

MINISTRE DELEGUE AUX UNIVERSITES

**THESE**

Présentée à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger  
pour obtenir le diplôme de

**MAGISTER EN HYDRAULIQUE**

**ELABORATION D'UN MODELE DE  
GESTION D'UN BARRAGE RESERVOIR**

**APPLICATION AU BARRAGE DE LA CHEFFIA (ANNABA)**

par

**Abdelmalek BERMAD**

Ingénieur en Hydraulique, E.N.P.

soutenu le 30 Juin 1990 devant la commission d'Examen

**Jury**

|                  |            |
|------------------|------------|
| MM. M. BENBLIDIA | Président  |
| N. DECHEMI       | Rapporteur |
| A. OUABDESSALAM  | Examineur  |
| B. MOKRANE       | Examineur  |
| B. UPPALURI      | Examineur  |
| B. BOUTEBILA     | Invité     |

MINISTRE DELEGUE AUX UNIVERSITES

**THESE**

Présentée à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger  
pour obtenir le diplôme de

**MAGISTER EN HYDRAULIQUE**

**ELABORATION D'UN MODELE DE  
GESTION D'UN BARRAGE RESERVOIR**

APPLICATION AU BARRAGE DE LA CHEFFIA (ANNABA)

par

**Abdelmalek BERMAD**

Ingénieur en Hydraulique, E.N.P.

soutenu le 30 Juin 1990 devant la commission d'Examen

**Jury**

|                 |            |
|-----------------|------------|
| MM M. BENBLIDIA | Président  |
| N. DECHEMI      | Rapporteur |
| A. OUABDESSALAM | Examineur  |
| B. MOKRANE      | Examineur  |
| B. UPPALURI     | Examineur  |
| B. BOUTEBILA    | Invité     |

Thèse de Magister : *Elaboration d'un modèle de gestion d'un barrage réservoir*

Par : A. BERMAD

Dirigé par : N. DECHEMI

---

ملخص

الهدف من هذا العمل هو ايجاد احسن طريقة ممكنة لتسيير مياه السدود، لذا يتحتم علينا ان نجد نموذجا منسجما يمكننا من الحصول على تصاريح يومية مستقبلية .  
النموذج المستعمل هو نموذج سلسلة ماركوف ذات الطبقات المتعددة. اما النموذج المستعمل في تسيير مياه السد فهو الذي يودي الى تلبية جميع حاجيات القاطنين في الجهة المهولة من السد. وفي الاخير، اجرينا عملية تطبيقية لسد الشافية بولاية عنابة.

---

Résumé

L'objectif de notre travail est de trouver la meilleure règle possible de gestion d'un barrage. Pour cela, il est nécessaire de trouver le modèle stochastique adéquat de génération de débits journaliers.

Le modèle utilisé est celui des chaînes de MARKOV multiclassées.

Le modèle retenu pour la gestion du barrage est celui qui conduit à satisfaire tous les usagers se trouvant à l'aval du barrage. Une application a été faite au barrage de la CHEFFIA dans la Wilaya de ANNABA.

---

Abstract

The objective of our study is related with the reservoir operating regulation. For this it is necessary to elaborate an adequate stochastic model for generating the daily steamflow discharges.

The model applied is of the type Markovian-Multiclass .

The retained model for proper management of the reservoir discharge, is that which satisfies the requirement of all the users on the downstream. This model has been applied to the CHEFFIA reservoir Wilaya of ANNABA.

## A V A N T - P R O P O S

Ce travail a été initié au laboratoire d'hydraulique de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger au sein de l'équipe de recherche G E S T O P sous la direction du Docteur Noureddine DECHEMI qu'il trouve ici l'expression de nos sincères remerciements pour avoir accepté de nous diriger pour mener à bien cette thèse. Les sentiments profondément humains qu'il a su nous témoigner ont été pour nous d'un apport moral certain. Pour ses conseils combien utiles et compétents, ses critiques fructueuses, nous tenons à lui exprimer ici notre profonde reconnaissance.

Que Monsieur M. BENBLIDIA soit particulièrement remercié d'avoir bien voulu accepter de présider notre jury.

Que Messieurs B. MOKRANE et B. UPPALURI soient assurés de notre parfaite gratitude pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail et nous sommes particulièrement heureux de leur présence au sein de notre jury. Leurs critiques nous seront d'un apport certain pour répondre aux exigences de la rigueur scientifique.

La présence de Messieurs A. OUABDESSALAM et B. BOUTEBILA à ce rendez-vous d'examen nous honore. Nous les prions d'accepter nos sincères remerciements.

Nos remerciements s'adressent aussi:

A l'ensemble de l'équipe de recherche G. E. S. T. O. P (MM T. MERABTENE, S. KAOUA, H. CHAMBAZ, S. BENZIADA et N. NEBBACHE) qui ne m'ont jamais refusé leur aide, ô combien précieuse et utile durant toutes les étapes difficiles de la mise au point de ce travail.

A tous mes amis, qu'ils trouvent dans ce modeste document, l'expression de la sincère reconnaissance d'un ami.

Je ne saurais oublier l'aide si précieuse de *Mr F.SADAT* de l'Agence Nationale des Barrages.

Je dédie ce travail à ma mère, à mon père et à tous les membres de ma famille, qui ont toujours été pour moi un exemple de dévouement et de responsabilité assurée.

# T A B L E      D E S      M A T I E R E S

pages

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCTION .....   | 1  |
| I - PRESENTATION ET ETUDE CARACTERISTIQUE DU SITE :.....                   | 3  |
| I.1- CARACTERISTIQUES ET CONSIDERATIONS GENERALES<br>SUR LE BARRAGE :..... | 4  |
| I.2- ETUDE CRITIQUE DES DONNEES :.....                                     | 5  |
| I.2.1- TEST D'HOMOGENEITE :.....   | 7  |
| a/ Test de FISHER :.....   | 7  |
| b/ Test de Student :.....  | 8  |
| I.2.2- INTERVALLE DE CONFIANCE<br>DE LA MOYENNE :.....                     | 8  |
| I.2.3- INTERVALLE DE CONFIANCE<br>DE L'ECART TYPE :.....                   | 9  |
| I.3- ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE :.....                                 | 10 |
| I.3.1- LES PRECIPITATIONS :.....   | 10 |
| I.3.2- ETUDE DE LA PLUIE ANNUELLE :.....                                   | 10 |
| I.3.3- VARIABILITE INTERANNUELLE<br>DES PRECIPITATIONS :.....              | 11 |
| I.3.4- PRECIPITATIONS MENSUELLES :<br>variabilité et répartition .....     | 12 |
| I.3.5-REPARTITION SAISONNIERE :.....                                       | 13 |
| I.4- ETUDE DES APPORTS :.....  | 14 |
| I.4.1- APPORTS MOYENS INTERANNUELS :.....                                  | 14 |
| I.4.2- VARIATIONS INTERANNUELLES ET<br>INTERMENSUELLES DES APPORTS :.....  | 15 |
| I.4.3- COEFFICIENT D'HYDRAULICITE ( $C_H$ ) :.....                         | 15 |
| I.4.4- VARIABILITE INTERANNUELLE ET<br>INTERMENSUELLE DES APPORTS :.....   | 15 |
| I.5- L'EVAPORATION :.....  | 16 |

|                       |   |    |
|-----------------------|---|----|
| I.6-                  | QUALITE DES EAUX :                                  | 17 |
| I.7-                  | COUVERT VEGETAL :                                   | 18 |
| II -                  | SIMULATION DES DEBITS :                             | 19 |
| II.1-                 | INTRODUCTION :                                      | 19 |
| II.2-                 | MODELISATION PAR LES CHAINES DE MARKOV :            | 19 |
| II.2.1-               | INTRODUCTION :                                      | 19 |
| II.2.2-               | LES MODELES BINAIRES :                              | 21 |
| II.2.2.1-             | LES MODELES D'ORDRE 0 :                             | 21 |
| a)                    | EXEMPLE DE CONSTRUCTION D'UNE CHAINE DE MARKOV :    | 21 |
| b)                    | PROPRIETE DE LA MATRICE DE PASSAGE :                | 22 |
| II.2.2.2 -            | LES MODELES D'ORDRE 1 :                             | 22 |
| II.2.2.3 -            | LES MODELES D'ORDRE 2 :                             | 24 |
| II.2.2.4 -            | LES MODELES D'ORDRE 3 :                             | 25 |
| II.2.3-               | LES MODELES MULTICLASSES :                          | 26 |
| II.2.3.1 -            | MODELES D'ORDRE 1 :                                 | 26 |
| II.2.3.2 -            | PHENOMENE SAISONNIER :                              | 28 |
| II.2.4-               | SIMULATION PAR LES MODELES<br>MULTICLASSES :        | 28 |
| II.2.4.1 -            | COMPARAISON ENTRE SERIES<br>HISTORIQUE ET SIMULEE : | 30 |
| II.2.4.2 -            | RESULTATS ET INTERPRETATIONS :                      | 30 |
| a)                    | Moyennes et écarts types annuels :                  | 31 |
| b)                    | Ajustements des débits annuels.:                    | 34 |
| c)                    | Ajustements des débits maximums<br>journaliers :    | 35 |
| d)                    | Moyenne mensuelle interannuelle :                   | 35 |
| C O N C L U S I O N : |   | 36 |
| III -                 | POLITIQUE D'EXPLOITATION :                          | 37 |
| III.1-                | MODELE ANALYTIQUE :                                 | 37 |
| III.1.1-              | LA PROGRAMMATION LINEAIRE :                         | 38 |
| III.1.1.1-            | FORMULATION GENERALE :                              | 38 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| III.1.1.2- | AVANTAGES ET INCONVENIENTS<br>DE LA TECHNIQUE :.....                   | 39 |
| III.1.2-   | LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE :.....                                      | 40 |
| III.1.2.1- | LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE<br>DETERMINISTE :.....                      | 40 |
| III.1.2.2- | LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE<br>STOCHASTIQUE :.....                      | 43 |
| III.1.2.3- | AVANTAGES ET INCONVENIENTS<br>DE LA TECHNIQUE :.....                   | 43 |
| III.2-     | MODELE DE SIMULATION :.....  | 44 |
| III.2.1-   | AVANTAGES ET INCONVENIENTS<br>DE CETTE TECHNIQUE :.....                | 44 |
| III.3-     | MODELE MIXTE :.....  | 45 |
| III.4-     | PROBLEMES POSES PAR LA GESTION D'UN<br>BARRAGE A BUTS MULTIPLES :..... | 45 |
| III.4.1-   | EVALUATION DES COUTS DES DIVERS<br>OBJECTIFS :.....                    | 46 |
| III.4.2-   | LA PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES<br>DANS LA GESTION :.....          | 46 |
| IV -       | DETERMINATION DES BESOINS EN EAU :.....                                | 47 |
| IV.1-      | BESOINS EN EAU POTABLE :.....  | 47 |
| IV.1.1-    | BESOINS EN EAU DE LA ZONE<br>URBAINE D'ANNABA :.....                   | 48 |
| IV.1.1.1-  | ACCROISSEMENT DEMOGRAPHIQUE :.....                                     | 48 |
| IV.1.1.2-  | DEMANDE EN EAU POTABLE PAR<br>HABITANT ET PAR JOUR :.....              | 48 |
| IV.2-      | BESOINS EN EAU INDUSTRIELLE :.....                                     | 49 |
| IV.3-      | BESOINS EN EAU AGRICOLE :.....   | 50 |
| IV.4-      | CONCLUSION :.....  | 51 |



|  |        |
|--|--------|
| V- MODELE DE GESTION :                               | 53     |
| V.1-INTRODUCTION :                                   | 53     |
| V.2- ORGANIGRAMME GENERALE DU MODELE<br>DE GESTION : | 53     |
| V.2.1- LECTURE DES DONNEES :                         | 54     |
| V.2.1.1- LECTURE DES DONNEES FIXES<br>DU BARRAGE :   | 54     |
| V.2.1.2- LECTURE DES DONNEES HYDROLOGIQUES :         | 54     |
| V.2.1.2.1- LECTURE DES EVAPORATIONS :                | 54     |
| a) SIMULATION DE LA COMPOSTANTE CYCLIQUE :           | 56     |
| b) SIMULATION DE LA COMPOSANTE FLUCTANTE :           | 57     |
| V.2.1.2.2- LECTURE DES APPORTS :                     | 58     |
| V.2.2- LECTURE DES DEMANDES :                        | 58     |
| V.2.2.1- DEMANDE EN IRRIGATION :                     | 58     |
| V.2.2.2- DEMANDE EN EAU POTABLE :                    | 59     |
| V.2.2.3- DEMANDE EN EAU INDUSTRIELLE :               | 59     |
| V.2.3- BOUCLE CENTRALE :                             | 59     |
| V.2.3.1- INITIALISATION DES ETATS :                  | 59     |
| V.2.3.2- CALCUL POUR UNE BOUCLE MENSUELLE :          | 60     |
| V.2.4- SORTIE DES RESULTATS :                        | 61     |
| V.2.5- INTERPRETATION DES RESULTATS :                | 61     |
| <br>C O N C L U S I O N :                            | <br>64 |

## INTRODUCTION

Les années de sécheresse qu'a récemment subies l'Algérie, ont souligné la nécessité de prendre en compte les risques futurs de pénurie dans la gestion de l'eau, d'une retenue de barrage, au moment de son attribution.

La gestion de cette ressource est une tâche difficile car en plus de sa rareté, celle-ci doit être allouée aux différents usagers suivant des critères objectifs.

Le but de l'exploitation d'une retenue est de déterminer les prélèvements à effectuer au début de chaque période de décision afin de les concilier avec les objectifs fixés pour cette retenue.

Pour répondre à ces impératifs et faire face à une demande en eau de plus en plus croissante, les gestionnaires de la ressource hydrique ont élaboré des plans d'exploitation très fiables.

La recherche de ces plans nécessite la collaboration de plusieurs spécialistes notamment en hydrologie, hydraulique, recherche opérationnelle, économie, probabilité et statistique.

On utilise plus fréquemment des modèles mathématiques dans la recherche des plans d'exploitation d'une retenue de barrage. Ces modèles aident de façon significative à définir le problème, à sélectionner des politiques d'exploitation optimales et à les évaluer.

Les barrages d'Algérie sont exploités à des fins bien précises à savoir : l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable, l'industrie, la protection contre les crues et rarement pour la production d'hydroélectricité.

L'objet de cette thèse est d'élaborer un modèle d'exploitation pour le barrage de la Cheffia qui a pour finalité la satisfaction à long terme des besoins actuels et futurs exprimés par :

- La ville d'Annaba et ses industries,
- El-Hadjar et son complexe sidérurgique,

- Le périmètre d'irrigation de Bou Namoussa.

Le modèle établi aura pour objectif de nous renseigner sur la situation actuelle et future de la satisfaction des besoins en eau, d'analyser le comportement du barrage et permettra enfin d'opter pour la solution la plus fiable au moment de la prise de décision.

Mais avant d'aboutir à cette solution, il est nécessaire de traiter un ensemble de questions relatives à l'élaboration du modèle de gestion.

Aussi, notre étude comporte les parties suivantes :

- \* Une première partie qui traite de l'étude des caractéristiques climatologiques .

- \* Une deuxième partie consacrée à l'élaboration d'un modèle de simulation, des apports par les chaînes de Markov.

- \* Une troisième partie où sont définies les différentes techniques de gestion permettant d'établir des politiques d'exploitation.

- \* Une quatrième partie consacrée à la détermination des besoins en eau des différents usagers.

- \* Enfin, en cinquième partie, élaboration d'un modèle de gestion par le biais de la simulation et qui est l'objectif essentiel de ce travail.

Une conclusion générale mettra enfin l'accent sur l'intérêt de ce type de modèle.

## CHAPITRE I - PRESENTATION ET ETUDE CARACTERISTIQUE DU SITE :

Parmi les motivations entrant dans le cadre de cette étude, on peut citer les faits suivants :

Le barrage de la CHEFFIA est le seul barrage d'Algérie à satisfaire les besoins en eaux des utilisateurs des trois secteurs (AEP, AEI, IRRIGATION).

La récente période de sécheresse a entraîné une baisse inquiétante pendant les deux dernières années (1988 - 1989) du niveau de la retenue, rendant impossible d'assurer à la fois la demande des différents usagers. Le déficit a cependant pu être comblé en ayant recours aux eaux de la nappe des salines (actuellement surexploitée) et de la nappe des dunes ainsi qu'au plan de restriction d'eau auquel ont été soumis tous les utilisateurs de l'eau du barrage.

Il est raisonnable de penser qu'un outil de simulation de débit aurait permis d'assurer une meilleure gestion en provoquant la constitution d'un stock quand il en était encore temps.

Pour mener à bien notre projet, nous avons disposé d'informations d'origines variées. Citons tout d'abord des études faites avant et après la construction du barrage et des mesures hydrologiques et météorologiques recouvrant la période 1978 - 1989 ont été rassemblées. Leur mise sur support informatique utilisable par le modèle de gestion a constitué une part ingrate, mais nécessaire à ce travail. Ces mesures ont été mise à notre disposition grâce à l'aide des agents de l'Agence Nationale des Barrages (A.N.B).

Cette partie de notre travail a pour objectif, et c'est là un point essentiel à notre avis, de préciser sur un exemple, quelle peut être la démarche méthodologique de celui qui se trouve en présence d'un problème de gestion. C'est pourquoi on s'attardera assez largement sur la description du système hydrologique et la

schématisation qui est en faite, point de départ de toute modélisation .

I-1 - CARACTERISTIQUES ET CONSIDERATIONS GENERALES SUR LE BARRAGE :

Le barrage de la CHEFFIA revêt une importance capitale pour toute l'économie de la wilaya de ANNABA et ses unités industrielles et agricoles.

|                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| - Barrage :                       | CHEFFIA                    |
| - Oued :                          | BOU-NAMOUSA                |
| - Construction :                  | 1959 - 1965                |
| - Cote maximale de la retenue :   | 165,00 m                   |
| - Volume de la retenue :          | 168 483 000 m <sup>3</sup> |
| - Surface de la retenue :         | 9 870 000 m <sup>2</sup>   |
| - Superficie du bassin versant :  | 575 km <sup>2</sup>        |
| - Volume régularisé :             | 95 000 000 m <sup>3</sup>  |
| - Pluviométrie moyenne annuelle : | 800 - 900 m/m              |
| - Envasement moyen annuel :       | 200 000 m <sup>3</sup>     |
| - Evaporation moyenne annuelle :  | 8 000 000 m <sup>3</sup>   |

La construction de ce barrage était destiné à répondre à quatre objectifs :

1) Alimentation en eau potable de la ville de ANNABA (et éventuellement l'A.E.P de BOUHADJAR).

2) Alimentation des complexes industriels et en particulier celui de la S.N.S d'EL-HADJAR.

3) Irrigation du périmètre de la BOU-NAMOUSA (et éventuellement le périmètre de la CHEFFIA).

4) Régularisation des crues de l'oued BOU-NAMOUSA et réduction des inondations vers la plaine.

Le barrage de la CHEFFIA se situe à 50 km de ANNABA et environ 43 km d'EL-TAREF sur le chemin départemental n°105 qui va de ASFOUR à BOUHADJAR.

Le barrage joue en effet , un rôle vital dans les activités socio-économiques de la wilaya d'ANNABA dans la mesure où il reste la seule véritable infrastructure hydraulique à même de couvrir tous les besoins de la région.

Il est la ressource en eau superficielle la plus importante et la plus économique, qui permet de distribuer chaque année un volume de  $95 \text{ Hm}^3$  soit environ 80 % du débit annuel moyen de l'oued BOU-NAMOUSA qui est évalué à  $150 \text{ Hm}^3$ .

La longueur de la digue du barrage de la CHEFFIA est de 610 m sa hauteur et de 58 m , sa longueur maximale à la base est de 214 m et sa largeur en crête est de 10 m.

Parmi les faits saillants ayant ébranlé le bon fonctionnement du barrage nous citerons les fortes intempéries de Mars 1973 qui ont sérieusement endommagées " le bassin de dissipation de crue " qui avait pour but d'amortir les crues, occasionnant par là la mise hors de service de l'évacuateur de crue.

La non remise en état de ce bassin de dissipation et ce depuis 1973 obligeait le chef d'exploitation a déversé dans l'oued BOU-NAMOUSA, près de  $50 \text{ Hm}^3$  chaque année, pendant l'année 1983 - 1984 il a déversé près de  $120 \text{ Hm}^3$  alors que l'année suivante  $110 \text{ Hm}^3$  ont été déversé et ce afin de maintenir dans les normes le plan d'eau et permettre ainsi la stabilité du barrage. Cette contrainte demeurait jusqu'en 1988 date à laquelle le bassin de dissipation a été réparé, il constituait une perte sèche, ce qui n'était pas fait pour garantir au barrage la jouissance de son plein rendement.

## I-2- ETUDE CRITIQUE DES DONNEES :

Les possibilités d'utilisation d'un modèle mathématique et les limites de sa validation sont tracées par la quantité et la qualité des données.

Par conséquent tout travail utilisant des données doit faire l'objet au préalable d'une étude critique de ces données. Pour notre cas l'ensemble des données recueillies sont résumées dans le tableau suivant :

| Paramètres             | Période (au pas de temps journalier) | Période (au pas de temps mensuel) |
|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Apports                | 1978 - 1989                          | De sept.1946 à 1954               |
| Pluies                 | 1978 - 1989                          | De sept.1974 à 1989               |
| Evaporation            | 1978 - 1989                          | De sept.1977 à 1989               |
| AEP + AEI              | 1978 - 1989                          | De sept.1977 à 1989               |
| Irrigation             | 1978 - 1989                          | De sept.1977 à 1989               |
| Température max et min | 1978 - 1989                          | De sept.1977 à 1989               |

Tab I-1: Données historiques recueillies

La période d'observations au pas de temps journalier est complète pour l'ensemble des paramètres et ne pose aucun problème. Toutefois les tests statistiques appliqués aux paramètres climatologiques ont révélés par exemple des valeurs maximales journalières pour les apports qui apparaissent à première vue des valeurs erronées ( $42.065 \text{ Hm}^3$  par jour) après documentation et renseignement auprès du chef d'exploitation du barrage il s'avéra qu'une forte crue a eu lieu ce jour là (une crue de l'ordre de  $1054.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Ces mêmes tests ont montrés que les deux dernières années de la série historique des apports étaient des années sèches ( voir Annexe I - 2 )

Par conséquent un test d'homogénéité des données de la série historique est nécessaire pour voir si celles-ci appartiennent à la même population.

I-2-1- TEST D'HOMOGENEITE

Les deux échantillons obtenus après subdivision de la série historique sont de taille  $n_1$  et  $n_2$  et soit  $\bar{X}_1$  et  $\bar{X}_2$ ,  $\sigma_1$  et  $\sigma_2$  les moyennes et les écarts types calculés pour ces deux échantillons.

$$\begin{array}{ll}
 n_1 = 10 & \text{et} & n_2 = 2 \\
 \bar{X}_1 = 144.661 \text{ Hm}^3 & & \bar{X}_2 = 19.001 \text{ Hm}^3 \\
 \sigma_1 = 80.257 \text{ Hm}^3 & & \sigma_2 = 7.247 \text{ Hm}^3
 \end{array}$$

a/ Test de FISHER :

En calculant la statistique :

$$\mathcal{F}_{ob} = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad \text{avec } \sigma_1 > \sigma_2$$

$\mathcal{F}_{ob}$  suit une loi de probabilité, dite de Fisher, de paramètres

$$\nu_1 = n_1 - 1 \quad \text{et} \quad \nu_2 = n_2 - 1$$

$$\mathcal{F}_{ob} = \frac{(80.257)^2}{(7.247)^2} = 122.645$$

On lit  $\mathcal{F}(\nu_1, \nu_2)$  sur une table statique avec un degré de confiance de 95 % :  $F(9,1) = 5.12$ .

Puisque  $\mathcal{F}_{ob} > F(\nu_1, \nu_2)$  alors l'hypothèse de l'homogénéité des deux échantillons est rejetée.

Ce test permet de vérifier l'homogénéité des écarts types des deux échantillons. Le test de student permet de vérifier l'homogénéité des moyennes des deux échantillons.



b/ Test de Student:

$$t_{ob} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{où } \sigma^2 (n_1 + n_2 - 2) = (n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2$$

$t_{ob}$  suit une loi de probabilité, dite de Student, dont le degré de liberté est égale à  $n_1 + n_2 - 2$ .

On obtient :  $t_{ob} = 2.13$

Pour  $\alpha = 5\%$ ,  $t(n_1 + n_2 - 2) = t_{10} = 2.228$

or  $t_{ob} < t_{10}$  donc l'hypothèse d'homogénéité des deux échantillons est acceptée.

Pour confirmer l'hypothèse de la non homogénéité des deux échantillons, déterminons les intervalles de confiance de la moyenne et de l'écart type.

I-2-2- INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA MOYENNE :

Pour la série historique, le test de Student permet le calcul de cet intervalle de confiance :

Soit  $\bar{X}$ , la valeur moyenne interannuelle de cette série et  $\sigma_x$  son écart type :

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 123.734 \quad \text{Hm}^3 \\ \sigma_x &= 87.542 \quad \text{Hm}^3 \end{aligned}$$

L'intervalle de confiance s'écrit :

$$\bar{X} - t_{1-\alpha/2} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \leq M \leq \bar{X} + t_{1-\alpha/2} \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

$n$  : taille de l'échantillon ( $n = 12$ )

d'où  $M \in [ 68.138 \quad 179.33 ]$  pour un risque d'erreur égale à 5% :  $t_{0.975} = 2.20$  ( d'après les tables).

I-2-3- INTERVALLE DE CONFIANCE DE L'ECART TYPE :

Pour l'intervalle de confiance de l'écart type, on utilise le test du Khi-deux :

$$\frac{\sqrt{n-1} \sigma_x}{\sqrt{\chi_{1-\alpha/2}^2}} \leq \hat{\sigma} \leq \frac{\sqrt{n-1} \sigma_x}{\sqrt{\chi_{\alpha/2}^2}}$$

En admettant un risque d'erreur de 5 % on a :

$$\chi_{0.975}^2 = 3.81575$$

d'après les tables

$$\chi_{0.025}^2 = 21.92$$

$$\hat{\sigma} \in [62.014 \quad 148.635]$$

Pour l'échantillon 1 on a :

$$M_1 \in [87.25 \quad 202.070]$$

$$\text{et } \hat{\sigma}_1 \in [55.203 \quad 196.578]$$

On remarque que la moyenne et l'écart type du deuxième échantillon n'appartiennent pas aux intervalles de confiance de la moyenne et de l'écart type du premier échantillon et de la série historique, par conséquent on peut dire qu'on est en face de deux années exceptionnelles.

Même si les tests statistiques ont montrés que les deux dernières années n'appartiennent pas à la même population que l'échantillon 1 (1978 - 1987), il nous est impossible de rejeter cette période du fait que le phénomène s'est réellement passé.

La période d'observation au pas de temps mensuel est caractérisée par une série d'observations manquante de dix années (1955-1965) pour les apports, celle-ci est manifestement trop courte pour permettre d'entamer un travail scientifique concret d'où le choix de la série historique au pas de temps journalier comme

donnée de base pour cette étude.

### I-3- ETUDE DU REGIME PLUVIOMETRIQUE :

#### I-3-1- LES PRECIPITATIONS :

Le rôle de la pluie est capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Ces derniers sont influencés par :

- la hauteur totale annuelle de la pluie.
- sa répartition mensuelle et saisonnière.
- et ses totaux journaliers.

#### I-3-2- ETUDE DE LA PLUIE ANNUELLE :

La durée d'observations recueillies au pas de temps journalier, s'étale de 1978 à 1989.

Le tableau suivant indique les hauteurs totales annuelles observées sur la station de la CHEFFIA :

|            |        |       |        |       |       |       |
|------------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| ANNEE      | 1978   | 1979  | 1980   | 1981  | 1982  | 1983  |
| Pluie (mm) | 891.9  | 925.5 | 712.4  | 624.7 | 985.6 | 702.7 |
| ANNEE      | 1984   | 1985  | 1986   | 1987  | 1988  | 1989  |
| Pluie (mm) | 1145.6 | 565.5 | 1069.3 | 786.9 | 592.5 | 561.2 |

Tab I-2 : Pluies annuelles (Barrage de la CHEFFIA)

La valeur moyenne annuelle pour la série historique de douze années est de 797 mm, cette valeur, relativement importante est assortie d'un régime pluriannuel assez irrégulier. La répartition annuelle accuse une période pluvieuse entre octobre et avril et une période sèche dite d'été allant de mai à septembre.

L'Annexe I-1 montre les pluies journalières observées entre 1978-1989 à la station du barrage de la CHEFFIA.

**I-3-3- VARIABILITE INTERANNUELLE DES PRECIPITATIONS :**

Le coefficient de variation ( $C_v$ ) traduit la dispersion relative des pluies :

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{P}} \quad \text{avec } \bar{P} : \text{pluviométrie moyenne annuelle}$$

$$\sigma : \text{écart type}$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_i \frac{(P_i - \bar{P})^2}{(n-1)}}$$

n : représente la taille de l'échantillon (n < 30)

Ce coefficient exprime le phénomène de variabilité interannuelle des modules pluviométriques.

| Station | Pluie minimale observée | Pluie maximale observée | $\bar{P}$ | $\sigma$ | $C_v$ |
|---------|-------------------------|-------------------------|-----------|----------|-------|
| CHEFFIA | 561.2                   | 1145.6                  | 797       | 203.07   | 0.255 |

Tab I-3 : Caractéristiques de la pluviométrie observée en 12 ans.

La valeur du coefficient de variation est de 0.255, ce qui implique une variabilité relativement faible, si on la compare avec la variabilité mensuelle.

On peut caractériser la pluviosité propre à chaque année, en tenant compte de " l'écart à la normale ",  $E_i$ , qui correspond à l'excédent ou au déficit des précipitations de l'année considérée rapporté à la moyenne de douze années d'observations.

$$E_i = \frac{P_i - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100$$

|                |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| ANNEE          | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 |
| E <sub>i</sub> | 12%  | 17%  | -11% | -22% | 24%  | -12% |
| ANNEE          | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
| E <sub>i</sub> | 44%  | -30% | 35%  | - 2% | -26% | -30% |

Tab I-4 : Ecart à la moyenne des précipitations annuelles.

Cet écart à la normale met en évidence l'irrégularité du régime pluviométrique de la station de la CHEFFIA ; durant l'année de plus forte pluviosité (1984), l'écart à la moyenne est de 44 %, par contre, pendant l'année de plus faible pluvisioté (1989), cet écart est de 30 %.

La loi d'ajustement la mieux adaptée à la distribution des pluies annuelles du barrage de la CHEFFIA est la loi normale (GAUSS) comme le montre l'Annexe I-1.

Les pluies maximales journalières s'ajustent bien par la loi de GUMBEL comme le montre l'Annexe I-1.

#### I-3-4 PRECIPITATIONS MENSUELLES : Variabilité et répartition

Le tableau I-5 montre une répartition de la pluviométrie annuelle essentiellement entre Jan-Avr et Oct-Dec.

Les maxima sont observés en Nov-Fev et les minima en Juillet-Août avec toutefois une légère augmentation du mois d'Août par rapport à Juillet, augmentation d'ue le plus souvent aux orages qui ont lieu en cette période.

| MOIS       | JAN   | FEV   | MARS | AVR  | MAI   | JUIN  |
|------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Pluie (mm) | 115.6 | 113.8 | 97.7 | 85.7 | 36.8  | 15.0  |
| ANNEE      | JUIL  | AOUT  | SEP  | OCT  | NOV   | DEC   |
| Pluie (mm) | 2.2   | 2.7   | 28.8 | 70.6 | 120.8 | 107.0 |

Tab I-5 : Moyennés mensuelles interannuelles

I-3-5- REPARTITION SAISONNIERE :

Les saisons adoptées sont les suivantes :

- Hiver : Jan-Fev-Mars
- Printemps : Avr-Mai-Juin
- Eté : Juil-Août-Sep
- Automne : Oct-Nov-Déc.

Le tableau I-6 donne la répartition de la pluie entre les saisons en % de la pluviosité totale annuelle :

| CHEF-FIA | Hiver |      | Printemps |      | Eté  |     | Automne |      |
|----------|-------|------|-----------|------|------|-----|---------|------|
|          | (mm)  | %    | (mm)      | %    | (mm) | %   | (mm)    | %    |
|          | 327.2 | 41.1 | 137.5     | 17.2 | 33.7 | 4.2 | 298.5   | 37.4 |

Tab I-6 : Répartition saisonnière de la pluie

L'hiver est la saison la plus pluvieuse sur l'ensemble du bassin de barrage. C'est aussi la saison la plus régulière en pluviosité d'une année à l'autre.

La pluviosité de l'automne est rarement déficitaire. Ce fait est très important pour les cultures annuelles. Car l'automne marque le début de la saison des pluies et règle le rythme de la plupart des pratiques agricoles. La précocité des pluies d'automne est en fait plus intéressante à considérer que la hauteur totale tombée pendant cette période.

Les pluies du printemps assurent la bonne maturité des cultures annuelles et marquent la fin de la saison pluvieuse.

L'été est caractérisé par la grande irrégularité des pluies, faibles à nulles en Juillet et Août, elles peuvent être importante pendant le mois de Septembre.

On peut dire en conclusion que le climat du bassin de la CHEFFIA est typiquement méditerranéen, caractérisé par une saison pluvieuse allant en moyenne d'Octobre à Avril et par un été sec et chaud.

La répartition des pluies est très irrégulière d'une année à l'autre et même au cours de la même année. Cette grande irrégularité est une donnée spécifique du climat Algérien en général.

#### I-4- ETUDE DES APPORTS :

La station de la CHEFFIA, sur l'oued BOU-NAMOUSA, contrôle un bassin versant de 575 Km<sup>2</sup> d'une altitude moyenne de 562 mètres.

Les études des apports portera sur une période d'observations s'étalant de 1978 à 1989 au pas de temps journalier.

#### I-4-1- APPORTS MOYENS INTERANNUELS :

Les affluents ainsi que l'oued BOU-NAMOUSA, écoulent à la station de la CHEFFIA, un débit moyen interannuel égal à 123.7 Hm<sup>2</sup>, pour la période d'étude considérée, ce qui correspond à un module spécifique  $q = 7.02 \text{ l/s/km}^2$ .

I-4-2- VARIATIONS INTERANNUELLES ET INTERMENSUELLES DES APPORTS :

L'irrégularité interannuelle et intermensuelle de l'écoulement peut être appréciée par les variations des coefficients d'hydraulicité (c'est à dire le rapport du débit d'une année donnée au débit moyen de la série d'observation) ainsi que des critères statistiques tels que l'écart type  $\sigma$  et le coefficient de variation  $C_v$ .

I-4-3- COEFFICIENT D'HYDRAULICITE : ( $C_H$ )

Le tableau ci-dessous ainsi que l'Annexe I-2 correspond aux variations annuelles des apports à CHEFFIA et montrent de fortes fluctuations des apports annuels d'une année à l'autre.

|                            |         |         |         |         |         |        |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Années                     | 1978    | 1979    | 1980    | 1981    | 1982    | 1983   |
| Apports (Hm <sup>3</sup> ) | 107.718 | 127.837 | 66.761  | 82.037  | 146.565 | 71.771 |
| $C_H$                      | 0.87    | 1.03    | 0.54    | 0.66    | 1.18    | 0.58   |
| Années                     | 1984    | 1985    | 1986    | 1987    | 1988    | 1989   |
| Apports (Hm <sup>3</sup> ) | 310.759 | 143.207 | 130.316 | 259.639 | 24.225  | 13.976 |
| $C_H$                      | 2.51    | 1.16    | 1.05    | 2.10    | 0.20    | 0.11   |

Tab I-7 : Variations de l'hydraulicité

I-4-4- VARIABILITE INTERANNUELLE ET INTERMENSUELLE DES APPORTS :

Le coefficient de variation ( $C_v$ ) exprime bien le phénomène de variabilité des apports, il traduit la dispersion relative des apports.



Le tableau n°7 montre une variabilité intermensuelle beaucoup plus forte que la variabilité interannuelle.

| MOIS                          | JAN   | FEV   | MARS  | AVR   | MAI  | JUIN |  |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| Apports<br>(Hm <sup>3</sup> ) | 22.19 | 29.46 | 16.98 | 14.00 | 3.52 | 2.43 |  |
| $\sigma$                      | 29.74 | 38.32 | 12.49 | 18.57 | 2.49 | 1.35 |  |
| $C_v$                         | 1.34  | 1.33  | 0.74  | 1.27  | 0.68 | 0.57 |  |

| MOIS                          | JUIL | AOUT | SEPT  | OCT   | NOV  | DEC   | Année  |
|-------------------------------|------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| Apports<br>(Hm <sup>3</sup> ) | 3.07 | 2.67 | 2.22  | 1.86  | 6.46 | 18.87 | 123.73 |
| $\sigma$                      | 1.53 | 1.54 | 12.49 | 18.57 | 2.49 | 1.35  | 83.87  |
| $C_v$                         | 1.34 | 1.33 | 0.74  | 1.27  | 0.68 | 0.57  | 0.67   |

Tab I-8 : Variabilité des débits annuels et mensuels

#### I-5 \* L'EVAPORATION

L'évaporation est un facteur non négligeable dans les pays semi-arides telle que l'Algérie.

Elle représente 12.4 % du volume exploitable du barrage de la CHEFFIA. Les valeurs recueillies auprès de l'ANB (douze années d'observations) ont été mesurées sur " Bac colorado " qui est installé sur le site du barrage de la CHEFFIA.

L'évaluation de l'évaporation sur la retenue du barrage est prise égale à 80 % de celle observée sur " Bac colorado ".

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

|                      |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ANNEE                | 1978   | 1979   | 1980   | 1981   | 1982   | 1983   |
| Evapora-<br>tion(mm) | 1277.9 | 1156.7 | 1661.3 | 901.2  | 1026.1 | 783.9  |
| ANNEE                | 1984   | 1985   | 1986   | 1987   | 1988   | 1989   |
| Evapora-<br>tion(mm) | 1170.1 | 1072.9 | 1110.1 | 1011.3 | 1132.1 | 1025.4 |

Tab I-9 : Evaporations annuelles

La valeur moyenne annuelle est de 1110.750 mm

La distribution de l'évaporation annuelle s'ajuste bien par la loi normale (Annexe I - 3 ).

La loi d'ajustement la mieux adaptée à la distribution des évaporations maximales journalières est la loi de GUMBEL comme le montre l'Annexe I - 3.

|                      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|
| ANNEE                | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 |
| Evapora-<br>tion(mm) | 12.9 | 9.6  | 15.0 | 7.6  | 12.0 | 7.9  |
| ANNEE                | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 |
| Evapora-<br>tion(mm) | 11.8 | 9.6  | 8.8  | 9.3  | 12.0 | 10.8 |

Tab I-10 : Evaporations maximales journalières

#### I-6 \* QUALITE DES EAUX :

Les eaux du bassin de la CHEFFIA sont relativement peu chargées, en comparaison de celles des autres bassins Algériens, tant en sels qu'en matières solides en suspension. Elles le doivent évidemment à la nature géologique de leurs bassins essentiellement constitués d'alternances d'argiles et de grés, et à la couverture végétale particulièrement très importante .

I-7 \* COUVERT VEGETAL :

Le rôle de la végétation est très important à la surface du bassin ; le type, la densité et la hauteur de la végétation détermineront largement la quantité interceptée et évaporée et diminueront le ruissellement et l'érosion.

## CHAPITRE II - SIMULATION DES DEBITS :

### II.1/- INTRODUCTION :

On utilise un modèle de simulation pour reproduire des phénomènes ou pour prévoir le comportement d'un système soumis à des sollicitations données. Le tracé des débits journaliers de la série historique du barrage de la Cheffia met en évidence le caractère aléatoire des apports de l'oued Bou Namoussa. Un modèle mathématique basé sur le calcul des probabilités est nécessaire pour tenir compte du phénomène aléatoire de ces apports.

Parmi les modèles qui se prêtent bien à ce genre d'analyse on peut citer celui des chaînes de Markov. Il permet de générer des séries synthétiques d'apports qui seront utilisées par la suite dans le modèle de gestion.

### II.2/- MODELISATION PAR LES CHAINES DE MARKOV :

#### II.2.1/- INTRODUCTION :

L'évolution, au cours du temps, des phénomènes où intervient le hasard ou dont les causes qui les régissent sont si complexes et multiples sont bien représentés par des modèles aléatoires. Le résultat des observations des débits d'un cours d'eau n'est qu'une suite de valeurs successives plus ou moins liées traduisant ainsi une certaine corrélation existante entre-elles.

Un modèle très fréquent de dépendance est celui imaginé vers 1910 par le mathématicien russe A. Markov pour rendre compte de la succession des voyelles et consonnes utilisées dans un poème qu'il étudiait alors.

Le processus  $X(t)$  est markovien si quelle que soit la suite croissante d'instants  $t_1, t_2, t_n$  antérieurs à  $t$  :

$$P_r \left\{ X(t) = x / X(t_1) = x_1, \dots, X(t_n) = x_n \right\} = P_r \left\{ X(t) = x / X(t_n) = x_n \right\}$$

C'est à dire que quelles que soient les informations recueillies au passé, la loi conditionnelle de  $X(t)$  ne dépend que du passé le plus récent.

Ce processus est dit stochastique s'il traite des évènements aléatoires non indépendants.

les chaines de Markov peuvent être utilisées dans la simulation des paramètres climatologiques qui suivent un processus aléatoire.

Les séries chronologiques d'évènements aléatoires sont caractérisées par des variables qui peuvent être continues ou discrètes.

Une variable est dite discrète si elle résulte d'un comptage, par exemple, le fait de pleuvoir ou non est une variable discrète. Et elle est dite continue si elle est représentée par des valeurs mesurées, par exemple, les débits, les précipitations, la température au pas de temps journalier.

Dans une série chronologique d'évènements aléatoires caractérisée par une variable aléatoire continue, on cherche souvent une relation entre les valeurs successives de celle-ci :

- Si  $l = 0$  : on dira que les évènements sont parfaitement indépendants.

- Si  $l = 1$  : ils seront dits liés "linéairement".

Si l'état d'un jour  $k$  dépend de celui des jours précédents, on dira que le phénomène étudié suit une chaîne de Markov.

Celle-ci sera du premier ordre si l'évènement au jour  $k$  ne dépend que de celui du jour précédent, elle sera du  $n^{\text{ème}}$  ordre si ce même évènement dépend des jours  $k-1, k-2, \dots, k-n$ .

II.2.2/- LES MODELES BINAIRES :

Leur principe est basé sur l'existence de deux états :

- Etat 0 : représente le jour ou le débit est nul ou inférieur à un seuil.

- Etat 1 : représente le jour ou le débit est supérieur à ce seuil.

Le seuil étant choisi en fonction du climat étudié.

II.2.2.1/- LES MODELES D'ORDRE 0 :

Dans ces modèles, on ne tient compte que de l'évènement lui même, l'influence des jours précédents est considérée comme nulle, la matrice de passage est obtenue par simple comptage de la série historique.

a) EXEMPLE DE CONSTRUCTION D'UNE CHAINE DE MARKOV :

Supposons que pour l'oued Bou-Namoussa, on caractérise le débit de la journée par l'un des deux états suivants :

F : débit faible s'il est inférieur ou égal à  $0,1 \text{ Hm}^3/\text{j}$

E : débit élevé s'il est supérieur à  $0,1 \text{ Hm}^3/\text{j}$

Pour une période d'observations de 4383 jours, on dispose donc d'une séquence du type FEEFFFEF...

Si on veut représenter cette suite par un modèle de Markov d'ordre 0 il suffira d'effectuer un comptage de la série historique pour obtenir le tableau suivant :

| débit de la journée |      |        |
|---------------------|------|--------|
| F                   | E    |        |
| 3195                | 1188 | = 4383 |

D'où en divisant cette ligne par son total on obtient la matrice de passage d'ordre 0 ou à probabilité inconditionnelle :

$$P = \begin{array}{|cc|} \hline & F & E \\ \hline & 0.729 & 0.271 \\ \hline \end{array}$$

### b/ PROPRIETE DE LA MATRICE DE PASSAGE :

Une matrice de passage est dite stochastique si les probabilités sont positives ou nulles et si leur somme est égale à un :

$$\left\{ \begin{array}{l} * P_{ij} \geq 0 \\ * \sum_j P_{ij} = 1 \end{array} \right.$$

Pour l'exemple précédent, cette propriété est bien vérifiée puisque les  $P_{ij}$  sont positives et leur somme est bien égale à un (  $0.729 + 0.271 = 1$  ).

### II.2.2.2/- LES MODELES D'ORDRE 1 :

Le processus d'ordre 1 est caractérisé par les probabilités conditionnelles de passage de l'état de la veille à l'état d'aujourd'hui c'est à dire qu'on ne tient compte que des évènements qui se sont produits la veille.

Soient  $X$  la variable aléatoire caractérisant l'état ( $x = 0$  ou  $1$ ) et  $X_k$ , la valeur du jour  $k$ , soit  $i$  l'état réalisé le jour  $k-1$  ( $i = 0$  ou  $1$ ) et  $j$  l'état réalisé le jour  $k$  ( $j = 0$  ou  $1$ ), la probabilité conditionnelle est la probabilité de l'état  $j$  au jour  $k$  sachant qu'était réalisé l'état  $i$  au jour  $k - 1$ .

$$\text{Prob} \left\{ X_k = j / X_{k-1} = i \right\} = \alpha_{ij}$$

Avec deux états, il y'aura quatre possibilités :

| Etats au jour K-1 | Etats au jour K |               |
|-------------------|-----------------|---------------|
|                   | 0               | 1             |
| 0                 | $\alpha_{00}$   | $\alpha_{01}$ |
| 1                 | $\alpha_{10}$   | $\alpha_{11}$ |

Tab II - 1 : Matrice de passage d'ordre 1

Avec 
$$\begin{cases} \alpha_{00} + \alpha_{01} = 1 \\ \alpha_{10} + \alpha_{11} = 1 \end{cases} \quad \text{et } \alpha_{ij} \geq 0$$

Ces coefficients sont obtenus par le décompte des jours caractérisés par les états ( i, j ).

En reprenant l'exemple précédent pour un modèle Markovien d'ordre 1 : il faut noter que pour j = 1 à 4382 ou à 4382 couples de débits ( jour j, jour j + 1 ). on a le tableau suivant :

|                         |   | débit de la journée |     |        |
|-------------------------|---|---------------------|-----|--------|
|                         |   | F                   | E   |        |
| débit du jour précédent | F | 3005                | 445 | = 3450 |
|                         | E | 319                 | 613 | = 932  |

En divisant chaque ligne par son total on obtient la matrice de transition :

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} F & E \end{matrix} \\ \begin{matrix} F \\ E \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.871 & 0.129 \\ 0.342 & 0.658 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

qui est bien une matrice stochastique car tous les  $\alpha_{ij} \geq 0$  et  $\sum_j \alpha_{ij} = 1$ .



Si la matrice de transition d'ordre 1 élevée à l'exposant  $n$  converge à l'infini vers une matrice asymptotique c'est à dire qu'à partir d'un certain temps, les probabilités conditionnelles deviennent indépendantes de l'état initial. Du point de vue physique on dira que  $n$  représente la mémoire météorologique du phénomène. Celle-ci fixe l'ordre maximum des chaînes de Markov.

II.2.2.3 /- LES MODELES D'ORDRE 2 :

Le problème est de déterminer la probabilité de l'état de la classe 0 ou 1 aujourd'hui en fonction des états connus hier et avant hier. Le dénombrement statistique fournit les probabilités conditionnelles du tableau suivant :

| Avant -<br>hier<br>Hier | Hier - Aujourd'hui |               |               |               |
|-------------------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|
|                         | 00                 | 01            | 10            | 11            |
| 00                      | $\beta_{000}$      | $\beta_{001}$ |               |               |
| 01                      |                    |               | $\beta_{010}$ | $\beta_{011}$ |
| 10                      | $\beta_{100}$      | $\beta_{101}$ |               |               |
| 11                      |                    |               | $\beta_{110}$ | $\beta_{111}$ |

Tab II -2: matrice Markovienne d'ordre 2  
ou matrice de passage d'ordre 2.

$\beta_{ijk}$  : représente la probabilité conditionnelle d'obtenir un doublet de classe  $jk$  succédant à un autre de classe  $ij$ .

Il est évident que du fait du chevauchement de deux couples sur la veille, il est nécessaire d'avoir l'égalité de la classe dans les deux couples. Pour cet ordre, l'état au jour  $k$  dépend de l'état au jour  $k-1$  et  $k-2$ . Lors de la définition de la matrice de passage

exprimant les probabilités des couples successifs, il y a impossibilité de certaines combinaisons vue la succession de certains doublets.

II.2.2.4/ - LES MODELES D'ORDRE 3 :

La mémoire météorologique est faible (environ 7 jours), mais cela ne nous empêche pas de déterminer les probabilités conditionnelles de l'état au jour k en faisant intervenir les réalisations des états des 3 jours précédents, avant-avant hier ( k-3 ), avant hier ( k-2 ), et hier ( k-1 ). Avec un modèle binaire ( à deux états 0 ou 1 ) on aura  $2^3$  triplets, la matrice de transition se présente comme suit :

| Avant avant hier<br>Avant hier<br>Hier | Avant hier - Hier - Aujourd'hui |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|--|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|  | 000                             | 001             | 010             | 011             | 100             | 101             | 110             | 111             |
| 000                                    | $\gamma_{0000}$                 | $\gamma_{0001}$ |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| 001                                    |                                 |                 | $\gamma_{0010}$ | $\gamma_{0011}$ |                 |                 |                 |                 |
| 010                                    |                                 |                 |                 |                 | $\gamma_{0100}$ | $\gamma_{0101}$ |                 |                 |
| 011                                    |                                 |                 |                 |                 |                 |                 | $\gamma_{0110}$ | $\gamma_{0111}$ |
| 100                                    | $\gamma_{1000}$                 | $\gamma_{1001}$ |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| 101                                    |                                 |                 | $\gamma_{1010}$ | $\gamma_{1011}$ |                 |                 |                 |                 |
| 110                                    |                                 |                 |                 |                 | $\gamma_{1100}$ | $\gamma_{1101}$ |                 |                 |
| 111                                    |                                 |                 |                 |                 |                 |                 | $\gamma_{1110}$ | $\gamma_{1111}$ |

Tab II -3 : matrice de passage d'ordre 3

$\gamma_{ijkl}$  : représente la probabilité d'obtenir un triplet de classe jkl succédant à un triplet de classe ijk.

On peut aller plus loin dans la prise en compte d'informations antérieures ayant une incidence sur la probabilité du jour précédent.

On remarque que le nombre des coefficients augmente exponentiellement avec l'ordre des chaînes de Markov et la taille de la matrice de passage devient vite très grande.

### II.2.3 / LES MODELES MULTICLASSES :

Au lieu d'utiliser un système binaire qui peut être dans des cas bien précis (tel que la variable débit) inconvenable à la simulation, on étudiera un modèle markovien multiclasse qui comme son nom l'indique consiste à subdiviser la série historique en plusieurs classes.

Dans ce cadre là, on transforme l'état (système binaire) en classes (système multiclasse), le problème qui se posera est le choix des seuils de ces classes.

#### II.2.3.1 / MODELES D'ORDRE 1 :

EXEMPLE : En appliquant le modèle multiclasse d'ordre 1 à l'exemple précédent avec les données suivantes :

- nombre de classe : 4

                                  classe 0      classe 1      classe 2  
- bornes des classes : [0-0.5 Hm<sup>3</sup>]-[0.5-1.3 Hm<sup>3</sup>]-[1.3-3.8 Hm<sup>3</sup>]

  classe 3  
                                  et      [ 3.8-42.1 Hm<sup>3</sup> ]

- ordre des chaînes de Markov : 1

On obtient la matrice de transition :

|     | 0 | 1     | 2     | 3     |       |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|
| P = | 0 | 0.931 | 0.047 | 0.018 | 0.004 |
|     | 1 | 0.398 | 0.454 | 0.112 | 0.036 |
|     | 2 | 0.102 | 0.344 | 0.414 | 0.140 |
|     | 3 | 0.015 | 0.059 | 0.405 | 0.441 |

On voit bien qu'en augmentant l'ordre des chaînes de Markov le nombre des coefficients augmente exponentiellement et la matrice devient là aussi très vite, très grande.

Pour un processus multiclasse d'ordre  $r$  constituée de  $n$  classes la matrice de transition obtenue dans ce cas est carrée et aura pour dimension  $n^r \times n^r$ .

Le découpage en classe peut se faire de différentes manières et ceci dans le but d'avoir une répartition homogène des données aux niveaux de toutes les classes afin de ne pas favoriser l'une d'elles par rapport à une autre.

Ce découpage en classe doit tenir compte du phénomène physique il peut se faire :

a) aléatoirement : on choisit les seuils et on suit l'évolution des coefficients de la matrice de passage.

b) en utilisant la fonction de répartition de la série historique, on considère les classes d'égales probabilités marginales sauf pour la classe sèche.

c) en se basant sur le débit moyen journalier et l'écart type de la série historique : on procède au découpage à l'aide des seuils suivants :

$$[ \bar{Q} - \sigma , \bar{Q} + \sigma ]$$

$$[ \bar{Q} - 2\sigma , \bar{Q} + 2\sigma ]$$

$$[ \bar{Q} - 3\sigma , \bar{Q} + 3\sigma ]$$

$\bar{Q}$  : moyenne des débits journaliers de la série historique

$\sigma$  : son écart type .

Plus on augmente le nombre de classes, et plus on a des difficultés à choisir leurs seuils.

L'augmentation du nombre de classes permet le passage d'un modèle discret à un modèle continu, le problème est l'homogénéité du nombre de valeurs dans chaque classe.

#### II-2-3-2- PHENOMENE SAISONNIER :

Vu la disparité des saisons, il est indispensable de scinder l'année en saisons afin d'affiner l'étude et de ressortir les caractéristiques de chaque saison pour que le modèle mathématique soit le plus près possible du phénomène physique.

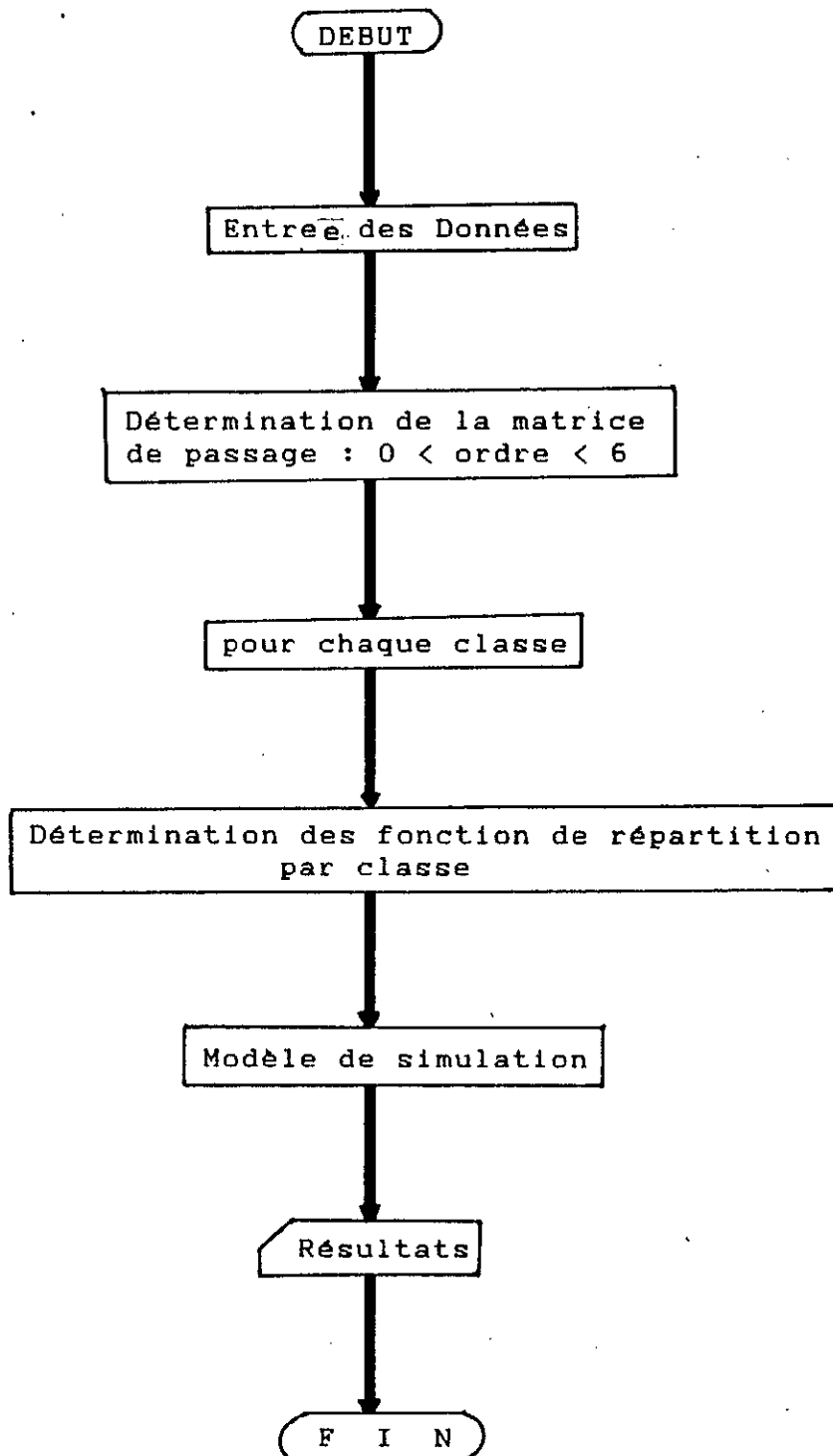
#### II-2-4- SIMULATION PAR LES MODELES MULTICLASSES :

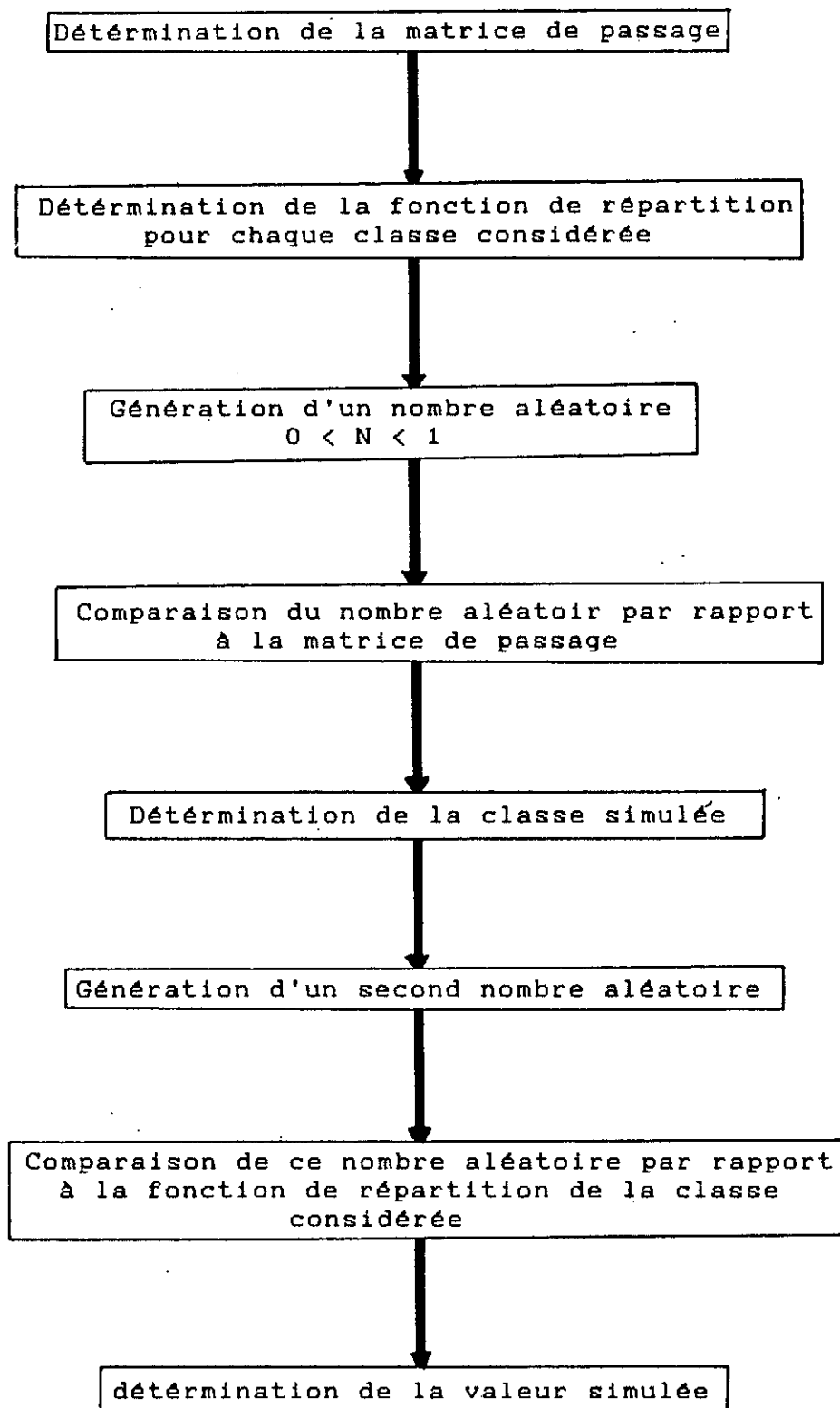
Le principe est sensiblement le même que pour le cas binaire, disposant des probabilités conditionnelles cumulées, on effectue un tirage de nombre aléatoire (compris entre 0 et 1), le résultat obtenu (qui est une probabilité) sera comparé aux seuils des fréquences conditionnelles (ou inconditionnelles) cummulées et indiquera la classe au jour  $j$ , connaissant la classe du jour  $i$  réalisée la veille, la classe initiale étant fixée arbitrairement, celle-ci n'a pas beaucoup d'importance étant donnée que la mémoire du phénomène est courte.

Si le nombre aléatoire tiré (qui est une probabilité) est inférieur au seuil de fréquence  $\alpha_{i0}$ , le jour simulé est doté de la classe 0, sinon on lui attribue la classe correspondante.

Soit le modèle multiclasse d'ordre 1 étudié précédemment (II-2-3-1), sa matrice de passage est :

PROGRAMME 3 M (Modèle Markovien Multiclasse)

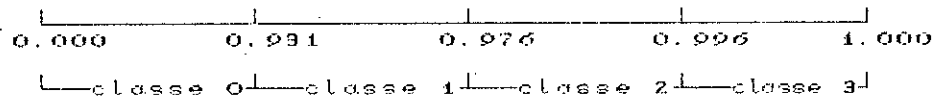




SOUS-PROGRAMME SIM (Simulation Markovienne)

|       | 0     | 1     | 2     | 3     |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| P = 0 | 0.931 | 0.047 | 0.018 | 0.004 |
| 1     | 0.398 | 0.454 | 0.112 | 0.036 |
| 2     | 0.102 | 0.344 | 0.414 | 0.140 |
| 3     | 0.015 | 0.059 | 0.485 | 0.441 |

En se fixant comme classe initiale la classe 0, les seuils des probabilités conditionnelles cumulés s'écrivent comme suit :

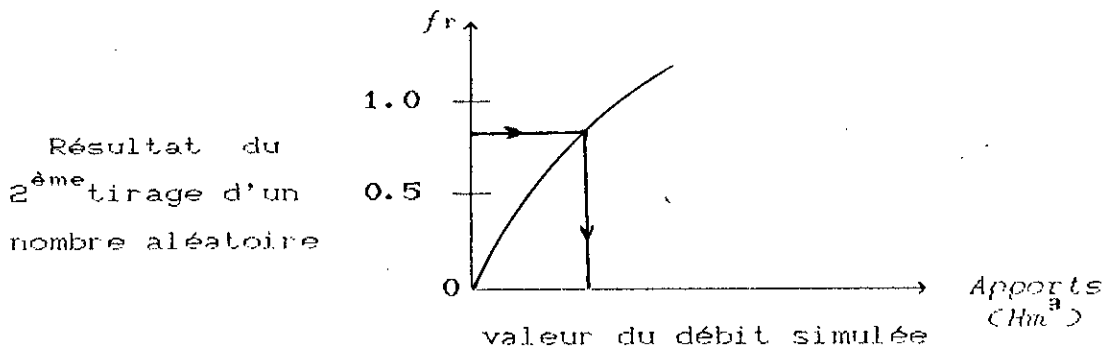


On fait un premier tirage d'un nombre aléatoire compris entre 0 et 1, le résultat obtenu (qui est une probabilité) sera comparé aux seuils des probabilités conditionnelles cumulés ce qui permettra de placer le jour simulé dans la classe correspondante.

Ce jour simulé servira de classe initiale à la simulation suivante.

Pour déterminer les valeurs simulées des débits d'une classe, on trace la fonction de répartition des débits historiques appartenant à cette classe et qui suivent généralement la loi normale, ensuite on fait un deuxième tirage d'un nombre aléatoire compris entre 0 et 1, le résultat obtenu sera projeté sur la fonction de répartition ce qui permettra de déterminer la valeur simulée du débit.





#### II-2-4-1- COMPARAISON ENTRE SERIES HISTORIQUE ET SIMULEE :

Pour étudier la fiabilité du modèle, on s'est attelé à trouver des moyens statistiques solides afin d'accepter ou de rejeter une simulation, sur cette base on a fait la comparaison entre séries historique et simulée à différent niveau :

- a) Moyennes et écarts type annuels :
- b) Ajustements des moyennes annuelles :
- c) Ajustements des maxima journaliers :
- d) Moyennes et écarts type mensuels interannuels :

#### II-2-4-2- RESULTATS ET INTERPRETATION

Le modèle 3 M (Modèle de MARKOV Multiclasse) développé a été étudié de façon à voir l'influence de trois paramètres prépondérants dans ce phénomène :

- L'influence des saisons
- Du nombre aléatoire
- Du nombre de classe

Afin d'analyser et de suivre le comportement des séries simulées, plusieurs tests ont été effectués sur le modèle de simulation et ce en changeant à chaque fois l'un de ces paramètres.

\* L'influence des saisons :

Les différents tests ont porté sur une période de vingt années, on a constaté qu'en augmentant le nombre de saisons, les simulations obtenues approchaient les valeurs de la série historique ceci s'explique par le fait qu'en augmentant le nombre des saisons, le phénomène se trouve mieux cerné et le résultat n'en sera que meilleur.

\* L'influence du nombre aléatoire :

On a remarqué que ce nombre avait un effet non négligeable sur la valeur de l'écart type, en effet celle-ci pouvait diminuer de moitié par simple changement de la valeur de ce nombre aléatoire. Par contre son influence sur la valeur de la moyenne n'est pas très importante.

\* L'influence du nombre de classe :

Les tests effectués ont porté sur des modèles d'ordre 0 et 1 de 3, 4, 5 et 6 classes, la période de simulation est de vingt années et le nombre de saisons de deux, les résultats obtenus sont les suivants :

a) Moyennes et écarts types annuels :

- Pour le modèle de simulation à 3 classes on a :

|           | historique | ordre 0 | ordre 1 |
|-----------|------------|---------|---------|
| $\bar{x}$ | 123.734    | 128.513 | 121.736 |
| $s_x$     | 87.542     | 39.555  | 58.564  |
| $c_v$     | 0.707      | 0.308   | 0.481   |

$\bar{x}$  : représente la valeur moyenne annuelle

$s_x$  : représente l'écart type de la valeur annuelle

$c_v$  : étant le coefficient de variation

- Pour le modèle de simulation à 4 classes :

|           | historique | ordre 0 | ordre 1 |
|-----------|------------|---------|---------|
| $\bar{x}$ | 123.734    | 124.882 | 122.166 |
| $s_x$     | 87.542     | 25.063  | 63.307  |
| $c_v$     | 0.707      | 0.201   | 0.518   |

- Modèle de simulation à 5 classes :

|           | historique | ordre 0 | ordre 1 |
|-----------|------------|---------|---------|
| $\bar{x}$ | 123.734    | 130.881 | 142.089 |
| $s_x$     | 87.542     | 26.553  | 63.345  |
| $c_v$     | 0.707      | 0.203   | 0.446   |

- Modèle de simulation à 6 classes :

|           | historique | ordre 0 | ordre 1 |
|-----------|------------|---------|---------|
| $\bar{x}$ | 123.734    | 131.861 | 151.746 |
| $s_x$     | 87.542     | 28.493  | 77.342  |
| $c_v$     | 0.707      | 0.216   | 0.510   |

Pour pouvoir rejeter ou accepter les résultats d'une simulation, il suffit de calculer les intervalles de confiance de la moyenne et de l'écart type de la série historique et voir si ces résultats appartiennent ou non à ces intervalles.

\* Intervalle de confiance de la moyenne (Test de student)

Soit,  $\bar{x}$  la valeur de la moyenne interannuelle de la série historique et  $S_x$  son écart-type :

$$\bar{x} = 123.734 \qquad S_x = 87.542$$

En utilisant le test de student, l'intervalle de confiance s'écrit :

$$M = \bar{x} \pm t_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{SCE}{n(n-1)}}$$

avec : SCE : étant la somme des carrés des écarts

$\alpha$  : le risque d'erreur

$n$  : taille de l'échantillon

Pour notre échantillon SCE = 84299.21707

$\alpha = 5\% \longrightarrow t_{0.975} : 2.20$  (d'après la table)

$n = 12$

D'où :  $M = 123.734 \pm 55.595$

$$ME [ 68.138 \qquad 179.330 ]$$

On remarque que toutes les moyennes des séries simulées sont comprises dans l'intervalle de confiance de la moyenne de l'historique.

\* Intervalle de confiance de l'écart type :

Les limites de confiance d'un écart type sont :

$$S_1 = \sqrt{\frac{SCE}{\chi^2_{1-\alpha/2}}} \qquad \text{et} \qquad S_2 = \sqrt{\frac{SCE}{\chi^2_{\alpha/2}}}$$

Pour un risque d'erreur  $\alpha = 5 \%$  et un échantillon de taille  $n = 12$

$$\chi^2_{1-\alpha/2} = 3.81575 \quad (\text{d'après les tables})$$

$$\chi^2_{\alpha/2} = 21.92$$

$$\text{D'où } S_1 = 148.635$$

$$S_x \in [ 62.014 \quad 148.635 ]$$

$$S_2 = 62.014$$

La première remarque que l'on peut faire et que tout les écarts types des séries simulées pour l'ordre 0 se trouvent à l'extérieur de l'intervalle de confiance de l'écart type d'où l'hypothèse de rejeter toutes ces simulations. Pour les modèles d'ordre 1, seul le modèle à 3 classes est à rejeter car la valeur de son écart type n'appartient pas elle aussi à l'intervalle de confiance de la série historique.

#### b) Ajustements des débits annuels :

Pour mieux illustrer ces résultats, on a ajusté les débits annuels de la série historique et des séries simulées (voir Annexe II - 1 ), les constatations suivantes peuvent être faites :

Pour tous les modèles d'ordre 0, on remarque que les ajustements des débits annuels des séries simulées sont différents de celui de la série historique. Il en est de même pour le modèle à 3 classes d'ordre 1.

Pour les modèles d'ordre 1 à 4 et 5 classes, les ajustements des séries simulées approchent légèrement l'ajustement de la série historique.

Enfin pour le modèle d'ordre 1 à 6 classes, la droite d'Henry de la série simulée évolue presque de la même manière que celle de la série historique.

c) Ajustements des débits maximums journaliers :

La loi de GUMBEL se prête bien à l'ajustement des maxima journaliers des séries historique et simulée, les remarques faites pour l'ajustement des débits annuels restent valables dans ce cas aussi.

d) Moyenne mensuelle interannuelle :

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivants :

|            | $\bar{X}_J$ | $\bar{X}_F$ | $\bar{X}_M$ | $\bar{X}_A$ | $\bar{X}_M$ | $\bar{X}_J$ |           |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Historique | 22.190      | 29.460      | 16.978      | 14.007      | 3.519       | 2.428       |           |
| Ordre 0    | 17.533      | 15.888      | 20.995      | 21.857      | 2.329       | 2.402       | 3 Classes |
| Ordre 1    | 18.728      | 11.672      | 15.996      | 24.487      | 2.136       | 2.428       |           |
| Ordre 0    | 16.542      | 16.613      | 18.141      | 21.708      | 2.242       | 2.432       | 4 Classes |
| Ordre 1    | 13.193      | 13.126      | 19.127      | 25.676      | 2.231       | 2.402       |           |
| Ordre 0    | 23.904      | 21.210      | 17.431      | 14.152      | 2.640       | 2.499       | 5 Classes |
| Ordre 1    | 20.746      | 21.669      | 26.592      | 21.765      | 2.985       | 2.493       |           |
| Ordre 0    | 20.109      | 18.217      | 23.014      | 17.917      | 2.732       | 2.537       | 6 Classes |
| Ordre 1    | 21.920      | 25.157      | 27.011      | 21.680      | 3.105       | 2.516       |           |

|            | $\bar{X}_J$ | $\bar{X}_A$ | $\bar{X}_S$ | $\bar{X}_O$ | $\bar{X}_N$ | $\bar{X}_D$ |           |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| Historique | 3.073       | 2.671       | 2.218       | 1.860       | 6.457       | 18.876      |           |
| Ordre 0    | 2.415       | 2.601       | 2.669       | 3.139       | 21.338      | 15.540      | 3 Classes |
| Ordre 1    | 2.488       | 2.443       | 2.653       | 3.996       | 19.535      | 15.809      |           |
| Ordre 0    | 2.377       | 2.604       | 2.712       | 5.409       | 17.582      | 16.718      | 4 Classes |
| Ordre 1    | 2.421       | 2.533       | 3.103       | 3.990       | 23.781      | 10.844      |           |
| Ordre 0    | 2.889       | 2.445       | 2.202       | 4.563       | 15.941      | 23.780      | 5 Classes |
| Ordre 1    | 2.376       | 2.797       | 2.421       | 3.132       | 17.962      | 17.258      |           |
| Ordre 0    | 2.450       | 2.573       | 2.592       | 2.505       | 15.599      | 21.676      | 6 Classes |
| Ordre 1    | 2.500       | 2.790       | 2.597       | 3.626       | 20.271      | 18.707      |           |

Tab II- 4 : moyenne mensuelle interannuelle entre 1978 - 1989.

Les tracés des moyennes mensuelles interannuelles montrent bien que les sorties des modèles d'ordre 0 pour différentes classes n'évoluent pas de la même façon que la série historique. Seuls les résultats du modèle à 6 classes d'ordre 1 s'identifient bien à l'évolution de la série historique.

**CONCLUSION :**

Au terme de cette étude, on constate que le meilleur modèle qui donne les résultats les plus proches de la série historique est le modèle à 6 classes d'ordre 1. Celui-ci sera utilisé dans le modèle de gestion du barrage

### CHAPITRE III - POLITIQUE D'EXPLOITATION

Ce chapitre présente les principales méthodes utilisées pour déterminer une politique d'exploitation d'un système hydrique. Pour cela on peut procéder de trois manières différentes :

- 1) utilisation d'un modèle analytique
- 2) utilisation d'un modèle de simulation
- 3) utilisation d'un modèle combiné (méthode analytique et simulation).

#### III-1-MODELE ANALYTIQUE :

Les méthodes analytiques sont essentiellement la programmation linéaire et la programmation dynamique.

Le but recherché par ces méthodes est *l'optimisation* (maximisation ou minimisation) *d'une fonction économique* à une ou plusieurs variables, ces variables étant soumises à un ensemble de conditions à satisfaire et qui constituent *les contraintes*.

En gestion des barrages, les fonctions économiques peuvent être très variées ; on citera comme exemple : la maximisation des bénéfices provenant de la vente d'énergie produite aux centrales hydroélectriques, de la fourniture d'eau potable, industrielle et d'irrigation ou la minimisation des pertes résultant des dommages d'inondation en essayant d'exprimer les retombées de ces dommages par des valeurs pseudo-monétaires.

Les contraintes les plus courantes sont les suivantes :

*Les contraintes physiques* : ce sont des relations ou des constantes qui décrivent des phénomènes physiques à satisfaire pour qu'une solution soit faisable. Le non respect de ces contraintes entraîne alors un bris du système ou une impossibilité physique, on citera par exemple : le volume maximal du barrage ou le débit maximal à la sortie du barrage, l'équation de continuité.

*Les contraintes opérationnelles* : ce sont des contraintes imposées à l'exploitation qu'il n'est pas nécessaire de les respecter



lorsqu'il est impossible d'agir autrement. Ne pas respecter ces contraintes engendre une pénalité, prise en compte dans la fonction économique pour ce type de contraintes on citera le niveau maximal acceptable comme exemple.

### III-1-1- LA PROGRAMMATION LINEAIRE :

Lorsque les relations entre les variables, dans la fonction à optimiser et dans les contraintes, sont linéaires, on utilise comme outil de résolution la programmation linéaire.

#### III-1-1-1- FORMULATION GENERALE :

Un problème typique de programmation linéaire s'écrit :

$$\text{Min } Z = C^T X$$

soumise à :

$$AX \geq b$$

$$X \geq 0$$

où :

C : vecteur des coefficients de la fonction économique

X : vecteur des variables de décision

A : Matrice des coefficients des contraintes

b : vecteur ressource

Plusieurs modèles de programmation linéaire appliqués à la gestion des barrages ont été proposés. Ainsi MANNE (1960) a utilisé cette technique pour l'optimisation du processus de MARKOV et l'a appliqué à un exemple théorique d'un réservoir unique.

THOMAS et WATERMEYER (1962) ont développé le travail de MANNE et ce en ne définissant plus l'état initial du réservoir comme stockage uniquement, mais plutôt comme étant à la fois apport et stockage.

BECHARD et AL (1981) ont développé le modèle MORRO pour gérer un système constitué de plus de trente réservoirs et quarante trois

centrales hydroélectriques. Ce modèle a été formulé en programmation linéaire pour établir un compromis entre la production hydroélectrique et la protection contre les inondations. La fonction économique utilisée est à critère unique (maximisation des valeurs monétaires) et a été formulé comme suit :

$$\text{Max } Z = C_1 X_1 - C_2 X_2$$

où

$X_1$  : prix de vente de l'énergie produite

$X_2$  : dommages monétaires causés par les inondations

$C_1$  et  $C_2$  : sont des coefficients de pondération : ( $C_1 + C_2 = 1$ )

Les contraintes sont l'équation de continuité, les capacités des éléments du système et les contraintes d'exploitation.

Le modèle MORRO détermine en début de chaque période et pour chaque barrage le débit turbiné et déversé, l'état de la réserve, la production d'énergie et les dommages causés par les inondations.

### III-1-1-2- AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA TECHNIQUE :

Les avantages essentiels de la programmation linéaire sont :

- la documentation scientifique abondante élaborée sur son utilisation en gestion des barrages.
- La disponibilité d'algorithmes généraux de solution, comme le simplexe, dans la majorité des centres de calcul.
- Le très grand nombre de variables de décision et de contraintes permis par la méthode.

Les principaux inconvénients sont :

- La nature déterministe de l'environnement
- l'exigence de la linéarité de la fonction économique et des contraintes.

III-1-2-LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE :

La programmation dynamique est une méthode d'optimisation qui permet de traiter des problèmes complexes en les décomposant en plusieurs étapes ou périodes ; chaque étape comprend un certain nombre d'états.

Cette méthode permet de prendre une séquence de décisions mutuellement reliées entre elles, afin d'optimiser une fonction économique connue.

Elle exprime un problème selon une formulation récursive basée sur le principe d'optimalité de BELLMAN (1957), qui énonce qu'une politique optimale a la propriété suivante : les décisions futures doivent constituer une politique optimale, quelles que soient les décisions prises pour atteindre un état particulier.

Un des éléments du problème le plus difficile à représenter adéquatement est la séquence des apports naturels de chaque barrage à cause de leur nature stochastique. Deux approches de la question sont envisagées pour résoudre ce problème.

III-1-2-1- LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE DETERMINISTE :

Pour le cas déterministe, la séquence des apports naturels ( $A_t$ ) ainsi que la demande en eau sont supposées connues. Cette hypothèse simplifie considérablement le problème, la solution n'est optimale que pour la séquence utilisée et les apports réels peuvent s'en écarter d'une manière significative.

Le problème est alors formulé comme suit :

$$\text{Max } \sum_{t=1}^1 b(s, j)$$

soumise à :

1- Equation de continuité :

$$V_{t+1} = V_t + A_t - Q_t - E_t \quad (t = 1, \dots, n)$$

Les pertes par infiltration sont négligées.

2- Contraintes sur l'emmagasinement :

$$V_{\min} \leq V_t \leq V_{\max}$$

3- Contraintes sur le débit prélevé :

$$Q_{\min} \leq Q_t \leq Q_{\max}$$

$$t : 1, 2, \dots, n$$

Où :

$b_t(s, j)$  : bénéfice produit par un prélèvement  $Q_t$  qui fait passer de l'état "s" au début de la période t, à l'état "j" au début de la période t+1 ;

$v_t$  : volume emmagasiné au début de la période t, (Hm<sup>3</sup>)  
 $A_t$  : apport naturel moyen durant la période t, (Hm<sup>3</sup>)  
 $Q_t$  : prélèvement moyen durant la période t, (Hm<sup>3</sup>)  
 $E_t$  : évaporation moyenne durant la période t, (Hm<sup>3</sup>)

Les bénéfices  $b_t(s, j)$  sont supposés invariables d'année en année et sont calculés en fonction de l'emmagasinement du réservoir et du prélèvement. La formulation récursive peut être appliquée du futur vers le présent ou du présent vers le futur. En procédant du futur vers le présent, on peut établir une politique d'exploitation stable indépendante de la période terminale et de l'état atteint à cette période. L'avantage de cette procédure est qu'elle permet de ne pas fixer à priori. L'avantage de cette procédure est qu'elle permet de ne pas fixer à priori un état à atteindre et d'initialiser arbitrairement la valeur numérique des bénéfices associés à chaque état à la période terminale.

La politique stable sera obtenue, en optimisant sur plusieurs années, et en répétant la même séquence comme des apports naturels d'année en année, jusqu'à ce que les bénéfices de chaque période décisionnelle soient identiques entre deux années consécutives.

La formulation récursive de programmation dynamique, pour chaque période t, s'écrit :

$$G_t(s) = \text{Max} [b_t(s, j) + G_{t+1}(j)]$$

pour  $t = n-1, n-2, \dots, 1$

où :

$G_t(s)$ : espérance de gain futur lorsque le réservoir se trouve au niveau  $s$ , au début de la période  $t$ . C'est la valeur de la fonction économique.

$b_t(s, j)$ : bénéfice immédiat produit par un prélèvement  $Q_t$  qui fait passer de l'état  $s$  au début de la période  $t$ , à l'état  $j$  au début de la période  $t+1$ .

$G_{t+1}$ : valeur de la fonction économique à l'état  $j$  au début de la période  $t+1$ .

Les bénéfices attendus à chacun des états de la période terminale sont posés arbitrairement égaux à zéro :

$$G_{t+1}(j) = 0$$

En résumé, on peut dire que pour élaborer le tableau de gestion optimale, la démarche est la suivante :

Le réservoir est divisé en plusieurs états (niveaux), le temps étant discrétisé en intervalle d'un mois et les états possibles au cours d'un mois sont restreints à un nombre fini de valeurs discrètes. Quatre grandes étapes peuvent être définies :

1- Calcul des bénéfices immédiats pour les volumes, prélèvements et temps discrétisés.

2- On suppose qu'à la période terminale  $t=12$ ,  $G_{12}(j) = 0$

3- Détermination à partir de la méthode décrite ci-avant des espérances de gain futur  $G_t(s)$  et des décisions optimales  $Q_t$  pour tout état du stock  $V$  et pour  $t=11, \dots, 1$ .

4- Les tableaux de gestion  $Q_t$  trouvés pour la dernière série de 12 mois sont comparés à ceux de l'avant dernière :

. Si ces tableaux sont différents, le tableau de gestion déterminé est encore influencé par l'initialisation à zéro de  $G$ . Il faut donc refaire le calcul pour une autre série annuelle.

. Si ces tableaux sont égaux, alors le tableau de gestion est

stabilisé et ne dépend plus des conditions initiales. Ce tableau correspond au tableau de gestion optimale du stock pour la demande programmée.

### III-1-2-2- LA PROGRAMMATION DYNAMIQUE STOCHASTIQUE :

Cette approche considère les apports comme des variables stochastiques. La formulation devient alors plus compliquée, toutefois les résultats obtenus représentent mieux la vraie nature des apports et donnent de meilleurs résultats que ceux produits pour le cas déterministe.

Le principe de cette méthode est en essence le même que la programmation dynamique déterministe. L'incertitude hydrologique est incorporée dans le modèle par différents intervalles d'apports naturels dont la probabilité d'apparition est connue.

Les applications de la programmation dynamique en gestion des barrages et très abondante, citons par exemple les travaux de BUTCHER (1971), ASKEW (1974 A) et TURGEON (1981).

### III-1-2-3- AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA TECHNIQUE :

Les principaux avantages de la programmation dynamique sont :

- Prise en compte des relations non linéaire.
- Nature stochastique des apports naturels facilement prise en considération.
- La solution est un optimum global.

Les inconvénients sont :

- La méthode est limitée par le nombre de variables d'état et de décision.
- Des algorithmes généraux de solution n'existent pas
- La fonction économique doit être séparable pour permettre la décomposition en étapes.

*Conclusion:*

L'inconvénient des méthodes analytiques est la simplification abusive des phénomènes réels, dans le but de permettre la modélisation du système étudié, ce qui peut ôter toute signification aux résultats obtenus.

**III-2- MODELE DE SIMULATION :**

Pour éviter l'inconvénient des méthodes analytiques, il est avantageux, parfois, de construire un modèle qui se contente de reproduire, le plus fidèlement possible, le comportement du système étudié. On simulera, par exemple, dans le cas d'un barrage, les apports du bassin amont par l'utilisation des séries de débits générés qui préserveront certaines caractéristiques statistiques des débits réels (moyenne, variance,...).

L'utilisation de telles méthodes de simulation a été illustrée par l'ouvrage classique de HUFSCHMIDT et FIERING (1966).

On utilise souvent aussi la simulation pour évaluer une politique d'exploitation. Cette méthode permet, en reproduisant le comportement d'un barrage, d'examiner les conséquences d'une politique d'exploitation sur l'évolution de ce barrage.

Le modèle de simulation stochastique développé par TREMBLAY (1989) illustre bien la démarche à suivre pour évaluer une politique d'exploitation dérivée à partir d'un modèle de programmation dynamique stochastique.

Ce modèle tient compte du caractère aléatoire des apports naturels et considère la demande comme étant connue.

**III-2-1- AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CETTE TECHNIQUE :**

Les avantages principaux de cette méthode sont :-

- Il n'y a aucune contrainte sur le nombre de variable
- Aucune contrainte sur la forme des relations mathématiques

- Elle admet sans difficulté des composantes aléatoires,
- Elle permet de suivre l'évolution du système beaucoup plus fidèlement que les formulations utilisées pour définir une politique d'exploitation, souvent simplifiées par des hypothèses,
- Elle permet ainsi de mieux évaluer l'impact réel des politiques "optimales".

Ses faiblesses sont :

- Elle peut devenir très coûteuse,
- Ne nous dit rien sur "la valeur" de la solution,
- Analyse de sensibilité facile mais fastidieuse,
- Elle demande que les règles d'exploitation soient définies a priori.

### III-3- MODELE MIXTE :

On peut aussi combiner les méthodes analytiques et les modèles de simulation. Ainsi YOUNG (1967) en étudiant les effets de la prévision des apports sur la minimisation de la fonction de coût, a appliqué la programmation dynamique déterministe avec plusieurs séries de débits générés par simulation, en vue de trouver la relation fonctionnelle qui, à chaque pas de temps, lie la lâchure à effectuer, au débit entrant dans le barrage et au niveau de celui-ci au début de la période.

Au terme de cet exposé de quelques techniques utilisées en gestion des barrages, on peut mesurer la diversité des outils mis à la disposition des décideurs. Tous les problèmes ne sont cependant pas résolus et certaines questions qu'on va maintenant aborder ont été jusqu'à présent peu étudiées.

### III-4- PROBLEMES POSES PAR LA GESTION D'UN BARRAGE A BUTS MULTIPLES :



### III-4-1-EVALUATION DES COUTS DES DIVERS OBJECTIFS :

L'évaluation économique des différents objectifs que doit satisfaire le barrage constitue la première difficulté rencontrée par le gestionnaire.

Seule la production hydroélectrique a fait l'objet depuis longtemps d'analyses coûts-bénéfices ce qui a permis, notamment à Electricité de France, de développer plusieurs algorithmes de gestion. Cette difficulté dans l'estimation de la valeur de l'eau associée à certains usages a cependant fait l'objet de recherche, citons entre autres le travail de LENCIONI et BERNIER (1976).

L'absence d'une fonction de valorisation de l'eau, en Algérie, complique davantage la tâche du gestionnaire.

### III-4-2- LA PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DANS LA GESTION :

Une seconde difficulté surgit au niveau de la prise en compte des incertitudes dans la gestion.

D'après BERNIER (1977), les incertitudes qu'on distingue dans un problème de gestion de réservoir sont :

- Les incertitudes physiques qui reflètent le caractère fluctuant au cours du temps des chroniques des apports hydrologiques et des besoins, qui sont pris dans la plupart des travaux sur la gestion des barrages.
- La méconnaissance des processus physiques et la brièveté des séries de données hydrologiques dont on dispose, constituent les incertitudes technologiques qui sont la source des erreurs de l'estimation des caractéristiques statistiques des lois des apports. Ces incertitudes sont rarement prises en compte dans la gestion des barrages.

## CHAPITRE IV - DETERMINATION DES BESOINS EN EAU

La confrontation des ressources exploitables avec les besoins en eau constitue la base de toute politique de gestion. Aussi, l'évaluation des besoins en eau actuels et futurs des différents types d'utilisateurs (eau potable, industrielle et agricole) permettra de cerner l'importance du déficit ou de l'excédent d'eau et de projeter une politique d'exploitation en vue de la satisfaction la plus rationnelle possible des besoins exprimés.

### IV-1- BESOINS EN EAU POTABLE :

L'estimation quantitative des besoins en eau potable tient compte des paramètres démographiques et socio-économiques.

Les résultats du dernier recensement de la population en 1987, ont été pris comme base des estimations de la population, ainsi que de la demande en eau potable par habitant et par jour.

La détermination de l'accroissement des populations est obtenue à partir du modèle suivant :

$$N = N_0 (1+\alpha)^n$$

où :

N : population projetée à l'horizon considéré

N<sub>0</sub> : population recensée en 1987 (dernier recensement en date)

α : taux d'accroissement

n : nombre d'années considéré

Le taux d'accroissement a été déterminé pour l'horizon moyen et long terme, il en est de même pour la dotation journalière en eau. La taille des agglomérations, leur degré d'urbanisation, le confort d'équipements des logements sont autant de facteurs qui permettent de fixer la norme de dotation journalière en eau.

**IV-1-1-BESOINS EN EAU DE LA ZONE URBAINE D'ANNABA :**

**IV-1-1-1-ACCROISSEMENT DEMOGRAPHIQUE :**

Les taux d'accroissement adoptés pour la région d'ANNABA sont de 3,2 % pour le moyen terme et de 3,0 % pour le long terme.

|       |                |
|-------|----------------|
| 3,2 % | (1990 —→ 1999) |
| 3,0 % | (2000 —→ 2009) |

La diminution de ces taux par rapport à celui donné par le recensement de 1987 (qui est de 3,71 %) s'explique par :

- Le flux migratoire vers la nouvelle wilaya de TARF (création d'emplois dans cette wilaya avec plus de possibilités de logements qu'à ANNABA).
- La politique de limitation des naissances engagée par le gouvernement depuis 1980 et qui semble déjà porter ses fruits dans les grandes agglomérations.
- La campagne de suppression des bidonvilles entamée en 1987 par la wilaya d'ANNABA et qui a permis d'éliminer le bidonville de BOUHAMRA constitué de 27000 baraques.

**IV-1-1-2-DEMANDE EN EAU POTABLE PAR HABITANT ET PAR JOUR :**

Vu l'importance de la zone urbaine de ANNABA (369261 habitants au recensement de 1987) et de son degré de développement et d'urbanisation on a retenu les dotations suivantes fixées par le ministère de l'équipement :

|                 |                     |             |
|-----------------|---------------------|-------------|
| 150 l/hab./jour | pour le moyen terme | 1990 - 1999 |
| 200 l/hab./jour | pour le long terme  | 2000 - 2009 |

| HORIZONS              | ANNABA                   |                               | EL-HADJAR               |                               | TOTAL                    |                               |
|-----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|                       | POP. 1987<br>369261 hab. |                               | POP. 1987<br>25987 hab. |                               | POP. 1987<br>395248 hab. |                               |
|                       | POPULAT.                 | BESOINS<br>(Hm <sup>3</sup> ) | POPULAT.                | BESOINS<br>(Hm <sup>3</sup> ) | POPULAT.                 | BESOINS<br>(Hm <sup>3</sup> ) |
| MOYEN TERME<br>(1999) | 538878                   | 29,50                         | 37924                   | 2,08                          | 576802                   | 31,58                         |
| LONG TERME<br>(2009)  | 707543                   | 51,65                         | 53626                   | 3,91                          | 761169                   | 55,56                         |

Détermination des besoins en eau d'ANNABA -  
EL-HADHAR

Les projections établies pour les moyens et long termes indiquent une très forte progression des besoins par rapport à 1990 (23,78 Hm<sup>3</sup>). En 1999 le taux de croissance serait de 133 % et de 233 % en l'an 2009.

Autrement dit, les besoins estimés en 1990 seraient plus que doublés en vingt années.

IV-2- BESOINS EN EAU INDUSTRIELLE :

Grâce au complexe sidérurgique d'EL-HADJAR, la région d'ANNABA, est devenue un véritable pôle industriel et a vu l'implantation d'un grand nombre d'unités grosses consommatrices d'eau.

Signalons que toutes ces unités industrielles sont concentrées dans la zone urbaine d'ANNABA et qu'elles sont raccordées au réseau d'adduction d'ANNABA-EL-HADJAR, hormis le complexe sidérurgique qui reçoit de l'eau brute directement du barrage de la CHEFFIA.

D'après les services d'hydraulique de la wilaya d'ANNABA, les besoins en eau exprimés par les unités industrielles s'élevaient en 1984 à 36,897 Hm<sup>3</sup> soit un débit de 1170 l/s réparti comme suit :

| Unités industrielles  | Besoins industriels<br>en $10^9 m^3$ |
|---|--------------------------------------|
| Port et unités industrielles implantées à l'intérieur du tissu urbain (raffinerie d'huile, SNMC, limonaderie) | 3626,64                              |
| Sonatrach (complexe d'engrais phosphatés)   | 946,08                               |
| SN-METAL - ONALAIT  | 6937,92                              |
| SN-EMA - TOMACOOOP - SONATIBA - ETCA  | 3311,28                              |
| SNS EL-HADJAR (eau brute non traitée)   | 22075,20                             |

Tab IV-2 : Besoins en eau de l'industrie

On constate alors que près de 60 % des volumes demandés concernent le complexe sidérurgique d'EL-HADJAR alimenté à partir du barrage de la CHEFFIA.

Or d'après une étude récente faite par l'Agence Nationale des Barrages (A.N.B) et publiée par la revue "Eau et Sols d'Algérie", celle-ci révèle que pour l'année 87-88 le secteur industriel de la région d'ANNABA n'a bénéficié que de  $15,68 \text{ Hm}^3$  ce qui a engendré des arrêts de travail de certaines unités et la fermeture de certains ateliers du complexe d'EL-HADJAR.

#### IV-3- BESOINS EN EAU AGRICOLE :

L'eau est le premier facteur limitant des cultures.

La meilleure irrigation est celle qui fournit à la plante la quantité d'eau optimale dont elle a besoin au moment précis où elle en a besoin. Son but est de maintenir en permanence les réserves d'eau du sol de telle manière qu'elles soient toujours utilisables par la plante.

Les consommations d'eau en agriculture ont une double origine : l'évaporation du sol et la transpiration des cultures et qui

constituent l'évapotranspiration. Celle-ci varie suivant des la plante, les conditions climatiques et la nature du sol.

Les eaux d'irrigation utilisées sur le périmètre de BOU-NAMOUSSA de 16500 hectares parviennent pour leur quasi totalité du barrage de la CHEFFIA. La situation de ce périmètre est très préoccupante, puisque depuis 1988 certaines mesures sont prises pour l'application des restrictions, 7300 hectares de terres seulement sont réellement souscrites sur les 16500 hectares, le volume alloué à l'agriculture est de 30 millions de mètres cubes alors que la véritable consommation prévue dépasse largement les 50 millions de mètres cubes ( d'après l'A.N.B ) .

Pour estimer la demande en eau de ce périmètre on a considéré, pour simplifier le problème, une culture très exigeante en eau en période estivale, en l'occurrence une culture maraîchère.

Pour être plus précis, on devrait recenser l'ensemble des assolements du périmètre et déterminer les besoins en eau de chaque assolement. La solution considérée en fait maximise les besoins en eau agricole.

#### IV-4-CONCLUSION :

Les besoins totaux pour l'année 1990 s'élèvent à 111 Hm<sup>3</sup>/an répartis comme suit :

|            |        |                    |
|------------|--------|--------------------|
| AEP        | —————> | 23 Hm <sup>3</sup> |
| INDUSTRIE  | —————> | 37 Hm <sup>3</sup> |
| IRRIGATION | —————> | 50 Hm <sup>3</sup> |

Ces besoins vont évoluer considérablement à l'avenir avec l'accroissement de la demande en eau potable et en eau agricole pour l'irrigation de la totalité du périmètre de BOU-NAMOUSSA.

Par conséquent la satisfaction des besoins en eau des différents usagers ne sera possible qu'à condition de régulariser les apports dans le barrage qui redistribue la ressource dans le temps, en retenant les débits en période excédentaire pour les affecter en

période déficitaire, c'est l'un des moyens principaux pour supprimer les variations du débit naturel et les besoins des usagers d'une part et de réduire l'effet néfaste des crues d'autre part.

## CHAPITRE V - MODELE DE GESTION

### V-1-INTRODUCTION :

L'absence d'une politique d'exploitation rigoureuse et scientifique a conduit le barrage de la CHEFFIA à une vidange totale puisque la réserve d'eau en décembre 1989 dépassait à peine les trois millions de mètres cubes..

Avec sa capacité de 168.483 Hm<sup>3</sup>, ce barrage n'arrive pas à satisfaire les besoins en eau des différents usagers. Les deux dernières années de sécheresse (1988-1989) n'expliquant pas à elles seules la situation très critique où se trouve le barrage.

Compte tenu de ces constatations et des résultats obtenus au chapitre précédent, l'élaboration d'un modèle de gestion est plus que nécessaire, afin de mettre au point une stratégie d'exploitation, de la ressource stockée, qui permettra d'assurer un approvisionnement garanti des besoins croissants en eau potable des différentes unités socio-économiques ainsi que de l'agriculture irriguée.

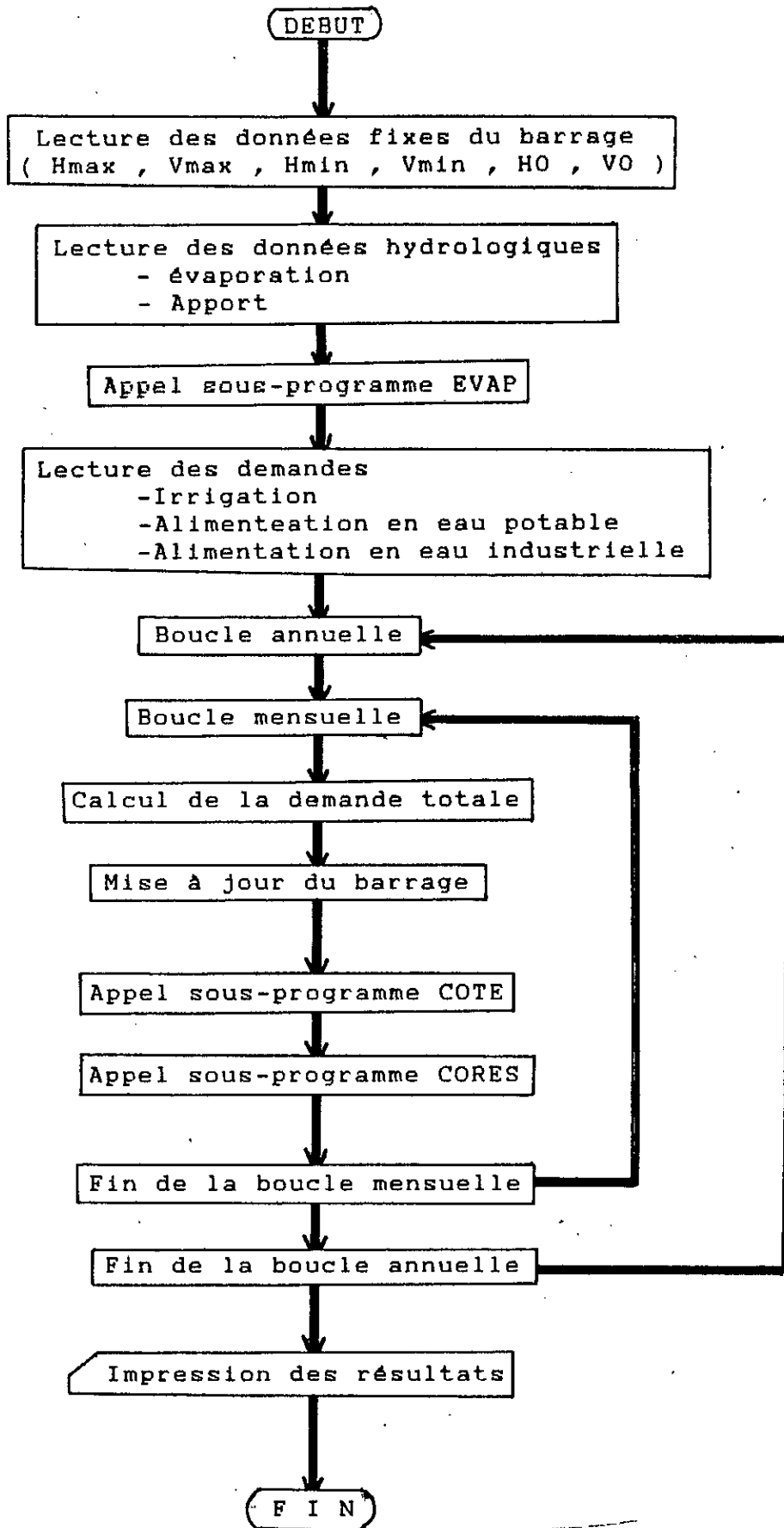
A cet effet, l'objectif essentiel du modèle proposé sera de satisfaire, dans la mesure du possible, la demande en eau de tous les utilisateurs en réservant la priorité à l'alimentation en eau potable et industrielle.

Le modèle utilisé fonctionne au pas de temps mensuel et affichera une défaillance chaque fois que la demande n'est pas satisfaite ou dans le cas d'un déversement.

### V-2- ORGANIGRAMME GENERAL DU MODELE DE GESTION :

Cet organigramme comporte 3 parties principales :





ORGANIGRAMME GENERAL G E S B A R

DEBUT

Lecture des données:  
VO, Vmin, Vmax  
HO, Hmin, Hmax

Lecture de:  
- hauteur évaporée Hev(j,i)  
- A p p o r t Ap(j,i)  
- I r r i g a t i o n R(j,i)  
- Aliment. en Eau Potable AEP(j,i)  
- Aliment. en Eau Indust. AEI(j,i)

$V_{min} = 0.25 * V_{max}$

j = 1

i = 1

Détermination de la demande

CALL "EVAP"

Détermination du volume du barrage  
Vb

Vb > 0

non

oui

Vb > Vmax

non

oui

Déversement

taux de satisf. total

Vb > Vmin

non

oui

Vb < Vmin

oui

non

test = Vb - Vmin

test < demande

oui

non

CALL "CORES"

Détermination de la fourniture  
et du volume corrigé

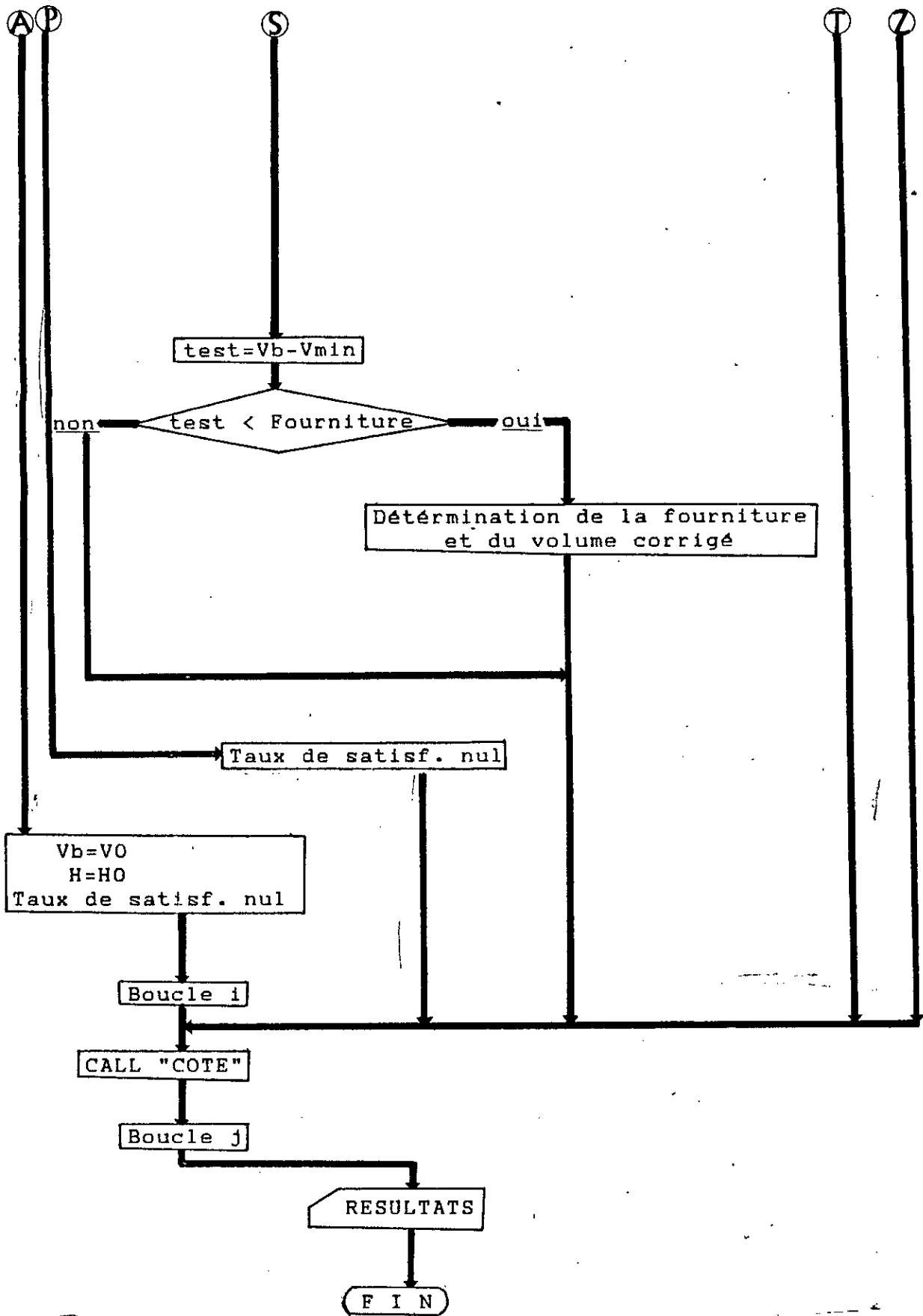
taux de satisf. total

Ⓐ Ⓟ

Ⓢ

Ⓣ

Ⓩ



PROGRAMME G E S B A R (GESTion d'un BARRage Réservoir)

- Lecture des données
- Boucle centrale
- Sortie des résultats.

#### V-2-1- LECTURE DES DONNEES :

##### V-2-1-1- LECTURE DES DONNEES FIXES DU BARRAGE :

On commence par la lecture des données fixes du barrage :

$$\begin{array}{ll} H_o = 120 \text{ m} ; & V_o = 0 \quad \text{Hm}^3 \\ H_{\min} = 140 \text{ m} ; & V_{\min} = 13.582 \quad \text{Hm}^3 \\ H_{\max} = 165 \text{ m} ; & V_{\max} = 168.483 \quad \text{Hm}^3 \end{array}$$

Avec :

$H_{\min}$  : hauteur minimale correspondant au volume mort au dessous de laquelle on cesse de prélever dans la retenue.

$H_{\max}$  : hauteur maximale à partir de laquelle l'évacuateur de crue commence à fonctionner.

$H_o$  : hauteur correspondant à un volume nul.

##### V-2-1-2- LECTURE DES DONNEES HYDROLOGIQUES :

Les fichiers de données hydrologiques se composent d'une série historique de douze années et d'une série simulée de vingt années.

##### V-2-1-2-1- LECTURE DES EVAPORATIONS :

La série simulée des évaporations est obtenue à partir d'un modèle de simulation des évaporations journalières.

Ce modèle permet de ressortir une certaine similitude des propriétés avec la série historique.

Le tracé des évaporations journalières du barrage de la CHEFFIA pour la période 1978 - 1989 ( voir Annexe I-3 ) montre que la série historique est une combinaison de deux phénomènes :

- Un phénomène cyclique
- et un phénomène aléatoire

L'équation du mouvement est constituée donc de la somme :

- des variations saisonnières (ou porteuse)
- et des fluctuations, ou variations résiduelles

$$H_{it} = P_{it} + F_{it} \quad i = 1,4 \quad t = 1,365$$

$H_{it}$  : données brutes (journalières)

$P_{it}$  : composante saisonnière

$F_{it}$  : composante fluctuante

L'extraction de la composante saisonnière se fait grâce à la décomposition en séries de FOURIER de la série initiale :

$$F_{it} = H_{it} - P_{it}$$

La simulation de la porteuse et de la composante aléatoire du phénomène permet d'obtenir des séries synthétiques par superposition des deux composantes sachant que la série historique peut se mettre sous la forme :

$$P_t = a_0 + a_1 \sin t + b_1 \cos t + a_2 \sin 2t + b_2 \cos 2t + \dots$$

En considérant  $m$  harmoniques, le lissage est donné par :

$$P_t = a_0 + \sum_{j=1}^m \left( a_j \cos \frac{2\bar{n}jt}{NJ} + b_j \sin \frac{2\bar{n}jt}{NJ} \right)$$

$$t = 1, NJ$$

$NJ$  : nombre de jours dans l'année

$a_0$  : moyenne annuelle historique :  $a_0 = \frac{1}{NJ} \sum_{t=1}^{NJ} H_t$

$a_j$  et  $b_j$  : sont les coefficients de FOURIER

$$a_j = \frac{2}{NJ} \sum_{t=1}^{NJ} H_t \cos \frac{2\bar{n}jt}{NJ}$$

$$b_j = \frac{2}{NJ} \sum_{t=1}^{NJ} H_t \sin \frac{2\bar{n}jt}{NJ}$$

$H_t$  : valeur journalière de l'historique

A chaque année de l'historique correspond donc une décomposition en séries de FOURIER de la composante saisonnière.

Les termes  $a_j$  et  $b_j$  sont estimés par la méthode des moindres carrés.

a) SIMULATION DE LA COMPOSTANTE CYCLIQUE :

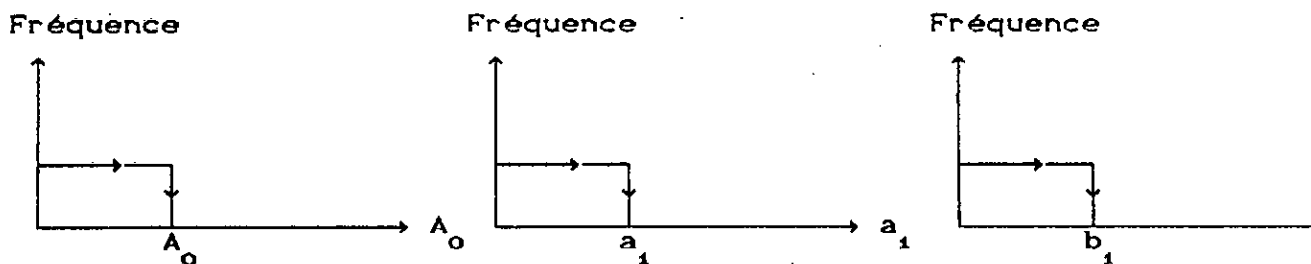
Pour la simulation de la variable cyclique, les inconnues sont  $a_0$ ,  $a_j$  et  $b_j$ .

Les moyennes annuelles de la série historique s'ajustent bien par une loi normale (voir Annexe I-3). Il en est de même pour les  $a_j$  et  $b_j$ .

On fait un premier tirage d'un nombre aléatoire qu'on projette sur la droite d'ajustement, le résultat obtenu représente la moyenne annuelle  $a_0$ .

Sur la droite d'ajustement des  $a_j$  et  $b_j$  on projette la valeur obtenue à partir du tirage d'un nombre aléatoire.

Les résultats obtenus représentent les valeurs des  $a_j$  et  $b_j$ .



Les valeurs tirées ( $a_0$ ,  $a_j$  et  $b_j$ ) sont ensuite comparées aux ajustements historiques respectifs permettant ainsi de quantifier chacune d'elles.

#### b) SIMULATION DE LA COMPOSANTE FLUCTUANTE :

Les fluctuations sont simulées grâce aux chaînes de MARKOV avec un modèle binaire ( II-2-2 ) en considérant deux états :

état 0 : si la fluctuation est négative ou nulle,

état 1 : si la fluctuation est positive.

Pour étudier la fiabilité du modèle de simulation des évaporations, on s'est basé sur les critères de comparaison cités dans le paragraphe II-2-4-1 ainsi que sur le nombre d'harmoniques utilisé et son influence sur les résultats simulés obtenus.

La simulation de la série historique des évaporations s'est faite sur une période de vingt années.

Le nombre d'harmoniques intervenant dans la composante cyclique a été varié de 2 à 6, trois simulations ont été donc effectuées, les ajustements des évaporations annuelles des séries simulées se prêtent bien à la loi normale, alors que les évaporations maximales journalières sont bien ajustées par la loi de GUMBEL.

Les tracés des évaporations mensuelles interannuelles des simulées évoluent de la même manière que l'historique ( Annexe V-1 ).

En conclusion on peut dire que le nombre d'harmoniques n'a aucune influence sur les résultats des différentes simulations.

La simulation adoptée par le modèle de gestion est celle à 6 harmoniques.

Les résultats obtenus ainsi que les valeurs de l'historique sont données en millimètre . Un sous-programme "EVAP" a été mis au point afin de transformer les unités des fichiers historiques et simulés de millimètre en hectomètre-cube.

**V-2-1-2-2- LECTURE DES APPORTS :**

La série simulée des apports est obtenue à partir du modèle 3M (Modèle de MARKOV Multiclasse) étudié au chapitre II.

**V-2-2- LECTURE DES DEMANDES :**

**V-2-2-1- DEMANDE EN IRRIGATION :**

Les besoins en eau futurs du périmètre de BOU-NAMOOUSSA ont été obtenus à partir du modèle du bilan hydrique étudié par BENZIADA (1990).

L'une des sorties de ce modèle est le déficit hydrique qui permet d'estimer les besoins en eau des cultures.

La méthodologie utilisée est la suivante :

- modélisation du bilan hydrique
  - simulation des deux paramètres d'entrée du modèle en l'occurrence la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ETP).
  - obtention des scénarios possibles de la demande en eau du périmètre d'irrigation de la BOU-NAMOOUSSA en intégrant dans le modèle non seulement les séries historiques de pluviométrie et d'ETP, mais aussi les séries simulées de ces deux paramètres.
- La simulation du bilan hydrique, a permis de générer des scénarios probables qui n'existaient pas dans l'historique et qui sont en conformité avec ce dernier.

Cinq simulations ont été effectuées sur une période de vingt années.

L'ensemble des simulations appartient à l'intervalle de confiance de la moyenne et de l'écart type interannuel de l'historique.

Les résultats obtenus montrent que le meilleur scénario est représenté par la quatrième simulation puisque son tracé évolue de la même manière que la série historique. (Annexe V-2 ).



V-2-2-2- DEMANDE EN EAU POTABLE :

Les besoins en eau potable ont été déterminés au chapitre IV et sont modulés au pas de temps mensuel. Ces besoins sont augmentés de la demande en eau industrielle des unités qui sont alimentées à partir de la conduite d'eau potable de la ville d' ANNABA , l'accroissement est de  $1.235 \text{ Hm}^3$  par mois.

V-2-2-3- DEMANDE EN EAU INDUSTRIELLE :

Les besoins en eau de l'industrie ne sont représentés que par la demande du complexe d'EL-HADJAR qui s'élève à  $1.84 \text{ Hm}^3$  par mois.

Aucune extension n'est prévue dans la zone industrielle de ANNABA, par conséquent cette demande sera constante dans le temps.

Le fichier historique des besoins en eau industriels est nul puisque les unités industrielles sont alimentées directement à partir de la conduite d'alimentation en eau potable de ANNABA.

V-2-3- BOUCLE CENTRALE :

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

- Appel des données hydrologiques du mois
- Calcul de la demande totale mensuelle
- Mise à jour du barrage
- Calcul de la fourniture, du taux de satisfaction , des défaillances et détermination de l'état final de réservoir.

V-2-3-1- INITIALISATION DES ETATS :

En début de rotation du programme, le barrage est pris à la côte  $H_0 = 120 \text{ m}$  qui correspond à  $V_0 = 0 \text{ Hm}^3$ , cet état représente une situation de pénurie.

Au début de chaque mois, on recueille l'état du barrage obtenu à l'issue du mois précédent. Cet état permettra en particulier le calcul des restrictions.

V-2-3-2- CALCUL POUR UNE BOUCLE MENSUELLE :

Pour chaque mois, on calcule la demande totale. la mise à jour du barrage est obtenue par l'équation de continuité :

$$VCJ, ID = VCJ, I-1) + APCJ, ID - FCJ, ID - E_{V}(CJ, ID)$$

ou  $VCJ, ID$  ,  $VCJ, I-1)$  : sont respectivement les volumes stockés dans le barrage aux périodes I et I-1.

$APCJ, ID$  : volume des apports entrant dans le barrage pendant la période I.

$FCJ, ID$  : volume d'eau fourni par le barrage pendant la période I.

$E_{V}(CJ, ID)$  : volume évaporé du barrage pendant la période I.

Le sous programme "COTE", calcule la hauteur de la retenue pour un volume stocké donné.

Le sous programme "CORES", calcule les coefficients de restriction destinés à l'irrigation du périmètre de BOU-NAMOUSA.

Le critère de restriction est fixé par l'état du barrage, on se fixe un volume critique minimal défini par :

$$V_{\text{cmin}} = 0.25 V_{\text{max}}$$

La restriction est effectuée de la manière suivante :

- si  $VCJ, ID \geq V_{\text{cmin}}$  : il n'y a pas de restriction
- si  $VCJ, ID < V_{\text{cmin}}$

On compare la différence  $(VCJ, ID - V_{\text{cmin}})$  par rapport à la demande  $DCJ, ID$ , si cette différence est positive, la satisfaction est alors totale sinon on fait appel au sous programme "CORES" pour effectuer d'éventuelles restrictions.

On calcul le rapport :  $X = \frac{VCJ, ID}{V_{\text{cmin}}}$

si  $0.35 \leq X \leq 0.6$  la restriction est de 30 %

$$RCJ, ID = 0.70 RCJ, ID$$

si  $X \geq 0.6$  la restriction est de 10 %

$$RCJ, ID = 0.90 RCJ, ID$$

Un deuxième test sera effectué sur la différence  $(VCJ, ID - V_{\min})$  par rapport à la demande, sachant qu'au préalable la valeur du volume stocké a été corrigée en fonction de la restriction appliquée. si  $(VCJ, ID - V_{\min}) > FCJ, ID$  les résultats précédents restent donc valables sinon on ne satisfait que les demandes en eau potable et en eau industrielle.

#### V-2-4- SORTIE DES RESULTATS :

L'impression des résultats est faite sous forme de tableaux annuels faisant ressortir :

- la hauteur et le volume du barrage ( après fourniture )
- l'état mensuel des demandes et des fournitures
- les défaillances enregistrées
- le taux de satisfaction des demandes

#### V- 2- 5-INTERPRETATION DES RESULTATS :

Actuellement le périmètre de BOU-NAMOUSSA n'est pas totalement irrigué, puisque 7300 hectares seulement le sont réellement sur les 16500 hectares que compte celui-ci.

Le modèle élaboré a été testé en fonction de la variation de la surface à irriguer, pour cela on a effectué deux tests:

- Le premier test consistait à essayer de couvrir les besoins en eau de 10000 hectares.
- Dans le second test on a essayé de répondre aux besoins de la totalité du périmètre de BOU-NAMOUSSA.

On a considéré l'année 1978 comme année de début d'exploitation du barrage dans les deux cas.

L'analyse des résultats obtenus ( voir Annexes V-3 ) montre que la satisfaction des besoins en eau est totale , jusqu'à l'an 2004 , pour le premier essai.

A partir de cette date, la demande en irrigation accuse un déficit total notamment dans les années 2004, 2007 et 2009 alors que les demandes en AEP et en AEI sont parfois satisfaites partiellement. Il est à noter qu'en cette période là, le barrage aura dépassé sa durée de vie théorique qui est estimée à 30 années.

Les solutions proposées dans ce cas sont les suivantes :

1/ Soit d'alimenter les différents usagers à partir des deux nappes existantes dans la région de ANNABA à savoir celle des dunes qui donne un volume annuel prélevé de  $18.9 \text{ Hm}^3$  et celle des salines avec un volume annuel prélevé de  $7.25 \text{ Hm}^3$ .

2/ Soit d'effectuer un transfert d'eau à partir des deux barrages qui se trouvent dans la wilaya de TAPP : celui de Mexenna qui est en construction ou celui de Bouhalloufa qui est à l'étude et qui seront réalisés d'ici là .

3/ Soit de délaisser cette politique d'exploitation temporairement et faire des restrictions soit sur la surface à irriguer soit sur les fournitures d'eau des différents usagers dans les deux années précédant l'année déficitaire.

Un fait intéressant est signalé sur la réserve du barrage en décembre 1989 donnée par le modèle de gestion, cette réserve est de  $96.608 \text{ Hm}^3$  alors que dans la réalité elle n'était que de  $3.974 \text{ Hm}^3$  .

L'usage d'un tel outil d'aide à la décision aurait pu éviter la situation déplorable où se trouve actuellement le barrage .

Pour le deuxième essai , l'analyse des résultats (voir Annexe V-4) montre que la satisfaction des besoins en AEP et en AEI est totale jusqu'à l'an 2001 où l'on commence à enregistrer des taux de satisfaction nuls, alors que le déficit pour les besoins agricoles est total pendant les mois d'été et ce à partir de 1991. Même si les taux de déficit relatifs à la demande en AEP et en AEI

sont moins importants que ceux de la demande agricole, il n'en demeure pas moins qu'ils sont assez nombreux et qu'ils ne devraient pas exister, étant donnée la priorité qui leur a été réservée .

Mais cela s'explique par le fait que la période allant de Juin à Septembre, où interviennent les défaillances en question, est caractérisée par de fortes demandes en eau agricole qui ne manque pas d'influer sur la réserve du barrage et de perturber ainsi les fournitures destinées à l'AEP et à l'AEI, surtout durant les années de faible pluviométrie.

Les solutions proposées pour le premier essai restent valable dans ce cas aussi.

Un troisième essai a été réalisé et qui consiste à se placer dans les conditions réelles du barrage , à savoir qu'à la fin de l'année 1989 le barrage était totalement vide et voir son comportement dans le futur .

Les résultats obtenus (Voir Annexe V-5) montrent que la demande en irrigation ne pourra pas être satisfaite durant les mois de Juillet et Août de la première année , alors que le déficit total pour tous les besoins en eau ne sera observé qu'à partir de la douzième année d'exploitation ( l'an 2001 ), mais la situation s'améliorera par la suite jusqu'à l'an 2003 où un autre déficit total sera enregistré.

Une solution pourra toutefois être proposée pour résorber le déficit et qui consiste à récupérer les eaux usées épurées de ANNABA-EL HADJAR et de les réutiliser en vue de satisfaire la demande en irrigation du périmètre de BOU-NAMOUSA .

En conclusion on peut dire que cet outil d'aide à la décision permet d'avoir un éventail d'informations très large qui nous renseigne aussi bien sur le plan prévisionnel ( estimation des fournitures effectives et des défaillances ) que sur le comportement du barrage lui même ( état final ) et ce durant chaque période .

## C O N C L U S I O N

Lorsqu'on a entamé ce travail, l'objectif fixé au départ était de dégager une méthodologie susceptible d'apporter une contribution au problème de la gestion de l'eau et ce par l'élaboration d'un modèle de gestion d'un barrage .

Ce modèle qui constitue un outil d'aide à la décision contribuera à moyen et long terme à la satisfaction des besoins en eau de la population, de l'industrie et de l'agriculture de la région de ANNABA à partir du barrage de la CHEFFIA qui a été pris comme exemple d'application .

Cette région connue par sa pluviométrie abondante (700-1000 mm/an) se trouve actuellement déficitaire à cause d'une politique d'exploitation peu rationnelle, et qui n'est malheureusement basée sur aucun critère scientifique.

Notre travail a commencé par une collecte et une critique d'un très grand nombre de données ( 60000 ) et leur mise sur support informatique, une étude climatologique des différents paramètres a été ensuite entreprise afin de cerner les caractéristiques du site étudié.

Un modèle de simulation des débits a été élaboré à partir des chaînes de MARKOV, les résultats obtenus ont été intégrés dans le modèle de gestion.

Les différentes techniques appliquées à la gestion des barrages ont été abordées, les avantages et les inconvénients de chacune d'elles ont été mis en évidence .

Pour la région étudiée, une étude a été faite afin de quantifier les besoins actuels et futurs. On remarque que les besoins en AEP et en AEL restent pratiquement constants, alors que la demande en irrigation devient très importante en été.

L'analyse des résultats obtenus à partir du modèle de gestion montre que la satisfaction des besoins en eau à moyen et

long terme est possible à condition qu'une collaboration et une coordination entre les différents usagers de l'eau et le gestionnaire du barrage soit établie.

Cette coordination doit se concrétiser par la mise en place d'une politique d'exploitation optimale du barrage en fonction des prévisions données par le modèle de gestion.

Le fonctionnement du modèle établi dépend de la simulation, d'où l'intérêt pratique est essentiel de cette méthode.

Enfin, on peut dire que la méthodologie adoptée est d'une grande importance car elle permet d'avoir un outil d'aide à la décision applicable à n'importe quel autre barrage compte tenu, bien entendu, de ses caractéristiques propres.

Ce travail constitue un préalable à la gestion des barrages en ALGERIE, visant une utilisation plus rationnelle d'une ressource naturelle renouvelable mais limitée : L'EAU.

R E F E R E N C E S  
B I B L I O G R A P H I Q U E S

---

- A.N.B., Barrage de la Cheffia ,Note interne,1985.
- A.N.B., Tableau et courbes :Hauteur-Capacité-Surface du barrage de la Cheffia,Geokart-IMGW-POLOGNE,1986.
- A.N.R.H., Revue Eaux et sols d' ALGERIE, octobre 1989.
- ASKEW A.J., Optimum reservoir operating policies and the imposition of a reliability constraint, Water Resources Res., vol. 10, num. 1, 51-56, February 1974.
- BECHARD D., RICHARD D., Optimisation dans un cadre déterministe et illustration par le modèle MORRO, dans l'analyse de risque dans la gestion des systèmes hydriques, Ecole Polytechnique de MONTREAL, NOV 1985.
- BELKHEIRI A., EL ALAM F., BOUTAYEB N., BERTRAND J., FIGUERES C., Optimisation de la gestion d'un réservoir à buts multiples-cas du barrage de MOULAY YUCEF (MAROC),1986.
- BENZIADA S., Contribution à l'étude du bilan hydrique par simulation de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle-application aux stations d'Alger et d'Annaba. Thèse de magister, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 1990.
- BENZOUAI R., Elaboration et utilisation d'un modèle de simulation pour la planification et l'exploitation des eaux superficielles d'un bassin versant-Cas de la MAFRAGH ( Extrême-Nord-Est Algérien). Thèse de doctorat Université de NANCY II, 1987.
- BERTRAND J.,RUSNIEWSKI M., BOUTAYEB N., Gestion d'une retenue par programmation dynamique,(MAROC), 1988.
- BOIS P., Cours d'hydrologie générale ,Institut National Polytechnique de Grenoble, 1980.
- BUTCHER W.S., Stochastic dynamic progamming for optimum reservoir operation, Water Resources Bull., vol. 7, num. 1, 115-123, February 1971.
- GUERRERO A.A., Evaluation des règles d'opération de systèmes de réservoirs. Mémoire de maîtrise es sciences appliquées, Ecole Polytechnique de MONTREAL, 1989.
- HUBERT P., EAUPUSCULE, une introduction à la gestion de l'eau, Ed. Ellipses, 1984.



- KOTTEGODA N.T., Stochastic water resources technology, 1980.
- REVELLE C., JOERES E. and KIRBY W., The linear decision rule in reservoir management and design . 1, Development of the stochastic model , Water Resources res.,vol 5, num 4, 767- 777, October 1969.
- TREMBLAY M., Gestion du risque dans l'exploitation des systèmes hydriques.Thèse de Ph D, Ecole Polytechnique de MONTREAL, 1989.
- TURGEON A., A decomposition method for the long -term scheduling of reservoirs in series, Water Resources Res., vol. 17 num. 6,1565-1570,December 1981.
- YEH W. W.-G, Reservoir management and operation models :A State-of-the-art review , Water Resources Res., vol. 21 ,num .12, 1797-1818, December 1985.

MINISTERE DELEGUE AUX UNIVERSITES

**THESE**

Présentée à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger  
pour obtenir le diplôme de  
**MAGISTER EN HYDRAULIQUE**

**ELABORATION D'UN MODELE DE  
GESTION D'UN BARRAGE RESERVOIR**

**APPLICATION AU BARRAGE DE LA CHEFFIA (ANNABA)**

par

**Abdelmalek BERMAD**

Ingénieur en Hydraulique, E.N.P.

**ANNEXES**

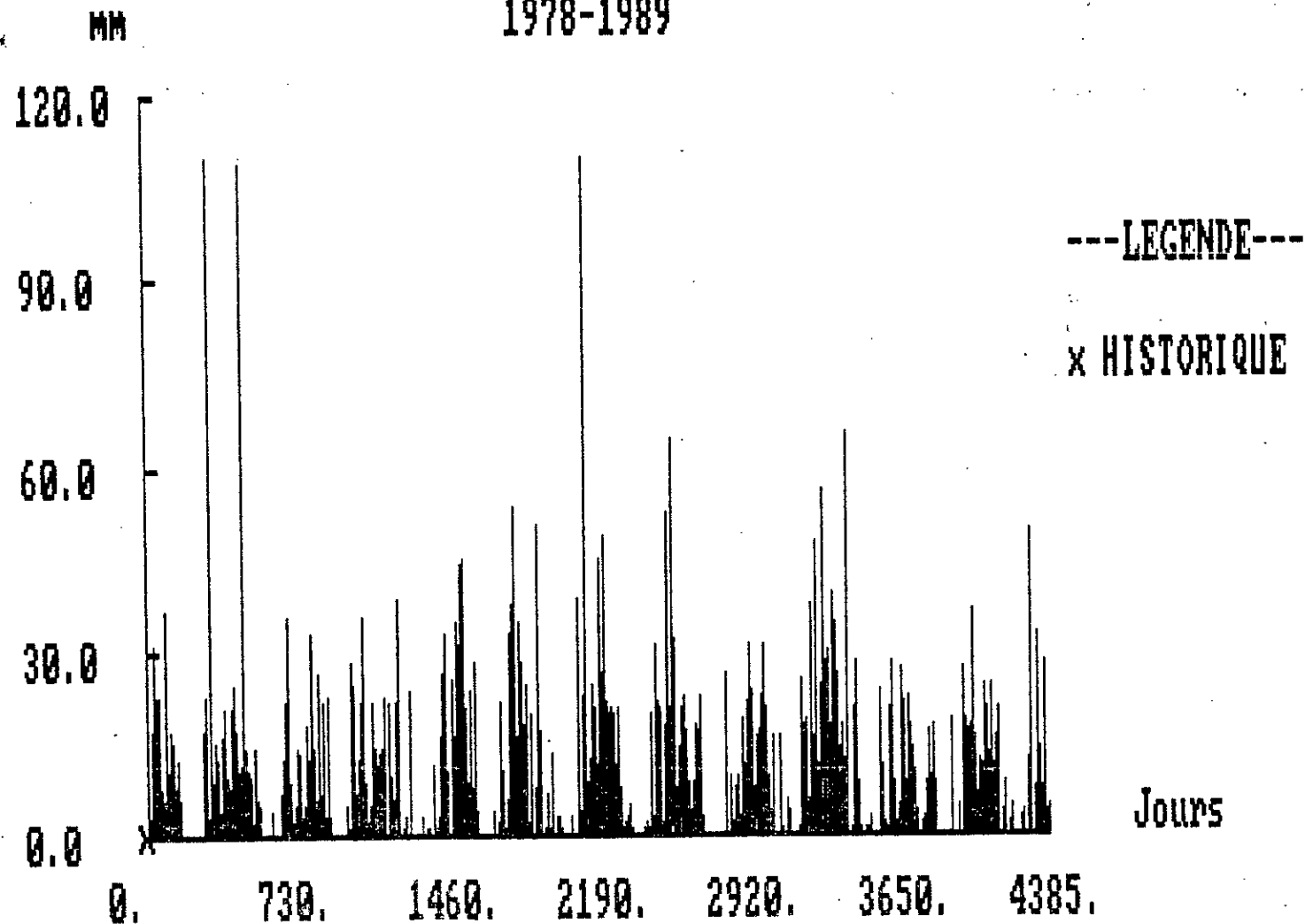
soutenu le 30 Juin 1990 devant la commission d'Examen

**Jury**

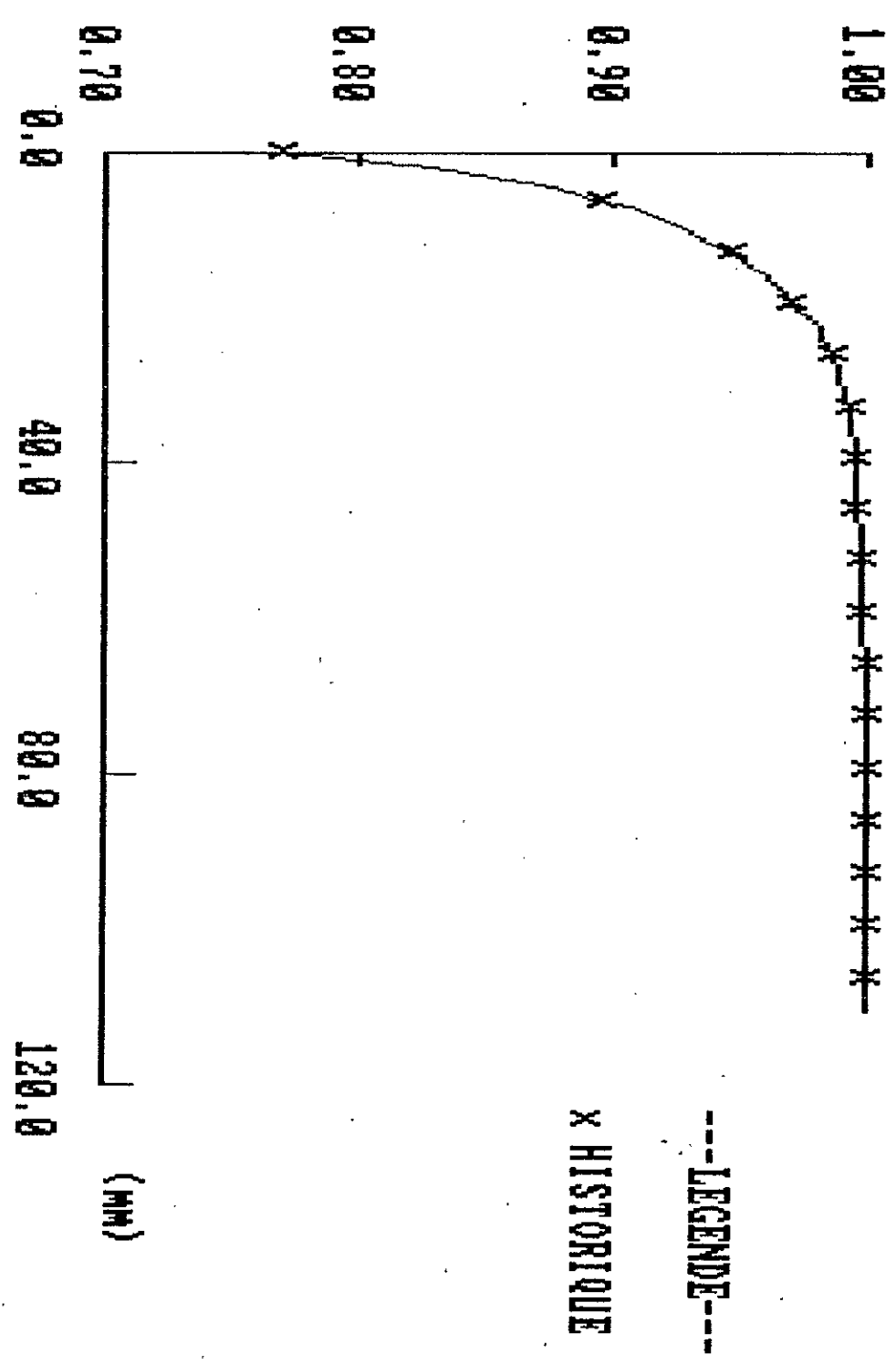
|                 |            |
|-----------------|------------|
| MM M. BENBLIDIA | Président  |
| N. DECHEMI      | Rapporteur |
| A. OUABDESSALAM | Examineur  |
| B. MOKRANE      | Examineur  |
| B. UPPALURI     | Examineur  |
| B. BOUTEBILA    | Invité     |

ANNEXE I-1

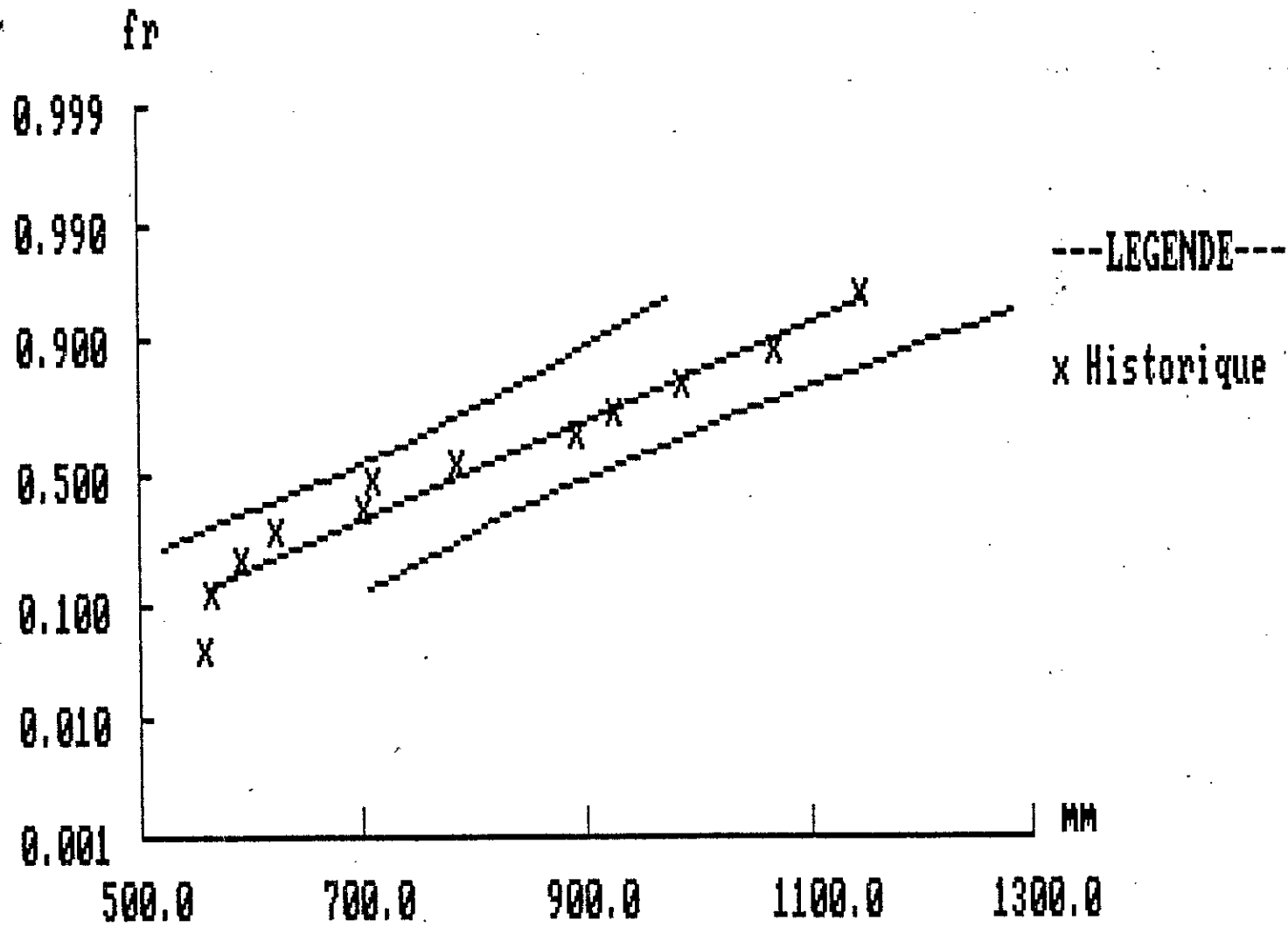
# PLUIES JOURNALIERES (CHEFFIA) 1978-1989



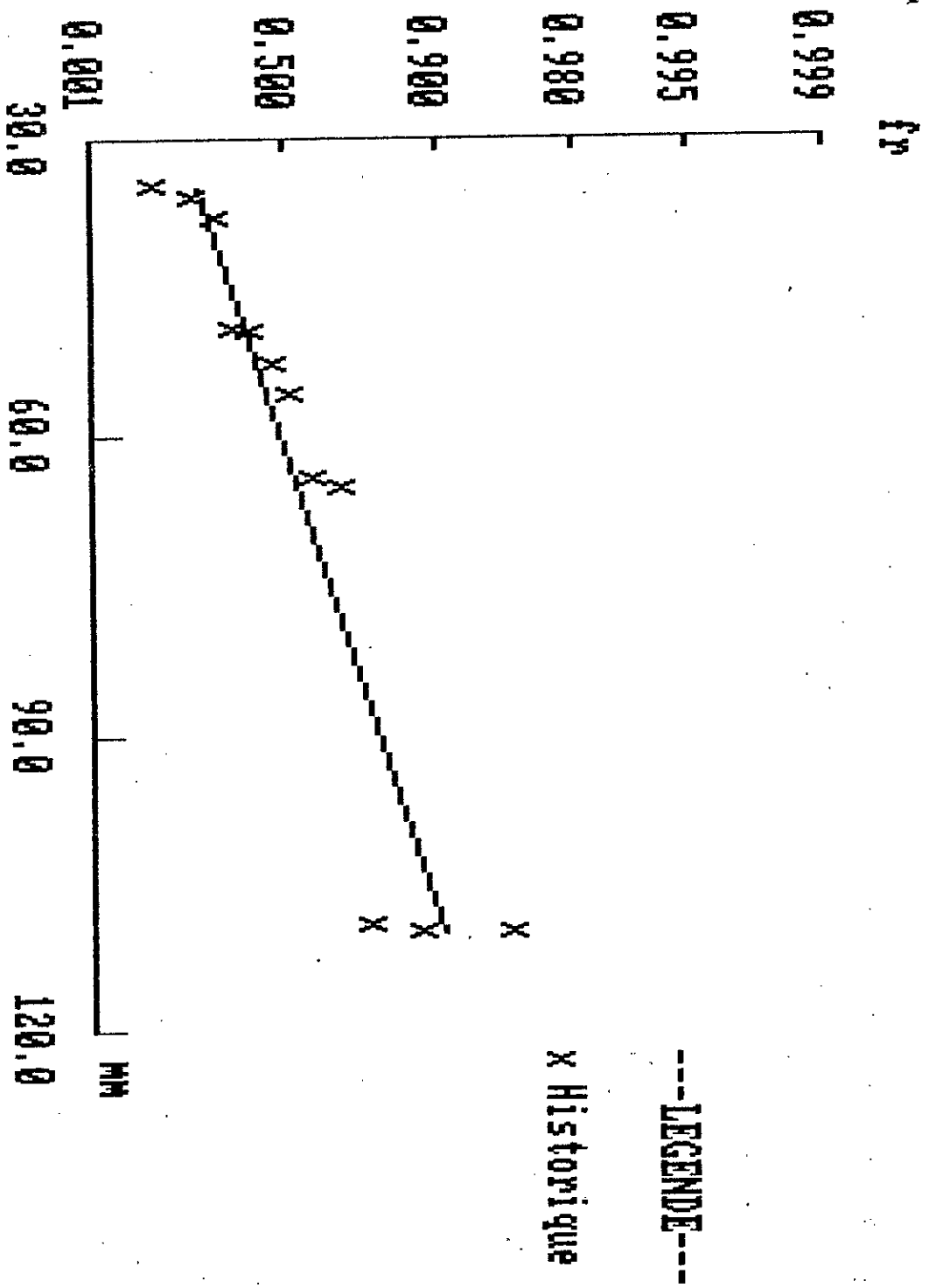
Fonction de repartition  
PLUIES (CHEFFIA)



# PLUIES ANNUELLES (CHEFFIA)



# PLUIES MAXIMALES JOURNALIÈRES (CHEFFIA)

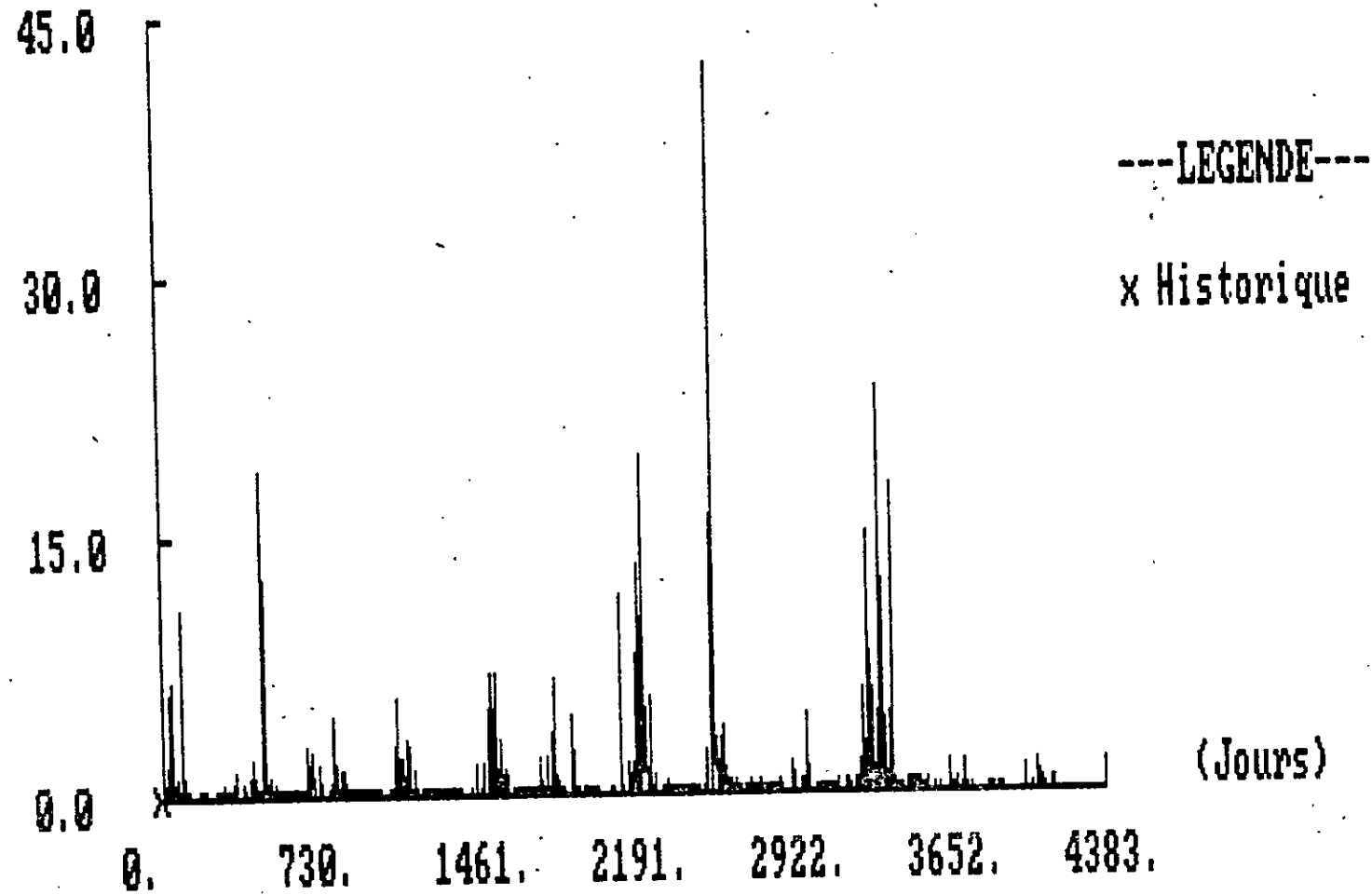


ANNEXE I-2

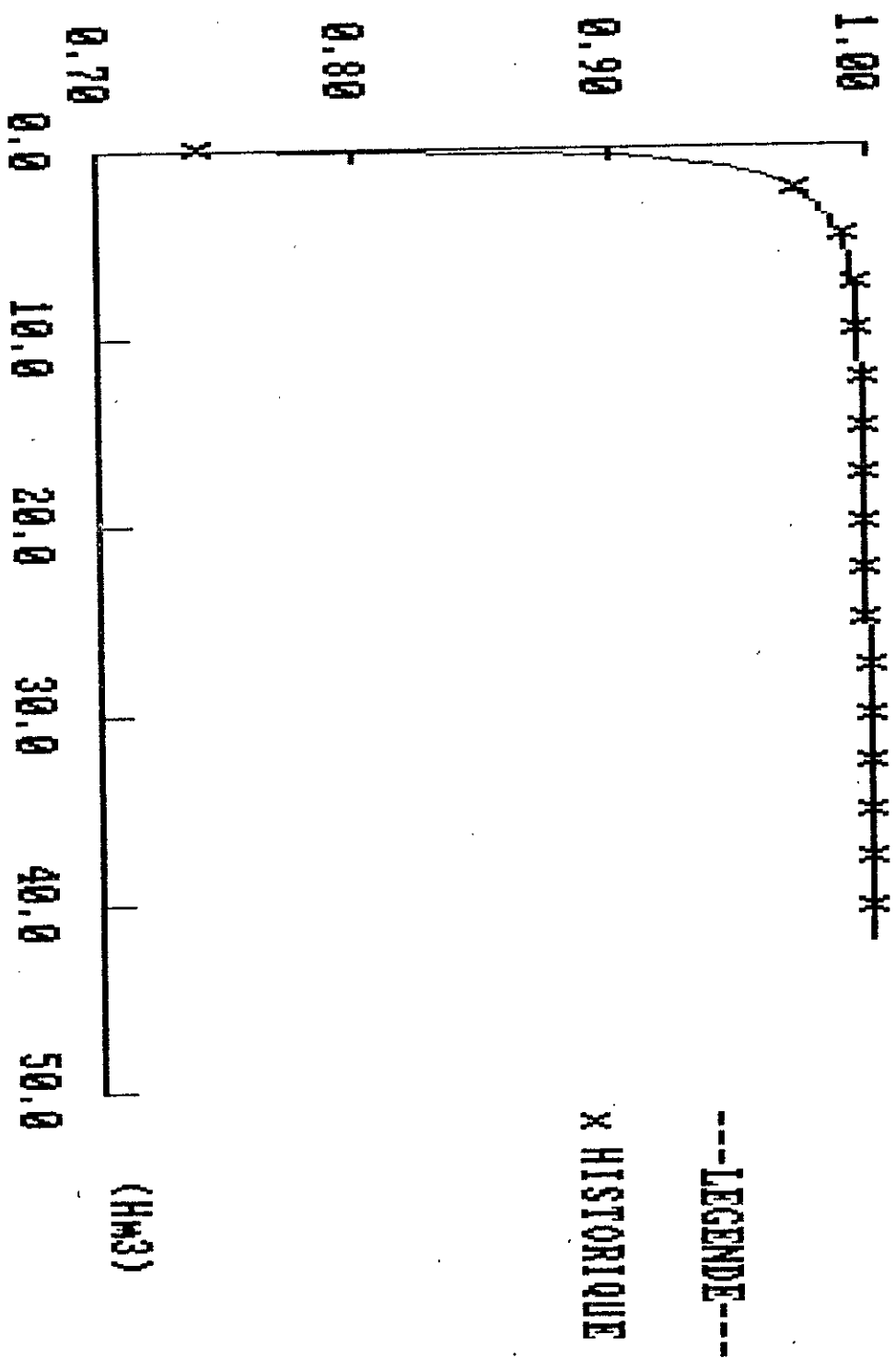


DEBITS JOURNALIERS (CHEFFIA)  
1978-1989

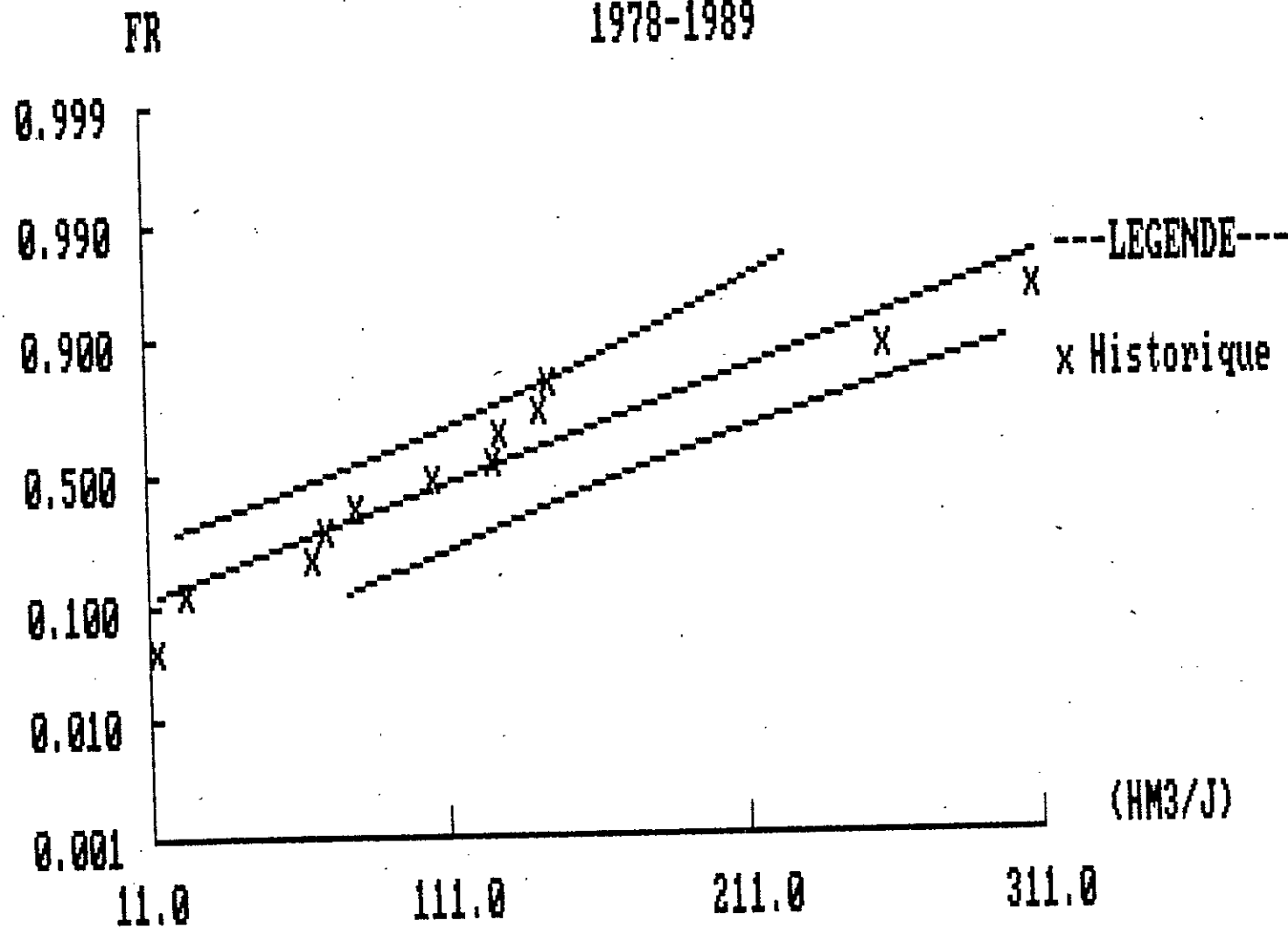
(HM3/J)



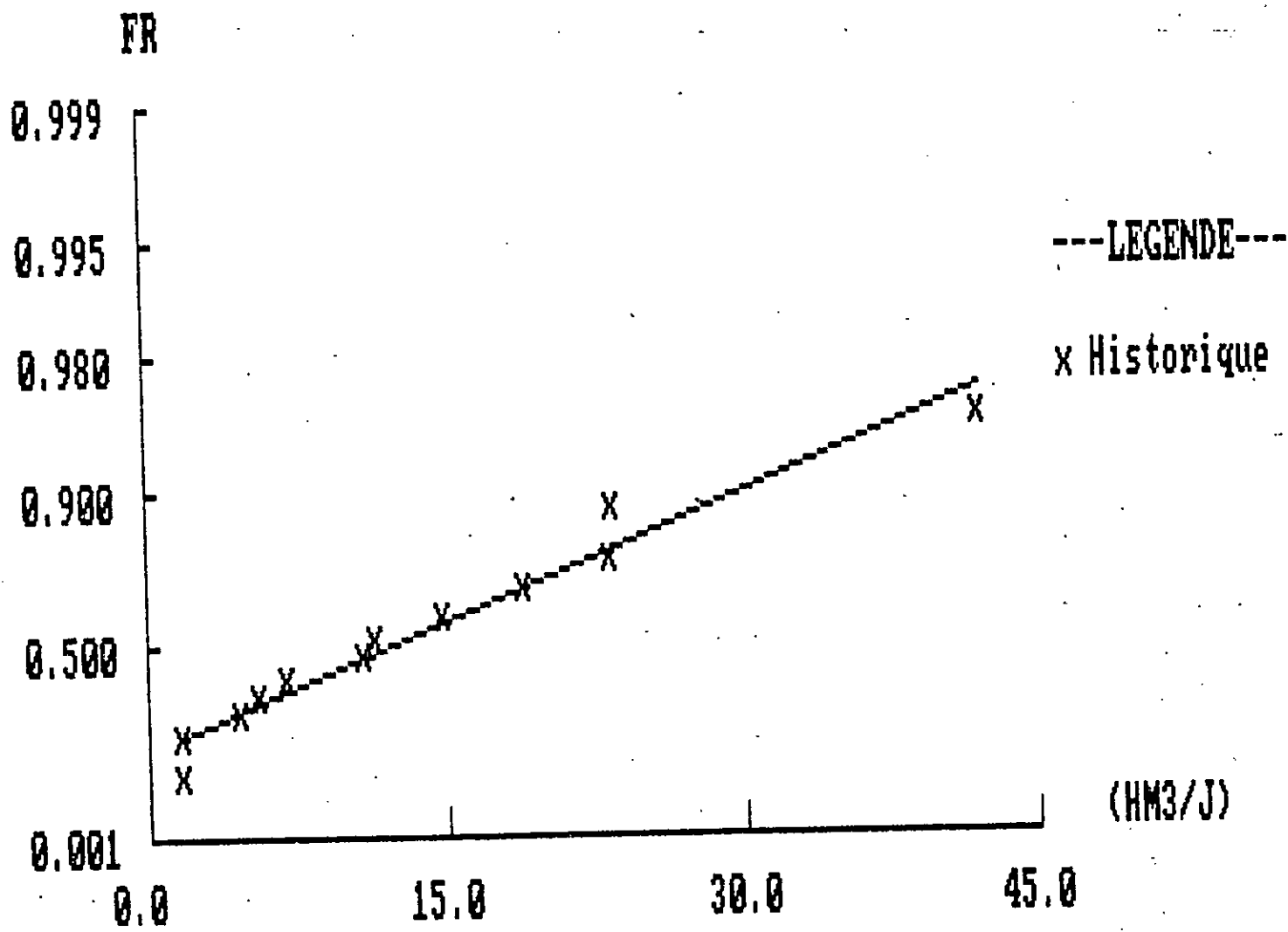
Fonction de repartition  
APPORTS (CHEFFIA)



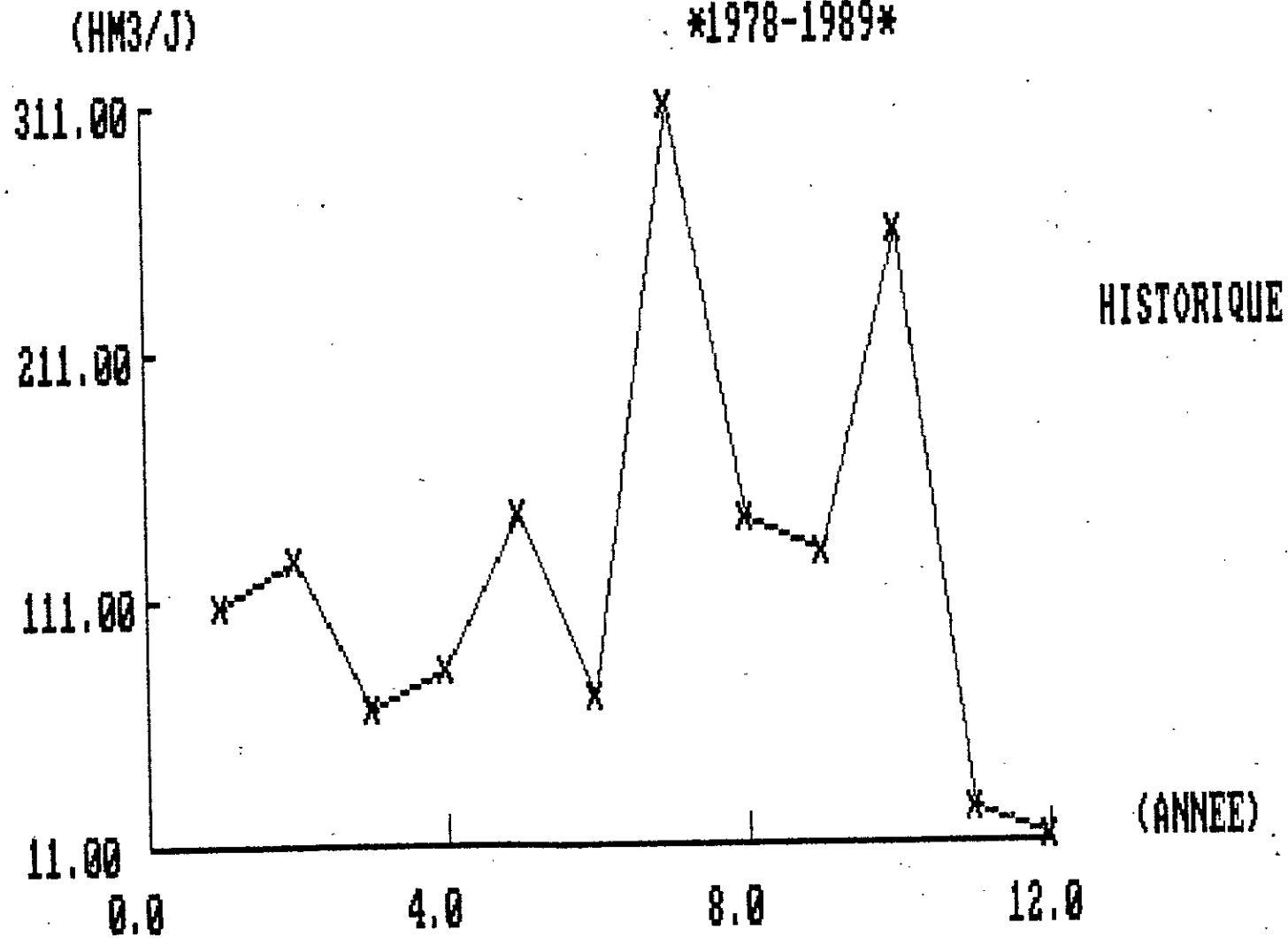
# DEBITS ANNUELS (BARRAGE CHEFFIA) 1978-1989



# DEBITS MAXIMA JOURNALIERS (BARRAGE CHEFFIA)

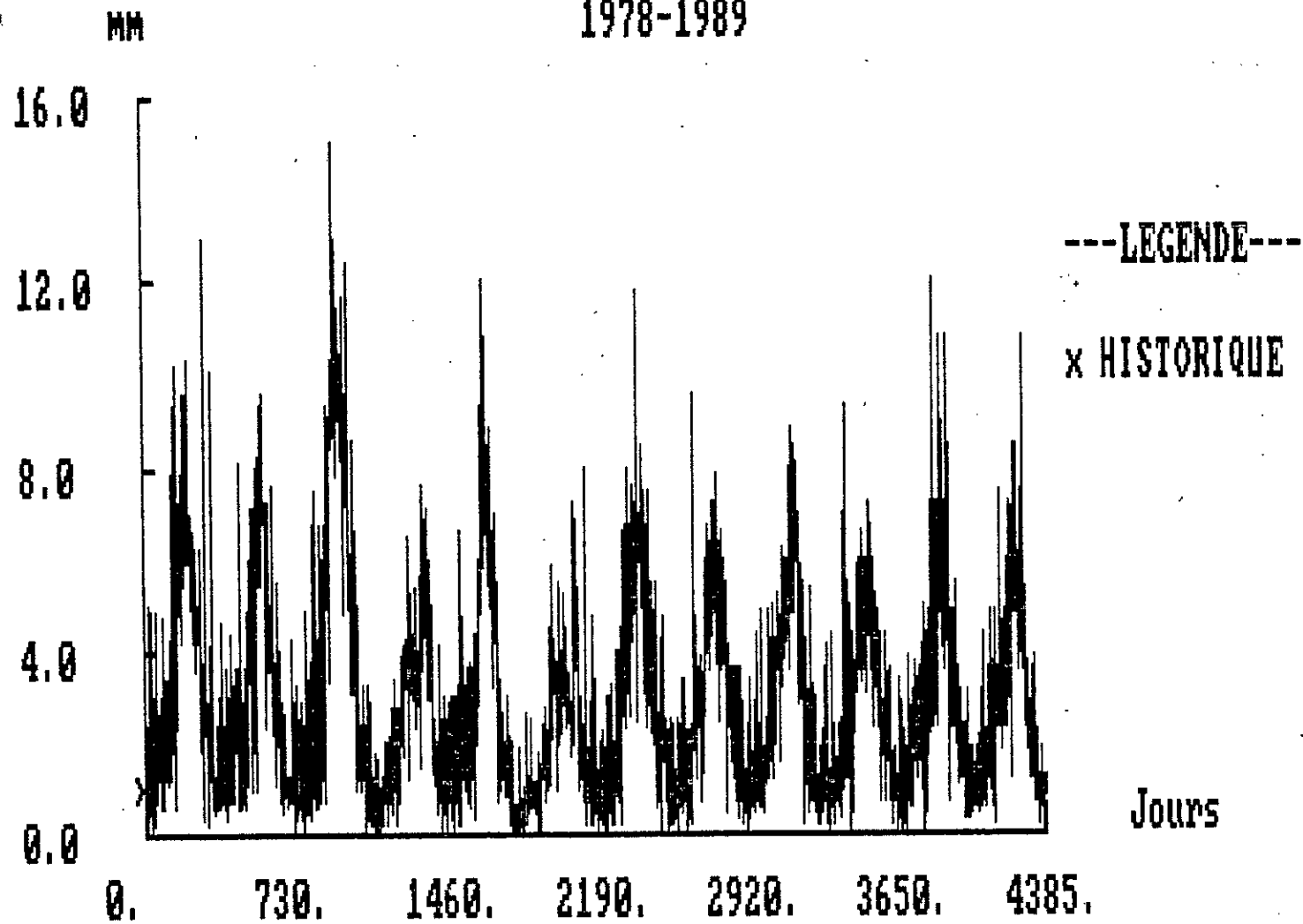


VARIATION DES DEBITS ANNUELS (BARRAGE CHEFFIA)  
\*1978-1989\*



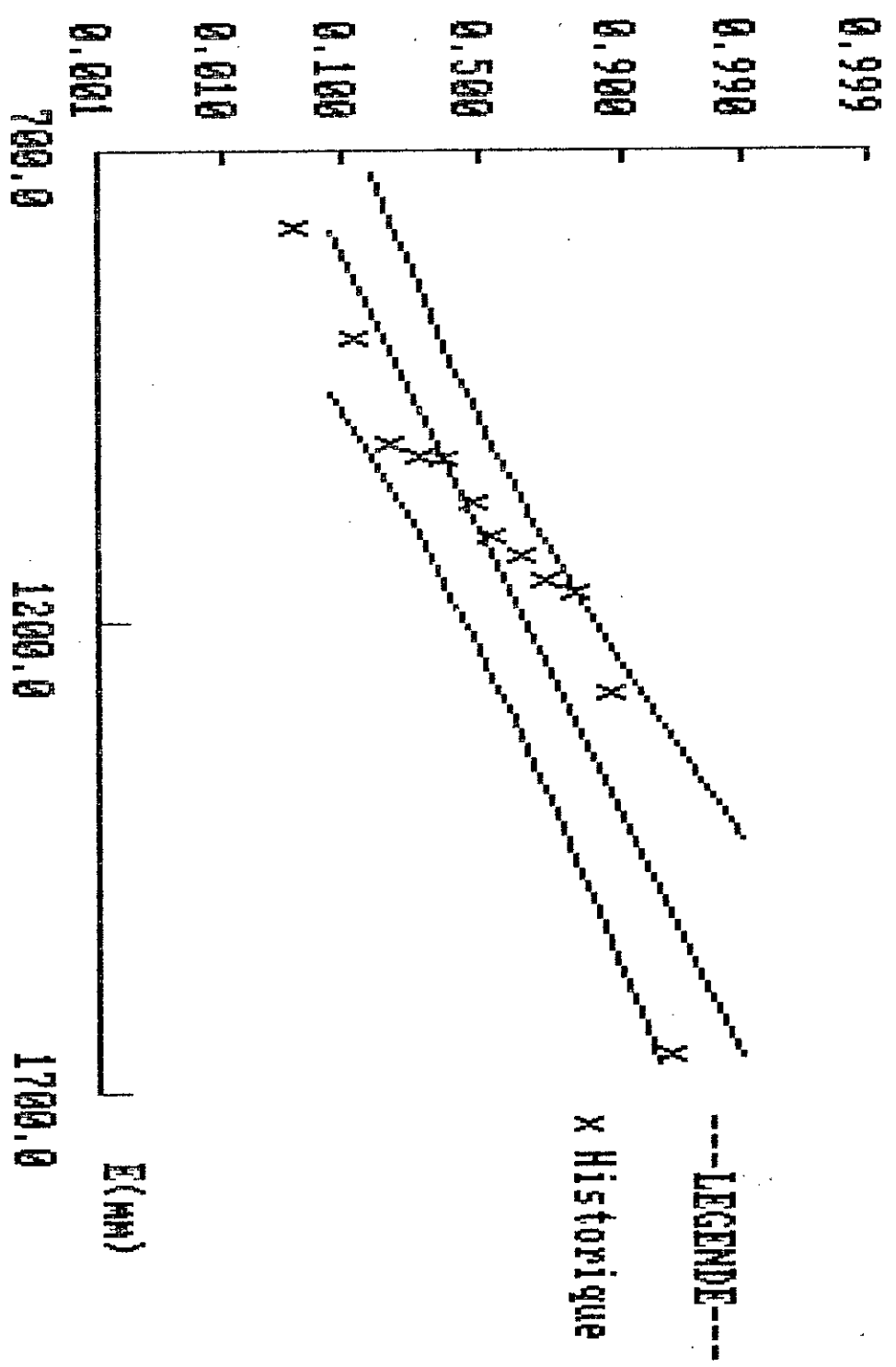
ANNEXE I-3

# EVAPORATIONS JOURNALIERES (CHEFFIA) 1978-1989



FR

# EVAPORATIONS ANNUELLES (CHEFFIA) 1978-1989

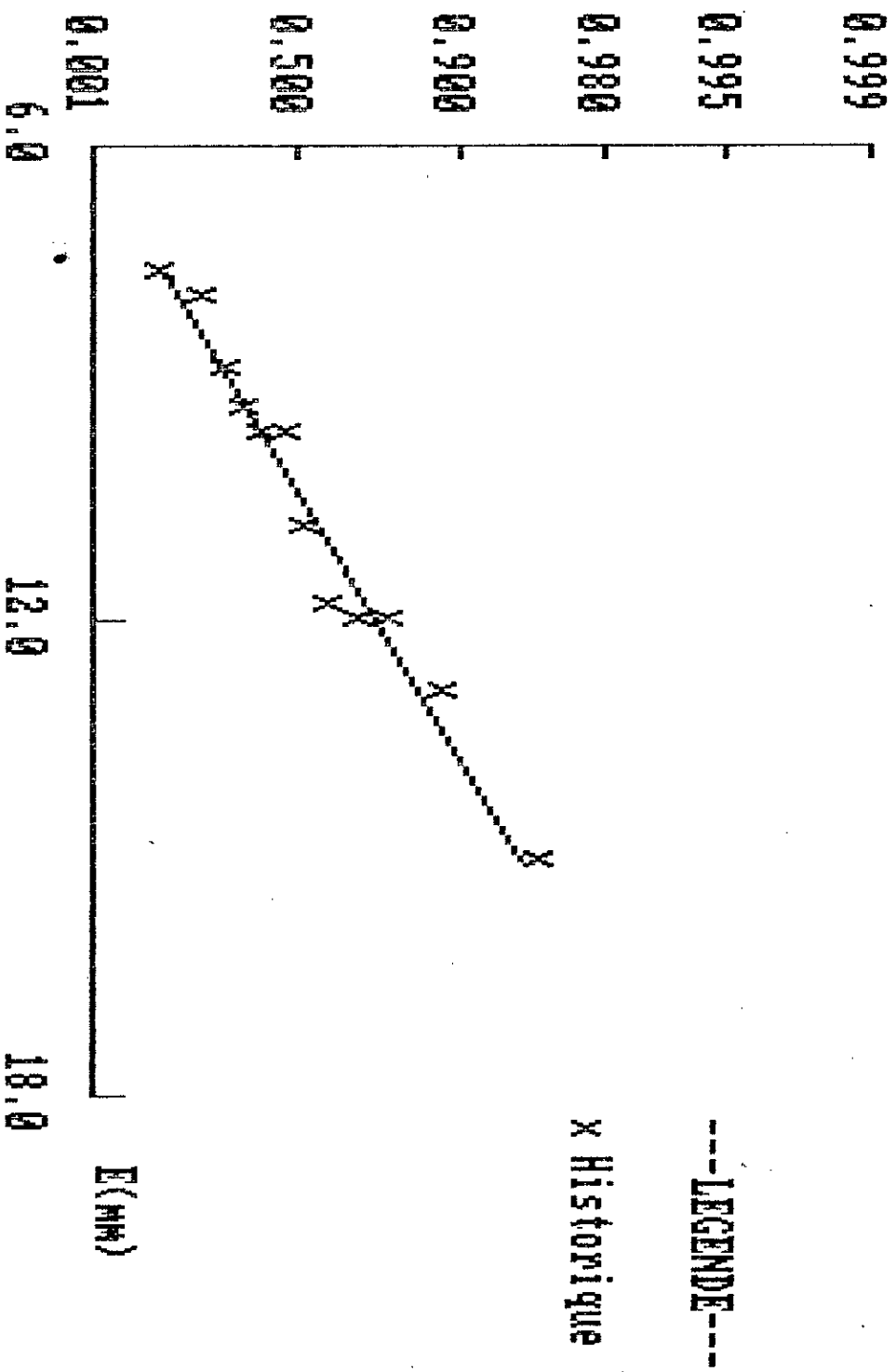




# EVAPORATIONS MAXIMALES JOURNALIERES (CHEFFIA)

FR

1978-1989



ANNEXE II-1

MODELE 3 CLASSES : PAGES 1-3

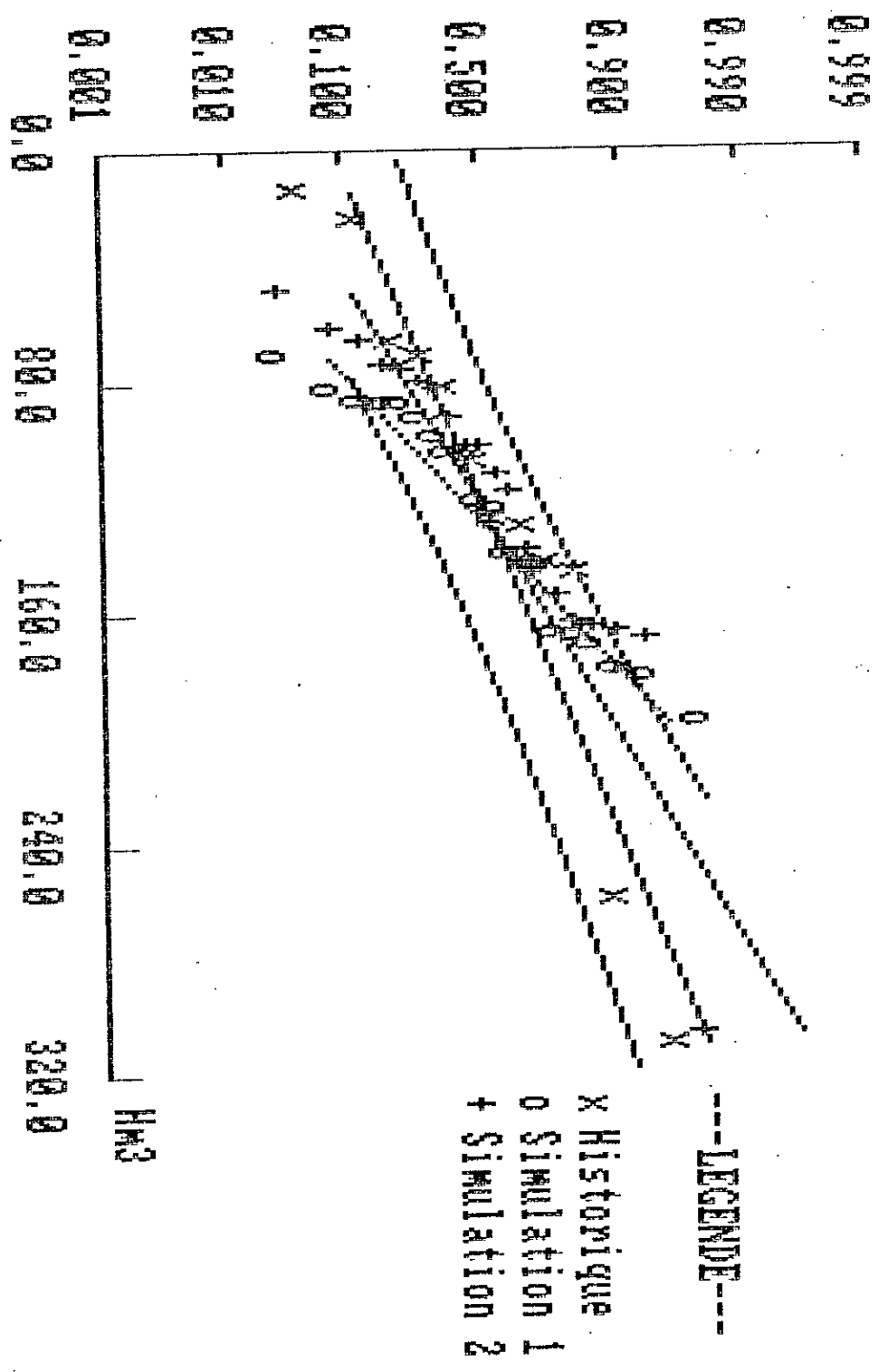
MODELE 4 CLASSES : PAGES 4-6

MODELE 5 CLASSES : PAGES 7-9

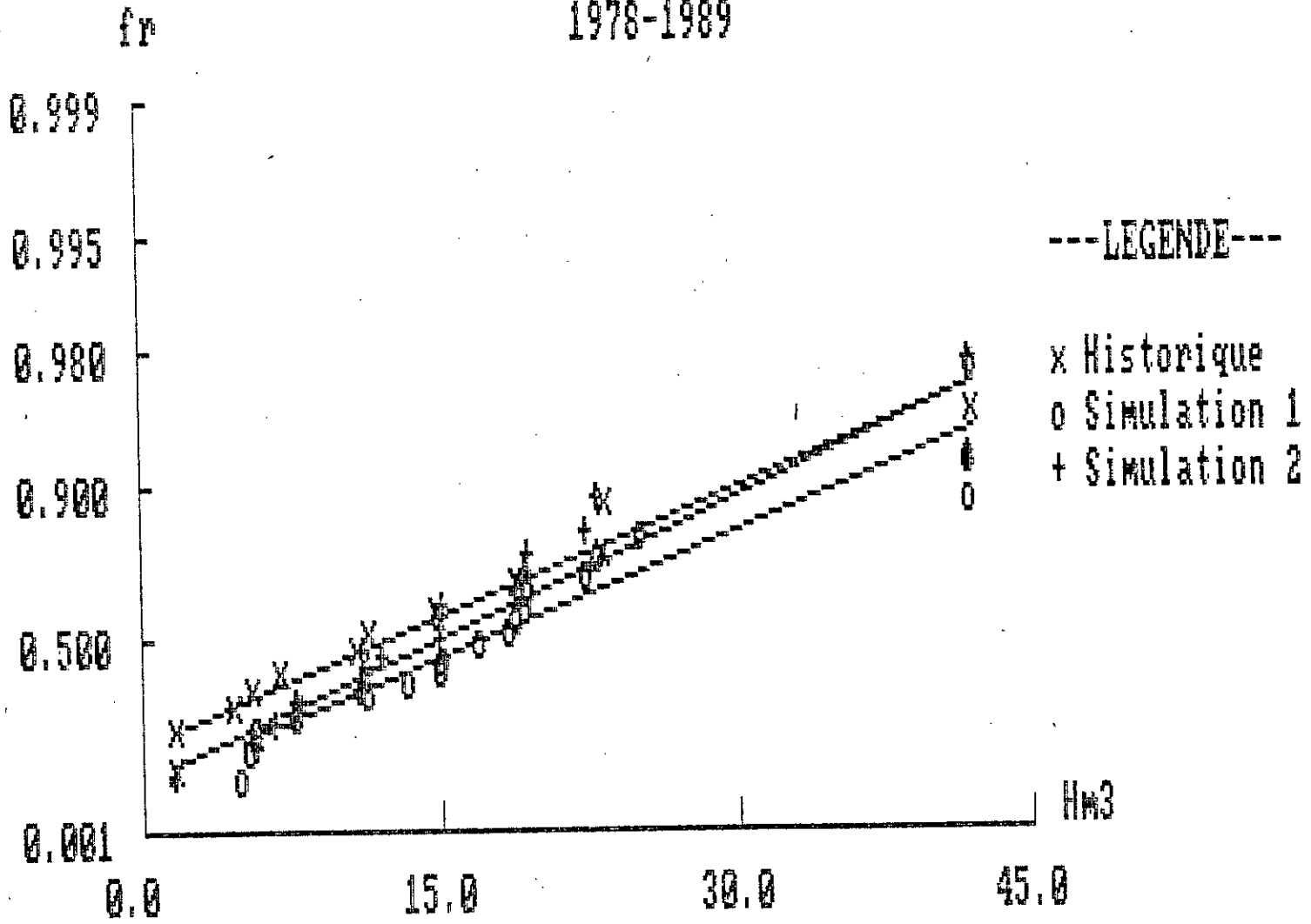
MODELE 6 CLASSES : PAGES 10-12

fr

# DEBITS ANNUELS (CHEFFIA) 1978-1989



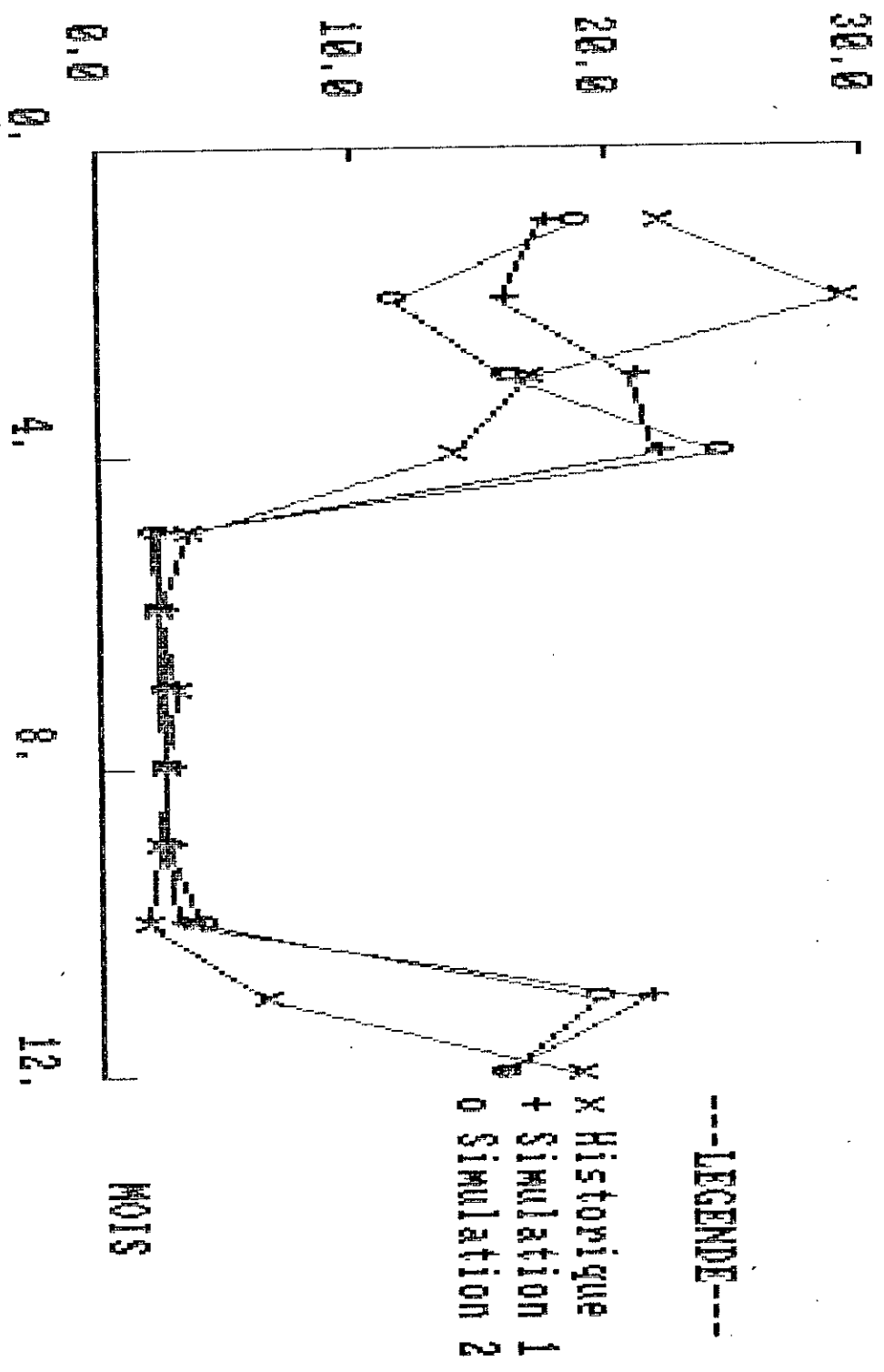
DEBITS MAXIMUMS JOURNALIERS (CHEFFIA)  
1978-1989



H.M.3

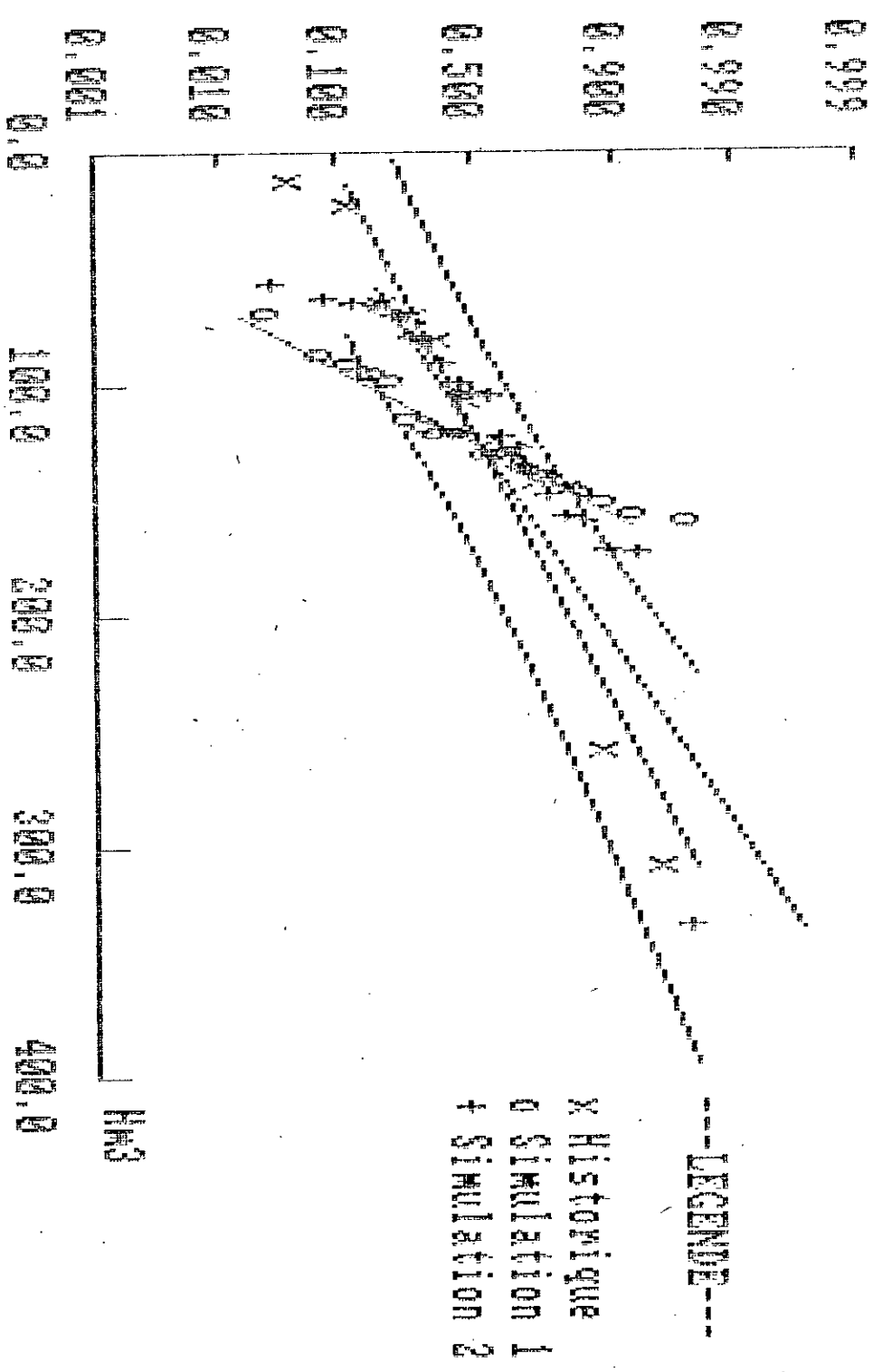
# DEBITS MENSUELS (CHEFFIA)

1978-1989



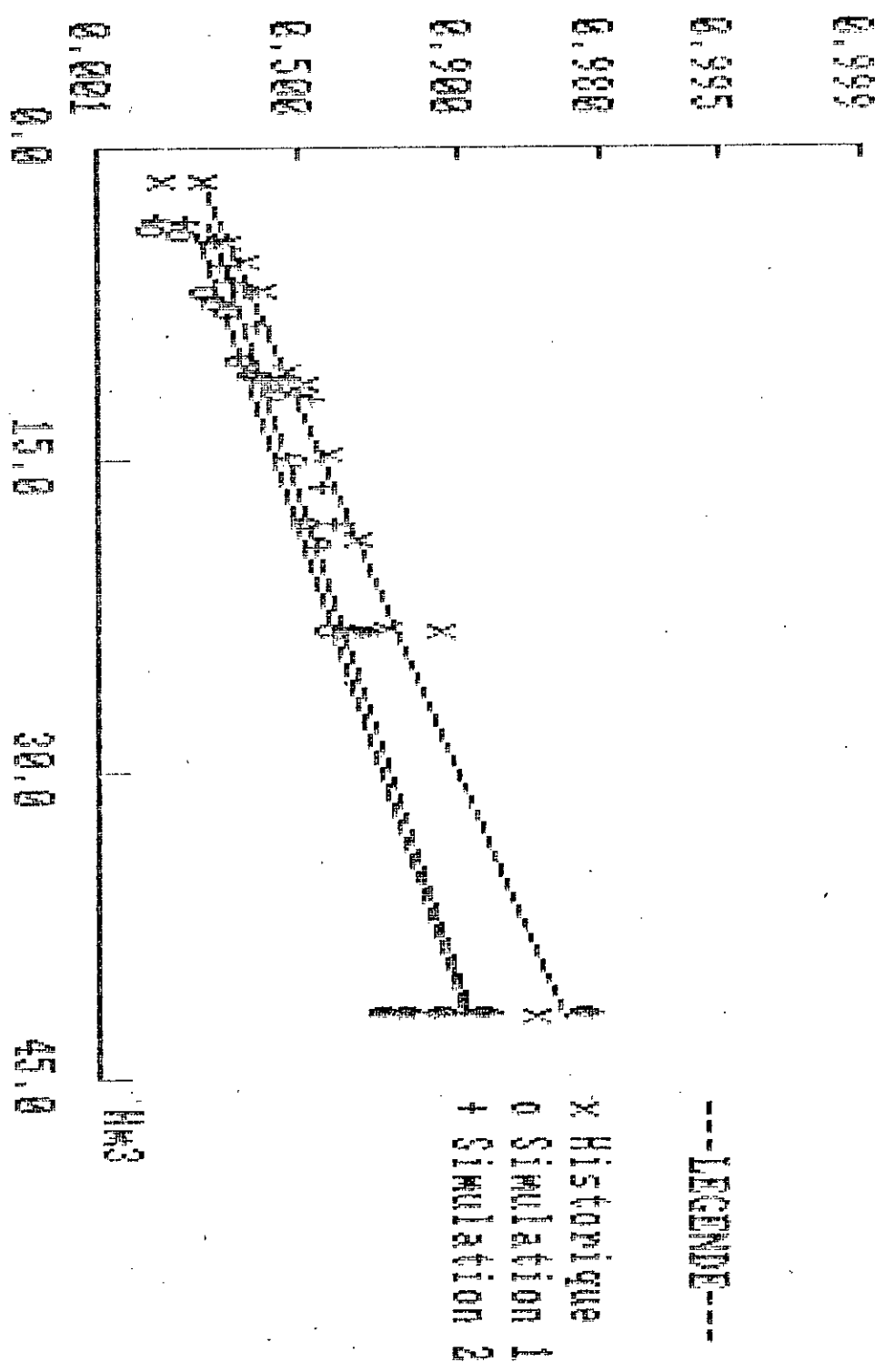
# DEBITS ANNUELS (CHEFFIA)

1978-1989



# DEBITS MAXIMUMS JOURNALIERS (CHEFFIA)

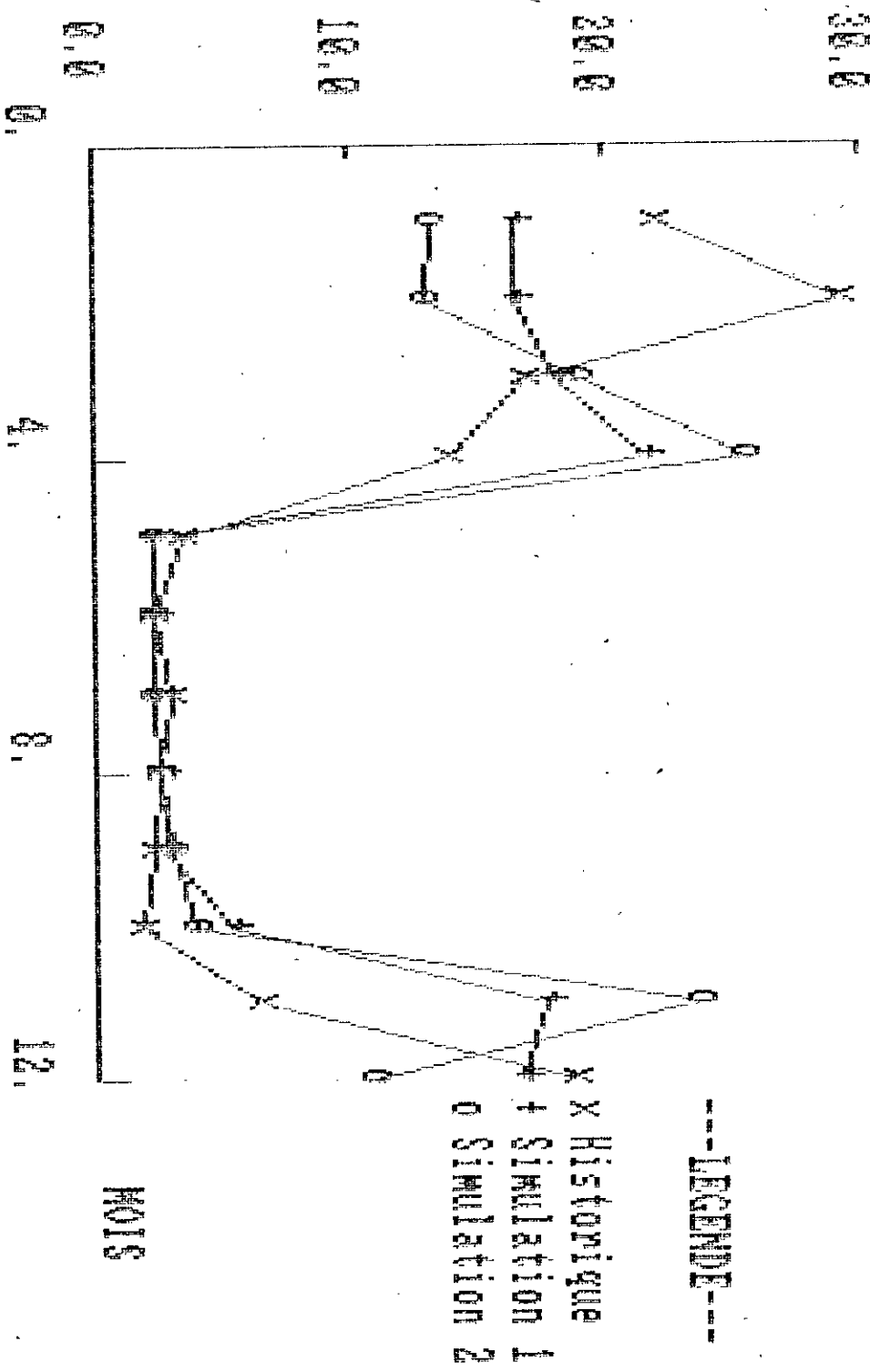
1978-1989



HM3

# DEBITS MENSUELS (CHEFFIA)

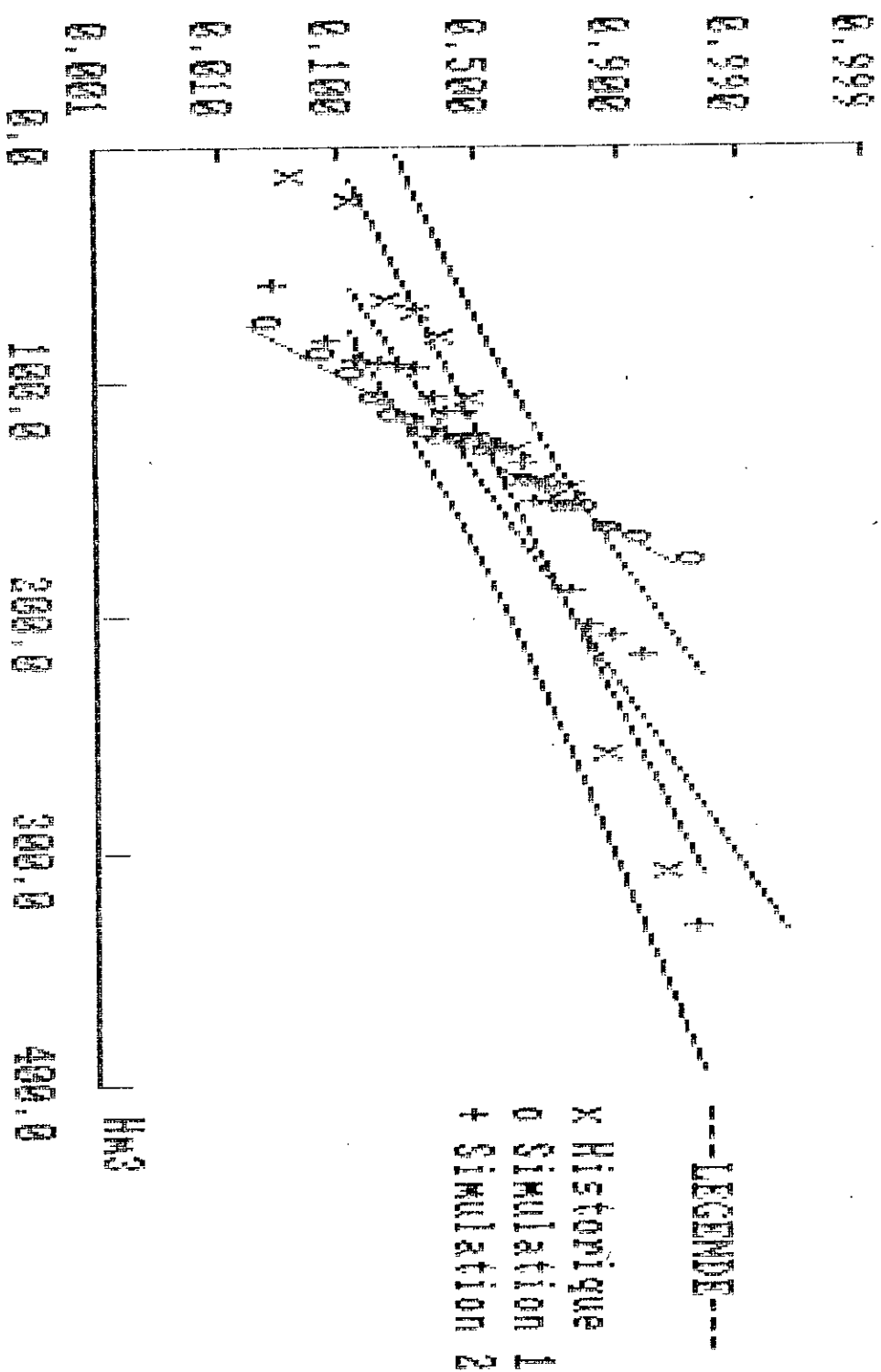
1978-1989





# DEBITS ANNUELS (CHEFFIA)

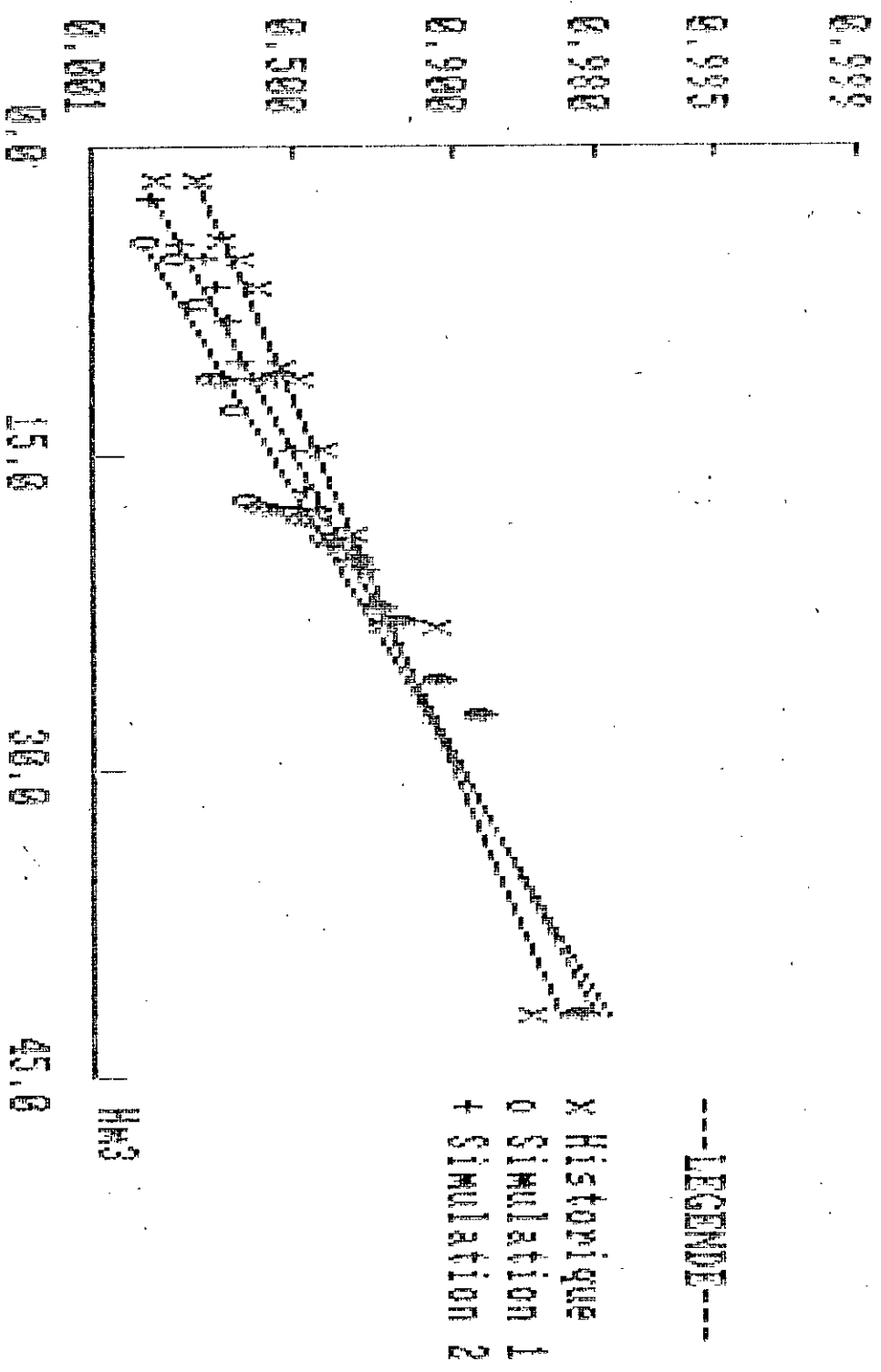
1978-1989



# DEBITES MAXIMALES JOURNALIERS (CHEFFIA)

FR

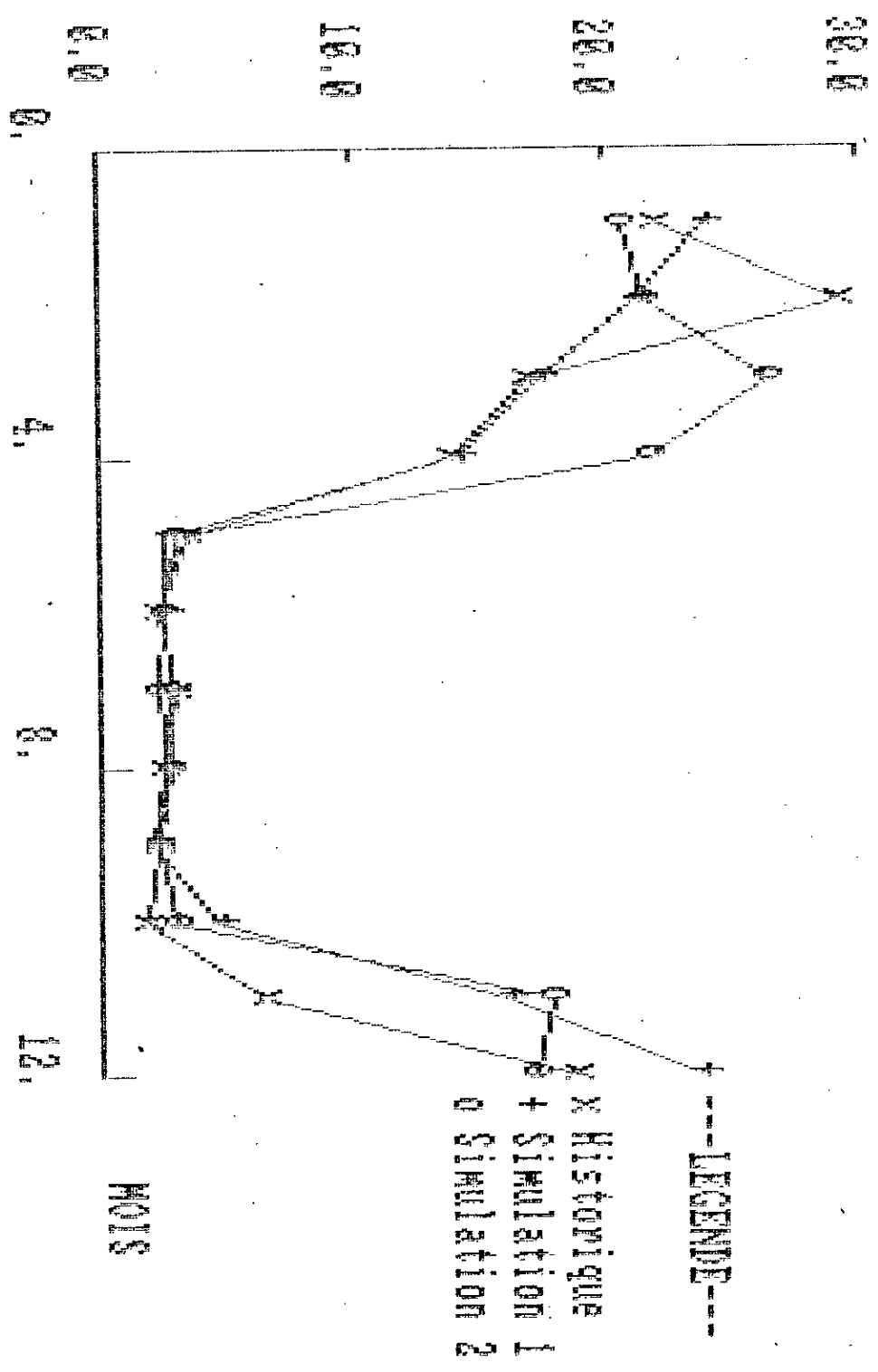
1978-1989



HMS

# DEBITS MERSELES (CHEFFIA)

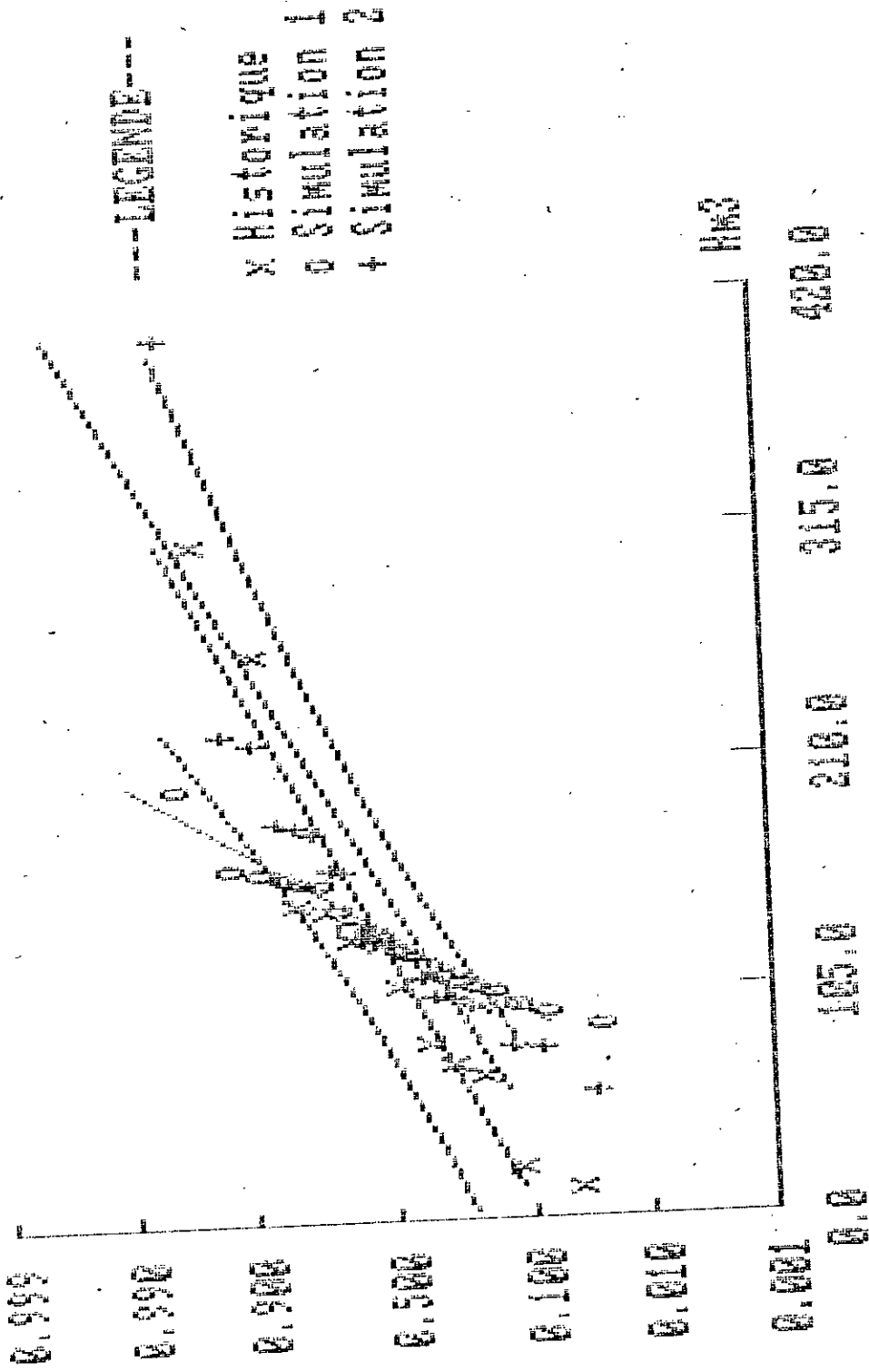
1978-1989



# DEBITS ANNUELS (CHEFFIA)

1978-1989

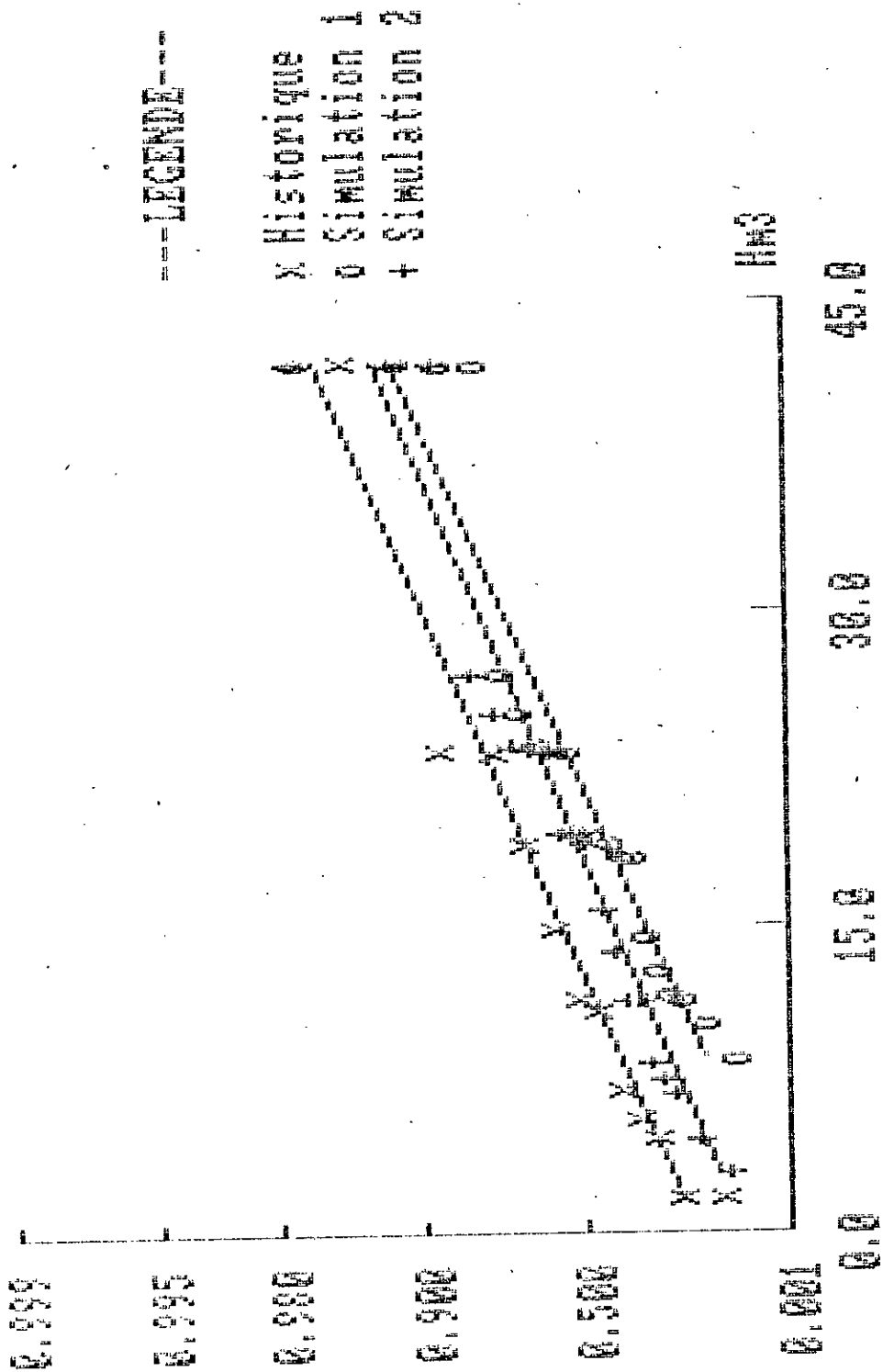
42



# DEBITS MAXIMUMS JOURNALIERS (CHEFFIA)

6867-8461  
1978-1989

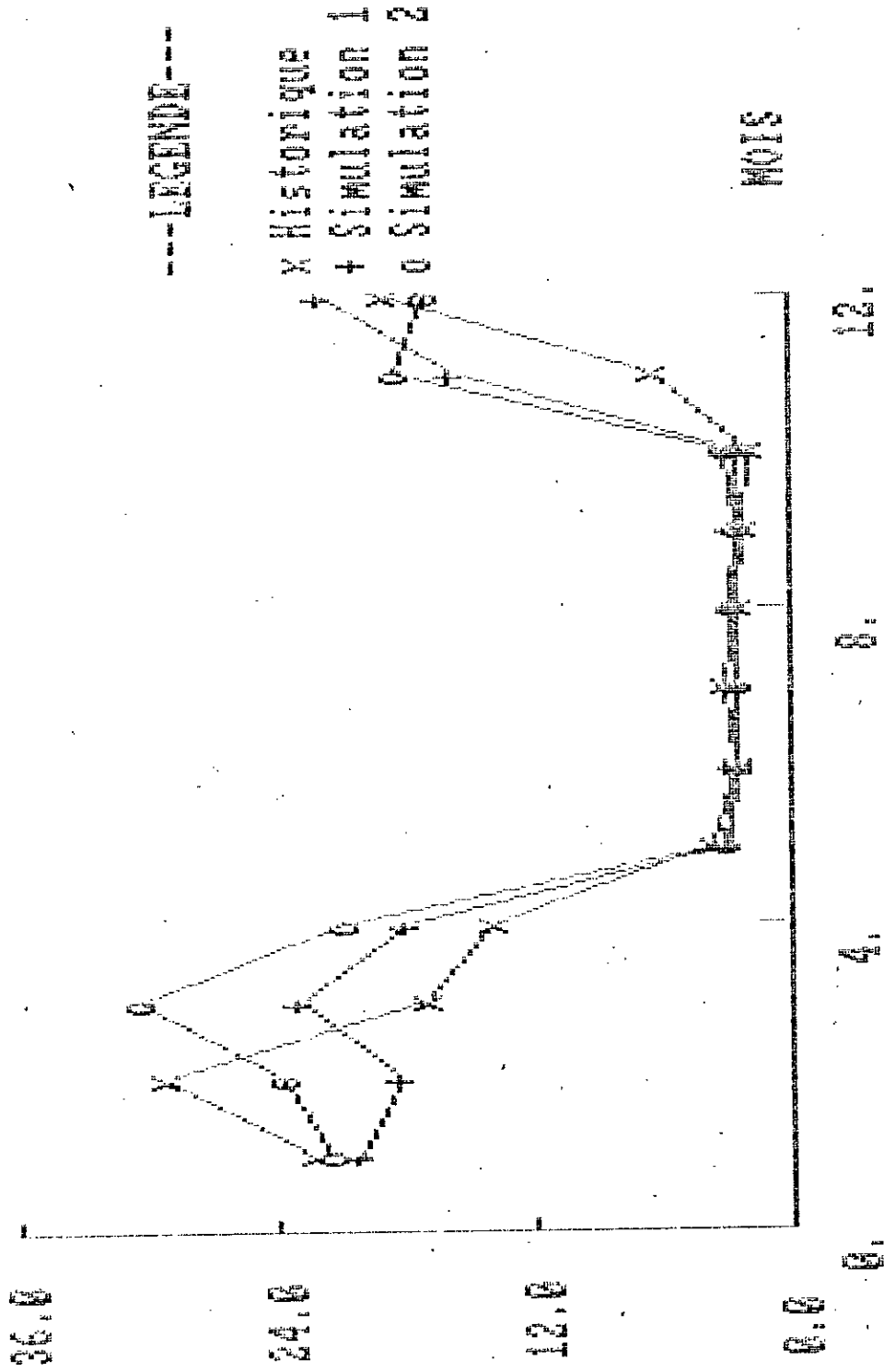
f<sub>y</sub>



DEBITS MENSUELS (CHEFFIA)

6861-8261

M3

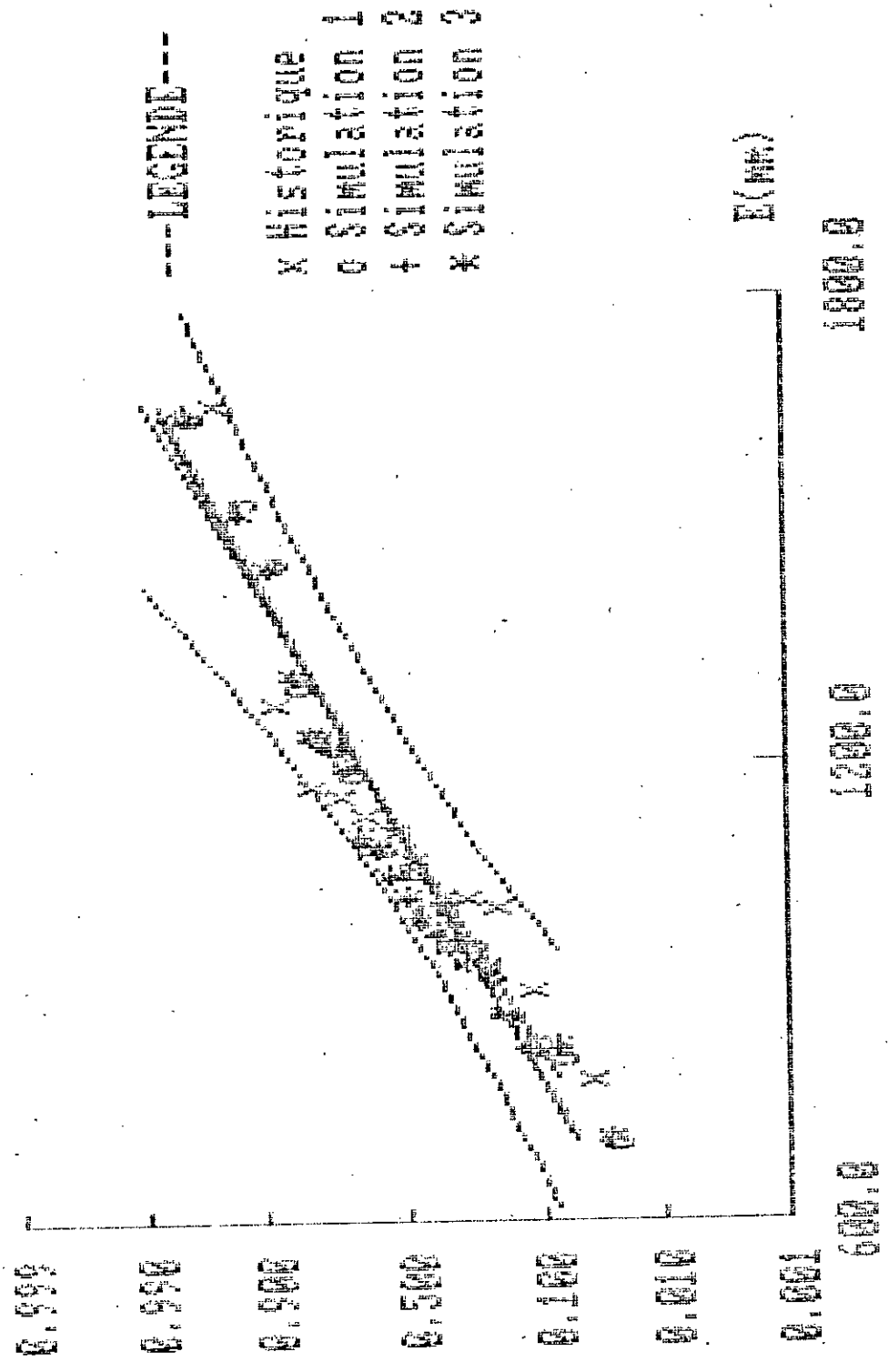


ANNEXE V-1

# EVAPORATIONS ANNUELLES (CHETIA)

1978-1989

FR

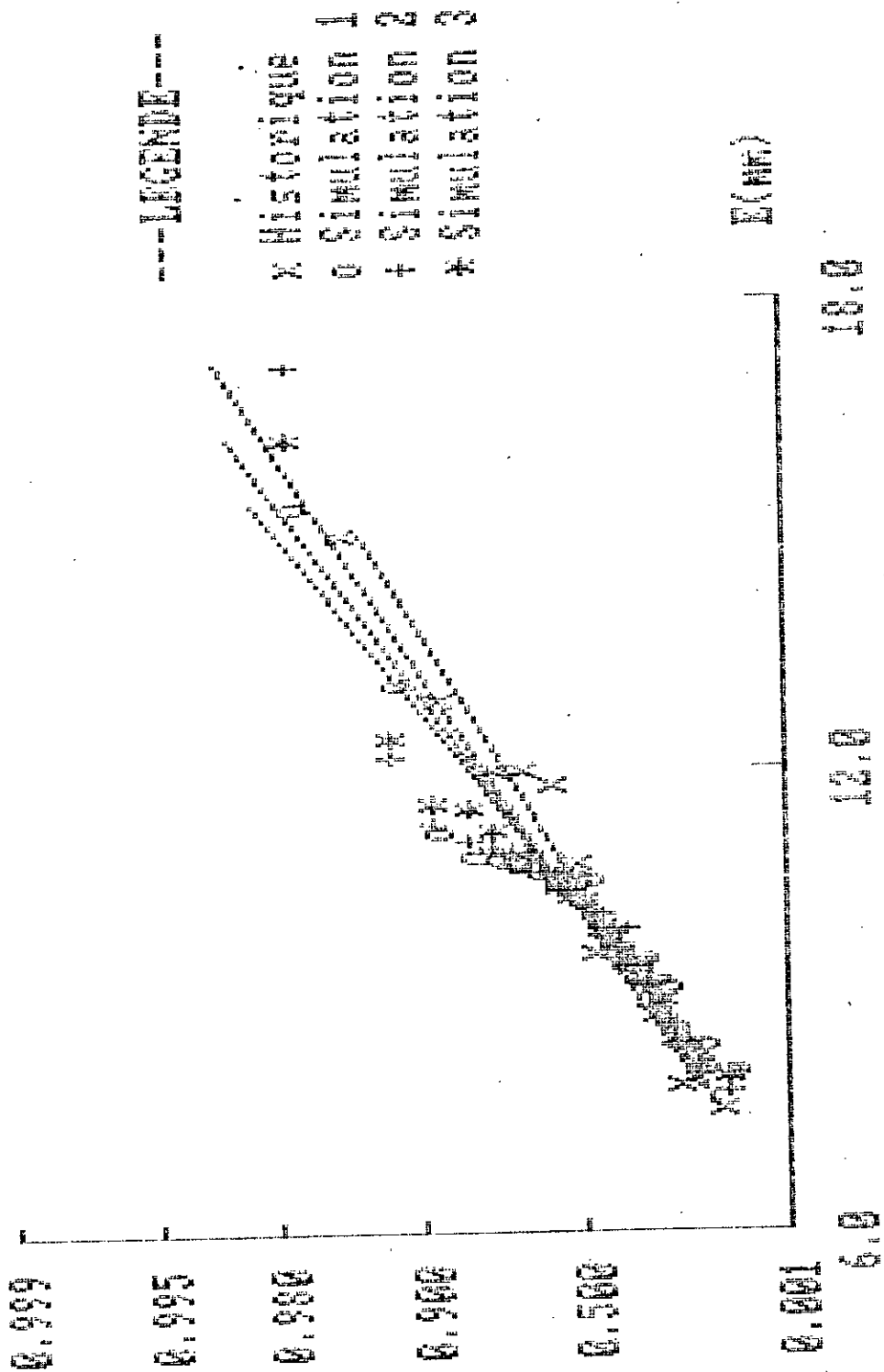




# EVAPORATIONS MAXIMALES JOURNALIÈRES (CHERFIA)

1978-1989

FR



# EVAPORATIONS MENSUELLES (CHEFFIA)

1978-1989

E (MM)

225.0

150.0

75.0

0.0

---LEGENDE---

- x HISTORIQUE
- + SIMULATION 1
- o SIMULATION 2
- o SIMULATION 3

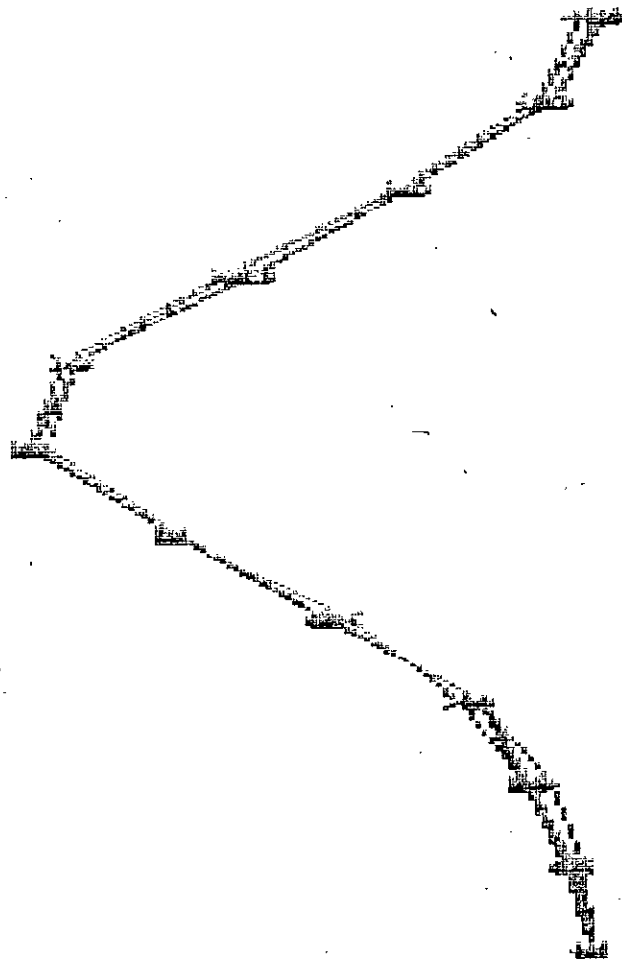
(MOIS)

0.0

4.0

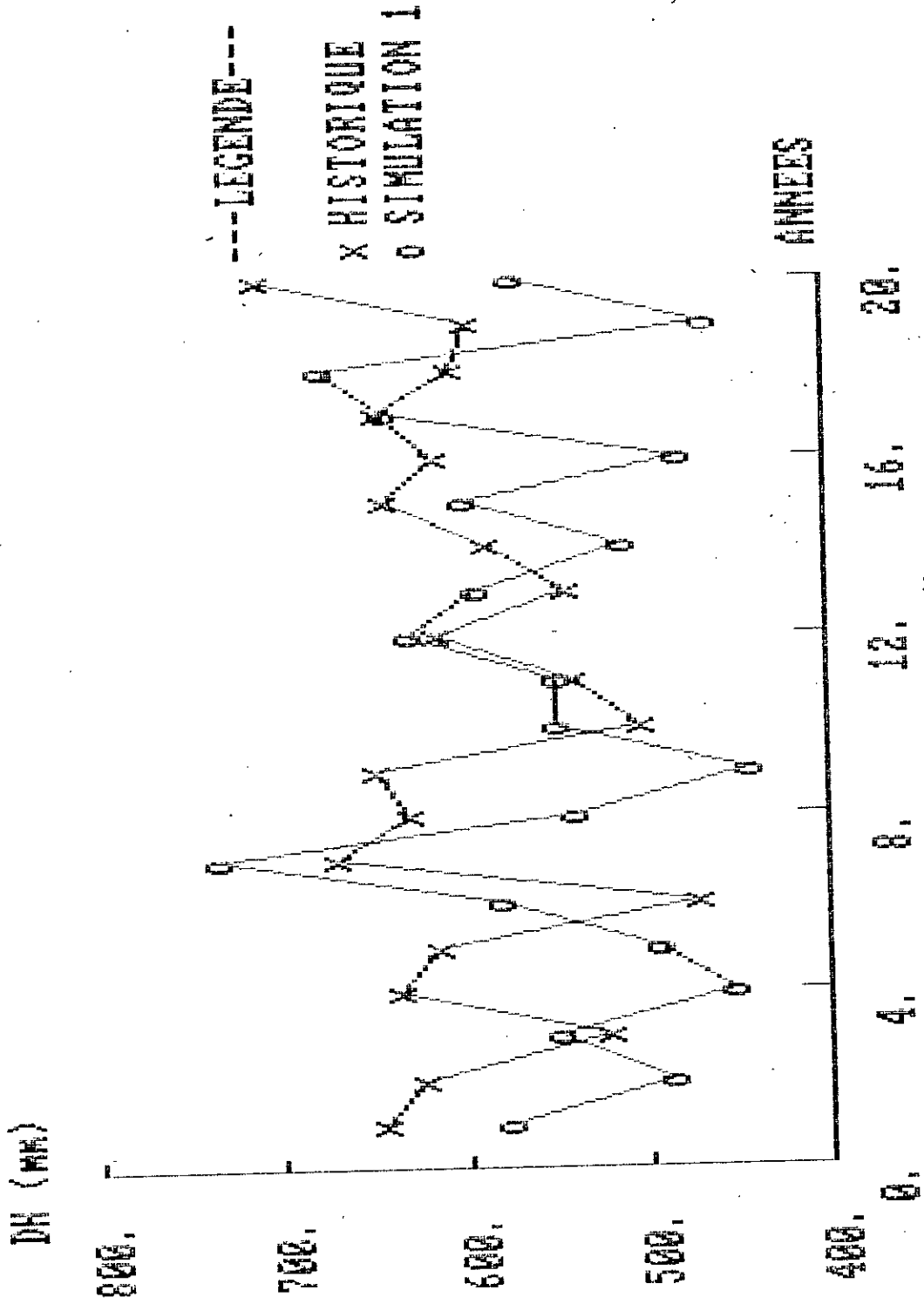
8.0

12.0

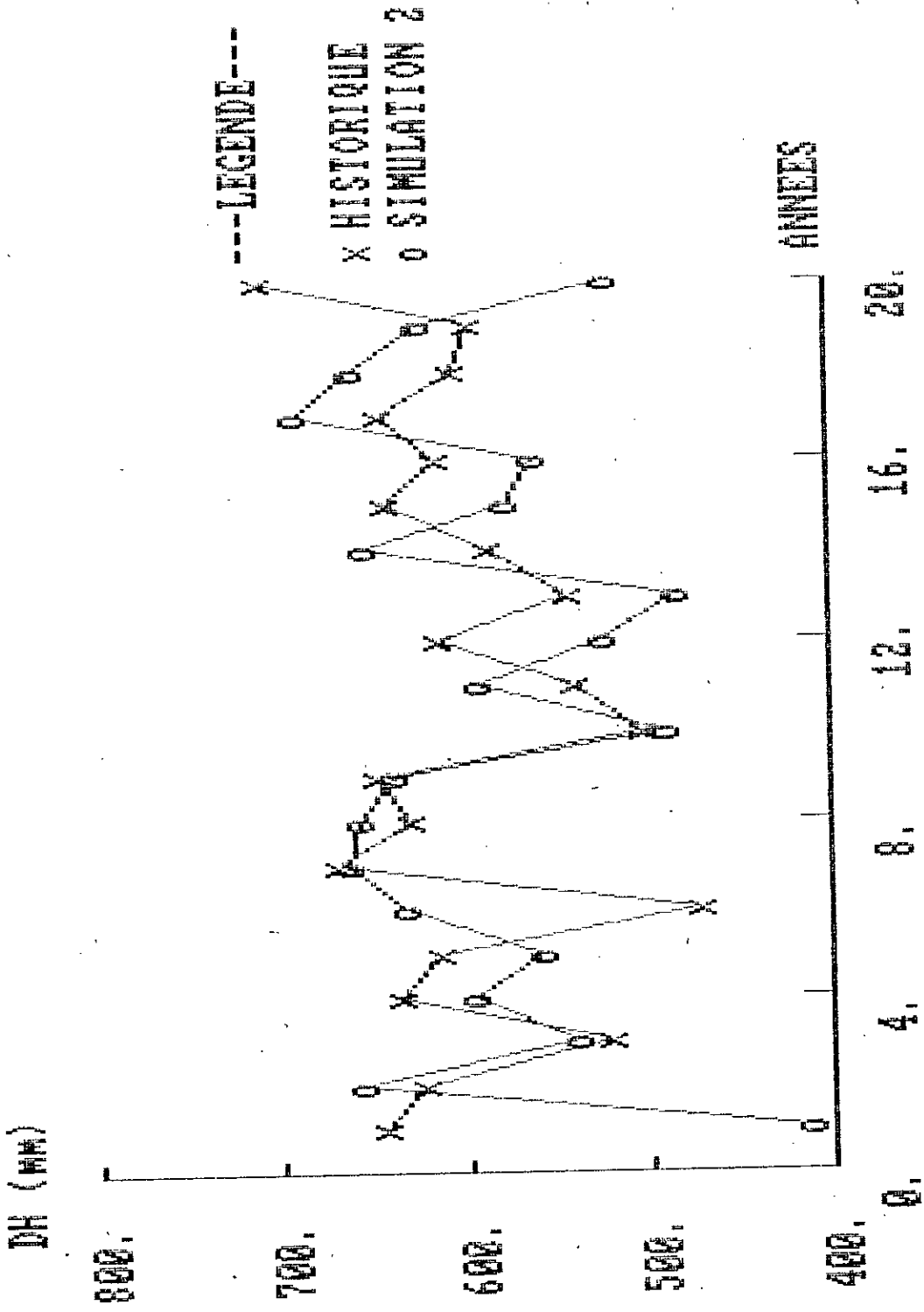


ANNEXE V-2

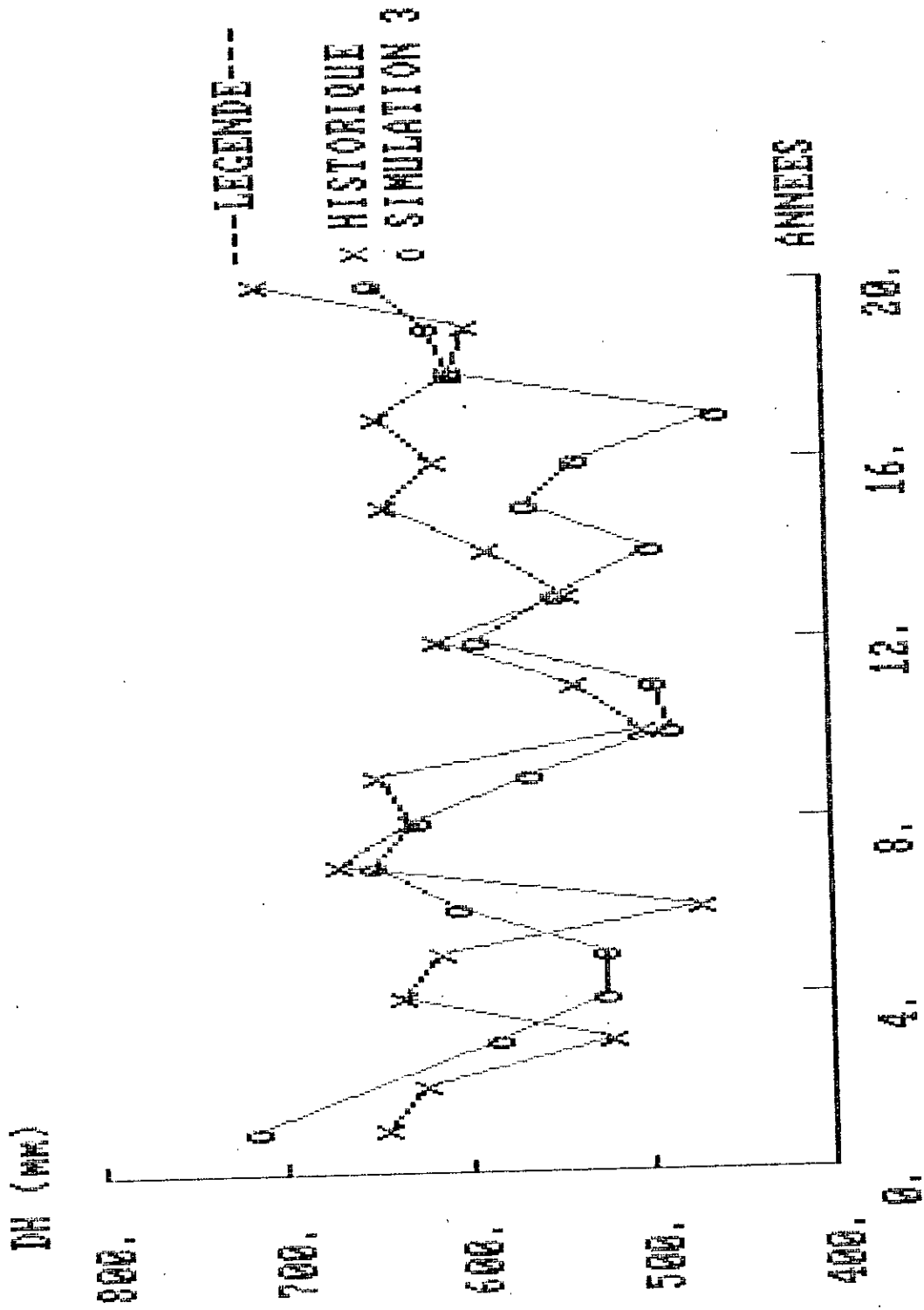
# DEFICIT HYDRIQUE (ANNABR)



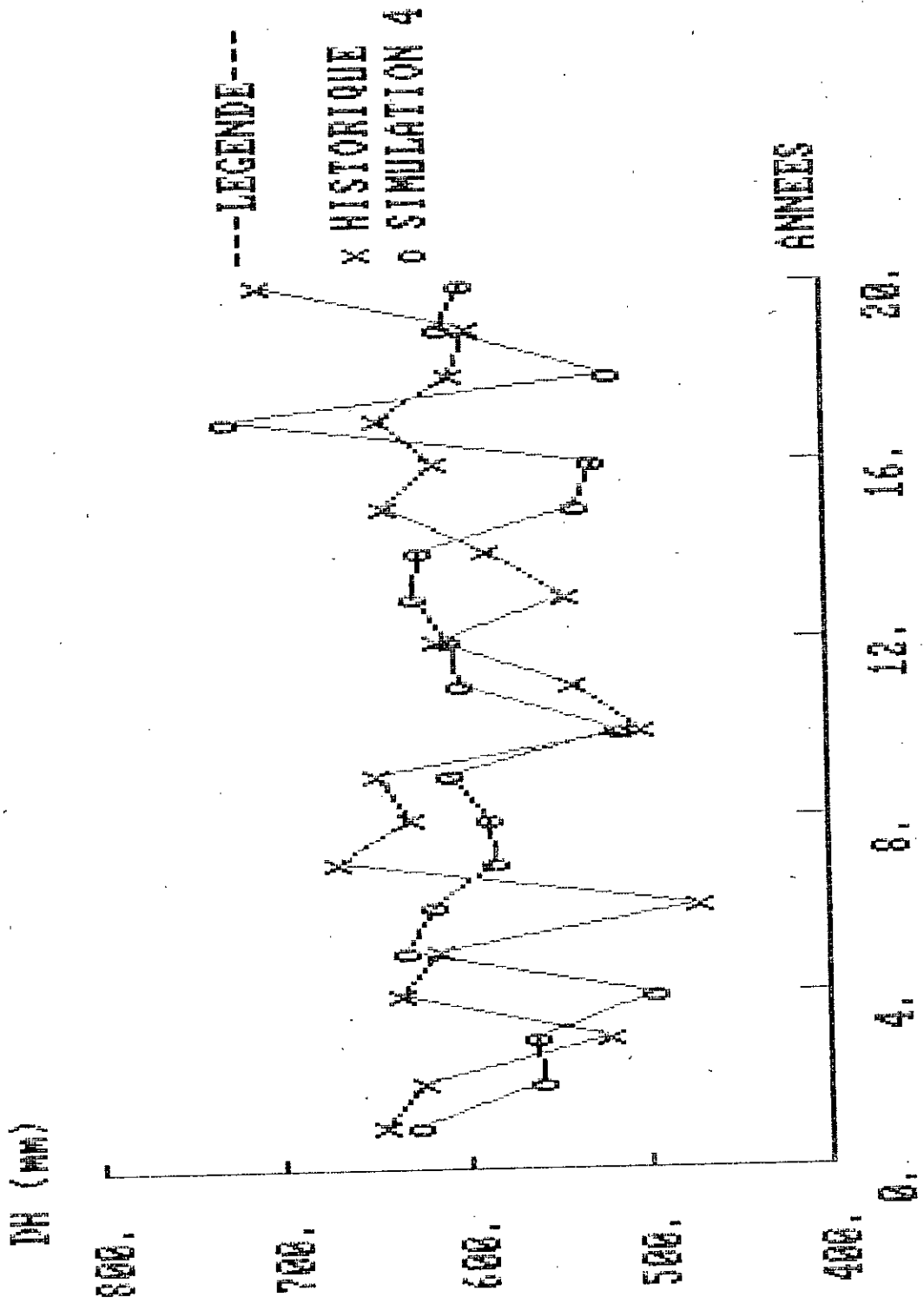
# DEFICIT HYDRIQUE (ANNABA)



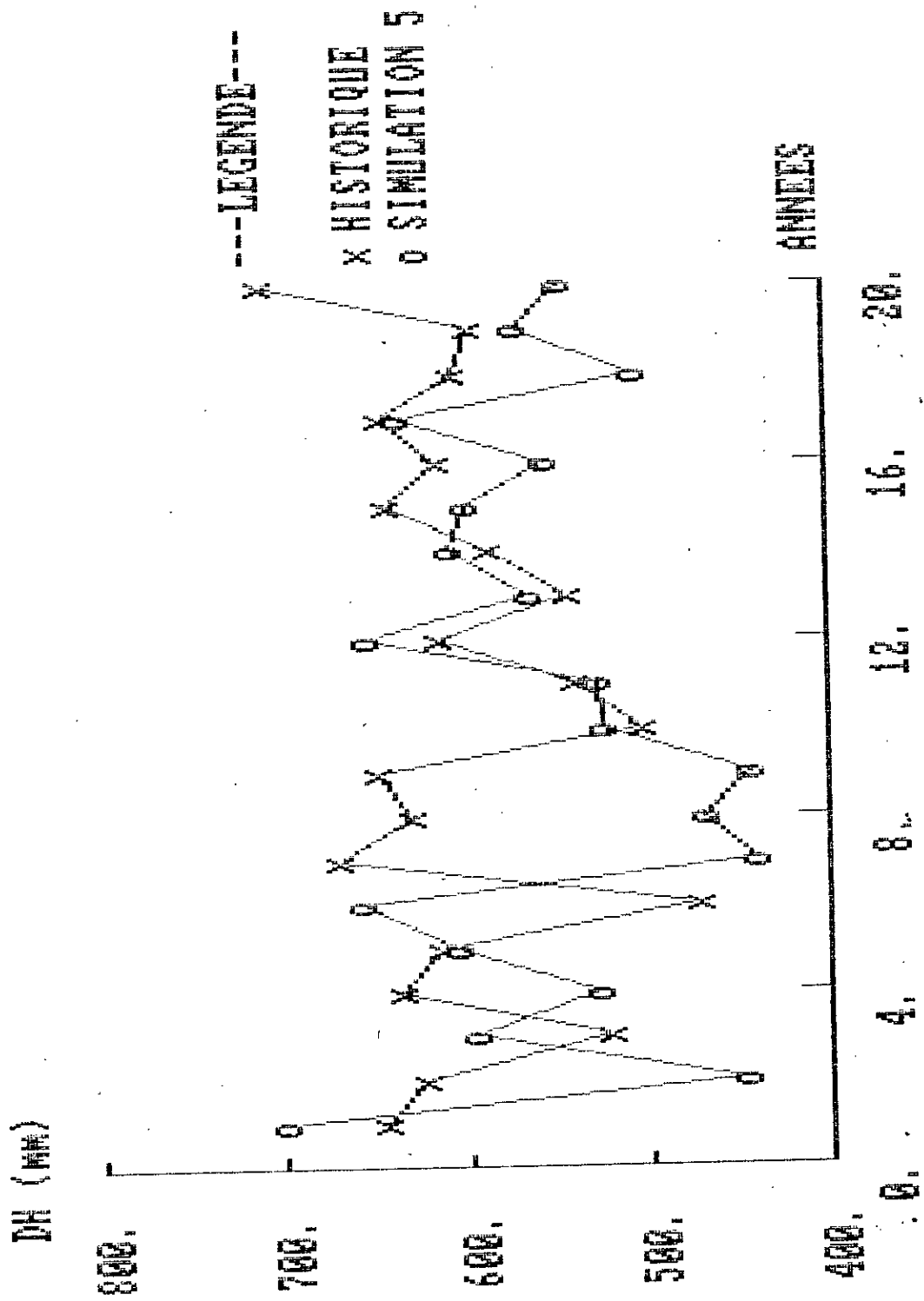
# DEFICIT HYDRIQUE (ANNABA)



# DEFICIT HYDRIQUE (ANNABA)



# DEFICIT HYDRIQUE (ANNABA)





ANNEXE V-3

## 1 ère ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 138.11  | 6.672  | 2.830   | .000    | 1      | 0.     |
| 2    | 150.07  | 52.607 | 2.460   | 2.460   | 0      | 100.   |
| 3    | 150.47  | 54.865 | 2.944   | 2.944   | 0      | 100.   |
| 4    | 153.88  | 75.957 | 2.877   | 2.877   | 0      | 100.   |
| 5    | 153.59  | 74.044 | 2.935   | 2.935   | 0      | 100.   |
| 6    | 153.00  | 70.124 | 4.057   | 4.057   | 0      | 100.   |
| 7    | 151.91  | 63.329 | 7.130   | 7.130   | 0      | 100.   |
| 8    | 150.54  | 55.304 | 7.584   | 7.584   | 0      | 100.   |
| 9    | 149.46  | 49.255 | 7.150   | 7.150   | 0      | 100.   |
| 10   | 148.87  | 46.076 | 5.844   | 5.844   | 0      | 100.   |
| 11   | 148.54  | 44.357 | 5.690   | 5.690   | 0      | 100.   |
| 12   | 148.54  | 44.363 | 4.418   | 4.418   | 0      | 100.   |

## 2 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 148.38  | 43.514  | 2.686   | 2.686   | 0      | 100.   |
| 2    | 149.39  | 48.878  | 2.714   | 2.714   | 0      | 100.   |
| 3    | 149.87  | 51.535  | 3.434   | 3.434   | 0      | 100.   |
| 4    | 157.81  | 104.267 | 2.934   | 2.934   | 0      | 100.   |
| 5    | 158.08  | 106.418 | 3.640   | 3.640   | 0      | 100.   |
| 6    | 157.23  | 99.696  | 8.428   | 8.428   | 0      | 100.   |
| 7    | 156.26  | 92.697  | 8.958   | 8.958   | 0      | 100.   |
| 8    | 155.35  | 86.328  | 8.126   | 8.126   | 0      | 100.   |
| 9    | 154.75  | 81.997  | 7.473   | 7.473   | 0      | 100.   |
| 10   | 154.23  | 78.378  | 5.404   | 5.404   | 0      | 100.   |
| 11   | 157.48  | 101.668 | 3.348   | 3.348   | 0      | 100.   |
| 12   | 157.88  | 104.787 | 3.660   | 3.660   | 0      | 100.   |

## 3 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 157.81  | 104.276 | 3.723   | 3.723   | 0      | 100.   |
| 2    | 157.79  | 104.065 | 3.239   | 3.239   | 0      | 100.   |
| 3    | 159.60  | 119.251 | 3.241   | 3.241   | 0      | 100.   |
| 4    | 160.10  | 123.653 | 3.009   | 3.009   | 0      | 100.   |
| 5    | 160.25  | 124.921 | 2.583   | 2.583   | 0      | 100.   |
| 6    | 159.62  | 119.452 | 6.847   | 6.847   | 0      | 100.   |
| 7    | 158.52  | 110.036 | 11.111  | 11.111  | 0      | 100.   |
| 8    | 153.14  | 71.046  | 10.641  | 10.641  | 0      | 100.   |
| 9    | 151.88  | 63.119  | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.   |
| 10   | 151.29  | 59.587  | 3.771   | 3.771   | 0      | 100.   |
| 11   | 150.93  | 57.488  | 3.003   | 3.003   | 0      | 100.   |
| 12   | 152.80  | 68.820  | 3.691   | 3.691   | 0      | 100.   |

## 4 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 156.42  | 93.830  | 3.305   | 3.305   | 0      | 100.   |
| 2    | 158.97  | 113.855 | 2.186   | 2.186   | 0      | 100.   |
| 3    | 159.73  | 120.382 | .673    | .673    | 0      | 100.   |
| 4    | 159.80  | 121.002 | 2.300   | 2.300   | 0      | 100.   |
| 5    | 159.39  | 117.455 | 5.730   | 5.730   | 0      | 100.   |
| 6    | 158.82  | 112.543 | 7.053   | 7.053   | 0      | 100.   |
| 7    | 157.90  | 104.987 | 10.017  | 10.017  | 0      | 100.   |
| 8    | 157.04  | 98.326  | 10.076  | 10.076  | 0      | 100.   |
| 9    | 156.11  | 91.714  | 8.346   | 8.346   | 0      | 100.   |
| 10   | 155.41  | 86.720  | 6.422   | 6.422   | 0      | 100.   |
| 11   | 154.91  | 83.138  | 4.123   | 4.123   | 0      | 100.   |
| 12   | 155.04  | 84.098  | 4.033   | 4.033   | 0      | 100.   |

## 5 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 155.49  | 87.299  | 3.950   | 3.950   | 0      | 100.   |
| 2    | 158.44  | 109.395 | 3.580   | 3.580   | 0      | 100.   |
| 3    | 161.96  | 139.869 | 3.977   | 3.977   | 0      | 100.   |
| 4    | 163.37  | 152.388 | 3.776   | 3.776   | 0      | 100.   |
| 5    | 163.82  | 156.519 | 4.849   | 4.849   | 0      | 100.   |
| 6    | 163.06  | 149.571 | 7.208   | 7.208   | 0      | 100.   |
| 7    | 161.96  | 139.922 | 12.042  | 12.042  | 0      | 100.   |
| 8    | 161.17  | 132.976 | 9.271   | 9.271   | 0      | 100.   |
| 9    | 160.56  | 127.690 | 6.731   | 6.731   | 0      | 100.   |
| 10   | 160.27  | 125.149 | 6.785   | 6.785   | 0      | 100.   |
| 11   | 160.49  | 127.021 | 4.123   | 4.123   | 0      | 100.   |
| 12   | 163.86  | 156.848 | 4.141   | 4.141   | 0      | 100.   |

## 6 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 164.21  | 160.294 | 3.738   | 3.738   | 0      | 100.   |
| 2    | 164.05  | 158.657 | 3.908   | 3.908   | 0      | 100.   |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 4.232   | 4.232   | 1      | 100.   |
| 4    | 164.79  | 166.313 | 4.531   | 4.531   | 0      | 100.   |
| 5    | 163.96  | 157.845 | 11.578  | 11.578  | 0      | 100.   |
| 6    | 162.74  | 146.701 | 13.019  | 13.019  | 0      | 100.   |
| 7    | 161.39  | 134.910 | 13.686  | 13.686  | 0      | 100.   |
| 8    | 160.01  | 122.816 | 12.636  | 12.636  | 0      | 100.   |
| 9    | 159.30  | 116.698 | 6.161   | 6.161   | 0      | 100.   |
| 10   | 159.12  | 115.170 | 3.120   | 3.120   | 0      | 100.   |
| 11   | 160.78  | 129.542 | 3.290   | 3.290   | 0      | 100.   |
| 12   | 162.10  | 141.101 | 3.862   | 3.862   | 0      | 100.   |

## 7 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 3.423   | 3.423   | 1      | 100.   |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 3.419   | 3.419   | 1      | 100.   |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 3.735   | 3.735   | 1      | 100.   |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 3.596   | 3.596   | 1      | 100.   |
| 5    | 164.45  | 162.665 | 7.488   | 7.488   | 0      | 100.   |
| 6    | 163.70  | 155.368 | 9.858   | 9.858   | 0      | 100.   |
| 7    | 162.56  | 145.123 | 13.024  | 13.024  | 0      | 100.   |
| 8    | 161.49  | 135.748 | 11.968  | 11.968  | 0      | 100.   |
| 9    | 160.84  | 130.095 | 6.884   | 6.884   | 0      | 100.   |
| 10   | 160.54  | 127.444 | 4.839   | 4.839   | 0      | 100.   |
| 11   | 160.10  | 123.647 | 4.126   | 4.126   | 0      | 100.   |
| 12   | 165.00  | 168.483 | 4.106   | 4.106   | 1      | 100.   |

## 8 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 3.906   | 3.906   | 1      | 100.   |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 3.542   | 3.542   | 1      | 100.   |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 3.950   | 3.950   | 1      | 100.   |
| 4    | 164.98  | 168.390 | 4.701   | 4.701   | 0      | 100.   |
| 5    | 164.67  | 165.000 | 5.227   | 5.227   | 0      | 100.   |
| 6    | 163.89  | 157.180 | 10.982  | 10.982  | 0      | 100.   |
| 7    | 162.46  | 144.283 | 16.152  | 16.152  | 0      | 100.   |
| 8    | 161.23  | 133.473 | 14.270  | 14.270  | 0      | 100.   |
| 9    | 160.23  | 124.758 | 12.064  | 12.064  | 0      | 100.   |
| 10   | 159.58  | 119.075 | 6.977   | 6.977   | 0      | 100.   |
| 11   | 159.10  | 114.996 | 4.847   | 4.847   | 0      | 100.   |
| 12   | 163.51  | 153.641 | 3.852   | 3.852   | 0      | 100.   |

## 9 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 163.63  | 154.769 | 3.707   | 3.707   | 0      | 100.   |
| 2    | 163.62  | 154.642 | 3.343   | 3.343   | 0      | 100.   |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 3.332   | 3.332   | 1      | 100.   |
| 4    | 164.76  | 165.972 | 3.937   | 3.937   | 0      | 100.   |
| 5    | 164.04  | 158.636 | 10.785  | 10.785  | 0      | 100.   |
| 6    | 162.93  | 148.395 | 14.101  | 14.101  | 0      | 100.   |
| 7    | 161.43  | 135.264 | 16.294  | 16.294  | 0      | 100.   |
| 8    | 160.67  | 128.599 | 7.793   | 7.793   | 0      | 100.   |
| 9    | 160.03  | 123.043 | 7.920   | 7.920   | 0      | 100.   |
| 10   | 159.70  | 120.158 | 5.624   | 5.624   | 0      | 100.   |
| 11   | 161.32  | 134.323 | 3.610   | 3.610   | 0      | 100.   |
| 12   | 165.00  | 168.483 | 4.037   | 4.037   | 1      | 100.   |

## 10 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 4.044   | 4.044   | 1      | 100.   |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 3.713   | 3.713   | 1      | 100.   |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 3.849   | 3.849   | 1      | 100.   |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 4.484   | 4.484   | 1      | 100.   |
| 5    | 164.71  | 165.378 | 6.279   | 6.279   | 0      | 100.   |
| 6    | 164.06  | 158.770 | 8.643   | 8.643   | 0      | 100.   |
| 7    | 162.85  | 147.694 | 15.314  | 15.314  | 0      | 100.   |
| 8    | 161.67  | 137.384 | 14.822  | 14.822  | 0      | 100.   |
| 9    | 160.54  | 127.477 | 13.624  | 13.624  | 0      | 100.   |
| 10   | 159.78  | 120.850 | 6.993   | 6.993   | 0      | 100.   |
| 11   | 159.29  | 116.596 | 4.629   | 4.629   | 0      | 100.   |
| 12   | 163.64  | 154.807 | 3.991   | 3.991   | 0      | 100.   |

## 11 eme ANNÉE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defait | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 163.46  | 153.155 | 3.966   | 3.966   | 0      | 100.     |
| 2    | 163.31  | 151.773 | 3.754   | 3.754   | 0      | 100.     |
| 3    | 163.87  | 156.939 | 4.161   | 4.161   | 0      | 100.     |
| 4    | 163.12  | 150.076 | 7.338   | 7.338   | 0      | 100.     |
| 5    | 162.28  | 142.633 | 7.450   | 7.450   | 0      | 100.     |
| 6    | 161.45  | 135.408 | 6.963   | 6.963   | 0      | 100.     |
| 7    | 160.42  | 126.464 | 9.155   | 9.155   | 0      | 100.     |
| 8    | 159.32  | 116.852 | 9.005   | 9.005   | 0      | 100.     |
| 9    | 158.63  | 110.928 | 6.658   | 6.658   | 0      | 100.     |
| 10   | 158.21  | 107.474 | 3.047   | 3.047   | 0      | 100.     |
| 11   | 157.91  | 105.015 | 2.422   | 2.422   | 0      | 100.     |
| 12   | 157.99  | 105.686 | 2.715   | 2.715   | 0      | 100.     |

## 12 eme ANNÉE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defait | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 157.85  | 104.587 | 2.167   | 2.167   | 0      | 100.     |
| 2    | 158.38  | 108.901 | .626    | .626    | 0      | 100.     |
| 3    | 158.54  | 110.205 | 1.384   | 1.384   | 0      | 100.     |
| 4    | 158.57  | 110.459 | 1.579   | 1.579   | 0      | 100.     |
| 5    | 158.42  | 109.208 | 1.585   | 1.585   | 0      | 100.     |
| 6    | 158.15  | 107.010 | 1.459   | 1.459   | 0      | 100.     |
| 7    | 157.80  | 104.130 | 1.961   | 1.961   | 0      | 100.     |
| 8    | 157.42  | 101.192 | 1.939   | 1.939   | 0      | 100.     |
| 9    | 157.21  | 99.585  | 1.057   | 1.057   | 0      | 100.     |
| 10   | 157.06  | 98.453  | 1.130   | 1.130   | 0      | 100.     |
| 11   | 156.89  | 97.159  | 1.320   | 1.320   | 0      | 100.     |
| 12   | 156.81  | 96.608  | 1.224   | 1.224   | 0      | 100.     |

## 13 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 156.44  | 93.986  | 5.467   | 5.467   | 0      | 100.     |
| 2    | 160.75  | 129.288 | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 5.317   | 5.317   | 1      | 100.     |
| 4    | 164.87  | 167.167 | 8.717   | 8.717   | 0      | 100.     |
| 5    | 163.61  | 154.524 | 14.757  | 14.757  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.76  | 138.113 | 18.117  | 18.117  | 0      | 100.     |
| 7    | 159.27  | 116.457 | 21.597  | 21.597  | 0      | 100.     |
| 8    | 156.79  | 96.450  | 20.577  | 20.577  | 0      | 100.     |
| 9    | 155.81  | 89.572  | 7.807   | 7.807   | 0      | 100.     |
| 10   | 155.51  | 87.449  | 5.657   | 5.657   | 0      | 100.     |
| 11   | 155.48  | 87.226  | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |
| 12   | 156.06  | 91.385  | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |

## 14 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 161.12  | 132.511 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |
| 2    | 161.41  | 135.126 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |
| 3    | 161.16  | 132.924 | 5.450   | 5.450   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.73  | 129.186 | 8.090   | 8.090   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.69  | 120.088 | 13.870  | 13.870  | 0      | 100.     |
| 6    | 157.88  | 104.817 | 16.190  | 16.190  | 0      | 100.     |
| 7    | 155.81  | 89.517  | 16.260  | 16.260  | 0      | 100.     |
| 8    | 153.22  | 71.592  | 20.790  | 20.790  | 0      | 100.     |
| 9    | 152.07  | 64.290  | 10.010  | 10.010  | 0      | 100.     |
| 10   | 151.31  | 59.731  | 5.810   | 5.810   | 0      | 100.     |
| 11   | 151.25  | 59.395  | 5.450   | 5.450   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.61  | 61.536  | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |



## 15 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 157.15  | 99.111  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 2    | 157.03  | 98.254  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 3    | 164.17  | 159.846 | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 6.691   | 6.691   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.70  | 155.364 | 14.191  | 14.191  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.42  | 135.179 | 21.351  | 21.351  | 0      | 100.     |
| 7    | 159.20  | 115.795 | 21.201  | 21.201  | 0      | 100.     |
| 8    | 157.15  | 99.147  | 17.771  | 17.771  | 0      | 100.     |
| 9    | 156.64  | 95.394  | 6.191   | 6.191   | 0      | 100.     |
| 10   | 156.15  | 91.938  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 11   | 159.44  | 117.875 | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 12   | 159.55  | 118.828 | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |

## 16 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 159.47  | 118.116 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 2    | 160.23  | 124.776 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.42  | 126.475 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 5.443   | 5.443   | 1      | 100.     |
| 5    | 164.19  | 160.083 | 10.993  | 10.993  | 0      | 100.     |
| 6    | 162.93  | 148.421 | 16.653  | 16.653  | 0      | 100.     |
| 7    | 160.91  | 130.708 | 19.413  | 19.413  | 0      | 100.     |
| 8    | 159.03  | 114.402 | 18.513  | 18.513  | 0      | 100.     |
| 9    | 158.13  | 106.804 | 9.973   | 9.973   | 0      | 100.     |
| 10   | 157.80  | 104.129 | 5.453   | 5.453   | 0      | 100.     |
| 11   | 165.00  | 168.483 | 5.253   | 5.253   | 1      | 100.     |
| 12   | 165.00  | 168.483 | 5.253   | 5.253   | 1      | 100.     |

## 17 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 5.323   | 5.323   | 1      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 5.323   | 5.323   | 1      | 100.     |
| 3    | 164.90  | 167.572 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 4    | 164.60  | 164.190 | 6.513   | 6.513   | 0      | 100.     |
| 5    | 163.41  | 152.704 | 15.053  | 15.053  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.06  | 132.052 | 22.083  | 22.083  | 0      | 100.     |
| 7    | 158.60  | 110.720 | 21.853  | 21.853  | 0      | 100.     |
| 8    | 156.08  | 91.489  | 21.343  | 21.343  | 0      | 100.     |
| 9    | 155.35  | 86.328  | 8.433   | 8.433   | 0      | 100.     |
| 10   | 155.09  | 84.432  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 11   | 155.36  | 86.393  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 12   | 158.32  | 108.421 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |

## 18 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 159.49  | 118.311 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 2    | 162.15  | 141.503 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 3    | 163.04  | 149.418 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 7.425   | 7.425   | 1      | 100.     |
| 5    | 164.16  | 159.723 | 12.365  | 12.365  | 0      | 100.     |
| 6    | 162.05  | 140.700 | 18.995  | 18.995  | 0      | 100.     |
| 7    | 159.63  | 119.544 | 23.075  | 23.075  | 0      | 100.     |
| 8    | 157.48  | 101.620 | 21.415  | 21.415  | 0      | 100.     |
| 9    | 156.23  | 92.495  | 9.935   | 9.935   | 0      | 100.     |
| 10   | 155.70  | 88.809  | 6.275   | 6.275   | 0      | 100.     |
| 11   | 157.26  | 99.983  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 12   | 159.00  | 114.077 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |

## 19 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 158.82  | 112.579 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 2    | 159.63  | 119.551 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.18  | 124.319 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.70  | 128.883 | 5.526   | 5.526   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.60  | 119.303 | 11.956  | 11.956  | 0      | 100.     |
| 6    | 157.04  | 98.305  | 21.256  | 21.256  | 0      | 100.     |
| 7    | 154.05  | 77.110  | 23.706  | 23.706  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.14  | 58.745  | 19.376  | 19.376  | 0      | 100.     |
| 9    | 149.71  | 50.639  | 9.216   | 9.216   | 0      | 100.     |
| 10   | 149.08  | 47.190  | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.29  | 48.354  | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 12   | 149.43  | 49.104  | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |

## 20 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 148.93  | 46.416  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 2    | 161.16  | 132.907 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 3    | 161.46  | 135.496 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 6.176   | 6.176   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.84  | 156.649 | 13.116  | 13.116  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.88  | 139.177 | 18.996  | 18.996  | 0      | 100.     |
| 7    | 159.42  | 117.757 | 22.986  | 22.986  | 0      | 100.     |
| 8    | 156.91  | 97.297  | 21.746  | 21.746  | 0      | 100.     |
| 9    | 155.79  | 89.405  | 8.706   | 8.706   | 0      | 100.     |
| 10   | 155.43  | 86.876  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 11   | 155.45  | 87.034  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 12   | 156.78  | 96.363  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |

## 21 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 156.79  | 96.435  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 2    | 157.91  | 105.035 | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 3    | 159.52  | 118.559 | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 4    | 159.49  | 118.341 | 5.675   | 5.675   | 0      | 100.     |
| 5    | 158.17  | 107.147 | 12.885  | 12.885  | 0      | 100.     |
| 6    | 155.79  | 89.391  | 19.665  | 19.665  | 0      | 100.     |
| 7    | 152.27  | 65.542  | 24.575  | 24.575  | 0      | 100.     |
| 8    | 148.79  | 45.682  | 21.515  | 21.515  | 0      | 100.     |
| 9    | 147.00  | 36.557  | 9.565   | 9.565   | 0      | 100.     |
| 10   | 146.23  | 32.885  | 6.165   | 6.165   | 0      | 100.     |
| 11   | 147.44  | 38.705  | 5.715   | 5.715   | 0      | 100.     |
| 12   | 158.74  | 111.921 | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |

## 22 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 2    | 164.92  | 167.735 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 5.817   | 5.817   | 1      | 100.     |
| 5    | 164.05  | 158.688 | 11.447  | 11.447  | 0      | 100.     |
| 6    | 162.42  | 143.875 | 16.207  | 16.207  | 0      | 100.     |
| 7    | 160.00  | 122.747 | 22.187  | 22.187  | 0      | 100.     |
| 8    | 157.96  | 105.418 | 19.667  | 19.667  | 0      | 100.     |
| 9    | 156.85  | 96.885  | 9.437   | 9.437   | 0      | 100.     |
| 10   | 156.63  | 95.331  | 6.797   | 6.797   | 0      | 100.     |
| 11   | 162.64  | 145.815 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 12   | 162.35  | 143.273 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |

## 23 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 163.32  | 151.900 | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 4    | 164.90  | 167.467 | 7.105   | 7.105   | 0      | 100.     |
| 5    | 163.86  | 156.886 | 15.205  | 15.205  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.65  | 137.187 | 20.725  | 20.725  | 0      | 100.     |
| 7    | 159.03  | 114.391 | 22.755  | 22.755  | 0      | 100.     |
| 8    | 156.64  | 95.368  | 21.735  | 21.735  | 0      | 100.     |
| 9    | 155.19  | 85.169  | 11.825  | 11.825  | 0      | 100.     |
| 10   | 154.84  | 82.691  | 6.865   | 6.865   | 0      | 100.     |
| 11   | 154.69  | 81.629  | 7.005   | 7.005   | 0      | 100.     |
| 12   | 155.03  | 84.037  | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |

## 24 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 159.23  | 116.106 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 2    | 159.28  | 116.518 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 3    | 159.37  | 117.316 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.66  | 128.550 | 7.312   | 7.312   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.45  | 117.968 | 14.042  | 14.042  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.90  | 97.223  | 21.762  | 21.762  | 0      | 100.     |
| 7    | 153.86  | 75.836  | 22.512  | 22.512  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.49  | 54.973  | 23.042  | 23.042  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.47  | 43.987  | 12.132  | 12.132  | 0      | 100.     |
| 10   | 148.21  | 42.608  | 6.782   | 6.782   | 0      | 100.     |
| 11   | 150.20  | 53.333  | 7.022   | 7.022   | 0      | 100.     |
| 12   | 150.62  | 55.717  | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |

## 25 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 152.74  | 68.465  | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 2    | 153.39  | 72.704  | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 3    | 157.22  | 99.620  | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.98  | 131.309 | 7.691   | 7.691   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.43  | 117.766 | 15.811  | 15.811  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.84  | 96.841  | 22.521  | 22.521  | 0      | 100.     |
| 7    | 153.63  | 74.290  | 24.511  | 24.511  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.78  | 56.627  | 21.381  | 21.381  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.81  | 45.776  | 11.561  | 11.561  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.92  | 41.142  | 7.061   | 7.061   | 0      | 100.     |
| 11   | 155.20  | 85.207  | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 12   | 155.94  | 90.486  | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |

## 26 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 155.55  | 87.722  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 2    | 155.45  | 87.030  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 3    | 155.54  | 87.675  | 6.943   | 6.943   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.68  | 128.749 | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.57  | 119.033 | 10.753  | 10.753  | 0      | 100.     |
| 6    | 157.52  | 101.967 | 20.763  | 20.763  | 0      | 100.     |
| 7    | 153.86  | 75.832  | 26.683  | 26.683  | 0      | 100.     |
| 8    | 149.64  | 50.266  | 25.663  | 25.663  | 0      | 100.     |
| 9    | 147.53  | 39.169  | 12.473  | 12.473  | 0      | 100.     |
| 10   | 146.48  | 34.030  | 7.453   | 7.453   | 0      | 100.     |
| 11   | 145.58  | 29.968  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 12   | 145.85  | 31.140  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |

## 27 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 150.79  | 56.700 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 2    | 151.17  | 58.900 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 3    | 150.82  | 56.881 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 4    | 150.57  | 55.438 | 7.670   | 7.670   | 0      | 100.     |
| 5    | 148.70  | 45.186 | 13.470  | 13.470  | 0      | 100.     |
| 6    | 147.76  | 40.300 | 18.890  | 7.060   | 1      | 37.      |
| 7    | 146.68  | 35.012 | 20.170  | 7.060   | 1      | 35.      |
| 8    | 140.77  | 13.052 | 23.590  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 138.77  | 8.099  | 12.340  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 136.76  | 4.231  | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 139.59  | 10.010 | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 140.60  | 12.581 | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |

## 28 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 153.23  | 71.654  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 2    | 161.02  | 131.670 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 3    | 162.14  | 141.418 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 4    | 162.42  | 143.918 | 7.668   | 7.668   | 0      | 100.     |
| 5    | 161.11  | 132.461 | 12.788  | 12.788  | 0      | 100.     |
| 6    | 158.79  | 112.363 | 21.488  | 21.488  | 0      | 100.     |
| 7    | 156.07  | 91.430  | 22.698  | 22.698  | 0      | 100.     |
| 8    | 153.43  | 72.963  | 20.978  | 20.978  | 0      | 100.     |
| 9    | 152.00  | 63.874  | 9.808   | 9.808   | 0      | 100.     |
| 10   | 151.91  | 63.335  | 7.518   | 7.518   | 0      | 100.     |
| 11   | 155.80  | 89.481  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 12   | 162.89  | 148.055 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |

## 29 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 163.50  | 153.539 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 2    | 163.60  | 154.431 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 7.291   | 7.291   | 1      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 8.921   | 8.921   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.41  | 152.698 | 17.371  | 17.371  | 0      | 100.     |
| 6    | 160.77  | 129.527 | 23.441  | 23.441  | 0      | 100.     |
| 7    | 157.73  | 103.586 | 29.801  | 29.801  | 0      | 100.     |
| 8    | 153.89  | 76.040  | 22.081  | 22.081  | 0      | 100.     |
| 9    | 152.23  | 65.261  | 12.331  | 12.331  | 0      | 100.     |
| 10   | 151.52  | 60.990  | 9.111   | 9.111   | 0      | 100.     |
| 11   | 151.57  | 61.283  | 7.971   | 7.971   | 0      | 100.     |
| 12   | 150.97  | 57.758  | 7.381   | 7.381   | 0      | 100.     |

## 30 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 153.02  | 70.289 | 7.437   | 7.437   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.67  | 68.038 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.37  | 79.322 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 4    | 153.50  | 73.429 | 8.257   | 8.257   | 0      | 100.     |
| 5    | 151.37  | 60.071 | 15.377  | 15.377  | 0      | 100.     |
| 6    | 147.64  | 39.722 | 21.587  | 21.587  | 0      | 100.     |
| 7    | 146.77  | 35.403 | 22.327  | 7.417   | 1      | 33.      |
| 8    | 138.07  | 6.584  | 19.317  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 133.75  | 1.025  | 9.457   | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.87  | 4.427  | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |



## 31 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 134.69  | 1.733  | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 2    | 132.75  | .400   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 3    | 120.00  | .000   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 4    | 141.51  | 15.129 | 7.560   | 7.560   | 1      | 100.     |
| 5    | 137.14  | 4.909  | 13.250  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 22.090  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 27.120  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 23.580  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 11.980  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 8.200   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 144.69  | 26.203 | 7.900   | 7.900   | 0      | 100.     |
| 12   | 143.77  | 22.605 | 7.560   | 7.560   | 0      | 100.     |

## 32 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 145.18  | 28.240 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 2    | 144.47  | 25.292 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 3    | 145.50  | 29.588 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 4    | 146.24  | 32.910 | 8.992   | 8.992   | 0      | 100.     |
| 5    | 144.65  | 26.036 | 15.782  | 7.682   | 1      | 49.      |
| 6    | 138.27  | 7.009  | 20.482  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 25.532  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 24.852  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 10.142  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 138.46  | 7.421  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.43  | 3.701  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |

ANNEXE V-4

## 13 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 156.41  | 93.719  | 5.734   | 5.734   | 0      | 100.     |
| 2    | 160.72  | 129.021 | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 5.486   | 5.486   | 1      | 100.     |
| 4    | 164.65  | 164.788 | 11.096  | 11.096  | 0      | 100.     |
| 5    | 162.64  | 145.840 | 21.062  | 21.062  | 0      | 100.     |
| 6    | 159.79  | 120.940 | 26.606  | 26.606  | 0      | 100.     |
| 7    | 155.66  | 88.533  | 32.348  | 32.348  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.09  | 58.438  | 30.665  | 30.665  | 0      | 100.     |
| 9    | 149.55  | 49.772  | 9.595   | 9.595   | 0      | 100.     |
| 10   | 149.09  | 47.259  | 6.047   | 6.047   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.05  | 47.036  | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |
| 12   | 149.81  | 51.195  | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.     |

## 14 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 156.20  | 92.321 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |
| 2    | 156.58  | 94.936 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |
| 3    | 156.23  | 92.520 | 5.664   | 5.664   | 0      | 100.     |
| 4    | 155.43  | 86.851 | 10.021  | 10.021  | 0      | 100.     |
| 5    | 153.30  | 72.065 | 19.558  | 19.558  | 0      | 100.     |
| 6    | 149.52  | 49.598 | 23.386  | 23.386  | 0      | 100.     |
| 7    | 148.75  | 45.438 | 23.501  | 5.120   | 1      | 22.      |
| 8    | 148.32  | 43.183 | 30.976  | 5.120   | 1      | 17.      |
| 9    | 146.19  | 32.702 | 13.189  | 13.189  | 0      | 100.     |
| 10   | 145.05  | 27.694 | 6.259   | 6.259   | 0      | 100.     |
| 11   | 144.92  | 27.144 | 5.664   | 5.664   | 0      | 100.     |
| 12   | 145.43  | 29.285 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.     |

## 15 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 152.49  | 66.860  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.35  | 66.003  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.55  | 127.595 | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 4    | 162.26  | 142.543 | 7.666   | 7.666   | 0      | 100.     |
| 5    | 160.09  | 123.575 | 20.041  | 20.041  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.29  | 92.885  | 31.855  | 31.855  | 0      | 100.     |
| 7    | 151.87  | 63.094  | 31.608  | 31.608  | 0      | 100.     |
| 8    | 147.77  | 40.345  | 25.948  | 23.872  | 0      | 92.      |
| 9    | 146.88  | 35.942  | 6.841   | 6.841   | 0      | 100.     |
| 10   | 146.14  | 32.486  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 11   | 151.09  | 58.423  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.25  | 59.377  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |

## 16 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 151.13  | 58.664  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.24  | 65.324  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 3    | 152.51  | 67.023  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 4    | 158.73  | 111.834 | 5.567   | 5.567   | 0      | 100.     |
| 5    | 157.23  | 99.703  | 14.724  | 14.724  | 0      | 100.     |
| 6    | 154.55  | 80.630  | 24.063  | 24.063  | 0      | 100.     |
| 7    | 150.26  | 53.714  | 28.617  | 28.617  | 0      | 100.     |
| 8    | 149.72  | 50.667  | 27.132  | 5.253   | 1      | 19.      |
| 9    | 147.70  | 40.001  | 13.041  | 13.041  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.14  | 37.196  | 5.583   | 5.583   | 0      | 100.     |
| 11   | 157.55  | 102.181 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 12   | 164.13  | 159.483 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |

## 17 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 164.78  | 166.193 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 5.323   | 5.323   | 1      | 100.     |
| 3    | 164.90  | 167.572 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 4    | 164.52  | 163.416 | 7.287   | 7.287   | 0      | 100.     |
| 5    | 162.61  | 145.605 | 21.378  | 21.378  | 0      | 100.     |
| 6    | 158.99  | 114.059 | 32.977  | 32.977  | 0      | 100.     |
| 7    | 154.74  | 81.982  | 32.598  | 32.598  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.02  | 52.338  | 31.756  | 31.756  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.69  | 45.155  | 10.455  | 10.455  | 0      | 100.     |
| 10   | 148.33  | 43.259  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.71  | 45.220  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 12   | 152.55  | 67.248  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |

## 18 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.05  | 77.138  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 2    | 157.31  | 100.330 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 3    | 158.30  | 108.245 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.68  | 128.727 | 8.744   | 8.744   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.16  | 115.437 | 16.895  | 16.895  | 0      | 100.     |
| 6    | 155.53  | 87.573  | 27.835  | 27.835  | 0      | 100.     |
| 7    | 150.48  | 54.926  | 34.567  | 34.567  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.14  | 53.022  | 31.828  | 5.395   | 1      | 17.      |
| 9    | 147.88  | 40.946  | 12.886  | 12.886  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.03  | 36.688  | 6.847   | 6.847   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.20  | 47.862  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.68  | 61.956  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |

## 19 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 151.43  | 60.458 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.58  | 67.430 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 3    | 153.32  | 72.198 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 4    | 153.99  | 76.728 | 5.559   | 5.559   | 0      | 100.     |
| 5    | 151.85  | 62.937 | 16.168  | 16.168  | 0      | 100.     |
| 6    | 150.96  | 57.718 | 31.513  | 5.476   | 1      | 17.      |
| 7    | 150.45  | 54.754 | 35.556  | 5.476   | 1      | 15.      |
| 8    | 149.65  | 50.288 | 28.411  | 5.476   | 1      | 19.      |
| 9    | 147.65  | 39.752 | 11.647  | 11.647  | 0      | 100.     |
| 10   | 146.95  | 36.303 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 11   | 147.19  | 37.467 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 12   | 147.34  | 38.216 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |

## 20 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 146.79  | 35.529  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 2    | 159.91  | 122.019 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.21  | 124.609 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 6.586   | 6.586   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.30  | 151.728 | 18.037  | 18.037  | 0      | 100.     |
| 6    | 160.31  | 125.513 | 27.739  | 27.739  | 0      | 100.     |
| 7    | 156.27  | 92.757  | 34.322  | 34.322  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.65  | 61.767  | 32.276  | 32.276  | 0      | 100.     |
| 9    | 149.92  | 51.821  | 10.760  | 10.760  | 0      | 100.     |
| 10   | 149.46  | 49.292  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.49  | 49.450  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.15  | 58.779  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |

## 21 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 151.16  | 58.851  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.58  | 67.451  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.60  | 80.975  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 4    | 154.56  | 80.724  | 5.708   | 5.708   | 0      | 100.     |
| 5    | 152.15  | 64.811  | 17.604  | 17.604  | 0      | 100.     |
| 6    | 151.54  | 61.095  | 28.791  | 5.625   | 1      | 20.      |
| 7    | 150.70  | 56.196  | 36.893  | 5.625   | 1      | 15.      |
| 8    | 150.00  | 52.226  | 31.844  | 5.625   | 1      | 18.      |
| 9    | 147.80  | 40.540  | 12.126  | 12.126  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.00  | 36.517  | 6.516   | 6.516   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.14  | 42.279  | 5.773   | 5.773   | 0      | 100.     |
| 12   | 159.16  | 115.495 | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |

## 22 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 2    | 164.92  | 167.735 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 5.889   | 5.889   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.65  | 154.957 | 15.178  | 15.178  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.21  | 133.319 | 23.032  | 23.032  | 0      | 100.     |
| 7    | 157.46  | 101.479 | 32.899  | 32.899  | 0      | 100.     |
| 8    | 153.75  | 75.076  | 28.741  | 28.741  | 0      | 100.     |
| 9    | 152.04  | 64.118  | 11.862  | 11.862  | 0      | 100.     |
| 10   | 151.67  | 61.855  | 7.506   | 7.506   | 0      | 100.     |
| 11   | 158.79  | 112.339 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 12   | 158.49  | 109.797 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |

## 23 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 159.50  | 118.424 | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 4    | 164.87  | 167.148 | 7.424   | 7.424   | 0      | 100.     |
| 5    | 163.22  | 150.983 | 20.789  | 20.789  | 0      | 100.     |
| 6    | 159.93  | 122.112 | 29.897  | 29.897  | 0      | 100.     |
| 7    | 155.71  | 88.825  | 33.246  | 33.246  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.35  | 59.974  | 31.563  | 31.563  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.93  | 46.388  | 15.212  | 15.212  | 0      | 100.     |
| 10   | 148.43  | 43.747  | 7.028   | 7.028   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.17  | 42.431  | 7.259   | 7.259   | 0      | 100.     |
| 12   | 148.63  | 44.839  | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |

## 24 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.02  | 76.908 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 2    | 154.08  | 77.320 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.19  | 78.118 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 4    | 155.73  | 88.962 | 7.702   | 7.702   | 0      | 100.     |
| 5    | 153.53  | 73.615 | 18.807  | 18.807  | 0      | 100.     |
| 6    | 148.30  | 43.087 | 31.545  | 31.545  | 0      | 100.     |
| 7    | 140.16  | 11.430 | 32.782  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 33.657  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 15.655  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 6.828   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 139.80  | 10.522 | 7.224   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 140.72  | 12.907 | 6.712   | .000    | 1      | 0.       |



## 25 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 144.56  | 25.655 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 2    | 145.57  | 29.894 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 3    | 150.81  | 56.810 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 4    | 155.58  | 87.932 | 8.257   | 8.257   | 0      | 100.     |
| 5    | 152.75  | 68.546 | 21.655  | 21.655  | 0      | 100.     |
| 6    | 151.91  | 63.321 | 32.726  | 6.821   | 1      | 21.      |
| 7    | 151.09  | 58.460 | 36.009  | 6.821   | 1      | 19.      |
| 8    | 150.55  | 55.357 | 30.845  | 6.821   | 1      | 22.      |
| 9    | 147.98  | 41.424 | 14.642  | 14.642  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.02  | 36.635 | 7.217   | 7.217   | 0      | 100.     |
| 11   | 154.56  | 80.700 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 12   | 155.30  | 85.979 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |

## 26 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.92  | 83.215  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 2    | 154.82  | 82.523  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.91  | 83.161  | 6.950   | 6.950   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.17  | 124.235 | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 5    | 158.76  | 112.036 | 13.236  | 13.236  | 0      | 100.     |
| 6    | 155.30  | 85.980  | 29.753  | 29.753  | 0      | 100.     |
| 7    | 149.04  | 47.007  | 39.521  | 39.521  | 0      | 100.     |
| 8    | 139.28  | 9.265   | 37.838  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000    | 16.074  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000    | 7.791   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 120.00  | .000    | 6.933   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 133.96  | 1.172   | 6.933   | .000    | 1      | 0.       |

## 27 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 144.82  | 26.732 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 2    | 145.35  | 28.932 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 3    | 144.87  | 26.913 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 4    | 144.41  | 25.073 | 8.067   | 8.067   | 0      | 100.     |
| 5    | 139.85  | 10.654 | 17.636  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 26.580  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 28.692  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 34.335  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 15.772  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 137.59  | 5.779  | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 138.88  | 8.350  | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |

## 28 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 152.57  | 67.424  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 2    | 160.53  | 127.440 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 3    | 161.65  | 137.187 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 4    | 161.90  | 139.362 | 7.993   | 7.993   | 0      | 100.     |
| 5    | 160.17  | 124.253 | 16.441  | 16.441  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.57  | 94.846  | 30.796  | 30.796  | 0      | 100.     |
| 7    | 151.99  | 63.819  | 32.793  | 32.793  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.21  | 59.161  | 29.955  | 7.168   | 1      | 24.      |
| 9    | 149.29  | 48.356  | 11.524  | 11.524  | 0      | 100.     |
| 10   | 149.15  | 47.589  | 7.746   | 7.746   | 0      | 100.     |
| 11   | 153.55  | 73.735  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 12   | 161.09  | 132.310 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |

## 29 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1.   | 161.72  | 137.793 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 2.   | 161.82  | 138.686 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 3    | 164.08  | 158.950 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 9.981   | 9.981   | 1      | 100.     |
| 5    | 162.68  | 146.146 | 23.923  | 23.923  | 0      | 100.     |
| 6    | 158.81  | 112.477 | 33.939  | 33.939  | 0      | 100.     |
| 7    | 153.27  | 71.904  | 44.433  | 44.433  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.21  | 59.148  | 31.694  | 7.291   | 1      | 23.      |
| 9    | 148.68  | 45.093  | 15.607  | 15.607  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.63  | 39.639  | 10.294  | 10.294  | 0      | 100.     |
| 11   | 147.60  | 39.490  | 8.413   | 8.413   | 0      | 100.     |
| 12   | 146.87  | 35.907  | 7.439   | 7.439   | 0      | 100.     |

## 30 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 149.31  | 48.425 | 7.450   | 7.450   | 0      | 100.     |
| 2    | 148.89  | 46.174 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 3    | 150.92  | 57.458 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 4    | 149.78  | 51.019 | 8.803   | 8.803   | 0      | 100.     |
| 5    | 148.78  | 45.621 | 20.551  | 7.417   | 1      | 36.      |
| 6    | 147.59  | 39.442 | 30.798  | 7.417   | 1      | 24.      |
| 7    | 139.80  | 10.521 | 32.019  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 27.052  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 10.783  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.87  | 4.427  | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |

## 31 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 134.69  | 1.733  | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 2    | 132.75  | .400   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 3    | 120.00  | .000   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 4    | 141.51  | 15.129 | 7.560   | 7.560   | 1      | 100.     |
| 5    | 134.02  | 1.210  | 16.949  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 31.535  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 39.834  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 33.993  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 14.853  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 8.616   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 144.64  | 25.982 | 8.121   | 8.121   | 0      | 100.     |
| 12   | 143.71  | 22.384 | 7.560   | 7.560   | 0      | 100.     |

## 32 eme ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 145.13  | 28.019 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 2    | 144.41  | 25.071 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 3    | 145.45  | 29.367 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 4    | 146.00  | 31.837 | 9.844   | 9.844   | 0      | 100.     |
| 5    | 140.23  | 11.598 | 21.047  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 28.802  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 37.135  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 36.013  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 11.741  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 138.46  | 7.421  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.43  | 3.701  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |

ANNEXE V-5

## 1 ère ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 120.00  | .000   | 5.734   | .000    | 1      | 0.     |
| 2    | 146.74  | 35.302 | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.   |
| 3    | 157.18  | 99.345 | 5.486   | 5.486   | 0      | 100.   |
| 4    | 156.68  | 95.650 | 11.096  | 11.096  | 0      | 100.   |
| 5    | 153.99  | 76.702 | 21.062  | 21.062  | 0      | 100.   |
| 6    | 149.92  | 51.802 | 26.606  | 26.606  | 0      | 100.   |
| 7    | 148.98  | 46.686 | 32.348  | 5.057   | 1      | 16.    |
| 8    | 148.13  | 42.200 | 30.665  | 5.057   | 1      | 16.    |
| 9    | 146.37  | 33.533 | 9.595   | 9.595   | 0      | 100.   |
| 10   | 145.82  | 31.021 | 6.047   | 6.047   | 0      | 100.   |
| 11   | 145.77  | 30.798 | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.   |
| 12   | 146.67  | 34.957 | 5.057   | 5.057   | 0      | 100.   |

## 2 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 1    | 153.90  | 76.082 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.   |
| 2    | 154.28  | 78.698 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.   |
| 3    | 153.92  | 76.281 | 5.664   | 5.664   | 0      | 100.   |
| 4    | 153.07  | 70.613 | 10.021  | 10.021  | 0      | 100.   |
| 5    | 150.64  | 55.827 | 19.558  | 19.558  | 0      | 100.   |
| 6    | 149.89  | 51.626 | 23.386  | 5.120   | 1      | 22.    |
| 7    | 149.13  | 47.466 | 23.501  | 5.120   | 1      | 22.    |
| 8    | 148.70  | 45.211 | 30.976  | 5.120   | 1      | 17.    |
| 9    | 146.62  | 34.730 | 13.189  | 13.189  | 0      | 100.   |
| 10   | 145.53  | 29.722 | 6.259   | 6.259   | 0      | 100.   |
| 11   | 145.40  | 29.172 | 5.664   | 5.664   | 0      | 100.   |
| 12   | 145.89  | 31.312 | 5.120   | 5.120   | 0      | 100.   |

## 3 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 152.81  | 68.888  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.67  | 68.030  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.78  | 129.622 | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 4    | 162.50  | 144.571 | 7.666   | 7.666   | 0      | 100.     |
| 5    | 160.32  | 125.602 | 20.041  | 20.041  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.58  | 94.913  | 31.855  | 31.855  | 0      | 100.     |
| 7    | 152.21  | 65.122  | 31.608  | 31.608  | 0      | 100.     |
| 8    | 147.76  | 40.297  | 25.948  | 25.948  | 0      | 100.     |
| 9    | 146.87  | 35.894  | 6.841   | 6.841   | 0      | 100.     |
| 10   | 146.13  | 32.438  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 11   | 151.08  | 58.375  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.24  | 59.328  | 5.191   | 5.191   | 0      | 100.     |

## 4 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 151.12  | 58.615  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.23  | 65.276  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 3    | 152.50  | 66.975  | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 4    | 158.73  | 111.785 | 5.567   | 5.567   | 0      | 100.     |
| 5    | 157.22  | 99.655  | 14.724  | 14.724  | 0      | 100.     |
| 6    | 154.54  | 80.582  | 24.063  | 24.063  | 0      | 100.     |
| 7    | 150.25  | 53.666  | 28.617  | 28.617  | 0      | 100.     |
| 8    | 149.71  | 50.619  | 27.132  | 5.253   | 1      | 19.      |
| 9    | 147.69  | 39.953  | 13.041  | 13.041  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.13  | 37.148  | 5.583   | 5.583   | 0      | 100.     |
| 11   | 157.54  | 102.133 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |
| 12   | 164.13  | 159.435 | 5.253   | 5.253   | 0      | 100.     |

## 5 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 164.78  | 166.144 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 5.323   | 5.323   | 1      | 100.     |
| 3    | 164.90  | 167.572 | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 4    | 164.52  | 163.416 | 7.287   | 7.287   | 0      | 100.     |
| 5    | 162.61  | 145.605 | 21.378  | 21.378  | 0      | 100.     |
| 6    | 158.99  | 114.059 | 32.977  | 32.977  | 0      | 100.     |
| 7    | 154.74  | 81.982  | 32.598  | 32.598  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.02  | 52.338  | 31.756  | 31.756  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.69  | 45.155  | 10.455  | 10.455  | 0      | 100.     |
| 10   | 148.33  | 43.259  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.71  | 45.220  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |
| 12   | 152.55  | 67.248  | 5.323   | 5.323   | 0      | 100.     |

## 6 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.05  | 77.138  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 2    | 157.31  | 100.330 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 3    | 158.30  | 108.245 | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.68  | 128.727 | 8.744   | 8.744   | 0      | 100.     |
| 5    | 159.16  | 115.437 | 16.895  | 16.895  | 0      | 100.     |
| 6    | 155.53  | 87.573  | 27.835  | 27.835  | 0      | 100.     |
| 7    | 150.48  | 54.926  | 34.567  | 34.567  | 0      | 100.     |
| 8    | 150.14  | 53.022  | 31.828  | 5.395   | 1      | 17.      |
| 9    | 147.88  | 40.946  | 12.886  | 12.886  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.03  | 36.688  | 6.847   | 6.847   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.20  | 47.862  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.68  | 61.956  | 5.395   | 5.395   | 0      | 100.     |



## 7 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 151.43  | 60.458 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.58  | 67.430 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 3    | 153.32  | 72.198 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 4    | 153.99  | 76.728 | 5.559   | 5.559   | 0      | 100.     |
| 5    | 151.85  | 62.937 | 16.168  | 16.168  | 0      | 100.     |
| 6    | 150.96  | 57.718 | 31.513  | 5.476   | 1      | 17.      |
| 7    | 150.45  | 54.754 | 35.556  | 5.476   | 1      | 15.      |
| 8    | 149.65  | 50.288 | 28.411  | 5.476   | 1      | 19.      |
| 9    | 147.65  | 39.752 | 11.647  | 11.647  | 0      | 100.     |
| 10   | 146.95  | 36.303 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 11   | 147.19  | 37.467 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |
| 12   | 147.34  | 38.216 | 5.476   | 5.476   | 0      | 100.     |

## 8 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 146.79  | 35.529  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 2    | 159.91  | 122.019 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 3    | 160.21  | 124.609 | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 6.586   | 6.586   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.30  | 151.728 | 18.037  | 18.037  | 0      | 100.     |
| 6    | 160.31  | 125.513 | 27.739  | 27.739  | 0      | 100.     |
| 7    | 156.27  | 92.757  | 34.322  | 34.322  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.65  | 61.767  | 32.276  | 32.276  | 0      | 100.     |
| 9    | 149.92  | 51.821  | 10.760  | 10.760  | 0      | 100.     |
| 10   | 149.46  | 49.292  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 11   | 149.49  | 49.450  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |
| 12   | 151.15  | 58.779  | 5.546   | 5.546   | 0      | 100.     |

## 9 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
|      | 151.16  | 58.851  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 2    | 152.58  | 67.451  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.60  | 80.975  | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |
| 4    | 154.56  | 80.724  | 5.708   | 5.708   | 0      | 100.     |
| 5    | 152.15  | 64.811  | 17.604  | 17.604  | 0      | 100.     |
| 6    | 151.54  | 61.095  | 28.791  | 5.625   | 1      | 20.      |
| 7    | 150.70  | 56.196  | 36.893  | 5.625   | 1      | 15.      |
| 8    | 150.00  | 52.226  | 31.844  | 5.625   | 1      | 18.      |
| 9    | 147.80  | 40.540  | 12.126  | 12.126  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.00  | 36.517  | 6.516   | 6.516   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.14  | 42.279  | 5.773   | 5.773   | 0      | 100.     |
| 12   | 159.16  | 115.495 | 5.625   | 5.625   | 0      | 100.     |

## 10 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 2    | 164.92  | 167.735 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 5.707   | 5.707   | 1      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 5.889   | 5.889   | 1      | 100.     |
| 5    | 163.65  | 154.957 | 15.178  | 15.178  | 0      | 100.     |
| 6    | 161.21  | 133.319 | 23.032  | 23.032  | 0      | 100.     |
| 7    | 157.46  | 101.479 | 32.899  | 32.899  | 0      | 100.     |
| 8    | 153.75  | 75.076  | 28.741  | 28.741  | 0      | 100.     |
| 9    | 152.04  | 64.118  | 11.862  | 11.862  | 0      | 100.     |
| 10   | 151.67  | 61.855  | 7.506   | 7.506   | 0      | 100.     |
| 11   | 158.79  | 112.339 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |
| 12   | 158.49  | 109.797 | 5.707   | 5.707   | 0      | 100.     |

## 11 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 159.50  | 118.424 | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |
| 2    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 3    | 165.00  | 168.483 | 6.615   | 6.615   | 1      | 100.     |
| 4    | 164.87  | 167.148 | 7.424   | 7.424   | 0      | 100.     |
| 5    | 163.22  | 150.983 | 20.789  | 20.789  | 0      | 100.     |
| 6    | 159.93  | 122.112 | 29.897  | 29.897  | 0      | 100.     |
| 7    | 155.71  | 88.825  | 33.246  | 33.246  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.35  | 59.974  | 31.563  | 31.563  | 0      | 100.     |
| 9    | 148.93  | 46.388  | 15.212  | 15.212  | 0      | 100.     |
| 10   | 148.43  | 43.747  | 7.028   | 7.028   | 0      | 100.     |
| 11   | 148.17  | 42.431  | 7.259   | 7.259   | 0      | 100.     |
| 12   | 148.63  | 44.839  | 6.615   | 6.615   | 0      | 100.     |

## 12 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.02  | 76.908 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 2    | 154.08  | 77.320 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.19  | 78.118 | 6.712   | 6.712   | 0      | 100.     |
| 4    | 155.73  | 88.962 | 7.702   | 7.702   | 0      | 100.     |
| 5    | 153.53  | 73.615 | 18.807  | 18.807  | 0      | 100.     |
| 6    | 148.30  | 43.087 | 31.545  | 31.545  | 0      | 100.     |
| 7    | 140.16  | 11.430 | 32.782  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 33.657  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 15.655  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 6.828   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 139.80  | 10.522 | 7.224   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 140.72  | 12.907 | 6.712   | .000    | 1      | 0.       |

## 13 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 144.56  | 25.655 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 2    | 145.57  | 29.894 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 3    | 150.81  | 56.810 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 4    | 155.58  | 87.932 | 8.257   | 8.257   | 0      | 100.     |
| 5    | 152.75  | 68.546 | 21.655  | 21.655  | 0      | 100.     |
| 6    | 151.91  | 63.321 | 32.726  | 6.821   | 1      | 21.      |
| 7    | 151.09  | 58.460 | 36.009  | 6.821   | 1      | 19.      |
| 8    | 150.55  | 55.357 | 30.845  | 6.821   | 1      | 22.      |
| 9    | 147.98  | 41.424 | 14.642  | 14.642  | 0      | 100.     |
| 0    | 147.02  | 36.635 | 7.217   | 7.217   | 0      | 100.     |
| 1    | 154.56  | 80.700 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |
| 2    | 155.30  | 85.979 | 6.821   | 6.821   | 0      | 100.     |

## 14 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 154.92  | 83.215  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 2    | 154.82  | 82.523  | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 3    | 154.91  | 83.161  | 6.950   | 6.950   | 0      | 100.     |
| 4    | 160.17  | 124.235 | 6.933   | 6.933   | 0      | 100.     |
| 5    | 158.76  | 112.036 | 13.236  | 13.236  | 0      | 100.     |
| 6    | 155.30  | 85.980  | 29.753  | 29.753  | 0      | 100.     |
| 7    | 149.04  | 47.007  | 39.521  | 39.521  | 0      | 100.     |
| 8    | 139.28  | 9.265   | 37.838  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000    | 16.074  | .000    | 1      | 0.       |
| 0    | 120.00  | .000    | 7.791   | .000    | 1      | 0.       |
| 1    | 120.00  | .000    | 6.933   | .000    | 1      | 0.       |
| 2    | 133.96  | 1.172   | 6.933   | .000    | 1      | 0.       |

## 15 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 144.82  | 26.732 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 2    | 145.35  | 28.932 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 3    | 144.87  | 26.913 | 7.060   | 7.060   | 0      | 100.     |
| 4    | 144.41  | 25.073 | 8.067   | 8.067   | 0      | 100.     |
| 5    | 139.85  | 10.654 | 17.636  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 26.580  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 28.692  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 34.335  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 15.772  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 137.59  | 5.779  | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 138.88  | 8.350  | 7.060   | .000    | 1      | 0.       |

## 16 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 152.57  | 67.424  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 2    | 160.53  | 127.440 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 3    | 161.65  | 137.187 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 4    | 161.90  | 139.362 | 7.993   | 7.993   | 0      | 100.     |
| 5    | 160.17  | 124.253 | 16.441  | 16.441  | 0      | 100.     |
| 6    | 156.57  | 94.846  | 30.796  | 30.796  | 0      | 100.     |
| 7    | 151.99  | 63.819  | 32.793  | 32.793  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.21  | 59.161  | 29.955  | 7.168   | 1      | 24.      |
| 9    | 149.29  | 48.356  | 11.524  | 11.524  | 0      | 100.     |
| 10   | 149.15  | 47.589  | 7.746   | 7.746   | 0      | 100.     |
| 11   | 153.55  | 73.735  | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |
| 12   | 161.09  | 132.310 | 7.168   | 7.168   | 0      | 100.     |

## 17 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume  | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 161.72  | 137.793 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 2    | 161.82  | 138.686 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 3    | 164.08  | 158.950 | 7.291   | 7.291   | 0      | 100.     |
| 4    | 165.00  | 168.483 | 9.981   | 9.981   | 1      | 100.     |
| 5    | 162.68  | 146.146 | 23.923  | 23.923  | 0      | 100.     |
| 6    | 158.81  | 112.477 | 33.939  | 33.939  | 0      | 100.     |
| 7    | 153.27  | 71.904  | 44.433  | 44.433  | 0      | 100.     |
| 8    | 151.21  | 59.148  | 31.694  | 7.291   | 1      | 23.      |
| 9    | 148.68  | 45.093  | 15.607  | 15.607  | 0      | 100.     |
| 10   | 147.63  | 39.639  | 10.294  | 10.294  | 0      | 100.     |
| 11   | 147.60  | 39.490  | 8.413   | 8.413   | 0      | 100.     |
| 12   | 146.87  | 35.907  | 7.439   | 7.439   | 0      | 100.     |

## 18 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 149.31  | 48.425 | 7.450   | 7.450   | 0      | 100.     |
| 2    | 148.89  | 46.174 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 3    | 150.92  | 57.458 | 7.417   | 7.417   | 0      | 100.     |
| 4    | 149.78  | 51.019 | 8.803   | 8.803   | 0      | 100.     |
| 5    | 148.78  | 45.621 | 20.551  | 7.417   | 1      | 36.      |
| 6    | 147.59  | 39.442 | 30.798  | 7.417   | 1      | 24.      |
| 7    | 139.80  | 10.521 | 32.019  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 27.052  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 10.783  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 120.00  | .000   | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.87  | 4.427  | 7.417   | .000    | 1      | 0.       |

## 19 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 134.69  | 1.733  | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 2    | 132.75  | .400   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 3    | 120.00  | .000   | 7.560   | .000    | 1      | 0.       |
| 4    | 141.51  | 15.129 | 7.560   | 7.560   | 1      | 100.     |
| 5    | 134.02  | 1.210  | 16.949  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 31.535  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 39.834  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 33.993  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 14.853  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 8.616   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 144.64  | 25.982 | 8.121   | 8.121   | 0      | 100.     |
| 12   | 143.71  | 22.384 | 7.560   | 7.560   | 0      | 100.     |

## 20 ème ANNEE

| mois | hauteur | volume | demande | fournit | defail | satisf % |
|------|---------|--------|---------|---------|--------|----------|
| 1    | 145.13  | 28.019 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 2    | 144.41  | 25.071 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 3    | 145.45  | 29.367 | 7.682   | 7.682   | 0      | 100.     |
| 4    | 146.00  | 31.837 | 9.844   | 9.844   | 0      | 100.     |
| 5    | 140.23  | 11.598 | 21.047  | .000    | 1      | 0.       |
| 6    | 120.00  | .000   | 28.802  | .000    | 1      | 0.       |
| 7    | 120.00  | .000   | 37.135  | .000    | 1      | 0.       |
| 8    | 120.00  | .000   | 36.013  | .000    | 1      | 0.       |
| 9    | 120.00  | .000   | 11.741  | .000    | 1      | 0.       |
| 10   | 120.00  | .000   | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 11   | 138.46  | 7.421  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |
| 12   | 136.43  | 3.701  | 7.682   | .000    | 1      | 0.       |