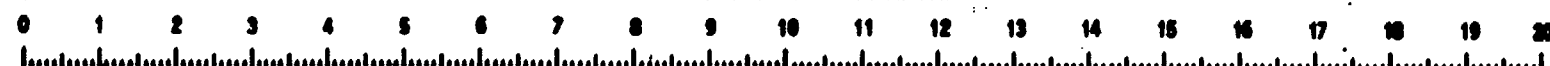
Schéma topologique Modèle EAUTUN 1A

-  Apport naturel en tête de bassin dans l'unité n.
-  Simple transfert d'eau (par exemple avec  $Q_{Sn}$  : débit de sortie de l'unité n)
-  Numéro de l'unité hydraulique
-  Nappe souterraine
-  Zone d'utilisation
-  Colatures
-  Jonction (ou éventuellement dispatching)
-  Station d'épuration pour la production d'eau potable
-  Dispositif de pompage
-  Apport naturel du bassin versant intermédiaire relatif à l'unité n
-  Transfert vers une zone d'utilisation (sortie définitive du système des unités hydrauliques)
-  Délimitation des unités hydrauliques
-  Barrage - Réservoir
-  Système de fourniture d'eau par des moyens artificiels
-  Réservoir sans alimentation naturelle (non incorporé à une unité hydraulique)
-  Usine hydroélectrique à l'aval immédiat de l'unité n



O.R.S.T.O.M. - Service Hydrologique - TUN 21026

Cette mise doit être utilisée sans son intégrité  
 Pour A0 et A1: ABERPPTLLDCCROUVVWNSZXY  
 zszocmuvvnr fkrhdpqj 1 7142385690  
 Pour A2A3A4: ABERPPTLLDCCROUVVWNSZXY  
 zszocmuvvnr fkrhdpqj 1 7142385690



- les transferts dans le réseau naturel (c'est-à-dire d'une unité hydraulique vers une autre) sont identifiés par  $QSn$ ,  $n$  étant le numéro de l'unité dont sort le débit transféré,
- les transferts artificiels par canaux ou conduites à l'intérieur du système sont symbolisés de la façon suivante :
  - de l'unité  $n$  vers la jonction  $Jk$  (confluence de transferts artificiels)  $QnJk$
  - de la jonction  $Jk$  vers la jonction  $Jp$   $QJkJp$
  - de la jonction  $Jk$  vers le réservoir  $Rm$   $QJkRm$
  - du réservoir  $Rm$  vers le réservoir  $Rs$   $QRmRs$
  - de la jonction  $Jk$  vers la station d'épuration  $EPn$   $QJkEPn$
- On a admis que les colatures relatives à une unité hydraulique  $i$  sont récupérées dans l'unité suivante  $i + 1$ . Les débits de colatures sont symbolisés par  $QCDj$ ,  $j$  étant l'indicatif de l'aire d'utilisation d'où proviennent les colatures,
- les transferts artificiels à l'extérieur du système sont constitués par les fournitures. Pour satisfaire une demande, il peut être fait appel à une ou plusieurs sources de prélèvements indicées de 1 à  $r$ . La fourniture est symbolisée par  $QsDj$ ,  $s$  étant l'indice de l'une des  $r$  sources utilisées pour satisfaire la demande  $Dj$ .

### 1.3. Exemple :

A titre d'exemple, nous pouvons décrire les opérations figurées symboliquement sur le schéma topologique pour l'unité hydraulique 2 (figure 3).

Cette unité reçoit les apports naturels  $AC 2$  de son bassin versant intermédiaire en plus des apports  $QS1$  (débit de sortie de l'unité 1) et  $QCD1$  (débits de colature de l'aire d'utilisation  $D1$ ).

Elle contribue à l'alimentation du périmètre de SIDI MESKINE (périmètre  $D2$ ). Pour ce périmètre, on envisage en effet à la fois une alimentation par canal à partir du réservoir du MELLEQUE (appartenant à l'unité 5) avec un débit  $Q2D2$  et une alimentation par pompage dans la nappe alluviale de la MEDJERDA (NAPP 2) avec un débit  $Q1D2$ . La réalimentation de cette nappe étant supposée se faire à partir de la rivière et des apports intermédiaires avec un débit  $QAN2$ .

Le bilan de ces opérations se solde par un débit de sortie  $QS2$  et un débit de colature  $QCD2$  qui est reporté sur l'unité 3.

## 2. LE MODELE EAUTUN 1 :

Il existe actuellement deux versions du modèle EAUTUN 1 :



2.1. La version EAUTUN 1 proprement dite conçue pour résoudre le problème de la salure des eaux stockées à SIDI SALEM et disponibles à EL AROUSSIA tout en calculant pour chaque aire d'utilisation située à l'amont la quantité et la qualité de l'eau fournie pour satisfaire les demandes pour l'irrigation.

Dans cette version, le problème de la satisfaction de la demande en eau potable a été simplifié en décomposant cette demande en trois demandes imposées :

- une demande à la retenue de BEN METIR (demande Q9J9),
- une demande à la retenue du KASSEB (demande Q13J7),
- une demande à EL AROUSSIA (c'est-à-dire en fait à la réserve de SIDI SALEM) qui est prise en compte dans la demande globale QDAR à cette retenue avec les autres demandes aval pour l'irrigation.

On admet donc dans ce modèle que, quelle que soit la salure des eaux stockées à SIDI SALEM, on peut demander à EL AROUSSIA une quantité bien déterminée d'eau qui sera mélangée aux eaux de meilleure qualité provenant des retenues de la Haute MEDJERDA (KASSEB et BEN METIR) pour être distribuée à des fins d'eau potable.

2.2. La version EAUTUN 1 A conçue pour examiner de façon plus précise le problème de la satisfaction de la demande en eau potable et qui tout en conservant totalement l'ossature du modèle EAUTUN 1 en est une version plus réaliste.

Dans ce modèle, la demande globale Q1D18 en eau potable pour TUNIS et le CAP BON est répartie sur les trois sources potentielles d'alimentation (BEN METIR, KASSEB et EL AROUSSIA) en tenant compte de la disponibilité et de la qualité des eaux stockées sur ces retenues. Ainsi, la quantité d'eau qui sera effectivement prélevée à EL AROUSSIA à des fins d'eau potable sera le maximum possible permettant d'obtenir, par mélange aux eaux disponibles sur BEN METIR et KASSEB, une eau dont la salure ne pourra excéder en aucun cas une valeur limite SLIM (qui, jusqu'à présent, a été fixée à 1 G/L).

En outre dans cette version EAUTUN 1 A, on prend en considération la capacité des systèmes de transfert par conduites ainsi que les réservoirs tampon de SAÏDA et de GDIR EL GOULLA situés à proximité de TUNIS.

### 3. FONCTIONNEMENT SIMULE :

Le modèle EAUTUN 1 fonctionne au pas de temps mensuel et correspond à la représentation mathématique du système d'aménagement décrit par le schéma topologique (caractéristiques et plan d'opération) dans lequel l'inventaire de la ressource est introduit sous forme de chroniques historiques préalablement constituées.

Il est écrit en langage FORTRAN IV.G. Nous en décrivons sommairement le mécanisme interne sans entrer dans le détail des algorithmes de calcul\* et en signalant les particularités de la version A.

---

\* Voir "Utilisation des Eaux du Nord de la TUNISIE" - Note B - "Modèle de Simulation EAUTUN 1" et Note E - "Besoins en eau potable" - "Modèle de Simulation EAUTUN 1 A" -

### 3.1. Organisation générale :

L'organigramme général du programme EAUTUN 1 (fig. 4) et de sa version A comporte trois parties générales :

- la lecture des données,
- la boucle centrale du fonctionnement simulé,
- la sortie des résultats.

#### 3.1.1. Lecture des données :

Elle commence par la lecture des paramètres de modalité permettant le choix des options d'exécution : nombre de séries à effectuer, prise en compte ou non de la sursalure à SIDI SALEM, mode de sortie des résultats ..

Elle se poursuit par les données fixes non susceptibles de varier pour les différentes séries d'essais au cours d'un même passage :

- données hydrologiques : apports mensuels en eau et concentrations en sel sur chaque unité hydraulique et pour la totalité de la période traitée. Ces données sont lues et contrôlées à l'aide du sous-programme LEC 1,
- évaporation sur les retenues : en raison de la variabilité interannuelle très faible des évaporations mensuelles par rapport à celle des apports en eau, nous avons adopté un seul schéma annuel pour chaque retenue,
- caractéristiques fixes des réservoirs :
  - . cote minimale absolue  $H_0$  (correspondant à un volume stocké nul),
  - . courbe de remplissage de la retenue dont les éléments sont introduits sous une forme adéquate grâce à un découpage préalable de la courbe en tronçons de paraboles (voir chapitre III, paragraphe 2.2.1.),
- données fixes relatives à la sursalure dans SIDI SALEM (voir chapitre II, paragraphe 3.2.9.) :
  - . courbe capacité-hauteur de la "réserve souterraine" correspondant à l'infiltration dans les berges, découpée au préalable en tronçons de paraboles,
  - . courbe des longueurs de berges triasiques baignées en fonction des cotes dans la retenue,
  - . taux de salure de l'eau restituée à la retenue par l'effet de "respiration des rives",
- données fixes relatives à la distribution de l'eau potable (version A) :
  - . capacité maximale de transport des conduites d'adduction,
  - . salure maximale limite SLIM autorisée pour la distribution d'eau potable,
  - . coefficient de répartition REP des prélèvements pour l'eau potable entre les retenues de BEN METIR et KASSEB.

Ensuite lecture des données propres à chaque série d'essais c'est-à-dire correspondant à un horizon bien déterminée :

- Il s'agit du programme des demandes pour l'horizon considéré, fixé par l'Administration Tunisienne (voir chapitre III, paragr. 2.3.).

Enfin lecture des données propres à chaque essai :

- volumes d'alerte définissant les critères de restriction sur les demandes pour l'irrigation,
- caractéristiques des nappes :
  - o coefficient d'alimentation,
  - o capacité maximale de la réserve,
  - o salinité,
- caractéristiques variables des retenues :
  - o cote maximale HMAX et volume correspondant VMAX,
  - o cote minimale HMIN et volume correspondant VMIN,
- paramètres de colatures pour les périmètres irrigués :
  - o coefficient de restitution du débit de colature,
  - o coefficient de restitution du sel.

### 3.1.2. Boucle centrale :

Elle comprend en fait deux boucles imbriquées : une boucle annuelle et une boucle mensuelle qui comprend les opérations de fonctionnement proprement dit du modèle :

- appel des données hydrologiques du mois,
- calcul des restrictions éventuelles sur les demandes,
- fonctionnement des aménagements en procédant sur chaque unité de l'amont vers l'aval avec calcul de la satisfaction des demandes, des lachûres, des utilisations, des déversements, des déficits, défaillances et détermination de l'état final des réservoirs,
- calcul de la salinité des fournitures et de l'eau stockée dans les différents réservoirs avec éventuellement prise en compte de la sursalure dans SIDI SALEM.

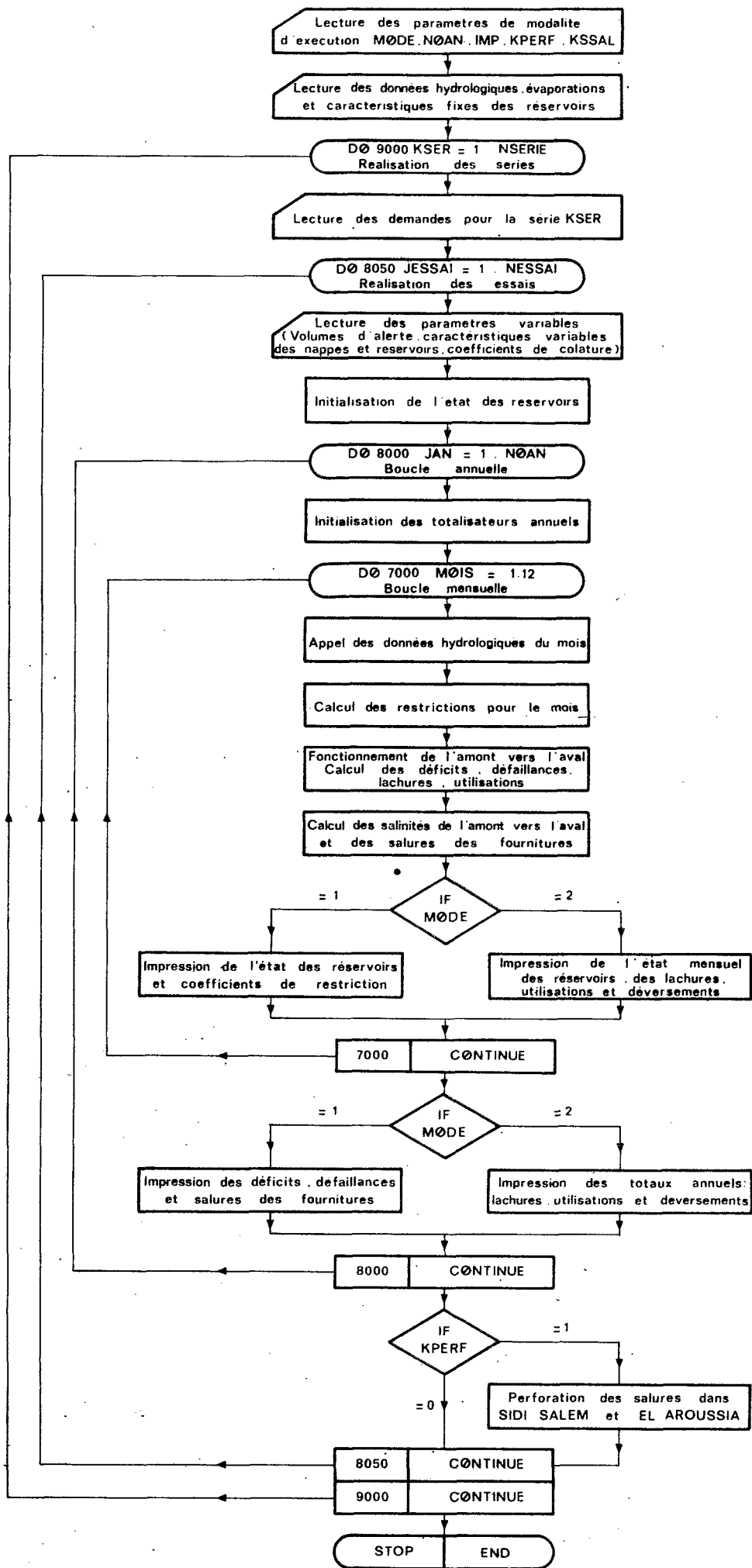
### 3.1.3. Sortie des résultats :

Le programme EAUTUN 1 permet trois options pour l'impression des résultats :

- Option 1 - Impression des tableaux annuels donnant l'état mensuel de la satisfaction des demandes et la salinité des fournitures,
- Option 2 - Impression des tableaux annuels donnant l'état mensuel des retenues,
- Option 3 - Ensemble des résultats obtenus par les options 1 et 2.

La version A fournit les tableaux annuels de l'état mensuel des réservoirs et de la satisfaction des demandes pour l'eau potable (voir exemple figure 5).

Pour les deux versions, on a également la possibilité de sortir sur cartes perforées les principaux résultats concernant les fournitures et la salinité des eaux stockées sur les retenues. Cette sortie sur cartes est très intéressante pour une éventuelle analyse statistique des résultats.



BESCINS EN EAU POTABLE DU NORD DE LA TUNISIE

HORIZON:1984 ESSAI: 3 ANNEE: 20

SIMULATION AVEC PRISE EN COMPTE DE LA SURSALURE A SIDI SALEM  
 HMAX SIDI SALEM: 100.M HMAX SAIDA: 85.M  
 PROGRAMME DES DEMANDES: 0

\*\*\*\*\*  
 \* ETAT MENSUEL DES RESERVOIRS (H EN METRES,V EN 1000 M3,S EN G/L) \* REPLESSAGE DE SAIDA \*  
 \* \* \* \* \*  
 \* SIDI SALEM \* EL ARCLUSSIA \* BEN METIR \* KASSEB \* SAIDA \* FOURNITURE A PARTIR \*  
 \* M \* \* \* \* \* DE \*  
 \* HFIN VFIN SFIN \* HFIN VFIN SFIN \* HFIN VFIN SFIN \* HFIN VFIN SFIN \* HFIN VFIN SFIN \* BEN METIR KASSEB \*  
 \* \* \* \* \*  
 \* 1 \* 98. 190147. 1.6 \* 37. 5050. 3.4 \* 421. 23495. 0.5 \* 272. 20158. 0.6 \* 65. 477. 0.7 \* 0. 0. \*  
 \* 2 \* 99. 214196. 1.2 \* 37. 5050. 1.5 \* 421. 23812. 0.5 \* 273. 21421. 0.5 \* 70. 1819. 0.6 \* 763. 596. \*  
 \* 3 \* 99. 220125. 1.3 \* 37. 5050. 1.4 \* 419. 21119. 0.5 \* 272. 18670. 0.5 \* 76. 4148. 0.6 \* 1107. 1239. \*  
 \* 4 \* 100. 224947. 1.0 \* 37. 5050. 1.1 \* 433. 52154. 0.5 \* 280. 38279. 0.5 \* 83. 8637. 0.5 \* 1867. 2631. \*  
 \* 5 \* 100. 226319. 1.1 \* 37. 5050. 1.9 \* 434. 53867. 0.5 \* 280. 38643. 0.5 \* 84. 10338. 0.5 \* 931. 798. \*  
 \* 6 \* 99. 214814. 1.3 \* 37. 5050. 1.3 \* 435. 55504. 0.5 \* 281. 40665. 0.5 \* 85. 11400. 0.5 \* 0. 1100. \*  
 \* 7 \* 99. 215046. 1.1 \* 37. 5050. 1.6 \* 434. 54960. 0.5 \* 283. 47740. 0.5 \* 85. 11400. 0.5 \* 0. 75. \*  
 \* 8 \* 99. 208856. 1.1 \* 37. 5050. 1.7 \* 434. 54077. 0.5 \* 283. 46687. 0.5 \* 85. 11400. 0.5 \* 0. 114. \*  
 \* 9 \* 98. 197391. 1.2 \* 37. 5050. 1.5 \* 433. 51597. 0.5 \* 282. 45003. 0.5 \* 85. 11400. 0.5 \* 0. 152. \*  
 \* 10 \* 96. 159388. 1.3 \* 37. 5050. 1.5 \* 432. 49067. 0.5 \* 281. 41891. 0.5 \* 85. 11400. 0.6 \* 0. 199. \*  
 \* 11 \* 94. 116540. 1.4 \* 37. 5050. 1.7 \* 431. 45510. 0.5 \* 280. 38633. 0.5 \* 84. 10497. 0.6 \* 0. 0. \*  
 \* 12 \* 92. 80686. 1.6 \* 37. 5050. 1.6 \* 429. 41944. 0.5 \* 279. 35405. 0.6 \* 84. 10085. 0.6 \* 0. 0. \*  
 \*\*\*\*\*

SATISFACTION DES DEMANDES EN EAU POTABLE

\*\*\*\*\*  
 \* DEMANDE D18 (TUNIS+CAP BGN) \* DEMANDE D19 (BESCINS EN ROUTE PRELEVES \*  
 \* \* \* \* \* SUR BEN METIR) \*  
 \* \* \* \* \*  
 \* M \* DEMANDE F01 F02 F03 F04 F05 FM SM ST DEFI DEFA \* DEMANDE FM SM ST DEFI DEFA \*  
 \* \* \* \* \*  
 \* 1 \* 9814. 2214. 3655. 0. 1078. 0. 6947. 1.0 1.0 2867. 1 \* 919. 919. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 2 \* 8790. 1547. 3059. 0. 4184. 0. 8790. 1.0 1.0 0. 0 \* 823. 823. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 3 \* 8263. 1243. 2416. 0. 4705. 0. 9363. 1.0 1.0 0. 0 \* 783. 783. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 4 \* 7766. 539. 1024. 0. 6233. 0. 7766. 1.0 1.0 0. 0 \* 727. 727. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 5 \* 6913. 1555. 2857. 0. 2501. 0. 6913. 1.0 1.0 0. 0 \* 647. 647. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 6 \* 6998. 840. 1550. 0. 4608. 0. 6998. 1.0 1.0 0. 0 \* 656. 656. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 7 \* 6998. 1384. 2552. 0. 3062. 0. 6998. 1.0 1.0 0. 0 \* 656. 656. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 8 \* 7510. 1569. 2949. 0. 2992. 0. 7510. 1.0 1.0 0. 0 \* 703. 703. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 9 \* 8278. 1378. 2669. 0. 4231. 0. 8278. 1.0 1.0 0. 0 \* 775. 775. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 10 \* 9644. 1674. 3430. 0. 4540. 0. 9644. 1.0 1.0 0. 0 \* 903. 903. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 11 \* 10668. 2134. 3655. 0. 4211. 668. 10668. 1.0 1.0 0. 0 \* 999. 999. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* 12 \* 10668. 2134. 3655. 0. 4671. 208. 10668. 1.0 1.0 0. 0 \* 999. 999. 0.5 0.5 0. 0 \*  
 \* TA \* 102410. 18210. 33472. 0. 46984. 876. 99542. 1.0 2867. 1 \* 9590. 9590. 0.5 0. 0 \*  
 \*\*\*\*\*

FC1 DE BEN METIR  
 FC2 DU KASSEB  
 FC3 DE EL ARCLUSSIA  
 FC4 DE SIDI SALEM  
 FC5 DE SAIDA  
 FM FOURNITURE TOTALE MENSUELLE  
 SM SALINITE DE FM  
 ST SALINITE DE LA FOURNITURE CUMULEE

Exemple de Sortie du modèle EAUTUN 1A

### 3.1.4. Sous-programmes :

Pour réduire l'encombrement du programme, nous avons cherché à introduire le plus possible de sous-programmes et fonctions :

- sous-programme LEC 1 : lecture des données hydrologiques (apports mensuels et salinités),
- sous-programme REMBAR : remplissage d'une retenue, bilan des apports et de l'évaporation à l'exclusion des prélèvements et calcul de la salinité finale,
- sous-programme TISI2 : calcul de la satisfaction d'une demande à partir de deux sources de prélèvements,
- sous-programme SAL1 : calcul de la salinité d'une fourniture pour l'irrigation effectuée à partir d'une seule source de prélèvement et calcul de la salinité des colatures résultantes,
- sous-programme SAL2 : calcul de la salinité d'une fourniture pour l'irrigation effectuée à partir de deux sources de prélèvement et calcul de la salinité des colatures résultantes,
- sous-programme TOTAT : totalisation annuelle des fournitures et calcul de leur salinité,
- sous-programme SURSAL : calcul de l'apport supplémentaire de sel par effet de sursalure dans la retenue de SIDI SALEM,
- sous-programmes PERFØ et PERF1 (pour version A) : perforation des résultats en notation exponentielle spéciale,
- sous-programme MELEAU (pour version A) : calcul des fournitures à prélever à deux sources et à mélanger pour satisfaire une demande de façon que l'une des fournitures soit maximale et que la salinité du mélange n'excède pas une valeur limite imposée,
- Fonction V : calcul du volume d'eau stockée dans une retenue pour une hauteur donnée,
- Fonction H : calcul de la hauteur d'une retenue pour un volume stocké donné

### 3.2. Procédures de calcul :

#### 3.2.1. Initialisation :

En début de rotation du programme, les conditions sont les suivantes :

- les réservoirs sont à leur cote maximale HMAX,
- les salinités dans les réservoirs sont prises égales à 1 G/L,
- les nappes souterraines sont à leur capacité maximale de remplissage,

A partir de cet état, le programme fonctionne sur une période préliminaire de 10 ans (constituée à partir des chroniques des 10 dernières années de l'échantillon disponible et placées en tête des données) pour laquelle les résultats ne sont pas pris en considération.

Les conditions initiales effectives de la simulation sont donc fixées par l'état du système à l'issue de ce fonctionnement préalable.

### 3.2.2. Exploitation des aménagements :

Dans les calculs relatifs à l'exploitation d'une retenue, l'ordre des opérations est le suivant :

- 1°) prise en compte de l'évaporation et calcul de la nouvelle salinité de la retenue ;
- 2°) prise en compte des apports ;
- 3°) calcul des éventuels déversements et de l'état de la retenue ;
- 4°) prélèvements et lâchures et calcul de l'état final de la retenue (cote et salinité) ;

Les opérations 1 à 3 sont réalisées dans le sous-programme REMBAR qui utilise les fonctions V et H pour les transformations de hauteur en volume et réciproquement. La figure 6 donne l'organigramme de ce sous-programme; la signification des variables utilisées est la suivante :

HFIN : cote du réservoir avant appel du sous-programme,  
VFIN : volume correspondant du réservoir,  
SFIN : salinité de VFIN,  
EVAP : évaporation,  
HØ : cote minimale absolue du réservoir,  
HP, CX, KMAX, VP : caractéristiques de la courbe de remplissage,  
APPORT : apports en eau dans le réservoir,  
SAPPO : salinité des apports,  
VMAX : capacité maximale du réservoir,  
QS : volumes déversés,  
SQS : salinité des déversés.

Les consignes d'exploitation des retenues sont les suivantes :

- il y a arrêt de la fourniture quand la cote de la retenue descend en dessous d'une cote minimale HMIN,
- il y a déversement quand la cote dépasse une cote maximale HMAX. HMIN et HMAX sont des variables dont les valeurs peuvent être modifiées d'un essai à l'autre.

Pour les prélèvements directs par pompage dans les cours d'eau ou dans les nappes, il y a arrêt de la fourniture quand la réserve est totalement épuisée (débit nul).

### 3.2.3. Satisfaction des demandes pour l'irrigation :

Les demandes pour l'irrigation sont imposées, c'est-à-dire qu'elles sont définitivement fixées à chaque point de prélèvement.

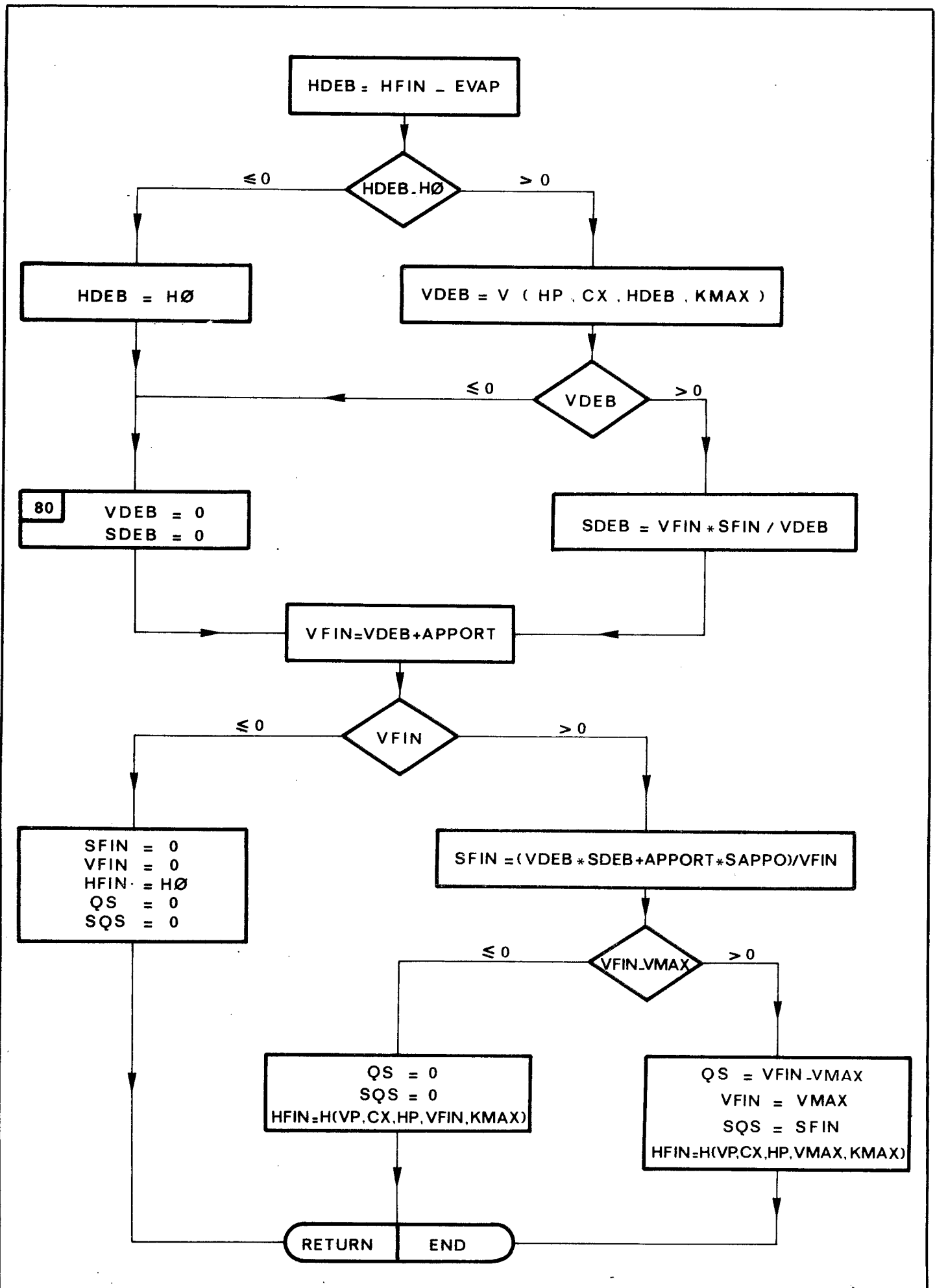


Fig: 6 - SOUS PROGRAMME REMBAR : REMPLISSAGE D'UN RESERVOIR



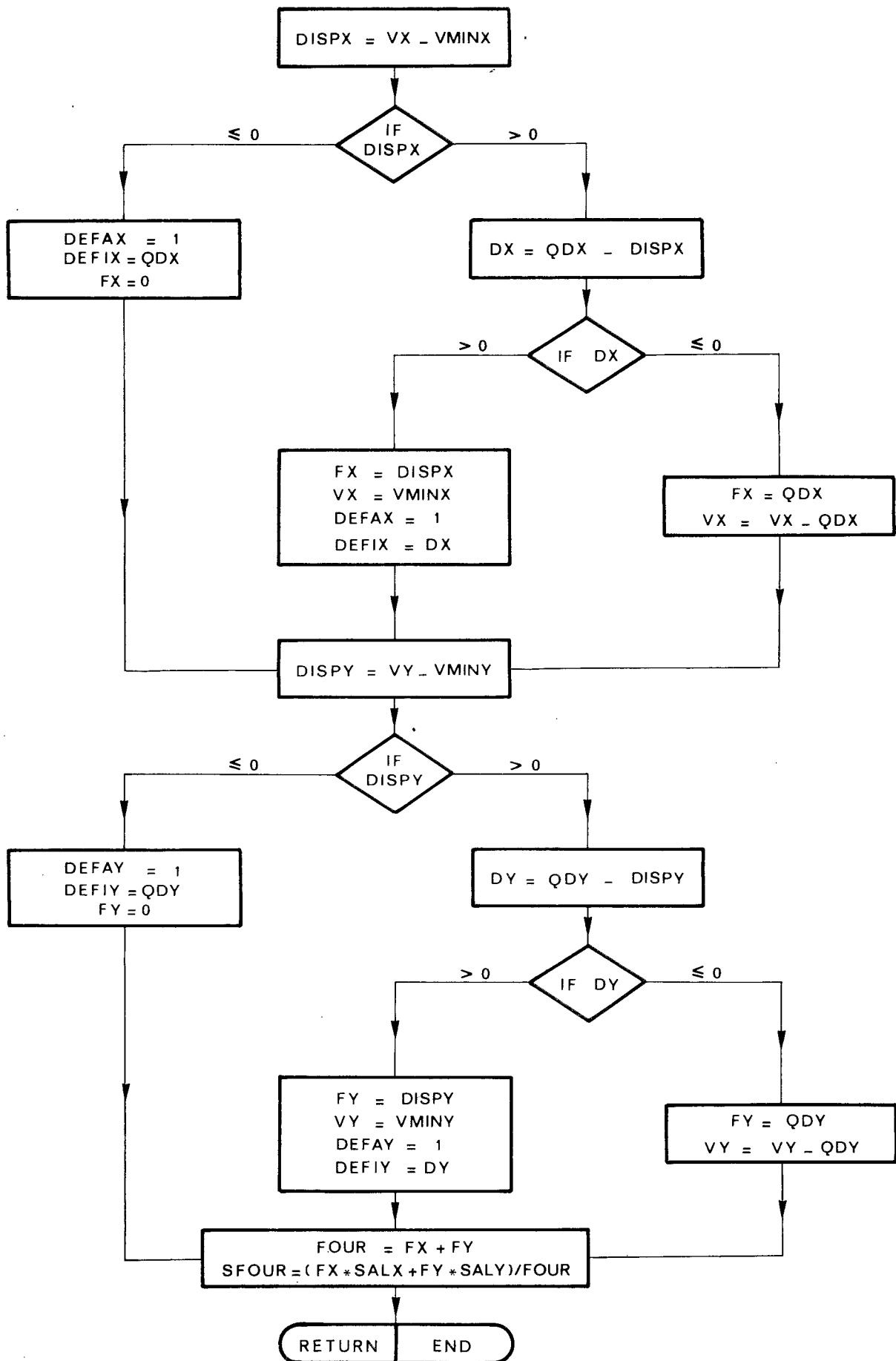


Fig: 7 - SOUS PROGRAMME TISI 2 : SATISFACTION D'UNE DEMANDE A PARTIR DE DEUX SOURCES DE PRELEVEMENTS X ET Y

Lorsqu'une demande ne peut être satisfaite (totale-ment ou partiellement) par prélèvement direct dans un cours d'eau (pompage), on fait appel à la retenue située à l'amont en effectuant des lachûres. Si le point de prélèvement est situé à l'aval de SIDI SALEM, l'ordre d'appel des retenues amont est le suivant :

- 1°) retenue de SIDI SALEM ;
- 2°) retenue du MELLEQUE ;
- 3°) retenue du BOU HEURTMA ;

Si une demande ne peut être satisfaite, on affiche une défaillance et on calcule le déficit correspondant.

Le calcul de la satisfaction d'une demande à partir de deux sources de prélèvements (par exemple pompage dans une nappe et prélèvement dans une retenue pour le périmètre D2) se fait à l'aide du sous-programme TISI2 dont on trouvera l'organigramme sur la figure 7 et pour lequel la signification des variables utilisées est la suivante :

QDX : soutirage imposé à la source X  
QDY : soutirage imposé à la source Y  
VX, VY : volumes totaux aux sources X et Y,  
SALX, SALY : salinités de VX et VY,  
VMINX, VMINY : volumes à ne pas entamer aux sources X et Y,  
DEFAX, DEFAY : défaillances pour X et Y,  
DEFIX, DEFIY : déficits pour X et Y  
FOUR : fourniture totale pour le périmètre irrigué,  
SFOUR : salinité de FOUR.

#### 3.2.4. Restriction des demandes pour l'irrigation :

Les demandes pour l'irrigation sont susceptibles d'être pondérées par l'application d'une consigne de restriction qui s'applique uniformément à l'ensemble des périmètres, mais qui peut varier d'un mois à l'autre.

Par contre, les demandes pour l'eau potable ne subissent aucune restriction.

Le critère de restriction est fixé par l'état des réserves  $V\emptyset CRI1$  sur les trois principales retenues SIDI SALEM (16), BOU HEURTMA (10) et MELLEQUE (5) par rapport à la valeur maximale  $VCMAX$  de ces réserves :

$$V\emptyset CRI1 = V16FIN + V10FIN + V5FIN$$

$$VCMAX = V16MAX + V10MAX + V5MAX$$

On se fixe un volume d'alerte haut  $VAL1H$  et un volume d'alerte bas  $VAL1B$  définis par :

$$VAL1H = 0.75 * VCMAX$$

$$VAL1B = 0.50 * VCMAX$$

Le calcul de la restriction est effectué en début de la boucle mensuelle :

- si  $V\emptyset CRI1 \geq VAL1H$  il n'y a pas de restrictions,
- si  $V\emptyset CRI1 \leq VAL1B$  la restriction est de 20 %,
- si  $VAL1B < V\emptyset CRI1 < VAL1H$  la restriction varie de 0 à 20 % proportionnellement au déficit de  $V\emptyset CRI1$  sur  $VAL1H$ .

### 3.2.5. Fonctionnement des nappes souterraines :

Les eaux souterraines n'interviennent dans le modèle que comme un apport complémentaire aux eaux de surface très localisé (nappes de GHARDIMAOU, SIDI MESKINE, BAJER). Le fonctionnement des nappes est donc très schématisé de façon simple à les prendre en considération dans le bilan hydraulique de chaque unité.

Pour les nappes alluviales de GHARDIMAOU et SIDI MESKINE, nous avons admis que le remplissage a lieu à partir de la MEDJERDA dès que l'apport sur ce cours d'eau dépasse un seuil ; il se fait alors proportionnellement à cet apport jusqu'à limite de la capacité maximale de la nappe.

Pour la nappe du BAJER, l'alimentation se faisant à partir du bassin intermédiaire, nous avons admis qu'une fraction de l'apport AC3 du bassin de l'unité 3 est affectée au remplissage de la nappe jusqu'à limite de sa capacité maximale.

Le soutirage se fait en considérant la nappe comme un réservoir entièrement utilisable et dont la salinité est constante (et fixée à 1 G/L au cours des essais réalisés jusqu'à présent).

### 3.2.6. Fonctionnement des périmètres irrigués :

A chaque périmètre irrigué correspond une demande en eau qui est répartie sur une ou plusieurs sources de prélèvements. Lorsque la demande est totalement ou partiellement satisfaite une partie des prélèvements est restituée sous forme de colatures.

Nous avons admis que les colatures relatives à une unité  $i$  sont récupérées dans l'unité suivante  $i + 1$  au cours du même mois :

- en volume d'eau les colatures sont estimées comme une fraction de la fourniture donnée par le coefficient de colature du périmètre,
- en quantité de sel, nous avons également admis un coefficient de restitution du sel qui donne la fraction des apports totaux en sel qui retournent au système.

### 3.2.7. Calcul des apports réels et des utilisations sur chaque retenue :

Dans la boucle mensuelle, on commence dans une première étape par les opérations concernant la satisfaction des demandes en procédant de l'amont vers l'aval ; les volumes déversés sont calculés au cours de cette étape. On reprend ensuite le calcul des transferts réels en tenant compte des lachûres mises en évidence au cours de la première étape.

Les utilisations sur une retenue sont calculées en totalisant les prélèvements directs et les lachûres effectuées pour l'aval à partir de cette retenue.

Dans ce calcul, on ne prend pas en compte les lachûres provenant des barrages situés à l'amont et ne faisant que transiter par la retenue considérée.

Par contre les apports réels dans une retenue représentent la totalité de l'eau entrant dans cette retenue.

### 3.2.8. Calcul des salures :

Le calcul est effectué en fin de boucle mensuelle une fois que le bilan réel des opérations hydrauliques est connu, en tenant compte ou non de l'effet de sursalure dans la retenue de SIDI SALEM selon l'option choisie. On utilise les sous-programmes SAL1 et SAL2 pour ce calcul.

### 3.2.9. Sursalure dans SIDI SALEM :

Le processus de sursalure est du à la présence de terrains salifères dans la retenue projetée de SIDI SALEM.

Pour simuler ce phénomène, nous avons admis deux causes principales de sursalure :

- la sursalure due au batillage,
- la sursalure due à "la respiration des rives".

- La sursalure due au batillage correspond à la désagrégation des berges par action directe des vagues.

L'importance du tonnage de sel dissous selon ce mécanisme est essentiellement fonction de la longueur L des berges salifères soumises au batillage, de l'agressivité de l'eau, de l'amplitude des vagues et de la vulnérabilité des rives au batillage. Cela nous conduit à une relation de la forme :

$$T = K \cdot (b - s) \cdot L$$

avec :

T = quantité mensuelle de sel dissous (en milliers de tonnes)

L = longueur des berges triasiques soumises au batillage (en km)

(b - s) : paramètre caractérisant l'agressivité de l'eau,  
s étant la concentration en sel de la retenue (en G/L),  
b par analogie avec la retenue du MELLEQUE a été pris égal à  
3,75 G/L.

K = coefficient de vulnérabilité estimé entre 1,0 et 1,4 par analogie avec la retenue du MELLEQUE en l'absence de protection des berges.

- La sursalure due à "la respiration des rives" correspond à l'infiltration d'eau dans les berges à la montée du plan d'eau de la retenue et à sa restitution fortement chargée en sel à la baisse.

Pour schématiser ce mécanisme, nous avons considéré que les berges constituent une pseudo "réserve souterraine" dont la capacité peut être estimée en fonction de la cote du plan d'eau. Cette courbe capacité-hauteur est introduite dans le modèle après son découpage en tronçons de paraboles. Lorsqu'il y a eu baisse du plan d'eau de la retenue au cours du mois on affecte au volume destocké des berges, une salinité donnée, estimée à partir des observations effectuées localement sur les suintements ou sources sur terrains triasiques (cette salinité a été fixée à 6 G/L pour les essais réalisés jusqu'à présent). L'ensemble de ces opérations relatives à la sursalure dans SIDI SALEM sont effectuées par le sous-programme SURSAL\*.

### 3.2.10. Demande en eau potable :

Dans le modèle EAUTUN 1, elle correspond à trois demandes imposées sur les retenues du KASSEB de BEN METIR et EL AROUSSIA et traitées indépendamment comme les autres demandes.

Par contre dans la version A\*\*, le mode de gestion pour la satisfaction des besoins en eau potable est dynamique :

- a) les besoins en route entre BEN METIR et TUNIS sont assurés à partir de la seule retenue de BEN METIR ;
- b) pour les besoins de TUNIS et du CAP BON, on fait appel conjointement aux trois retenues avec les consignes suivantes :
  - utilisation maximale des eaux salées prélevées à EL AROUSSIA (et stockées en fait à SIDI SALEM) qui seront mélangées dans le réservoir d'EL GOULLA aux eaux douces provenant de BEN METIR et du KASSEB -
  - Pendant les mois favorables, stockage d'eau douce dans le réservoir de SAÏDA en utilisant les conduites d'adduction de BEN METIR et du KASSEB vers TUNIS à leur capacité maximale de transport -
  - Utilisation en période défavorable (indisponibilité en eau douce sur BEN METIR et KASSEB) des eaux stockées à SAÏDA qui seront mélangées aux eaux prélevées à EL AROUSSIA -
  - Après ces opérations, la salinité de l'eau potable distribuée ne doit en aucun cas excéder une valeur maximale SLIM (fixée à 1 G/L pour les essais effectués jusqu'à présent) -

Pour tenir compte de ces consignes, nous avons utilisé la procédure de calcul suivante :

- calcul de la disponibilité totale en eau douce (BEN METIR + KASSEB) et de la salinité correspondante,

---

\* voir Note D "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE - Exploitation du modèle de simulation EAUTUN 1" -

\*\* voir Note E "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE - Besoins en eau potable - Modèle de simulation EAUTUN 1 A" -

- calcul de la satisfaction de la demande à partir des eaux douces disponibles à BEN METIR et KASSEB (source 1) et des eaux salées disponibles à EL AROUSSIA (source 2) par appel du sous-programme MELEAU dont on trouvera l'organigramme sur la figure 8.

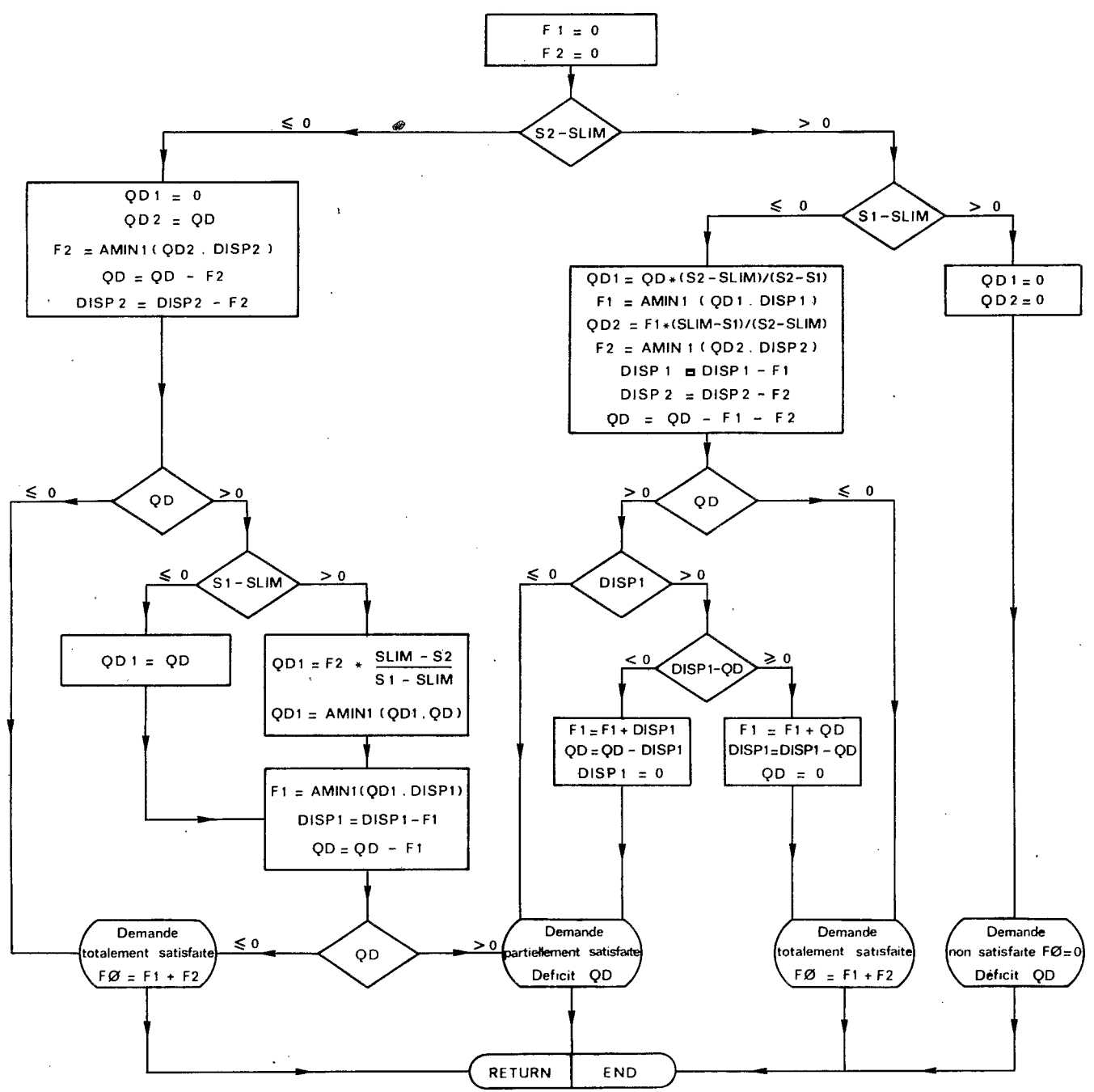
Ce sous-programme détermine les fournitures à prélever à deux sources et à mélanger pour satisfaire une demande de façon que l'une de ces fournitures soit maximale et que la salinité du mélange n'excède pas une valeur maximale imposée. La signification des variables utilisées est la suivante :

QD : Demande à satisfaire,  
SLIM : salinité maximale imposée à la fourniture totale,  
DP1, DP2 : disponibilités aux sources 1 et 2,  
S1, S2 : salinités de DP1 et DP2,  
F1, F2 : prélèvements à partir des sources 1 et 2,  
FØ : fourniture totale,  
SFØ : salinité de la fourniture totale.

Après ce calcul, le prélèvement d'eau douce (source 1) est réparti entre BEN METIR et KASSEB compte tenu des disponibilités respectives sur ces deux retenues et d'un coefficient de répartition REP.

- si la demande n'est pas totalement satisfaite, nouveau calcul par appel du sous-programme MELEAU à partir des eaux douces disponibles à SAÏDA (source 1) et des eaux disponibles à EL AROUSSIA (source 2).
- Affichage éventuel d'une défaillance et calcul du déficit correspondant.
- Remplissage du réservoir de SAÏDA à partir des eaux restant disponibles à BEN METIR et au KASSEB et compte tenu des possibilités de transport des conduites.
- Calcul de l'état final des réservoirs (cote et salinité) et de la fourniture totale en eau potable et de sa salinité.

Fig. 8



SOUS-PROGRAMME MELEAU

III - PREPARATION DES DONNEES

La phase de préparation des données a représenté l'étape la plus longue de l'étude. Sa réalisation a nécessité l'utilisation des techniques de l'informatique et la mise au point de vingt-cinq programmes auxiliaires.

1. DONNEES HYDROLOGIQUES :

Pour faire fonctionner le modèle, il est nécessaire de lui fournir une chronique aussi longue que possible des apports en eau et des salures correspondantes calculés pour chaque unité hydraulique (apports An et ACn et salinités SAn et SACn correspondantes du schéma topologique).

La préparation de ces données consiste en une longue chaîne de traitement de l'information disponible dont la valeur du résultat final dépend avant tout de la qualité des données de base utilisées.

Nous avons eu la chance de pouvoir disposer pour le Nord de la TUNISIE d'une information de base de bonne qualité, relativement abondante et dont la mise en forme était déjà très élaborée puisque les données nous ont été fournies sous forme de cartes perforées.

Ce travail préliminaire considérable a été effectué par la Division Ressources en Eau de la D R E S dans le cadre de ses activités. Il a comporté, en plus du traitement sur ordinateur des observations du réseau actuellement géré par ce service, la reprise des archives dans une étude critique aussi complète que possible ayant entraîné parfois des modifications importantes des chiffres antérieurs et la valorisation des relevés anciens non utilisés jusqu'à présent.

1.1. Apports en eau :

1.1.1. Données disponibles :

Pour notre étude, nous avons disposé de séries plus ou moins complètes de débits journaliers et mensuels relatives à dix stations de base du bassin de la MEDJERDA :

GHARDIMAOU	(MEDJERDA)
DJENDOUBA	(MEDJERDA)
BOU SALEM	(MEDJERDA)
MEDJEZ EL BAB	(MEDJERDA)
PONT DE TRAJAN	(MEDJERDA)
KEF RHIRA	(BOU HEURTMA)
FERNANA	(RHIZALA)
K 13	(MELLEQUE)
B 9	(BEJA)
B 11	(KASSEB).



La figure 9 indique pour chacune de ces stations, les années comportant des relevés. Nous avons choisi la période 1950 à 1969 pour établir l'échantillon servant à la simulation. Il s'agit d'années hydrologiques commençant le 1er Septembre.

### 1.1.2. Homogénéisation des données de base :

Après un réexamen critique des données des stations du réseau, nous disposons de séries mensuelles portant sur une durée inférieure, égale ou supérieure à la période historique choisie et avec éventuellement des lacunes portant sur un ou plusieurs mois. Dans certains cas, il a été possible de combler partiellement ces lacunes par la simple estimation des débits journaliers non observés sur une courte durée pendant laquelle le régime du cours d'eau n'est pas (ou peu) influencé par des précipitations. On procède alors par une interpolation linéaire entre les deux valeurs limitant la lacune.

Pour les lacunes importantes, nous avons procédé par reconstitution à partir des corrélations entre les débits mensuels des différentes stations (régressions simples ou multiples). Ces opérations ont été réalisées à l'aide des programmes PØH 337, PØH 338, PØH 340 et PØH 625.

Dans une deuxième étape, nous avons cherché à améliorer l'homogénéisation en utilisant l'information pluviométrique. Cette entreprise s'est très rapidement avérée sans intérêt en raison des très mauvaises corrélations constatées entre l'écoulement, la pluie du mois et la prise en compte des pluies antérieures.

### 1.1.3. Calcul des apports en eau sur les unités hydrauliques :

D'une façon générale, les limites des unités hydrauliques ne coïncident pas avec l'emplacement des stations de jaugeages pour lesquelles on a établi les séries homogénéisées.

On remarque également que les stations de base sont en majorité situées sur la MEDJERDA elle-même et que l'absence d'information est surtout sensible sur les affluents situés en rive droite de ce fleuve, et plus particulièrement à l'aval du confluent du MELLEGUE (bassin du TESSA, de la SILIANA ...).

Tableau 2

Identification des apports sur les unités hydrauliques

N° de l'unité	Superficie Km2	Identification des apports	N° de l'unité	Superficie Km2	Identification des apports
1	778	A1, AC1	11	153	AC11
2	127	AC2	12	négligeable	-
3	226	AC3	13	103	A13
4	négligeable	-	14	499	AC14
5	10309	A5	15	206	A15
6	334	AC6	16	868	AC16
7	négligeable	-	17	1200	A17
8	2588	AC8	18	1725	AC18
9	110	A9	19	705	AC19
10	272	AC10	20	négligeable	-

TUN 24 042

Fig. 9 - Années hydrologiques comportant des relevés : débits ——— salinités - - - -

STATION	RIVIERE	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970
Ghardimaou	Medjerda						—	—	—
Djendouba	Medjerda	—	—	—	—	—	—		—
Bou Salem	Medjerda				—	—	—	—	—
Medjez El Bab	Medjerda						—	—	—
Pont de Trajan	Medjerda						—	—	—
Kef Rhira	Bou Heurtma							—	—
Fernana	Rhézala						—	—	—
K 13	Mellegue			—		—	—	—	—
B 11	Kasseb						—	—	
B 9	Béja				—	—	—	—	—

La détermination des apports en eau sur les unités hydrauliques a été effectuée par calcul automatique à l'aide du programme POH 621 qui envisage les différents cas simples pouvant se présenter (voir figure 10) :

- 1er cas - Unité hydraulique confondue avec le bassin versant d'une station de base.

On identifie les apports  $A_s$  à la station aux apports  $A_u$  sur l'unité en effectuant un simple changement du numéro d'identification de la station contre celui de l'unité :

$$A_u = A_s$$

- 2ème cas - Station de base unique et bassin versant de la station différent de l'unité.

Les apports  $A_u$  sur l'unité sont obtenus à partir de ceux de la station de base  $A_s$  par calcul au prorata des superficies des bassins :

$$A_u = A_s \cdot \frac{S_u}{S_s}$$

- 3ème cas - 2 stations de base encadrant la limite de l'unité hydraulique.

Les apports  $A_u$  sur l'unité sont calculés par interpolation linéaire entre les apports  $A_{s1}$  et  $A_{s2}$  aux stations 1 et 2 :

$$A_u = A_{s1} + (A_{s2} - A_{s1}) \cdot \frac{S_u - S_{s1}}{S_{s2} - S_{s1}}$$

- 4ème cas - Apports intermédiaires  $A_{Cu}$  avec deux stations de base encadrant l'unité.

Les apports intermédiaires  $A_{Cu}$  sont obtenus à partir des apports intermédiaires entre les deux stations au prorata des superficies de l'unité et du bassin intermédiaire :

$$A_{Cu} = (A_{s2} - A_{s1}) \cdot \frac{S_u}{S_{s2} - S_{s1}}$$

Les débits obtenus (cartes 610) sont ensuite transformés en volumes mensuels écoulés (cartes 615) à l'aide du programme POH 620.

- Pour le calcul des apports sur des unités intermédiaires encadrées par deux stations de base (4ème cas), nous avons parfois rencontré quelques difficultés dans l'application de la méthode précédente.

Il arrive en effet que, au pas de temps mensuel, la différence entre les apports observés à la station aval et ceux observés à la station amont soit négative, bien que le bilan annuel soit normalement positif. Ceci se produit en particulier lorsque les deux stations de base sont assez éloignées ou séparées par un bassin intermédiaire important comportant des affluents au régime hydrologique différent de celui du cours d'eau sur lequel est située la station la plus en amont.

On rencontre une telle situation entre les stations de BOU SALEM et de MEDJEZ EL BAB avec la confluence de la SILIANA.

Dans ce cas, nous avons employé la méthode suivante :

Considérons différentes unités hydrauliques situées entre deux stations de base.

- 1°) On calcule les apports intermédiaires mensuels et annuels entre les deux stations ;
- 2°) on détermine la distribution temporelle moyenne de cet écoulement intermédiaire pour la totalité de la période disponible (période d'observations communes entre les deux stations). On obtient ainsi des coefficients mensuels de distribution exprimés en % du module interannuel ;
- 3°) pour chaque année de la période de reconstitution, on utilise ces coefficients pour le calcul de l'apport intermédiaire mensuel à partir de l'apport annuel observé ;
- 4°) on répartit cet apport intermédiaire mensuel sur chaque unité au prorata de sa superficie et de celle du bassin versant intermédiaire.

Ces opérations sont effectuées par le programme PØH 622.

## 1.2. Concentrations en sel :

### 1.2.1. Données disponibles :

Les mesures de salinité sur le bassin de la MEDJERDA ont été beaucoup plus discontinues que les mesures de débits et les séries disponibles aux stations de jaugeages sont toujours incomplètes. En outre, ces données résultent de procédé de mesure souvent fort disparates allant de la simple mesure de résistivité à l'analyse chimique complète.

Comme pour les apports en eau, nous avons tout d'abord effectué l'homogénéisation des données aux stations de base et ensuite l'estimation des concentrations en sel sur chaque unité hydraulique.

### 1.2.2. Homogénéisation des données de base :

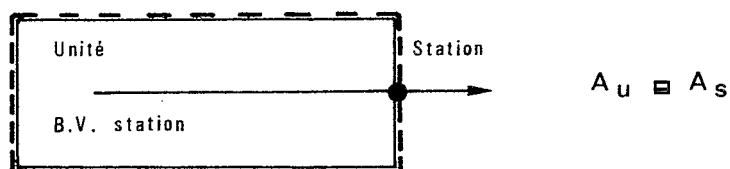
Le très grand nombre de lacunes journalières ne permet pas d'avoir des séries mensuelles suffisantes pour tenter directement une homogénéisation des données mensuelles.

Nous avons donc effectuer le travail de reconstitution à l'échelle des données journalières et ceci par l'intermédiaire des relations salinité-débit puisque nous possédions des séries de débits relativement complètes.

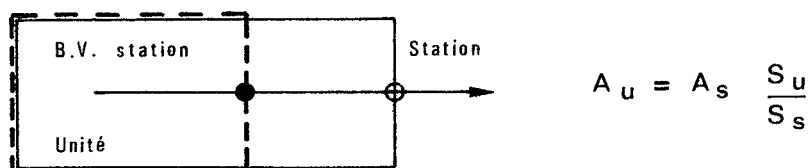
#### \* Relations salinité-débit :

Pour un régime déterminé d'un cours d'eau, la concentration en sel dissous est fonction de la nature minéralogique de son bassin versant, de la perméabilité et de la dimension des surfaces en contact avec l'eau,

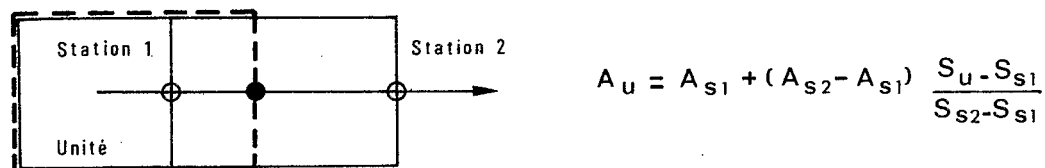
## Calcul des apports sur les unités hydrauliques



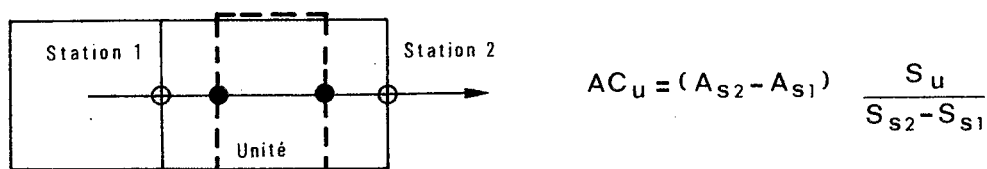
- 1 - Unité hydraulique confondue avec le bassin versant de la station de base



- 2 - Station de base unique. Bassin versant de la station différent de l'unité hydraulique



- 3 - 2 stations de base encadrant la limite de l'unité hydraulique



- 4 - Apport intermédiaire entre 2 stations de base

ainsi que de l'agressivité des précipitations (qui dépend de la teneur en  $\text{CO}_2$  libre et du degré de pureté) et de la vitesse d'écoulement de l'eau (qui intervient sur la durée de contact avec la roche).

La relation entre le débit et la concentration en sel est donc complexe et rarement univoque. Il n'en est pas moins vrai que la surface de contact et la durée de séjour dans le cas des eaux souterraines sont bien supérieures aux mêmes paramètres relatifs aux eaux de surface ; on doit donc s'attendre à ce que les faibles débits presque uniquement fournis par ces eaux souterraines, soient plus salés que les forts débits.

Nous avons établi mois par mois et pour chaque station les graphiques des concentrations journalières en fonction des débits. Ces graphiques montrent généralement une très forte dispersion des points qui ne permet pas le tracé d'une courbe moyenne. Ils font cependant apparaître une double tendance de dépendance de la concentration avec le débit et la saison.

Nous avons donc estimé que l'utilisation de régressions linéaires simples pour compléter les données manquantes de salinité conduisait à une sous-estimation grave de la variance pour l'échantillon reconstitué. Ceci nous a conduit à utiliser la méthode suivante, dans laquelle on procède par tirage au hasard dans des réservoirs de salinité préalablement constitués à partir des observations disponibles en tenant compte à la fois de l'influence de la saison et de celle du débit.

\* Reconstitution des concentrations journalières :

On procède en deux étapes :

- a) constitution des réservoirs de salinités : on effectue un découpage des débits observés en classes, le choix du nombre de classes et des débits limites de classes dépendant de l'étendue de la gamme des débits observés sur l'ensemble de la période de reconstitution et de leur distribution statistique ainsi que du nombre de couples salinité-débit disponibles.

A titre d'exemple indiquons que pour la station de BOU SALEM, nous disposons de 4 055 concentrations moyennes journalières, résultant de plus de 8 000 analyses d'eau (depuis mai 1935). Le découpage en huit classes de débits conduit pour cette station à 96 réservoirs (huit classes x 12 mois). Le nombre de valeurs de salinité introduit dans ces réservoirs est donné dans le tableau 3.

Ensuite on introduit chaque salinité observée dans le réservoir correspondant à la classe et au mois du débit auquel elle est associée.

Cette introduction se fait dans l'ordre chronologique des observations avec attribution d'un numéro d'ordre.

Ces opérations sont effectuées à l'aide du programme PØH 703.

Tableau 3

Réservoirs de salinités pour BOU SALEM

mois	classes:	1	2	3	4	5	6	7	8
		0 à 2 : m <sup>3</sup> /s	2 à 4,5 : m <sup>3</sup> /s	4,5 à 10 : m <sup>3</sup> /s	10 à 20 : m <sup>3</sup> /s	20 à 45 : m <sup>3</sup> /s	45 à 100 : m <sup>3</sup> /s	100 à 200 : m <sup>3</sup> /s	200 à 2000 : m <sup>3</sup> /s
1	6	13	37	63	79	57	34	19	
2	0	2	15	108	97	54	26	11	
3	0	32	86	93	88	23	7	2	
4	7	54	134	103	60	29	9	4	
5	6	79	122	71	46	10	3	1	
6	5	140	98	53	18	1	2	0	
7	65	173	85	33	5	0	0	0	
8	23	158	109	19	21	1	1	0	
9	55	102	98	56	15	4	0	0	
10	34	81	68	96	26	12	9	10	
11	15	68	86	98	31	20	7	2	
12	31	66	80	85	63	17	16	4	

b) Reconstitution des données manquantes : dans cette deuxième étape, on effectue la reconstitution des données manquantes à partir des réservoirs préalablement constitués.

- Pour chaque débit journalier observé (avec absence de mesure de salinité) on recherche le mois et la classe à laquelle il appartient, ce qui détermine le réservoir de salinité à prendre en considération,
- ensuite, on effectue dans ce réservoir le tirage au hasard d'un numéro d'ordre qui détermine la valeur de salinité qui sera attribuée à ce débit.

Les opérations relatives à cette étape sont effectuées sur ordinateur à l'aide du programme POH 704.

Cette méthode de reconstitution présente le double avantage de ne nécessiter aucune hypothèse préalable sur la forme des distributions statistiques et de conserver la variance de l'échantillon observé.

\* Homogénéisation des concentrations mensuelles :

Le calcul des concentrations moyennes pondérées à partir des valeurs journalières ainsi reconstituées conduit à des séries encore incomplètes (périodes sans observations des débits journaliers).

Nous avons homogénéisé ces séries sur la période retenue pour la simulation (1950-1970) en utilisant une méthode identique à celle décrite ci-dessus pour les séries journalières, mais avec cette fois un découpage trimestriel et des salinités mensuelles. Les opérations correspondantes sont effectuées à l'aide des programmes PØH 706 et PØH 707.

### 1.2.3. Calcul des concentrations en sel sur les unités hydrauliques :

Nous savons que la forte salinité des eaux du Nord de la TUNISIE provient essentiellement des formations d'évaporites et de gypses du Trias et du Mio-Pliocène. Cependant, pour un bassin donné, nous n'avons actuellement aucune information précise sur la liaison entre l'apport spécifique en sel et la proportion du bassin total constitué par des formations salines.

Pour passer des séries aux stations de base aux séries sur les unités, nous avons donc préféré procéder par analogie entre bassins versants en utilisant les séries d'apports en eau déjà constituées.

Un cas particulier est celui où l'unité hydraulique est confondue avec le bassin versant d'une station de base. Dans ce cas, on identifie les concentrations à la station et les concentrations sur l'unité avec simple changement du numéro de station contre le numéro d'identification de l'unité.

Dans le cas général, on procède de la façon suivante :

- on affecte à chaque unité une station de base qui est choisie de telle façon que son bassin versant soit le plus représentatif de celui de l'unité considérée compte tenu de sa situation géographique et de sa nature géologique. Ce choix peut parfois être précisé par l'utilisation de renseignements complémentaires concernant la salinité dans un secteur déterminé (mesures ponctuelles, indications d'ordre qualitatif ...),
- on associe à l'unité considérée les réservoirs de salinités obtenues sur la station de base qui lui a été affectée,
- à chaque débit sur l'unité, on détermine une concentration en sel par tirage au hasard dans ces réservoirs suivant la méthode indiquée ci-dessus avec toutefois une transformation préalable des classes de débits en classes de débits spécifiques pour tenir compte du rapport des superficies entre l'unité et le bassin versant de la station de base associée.

Ces opérations sont effectuées sur ordinateur à l'aide du programme POH 708.

### 1.3. Contrôle et réajustement des données hydrologiques :

Après la mise au point de l'échantillon homogénéisé, nous avons effectué un contrôle de compatibilité entre les différents apports calculés.

Nous avons fait ces vérifications essentiellement en deux points importants du bassin où nous disposons d'un contrôle sur : BOU SALEM qui contrôle les unités hydrauliques 1 à 11 et MEDJEZ EL BAB qui contrôle les unités 1 à 18 c'est-à-dire la quasi-totalité du bassin pris en compte dans le modèle EAUTUN 1 (voir figure 1).

Ces opérations sont réalisées par le programme POH 626.

Ensuite, nous avons effectué un réajustement en répartissant les écarts constatés entre valeurs calculées et observées au prorata des apports calculés sur chaque unité. Ces opérations sont réalisées par le programme POH 627. Dans ce réajustement, nous avons tenu compte des points de contrôle



intermédiaires (stations de jaugeages sur affluents contrôlant une unité hydraulique). Le tableau 4 donne le résultat global de ces opérations ; il s'agit des apports moyens annuels et de leur salinité calculés sur les années hydrologiques 1950 à 1969.

Tableau 4

Identification de l'apport	Apport moyen annuel en eau (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Apport moyen annuel en sel (10 <sup>3</sup> T)	Concentration en sel en G/L
A1	177	119	0.67
AC1	70	43	0.62
AC2	11	7	0.62
AC3	20	11	0.54
A5	154	313	2.04
AC6	5	11	2.09
AC8	80	166	2.06
A9	43	22	0.50
AC10	75	43	0.56
AC11	41	31	0.75
A13	49	24	0.50
AC14	28	15	0.55
A15	58	29	0.50
AC16	49	27	0.55
A17	54	135	2.52
AC18	77	195	2.52
AC19	32	17	0.55
<b>Total</b>	<b>1023</b>	<b>1208</b>	<b>1.18</b>

2. AUTRES DONNEES :

2.1. Evaporation :

Ne disposant pas des chroniques d'évaporation relatives aux différentes retenues, nous avons adopté les valeurs moyennes suivantes valables pour tous les réservoirs :

Evaporation mensuelle en mm											
SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOÛT
123	90	53	19	28	33	59	90	120	157	186	173

## 2.2. Caractéristiques des réservoirs :

### 2.2.1. Courbe de remplissage :

Pour être introduite dans le modèle sous une forme adéquate la courbe de remplissage a été découpée au préalable en K MAX, tronçons assimilés à des arcs de paraboles. Chaque tronçon L est défini par deux hauteurs limites HP(L) et HP(L + 1) et une hauteur intermédiaire HINT(L) et par les volumes correspondants Q(L), Q(L + 1), QINT(L). On calcule les coefficients de la parabole C(1, L), C(2, L) et C(3, L) et on obtient ainsi une fonction V(H) permettant de calculer le volume pour une cote quelconque.

Si H est une hauteur comprise entre HP(L) et HP(L + 1), le volume correspondant V est donné par :

$$V = C(1,L) * (H - HP(L))^2 + C(2,L) * (H - HP(L)) + C(3,L)$$

De la même façon, on introduit la fonction inverse H(V) qui donne la cote de la retenue pour un volume donné.

Ce traitement des courbes de remplissage est effectué par le programme PØH 602.

### 2.2.2. Limites de fonctionnement :

Il s'agit des cotes et volumes caractéristiques des retenues :

HMIN, VMIN : cote et volume minimal en dessous duquel on n'effectue plus de prélèvement.

HMAX, VMAX : cote et volume maximal à partir duquel il y a déversement.

HØ : hauteur minimale absolue correspondant à un volume nul.

Les valeurs de HMIN et VMIN introduites dans le modèle tiennent compte des prévisions d'envasement dans les retenues. Elles dépendent donc de l'horizon auquel est effectuée la simulation.

Au cours des différents essais effectués jusqu'à présent, seules les cotes maximales de SIDI SALEM et de SAÏDA ont varié.

Le tableau 5 donne les caractéristiques des réservoirs pour les horizons 1985 et 2000.

## 2.3. Programmes de demandes :

Ces programmes nous ont été fournis par l'Administration Tunisienne. Bien entendu, à chaque horizon correspond un programme et nous donnons dans les tableaux 6 et 7 le programme initial retenu pour 1985 et 2000.

## 2.4. Volumes d'alerte mensuels :

Ce sont les volumes VAL1H et VAL1B qui définissent le critère de restriction des demandes pour l'irrigation (cf. chapitre II, paragr 3.2.4.).

Au cours des essais réalisés jusqu'à présent, on a pris les mêmes valeurs tout au long de l'année. Ces valeurs ne dépendent donc que de la cote maximale de SIDI SALEM (les cotes maximales du MELLEGUE et du BOU HEURTMA n'ayant pas été modifiées au cours des essais) :

HMAX BOU HEURTMA (m)	HMAX MELLEGUE (m)	HMAX SIDI SALEM (m)	VCMAX (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	VAL1H (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	VAL1B (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
221	265	100	620 000	465 000	310 000
221	265	105	755 000	566 000	379 000
221	265	110	940 000	705 000	470 000

## 2.5. Caractéristiques des nappes :

Nous avons fait les estimations sommaires suivantes :

### 2.5.1. Nappes de GHARDIMAOU et SIDI MESKINE :

- seuil d'alimentation de la MEDJERDA : 500 L/S,
- coefficient d'alimentation à partir de ce seuil : 5 %,
- capacité maximale utilisable de la nappe :  $500 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>,
- salinité de la nappe : 1 G/L.

### 2.5.2. Nappe de BAJER :

- fraction du bassin versant intermédiaire (unité 3) affectée à l'alimentation de la nappe : 10 %,
- capacité maximal utilisable de la nappe :  $200 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>,
- salinité de la nappe : 1 G/L.

## 2.6. Coefficients de colatures :

En l'absence d'information précise, nous avons effectué des essais préliminaires en prenant des hypothèses extrêmes. La répercussion sur les résultats étant peu sensible, nous avons ensuite adopté les données suivantes :

- coefficient de restitution des apports en eau : 7,5 %,
- coefficient de restitution du sel : 50 %.

## 2.7. Données relatives à la sursalure dans SIDI SALEM :

### 2.7.1. Longueur des berges triasiques soumises au batillage en fonction de la cote du plan d'eau :

Cette courbe est introduite dans le modèle sous forme du barème donné dans le tableau 8. Entre chaque point de ce barème, le programme effectue une interpolation linéaire.

Tableau 5

Caractéristiques des réservoirs

Horizon 1985

N° de l'unité	Barrage	H min (m)	V min (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	H max (m)	V max (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	HO (m)
5	MELLEQUE	242,0	53 000	265,0	268 000	210
9	BEN METIR	408,4	7 400	435,0	57 000	395
10	BOU HEURTMA	195,2	3 300	221,0	117 000	187
13	KASSEB	258,4	3 300	292,0	81 700	245
15	BEJA	173,0	0	173,0	0	173
16	SIDI SALEM	80,5	11 000	100,0	235 000	65
		80,5	11 000	105,0	370 000	65
		80,5	11 000	110,0	555 000	65
17	SILIANA	127,0	0	127,0	0	127
20	EL AROUSSIA	37,2	5 050	37,7	5 200	35
R1	SAÏDA	65,0	500	80,0	6 500	55
		65,0	500	85,0	11 400	55
		65,0	500	90,0	20 000	55

Horizon 2000

N° de l'unité	Barrage	H min (m)	V min (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	H max (m)	V max (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	HO (m)
5	MELLEQUE	253,0	128 000	265,0	268 000	210
9	BEN METIR	418,6	20 000	435,0	57 000	395
10	BOU HEURTMA	202,7	18 150	221,0	117 000	187
13	KASSEB	268,4	13 200	292,0	81 700	245
15	BEJA	173,0	0	173,0	0	173
16	SIDI SALEM	93,7	110 000	100,0	235 000	65
		93,7	110 000	105,0	370 000	65
		93,7	110 000	110,0	555 000	65
17	SILIANA	127,0	0	127,0	0	127
20	EL AROUSSIA	37,2	5 050	37,7	5 200	35

Tableau 6

Modèle EAUTUN1 - Programme des demandes - en milliers de m<sup>3</sup>  
 - Horizon 1985 -

Demande	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	ANNEE
Q1D1	3 000	1 000	500	0	0	0	0	500	2 000	3 000	3 000	3 000	16 000
Q2D1	0	0	0	90	50	1 260	1 300	1 300	0	0	0	0	4 000
Q1D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q2D2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q1D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q2D3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q1D4	51	243	501	54	112	263	389	757	479	51	51	51	3 002
Q3D4	129	129	129	18	129	129	129	129	129	129	129	129	1 437
Q1D5	243	173	0	0	0	0	243	347	312	451	451	451	2 671
Q2D5	485	347	0	0	0	0	485	692	624	901	901	901	5 336
Q1D6	2 079	1 684	688	84	602	649	1 382	1 662	1 776	3 262	3 262	3 262	20 392
Q2D6	1 039	1 304	2 102	254	1 474	1 753	2 414	4 236	3 815	1 631	1 631	1 631	23 284
Q1D7	1 536	544	1 184	128	1 440	544	960	1 536	1 536	1 536	1 536	1 536	14 016
Q1D8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q1D9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q1D10	501	247	167	51	447	345	406	394	555	595	943	1 042	5 363
QDAR*	33 363	20 370	13 320	7 000	9 330	18 728	20 042	26 302	37 228	43 868	53 285	51 407	334 243
Q9J9*	3 600	3 600	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 700	3 700	3 700	3 700	40 000
Q13J7*	3 600	3 600	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 700	3 700	3 700	3 700	40 000

\* Dans le modèle EAUTUN1 A, ces demandes sont respectivement remplacées par les demandes QDAR, Q1D19 et Q1D18 suivantes :

Demande	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	ANNEE
QDAR	:29 763	:16 770	:10 320	:4 000	:6 330	:15 728	:17 042	:23 302	:33 528	:40 168	:49 585	:47 707	:294 243
Q1D18	:10 330	:9 252	:8 803	:8 174	:7 276	:7 366	:7 366	:7 904	:8 713	:10 150	:11 228	:11 228	:107 790
Q1D19	:978	:876	:834	:774	:689	:698	:698	:698	:749	:825	:961	:1 064	:10 210

Tableau 7

Modèle EAUTUN1 - Programme des demandes - en milliers de m<sup>3</sup>

- Horizon 2000 -

Demande	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	ANNEE
Q1D1	3 000	1 000	500	0	0	0	0	500	2 000	3 000	3 000	3 000	16 000
Q2D1	0	0	0	90	50	1 260	1 300	1 300	0	0	0	0	4 000
Q1D2	300	300	300	88	110	300	300	300	300	300	300	300	3 198
Q2D2	540	674	514	0	0	74	1 200	1 956	1 264	1 260	1 260	1 260	10 002
Q1D3	0	375	430	75	430	430	430	430	430	0	0	0	3 030
Q2D3	0	0	170	0	95	140	80	545	590	0	0	0	1 620
Q1D4	254	1 213	2 504	271	562	1 319	1 946	3 784	2 397	254	254	254	15 012
Q3D4	649	649	649	88	642	649	649	649	649	649	649	649	7 220
Q1D5	607	433	0	0	0	0	607	867	780	1 127	1 127	1 127	6 675
Q2D5	1 213	867	0	0	0	0	1 213	1 733	1 560	2 253	2 253	2 253	13 345
Q1D6	2 599	2 105	860	108	753	817	1 727	2 467	2 220	4 078	4 078	4 078	25 890
Q2D6	1 299	1 631	2 628	318	1 843	2 192	3 068	5 295	4 894	2 039	2 039	2 039	29 285
Q1D7	1 536	544	1 184	128	1 440	544	960	1 536	1 536	1 536	1 536	1 536	14 016
Q1D8	190	124	87	0	18	127	178	234	284	624	640	247	2 753
Q1D9	1 794	1 171	823	0	172	1 197	1 672	2 205	2 672	5 880	6 024	2 325	25 935
Q1D10	1 669	829	558	169	390	1 150	1 353	1 312	1 851	1 982	3 149	3 473	17 885
QDAR	33 742	22 313	15 063	9 675	12 255	19 564	20 911	29 346	43 185	62 443	77 226	55 492	401 215
Q9J9	3 600	3 600	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 700	3 700	3 700	3 700	40 000
Q13J7	3 600	3 600	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000	3 700	3 700	3 700	3 700	40 000

Tableau 8

Cote du plan: d'eau (m)	Longueur des berges (km)	Cote du plan: d'eau (m)	Longueur des berges (km)
82	0	95	5,3
84	0,5	101	6,1
87	1,6	103	7,4
88	2,4	105	9,3
90	3,1	110	17,0
92	4,0	114	19,4
94	4,5	118	20,6

2.7.2. Capacité de la "réserve souterraines" des berges :

La courbe donnant le volume de cette réserve en fonction de la cote dans la retenue est introduite dans le modèle après découpage en tronçons assimilés à des arcs de paraboles (processus identique à celui décrit pour les courbes de remplissage cf. paragr. 2.2.1.). Le barème correspondant est donné dans le tableau 9.

Tableau 9

Capacité de la "réserve souterraine" des berges  
de la retenue de SIDI SALEM

Cote du plan: d'eau (m)	Volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Cote du plan: d'eau (m)	Volume (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )
85	50	99	2 400
87	64	101	3 360
89	166	103	4 500
91	356	105	5 750
93	634	107	7 100
95	1 000	109	8 650
97	1 610	110	9 450

IV - EXPLOITATION DU MODELE

Avant la mise au point définitive du jeu de données, le modèle a été testé au cours de nombreux essais préliminaires.

Ensuite, l'exploitation a été effectuée à la demande de l'Administration Tunisienne. Jusqu'à présent quatre problèmes ont été analysés :

- la satisfaction des demandes pour l'irrigation,
- l'estimation des fournitures maximales possibles à partir de SIDI SALEM,
- l'effet de sursalure dans la retenue de SIDI SALEM,
- la satisfaction des besoins en eau potable (exploitation de la version A).

Les résultats obtenus constituent une information très volumineuse puisqu'ils correspondent globalement à la réalisation de 60 essais ayant donné près de 1 500 tableaux annuels, sous forme de listings.

L'analyse de ces résultats a été ébauchée à l'aide des programmes PØH 630 et PØH 631 (récapitulatifs et classement). Nous nous bornerons ici à en résumer les aspects les plus significatifs.

1. SATISFACTION DES DEMANDES POUR L'IRRIGATION :

On a effectué deux séries d'essais avec variation de la cote maximale à SIDI SALEM (100, 105, 110 m) à l'aide du modèle EAUTUN 1\* :

1ère série Horizon 1985

2ème série Horizon 2000.

Les programmes des demandes étaient ceux donnés dans les tableaux 6 et 7. Le tableau 10 montre que, pour l'horizon 1985, la cote 100 est suffisante et par contre, pour l'horizon 2000, il est nécessaire d'envisager la cote 105 et probablement même 110.

---

\* voir "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE" - Note B - "Modèle de de simulation EAUTUN1" -



Tableau 10

Total des défaillances mensuelles observées sur 20 ans de simulation

Demandes	Horizon 1985			Horizon 2000		
	HMAX SIDI SALEM			HMAX SIDI SALEM		
	100	105	110	100	105	110
D1 GHARDIMAOU	0	0	0	0	0	0
D2 SIDI MESKINE	0	0	0	4	0	0
D3 BAJER	0	0	0	0	0	0
D4 BOU HEURTMA III et V	0	0	0	22	5	3
D5 BOU HEURTMA VI	0	0	0	20	3	1
D6 BOU HEURTMA I, II, IV	0	0	0	36	13	10
D7 BADROUNA	0	0	0	0	0	0
D8 TESTOUR	0	0	0	0	0	0
D9 MEDJEZ EL BAB	0	0	0	2	1	0
D10 BORJ TOUM	0	0	0	3	1	0
DAR EL AROUSSIA	0	0	0	23	3	1

Si on observe la salinité des fournitures (dont on trouvera un récapitulatif sur les tableaux 11 et 12), on constate les faits suivants :

- pour les périmètres situés à l'amont de SIDI SALEM, les salinités sont relativement faibles et inférieures à 2 G/L à l'exception des périmètres de SIDI MESKINE (D2) et de BADROUNA (D7).

Les fortes salures de SIDI MESKINE sont dues à la part importante de l'alimentation de ce périmètre à partir de la retenue du MELLEGUE (plus particulièrement entre Mars et Septembre). Pour BADROUNA, les fortes salures constatées résultent de l'effet des consignes rigides appliquées dans la procédure de satisfaction d'une demande imposée à une source de prélèvement et sans aucun critère de qualité. Ainsi l'alimentation de ce périmètre est le plus souvent effectuée en quasi-totalité avec les colatures très fortement salées (compte tenu des hypothèses retenues pour les colatures) des périmètres situés immédiatement en amont.

- Pour les périmètres situés à l'aval de SIDI SALEM et en particulier pour la demande à EL AROUSSIA, on constate que la salinité dépend peu de la cote à SIDI SALEM. Il ne faut cependant pas oublier que ces calculs ont été effectués sans prise en compte de l'effet de sursalure à SIDI SALEM.

Tableau 11

Salinité des fournitures annuelles (G/L)

Horizon 1985 - HMAX SIDI SALEM : 100 m

Année	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	DAR
1	1,0	-	-	1,1	1,0	1,1	1,6	-	-	1,3	1,3
2	0,9	-	-	0,9	1,1	1,0	1,4	-	-	1,3	1,3
3	0,9	-	-	1,0	1,2	1,1	1,6	-	-	1,3	1,3
4	0,9	-	-	0,9	1,2	0,9	1,5	-	-	1,2	1,2
5	0,9	-	-	1,2	1,3	1,2	2,0	-	-	1,3	1,3
6	0,9	-	-	1,1	1,4	1,1	1,6	-	-	1,3	1,3
7	1,0	-	-	1,3	1,4	1,2	1,9	-	-	1,5	1,5
8	1,0	-	-	1,1	1,3	1,2	2,0	-	-	1,5	1,5
9	0,9	-	-	1,0	1,4	1,1	1,6	-	-	1,4	1,4
10	1,0	-	-	1,2	1,4	1,1	1,6	-	-	1,5	1,5
11	1,0	-	-	1,2	1,5	1,2	2,3	-	-	1,6	1,6
12	0,9	-	-	1,5	1,4	1,3	2,3	-	-	1,2	1,3
13	0,9	-	-	1,3	1,5	1,2	1,9	-	-	1,4	1,4
14	0,9	-	-	1,2	1,4	1,2	2,1	-	-	1,7	1,7
15	0,9	-	-	1,2	1,4	1,2	1,7	-	-	1,2	1,3
16	0,9	-	-	1,2	1,4	1,1	1,8	-	-	1,5	1,5
17	1,0	-	-	1,6	1,4	1,4	2,2	-	-	1,5	1,6
18	1,0	-	-	1,3	1,4	1,3	2,0	-	-	1,6	1,6
19	1,0	-	-	1,3	1,4	1,3	2,2	-	-	2,0	1,9
20	0,9	-	-	0,9	0,9	1,1	1,5	-	-	1,6	1,6

Tableau 12

Salinités des fournitures annuelles (G/L)

Horizon 2000 - HMAX SIDI SALEM : 110 m

Années	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	DAR
1	1,0	1,4	1,2	1,2	1,0	1,1	1,7	1,2	1,3	1,4	1,4
2	0,9	1,6	0,9	0,9	1,0	1,0	1,5	1,1	1,3	1,3	1,3
3	0,9	2,0	1,0	1,1	1,2	1,1	1,8	1,0	1,2	1,2	1,2
4	0,9	2,2	0,9	0,9	1,2	1,0	1,7	0,9	1,1	1,1	1,2
5	0,9	2,3	1,0	1,1	1,3	1,2	2,3	1,1	1,2	1,2	1,3
6	0,9	2,4	1,1	1,2	1,4	1,2	1,8	1,1	1,3	1,3	1,3
7	1,0	2,4	1,0	1,4	1,4	1,3	2,1	1,3	1,4	1,5	1,5
8	1,0	2,3	1,1	1,2	1,3	1,3	2,3	1,4	1,5	1,5	1,5
9	0,9	2,5	0,9	1,0	1,3	1,1	1,7	1,3	1,4	1,4	1,4
10	1,0	2,5	0,9	1,2	1,4	1,1	1,7	1,4	1,5	1,5	1,5
11	1,0	2,6	1,2	1,5	1,5	1,4	3,2	1,5	1,5	1,6	1,6
12	0,9	2,6	1,2	1,7	1,4	1,5	2,7	1,2	1,4	1,4	1,4
13	0,9	2,6	1,0	1,3	1,4	1,3	2,1	1,1	1,4	1,4	1,4
14	0,9	2,5	1,2	1,3	1,4	1,4	2,6	1,4	1,7	1,7	1,7
15	0,9	2,4	1,1	1,2	1,4	1,3	2,0	1,1	1,3	1,3	1,3
16	0,9	2,5	1,0	1,2	1,4	1,2	2,0	1,3	1,4	1,5	1,5
17	1,0	2,6	1,1	1,6	1,4	1,5	2,4	1,5	1,6	1,7	1,7
18	1,0	2,2	1,2	1,4	1,4	1,3	2,3	1,4	1,6	1,6	1,7
19	1,0	2,3	1,2	1,4	1,4	1,3	2,2	1,9	2,0	2,0	2,0
20	0,9	1,1	1,0	0,9	0,8	1,1	1,6	1,2	1,6	1,6	1,6

## 2. ESTIMATION DES FOURNITURES MAXIMALES POSSIBLES A PARTIR DE SIDI SALEM :

Il s'agissait d'estimer les possibilités d'exploitation supplémentaire des ressources disponibles à SIDI SALEM (et prélevées à EL AROUSSIA).

L'étude a comporté 16 essais à l'aide du modèle EAUTUN1\* en se plaçant à l'horizon 2000 et en augmentant progressivement la demande à EL AROUSSIA (demande QDAR) à partir du programme initial (donné dans le tableau 7).

Les essais ont été effectués pour les cotes maximales 100, 105 et 110 m à SIDI SALEM et en majorant la demande à EL AROUSSIA de 0 à 30 %.

Le total annuel majoré est le suivant :

Programme	Initial	+5%	+ 10%	+ 15%	+ 20%	+ 25%	+ 30%
QDAR (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	401 215	421 275	441 334	461 397	481 458	501 518	521 578

Le tableau 13 résume les résultats obtenus concernant les déficits et défaillances constatés au cours des différents essais. Il fait apparaître que pour la cote 105 le nombre des défaillances reste acceptable (inférieur à 10 défaillances mensuelles sur 20 ans) pour la satisfaction de besoins de l'ordre de 460 millions de m<sup>3</sup>, et pour la cote 110 m il en est de même pour des besoins de l'ordre de 520 millions de m<sup>3</sup>. Il faut d'ailleurs signaler que la quasi-totalité de ces défaillances se produisent pour l'année 19 qui est exceptionnelle, car elle correspond à des apports de la MEDJERDA qui ne représentent que 40 % du module interannuel.

Enfin, on constate que le déficit moyen annuel croît pratiquement linéairement avec la demande.

La figure 11 complète ces résultats en donnant la variation de la fourniture annuelle réelle à EL AROUSSIA (c'est-à-dire compte tenu des restrictions éventuelles) en fonction de la demande.

## 3. EFFET DE SURSALURE DANS LA RETENUE DE SIDI SALEM :

Pour cette étude, il s'agissait d'examiner l'importance du phénomène de sursalure dans SIDI SALEM avec ou sans protection des berges conformément au schéma que nous avons décrit (cf. chapitre II, paragr. 3.2.9.) et d'en constater les effets sur la salinité dans cette retenue et au niveau de la demande à EL AROUSSIA. En fait, nous avons essentiellement analysé le

\* voir "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE" - note D - "Exploitation du modèle de simulation EAUTUN1" -

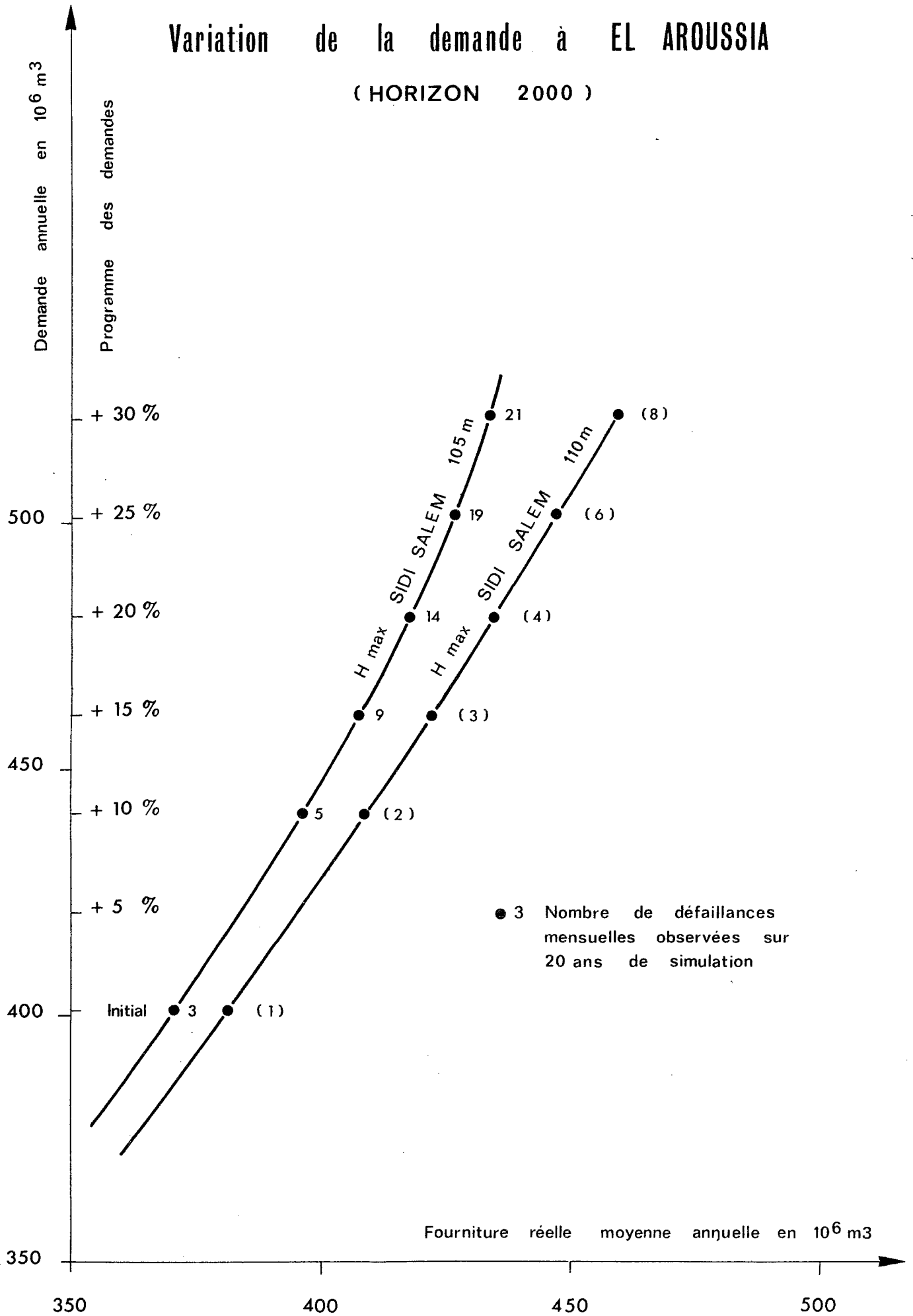
Tableau 13

Déficits et défaillances pour la demande à EL AROUSSIA observés  
sur 20 ans de simulation  
(Horizon 2000)

Demande annuelle à EL AROUSSIA (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	HMAX SIDI SALEM (m)	Déficit moyen an- nuel (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Déficit annuel maximal (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	Nombre de défaillances mensuelles sur 20 ans
401 215	100	25 104	182 124	23
	105	5 650	113 000	3
	110	805	16 100	1
421 275	100	32 903	197 392	30
441 334	100	42 527	213 466	34
	105	9 805	169 000	6
	110	5 200	104 000	2
461 397	100	53 006	230 222	43
	105	13 785	198 000	9
	110	7 100	142 000	3
481 458	105	18 700	227 000	13
	110	9 350	187 000	4
501 518	105	25 335	255 000	19
	110	11 800	236 000	6
521 578	105	33 785	276 000	21
	110	14 030	265 000	8

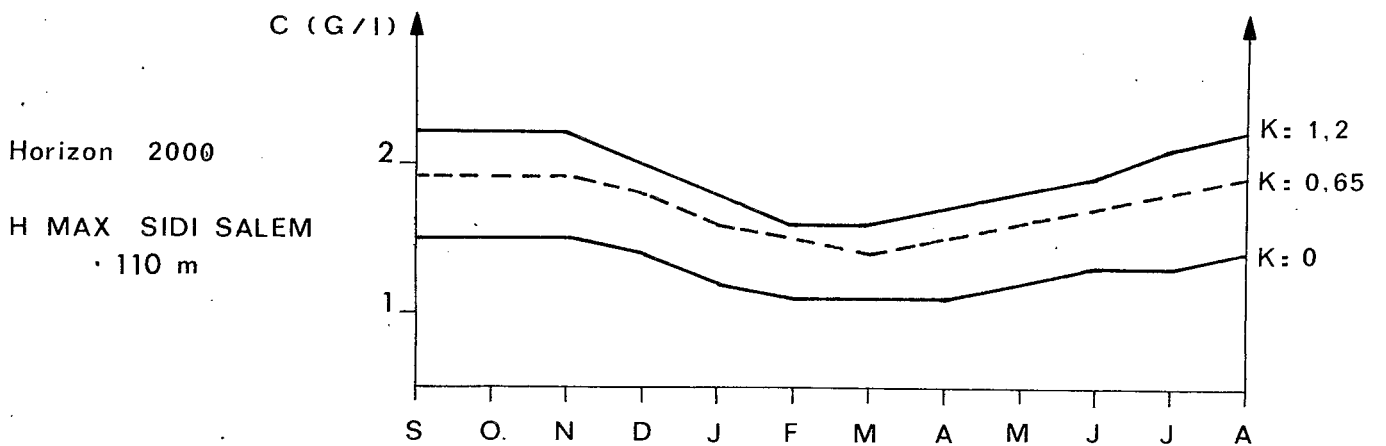
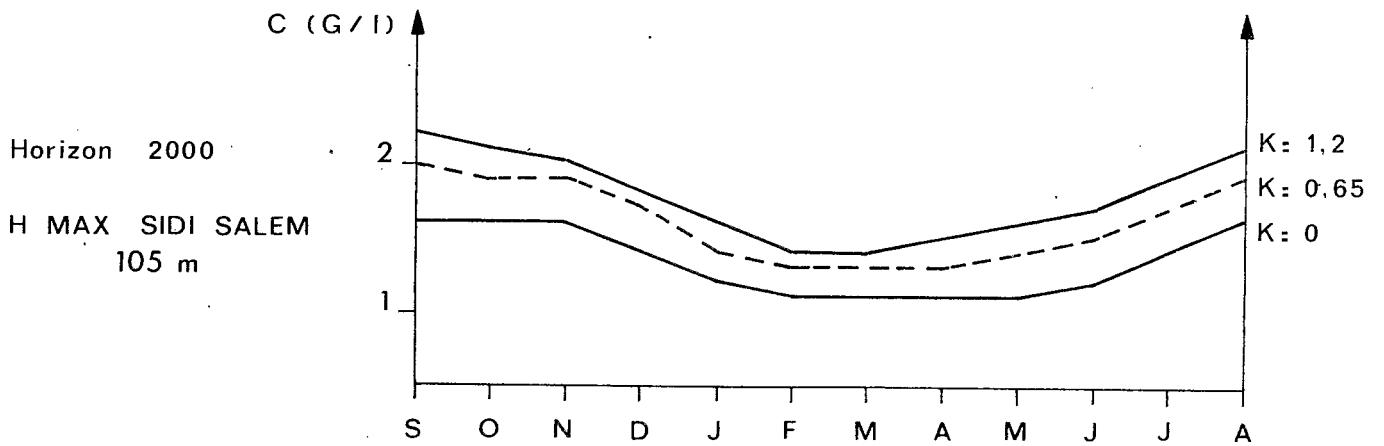
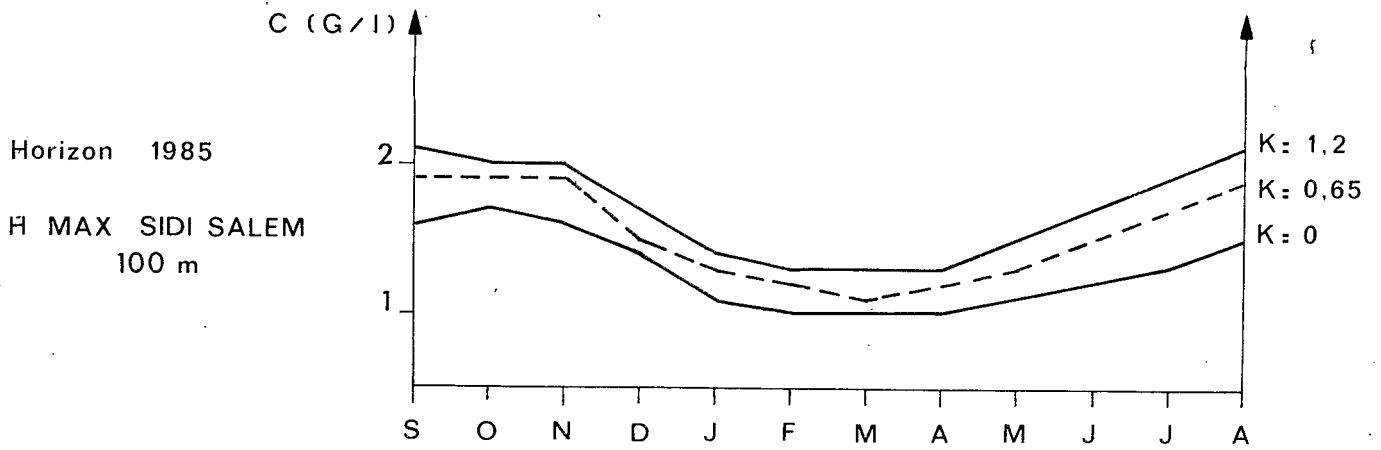
# Variation de la demande à EL AROUSSIA

( HORIZON 2000 )



## Variation de la concentration en sel moyenne de la retenue de Sidi Salem

Horizon



K: 0 Protection totale contre la sursalure      K: 0,65 Protection partielle contre la sursalure  
 K: 1,2 Sans protection contre la sursalure

processus de sursalure par effet de batillage (dont les conséquences sont les plus importantes) en faisant varier au cours des différents essais la valeur attribuée au coefficient K de vulnérabilité. L'opération a comporté 19 essais\* réalisés pour les horizons 1985 et 2000 et pour les cotes maximales 100, 105 et 110 m à SIDI SALEM avec des valeurs de K variant de 0 (protection totale) à 1,4 (sans aucune protection).

Pour tous ces essais, le taux de salure de l'eau restituée à la retenue par l'effet de "respiration des rives" a été pris égal à 6 G/L.

Nous avons rassemblé les principaux résultats dans les tableaux 14 et 15 pour la retenue de SIDI SALEM et 16 et 17 pour celle d'EL AROUSSIA.

La figure 12 donne également la variation moyenne de la salinité dans SIDI SALEM pour les états les plus significatifs de cette retenue et pour quelques valeurs intéressantes de K.

On constate les faits suivants :

- en l'absence de sursalure (protection totale) les salinités moyennes mensuelles restent comprises entre 1 et 2 G/L sur les deux retenues.

Pour un horizon donné (programme de demande fixé), on observe une légère diminution de la salinité avec l'augmentation de la cote maximale de SIDI SALEM. Les concentrations moyennes mensuelles varient très peu au cours de l'année.

L'intervalle entre les valeurs extrêmes diminue sensiblement avec l'augmentation de la cote maximale à SIDI SALEM. L'influence de la SILIANA apparaît importante et contribue à une nette augmentation de la salure entre SIDI SALEM et EL AROUSSIA. Cette augmentation est en moyenne de l'ordre de 0,2 G/L.

- L'accroissement de la salinité relatif à la prise en considération du phénomène de sursalure dans la retenue de SIDI SALEM est relativement important et apparaît plus fort dans cette retenue qu'au niveau d'EL AROUSSIA où sont effectués les prélèvements. Ceci est dû à l'incidence des apports intermédiaires entre les deux retenues.

Cet accroissement est nettement modulé au cours de l'année avec un maximum en Juillet-Août-Septembre et un minimum en Janvier-Février-Mars. En outre, il augmente sensiblement quand la cote maximale d'exploitation de SIDI SALEM passe de 100 à 105 M et de 105 à 110 M.

Avec une protection partielle par revêtement des berges aux pentes les plus faibles (K = 0,65), l'augmentation de salure à EL AROUSSIA atteint en moyenne 0,2 G/L pour une cote maximale à SIDI SALEM 100 M et 0,3 G/L pour une cote maximale 110 M. Sans protection (K étant alors estimé avec incertitude entre 1,0 et 1,4), elle varie peu quand on fait varier K de 1,0 à 1,4. On peut donc convenir qu'en l'absence de protection contre le batillage, on attribuera à K la valeur moyenne 1,2.

---

\* voir "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE" - Note D - "Exploitation du modèle EAUTUN1 -



Tableau 14

Concentration en sel dans la retenue de SIDI SALEM

(en G/L)

Horizon 1985 - HMAX = 100 M

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
:K = 0 : protection totale (sans sursalure) des berges												
:Moyenne	1,6	1,7	1,6	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5
:Maximum	2,6	2,4	2,3	1,9	1,5	1,3	1,4	1,4	1,4	1,7	2,6	2,9
:Minimum	1,2	1,0	1,1	0,9	0,7	0,5	0,6	0,7	0,6	0,9	1,0	1,1
:K = 0,65: protection partielle des berges												
:Moyenne	1,9	1,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,5	1,7	1,9
:Maximum	2,7	2,4	2,4	2,2	1,6	1,6	1,6	1,7	1,8	2,0	2,7	2,9
:Minimum	1,6	1,2	1,3	1,0	0,8	0,6	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5
:K = 1,4 : sans protection des berges												
:Moyenne	2,2	2,1	2,0	1,7	1,4	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,2
:Maximum	2,8	2,5	2,6	2,4	1,8	1,8	1,9	1,9	2,1	2,3	2,7	2,9
:Minimum	1,6	1,3	1,4	1,1	0,9	0,7	0,8	1,0	1,1	1,4	1,6	1,8

Tableau 15

Concentration en sel dans la retenue de SIDI SALEM  
(en G/L)

Horizon 2000 - HMAX = 110 M

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
:K = 0 : protection totale (sans sursalure) des berges												
:Moyenne :	1,5	1,5	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
:Maximum :	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,5	1,7	2,1	2,3	2,1
:Minimum :	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0
:K = 0,65: protection partielle des berges												
:Moyenne :	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
:Maximum :	2,5	2,4	2,4	2,4	2,2	1,8	1,9	1,9	2,1	2,4	2,5	2,5
:Minimum :	1,6	1,2	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
:K = 1,4 : sans protection des berges												
:Moyenne :	2,3	2,2	2,2	2,1	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3
:Maximum :	2,8	2,8	2,9	2,8	2,6	2,2	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,8
:Minimum :	1,9	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9

Tableau 16

Concentration en sel dans la retenue d'EL AROUSSIA

(en G/L)

Horizon 1985 - HMAX SIDI SALEM : 100 M

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
K = 0	protection totale (sans sursalure) des berges de SIDI SALEM											
Moyenne	1,8	1,7	1,8	1,7	1,6	1,3	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,6
Maximum	3,3	2,4	2,8	2,3	2,1	1,8	1,6	1,7	1,5	1,7	2,6	2,9
Minimum	1,1	1,0	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1
K = 0,65	protection partielle des berges de SIDI SALEM											
Moyenne	2,0	1,9	1,9	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,4	1,6	1,7	1,9
Maximum	3,3	2,5	2,9	2,4	2,1	2,0	1,7	1,8	1,8	2,0	2,6	2,9
Minimum	1,4	1,1	1,2	1,1	1,1	0,9	1,0	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5
K = 1,4	sans protection des berges de SIDI SALEM											
Moyenne	2,2	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,5	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2
Maximum	3,4	2,6	3,0	2,5	2,1	2,1	2,0	2,0	2,1	2,3	2,7	3,0
Minimum	1,6	1,2	1,3	1,2	1,2	1,0	1,1	1,1	1,3	1,5	1,6	1,8

Tableau 17

Concentration en sel dans la retenue d'EL AROUSSIA

(en G/L)

Horizon 2000 - HMAX SIDI SALEM : 110 M

	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT
:K = 0 : protection totale (sans sursalure) des berges de SIDI SALEM												
:Moyenne :	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,5	1,4	1,4	1,3	1,4	1,5	1,5
:Maximum :	3,4	2,3	2,7	2,3	2,5	2,3	1,8	1,8	1,8	2,2	2,4	2,3
:Minimum :	1,0	0,9	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
:K = 0,65: protection partielle des berges de SIDI SALEM												
:Moyenne :	2,1	1,9	2,0	1,9	2,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,9	2,0
:Maximum :	3,4	2,5	2,9	2,4	2,6	2,4	2,0	2,1	2,2	2,5	2,6	2,6
:Minimum :	1,5	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,5	1,6
:K = 1,4 : sans protection des berges de SIDI SALEM												
:Moyenne :	2,4	2,1	2,2	2,1	2,1	1,9	1,9	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4
:Maximum :	3,5	2,7	3,0	2,6	2,7	2,5	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9
:Minimum :	1,8	1,3	1,4	1,4	1,5	1,3	1,4	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0

#### 4. SATISFACTION DES BESOINS EN EAU POTABLE :

Cette étude a nécessité la mise au point de la version A que nous avons décrite dans le chapitre II.

Elle a comporté 19 essais portant d'une part sur la recherche des quantités maximales d'eau soutirable à SIDI SALEM à des fins d'eau potable, et d'autre part sur l'estimation de la capacité optimale à donner à la retenue de SAÏDA pour assurer au mieux la satisfaction des besoins de TUNIS et du CAP BON jusqu'en 1985.

La simulation a été effectuée avec prise en compte de l'effet de sursalure dans la retenue de SIDI SALEM en supposant une protection partielle des berges contre le batillage (c'est-à-dire avec un coefficient  $K = 0,65$ ). Les essais ont été réalisés pour les horizons 1982, 1983, 1984 et 1985 avec une cote maximale à SIDI SALEM de 100 m (capacité de  $235.10^6 \text{ m}^3$ ) et pour des cotes maximales à SAÏDA variant de 55 m (capacité nulle, c'est-à-dire sans SAÏDA) à 90 m (capacité de  $20.10^6 \text{ m}^3$ ).

Pour les différents horizons, les demandes annuelles en eau potable QD18 (TUNIS + CAP BON) et QD19 (besoins en route entre BEN METIR et TUNIS) sont les suivantes (en milliers de  $\text{m}^3$ ) :

Demands	1982	1983	1984	1985
QD18	93 540	96 990	102 410	107 790
QD19	8 460	9 010	9 590	10 210

Le critère de qualité de l'eau potable distribuée a été fixé par la limite maximale de la salinité qui en aucun cas ne doit excéder 1 G/L. Examinons rapidement les principaux résultats de cette étude\* :

##### 4.1. Prélèvement pour l'eau potable à EL AROUSSIA (eau stockée à SIDI SALEM) :

On constate dans le tableau 18 que pour un horizon donné (demande fixée) l'introduction de la retenue de SAÏDA ne modifie pratiquement pas les possibilités de prélèvement à EL AROUSSIA.

En moyenne la quantité d'eau soutirable à EL AROUSSIA à des fins d'eau potable est de 46 millions de  $\text{m}^3$  par an (48 millions avec SAÏDA) ; et 15 années sur 20 le prélèvement est supérieur ou égal à 40 millions de  $\text{m}^3$ .

\* voir Note E "Utilisation des eaux du Nord de la TUNISIE - Besoins en eau potable - Modèle de simulation EAUTUN1 A", Novembre 1973 -

Tableau 18

Prélèvements pour l'eau potable ( $10^3 \text{ m}^3$ ) à partir d'EL AROUSSIA

Horizon	Prélèvement annuel	Sans SAÏDA	HMAX SAÏDA (m)			
			75	80	85	90
1982	Moyen	41 800	41 800	42 000	41 800	-
	Médian	40 700	40 800	40 900	40 800	-
	Maximum	61 000	61 000	61 100	61 000	-
	Minimum	24 500	24 600	24 800	24 600	-
1983	Moyen	43 100	-	43 500	43 300	-
	Médian	42 000	-	42 400	42 200	-
	Maximum	63 100	-	63 300	63 300	-
	Minimum	25 400	-	25 300	25 500	-
1984	Moyen	44 900	-	45 800	45 600	-
	Médian	44 100	-	44 800	44 800	-
	Maximum	66 400	-	66 700	66 700	-
	Minimum	25 600	-	24 800	24 900	-
1985	Moyen	46 600	-	48 000	48 000	48 000
	Médian	46 100	-	47 400	47 400	47 500
	Maximum	69 600	-	70 200	70 100	70 200
	Minimum	25 400	-	24 900	26 000	26 000

4.2. Satisfaction des besoins en eau potable :

Pour les besoins en route à partir de BEN METIR (demande QD19), on ne constate aucune défaillance à la fourniture.

Pour les besoins de TUNIS et du CAP BON (demande QD18), nous avons résumé dans le tableau 19 les principales constatations concernant les défaillances :

Tableau 19

Nombre de défaillances mensuelles observées sur 20 ans  
de simulation pour la demande en eau potable de TUNIS  
et du CAP BON (QD18)

HMAX SAÏDA (m)	VMAX SAÏDA (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	1982	1983	1984	1985
55 (sans SAÏDA)	0	41	52	67	85
75	3 500	36	-	-	-
80	6 500	5	5	9	18
85	11 400	-	3	5	6
90	20 000	-	-	-	2

En l'absence de SAÏDA, le nombre de défaillances est considérable même pour l'horizon 1982.

L'introduction de SAÏDA permet de pallier ces défaillances dans la mesure où sa gestion permet un destockage fréquent, sinon son rôle de réserve d'eau douce devient nul en raison de la rapide augmentation de sa salure par suite de reconcentration par évaporation.

Pour le mode de gestion actuellement proposé par l'Administration Tunisienne, nous estimons que la cote maximale optimale d'exploitation de SAÏDA doit être fixée à 80 m jusqu'à l'horizon 1982 et à 85 m pour les horizons 1983 à 1985. Il serait d'ailleurs souhaitable d'envisager un autre mode de gestion permettant soit des destockages plus fréquents, soit un transfert systématique par cette retenue des eaux douces provenant de BEN METIR et du KASSEB.

Enfin cette étude a fait apparaître que lorsqu'il y a défaillance pour la demande QD18, les réserves sur les retenues de BEN METIR et KASSEB sont encore importantes, mais leur utilisation est limitée par l'insuffisance de la capacité de transport des conduites d'adduction vers TUNIS.