



MICROFICHE N°

08746

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية  
وزارة الزراعة

المركز القومي  
للتوثيق الزراعي  
تونس

F

1

REPUBLIQUE TUNISIENNE  
MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION GENERALE  
DES RESSOURCES

*DIRECTION  
DES EAUX DE SURFACE*

**MODELISATION DE LA RETENUE DE SIDI SALEM**

**CALIBRATION ET VERIFICATION DU MODELE D'EUTROPHISATION**

**MODELE HYDRAULIQUE ET MODELE DE Q'ALITE**

Janvier 1995

**M. SAADAOU**

## SOMMAIRE

1. INTRODUCTION
2. CARACTERISTIQUES DE LA RETENUE DU BARRAGE SIDI SALEM
3. BILAN HYDRAULIQUE DE LA RETENUE
4. QUALITE DE L'EAU DES OUEDS ALIMENTANT LA RETENUE

- 4.1 Température
- 4.2 Oxygène dissous
- 4.3 Demande biologique en oxygène et demande chimique en oxygène
- 4.4 Phosphore total et orthophosphate
- 4.5 Nitrates et azotes totaux
- 4.6 Matières en suspension

### 5. QUALITE DE L'EAU DE LA RETENUE DE SIDI SALEM

- 5.1 Stratification thermique
- 5.2 Oxygène dissous
- 5.3 Nitrates
- 5.4 Phosphore - Orthophosphate
- 5.5 Les indicateurs trophiques
  - 5.5.1 Chlorophylle
  - 5.5.2 Production primaire et biomasse
  - 5.5.3 Transparence de l'eau et matières en suspension

### 6. ESTIMATION DE L'ETAT TROPHIQUE DE LA RETENUE

### 7. MODELISATION DE LA RETENUE

- 7.1 Modèle hydraulique
  - 7.1.1 Calibration du modèle
  - 7.1.2 Vérification du modèle
- 7.2 Modèle d'eutrophisation
  - 7.2.1 Calibration du modèle

### 8. LUTTE CONTRE L'EUTROPHISATION

- 8.1 Au niveau de la retenue
- 8.2 Au niveau du bassin versant
  - 8.2.1 Installation d'une zone de protection de la retenue
  - 8.2.2 Assainissement des villes du bassin de la retenue

### 9. CONCLUSION

### ANNEXE

## 1. INTRODUCTION

La Mejerda est le cours d'eau le plus important de la Tunisie. Son bassin versant couvre une superficie totale de 23260 km<sup>2</sup>, dont 7600 km<sup>2</sup> (soit 32 %) sont situés en Algérie, son apport moyen annuel estimé à son embouchure est de l'ordre de un milliard de m<sup>3</sup>.

Les différents affluents de la Mejerda contribuent à son apport annuel avec les proportions suivantes :

- 29% de la haute Mejerda (en amont de la confluence du Mellègue).
- 20 % du Mellègue
- 6 % du Kasseb
- 9 % du Tessa
- 13 % du Bou Heurima
- 9 % du Béja et du Zarga
- 11 % du Siliana
- 4 % du Khalled
- 3 % des sous bassins intermédiaires.

Son régime est très irrégulier, 85 à 90 % de son débit coule entre les mois d'Octobre et Avril et 10 à 15 % de Mai à Septembre.

D'une façon générale, les eaux des affluents Sud (Mellègue, Tessa, Siliana) sont fortement chargées en sels dissous (concentrations moyennes supérieures à 1,5 g/l), tandis que les eaux des affluents de rive gauche sont plus douces (concentrations moyennes inférieures ou égales à 0,8 g/l).

Le bassin de la Mejerda est formé par :

- les hauts plateaux du sud d'une altitude moyenne de 600 à 800 mètres où prédominent la céréaliculture et l'élevage extensif des ovins.
- Localement dans les plaines de Siliana et du kef se développent l'arboriculture et les cultures maraichères.
- La moyenne Mejerda est constituée de plateaux et collines avec de sols riches sur lesquels sont développées de grandes exploitations agricoles (céréales, légumineuses, fourrages, betteraves à sucre, élevage bovin).

Le bassin de Mejerda est soumis à un climat de type méditerranéen avec un été chaud et sec et un hiver frais et irrégulièrement pluvieux. La pluviosité est caractérisée par une grande variabilité interannuelle, les précipitations étant, en année moyenne, supérieures à 400 mm sur toute la région (avec un coefficient de variation de l'ordre de 0,25) et pouvant atteindre 1500 mm sur la bordure Nord-Ouest de la Khroumire.

## 2. CARACTERISTIQUES DE LA RETENUE DU BARRAGE DE SIDI SALEM

La retenue du barrage Sidi Salem construite sur la Mejerda (Fig 1) a été mise en eau en 1981 et fournit environ le tiers de toutes les ressources en eau de surface mobilisables du pays. Cette retenue est à but multiple : elle sert pour la production de l'énergie électrique, à l'irrigation, à l'eau potable et à la protection de l'aval contre les inondations.

Le volume d'eau disponible à Sidi Salem constitue une donnée fondamentale du plan directeur de l'utilisation des eaux du Nord de la Tunisie.

La retenue de Sidi Salem est une retenue de plaine; dans le bassin de cette retenue, les zones agricoles et les périmètres communaux et industriels sont à l'origine de la pollution primaire résultant des déversements d'eaux usées dans la retenue ou dans ses affluents.

La retenue de Sidi Salem peut être divisée au point de vue morphologique en trois zones totalement différentes reliées en série (Fig.2).

- Une retenue fluviale où déversent la Mejerda et le Béja. Dans ce tronçon de retenue, les grandes sources d'apports en éléments nutritifs proviennent de l'oued Mejerda et l'oued Béja ; ce dernier est fortement chargé en eaux usées.

- Zone 2 : c'est la partie de la retenue où déverse l'oued Zarga.

- Zone 3 : cette zone est formée par le bras Sud de la retenue limitée par la digue . C'est dans cette partie du lac que la profondeur est maximale : d'environ de 35 m.

Sur le plan morphologique, le barrage a un rapport très défavorable de surface-capacité et le rapport entre le volume d'eau de l'épilimnion et le volume d'eau de l'hypolimnion surtout lorsque le niveau d'eau atteint la côte 110 m NGT ; donc l'épilimnion où les algues se développent est plus important que l'hypolimnion où les algues produites se dégradent.

Les principales caractéristique de la retenue sont données ci-après :

|                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| Surface du B.V ..... | 18250 km <sup>2</sup>    |
| Apport moyen.....    | 720 Mm <sup>3</sup> /an  |
| Apport maximum.....  | 2000 Mm <sup>3</sup> /an |

#### Capacité

|                          |               |                               |
|--------------------------|---------------|-------------------------------|
| Côte de retenue normale  | NGT = 100 m : | 235 Mm <sup>3</sup>           |
| Côte de retenue maximale | NGT = 110 m : | 503 Mm <sup>3</sup> (en 1991) |

#### Surface de la retenue

|                        |             |         |
|------------------------|-------------|---------|
| Côte de la retenue à : | 100 m NGT : | 2330 ha |
| Côte de la retenue à : | 110 m NGT : | 4300 ha |

#### Profondeur moyenne

Pour la côte de :

- 110 m NGT : 10 m
- 110 m NGT : 13 m

#### Niveau de prise

|                             |   |      |       |
|-----------------------------|---|------|-------|
| Pour la centrale électrique | : | 97,5 | m NGT |
|                             | : | 89   | m NGT |
| Prise d'irrigation          | : | 75   | m NGT |

|                    |   |             |             |
|--------------------|---|-------------|-------------|
| Vidange de fond    | : | 72,5        | m NGT       |
| Volume élimination | = | 2,6         | à 1,2       |
| Volume hypolimnion |   | (100 m NGT) | (110 m NGT) |

#### *Demande en eau*

|                                |   |     |                     |
|--------------------------------|---|-----|---------------------|
| Eau d'irrigation               | : | 350 | Mm <sup>3</sup> /an |
| Eau potable (moyenne annuelle) | : | 48  | Mm <sup>3</sup> /an |
| Eau potable prévisible         | : | 150 | Mm <sup>3</sup> /an |

Les besoins des grandes agglomérations de Tunis, du Cap Bon, de Bizerte, ainsi que du Sahel et Sfax et les besoins "en route" le long de la conduite qui alimente Tunis depuis la retenue de Ben Mètur sont partiellement satisfaits à partir de ressources locales, le complément annuel demandé au système de ressources Mejerda-Ichkeul-Zouara devrait atteindre près de 423 millions de m<sup>3</sup> en l'an 2000 comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Volumes d'eau potable fournis par le système :  
Mejerda-Ichkeul-Zouara

| Demande (Mm <sup>3</sup> ) | 1985         | 1990         | 1995         | 2000         |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Bizerte                    | 11,1         | 17,5         | 21,4         | 30,7         |
| Sahel Sfax                 | 20,6         | 50,4         | 80,0         | 109,0        |
| Besoins en route           | 12,5         | 17,0         | 20,0         | 22,0         |
| Tunis Cap-Bon              | 80,0         | 147,0        | 200,0        | 260,9        |
| <b>TOTAL</b>               | <b>124,2</b> | <b>232,9</b> | <b>322,4</b> | <b>422,6</b> |

Cette demande en eau potable est accompagnée d'une contrainte de qualité (à l'exception de la demande vers le Sahel) : La salinité de la fourniture ne doit pas excéder 1 g/l.

Le problème de qualité de la Mejerda est aggravé par les eaux de mauvaise qualité provenant de l'Algérie où la majorité des agglomérations et des unités industrielles du bassin situées en Algérie déversent leurs rejets à l'état brut dans la Mejerda.

### 3. BILAN HYDRAULIQUE DE LA RETENUE

La retenue s'est remplie 7 fois après la mise en eau du barrage : en Janvier 1983, en Avril 1984, en Janvier 1987, en Juillet 1990, Décembre 1990, Avril 1992, Janvier 1993.

L'évolution du volume d'eau du barrage, des apports et des lâchers pour la période Janvier 1987-Avril 1994, montre que le régime hydraulique de la retenue a connu une période de sécheresse (Mai 1987 - Juillet 1990) où le problème de qualité s'est posé.

Les apports liquides de la retenue estimés à partir des bilans hydrauliques mensuels sont présentés au tableau 2:

Tableau 2 : Les apports au barrage (m<sup>3</sup>/s)

| Année   | FÉV  | MAR   | AVR   | MAI   | JUN  | JUL   | AOÛT  | Année   |
|---------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|---------|
| 1981/82 | 7,34 | 5,28  | 4,90  | 4,86  | 7,35 | 18,3  | 39,1  | 1981/82 |
| 1982/83 | 6,78 | 18,5  | 45,0  | 52,0  | 26,3 | 8,41  | 15,5  | 1982/83 |
| 1983/84 | 2,56 | 3,75  | 12,7  | 12,3  | 42,4 | 95,5  | 40,3  | 1983/84 |
| 1984/85 | 2,61 | 4,62  | 2,83  | 47,2  | 105  | 30,0  | 15,5  | 1984/85 |
| 1985/86 | 4,36 | 6,54  | 1,57  | 1,54  | 9,98 | 15,6  | 17,8  | 1985/86 |
| 1986/87 | 4,84 | 29,8  | 12,2  | 35,5  | 52,7 | 105   | 17,7  | 1986/87 |
| 1987/88 | 10,9 | 4,57  | 2,52  | 2,46  | 5,90 | 4,07  | 28,1  | 1987/88 |
| 1988/89 | 4,89 | 16,38 | 5,66  | 4,73  | 3,48 | 5,58  | 5,5   | 1988/89 |
| 1989/90 | 24,9 | 5,36  | 0,875 | 1,49  | 10,9 | 11,7  | 2,2   | 1989/90 |
| 1990/91 | 24,3 | 40,0  | 66,2  | 2,46  | 42,3 | 50,1  | 59,7  | 1990/91 |
| 1991/92 | 13,0 | 3,55  | 4,94  | 1,43  | 10,2 | 11,9  | 39,1  | 1991/92 |
| 1992/93 | 8,37 | 13,14 | 9,39  | 6,3,4 | 14,8 | 17,8  | 4,25  | 1992/93 |
| 1993/94 | 1,32 | 0,323 | 2,21  | 10,1  | 36,9 | 4,72  | 1,40  | 1993/94 |
| Moyenne | 8,95 | 11,83 | 13,15 | 17,12 | 36,0 | 29,13 | 23,60 |         |

#### 4. QUALITE DE L'EAU DES OUEDS ALIMENTANT LA RETENUE

Les stations de prélèvements étudiées sont : la Mejerda au queue du barrage près de Bou Saler, le Béja et l'Oued Zarga.

##### 4.1 Température

La température de l'eau des Oueds Mejerda, Béja et Zarga, évolue de la même façon ; elle atteint 9 à 11°C en Janvier-Février et 26 à 30°C en Juillet-Août ; ce qui influence la stratification de l'eau de la retenue.

##### 4.2. Oxygène dissout

Pour la Mejerda, la concentration en oxygène varie entre 3 à 12 mg/l et elle varie de 4 à 13 mg/l pour le Zarga. Tandis que pour le Béja, la concentration en oxygène n'a pas dépassé les 6 mg/l ; de Mars à Mai, elle atteint des valeurs très faibles. Cette consommation d'oxygène peut être due à la forte teneur de carbone organique dissout.

##### 4.3. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et demande chimique en oxygène (DCO)

Pour l'Oued Béja, les fortes valeurs en DBO<sub>5</sub> et DCO situées en été (Juin à Août) s'expliquent :

- d'une part par les rejets de substances organiques biodégradables avec les eaux usées.
- d'autre part par la présence d'algues formées à partir des substances nutritives. Pendant l'hiver les valeurs sont faibles car l'ensoleillement est également faible, donc la production algale l'est également. Pour la Mejerda et le Zarga les valeurs en DBO<sub>5</sub> et DCO sont très faibles par rapport aux valeurs observées à Béja.

Pour le Zarga, les valeurs sont inférieures à 8 et à 30 mg O<sub>2</sub>/l respectivement pour la DBO<sub>5</sub> et la DCO et pour la Mejerda, ces valeurs ne dépassent pas 10 et 25 mg O<sub>2</sub>/l respectivement pour la DBO<sub>5</sub> et la DCO.

#### 4.4. Phosphore total et orthophosphate

Pour la Mejerdah les concentrations en phosphore total sont d'habitude faibles. Durant la période d'observation, les fortes valeurs enregistrées correspondent à des apports de crues, les valeurs 100 et même 200 mg/l sont enregistrées pendant les grandes crues.

Pour le Zarga, la valeur 100 mg/l n'a été dépassé que pendant les crues. Pour le Béja, la teneur en phosphore total est élevée surtout à la fin de l'été et en automne au moment où les betteraves sont conditionnées par la raffinerie.

#### 4.5. Nitrates et azites totaux

Les concentrations en azote Kjeldhal et en nitrate évoluent avec les saisons. Les fortes valeurs sont enregistrées en hiver ; et de Mars à Octobre-Novembre, les concentrations en ces matières diminuent ; comme les nitrates et l'ammonium sont assimilés par les algues ce qui explique les fortes valeurs en DBO<sub>5</sub> et DCO.

L'analyse des résultats enregistrés aux 3 affluents fait remarquer que :

- l'Oued Béja est le plus chargé en phosphore total (1000 g/l). La concentration en cet élément est 12 fois plus élevée à Béja qu'à Mejerdah (80 g/l) et 20 fois qu'à l'Oued Zarga (45 g/l).

- pour les nitrates, la valeur moyenne est identique d'une année à l'autre et aussi la même pour les trois affluents (environ 3,5 mg/l NO<sub>3</sub>-N).

#### 4.6. Les matières en suspension

Les transports solides se font essentiellement au cours des crues qui représentent au moins 80 % de l'écoulement annuel. A Bou Salem, les concentrations moyennes minimales sont estimées à 25 g/l. Si on tient compte des débits moyens annuels (487 Mm<sup>3</sup>) on peut estimer le transport solide au niveau de cette station à 12 millions de tonnes.

### 5. QUALITE DE L'EAU DE LA RETENUE DE SIDI SALEM

Nous présentons ci-après les paramètres caractéristiques de révolution de la qualité de l'eau.

#### 5.1. Stratification thermique

La retenue de Sidi Salem appartient aux lacs monomictiques chauds.

D'après les diagrammes montrant la variation de température de la retenue en fonction du temps et de la profondeur, l'année est divisée en deux périodes (Fig 3) :

- l'homothermie d'hiver : du mois de Novembre au mois de Février Mars, une circulation totale et une oxygénation complète du fond de la retenue sont provoquées par le mélange intégral de l'eau de ses affluents et l'action du vent.

- période de stagnation : à partir de Mars, la température de l'eau de la retenue commence à augmenter pour atteindre son maximum en Juillet à Août 27 à 30°C à l'épilimnion et 14 à 18°C en Septembre-Octobre à l'hypolimnion. (les fortes températures s'observent pour les années de sécheresse successives où il n'y a pas eu d'apports de crue froide).

### 5.2. Oxygène dissous

Le début de la chute de la concentration en oxygène dissous au fond de la retenue commence à partir du mois d'Avril pour atteindre des valeurs très faibles en Octobre (Valeur nulle le 25/10/85). Tant qu'il existe une différence de température entre la surface et le fond, le lac reste stratifié et les couches profondes perdent plus ou moins rapidement leurs réserves d'oxygène sous l'effet de la respiration des êtres qui l'habitent. L'hypolimnion peut devenir anoxique, ce qui permet le recyclage dans la retenue des éléments piégés par des sédiments du fond en période de l'aérobic.

### 5.3. Nitrates

Parallèlement à la concentration en oxygène, on remarque une diminution des concentrations des nitrates observées au fond de la retenue à partir des mois Mai-Juin. On note que l'épuisement de l'oxygène se fait en premier lieu puis les nitrates seront épuisés après pour servir comme substances oxydantes supplémentaires retardant ainsi l'utilisation des sulfates dans le processus de décomposition des matières organiques déposées au fond de la retenue.

### 5.4. Phosphore - Orthophosphate

La concentration des orthophosphates reste, en dehors de la période des apports, pratiquement stable. Par contre les concentrations du phosphore total et assimilable diminuent sensiblement durant la période de stratification.

L'évolution presque constante du phosphore au fond du lac (20 à 40  $\mu\text{g/l}$  Prot) peut être expliquée par le fait que les ions orthophosphates sont fixés par les matières en suspension et les ions calciums et seront éliminés par sédimentation ou transformés en phosphate insoluble.

Pour les quatre dernières années 1990-1993, on remarque que la concentration de phosphore total a atteint au niveau de la bouée B1 3 maximums : deux en 1990 : le 1er en Juin ( $\text{mg/m}^3$ ), l'autre en Octobre (91  $\text{mg/m}^3$ ), le troisième maximum est enregistré en Septembre 1993 (63  $\text{mg/m}^3$ ). C'est en automne qu'on note les concentrations élevées, ce qui correspond au lessive des engrais utilisés en début de la saison agricole. A la fin de la saison hivernale, les grands apports de phosphore arrivent à la retenue (B5).

C'est avec les conditions hydrologiques du bassin que varie la concentration de phosphore total : une période de sécheresse entraîne une augmentation de la concentration alors qu'en période pluvieuse, des apports importants arrivent au barrage.

Pour l'orthophosphate c'est la même évolution que pour le phosphore. Les grandes concentrations sont enregistrées en saison hivernale.

Pour la concentration moyenne annuelle de  $\text{PO}_4$  enregistrée dans les différentes bouées, elle varie dans le même que le phosphore total en allant de B5 vers B1 c'est à dire du queue du barrage vers la digue.

Tableau 3 : Ptot au niveau de la bouée 1 ( $\text{mg/m}^3$ )

| Année | JAN  | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AOUT | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 1990  | 13,4 | 50  | 42  | 40  | 50  | 97  | **  | 36   | 51  | 91  | 43  | 33  |
| 1991  | 38   | 19  | 20  | 15  | 27  | 7   | 17  | 30   | 21  | 11  | 13  | 37  |
| 1992  | 21   | 11  | 9   | 8   | 20  | 23  | 31  | 18   | 6   | 6   | 5   | **  |
| 1993  | 9    | 3   | 12  | 9   | 10  | 10  | -   | 17   | 63  | 17  | 11  | -   |

Tableau 4 : Ptot au niveau de la bouée 3 ( $\text{mg/m}^3$ )

| Année | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUN | JUL | AOUT | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| 1990  | 39  | 50  | 56  | 402 | 55  | 32  | **  | 31   | 40  | **  | 53  | 40  |
| 1991  | 60  | 15  | 16  | 12  | 25  | 15  | 15  | 22   | 19  | 12  | 26  | 39  |
| 1992  | 22  | 7   | 8   | 9   | 28  | 8   | 34  | 21   | 5   | 5   | 3   | 1   |
| 1993  | 9   | -   | 13  | 34  | 17  | 11  | 10  | 14   | 42  | 11  | 14  | -   |

### 5.5. Les indicateurs trophiques

#### 5.5.1 Chlorophylle

La concentration de chlorophylle utilisée en tant qu'indicateur de la biomasse phytoplanctonique a été déterminée depuis l'année 1982 dans la retenue. Pour les 5 stations de prélèvement, nous donnons ci-après les moyennes arithmétiques des teneurs en chlorophylle a ( $\text{mg/m}^3$ ) pour les années 1984, 1985 et 1986.

Tableau 5. Concentration en chlorophylle

| Station           | B1   | B2   | B3   | B4   | B5   | Moyenne Annuelle |
|-------------------|------|------|------|------|------|------------------|
| Année             |      |      |      |      |      |                  |
| 1984              | 3,90 | 4,75 | 3,84 | 4,18 | 5,01 | 4,34             |
| 1985              | 4,3  | 5,55 | 5,3  | 4,88 | 7,64 | 5,54             |
| 1986 jusqu'à Août | 7,6  | 7,7  | 4,3  | 6,6  | -    | 6,6              |

D'après ce tableau, il paraît que l'année 1986 a connu une période de production algale plus importante que les deux années précédentes. Les preuves de cette haute productivité sont d'une part les concentrations de chlorophylle enregistrées dans les différentes parties de la retenue, d'autre part les biovolumes phytoplanctoniques des différents prélèvements de l'année 1986.

La quantité de chlorophylle a en  $\text{mg/m}^2$  a été déterminée pour quatre stations de la retenue. La moyenne pour la période (Janvier-Août 86) varie entre 60 et 130  $\text{mg/m}^2$  avec une moyenne pour la retenue de 85  $\text{mg/m}^2$ .

#### 5.5.2 Production primaire et biomasse

La production primaire a été mesurée par la méthode de l'oxygène produit par la photosynthèse algale. Les résultats obtenus pour toutes les profondeurs sont intégrés jusqu'à la profondeur où la photosynthèse est minimale.

Tableau 6. Productivité mesurée à la station B1

| Date                                                         | 2/10 | 23/10 | 10/1 | 21/2 | 23/4 | 7/5  | 13/5 | 29/5 | 3/7  |
|--------------------------------------------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| Méthode                                                      |      |       |      |      |      |      |      |      |      |
| Oxygène produit<br>(mg O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /12h)  | 2980 | 5790  | 7740 | 7330 | 3260 | 7170 | 7270 | 5700 | 7300 |
| Biomasse au filet<br>(mg/m <sup>2</sup> )<br>(5 m - surface) |      |       |      |      |      |      | 6,8  | 4,5  | 5,6  |

Tableau 7 : Biomasse phytoplanctonique Station B1

|                        | 10/4/86 |      | 23/4/86 |     | 29/5/86 |     | 17/6/86 |      | 3/7/86 |      |
|------------------------|---------|------|---------|-----|---------|-----|---------|------|--------|------|
| Profondeur (m)         | 1       | 2    | 1       | 4   | 1       | 5   | 1       | 5    | 1      | 5    |
| Biomasse totale (mg/l) | 1,96    | 2,23 | 0,5     | 2,0 | 5,5     | 0,7 | 6,6     | 3,8  | 1,9    | 2,9  |
| Pendulum %             | 91      | 80   | 0       | 87  | 10,8    | 0   | 36      | 0    | 64     | 0    |
| Cyclotella %           | 0       | 8    | 41,8    | 7,8 | 78,4    | 39  | 54,2    | 65,8 | 2,1    | 46,6 |

### 5.5.3 Transparence de l'eau et matière en suspension

La pénétration de la lumière dans l'eau est fonction de la concentration des matières en suspension (MES) et de la turbidité de l'eau et elle est généralement mesurée comme la transparence de l'eau au disque Secchi (D.S) (tableaux 8 et 9).

Tableau 8 : Transparence au disque Secchi

| Données | Maximum | Minimum | Moyenne           |                   |                    |
|---------|---------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|
|         |         |         | 1984<br>(Jan-Déc) | 1985<br>(Jan-Eté) | 1986<br>(Jan-Août) |
| 1       | 4,28    | 0,50    | 1,97              | 1,62              | 1,29               |
| 2       | 2,10    | 0,60    | 1,33              | 1,34              | 0,70               |
| 3       | 2,83    | 0,75    | 1,38              | 1,64              | 0,90               |
| 4       | 2,24    | 0,60    | 1,26              | 1,28              | 0,89               |
| 5       | 1,20    | 0,36    | 0,58              | 0,73              | 0,50               |

Tableau 9 : M.E.S (Total en mg/l) à 4 stations et à différentes profondeurs

| Station        | B1   |      | B2   |      | B3   |      | B4   |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Profondeur (m) | 0,2  | 10   | 0,2  | 10   | 0,2  | 10   | 0,2  | 10   |
| Moyenne        | 11,7 | 7,5  | 18,6 | 15,0 | 12,7 | 12,3 | 16,6 | 12,4 |
| Ecart type     | 0,2  | 3,56 | 16,8 | 9,1  | 6,1  | 7,0  | 2,3  | 7,85 |
| C.V            | 0,53 | 0,47 | 0,91 | 0,61 | 0,48 | 0,57 | 0,74 | 0,63 |

## 6. ESTIMATION DE L'ETAT TROPHIQUE DE LA RETENUE

Nous donnons ci-après les paramètres caractérisant le régime hydraulique et la morphologie de la retenue de Sidi Salem pour pouvoir déterminer l'état trophique de cette retenue.

Le temps de résidence de l'eau de la retenue est estimé à 0,5 ans, pour une cote ne dépassant pas 105 m NGT. Ce temps de résidence suffit pour un développement important de plancton à partir des éléments nutritifs présents dans le lac. Pendant la période de stratification où les conditions sont favorables à la photo-assimilation, la durée de séjour de l'eau dans la retenue ne constitue pas un facteur limitant de l'eutrophisation.

La profondeur moyenne du barrage est de 10-13 m, ce qui correspond à un rapport volume de l'épilimnion avec le volume de l'hypolimnion de 2,6 à 1,3 : c'est un barrage peu profond. Le barrage présente donc une morphologie très défavorable surface-contenance, autrement dit les algues produites dans un épilimnion 1,3 fois plus important que l'hypolimnion où ces algues se dégradent.

Pour le lac principal près de la digue, nous avons obtenu les moyennes annuelles des paramètres suivants :

Tableau 10 : Paramètres trophiques de la retenue

|                 | P (en $\text{mg}/\text{m}^3$ ) | Chl <i>a</i> ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) | D.S. moy (m) | D.S. max (m) |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------|--------------|
| 1985            | 40                             | 4,3                                     | 1,62         | 0,45         |
| 1986 (Jan-Août) | 27                             | 7,6                                     | 1,29         | 0,60         |

Pour l'année 1986 la température hypolimnionique est relativement élevée par rapport à l'année 1985, ceci est dû au manque d'apport de crue (eau froide) durant l'année hydrologique 85-86.

Pour les années 1990, 1991, 1992 et 1993, des moyennes annuelles sont calculées pour la chlorophylle, le phosphore total, l'orthophosphate et la charge en phosphore.

Tableau 11 : Concentration en chlorophylle *a* ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

|         | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | Moyenne |
|---------|------|------|------|------|---------|
| Bouée 1 | 6,10 | 9,9  | 8,1  | 7,06 | 8,02    |
| Bouée 3 | 5    | 9,1  | 6,80 | 9,28 | 7,55    |
| Bouée 4 | 5,9  | 8,2  | 7,2  | 8,17 | 7,42    |
| Bouée 5 | 8,9  | 9,1  | 11,8 | 9,3  | 9,78    |
| Moyenne | 6,3  | 9,1  | 8,3  | 8,68 | 8,15    |

Tableau 12 : Concentration en phosphore total ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

|         | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | Moyenne |
|---------|------|------|------|------|---------|
| Bouée 1 | 52   | 21   | 15   | 19   | 26      |
| Bouée 3 | 45   | 21   | 13   | 18   | 23      |
| Bouée 4 | 44   | 22   | 19   | 19   | 26      |
| Bouée 5 | 67   | 29   | 15   | 31   | 40      |
| Moyenne | 52   | 24   | 20   | 21   | 29      |

Tableau 13 : Concentration en orthophosphate ( $\text{mg/m}^3$ )

|         | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | Moyenne |
|---------|------|------|------|------|---------|
| Bouée 1 | 11   | 5    | 5    | 6    | 7       |
| Bouée 3 | 15   | 7    | 5    | 6    | 8       |
| Bouée 4 | 12   | 10   | 6    | 7    | 9       |
| Bouée 5 | 33   | 9    | 11   | 14   | 17      |
| Moyenne | 18   | 8    | 7    | 8    | 10      |

Tableau 14 : Charge en phosphore ( $\text{g/m}^2$ )

|         | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | Moyenne |
|---------|------|------|------|------|---------|
| Bouée 1 | 0,86 | 0,52 | 0,36 | 0,37 | 0,53    |
| Bouée 3 | 0,65 | 0,50 | 0,27 | 0,35 | 0,44    |
| Bouée 4 | 0,61 | 0,34 | 0,28 | 0,23 | 0,37    |
| Bouée 5 | 0,23 | **   | 0,33 | 0,18 | 0,25    |
| Moyenne | 0,59 | 0,45 | 0,31 | 0,29 | 0,40    |

La lecture des 4 tableaux précédents ( tab 11 à tab 14 ), nous permet de tirer les conclusions suivantes :

- les valeurs de concentrations de chlorophylle a enregistrées au niveau des 4 bouées de la retenue sont très modestes ( 5 à  $10 \text{ mg/m}^3$ , et n'ont pas dépassé les  $10 \text{ mg/m}^3$ ). Pour la retenue fluviale au niveau de la bouée 5, les concentrations en chl a sont les plus élevées, c'est la zone où l'oued Béja déverse ses eaux riches en matières nutritives.

- de même les valeurs du phosphore total et orthophosphate enregistrées aux différentes bouées, sont très modestes; seule la bouée 5 présente des valeurs élevées.

Les résultats de l'étude, indiquent que notre retenue est caractérisée par une production algale non excessive avec des concentrations moyennes en chlorophylle a allant de 4 à  $9 \text{ mg/m}^3$  (dans la zone euphotique, elle est environ de  $10 \text{ mg/m}^3$ ) des biomasses algales allant de 2 à  $10 \text{ g/m}^2$ , une production primaire de 1,5 à  $3 \text{ g C/m}^2/\text{jour}$  et une profondeur au disque de Secchi moyenne d'environ 1,5 m.

Ces indicateurs de l'état trophique montrent, si on applique le modèle prédictif de Volenweider en prenant une profondeur moyenne de 10 m, que la retenue est mésotrophe à la limite de l'eutrophie.

Malgré les faibles teneurs enregistrées en oxygène dissous dans l'hypolimnion durant la période de stratification, l'hydrogène sulfuré est absent dans le fond de la retenue. Les conditions chimiques de l'eau de la retenue ont joué leur rôle positif : les concentrations en calcium ont transformé les phosphates assimilables en phosphore insoluble qui sera éliminé de la zone trophique par précipitation.

## 7. MODELISATION DE LA RETENUE

### 7.1 Modèle hydraulique

Cette modélisation a permis de calculer et de suivre l'évolution du régime thermique de la retenue en faisant le bilan des échanges de chaleur entre le lac et son environnement pendant la période de l'année où les apports liquides et les prises d'eau sont habituellement faibles (de Mars-Avril jusqu'au mois de Septembre-Octobre), période sans crues qui est dominée par la dispersion. La période où les apports sont faibles, peut être critique pour la qualité de l'eau brute retenue au barrage. C'est pendant cette période que la retenue a été modélisée et il serait donc possible de simuler l'établissement, la stabilisation et le déclin de la thermocline.

#### 7.1.1. Calibration du modèle :

Deux périodes ont été utilisées pour la calibration du modèle:

- données de l'année 1985: de la période 18 Avril-24 Octobre,
- données de l'année 1990: 20 Mai- fin Octobre

Les résultats de calibration sont très satisfaisants. La correspondance entre les simulations et les observations est bonne (Tableau 15). Les profils de température calculés et observés sont donnés en annexe (Fig.4 à 11).

Pour l'année 1985, l'écart entre les valeurs observées et calculées pour le dernier jour de simulation pour la côte et le volume correspondant, peut s'expliquer par les grands débits de prise entre le 5/9 et 28/9/85 qui est de  $46,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui correspond à l'ouverture de la vanne de fond en Septembre. Les courants générés par ce débit sont trop importants pour être décrits par ce modèle hydraulique dans sa version actuelle (modèle unidimensionnel).

Tableau 15 : Résultat de calibration : Bilan hydraulique de la retenue pour l'année 1985

| Date    | Côte (m) |        | Volume ( $10^6 \text{ m}^3$ ) |       | Evaporation (mm) |      |
|---------|----------|--------|-------------------------------|-------|------------------|------|
|         | Obs.     | Cal.   | Obs.                          | Cal.  | Obs (bac)        | Cal. |
| 20/5/85 | 107,30   | 107,30 | 450                           | 447,8 | 4                | 6,8  |
| 28/5/85 | 107,30   | 107,30 | 446                           | 444,1 | 5                | 5,5  |
| 15/6/85 | 106,68   | 106,8  | 432                           | 431,6 | 9                | 8,0  |
| 10/7/85 | 105,77   | 105,9  | 384                           | 397,9 | 9                | 9,1  |
| 22/7/85 | 105,24   | 105,24 | 374                           | 380,1 | 9                | 9,1  |
| 29/7/85 | 104,98   | 105,0  | 365                           | 371,0 | 10               | 9,4  |
| 06/8/85 | 104,56   | 104,5  | 355                           | 356,7 | 9                | 10   |
| 28/8/85 | 103,46   | 103,4  | 322                           | 322,3 | 10               | 8,8  |
| 5/10/85 | 101,75   | 99,8   | 275                           | 229,4 | 3                | 4,9  |

Pour l'année 1990, de même aussi les écarts sont observés pour les jours qui correspondent à des périodes de crues

**Tableau 16 : Résultat de calibration: bilan hydrique de la retenue pour l'année 1990**

| Date             | Côte du plan d'eau (m) |         | Volume (en $Mm^3$ ) |          | Evaporation (mm) |         | Observations |
|------------------|------------------------|---------|---------------------|----------|------------------|---------|--------------|
|                  | Observé                | Calculé | Observé             | Calculé  | Observé          | Calculé |              |
| 18/4/90 (108 j)  | 100,37                 | 100,37  | 241,9               | 242,9    | 3,8              | 2,99    |              |
| 6/5/90 (128 j)   | 100,02                 | 100,02  | 238,5               | 239,0019 | 4,6              | 3       |              |
| 30/5/90 (150 j)  | 100,00                 | 99,88   | 225,00              | 234,6    | 5,3              | 4,8     |              |
| 27/6/90 (178 j)  | 99,39                  | 98,83   | 210,0               | 207,4    | 9,5              | 8,5     |              |
| 26/7/90 (207 j)  | 97,24                  | 97,24   | 187,99              | 188,476  | 10               | 8,9     |              |
| 29/8/90 (241 j)  | 101,23                 | 100,9   | 291,9               | 290,164  | 6,8              | 10,6    |              |
| 8/9/90 (251 j)   | 100,5                  | 101,5   | 273,28              | 283,435  | 9                | 11,8    |              |
| 11/9/90 (269 j)  | 100,99                 | 101,93  | 280,9               | 283,7156 | 7,5              | 11,9    |              |
| 26/9/90 (269 j)  | 100,99                 | 101,93  | 280,9               | 283,7156 | 7,5              | 11,9    |              |
| 24/10/90 (290 j) | 101,9                  | 101,6   | 283,4               | 283,213  | 3                | 0,7     |              |

### 7.1.2 Vérification du modèle avec les données de 1984, 1986 et 1989

La simulation de la situation hydraulique et thermique de la retenue a été faite en utilisant:

- pour les années de simulation 1984 et 1986 les résultats de calibration de l'année 1985
- et pour l'année de simulation 1989, les résultats de calibration de l'année 1990 et avec des données météorologiques calculées sur un pas de temps de 10 jours.

Pour la période de stratification de la retenue, les résultats sont satisfaisants, les correspondances entre les profils de température observés et calculés d'une part, et les bilans hydrauliques observés et calculés d'autre part sont bonnes (Tableau 17). Les profils de température sont donnés en annexe (Fig 14 à 16).

**Tableau 17 : bilan hydraulique de l'année 1984 : simulation**

| Date     | Côte (m) |        | Volume ( $10^6 m^3$ ) |       | Evaporation (mm) |      | Observations |
|----------|----------|--------|-----------------------|-------|------------------|------|--------------|
|          | Obs.     | Cal.   | Obs.                  | Cal.  | Obs (bac)        | Cal. |              |
| 28/3/84  | 108,80   | 108,80 | 509                   | 503,0 | 8                | 4,1  |              |
| 25/6/84  | 107,50   | 107,5  | 458                   | 455,3 | 7                | 8,5  |              |
| 30/7/84  | 105,78   | 105,6  | 495                   | 388,4 | 8                | 10,8 |              |
| 27/8/84  | 104,45   | 104,1  | 350                   | 341,2 | 7                | 7,7  |              |
| 21/9/84  | 103,64   | 103,0  | 325                   | 310,7 | 2,7              | 7,0  | Phase 11,7   |
| 29/10/84 | 103,23   | 102,2  | 317                   | 298,4 | 2,7              | 4,8  | 3,7          |
| 9/11/84  | 103,08   | 102,3  | 308                   | 291,5 | 3                | 4,9  |              |
| 10/12/84 | 102,42   | 101,4  | 294                   | 266,8 | 1                | 2,6  |              |

**Tableau 18 : Résultat de simulation avec les données de 1989  
Bilan hydraulique de la retenue**

| Date     | Côte (m) |       | Volume ( $10^6 m^3$ ) |         | Evaporation (mm) |      | Observations |
|----------|----------|-------|-----------------------|---------|------------------|------|--------------|
|          | Obs.     | Cal.  | Obs.                  | Cal.    | Obs (bac)        | Cal. |              |
| 25/4/89  | 99,94    | 99,5  | 223,23                | 22,36   | 4,8              | 5    |              |
| 21/5/89  | 99,5     | 98,93 | 210                   | 209,726 | 7,1              | 5,2  |              |
| 21/7/89  | 98,10    | 98,21 | 190,57                | 194,373 | 13               | 8,26 |              |
| 24/8/89  | 99,90    | 99,44 | 220,43                | 221,100 | 8                | 6,7  |              |
| 25/9/89  | 98,555   | 98,4  | 195,0                 | 198,292 | 5,5              | 5,6  |              |
| 17/10/89 | 100,84   | 101,5 | 264,523               | 270,543 | 2,4              | 3,7  |              |

## 7.2 Modèle d'eutrophisation :

ce modèle est utilisé pour analyser le développement temporel des algues, de l'oxygène dissous, du nitrate, etc., pendant les périodes stratifiées sous l'effet des conditions météorologiques et des débits de transit dans la retenue. Pour Sidi Salem ce modèle contient 15 variables d'état pour chacune des 5 couches qu'on a adopté pour la retenue.

### 7.2.1. Calibration du modèle : données des années 1985 et 1990

Les données des années 1985 et 1990 ont été utilisées pour réaliser une calibration du modèle. Les résultats obtenus sont indiqués en annexe (Fig 17 à 21).

Pour les deux années utilisées, les concentrations en oxygène dissous, la correspondance entre les valeurs observées et calculées est bonne pour le fond de la retenue sans apparition d'hydrogène sulfuré, tandis que pour la couche superficielle, les résultats du modèle sont légèrement sous estimés si on considère que tous les résultats d'observation sont fiables. Durant cette période, la couche trophogène est saturée en oxygène dissous.

Pour les nitrates, les valeurs obtenues en surface et au fond par simulation sont dans la même gamme que les valeurs observées.

Les valeurs calculées des concentrations de phosphate sont légèrement surestimées dans l'hypolimnion et ceci peut être expliqué par le fait qu'il y a une précipitation de phosphate par le calcium sous forme d'hydroxyapatite. D'ailleurs, cette précipitation de phosphore par le calcium est observée pour les 4 stations de la retenue.

## 8. LUTTE CONTRE L'EUTROPHISATION

Différentes solutions sont envisagées :

### 8.1 Au niveau de la retenue du barrage :

- \* Vidange partielle en automne des eaux des couches profondes avant l'arrivée des premières crues pour évacuer l'eau hypolimnique riche en sels nutritifs et diminuer la période de stratification thermique.

- \* Introduction de poissons algivores : des expertises et des études ont été faites avant la mise en eau du barrage et ont supposé qu'une fois le barrage fonctionnel, une eutrophisation très rapide est prévue si des mesures n'étaient pas prises pour y remédier. Les mesures suggérées prévoient entre autres le peuplement du lac de poissons phytophages.

Le contrôle de l'état trophique de la retenue depuis sa mise en eau jusqu'à aujourd'hui, a montré que le lac est mésotrophe et ne peut donc pas encore être qualifié d'eutrophe.

Le projet d'introduction de poissons algivores ne peut pas être exécuté dans un proche avenir et ceci pour les raisons suivantes :

- s'agissant d'eaux mésotrophes, il est difficile de juger de l'effet positif du poisson algivore.

- l'eutrophisation progressive du lac ne peut être réduite qu'en réduisant la charge en éléments fertilisants des affluents alimentant la retenue en pratiquant une déphosphatation au niveau des stations de traitement de l'ONAS de BOU SALEM et de JENDOUBA.

- Le problème de commercialisation de poissons algivores et la rentabilité du projet sont deux composantes qui méritent d'être bien étudiées.

### **3.2. Au niveau du bassin versant :**

#### **3.2.1 Instauration d'une zone de protection de la retenue**

Pour donner plus de chance à la préservation et à la restauration de la qualité de la retenue de Sidi Salem, il a été nécessaire de procéder à l'aménagement de zones de protection dans le bassin versant du barrage pour diminuer l'apport de substances nutritives arrivant au barrage.

Dans ces zones de protection, des restrictions sévères seront appliquées dans la zone même du barrage et dans le secteur limitrophe ainsi qu'à proximité des rives du cours de l'oued principal. Des restrictions sont moins sévères en ce qui concerne l'exploitation des zones qui se trouvent suffisamment distantes de la retenue.

Les interventions techniques pour réduire l'apport de substances nutritives en provenance de l'environnement immédiat de la retenue, dont certaines ont été déjà mises en application telles que :

- des mesures sylvo-pastorales préventives contre l'érosion, à savoir l'aménagement de chenaux d'érosion, de petites digues parallèles aux courbes de niveau, encouragement de la végétation de maquis, là où le reboisement est impossible, reboisement de la zone de rive directe de la retenue.

- l'aménagement d'étangs d'épuration dans les systèmes complexes de digues d'érosion et d'oueds profonds dans l'environnement de la retenue.

- le développement d'une ceinture forestière autour de la retenue pour réduire l'apport en substances nuisibles dans les eaux de la retenue.

- la fourniture d'abreuvoirs de remplacement (construction de citernes) pour le bétail en dehors de la zone de protection pour écarter les animaux de la retenue.

Pour le cadre juridique relatif à l'aménagement des zones de protection, nous disposons du "code des eaux" qui gère toutes les questions relatives à l'exploitation du domaine public hydraulique et en particulier pour la sauvegarde et la préservation du milieu aquatique et l'environnement en général.

#### **3.2.2 Assainissement des villes du bassin de la retenue**

Pour les localités les plus importantes situées dans le bassin de la retenue et ayant des populations comprises entre 10.000 et 50.000 habitants, qui sont Béja, Bou Salem, Jendouba, Kef Les villes de BEJA et de JENDOUBA se trouvant en amont de la retenue sont moyennement industrialisées. Les stations de traitement de ces 2 villes sont déjà fonctionnelles depuis la fin de l'année 1993. La majorité des villes et des communes du bassin sont équipées de collecteurs d'eaux usées rudimentaires et la Mejerda constitue le milieu récepteur des eaux usées et pluviales de toutes les agglomérations situées dans son bassin. Un projet est en cours de réalisation concernant l'assainissement, et l'épuration avec des possibilités ou nécessités de la réutilisation des eaux épurées en agriculture.

Le problème d'assainissement se pose en des termes particulièrement délicats en raison d'une part des rejets des eaux usées à l'état brut et d'autre part des déchets solides rejetés d'une façon anarchique dans les affluents ou directement dans la Mejerda.

## 9. CONCLUSION

Dans le bassin de la retenue de Sidi Salem, les zones agricoles, les périmètres communaux et industriels sont à l'origine de la pollution primaire résultant des déversements d'eaux usées dans le lac ou dans ces affluents.

Malgré les apports importants en phosphore et en matières organiques qui arrivent dans le lac, l'état trophique de l'eau du lac est à considérer comme mésotrophe. Ceci est confirmé par les valeurs relativement modestes de chlorophylle *a* (en général  $< 10 \text{ mg/m}^3$  dans la couche trophogène) et de biomasse algale ( $2-10 \text{ g/m}^3$  de poids frais).

Cependant, la production primaire déduite à partir de la production d'oxygène est relativement élevée (de  $500$  à  $1000 \text{ g C/m}^2/\text{an}$ ). Les valeurs de transparence au disque Secchi (Valeur moyenne  $1,3 - 1,6 \text{ m}$ , valeur minimale environ  $0,5 \text{ m}$ ) indiquent un état d'eutrophie.

En ce qui concerne la modélisation de la retenue, l'utilisation de modèles dynamiques a permis après calibration de bien suivre:

- l'évolution de la situation hydraulique et thermique de la retenue en simulant en particulier l'établissement, la stabilisation, et le déclin de la thermocline pendant la période de stagnation de la retenue où les apports sont constitués essentiellement par les étiages.

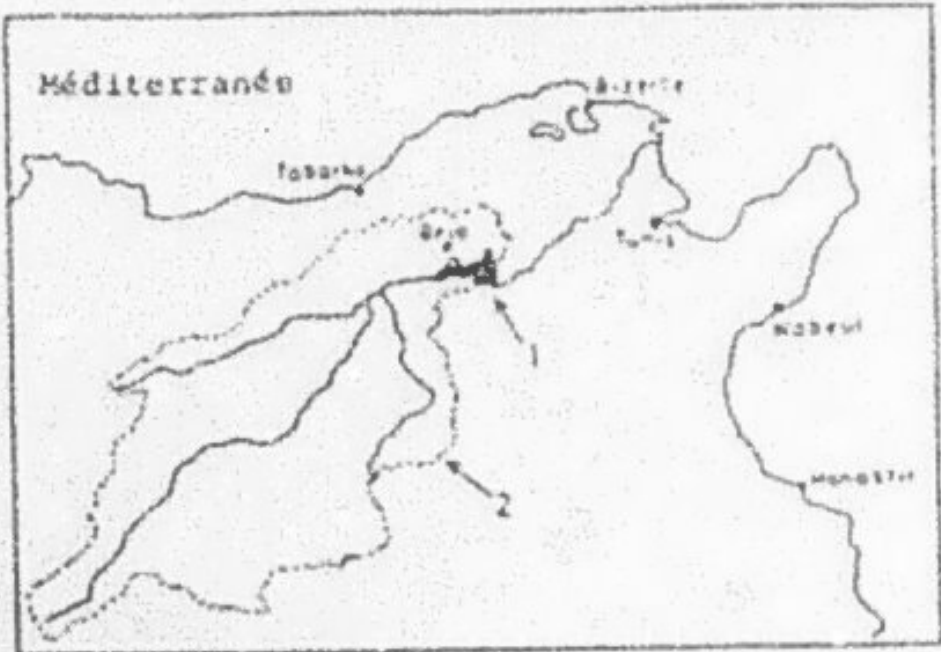
- le développement temporel des algues (chl *a*), de l'oxygène dissous, du nitrate, de l'orthophosphate, etc. pendant la période stratifiée sous l'effet des conditions météorologiques et des débits de transit dans la retenue.

En ce qui concerne la protection de la retenue, les procédés d'intervention qui permettent de réduire ou de supprimer les effets de l'eutrophisation, consistent à réduire la charge des fertilisants du bassin versant. La réduction des apports des fertilisants constitue toujours la première des priorités. Pour la retenue Sidi Salem, 2 stations de traitement sont déjà fonctionnelles qui sont celles de Béjà et de Jendouba qui doivent normalement traiter toutes les eaux usées provenant soit des réseaux des communes soit des rejets industriels (sucrierie, huileries, tanneries, levuretries et d'autres industries installées dans la région). L'élimination de la matière organique par le traitement des eaux usées pourra avoir une incidence favorable sur la désoxygénation des couches profondes de la retenue.

L'instauration d'une zone de protection tout autour de la retenue contribue à réduire les apports des fertilisants dans les eaux de la retenue. Le reboisement de grandes superficies du bassin constitue un moyen très efficace de lutte contre l'érosion, ce qui permet d'allonger la durée de vie du barrage et préserver la qualité de l'eau accumulée dans la retenue.

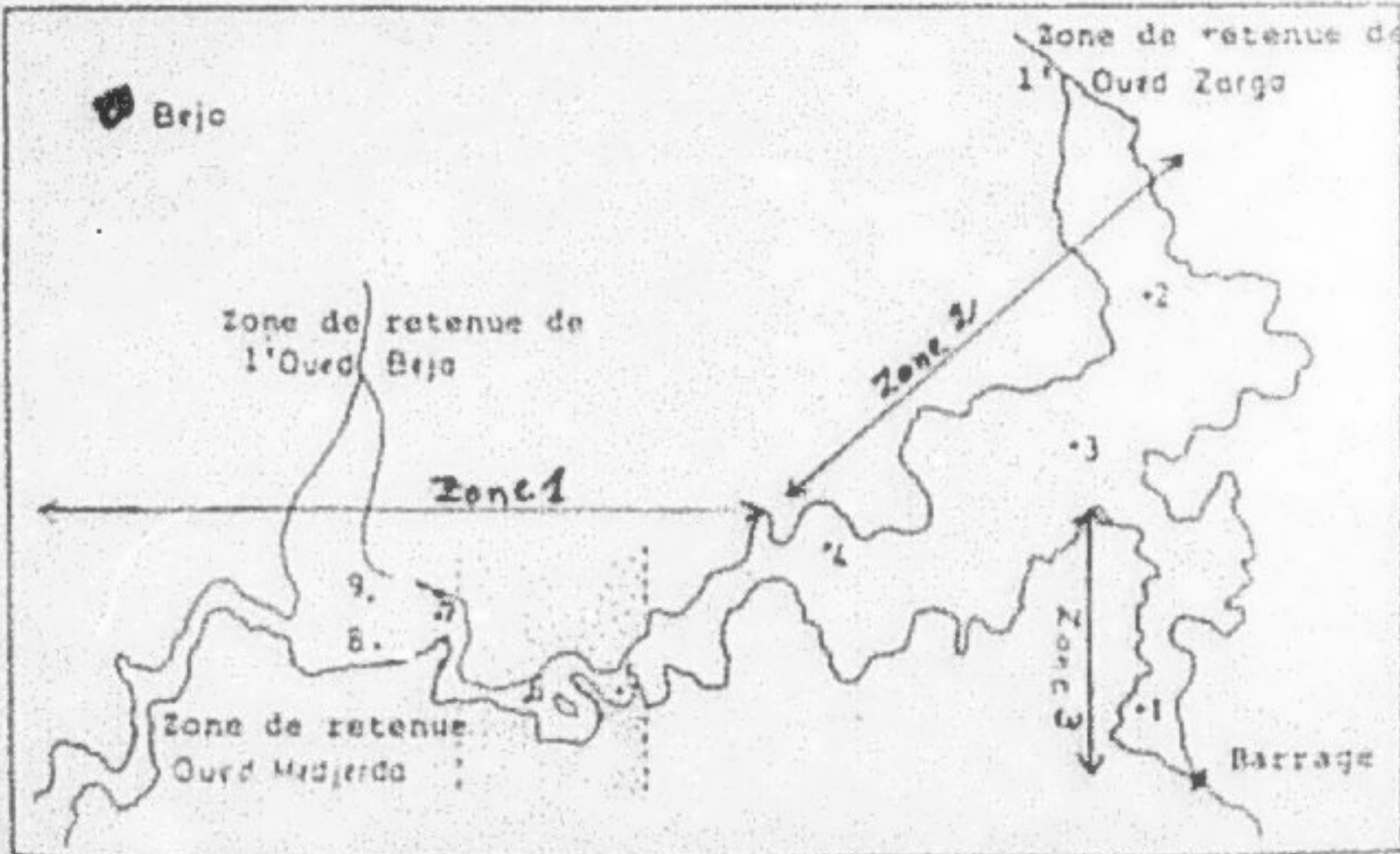
ANNEXE

FIG 1. Situation géographique de la retenue de barrage



Legende : 1 Barrage  
2 Limites du bassin versant

**FIG 2** . La retenue du barrage de Sidi Salem



Legende:  Zone de présence de roches triasiques salines  
1-9 Points de prélèvement dans le lac

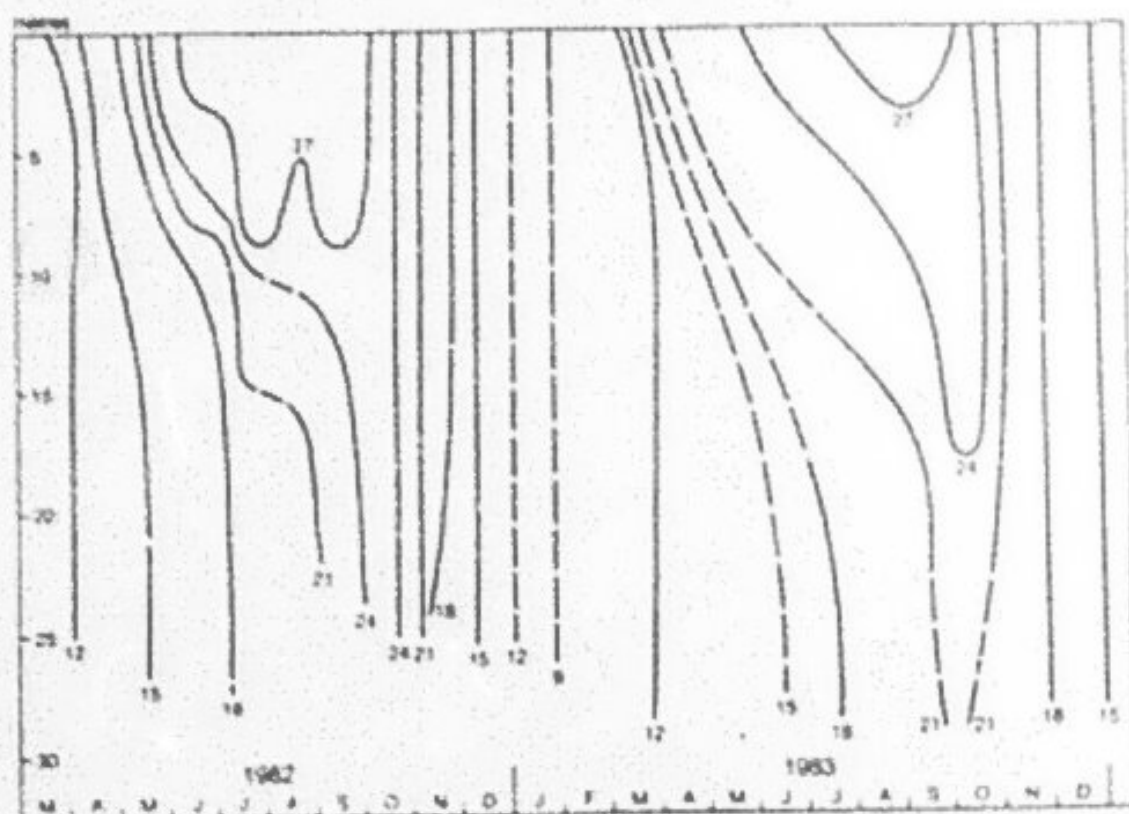


FIG 3a BARRAGE DE SIDI SALEM - DIAGRAMME PROFONDEUR-TEMPS DES TEMPERATURES DANS LA RETENUE (PERIODE 1982-1983)

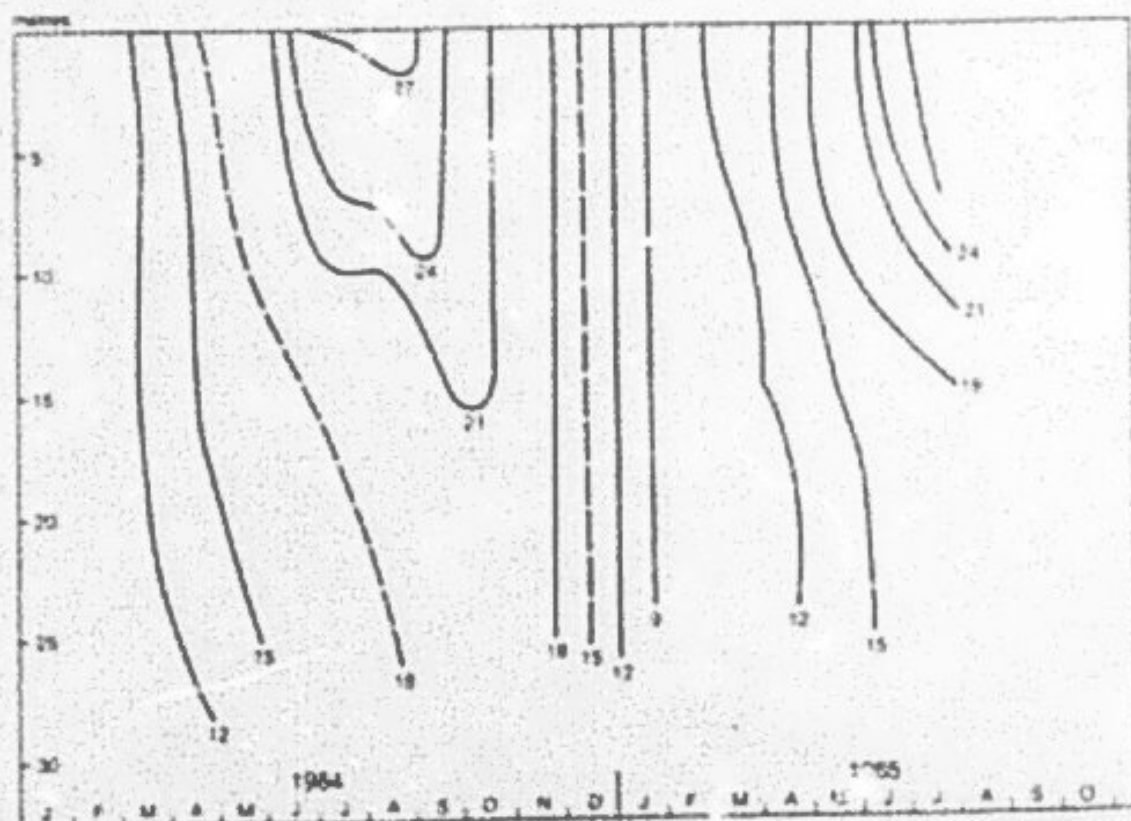


FIG 3b BARRAGE DE SIDI SALEM - DIAGRAMME PROFONDEUR-TEMPS DES TEMPERATURES DANS LA RETENUE (PERIODE 1984-1985)

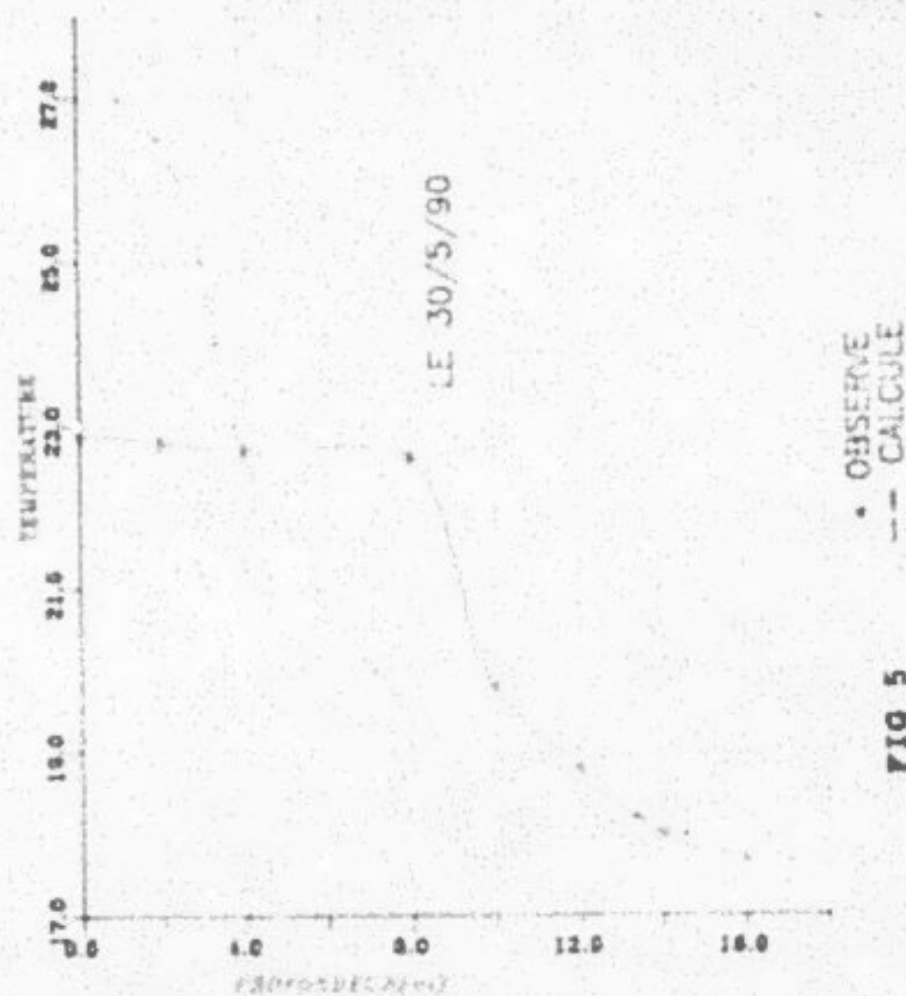


FIG 5

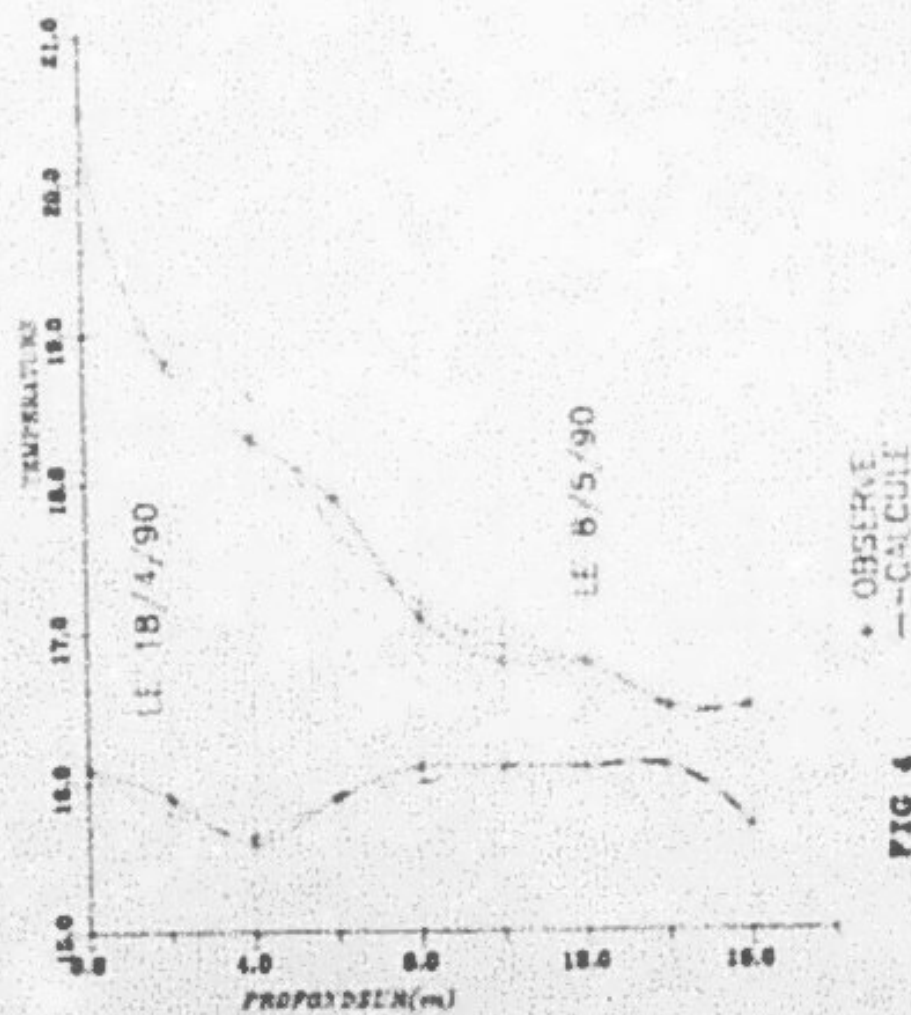
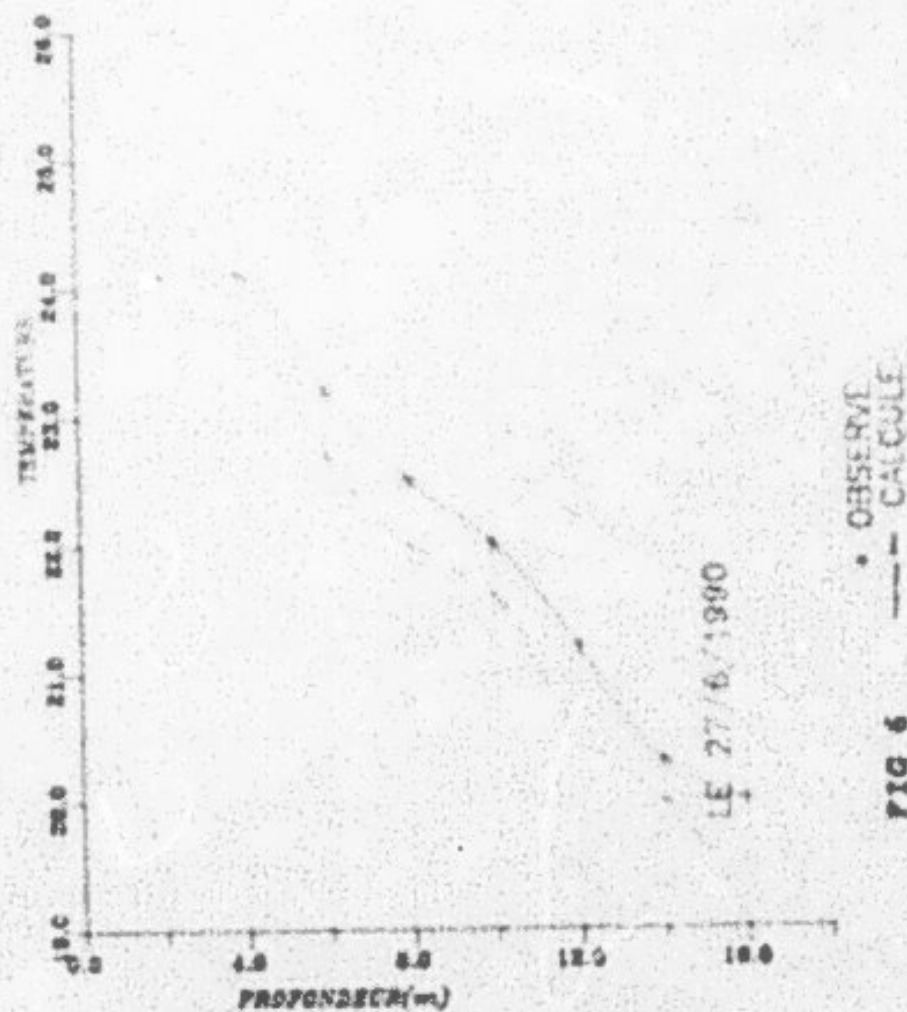
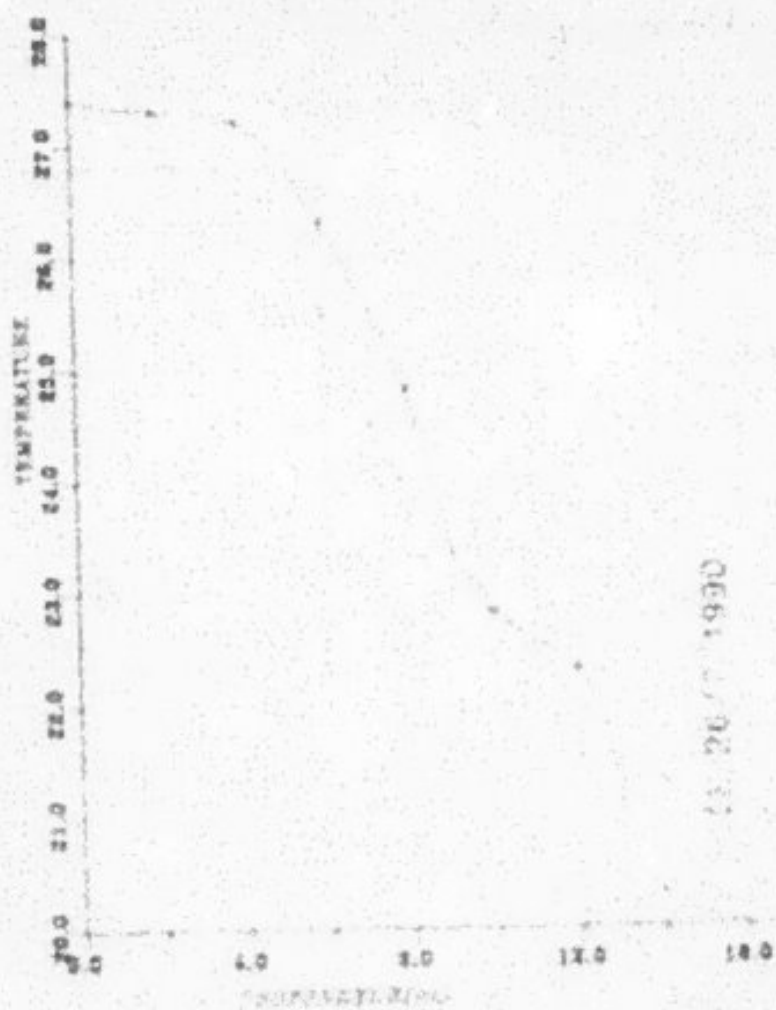


FIG 4



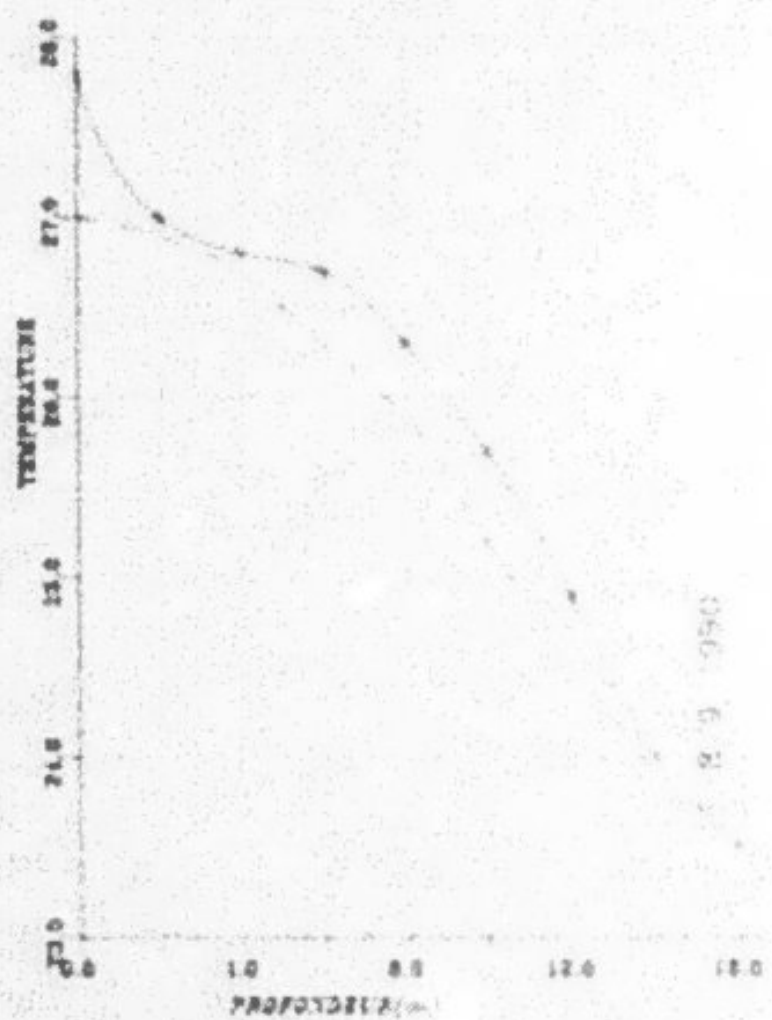


FIG 8  
 \* OBSERVED  
 --- CALCULATED

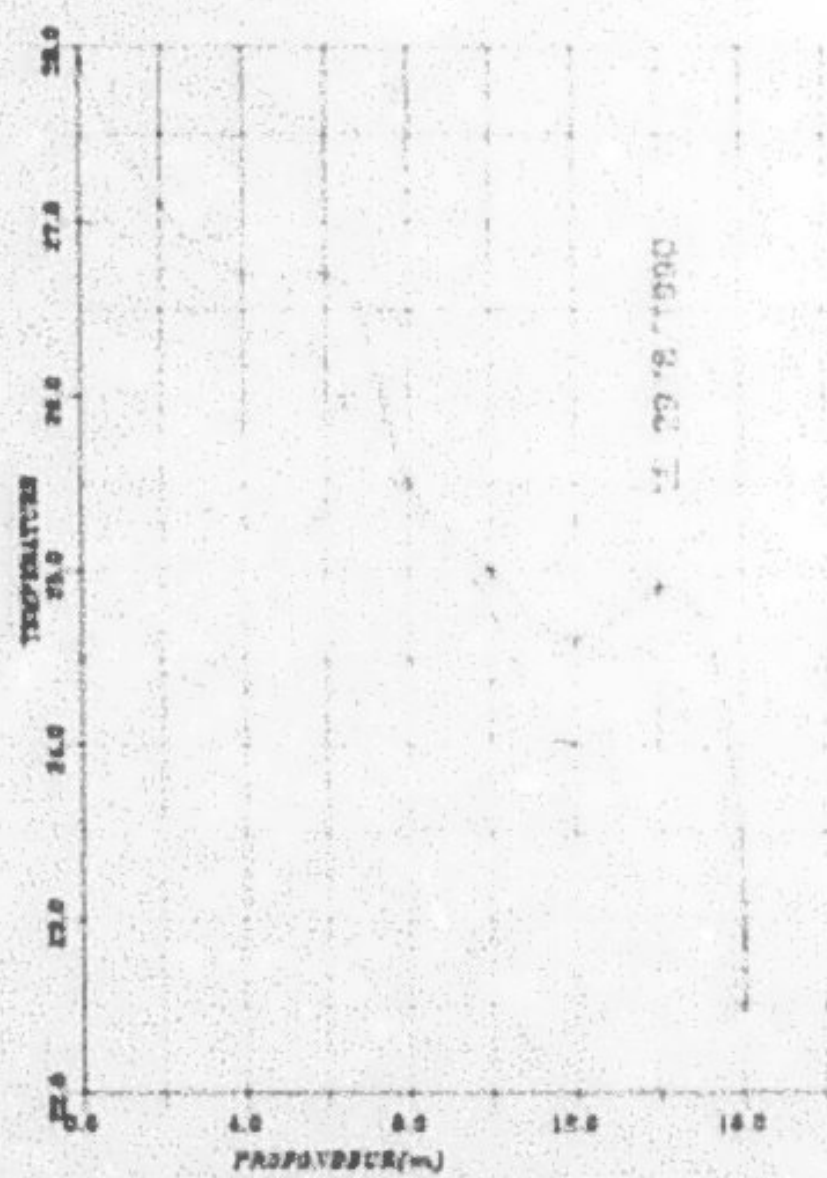
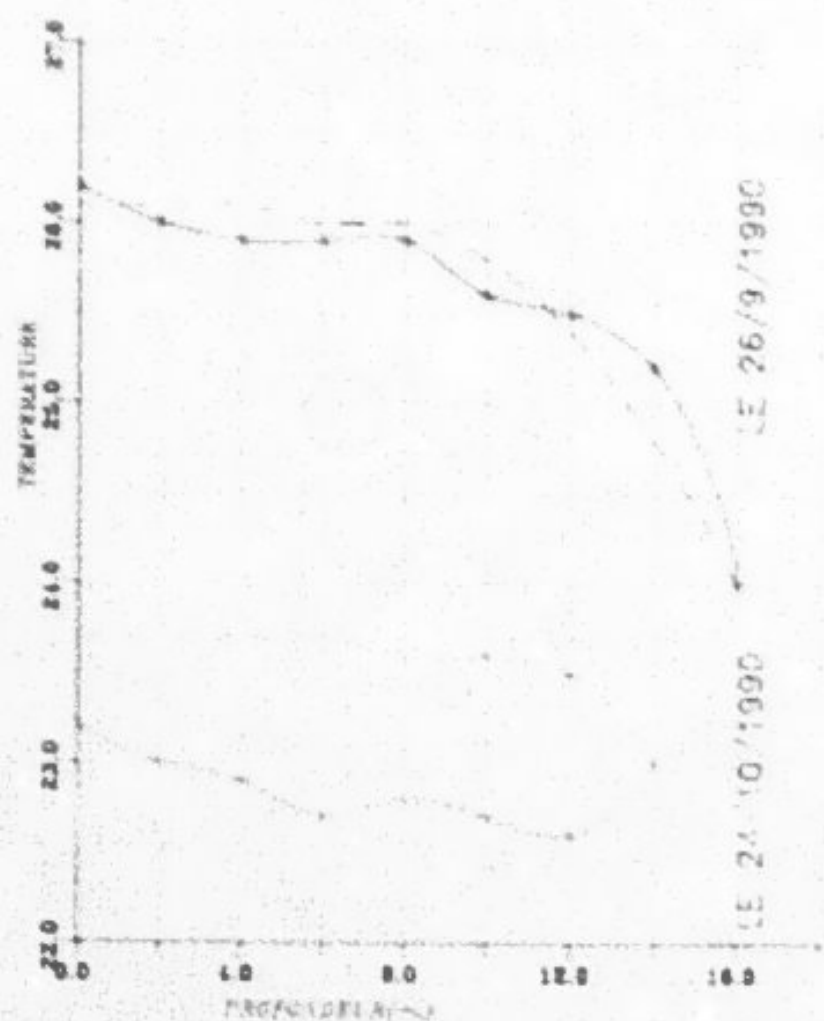
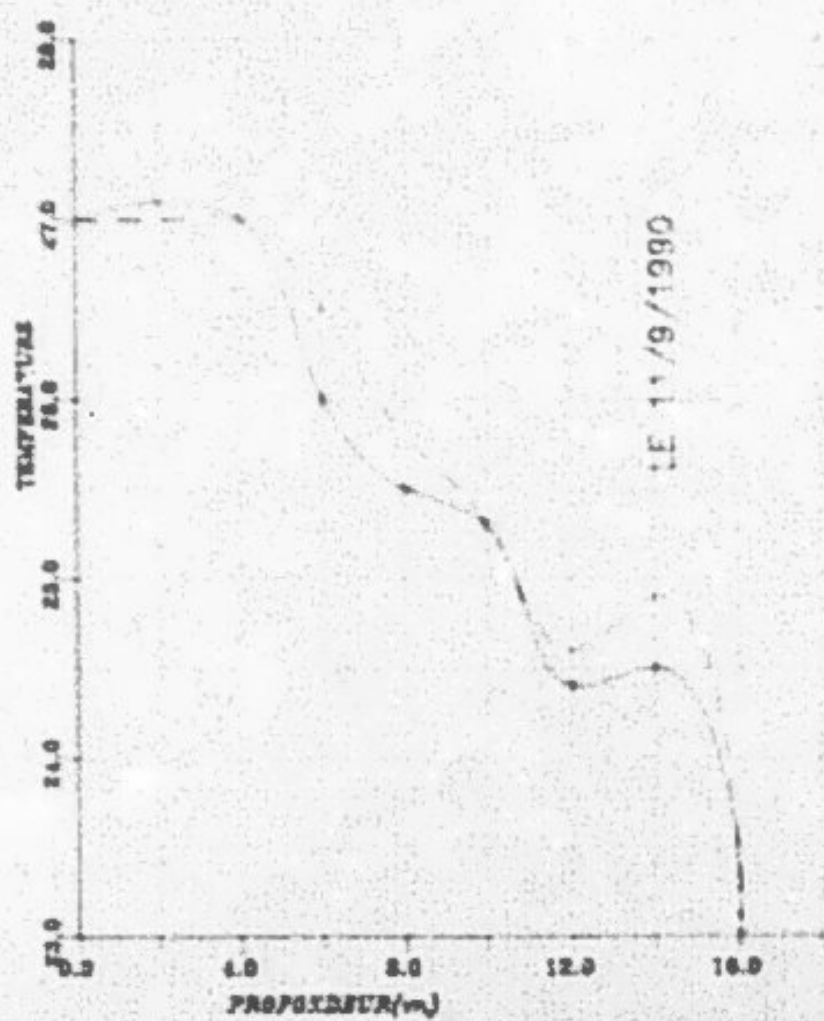


FIG 9  
 \* OBSERVED  
 --- CALCULATED



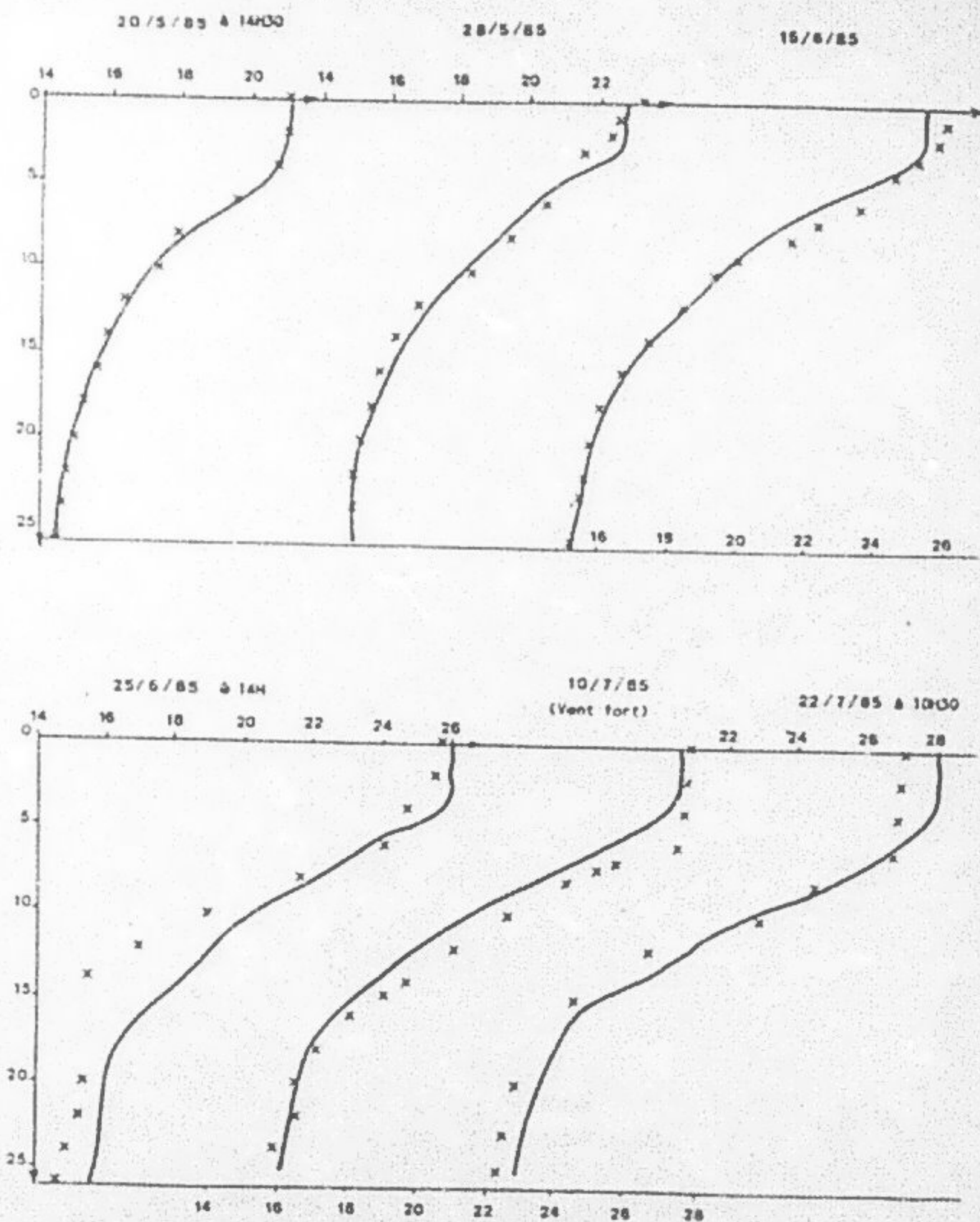
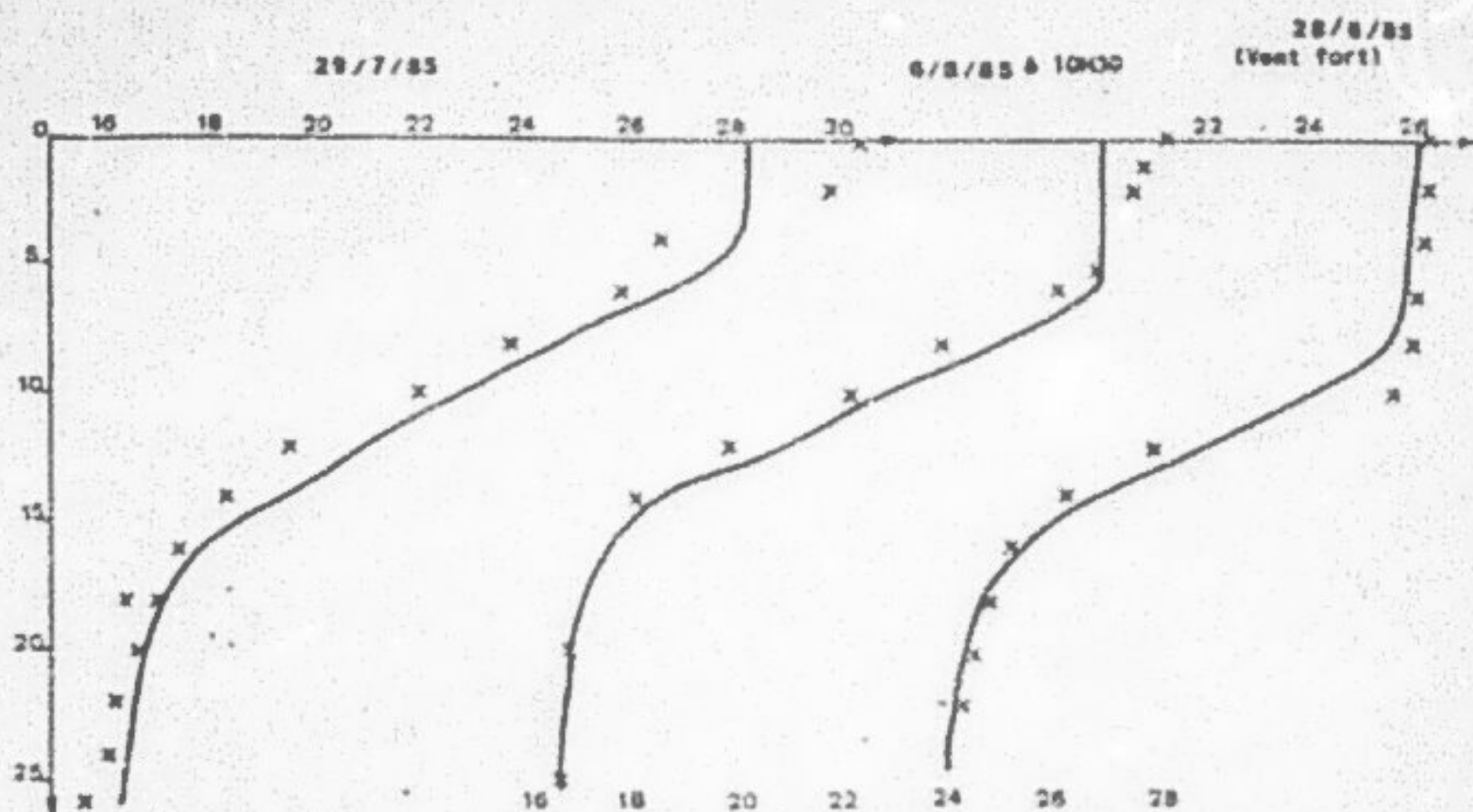


FIG 12 Résultats de calibration du modèle hydraulique : Année 1985



Résultats de simulation du développement de la stratification au cours de l'année 1984

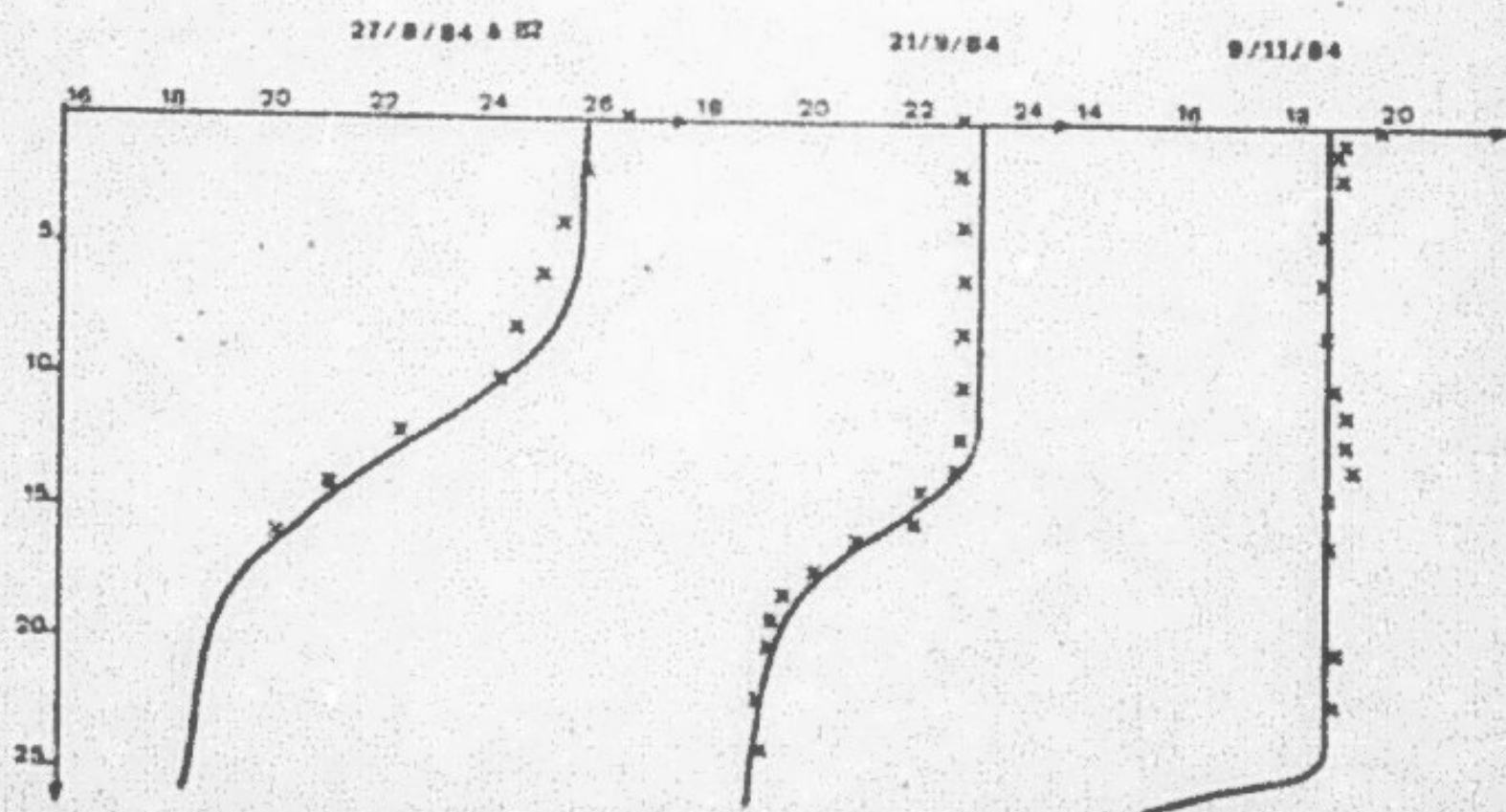


FIG 13 : Résultats de calibration du modèle hydraulique avec les données de l'année 1984

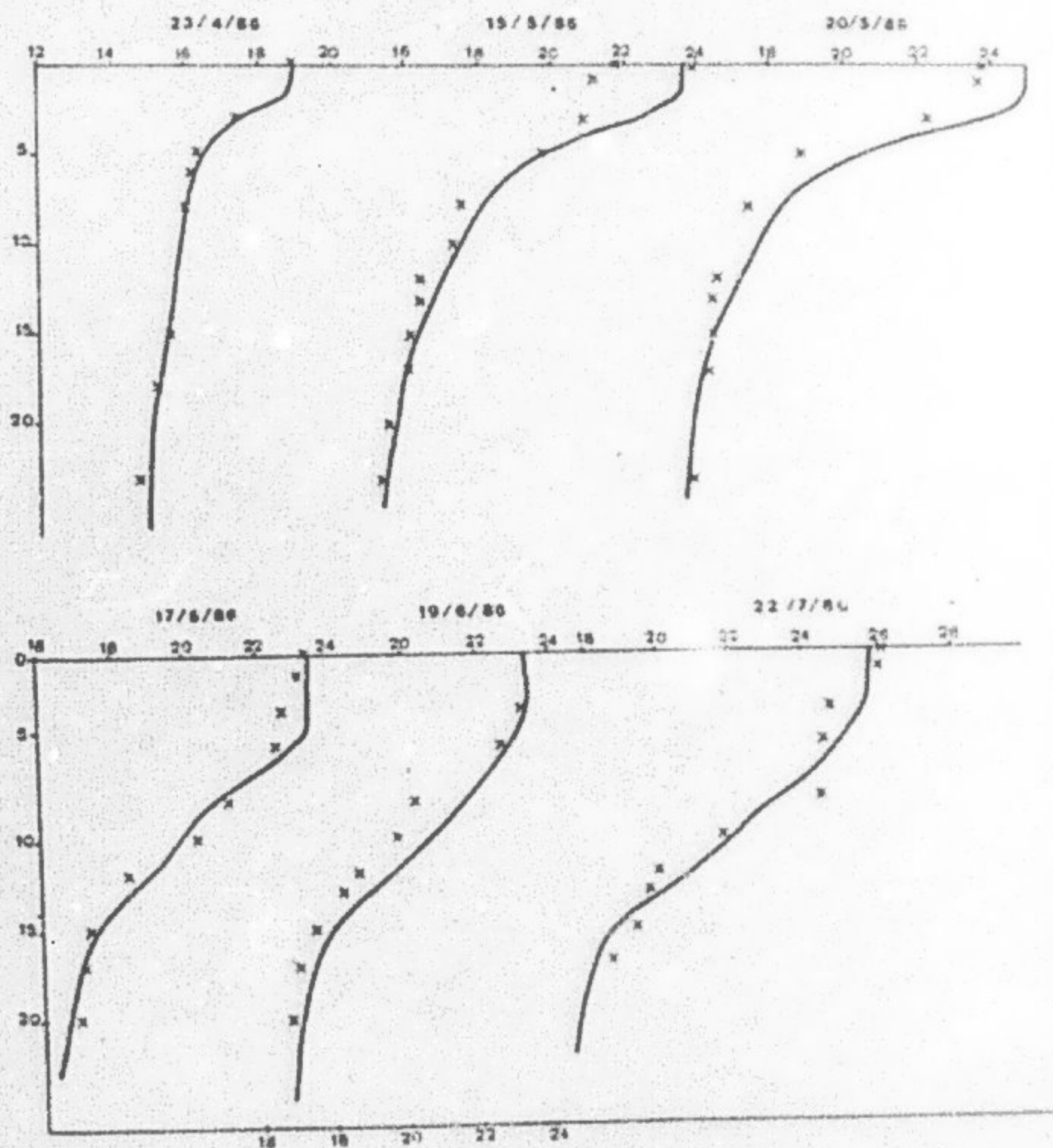


FIG 14 : Résultats de simulation du développement de la stratification ; Année 1986

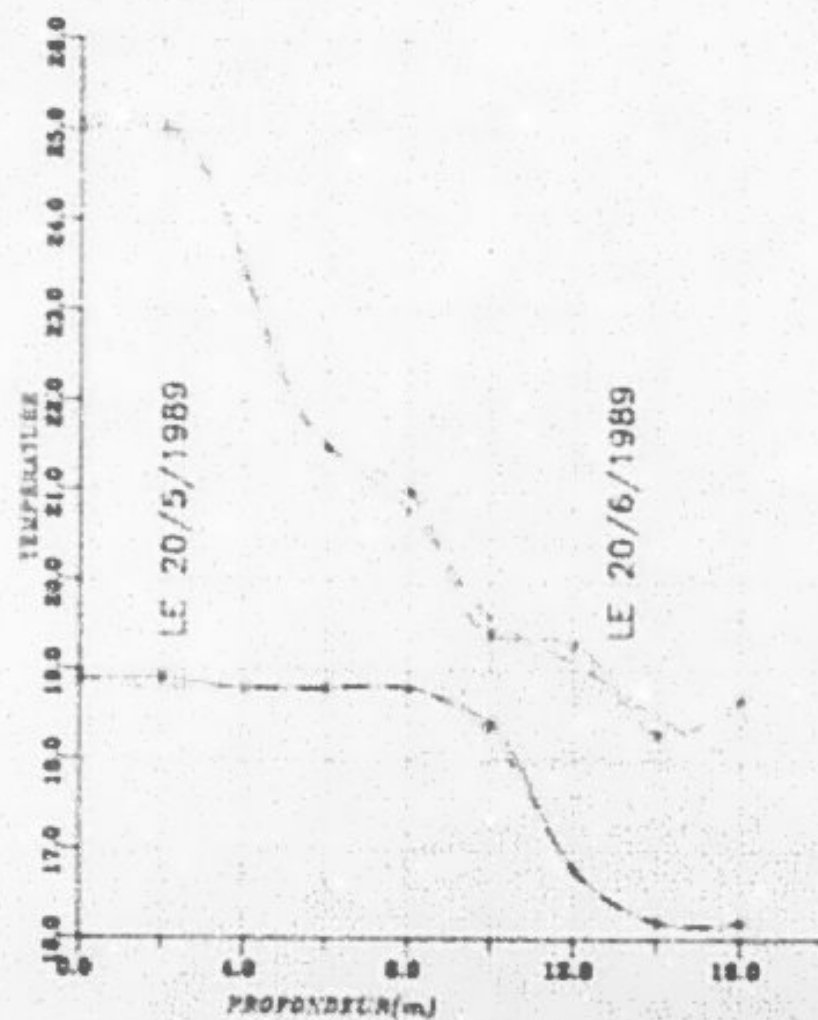


FIG 15 • OBSERVE  
-- CALCULE

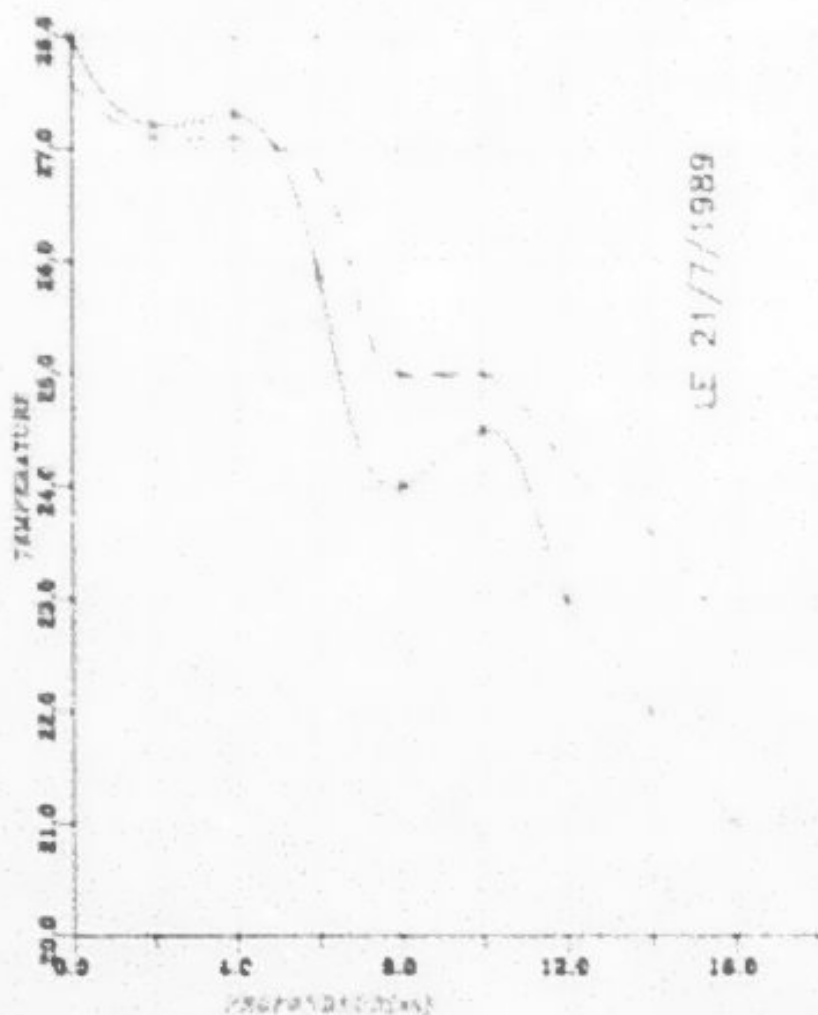
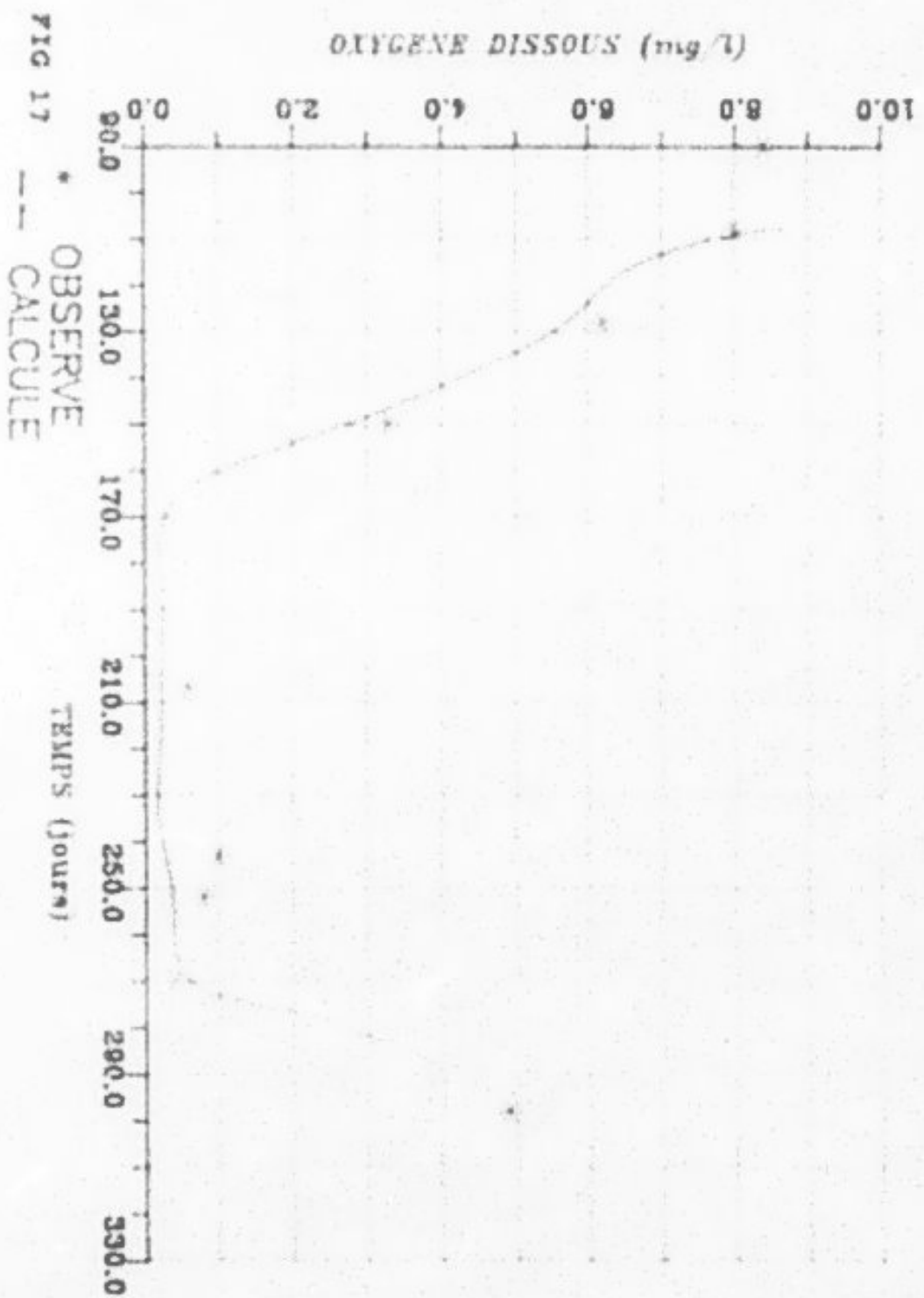
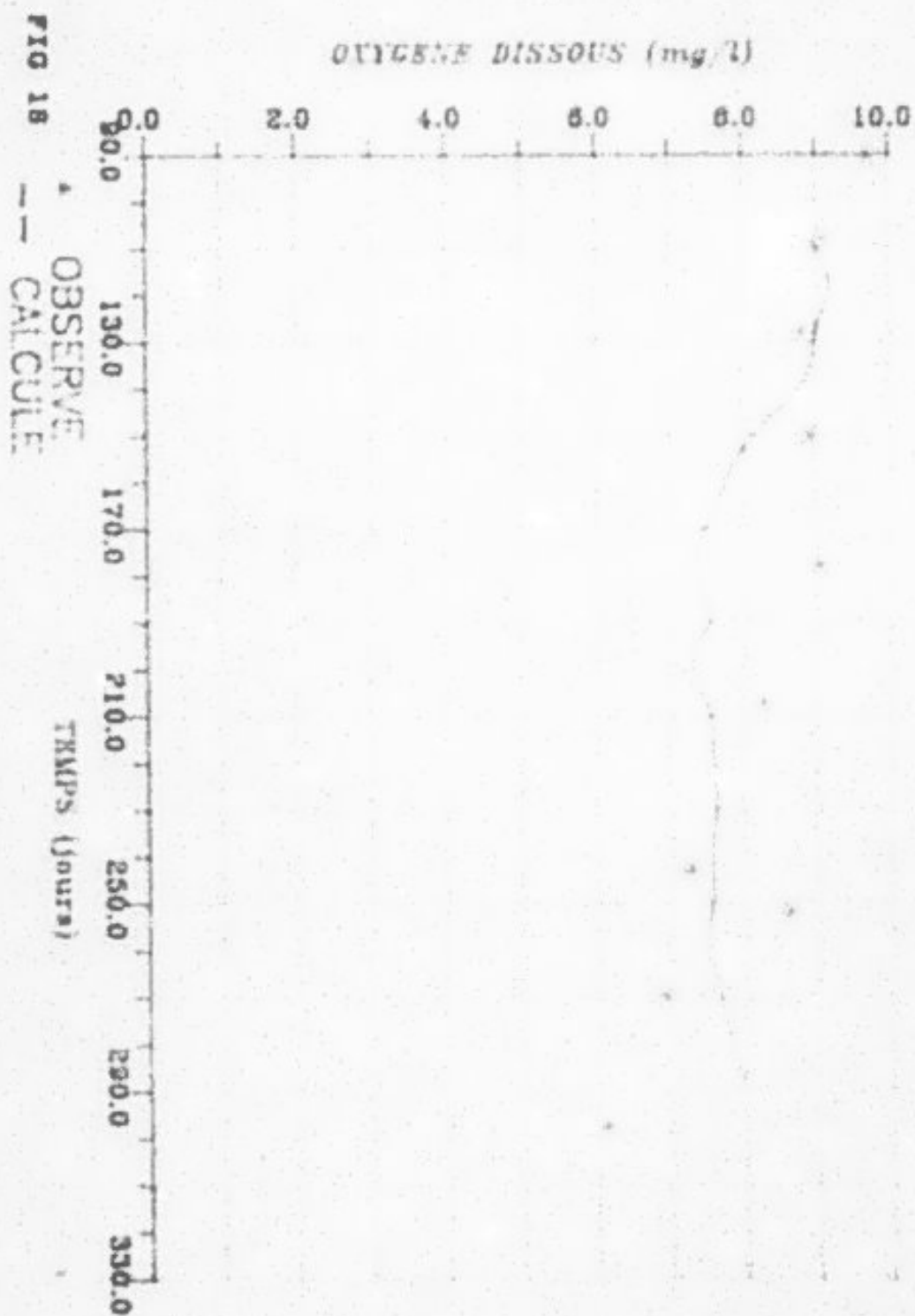


FIG 16 • OBSERVE  
-- CALCULE

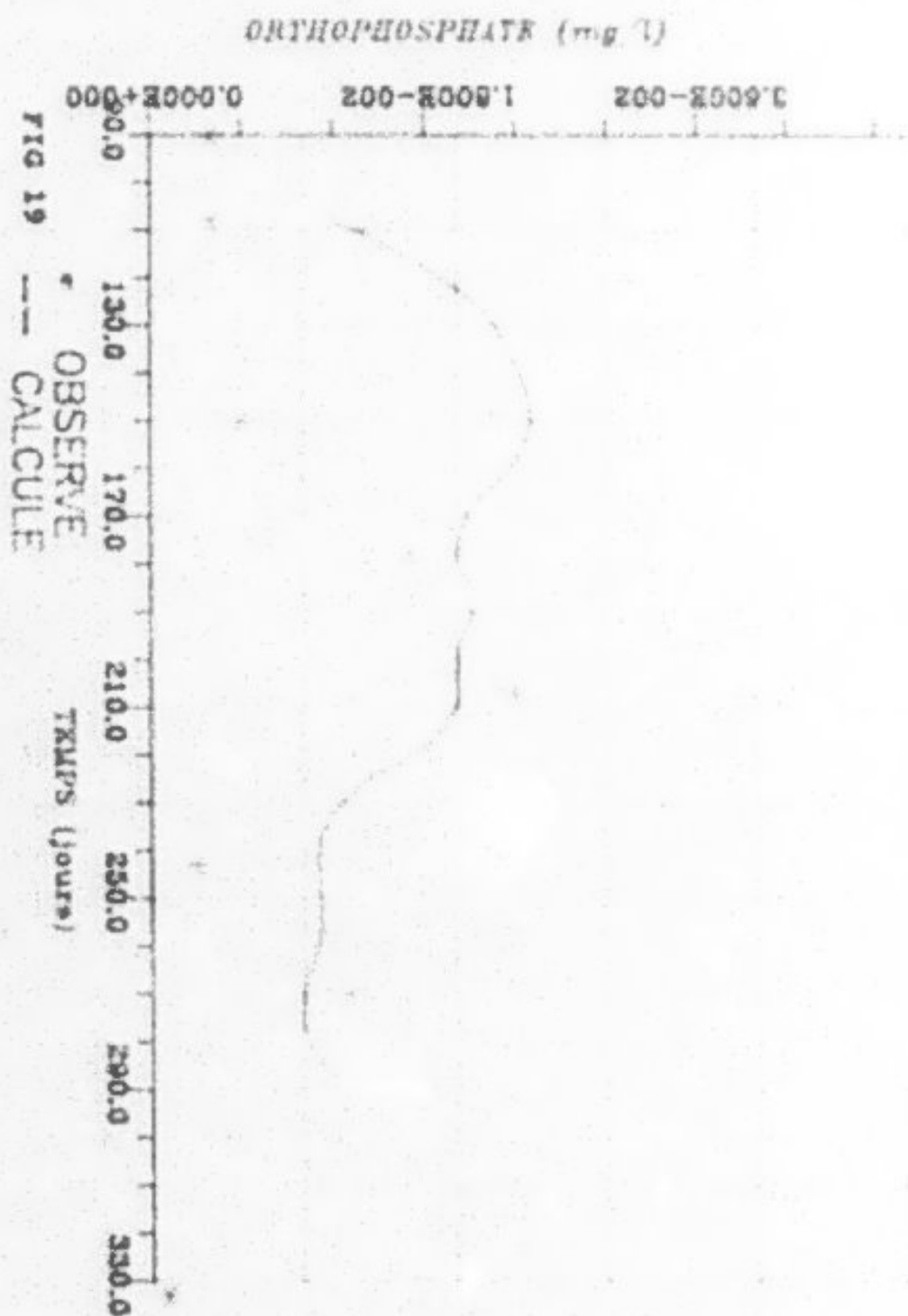
RESULTAT DE CALIBRATION DE 1990:  
EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS AU FOND DE LA RETENUE



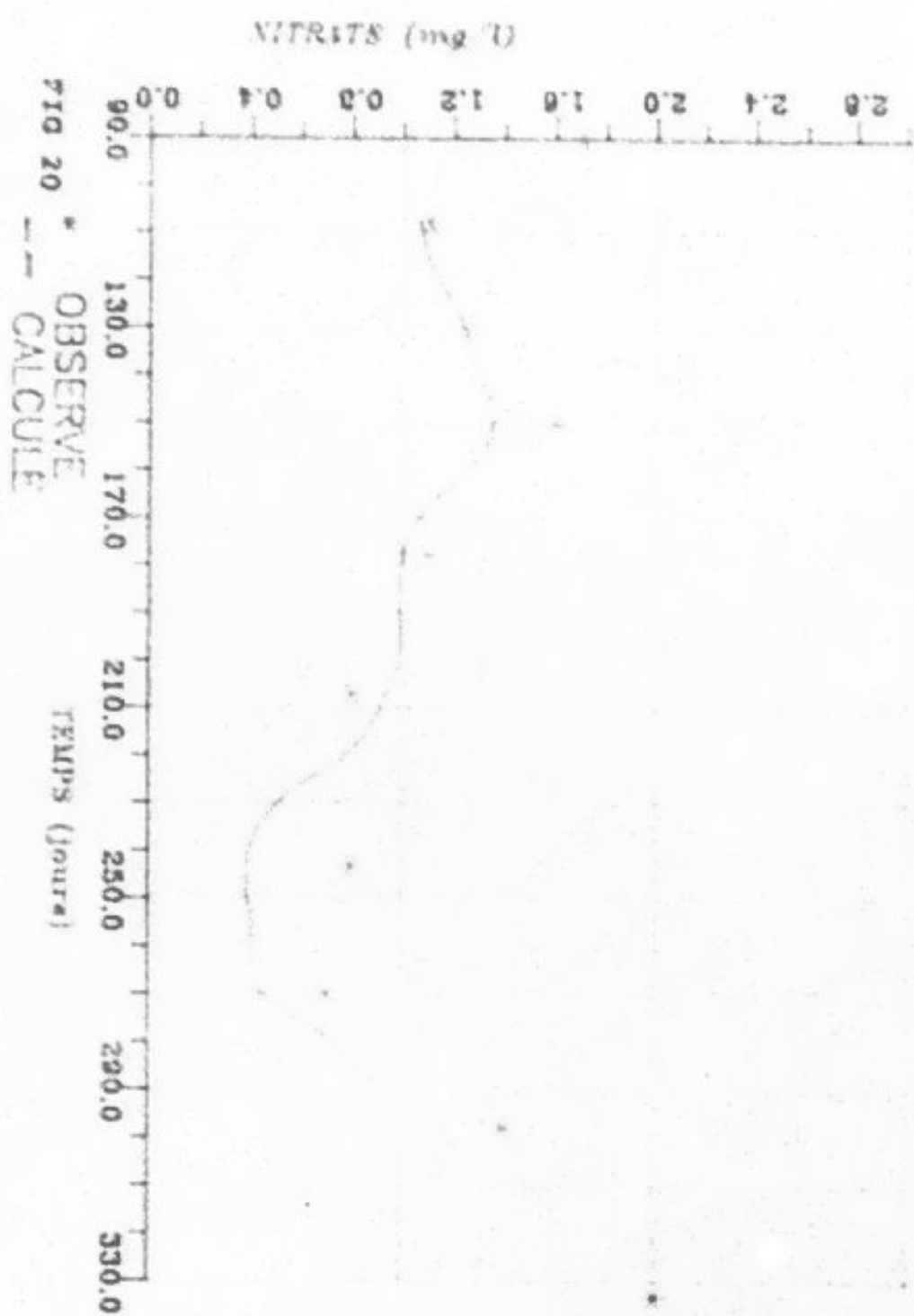
# RESULTAT DE CALIBRATION DE 1990: EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS A LA SURFACE DE LA RETENUE



# RESULTAT DE CALIBRATION DE 1990: ORTHOPHOSPHATE AU FOND DE LA RETENUE



RESULTAT DE CALIBRATION DE 1990:  
EVOLUTION DE NITRATE AU FOND DE LA RETENUE



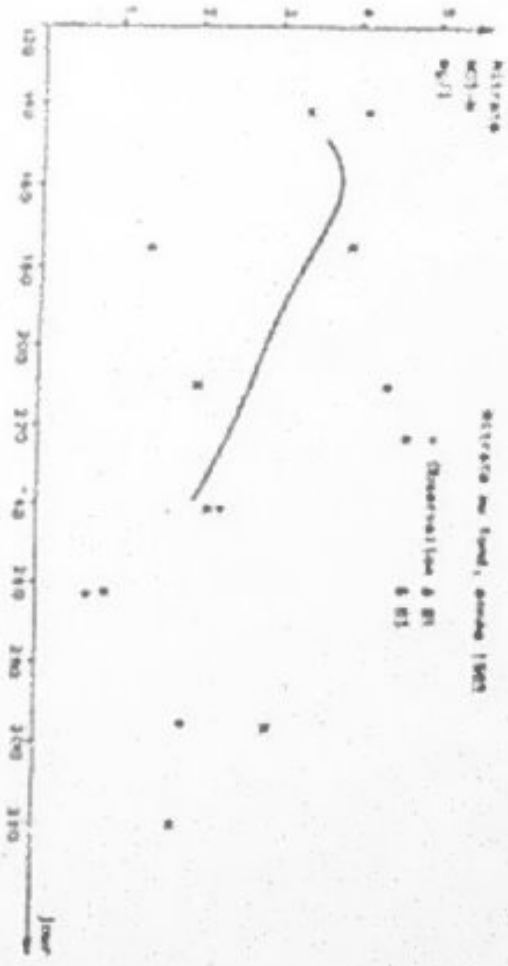
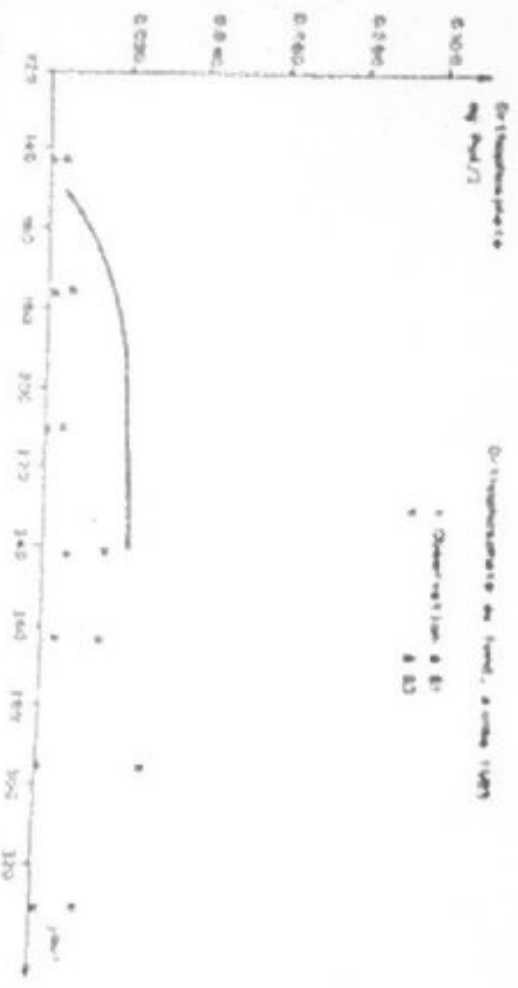
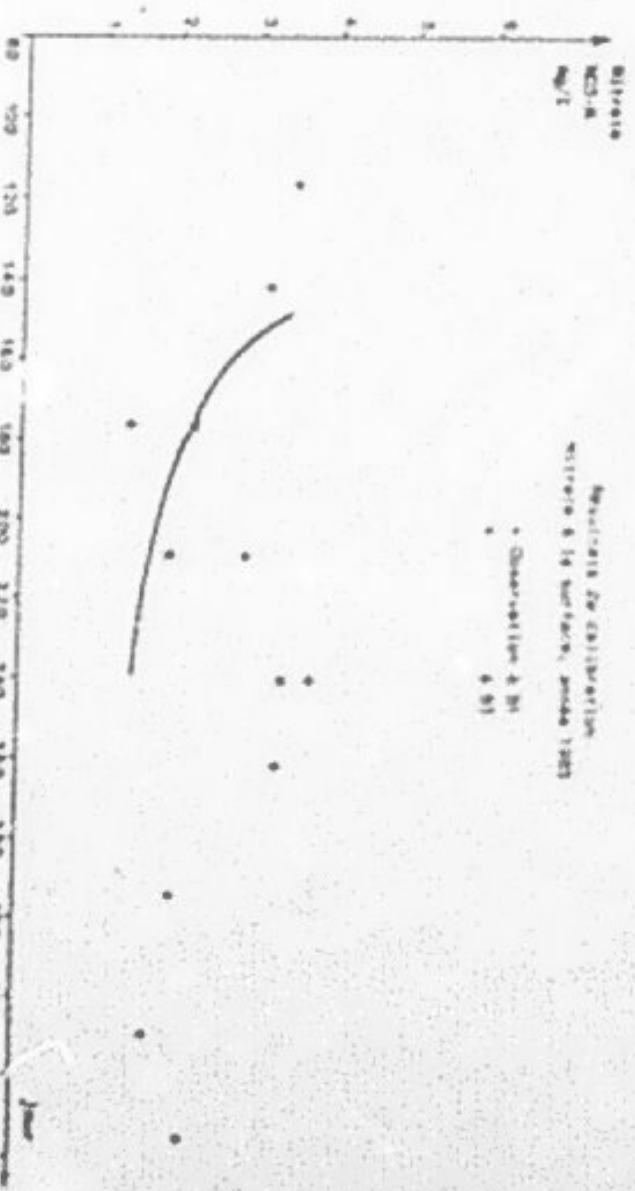
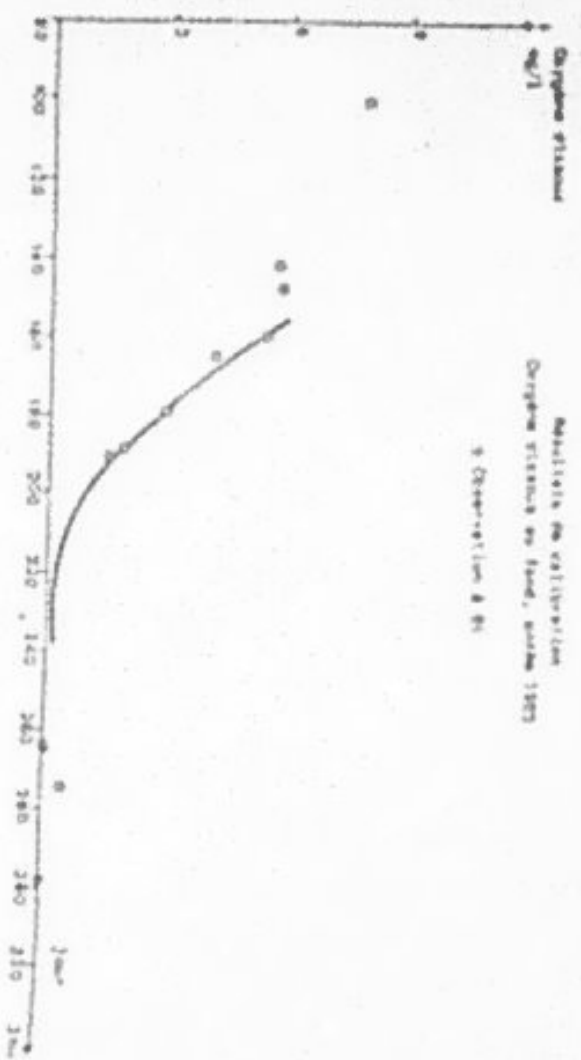


FIG 21 Results on calibration

FIG 22 Results on calibration

**Tableau 16 : Evolution de l'envasement de Sidi Salem avec ou sans traitement sylvicole**

| Année                      | Sans Interventions |             | Avec Interventions |             |
|----------------------------|--------------------|-------------|--------------------|-------------|
|                            | variante I         | variante II | variante I         | variante II |
| 1982                       | 5,0                | 5,5         | 4,9                | 4,7         |
| 2002                       | 5,5                | 6,0         | 4,7                | 4,3         |
| 2022                       | 6,0                | 6,5         | 4,5                | 3,8         |
| 2042                       | 6,5                | 8,0         | 3,6                | 3,2         |
| 2062                       | 6,8                | 8,2         | 3,0                | 2,7         |
| Année d'envasement complet | 2375               | 2065        | 2128               | 2141        |

## VI. CONCLUSION

Après avoir inventorié toutes les données relatives à l'érosion, au transport solide et à l'envasement des barrages en exploitation et ceci pour toutes les tailles des bassins ( depuis la parcelle d'érosion (quelques ha) jusqu'au bassin versant de quelque milliers de km<sup>2</sup>), une étude de synthèse a été effectuée en mettant au point des corrélations appropriées pour la prévision du transport solide total annuel pour mieux envisager des techniques anti-érosives pour la sauvegarde et la préservation du capital: eau - sol.

Cette étude a débouché d'une part :

- sur l'établissement d'une formule de prévision du transport solide total moyen annuel au niveau des sites des futurs barrages dans n'importe quelle région de la Tunisie (pour une superficie de bassin versant  $\geq 40$  km<sup>2</sup>)
- sur la proposition d'une formule assez simple de prévision de l'envasement des retenues des barrages d'autre part.

Le phénomène d'érosion et de transport solide menace l'infrastructure hydraulique du pays étant donné qu'il existe une perte annuelle de capacité de ces ouvrages estimée à 1 à 5 % de la réserve totale.

Le développement d'une stratégie de lutte contre l'érosion, le transport solide et l'envasement des barrages, par l'expérimentation de différents traitements anti-érosifs et de la mesure de l'efficacité de ces traitements, nécessite la mise au point d'un programme de recherche de longue durée; ce programme comportera en particulier:

- \* un développement et un approfondissement de la recherche en hydrologie à l'échelle de petits bassins versants expérimentaux pour l'étude des événements averses-crues-

transport solide, ce qui permettra de développer des modèles simples permettant l'estimation et la prévision de la production des sédiments.

- \* d'entreprendre pour les retenues de barrages des campagnes systématiques de mesure de l'envasement pour mieux évaluer le transport solide déposé au fond des retenues.

un tel programme pourra aboutir à la mise au point de mesures anti-érosives permettant de combattre efficacement les effets de l'érosion, ce qui permettra d'allonger la durée de vie des ouvrages et de préserver la qualité de l'eau stockée dans les retenues.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABID A., 1980: "Apports solides et soutirages au barrage de Nebeur sur l'oued Mellègue pour la période du 1<sup>er</sup> Mai 1954 au 30 Avril 1980", Séminaire International d'Experts sur le dévasement des retenues, Tunis 1-3 Juillet 1980.
- B.I.R.H., "Barrage réservoir de l'oued Kébir, relevé topographique de la retenue, Août 1967. Tunis RES".
- B.I.R.H., 1960 "Barrage sur l'oued Kébir, graphiques des capacités, Tunis, BIRH".
- BOUZAIENE S., LAFORGUE A., 1986: Monographie hydrologique des Oueds Zeroud et Mergu'el. DGRH-ORSTOM, Decembre 1986-Tunis.
- CLAUDE J., CHARTIER R., 1975, "Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie", ORSTOM.
- COLLOQUE SUR L'ÉROSION DES SOLS ET L'ENVAISEMENT DES BARRAGES, 1-3 decembre 1991- ANRH-GT2 et Institut Goethe d'ALGER- ALGER.
- COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES, 1987. Comité de l'alluvionnement des retenues." Recommandations relatives à l'alluvionnement".
- D.G.T.H. - COOPERATION TECHNIQUE RUSSE: Utilisation des Eaux de l'Extrême Nord de la Tunisie- Etude Technique et Economique - Volume 2, Dossier 1 - Institut d'Etat de Projet et de Recherches scientifiques - YERGU'RDQ PROVOOKHOI.
- DIETRICH-STEVE SEFF OBERAULA, 1988: "Propositions de mesures sylvicoles pour la zone de protection d'eau I et II du barrage de Sidi Salem". Direction des Forêts- GT2- Janvier 1988 - PN.85.2292.2-03.100
- DIRECTION DES TRAVAUX PUBLICS (Service des études et Grands Travaux), 1949: "Cuvette de l'oued Mellègue", 22 Avril 1949, Tunis.
- DRE-COOPERATION TECHNIQUE TUNISO-ALLEMANDE, 1973 " Monographie de l'oued Kiliand" Tunis 1973.
- DRE-ORSTOM, 1981: " Monographie de la mejerda". Tunis 1981.
- GHORBEL A., 1980: " les transports solides en Tunisie". Séminaire International sur le dévasement des retenues des barrages; Tunis, 1-4 Juillet 1980, INIT.
- HADRI H., TSCHINKER H., 1976: "Hydrologie de trois petits bassins versants caractérisés par une utilisation différente de sol". Annale de l'Institut National de Recherche Forestière, 1976-Vol.6 Fasc.2, ISSN 0110-096X
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, Direction de la C.E.S., Tunisie, 1991: Stratégie nationale pour la conservation des eaux et du sol.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, Direction des sols. Tunisie - Carte de l'érosion 1980.

OUKREY M.

- 1991: "Mesure de l'envasement du barrage Sidi Salem". DG/ETH, Mars 1991
- 1991: "Mesure de l'envasement du barrage Sidi Saâd". DG/ETH, Mars 1991
- 1991: "Mesure de l'envasement du barrage Lakhmes". DG/ETH, Avril 1991
- 1991: "Mesure de l'envasement du barrage Masri". DG/ETH, Mai 1991
- 1993: "Mesure de l'envasement du barrage Bou Heurtma". DG/ETH, Mars 1993
- 1993: "Mesure de l'envasement du barrage Chezala". DG/ETH, Mai 1993
- 1993: "Mesure de l'envasement du barrage Bézirk". DG/ETH, Juin 1993
- 1994: "Mesure de l'envasement du barrage Siliana". DG/ETH, Mai 1994

PROJET RAB/80/011, Ressources en Eau dans les pays de l'Afrique du Nord, 1987: "Etude de l'érosion et du transport solide dans les zones semi-arides". Rapports techniques, Vol. 1, première partie. PNUD/OPE-Algérie-Maroc-Tunisie; Mai 1987.

TIXERONT, 1956 "Oued Kebir, transport des matériaux et ruissellement, période 1952-1955." Tunis-HAR.

---

**FIN**

**35**

**VUES**