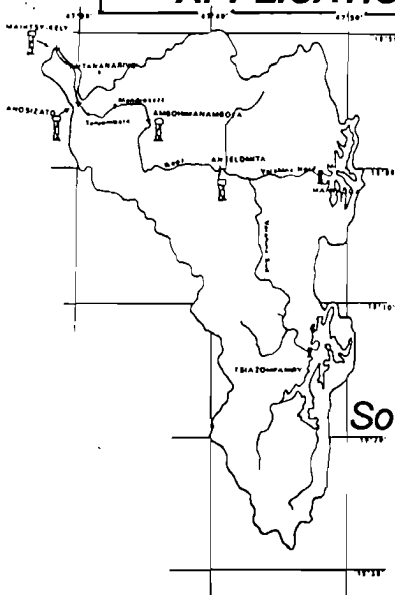


MEMOIRE DE DEA

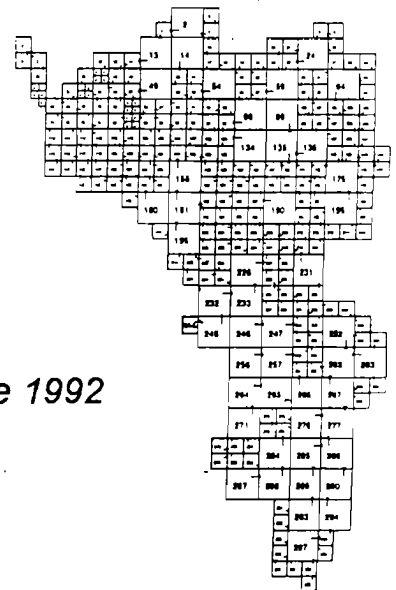
DEA National d'Hydrologie
Option: GESTION ET VALORISATION DE L'EAU

**MODELISATION HYDROLOGIQUE DU
BASSIN VERSANT DE L'IKOPA
A ANTANANARIVO**

APPLICATION D'UN MODELE A DISCRETISATION SPATIALE



par **RAZAFIMANJATO Lala Louis**



Soutenu à Montpellier le 28 Septembre 1992

Jury composé de:

Pr.	C. BOCQUILLON	(U.M. II)
MM.	A. DELACOURT	(ENGREF)
	G. GIRARD	(ORSTOM)
	G. JACCON	(ORSTOM)

AVANT PROPOS

Au terme de ce D.E.A. National d'Hydrologie, Sciences de l'Eau et Aménagement, nous adressons nos sincères remerciements au Professeur C. BOCQUILLON, Responsable de ce DEA et Directeur du Laboratoire d'Hydrologie et de Modélisation de l'Université des Sciences de Montpellier,

Nos vives gratitude vont vers Monsieur G. JACCON qui, malgré ses lourdes responsabilités a accepté de nous diriger jusqu'à la finition de ce mémoire et a fourni toutes les possibilités et appui qui nous sont nécessaires.

Notre reconnaissance s'adresse à Monsieur M. MORELL, Directeur du Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, pour l'accueil et pour la réalisation pratique de ce mémoire. Qu'à travers lui tout le personnel du laboratoire soit remercié.

Nos remerciements s'adressent également à Monsieur G. GIRARD, pour ses conseils et pour l'intérêt qu'il a porté sur ce travail en nous conseillant et en acceptant d'être parmi les membres du jury.

Nous sommes reconnaissants également à Monsieur A. DELACOURT de consacrer son temps pour être membre de ce jury.

Que Monsieur L. FERRY, ainsi que toute l'équipe de l'hydrologie de l'ORSTOM à Antananarivo, et Monsieur E. RANDRIANARISON, Madame C. RAZAFY respectivement Directeur de la Météorologie et Chef de service de l'Hydrologie à Madagascar et les personnels soient remerciés de leur diligence en nous communiquant les données dont nous avons besoin.

Comment ne pas citer les compagnons de route durant ce DEA, Aïcha, José, Gilles pour les soutiens incessants dans les moments difficiles. Mes souhaits de réussite à tous les amis "zombies" de l'ORSTOM.

Mes pensées vont vers Ghodsieh, ma femme et mes enfants Ghoddu, Sahba, Shirin pour leurs patiences. Ce travail leur est dédié.

SOMMAIRE

AVANT PROPOS

PAGE

INTRODUCTION

PARTIE I:	LES MODELES EN HYDROLOGIE	3
A	OBJECTIFS DE LA MODELISATION EN HYDROLOGIE	3
B	DIFFERENTES APPROCHES UTILISEES ET CLASSIFICATION DES MODELES	3
C	LES MODELES CONCEPTUELS	4
	C1. Concepts de base	
	C2. Les modèles globaux	
	C3. Les modèles distribués	
PARTIE II:	PRESENTATION DU MODELE "MODLAC"	7
A	OBJECTIFS DU MODELE MODLAC	7
B	DISCRETISATION DE L'ESPACE	7
C	REPRESENTATION MATHEMATIQUE DU CYCLE HYDROLOGIQUE	11
	C1. Entrée des données de pluie et d'évapotranspiration	
	<i>a) Données pluviométriques</i>	
	<i>b) Données d'évapotranspiration</i>	
	C2. Fonction de production	
	<i>a) Cas des sols</i>	
	<i>b) Cas des nappes d'eau libres</i>	
	<i>c) Evolution récente</i>	
	C3. Fonction de transfert	
	<i>a) Détermination des zones isochrones</i>	
	<i>b) Algorithme de transfert</i>	

D -	BILAN HYDROLOGIQUE DES RETENUES	19
	D1. Caractéristiques des retenues	
	D2. Bilan hydrologique des retenues d'ordre	
	D3. Bilan hydrologique des retenues d'ordre	
E -	STRUCTURE GENERALE DE MODLAC	22
	E1. Organisation générale du modèle	
	E2. Mise en pratique	
	<i>a). Equipements requis</i>	
	<i>b). Mise en oeuvre de la géométrie</i>	
	<i>c). Les données climatiques d'entrée</i>	
	<i>d). Les données sur les retenues et les prélèvements</i>	
	<i>e). Les données de contrôle de la simulation</i>	
	E3. Effets des différents paramètres	
	E4. Ajustements des paramètres	
PARTIE III:	APPLICATION SUR L'IKOPA DANS LA PLAINE D'ANTANANARIVO	31
A -	PRESENTATION DU BASSIN DE L'IKOPA	31
	A1. Le milieu physique	
	<i>a). Situation générale</i>	
	<i>b). Relief, sol et sous-sol</i>	
	<i>c). Le réseau hydrographique</i>	
	<i>d). Occupation des sols</i>	
	A2. Caractéristiques climatiques	
	<i>a). Précipitations</i>	
	<i>b). Température</i>	
	<i>c). Evapotranspiration</i>	

- A3. Le régime hydrologique
 - a). *Le réseau d'observation*
 - b). *Caractéristiques hydrologiques*

- A4. Les aménagements sur l'Ikopa
 - a). *Caractéristiques de la retenue de Mantasoa*
 - b). *Caractéristiques de la retenue de Tsiazompaniry*

B - PRESENTATION DE LA PLAINE D'ANTANANARIVO 47

- B1. Cadre physique
- B2. Problème de drainage et risque d'inondation
- B3. Situation actuelle

C - MODELISATION DU BASSIN DE L'IKOPA 50

- C1. Discretisation spatiale du bassin
 - a). *Maillages*
 - b). *Calages en coordonnées*
 - c). *Direction du drainage*
- C2. Types de fonction de production
- C3. Contrôle et traitement des données
 - a). *Pluies et évapotranspiration*
 - b). *Données hydrométriques*
 - c). *Ouvrages hydrauliques sur le réseau de drainage*

D - ANALYSE ET CALAGE DES PARAMETRES 62

- D1. Calage de la lame écoulée
 - a). *Participation de Rinit. et de Rnap.*
 - b). *Variation de CRT et de DCRT*
 - c). *Paramètres finaux*
- D2. Calage de la forme de l'hydrogramme
 - a). *Protocole au niveau de la répartition débit ruisselé et débit infiltré*

b). Protocole de résolution au niveau du réservoir superficiel

c). Protocole de résolution au niveau du réservoir souterrain

E - VALIDATION DES RESULTATS	77
F - DISCUSSION SUR LES PARAMETRES	78
PARTIE IV: PERSPECTIVES ET CONCLUSION	80

INTRODUCTION

S'il est un système dont la dynamique est importante, le système hydrographique en est un.

En effet,

- soit par suite des façonnements naturels du lit (effet de l'érosion, charriage, transport, dépôt)
- soit par modification naturelle ou artificielle des interfluves,
- soit par la variabilité spatio-temporelle du climat,
- soit par suite de l'intervention de l'homme pour son propre bien-être (aménagement divers, captages, digues, évacuateurs de crues...),

l'équilibre de ce système est toujours précaire.

L'information hydrologique recueillie n'est donc qu'un flash correspondant à une situation, à un moment donné. La quantification des écoulements sur un bassin versant est pourtant déterminante pour tout projet s'y rapportant; aménagement, prévision, et ou gestion sont les principaux objectifs.

Deux catégories d'approches permettent actuellement d'atteindre ces objectifs G. GIRARD (1981):

- par des inventaires à dominante descriptive;
- par des modélisations de systèmes hydrologiques.

Au stade du développement de la technologie actuelle, des approches théoriques ont été avancées pour appréhender ces informations. Plusieurs modèles de systèmes hydrologiques trouvent maintenant leur solution par l'usage de plus en plus poussé de l'outil informatique.

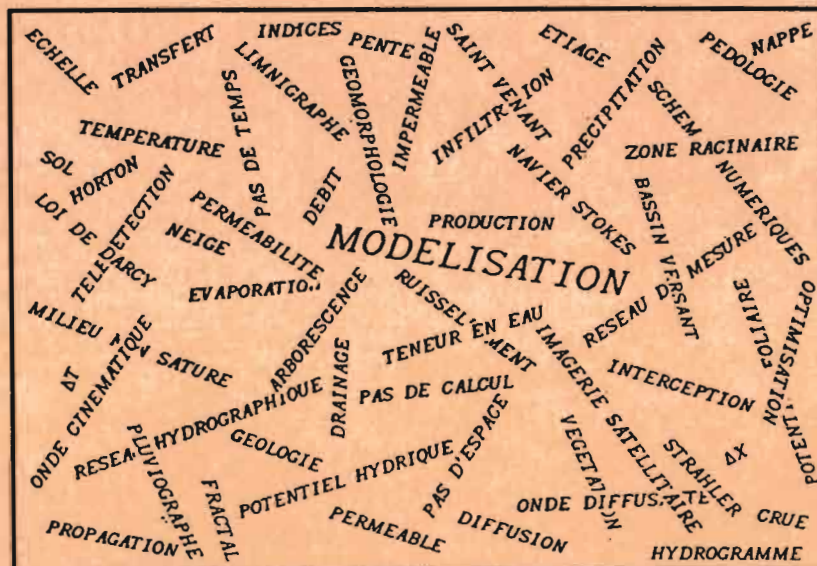
La ressource en eau est liée aux phénomènes physiques du cycle hydrologique et aux influences des aménagements. L'idée d'un modèle qui permet de suivre dans l'espace et dans le temps la formation et l'évolution des écoulements naturels et qui prend en compte les perturbations dues à toute modification artificielle du système a été mis au point pour la première fois par un groupe de chercheurs franco-québécois GIRARD - MORIN - CHARBONNEAU (1972). Ce modèle n'a cessé d'être amélioré et en 1982 G GIRARD crée le modèle MODLAC qu'il applique pour la première fois à un bassin du nord-est du Brésil, équipé de très nombreux réservoirs de faible à moyenne capacité. Actuellement il est prévu de lui adjoindre un environnement Système d'Information Géographique (S.I.G.) pour le rendre encore plus performant.

Ce mémoire présente le modèle MODLAC élaboré par G. GIRARD (C.I.G ECOLE DES MINES/ORSTOM), sa conception initiale et les modifications apportées pour son application à des bassins de la zone sahéenne (version 1991). Cette dernière version constitue le logiciel LACMOD qui, dans la dernière partie de ce travail, est utilisé pour modéliser les écoulements du bassin versant de l'Ikopa, à Madagascar, bassin qui présente des caractéristiques physico-climatiques tout à fait différentes de celles de la zone sahéenne.

PARTIE I

LES MODELES EN HYDROLOGIE

- Objectifs de la modélisation hydrologique
- Différentes approches utilisées et classifications des modèles
- Les modèles conceptuels



Partie - I - LES MODELES EN HYDROLOGIE

A - OBJECTIF DE LA MODELISATION EN HYDROLOGIE

Un modèle est la description d'un système réel, naturel, dans une expression graphique ou mathématique; et c'est également la simulation des relations "causes à effets" des processus naturels géant la nature par une reproduction physique à une échelle plus petite J. NEMEC, (1972).

La modélisation permet d'appréhender ce système naturel, de caractériser la variabilité de ses composantes pour en étudier son comportement et de le concevoir même dans des conditions ou des scénarios hors de son environnement normal.

Le système qui intéresse particulièrement la modélisation hydrologique se rapporte à la phase terrestre du cycle de l'eau, avec ses principaux processus physiques (précipitation - interception - évapotranspiration - ruissellement - flux dans les couches de sol, non saturées et saturées).

Dans un autre domaine de l'hydrologie appliquée, la simulation du comportement des phénomènes hydrologiques résultant du fonctionnement des ouvrages hydrauliques est également modélisée. On peut modéliser, par exemple, la gestion des réservoirs de contrôle de crues ou de soutien à l'étiage pour différentes situations climatiques.

B - DIFFERENTES APPROCHES UTILISEES ET CLASSIFICATION DES MODELES

L'analyse du fonctionnement d'un bassin versant peut être abordée de différentes manières.

- la première est celle de la représentation mathématique pure des processus physiques J. DOOGE, (1973) qui consiste à :

- établir des équations différentielles régissant les phénomènes physiques;
- déterminer les séries d'équations et les conditions aux limites pour chaque type de bassin;
- essayer de résoudre le problème résultant pour une entrée de pluie donnée en tenant compte des autres facteurs météorologiques.

- la seconde, à l'opposé de la précédente, est l'approche dite "analyse du modèle boîte noire". Toute prise en considération des processus hydrologiques est mise de côté. Des essais sont effectués pour avoir suffisamment de connaissance des processus hydrologiques à partir des enregistrements d'entrée-sortie, pour pouvoir faire une prévision à partir d'une entrée spécifique.

- entre ces deux extrêmes est l'approche dite "modèles conceptuels" qui représentent les phénomènes d'un processus hydrologique à travers des paramètres de simulation. Cette approche est développée au sous-chapitre suivant.

Quelle que soit l'approche, des contraintes existent. Elles sont dues principalement:

- à la nature et la quantité de l'information disponible;
- à l'importance relative des processus hydrologiques pris en compte selon l'objectif visé. Par exemple, il est certain que le poids des paramètres de l'infiltration n'est pas primordial dans la modélisation des crues d'un bassin peu perméable.

Il est toutefois recommandé d'avoir le moins de paramètres possibles, chacun d'eux représentant un processus, le contrôle de leur inter-pénétration restant quelquefois arbitraire.

C - LES MODELES CONCEPTUELS

C1-CONCEPTS DE BASE

Un modèle conceptuel peut être:

- *global* ou *distribué* suivant que l'on considère, ou non, le bassin comme une entité;
- *événementiel* ou *continu* suivant que l'on analyse des événements particuliers du cycle hydrologique (les crues par exemple) ou le cycle lui-même dans sa continuité.

Le modèle conceptuel repose principalement sur deux fonctions qui simulent le fonctionnement du bassin versant:

- la fonction de *production* qui évalue la partie de la pluie brute qui est perdue (par évaporation et/ou infiltration) pour l'écoulement et peut effectuer une répartition de la lame d'eau écoulée résultante entre les différentes formes de l'écoulement (ruissellement, écoulement sub-superficiel et/ou souterrain). Il existe de nombreuses fonctions ou modèles de production, le nombre de paramètres impliqués variant de 1 à plus de 10;
- la fonction de *transfert* qui transforme les lames d'eau produites en débits écoulés à l'exutoire du bassin : l'un des modèles de transfert les plus connus est l'hydrogramme unitaire, encore très utilisé dans les modèles globaux, tandis que, pour les modèles distribués, on utilise des modèles plus complexes basés sur le temps de propagation d'une unité spatiale vers l'unité située à l'aval.

Certains auteurs parlent aussi d'une fonction d'*organisation* (IBIZA, 1982) par laquelle les données d'entrée (précipitation, ETP, débits) sont mises en forme et organisées suivant un ordre spatio-temporel bien défini.

C2 - LES MODELES GLOBAUX

Les considérations concernant la variabilité de l'espace et des entrées ne sont pas prises en compte. Le bassin réagit dans sa totalité à l'évènement climatologique d'entrée. La prise en compte de la fonction "organisation" se fait d'une manière simplifiée puisque aucune répartition spatiale n'est prise en compte.

C3 - LES MODELES DISTRIBUES

Il s'agit de définir une unité spatiale telle que la variabilité des données d'entrée peut être négligée. On dispose ainsi d'une unité physiographiquement homogène et réagissant d'une manière globale par rapport aux autres unités. Ainsi la variabilité spatiale des systèmes participants aux phénomènes hydrologiques, et l'hétérogénéité du cadre géographique R. MOUSSA ,(1991) sont réduites à des considérations globales.

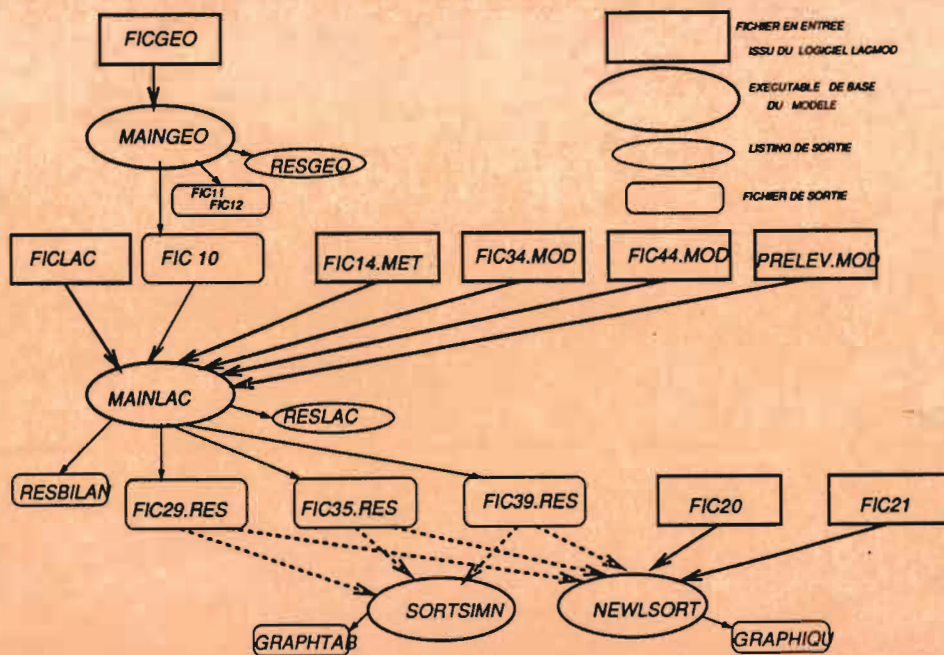
On parle de discrétisation de l'espace, "*modèle à discrétisation spatiale*", car il faut diviser le bassin en surfaces élémentaires sur lesquelles on peut simuler le comportement du bassin d'une façon homogène. Il existe plusieurs manières de discrétiser le bassin, la plus courante est celle du découpage par mailles carrées emboîtées.

On discute actuellement de la performance de cette méthode pour la substituer par des moyens faisant appel aux outils de l'infographie, tels que les SIG (Systèmes d'Information Géographiques).

PARTIE II PRESENTATION DU MODELE MODLAC

- Objectifs du modèle MODLAC
- Discrétisation de l'espace
- Représentation mathématique du cycle hydrologique
- Bilan hydrologique des retenues
- Structure générale de MODLAC

ORGANIGRAMME GENERAL DE MODELISATION



Partie - II - PRESENTATION DU MODELE MODLAC ^(*)

A - OBJECTIFS DU MODELE MODLAC

Pour son auteur G.GIRARD, les objectifs du modèle sont de mettre à la disposition des services chargés de la gestion des ressources en eau, un outil mathématique qui permettrait :

- de faire un contrôle de la qualité des séries chronologiques des mesures réalisées;
- de reconstituer, en des points bien définis du bassin, les écoulements qui se seraient produits en l'absence de l'aménagement pour des conditions climatiques identiques (reconstitution des débits naturels par exemple);
- de simuler sur le bassin divers scénarios d'aménagement dans le but de rechercher les conditions optimales pour la gestion de la ressource.

MODLAC est un modèle hydrologique pluie/débit basé sur une discrétisation du bassin versant en mailles carrées emboîtées (4 tailles possibles). Il est plus particulièrement adapté à la modélisation des écoulements sur des bassins versants équipés de retenues et d'aménagements hydro-agricoles.

B - DISCRETISATION DE L'ESPACE: BUTS ET PRINCIPES

Il s'agit de définir un espace qui réagirait en n'importe quel point d'une manière tout à fait identique, devant une variable d'entrée.

La discrétisation est faite à l'aide de mailles carrées emboîtées, dont la taille est ajustée au mieux pour :

- représenter aussi fidèlement que possible la forme et les contours du bassin et des sous-bassins hydrographiques (respect des superficies);
- associer une seule maille à chaque poste hydrométrique ou à chaque aménagement hydraulique existant;
- exploiter toutes les informations disponibles concernant la physiographie du bassin, la végétation et l'utilisation du sol.

^(*)une grande partie de cette présentation est l'extrait de "MODELO SIMMQE", voir bibliographie

La discrétisation est constituée à partir d'un maillage de base, de dimension $8a$ (ce maillage est appelé *schéma-type*). Les mailles-types sont numérotées séquentiellement de gauche à droite et de haut en bas.

Chaque maille-type (fig.1) peut être divisée successivement en *mailles-moyennes* (dimension $4a$), en *petites-mailles* (dimension $2a$) et en *micro-mailles* (dimension a).

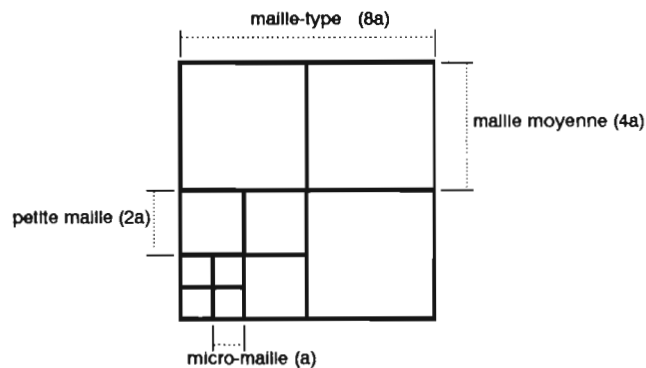


Figure 1

Pour chaque maille, quelle que soit sa taille, on définit :

- l'altitude minimale;
- la direction de drainage, en accord avec le réseau hydrographique (8 directions sont possibles, comme le montre la figure 2);

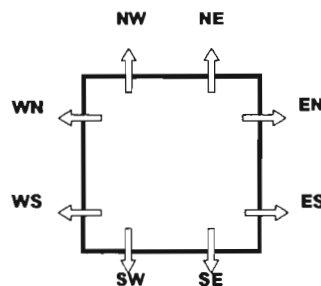


Figure 2

- la classe physiographique à laquelle appartient la maille; deux possibilités existent :
 - * une seule classe physiographique pour la maille;
 - * plusieurs classes pour la maille, la surface occupée par chacune d'elles étant exprimée en % de la surface de la maille; cette possibilité ne peut être utilisée que lorsque l'on dispose d'informations précises sur l'occupation des sols.

La figure 3 donne un exemple de maillage d'un bassin versant, avec trois tailles de mailles (type, moyenne et petite), définies suivant les règles de discrétisation décrites précédemment.

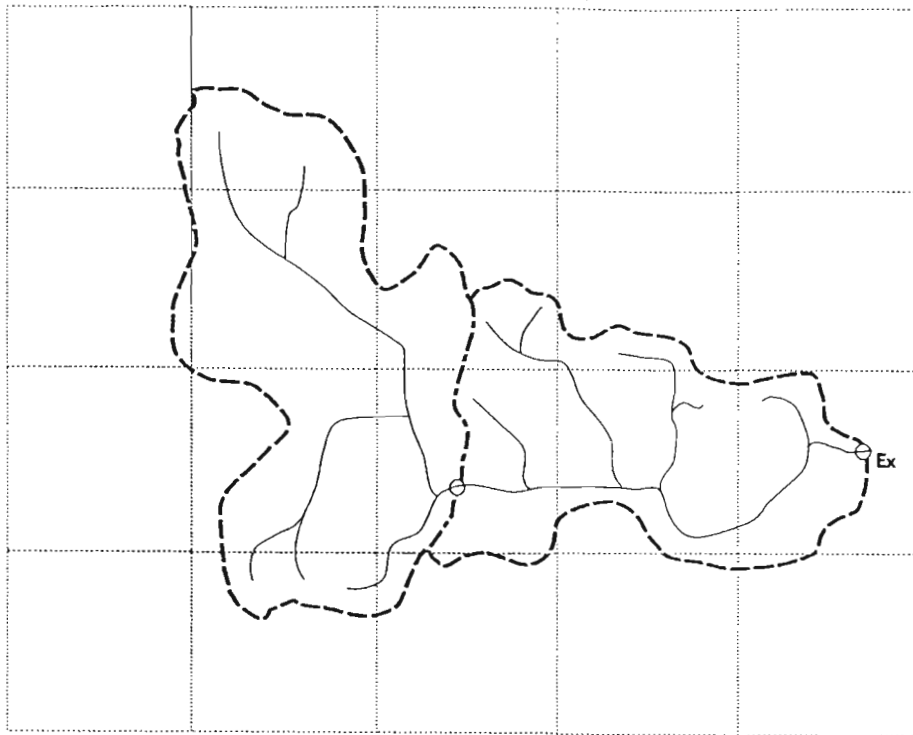
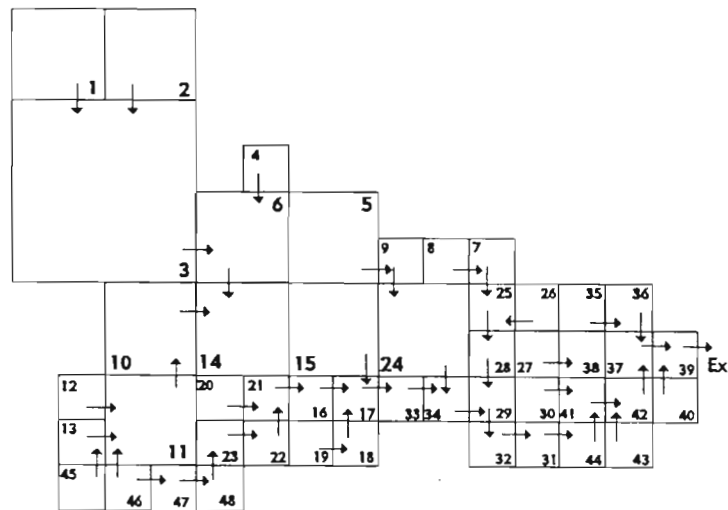


Figure 3:
DISCRETISATION D'UN
BASSIN VERSANT



- station hydrométrique
- Ex exutoire
- - - limite de bassin
- · - · - limite de sous-bassin
- schéma-type
- 15 numéro de maille
- sens de drainage

L'étape suivante consiste à définir l'"arbre de drainage", c'est à dire à distinguer :

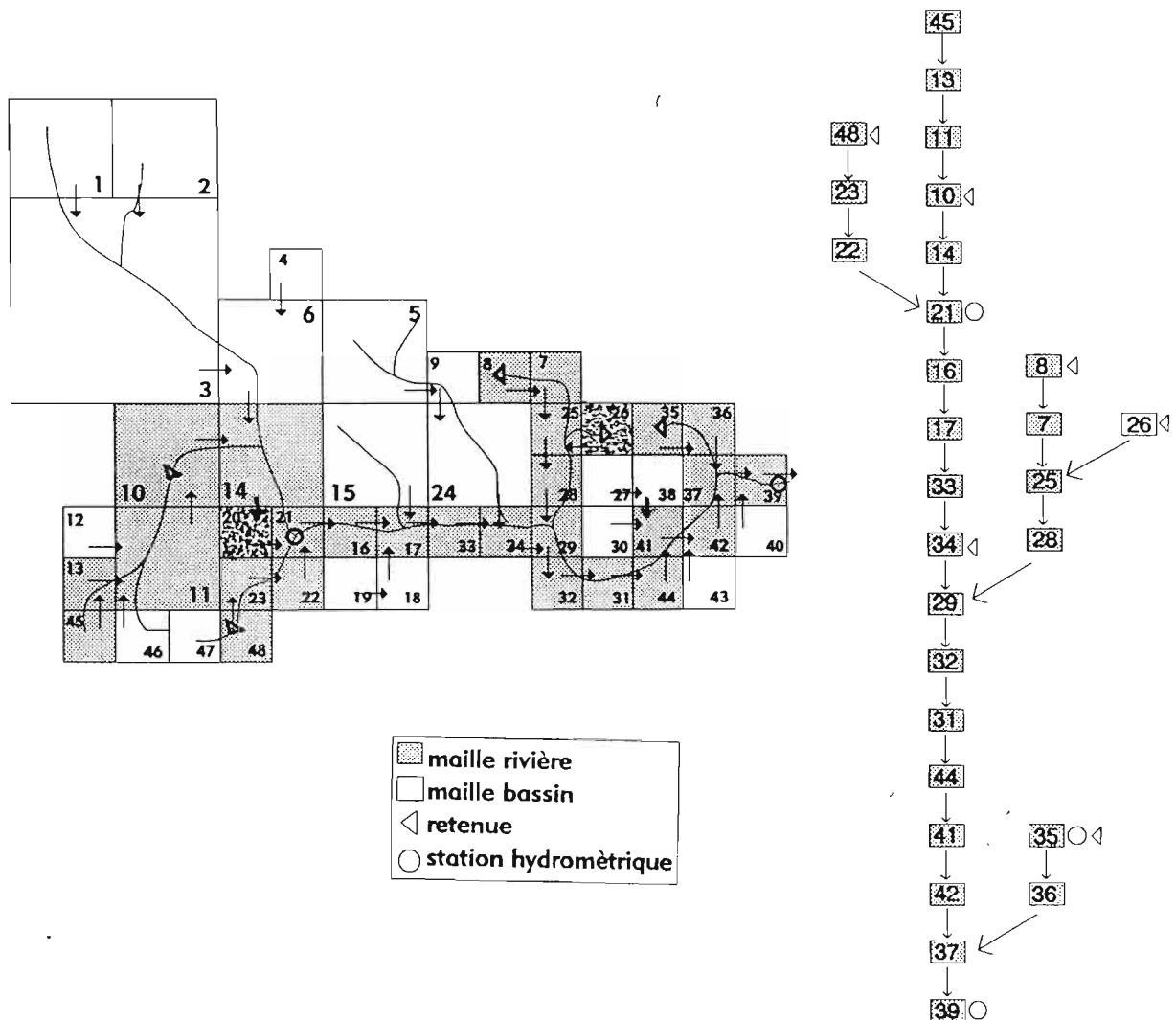
- les *mailles-rivières*, qui contiennent les postes hydrométriques et les aménagements hydrauliques (retenues, prises d'eau,...) ou qui conduisent le flux d'eau vers l'exutoire du bassin;
- les *mailles-bassins*, qui ne répondent pas à la définition antérieure.

La figure 4 donne la position des mailles-rivières (en grisé) et des mailles-bassins (en blanc) ainsi que l'arbre de drainage, qui ne comprend que des mailles-rivières.

On remarque que chaque ensemble de mailles-bassins forme un sous-bassin dont l'exutoire est obligatoirement une maille-rivière. Par exemple sur la figure 4, le sous-bassin "affluent" de la maille-rivière 14 est composé des mailles-bassins 1, 2, 3, 4 et 6.

La discrétisation du bassin versant ainsi réalisée constitue une représentation sûre et précise mais néanmoins flexible. Il est toujours possible de modifier l'un ou l'autre des paramètres (ajouter une retenue par exemple) sans avoir à refaire tout le travail.

Figure 4: Organisation du drainage



C - REPRESENTATION MATHEMATIQUE DU CYCLE HYDROLOGIQUE

Trois étapes sont nécessaires pour que le modèle calcule les débits à l'exutoire du bassin ou en l'une quelconque des mailles initialement définie.

Ces trois étapes sont les suivantes :

- considération des données de pluie et d'évaporation sur chaque maille
- calcul des disponibilités en eau sur chaque maille (fonction de production);
- transfert de l'eau vers l'exutoire (fonction de transfert).

C1. ENTREE DES DONNEES DE PLUIE ET D'EVAPOTRANSPIRATION

Les données de pluie et d'évapotranspiration potentielle sont les seules données chronologiques fournies en entrée pour le fonctionnement du modèle (les séries de hauteurs d'eau et de débits sont utilisées seulement pour la vérification des résultats du calcul).

a) Données pluviométriques

La sélection des séries pluviométriques est faite d'abord en fonction de la continuité et de la qualité des données (critique et homogénéisation indispensables) et de la position géographique des postes dans le bassin.

A chaque série pluviométrique complète est associée un nombre variable de mailles, celles qui sont les plus proches et situées dans son aire d'influence (méthode de THIESSEN). S'il y a un doute quand à l'affectation d'une maille entre deux pluviomètres, on choisit celui dont l'altitude est la plus proche de celle de la maille considérée.

La figure 5 montre les zones pluviométriques définies pour le bassin-exemple.

b) Données d'évapotranspiration potentielle

De façon similaire à ce qui précède, chaque série de données d'ETP est attribuée à un certain nombre de mailles, l'affectation étant faite suivant deux critères : d'abord l'altitude puis la distance.

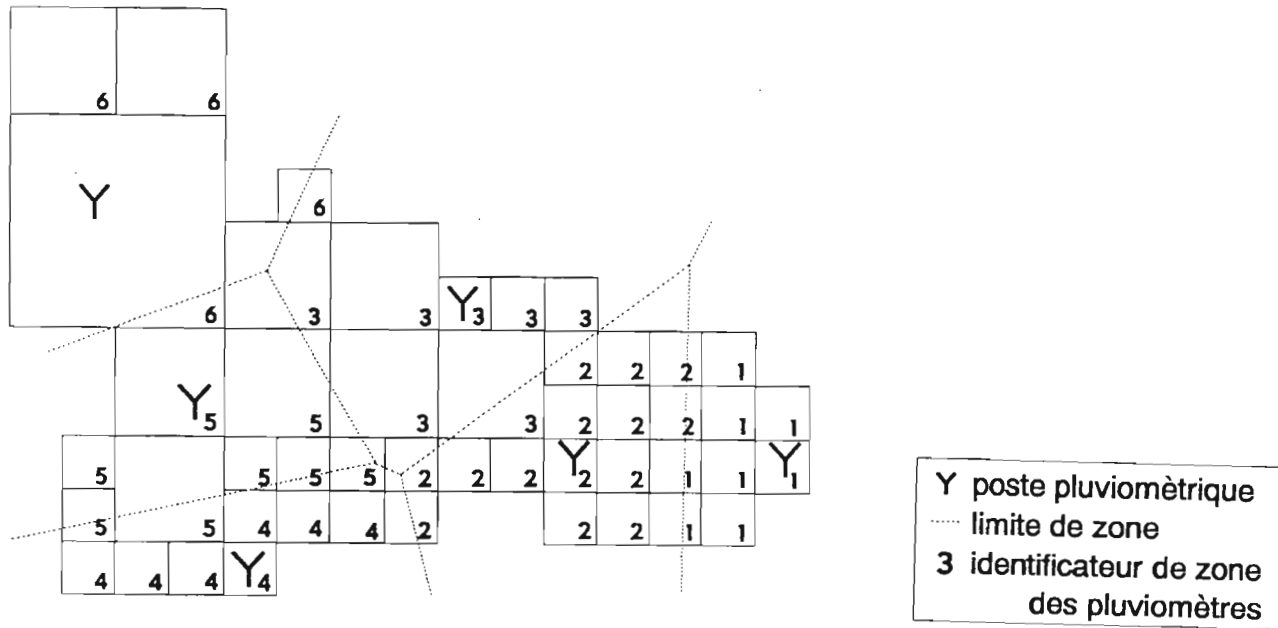


Figure 5 Zones pluviométriques (polygones de Thiessen)

Le calcul de l'ETP doit être fait, autant que possible, par des méthodes qui prennent en compte le plus grand nombre de variables climatologiques. La formule de PENMAN est particulièrement recommandée.

Le pas de temps retenu pour les séries de données chronologiques est celui choisi pour le calcul des débits (généralement journalier, plus rarement décadaire pour les grands bassins).

La discrétisation de l'espace étant faite en tenant compte des caractéristiques physiques (pente, couverture, géologie,..), à chaque maille sont donc attribuées une référence de série pluviométrique et une référence de série d'ETP (généralement les numéros des postes).

C2- FONCTION DE PRODUCTION

Cette fonction répartit la quantité d'eau précipitée entre évapotranspiration, écoulement superficiel, infiltration et stockage dans le sol. C'est cette fonction qui permet de calculer les volumes d'eau disponibles aux exutoires ou dans les retenues et de définir les différentes composantes de l'hydrogramme. La fonction de production choisie dépend d'un nombre assez réduit de paramètres (8), ajustés à chaque ensemble physiographique et qui permettent de caler le modèle. Les mécanismes modélisés seront identiques qu'il s'agisse d'un sol nu ou couvert et quelle que soit cette couverture; seuls les paramètres caractérisant ces mécanismes seront susceptibles de varier.

G. GIRARD a proposé deux types de fonction de production qui seront les fonctions standard du modèle

a) Cas des sols

Le bilan hydrologique est effectué au niveau de différents "réservoirs" qui sont les suivants:

Réservoir "sol"

Le volume d'eau, appelé EAU, disponible à la sortie de ce réservoir est donné par la formule suivante :

$$EAU = \max(R + P - R_{MAX}, 0) + \frac{DR(2RBA + DR)}{4(CRT - DCRT)}$$

avec :

- EAU = quantité d'eau disponible à la sortie, en mm
- R = quantité d'eau retenue à la fin du pas de temps, en mm
- P = pluie durant le pas de temps correspondant, en mm
- Rmax = niveau de saturation du réservoir "sol", en mm (au-delà de cette valeur, toute l'eau de pluie ruisselle)
- DR = variation du stock d'eau dans le sol, en mm
- RBA = quantité d'eau à l'origine du pas de temps, en mm
- CRT = niveau correspondant à la capacité moyenne de rétention dans le sol, en mm
- DCRT = capacité minimale de rétention dans le sol, en mm (au-dessous de cette valeur, il n'y a aucun écoulement superficiel, seule l'évapotranspiration peut avoir lieu)

La figure 6 illustre le fonctionnement de ce réservoir "sol" et donne le détail du calcul pour les deux situations possibles : $R+P > R_{max}$ et $R+P < R_{max}$.

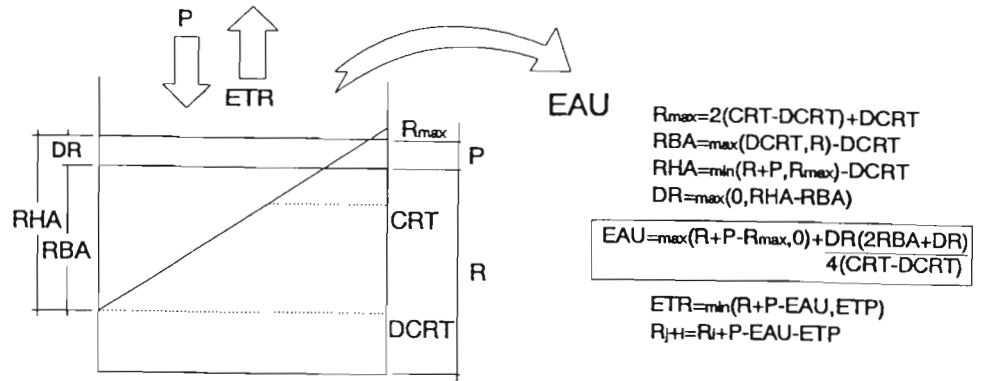
Autres réservoirs

Les autres réservoirs, au nombre de trois, répartissent la quantité d'eau produite de manière à retrouver la forme des hydrogrammes (figure 7).

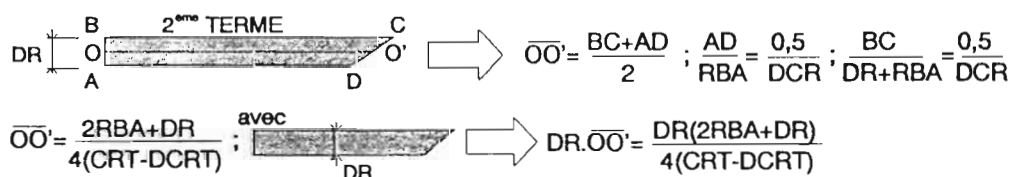
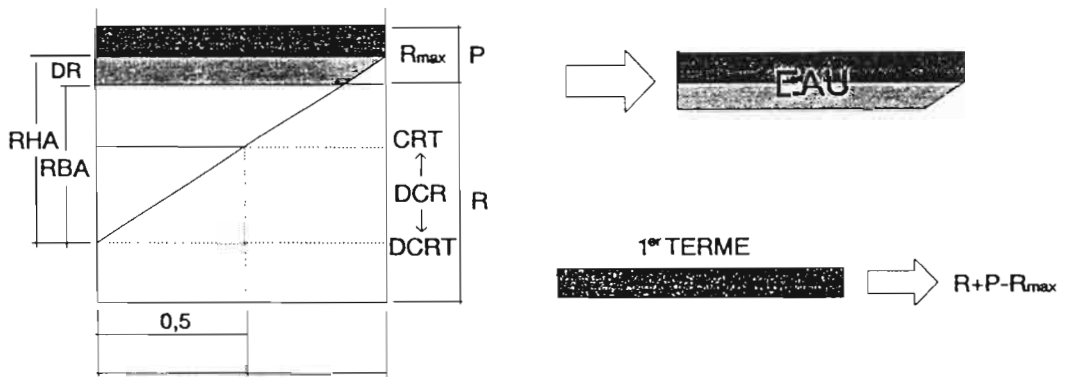
Le premier d'entre eux sépare écoulement superficiel QR et écoulement souterrain QI. Les deux autres déterminent la partie de chacun de ces écoulements qui est retardée.

Figure 6

Fonctionnement du réservoir 'SOL'

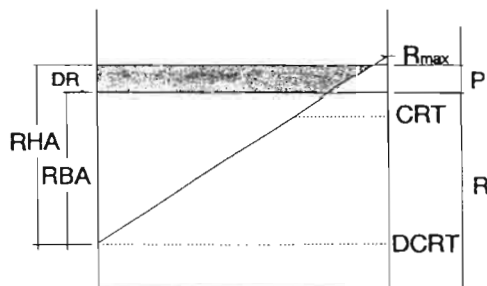


1^{er} cas $R + P > R_{max}$



$$EAU = R + P - R_{max} + \frac{DR(2RBA + DR)}{4(CRT - DCRT)}$$

2^{em} cas $R + P < R_{max}$



On note que le premier terme du calcul de l'eau est égal à zéro, donc

$$EAU = \frac{DR(2RBA + DR)}{4(CRT - DCRT)}$$

Les paramètres utilisés pour ces trois réservoirs de "répartition" sont :

• *pour le réservoir de répartition*

- FN = valeur maximale possible de l'infiltration, en mm. Ce paramètre régit le partage entre ruissellement et infiltration. Cette répartition est effectuée par comparaison avec la quantité calculée EAU

• *pour le réservoir superficiel (laminage des crues ruisselantes)*

- QRmax = niveau maximal (débordement) du réservoir "superficiel" ou de ruissellement
 - CQR = coefficient de vidange du réservoir "superficiel" ou de ruissellement

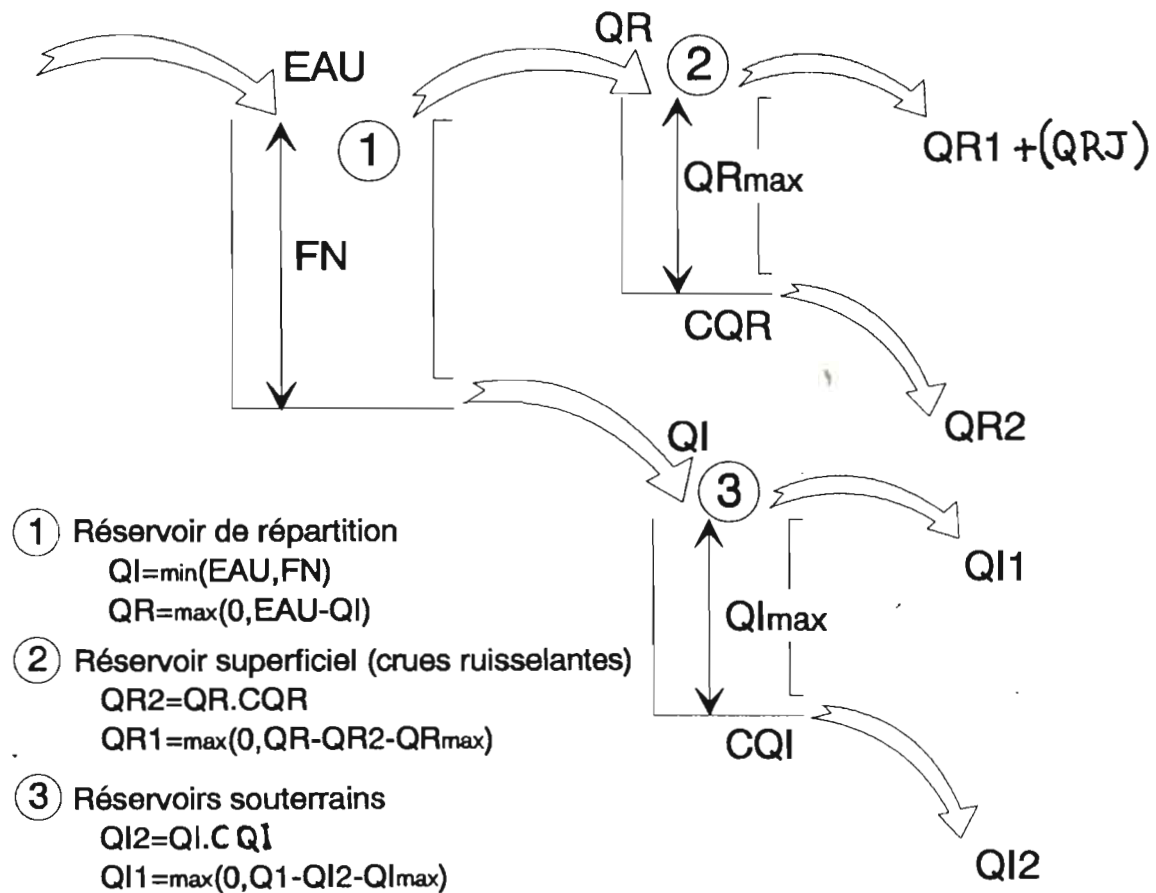
Ces deux paramètres établissent la répartition entre ruissellement pur et ruissellement retardé.

• *pour le réservoir souterrain (transit par la nappe phréatique)*

- QImax = niveau maximal (débordement) du réservoir "souterrain"
 - CQI = coefficient de vidange du réservoir "souterrain"

Ce dernier réservoir introduit un retard entre infiltration et alimentation de la nappe;

Figure 7: Fonctionnement des réservoirs de Répartition



(QRJ) nouveau paramètre, version Sahélienne

b) Cas particulier des nappes d'eau libres (lacs naturels ou retenues)

Les nappes d'eau libres font partie du réseau hydrographique principal.

La fonction de production utilisée est très simplifiée :

$$- \text{ETR} = 0,8 \text{ ETP} \quad (\text{ETR} = \text{évaporation réelle})$$

$$- \text{QR} = \text{P} - \text{ETR}$$

c) Evolution récente (version de MODLAC pour la zone sahélienne)

Dans des régions sahéliennes (pluviométrie de 300 à 600 mm produite par des lignes de grains à fortes intensités en début d'averse, sols dominants argileux souvent encroûtés et peu-perméables, végétation de brousse arbustive), la considération du ruissellement de surface est assez complexe à l'échelle du pas de temps journalier. Une partie de la pluie ruisselle directement comme cela a été constaté par les hydrologues lors des campagnes de mesures (signalé par G. GIRARD dans son application sur le Sahel).

Pour tenir compte de ce phénomène particulier à cette région, G. GIRARD a introduit un nouveau paramètre dans MODLAC : il s'agit du paramètre XQRT, assimilé à un coefficient maximal de ruissellement et qui permet d'affecter au ruissellement rapide une partie QRJ de la pluie brute suivant la formule indiquée ci-dessous:

$$\text{QRJ} = \text{XQRT} \cdot \text{PJ} \cdot \min. (\text{PJ} + \text{R}, \text{Rmax}) / \text{Rmax}$$

avec

XQRT = coefficient maximal de ruissellement

PJ = pluie journalière du jour J en mm

QRJ = lame ruissellée journalière du jour J, en mm

La pluie d'entrée dans la fonction de production est évidemment réduite de la lame d'eau correspondant à QRJ.

Finalement, le volume disponible devient:

$$\text{EAU} = \max(\text{R} + (\text{P} - \text{QRJ}) - \text{RMAX}, 0) + \frac{\text{DR}(2\text{RBA} + \text{DR})}{4(\text{CRT} - \text{DCRT})}$$

D'autres modifications ont été apportées par G.GIRARD dans la version sahélienne de MODLAC :

- la possibilité de réaffecter une partie de la lame d'eau infiltrée dans l'écoulement total (paramètre supplémentaire);
- la possibilité de prendre en compte les pertes par évaporation directe à partir du réseau hydrographique et des zones inondées.

Ces deux modifications pourraient être considérées comme des paramètres régionaux qui seront pris comme des prélèvements intervenant dans le bilan global.

Remarque : bien que la version de MODLAC utilisée ait été la plus récente (version sahélienne pour micro-ordinateur), les paramètres supplémentaires décrits ci-dessus - spécialement introduits pour la modélisation des écoulements des bassins sahéliens - n'ont pas été pris en compte. La fonction de production utilisée est donc la fonction d'origine à 8 paramètres.

C3- FONCTION DE TRANSFERT

Cette fonction assure le transfert, de l'amont vers l'aval, de l'eau produite au niveau de chaque maille. Le temps de concentration T_c du bassin est estimé à partir des données observées (propagation des crues). Il constitue un paramètre de calage.

Le transfert est effectué globalement par pas de temps pour chaque sous-bassin, en prenant en considération le temps de parcours d'une maille à l'exutoire du sous-bassin. Ce calcul implique le découpage des sous-bassins en zones isochrones, chaque zone regroupant les mailles dont le temps de transfert à l'exutoire est le même.

a) Détermination des zones isochrones

La base du processus de détermination est le temps de transfert TF_{ij} d'une maille quelconque i vers la maille avale j . Il est égal à :

$$TF_{ij} = K \cdot d_{ij} / \sqrt{(Z_i - Z_j) / d_{ij}}$$

avec :

K = coefficient de proportionnalité

d_{ij} = distance entre les centres des mailles i et j

Z_i et Z_j = altitudes des mailles i et j

En additionnant successivement les TF_{ij} de chaque maille jusqu'à l'exutoire, dans le sens de l'écoulement, on calcule le temps de parcours maximal. Le coefficient K sert à évaluer ce temps de parcours avec le temps de concentration du bassin.

Le nombre de zones isochrones n est défini par le rapport du temps de concentration au pas de temps choisi pour le calcul. Connaissant le temps de parcours de l'eau entre chaque maille et l'exutoire (par addition des TF_{ij}), il est facile de déterminer à quelle zone isochrone appartient une maille déterminée.

Par exemple, pour un bassin versant dont le temps de concentration est de 112 heures, le nombre de zones isochrones d'une durée de 24 heures sera :

$$n = 112 / 24 = 4,67 \text{ soit } n = 5$$

La maille dont le temps de transfert à l'exutoire est égal à 55% de T_c se trouvera dans la zone isochrone n°3 : $(0,55 \times 112) / 24 = 2,57$ (voir figure 8).

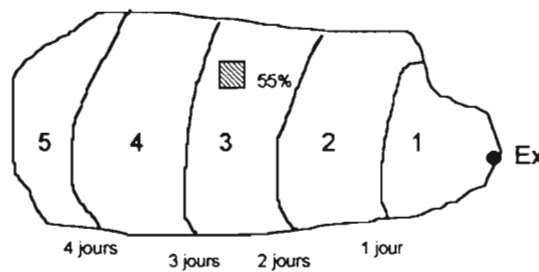
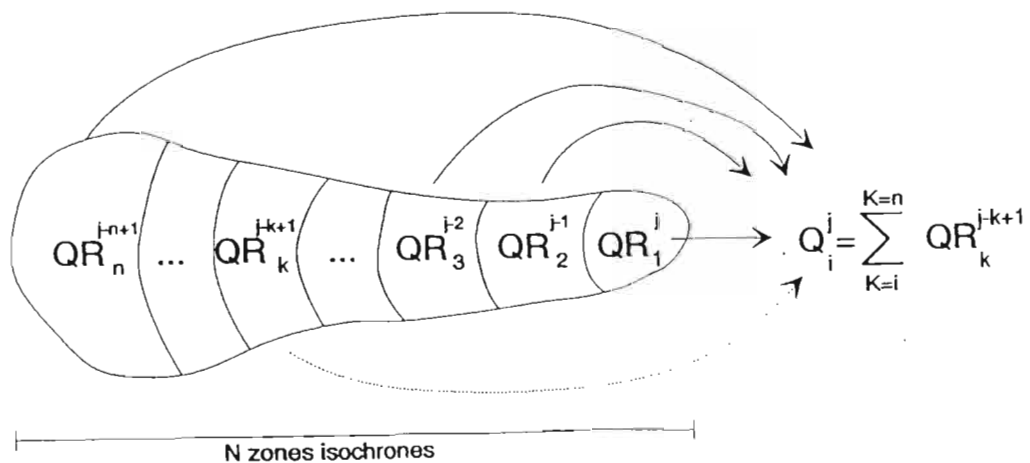


Figure 8

b) Algorithme de transfert dans un sous-bassin de calcul



Les volumes d'eau disponibles résultent du produit des lames d'eau écoulées, calculées par la fonction de production, par les superficies attribuées à chaque unité physiographique (forêt, prairie,...) dans les mailles qui composent les différentes zones isochrones.

L'équation qui donne le volume d'eau Q_i^j au pas de temps j à l'exutoire du bassin i s'écrit :

$$Q_i^j = \sum_{k=1}^{k=n} QR_k^{j-k+1}$$

avec:

QR_k^{j-k+1} = volume disponible calculé au pas de temps $j-k+1$ pour la zone isochrone k

n : nombre total de zones isochrones

D - BILAN HYDROLOGIQUE DES RETENUES

MODLAC établit le bilan hydrologique de chaque retenue, dont il identifie deux types :

- les *retenues d'ordre 1*, de portée réduite en général, naturelles ou non, sans aucun transfert d'eau vers l'extérieur et dont le bassin versant d'alimentation ne contient aucune autre retenue;
- les *retenues d'ordre 2* qui ne répondent pas à la définition précédente; ces retenues sont celles sur lesquelles des dérivations et/ou restitutions viennent altérer le régime d'écoulement naturel.

Les bilans étant fournis par le modèle pour chacune des retenues d'ordre 2, les stations hydrométriques sont assimilées à cette catégorie (avec une capacité de stockage nulle).

DI- CARACTERISTIQUES DES RETENUES

Pour les deux types de retenues, il est nécessaire de connaître :

- la relation hauteur-surface du plan d'eau;
- les cotes minimale et maximale de fonctionnement;
- la date de mise en service ou de destruction.

Pour les retenues d'ordre 2, il faut aussi disposer :

- des débits dérivés (dans ou hors du bassin);
- des débits turbinés ou restitués vers l'aval.

D2- BILAN HYDROLOGIQUE DES RETENUES D'ORDRE 1

La variation du stock d'eau VALI dans la retenue peut être positif ou négatif suivant l'importance des apports. Pour son calcul, on définit les variables suivantes (figure 9):

- QIR = lame d'eau produite sur la maille qui contient la retenue, en m
- SMAIL = superficie de la maille qui contient la retenue, en 1000m²
- SLAC = superficie du plan d'eau en 1000m²
- SBA = superficie du bassin d'alimentation propre à la retenue, en 1000m²
- P et ETP = pluie et évapotranspiration exprimées en mm

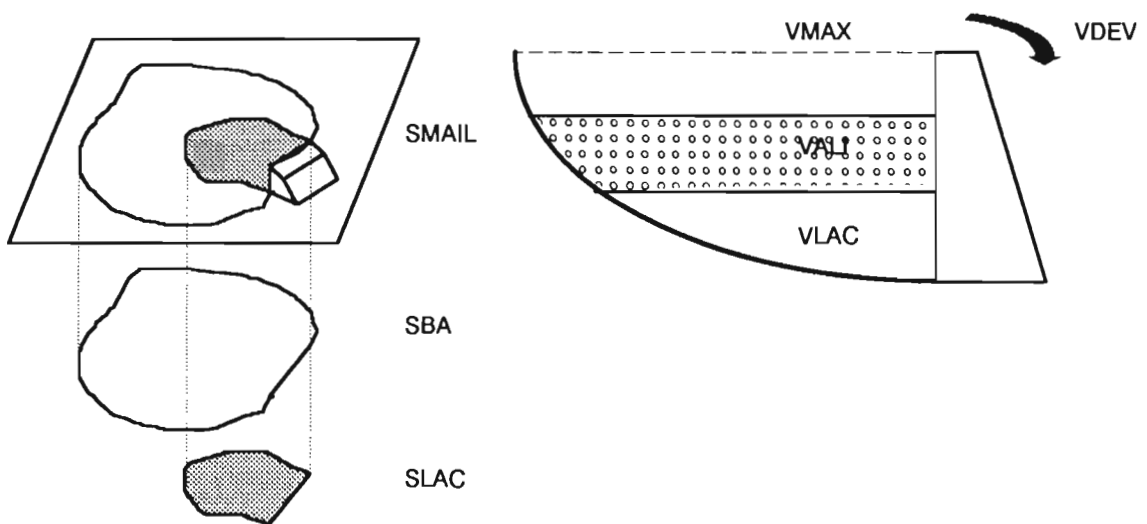


Figure 9

On a :

$$VALI = QIR(SBA - SLAC) + SLAC(P - 0.8ETP)$$

Le bilan hydrologique au niveau de la maille qui contient la retenue est fait en comparant la somme VLAC+VALI à VMAX :

- si VLAC+VALI > VMAX, la retenue est pleine ,
le volume déversé VDEV = VLAC + VALI - VMAX ;
au début du pas de temps suivant, VLAC=VMAX;
- si VLAC+VALI ≤ VMAX,
le volume déversé VDEV = 0
la nouvelle valeur de VLAC est VLAC+VALI

Le volume d'eau total écoulé sur une maille qui contient une retenue d'ordre 1 est :

$$VT = QIR(SMAIL - SBA) + VDEV$$

D3- BILAN HYDROLOGIQUE DES RETENUES D'ORDRE 2

En utilisant les variables définies ci-dessus et :

- $VR_i =$ volume produit sur la maille qui contient la retenue, en m^3
- $V_i =$ volume produit sur les mailles-rivières à l'amont de la retenue, en m^3
- PA et $PR =$ débits dérivés et débits restitués en m^3/s
- $VDEV_i =$ volume déversé par une retenue située à l'amont, en m^3
- $DTS =$ durée du pas de temps en secondes
- $N =$ nombre de mailles-rivières entre la retenue considérée et les retenues situées à l'amont
- $M =$ nombre de retenues d'ordre 2 situées à l'amont
- $SBV =$ surface du bassin d'alimentation de la retenue, en m^2

La variation du stock d'eau dans la retenue est calculé par :

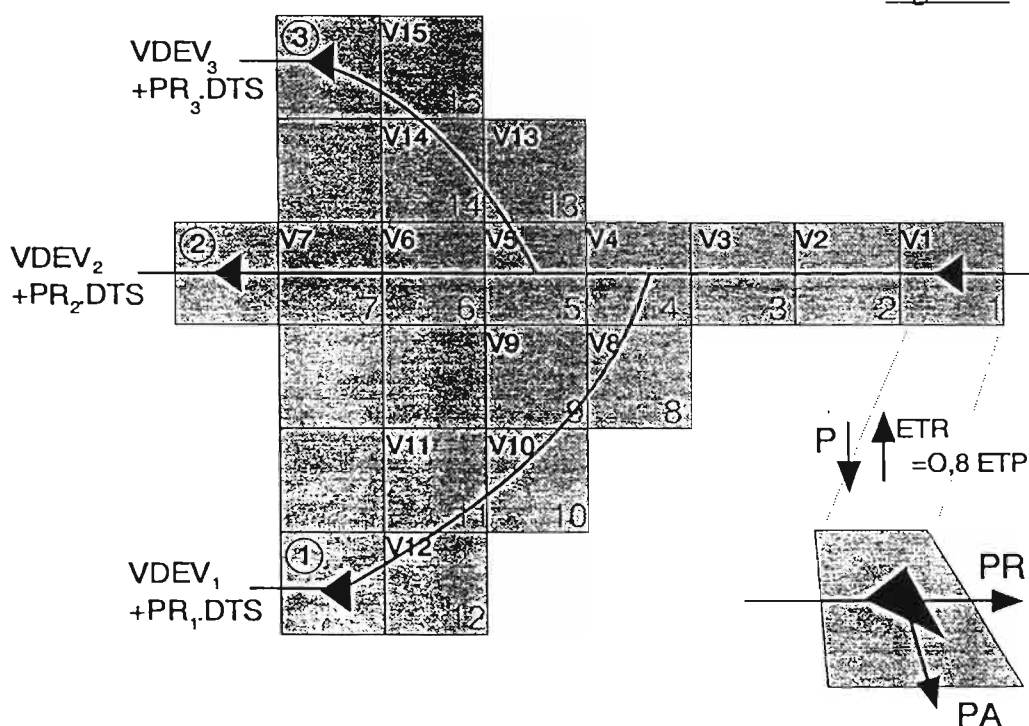
$$VALI = \sum_{i=1}^{i=N} V_i + \sum_{i=1}^{i=M} VDEV + PR_i \cdot DTS + (SLAC(P - 0,8ETP) - \frac{SLAC}{SBV} \cdot VR) - (PA + PR)DTS$$

La figure 10 donne un exemple pour un bassin comprenant 3 retenues à l'amont de la retenue considérée. Comme précédemment, le volume déversé à une retenue d'ordre 2 est calculé par comparaison entre la somme $VLAC+VALI$ et $VMAX$.

La quantité d'eau disponible à l'aval de la retenue est :

$$VT = VDEV + PR \cdot DTS$$

Figure 10



E- STRUCTURE GENERALE DE MODLAC

E1 - ORGANISATION GENERALE DU MODELE

Le logiciel LACMOD comprend trois ensembles de programmes en FORTRAN qui correspondent aux trois étapes successives de la modélisation, qui sont :

- la discrétisation spatiale, par le programme GEOCOU
- la simulation hydrologique, par le programme MODLAC
- l'analyse des résultats par les programmes de comparaison des résultats.

La figure 11 montre l'organisation générale du modèle, avec la séparation bien marquée entre les trois étapes. Le fichier descriptif de la discrétisation, issu du programme GEOCOU constitue l'une des entrées principales de MODLAC, à côté des fichiers de données climatiques (pluies et ETP), des fichiers des caractéristiques des retenues des aménagements existants (ou futurs dans le cas d'une simulation) et des différents prélèvements effectués dans le bassin (prises d'eau, irrigation, transferts extérieurs,...). Le fichier des débits observés n'intervient que dans la troisième phase, pour la confrontation des données calculées avec les données observées.

Comme dans toutes les opérations de modélisation, l'échantillon de données est réparti en deux périodes : la première (50 à 75% de la durée totale) sert au calage du modèle, les autres données constituent l'échantillon de validation du calage.

Le calage du modèle est fait manuellement, par retouches successives des différents paramètres, en travaillant d'abord sur le premier réservoir qui permet de caler le volume d'eau total écoulé sur la période de calage, puis sur les autres réservoirs de la fonction de production qui servent à caler la forme de l'hydrogramme (répartition entre crues, débits de bases,...).

ORGANISATION GENERALE DE LACMOD

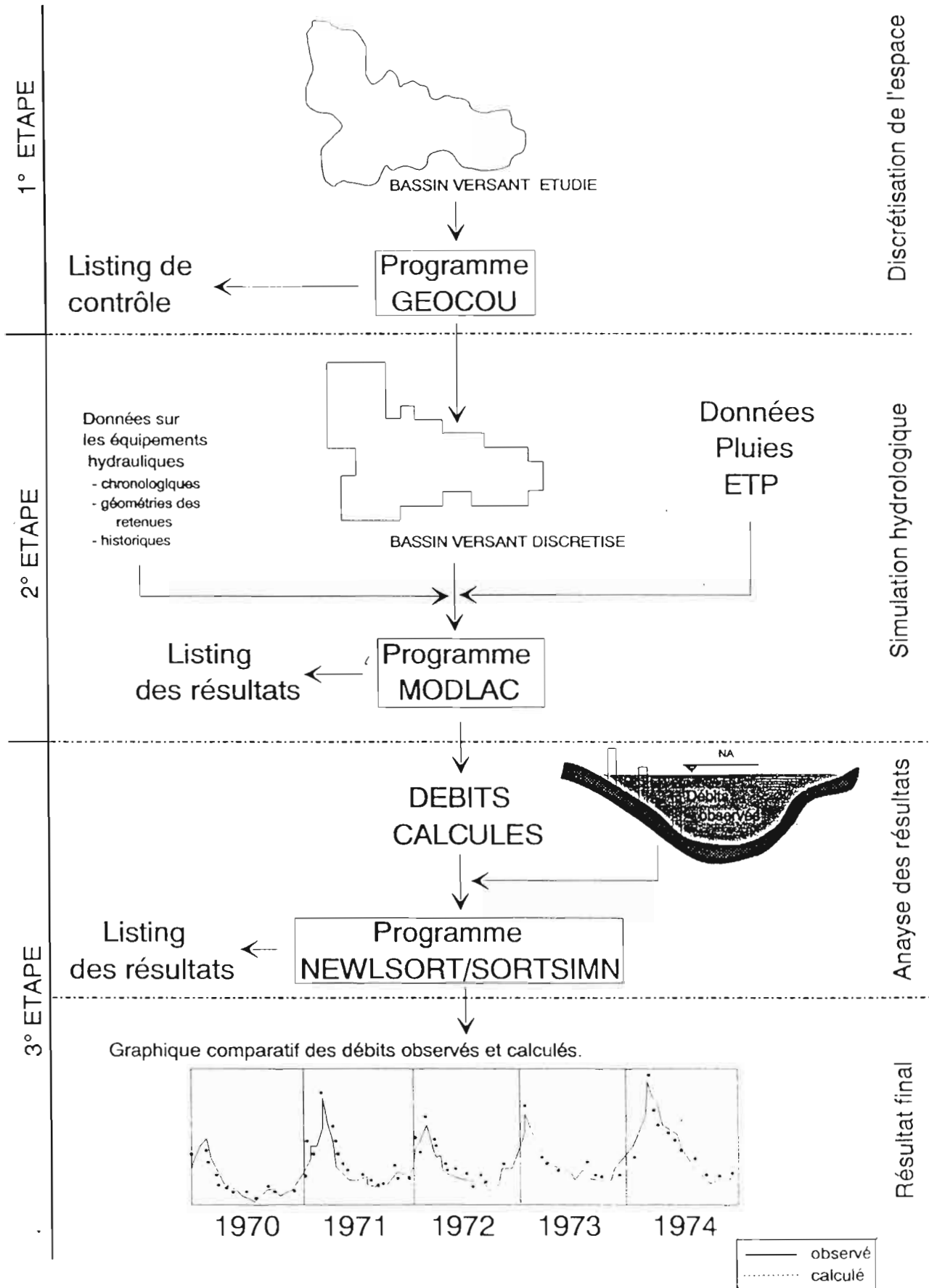


Figure 11: ORGANISATION GENERALE DU MODELE

E2 - MISE EN PRATIQUE

a) Equipements requis:

Le modèle MODLAC pour son exploitation nécessite les équipements suivants :

- pour un bassin de 400 mailles, avec trois années de simulation, un ordinateur de type compatible PC avec un processeur 286 et une mémoire de masse de 20Mo au minimum et une imprimante sur au moins 135 colonnes sont nécessaires;
- pour un bassin de 1000 à 1500 mailles (superficie de l'ordre de 50.000 km²), un PC de type 386 est nécessaire, de plus il doit être équipé d'une mémoire vive de 2Mo.
- une version pour station de travail SUN existe.
- l'interfaçage avec les banques de données sur les logiciels HYDROM et PLUVIOM est prévu.

b) Mise en oeuvre de la géométrie:

Les divers documents suivants sont indispensables :

- cartes topographiques de la région à modéliser, le 1/50.000 est recommandé;
- cartes d'occupations des sols;

Il est mieux que l'on dispose de la carte géologique ou hydrogéologique et l'idéal serait de disposer des photographies aériennes.

Les étapes successives de la mise en oeuvre de GEOCOU sont:

•- le montage du maillage:

- définition du maillage principal dit "mailles schéma-type",
- découpage et élimination des mailles pour préciser le domaine à modéliser,

•- l'information discrétisée sur le maillage (c'est la caractérisation du drainage et de la physiographie pour chaque maille discrétisée):

- choix des types de fonction de production compte tenu des informations que l'on pouvait recueillir sur les supports disponibles;

- discrétisation du bassin, avec prise en compte de la physiographie pour définir sur chaque maille une zone homogène;
- définition du réseau de drainage principal (mailles rivières), de la direction de drainage de chaque maille et de l'altitude minimale.

Ces étapes concernant la géométrie du bassin sont importantes. Un oubli, un mauvais choix de la direction de drainage ou une fausse altitude sont signalés par le modèle. Il faudra les corriger pour que le déroulement du programme puisse continuer.

c) Les données climatiques d'entrée:

Compte tenu de la distribution spatiale des précipitations (et autres événements climatiques), il est nécessaire de disposer d'une densité minimale de postes d'observation. Elle doit être élevée quand la superficie du bassin à modéliser est assez petite. En général pour un bassin de 1000km², il faut au moins une poste par maille de 10km de côté.

Comme le modèle donne directement la répartition des postes pluviométriques par rapport au maillage, il est impératif de bien caler les coordonnées des maillages du schéma-type, et des stations d'observation. Le système adopté est celui de l'Universal Mercator Traverse (UTM).

De même pour les ETPs, si elles ne sont pas déjà calculées, la formule utilisée est celle de Penman; elle demande la mise en forme des données de température, de l'humidité relative de l'air, de la durée de l'insolation, de la vitesse moyenne du vent et de la valeur de l'albédo.

d) Les données caractérisant les retenues et les prélèvements

La localisation de ces aménagements hydrauliques sur le réseau hydrographique doit être bien définie sur le maillage. Les données concernant les caractéristiques des retenues telles qu'elles ont été décrites au II - D1- interviennent pour le calcul du bilan sur la maille correspondante.

Il est nécessaire également de préparer les informations concernant leur exploitation:

- séries chronologiques des débits déversés, prélevés (pompage vers l'extérieur ou lachure pour l'aval), pour la modélisation;
- séries chronologiques des variations de la hauteur d'eau dans la retenue, pour le calage.

L'utilisation de l'eau en aval des retenues (AEP, irrigation,..) compte comme un débit prélevé sur la maille correspondante; un inventaire est fait avec la localisation en coordonnées et en mailles des points correspondants

e) Les données de contrôle de la simulation

Aux stations hydrométriques de contrôle, on doit disposer des données de débit et de hauteurs aux retenues au même pas de temps que les données de pluie, ceci afin de comparer les résultats et de valider, ou non, la valeur de chacun des paramètres.

E3 - EFFETS DES DIFFERENTS PARAMETRES

Les paramètres de MODLAC, comme nous l'avons indiqué plus haut peuvent être classés en deux grands groupes.

- les paramètres intervenant dans l'ajustement du volume écoulé global, et permettant la répartition des écoulements: CRT, DCRT et R.
- les paramètres intervenant dans la forme de l'hydrogramme, FN, CQR, QRmax, CQI et QImax.

*** Premier groupe:**

- **CRT:** une diminution de sa valeur, conduit à une augmentation de la lame d'eau écoulée;
- **DCRT:** une augmentation de sa valeur, conduit à une augmentation des forts débits (pics) sans trop faire varier le volume global;
- **Rinit.:** une augmentation de sa valeur, conduit à une légère augmentation du volume écoulé total et à une forte augmentation du débit en début de période.

CRT est le paramètre le plus sensible pour le calage du volume écoulé.

*** Deuxième groupe:**

- **FN:** sa variation doit aller en parallèle avec celle de CQI; une augmentation de sa valeur implique une repartition plus importante de l'écoulement souterrain dans l'écoulement global.

- **QRMAX**: une augmentation de sa valeur conduit à une diminution de nombre de grandes crues.
- **CQR**: une diminution de sa valeur conduit à une diminution de l'écoulement dans la période de crue.
- **QIMAX**: une augmentation de sa valeur conduit à une augmentation du volume écoulé dans la période d'étiage
- **CQI**: une augmentation de sa valeur conduit à une augmentation rapide des débits de base dans la période d'étiage.

Le poids relatif de ces différentes paramètres dépend surtout de la perméabilité du bassin.

E4 - AJUSTEMENTS DES DIFFERENTS PARAMETRES

L'expérience du modélisateur est un atout pour avancer d'une manière rationnelle dans ce travail. Il est conseillé, au départ, de s'appuyer sur des valeurs testées sur d'autres bassins et basée sur une bonne connaissance de son terrain et des types de fonction de production répertoriées, la recherche du calage est faite par itérations successives.

Plus il existe des paramètres, plus l'ajustement est difficile; c'est pour cela que des tests de sensibilité de chaque paramètre doivent être faits afin d'en mieux cerner le poids relatif. Ceci dépend beaucoup des données utilisées pour le calage.

Un protocole de travail est préférable à une intuition qui peut être discontinuée. Dans le cas de MODLAC, il faut:

- en premier lieu, faire le calage en volume, seuls les paramètres CRT, DCRT et Rinit. sont utilisés. Tous les autres étant mis à zéro, on commence par optimiser la valeur de CRT;
- en deuxième lieu, la repartition de l'écoulement, en infiltré et ruisselé par l'ajustement de FN est effectué;
- en troisième lieu, on ajuste les paramètres du réservoir superficiel, CQR et QRMAX,
- ensuite, on termine avec QIMAX et CQI.

Cet ordre d'ajustement est suivi au début seulement, pour une première sortie de l'hydrogramme. L'analyse de celui-ci conduit à l'élargissement du protocole de résolution.

La méthode proposée par ROBIN (1991), pour définir les étapes successives d'ajustement des paramètres a été en grande partie adoptée dans le calage de ce modèle.

PARTIE III APPLICATION SUR L'IKOPA DANS LA PLAINE D'ANTANANARIVO

- Présentation du bassin de l'Ikopa
- Présentation de la Plaine d'Antananarivo
- Modélisation du bassin de l'Ikopa
- Analyse et calage des paramètres
- Validation des résultats du calage
- Discussion sur les paramètres



Partie - III APPLICATION SUR L'IKOPA DANS LA PLAINE D'ANTANANARIVO

A - PRESENTATION DU BASSIN DE L'IKOPA

A1- LE MILIEU PHYSIQUE

a) Situation générale

Le Bassin de l'Ikopa fait partie des bassins des Hauts-Plateaux de Madagascar et à la particularité de contenir Antananarivo, la capitale.

Il représente le Haut-Bassin de la Betsiboka, un des fleuves les plus importants à Madagascar par son potentiel énergétique considérable et par son débit, (module de 900 m³/s). Ses affluents principaux, la Varahina-Nord et la Varahina-Sud prennent leurs sources à la limite orientale des hauts-plateaux qui est d'ailleurs la ligne de partage des eaux entre les deux versants de l'île, (c.f. Fig: 12).

Les crêtes du bassin sont à plus de 1500m au nord et de 1700m au sud; et l'altitude moyenne est de 1400m. La courbe hypsométrique du bassin est donnée sur la figure 13.

Le bassin versant étudié a une superficie de plus de 1500km² au niveau de l'exutoire de Mahitsy Kely (altitude de 1250m) qui a pour coordonnées géographiques:

- latitude de 18°51' S,
- longitude de 47°27' E

b) Relief - Sol et sous-sol

La topographie du bassin est très diversifiée; dans la partie supérieure, on trouve le paysage classique des hautes terres, avec ses reliefs accidentés et ses vestiges de forêt primaire. Lui succède un relief mamelonné, avec des vallées encaissées donnant lieu à un réseau hydrographique assez dense et chevelu, convergeant à la station d'Antelomita. Puis débutent les plaines alluvionnaires avec des zones à engorgement permanent où des rizières sont aménagées lorsque la plaine est drainée.

Les roches mères sont généralement recouvertes par une couche d'altération latéritique très épaisse. La capacité de rétention de cette couche est assez grande et, bien que le bassin soit privé de pluies pendant plusieurs mois de l'année, toutes les rivières sont pérennes. ALDEGHERI (1964).

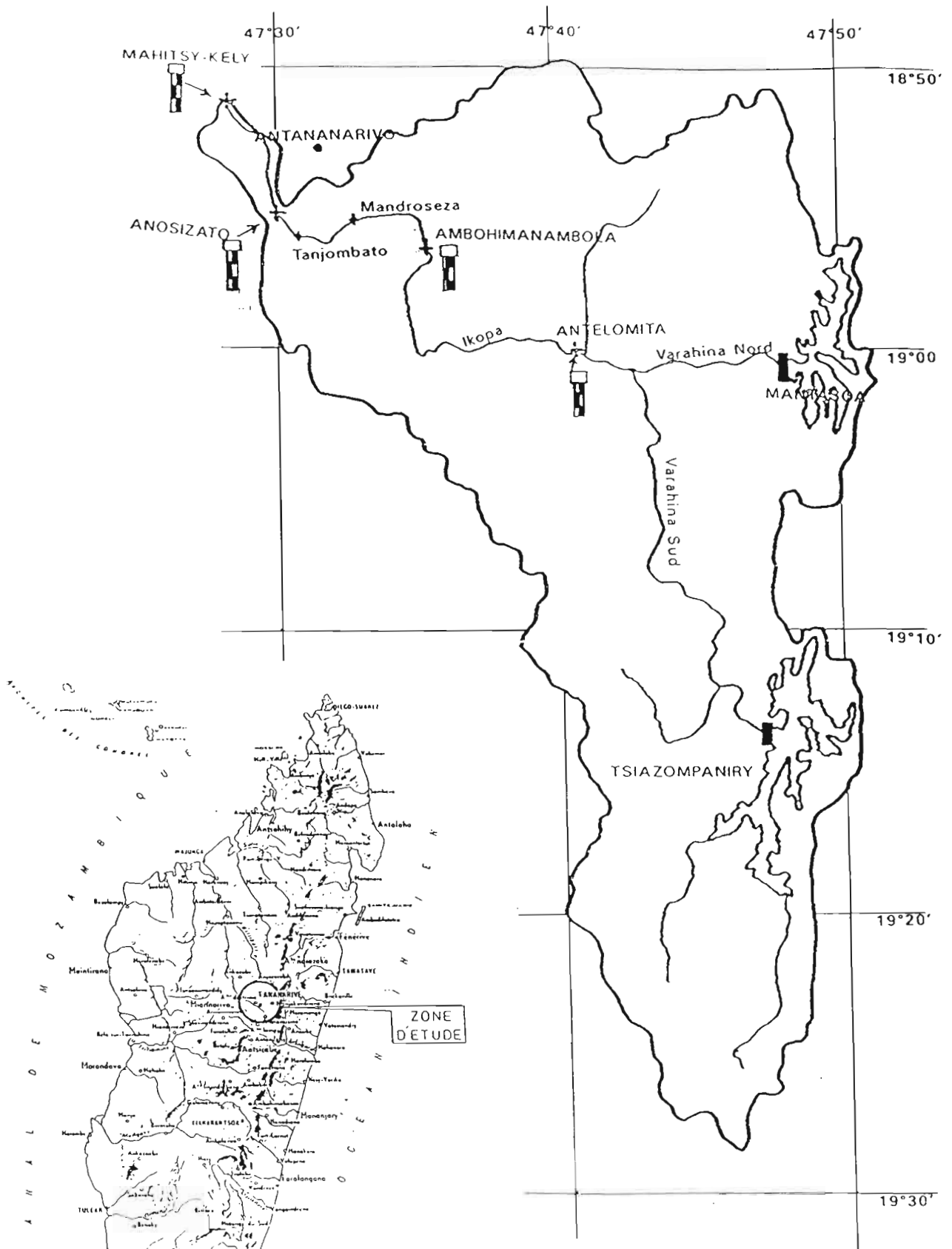


Figure 12: Situation générale du bassin de l'IKOPA à MAHITSY

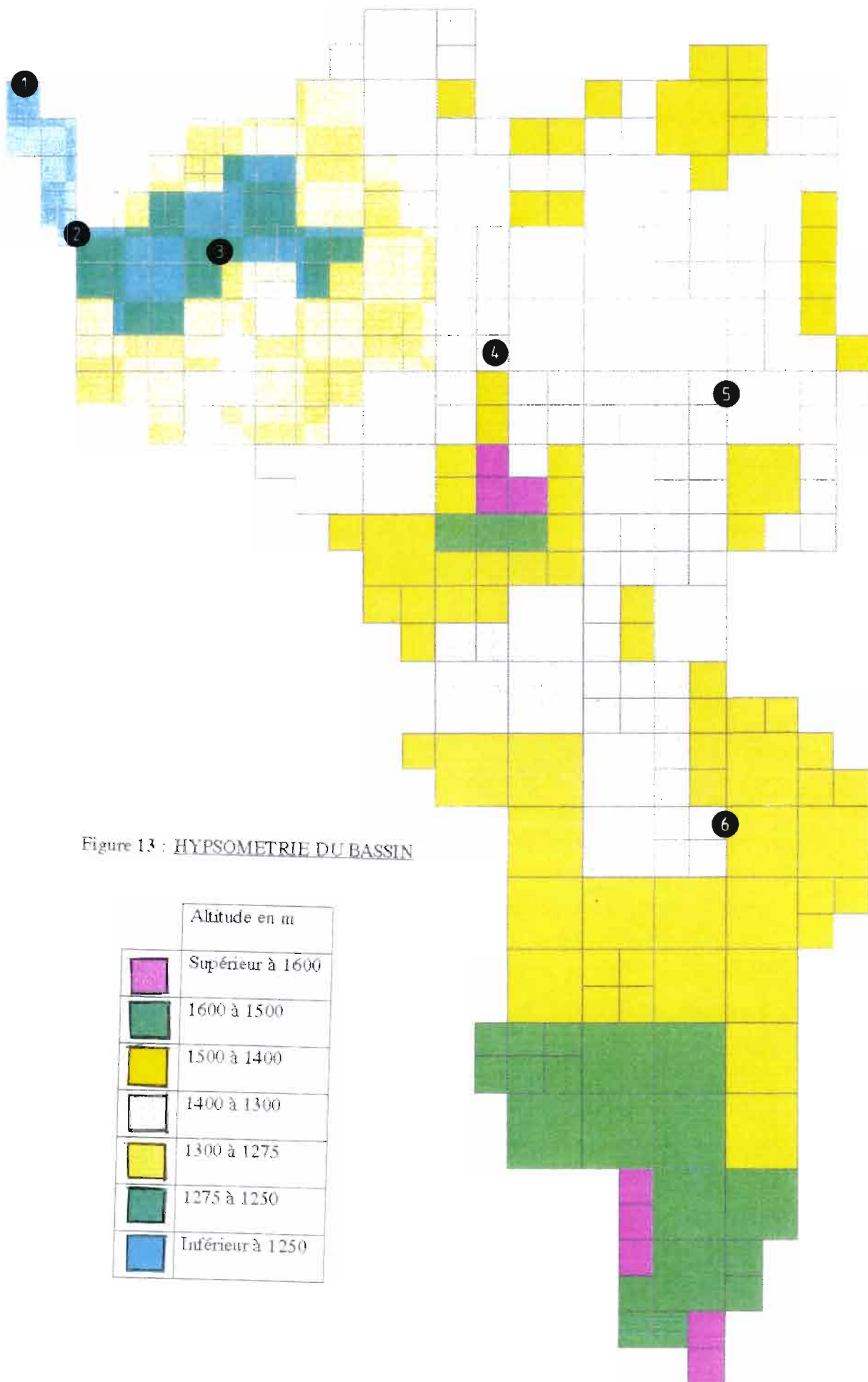









Figure 13 : HYPSONOMETRIE DU BASSIN

Altitude en m	
	Supérieur à 1600
	1600 à 1500
	1500 à 1400
	1400 à 1300
	1300 à 1275
	1275 à 1250
	Inférieur à 1250

La plaine, généralement, a les caractéristiques de terrains sédimentaires, avec une tranche superficielle limono-argileuse en partie tourbeuse. Ce sont des sols alluvionnaires, hydromorphes qui surplombent un front d'argiles gonflantes, de telles sortes qu'on rencontre des zones à engorgement temporaire (cause de mauvais drainage en saison pluvieuse) ou à engorgement total (marécages). Tous les sols sont aménagés en rizière lorsque la maîtrise de l'eau est bonne.

c) Le réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est dense et chevelu dans le cours supérieur de l'Ikopa.. Le cours moyen est calibré par l'endiguement avant d'entrer dans la plaine inondable.

Sur la plaine, les activités des riverains ne favorisent pas le rôle d'évacuateur de crue de la digue (prise directe sur rivière, draguage des sables,...). Le lit majeur de la rivière se trouve parfois sur le même niveau que la plaine d'inondation.

Il existe aussi d'autres perturbations du cours de la rivière, c'est au niveau de la confluence Ikopa-Sisaony à dix kilomètres en aval de Mahitsy Kely. Ce bouchon ralentit la vitesse d'écoulement et élève le niveau de la ligne d'eau en amont.

La pente moyenne de la rivière ,

- sur sa partie supérieure va de
 - 5m/km, sur 90km de la tête du bassin à la confluence de la Varahina Nord et Sud, avec une direction générale Nord-Sud;
- sur le cours moyen, de
 - 3,5m/km, sur 20km jusqu'à l'entrée de la plaine, avec une direction Est-Ouest.
- sur la plaine, elle serpente à 15cm/km où elle reçoit les apports des autres affluents, particulièrement la Sisaony.

L'Ikopa avec sa confluence à la Sisaony constituent le problème particulier de la plaine d'Antananarivo. (c.f. Présentation problème de la Plaine d'Antananarivo : III- B2).

- d) Végétations et occupation des sols

La majeure partie du bassin est recouverte d'une savane herbacée, drue. Un très faible pourcentage de cette zone est transformée en terrain de culture (au plus 15%) selon la proximité de la rivière et des habitats. On y retrouve des plantes à tubercules: manioc, pomme de terre, patates et quelquefois du maïs.

Des lambeaux de forêts, restes d'un brûlis systématique, persistent en tête du bassin sur une étroite bande. On retrouve également de nombreuses galeries forestières le long des rivières serpentant les vallées difficiles d'accès.

Sur la basse plaine, les cultures maraîchères se pratiquent le long des rivières; les rizières et les marais à zozoro (sorte de jonc résistant) sont assez fréquents sur les sols tourbeux et hydromorphes. L'espace occupé pour la culture du riz est important à partir de la station d'Ambohimambola. Ce sont:

- ceux des propriétaires privés qui respectent plus ou moins l'organisation mise en place sur la politique de l'eau;
- des périmètres aménagés, souvent submergés à cause du système de drainage non entretenu.

On localise ces périmètres à l'aval de la station d'Anosizato, les grands espaces aménagés se trouvant hors du bassin étudié.

A2- CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

Madagascar est située dans la zone de convergence inter-tropicale (ZCIT). Elle est soumise à un régime de cyclone de décembre à février. Sur les hauts-plateaux, les effets des cyclones sont déjà amortis, mais les précipitations sont encore abondantes.

a) Précipitations:

Soumise à un climat tropical d'altitude, la pluie annuelle sur le bassin est de l'ordre de 1450mm, les 3/4 du bassin reçoivent une précipitation voisine de 1400mm, valeur qui croît jusqu'à 1900mm sur les reliefs du nord-est et jusqu'à 1626mm sur les reliefs du sud-est. La figure 14 représente la courbe hypsométrique du bassin.

On retiendra à titre indicatif la moyenne des précipitations en mm aux stations suivantes:⁽¹⁾

Ambatolaona	Tsiazompaniry	Mantaso	Antelomita	Anjeva	Antananarivo	Itaosy
1906	1626	1826	1330	1407	1388	1384

(1) ces stations sont présentées selon leur emplacement de l'amont vers l'aval du bassin.

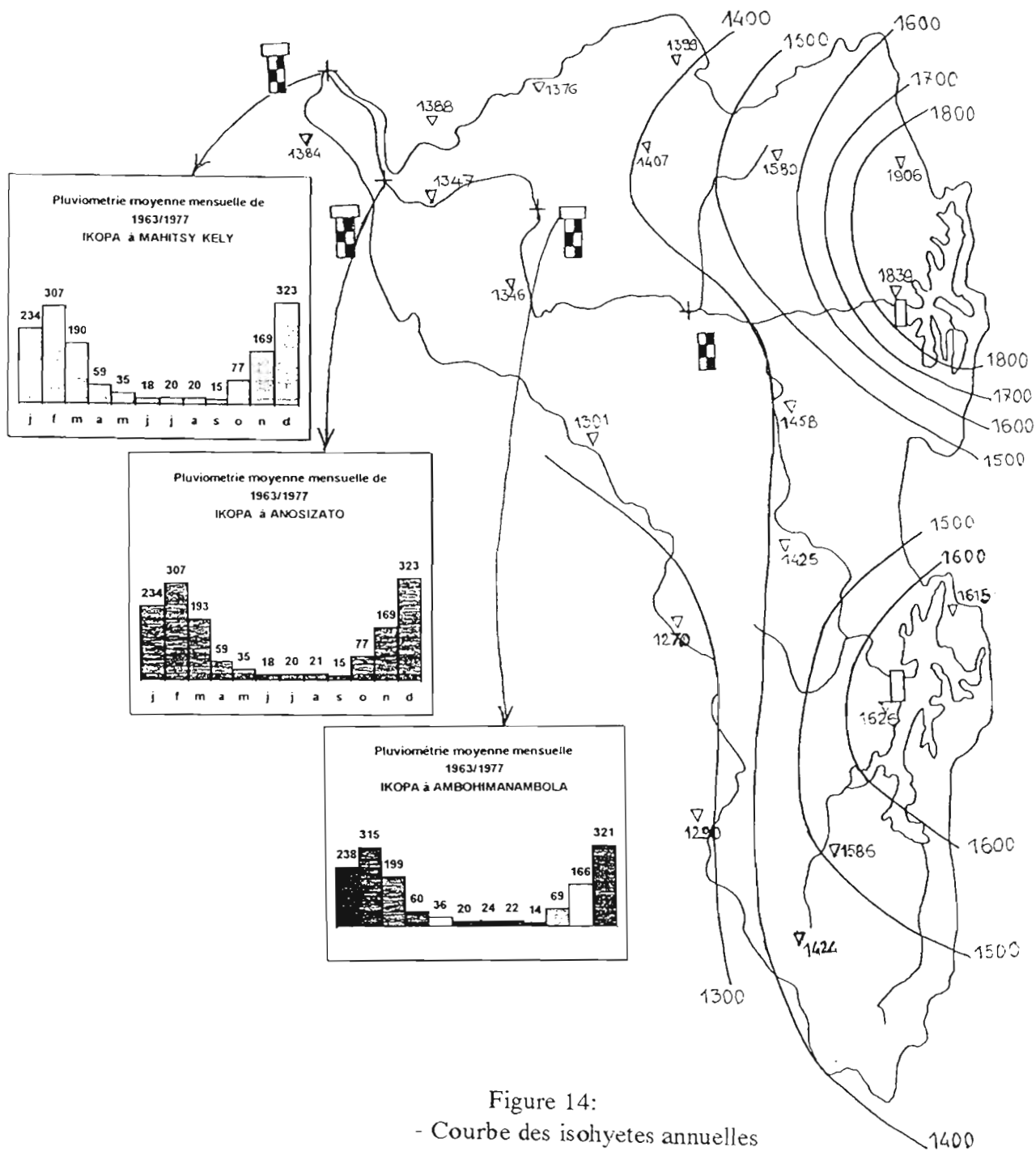


Figure 14:
 - Courbe des isohyètes annuelles
 - Répartition mensuelle des pluies

La saison des pluies se situe entre le mois d'octobre à avril; 85% des pluies sont enregistrées durant cette période. La précipitation maximale mensuelle pour le bassin d'Ambohimambola par exemple est de 470mm.

Sur la figure 14 nous représentons également la répartition moyenne mensuelle des pluies de 1963 à 1977.

Les pluies sont provoquées soit par des orages se produisant dans le milieu de l'après-midi, soit par des dépressions cycloniques. Pendant la période de 1971 à 1975, les pluies maximales journalières suivantes sont mesurées⁽²⁾ :

Station	P. max journalières	Année	Station	P. max. journalières	Année
Angodongodo	123mm	janv.1971	Mantaso	228mm	mars 1975
Mantaso	114mm	fevr.1971	Ambatolaona	241mm	mars 1975
Mandroseza	159mm	janv.1972	Ambatomanga	175mm	mars 1975
Antelomita	139mm	fevr.1972	Angavokely	199mm	mars 1975
Ambatomitsan	179mm	fevr.1972	Anjeva	156mm	mars 1975
Anosibe Andr	124mm	janv.1973	Anosibe Andr	144mm	mars1975
Tsiazompaniry	146mm	fevr.1973	Tananarive	128mm	mars 1975
Tsiazompaniry	125mm	mars1973	Tsiazompaniry	194mm	mars 1975

b) Températures - Humidité de l'air

Les changements des températures de l'air sont dues à la variation au cours de l'année de l'incidence des rayons solaires qui entraîne une différence de l'intensité du rayonnement. Sur les hauts-plateaux malgache, la saison froide a lieu de juin à septembre et la saison chaude d'octobre à mai.

Les valeurs enregistrées à la station d'observation d'Antananarivo (altitude de 1380m) représentent la majeure partie du bassin; le gradient thermométrique étant de l'ordre de 1°C pour une variation d'altitude de 250m.

Pour l'humidité de l'air, il aurait été préférable de disposer d'autres stations sur le haut du bassin, faute d'autre observation on se contentera des données de celle d'Antananarivo.

(2)années 1971 à 1973: années normales, année 1974:année sèche
année 1975: passage du cyclone Inès

A titre indicatif, on retiendra les valeurs des températures suivantes à Antananarivo (pour les autres caractéristiques climatiques, humidité relative, vitesse du vent,...) nous donnons en annexe les tableaux correspondants):

- moyenne des maxima de temperature : 26°C
- moyenne des minima de temperature : 12°C
- temperature maximale absolue (Octobre): 34°C
- temperature minimale absolue (Juillet) : 01°C

c) Evapotranspiration

Les éléments retenus pour le calcul de l'évapotranspiration par la méthode de Penman sont ceux de la station d'Antananarivo. Les résultats correspondants sont consignés ci-dessous (on retrouvera également en annexe les ETPs calculées pour chaque année):

Janv.	Fevr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Octo.	Nov.	Dece.
83.7	101	121	129	133	120	117	120	123	129	99	81.6

A3 LE REGIME HYDROLOGIQUE

a) Le réseau d'observation

Le bassin de l'Ikopa au droit de Mahitsy-Kely, contient trois stations hydrométriques, en plus des lectures effectuées aux retenues. Les emplacements respectifs de ces stations sont indiqués sur la figure 15.

b) Caractéristiques hydrologiques

Au cours de l'année, la répartition de l'écoulement est très irrégulière et suit le régime des pluies. Par ailleurs cet écoulement est régulé, en saison sèche surtout, par le fonctionnement des deux barrages-réservoirs en amont qui assurent le soutien du débit à l'étiage et qui sont partiellement vidés avant la saison des pluies afin d'assurer leur rôle d'écrêteur de crue.

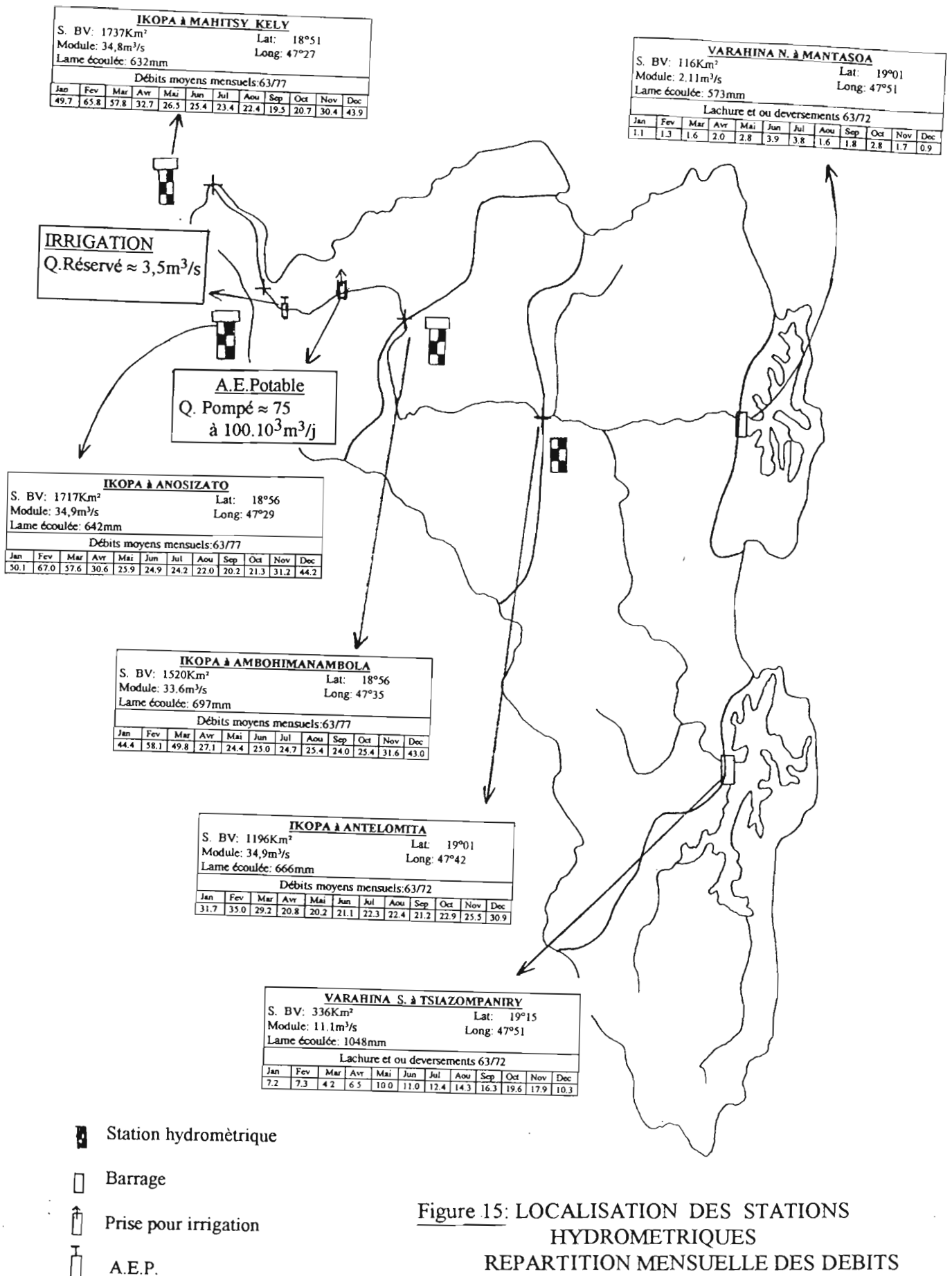


Figure 15: LOCALISATION DES STATIONS HYDROMETRIQUES
 REPARTITION MENSUELLE DES DEBITS

L'année hydrologique débute le 01 novembre et finit le 31 octobre:

- au début de la saison de pluie (novembre), les débits croissent jusqu'en février qui est le mois le plus abondant. Plus de 55% de l'écoulement annuel est enregistré durant cette période de novembre à février.

- dès le mois de mars, la décrue commence avec une forte décroissance jusqu'au mois d'avril. Même s'il y a encore de la pluie, le débit n'augmente pas pour autant.

- jusqu'en octobre si des lâchures ne sont pas effectuées au niveau des réservoirs, il n'y a plus de variation notable du débit.

Les valeurs caractéristiques aux différentes stations hydrométriques sont données dans les tableaux qui accompagnent la figure 15.

Les figures 16a à 16e montrent qu'il existe une bonne correspondance entre les hydrogrammes enregistrés aux 5 stations pour la période 1971-1975. Ceci laisse supposer une qualité correcte des données.

A4- LES AMENAGEMENTS SUR L'IKOPA

Les aménagements sur l'Ikopa sont résumés par le schéma ci-après,

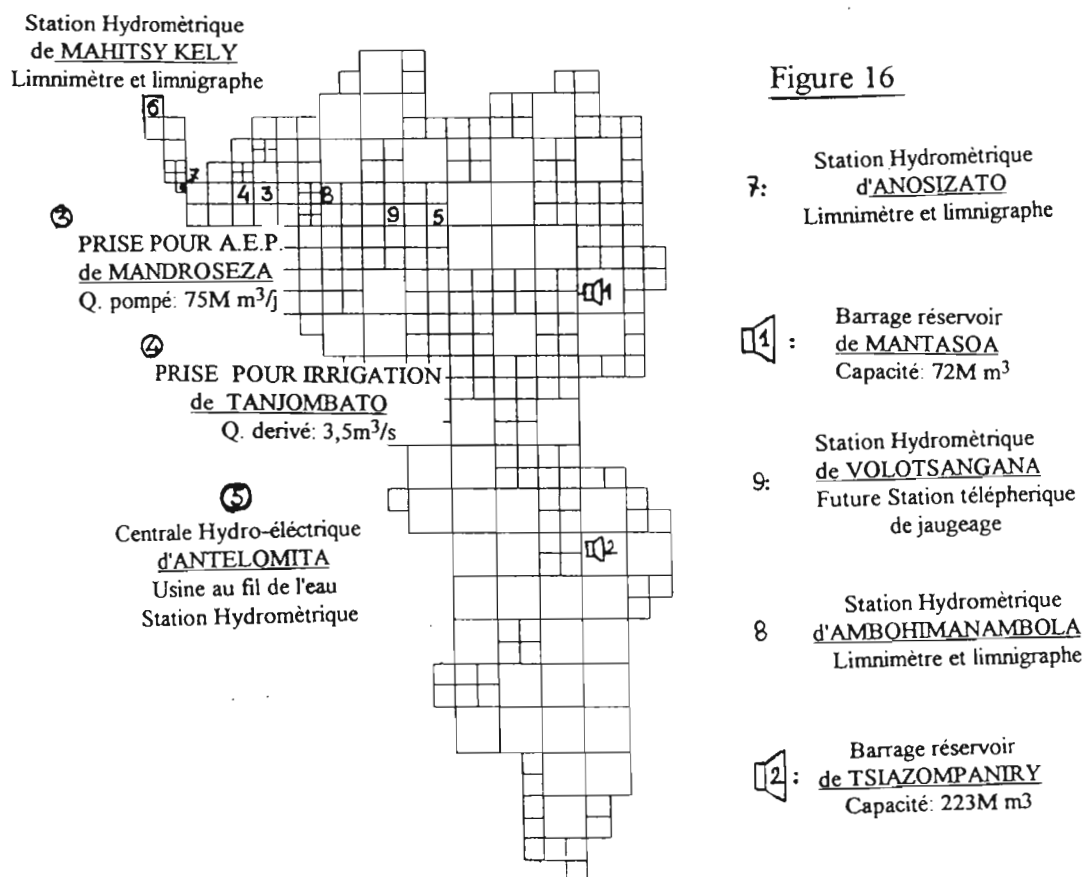
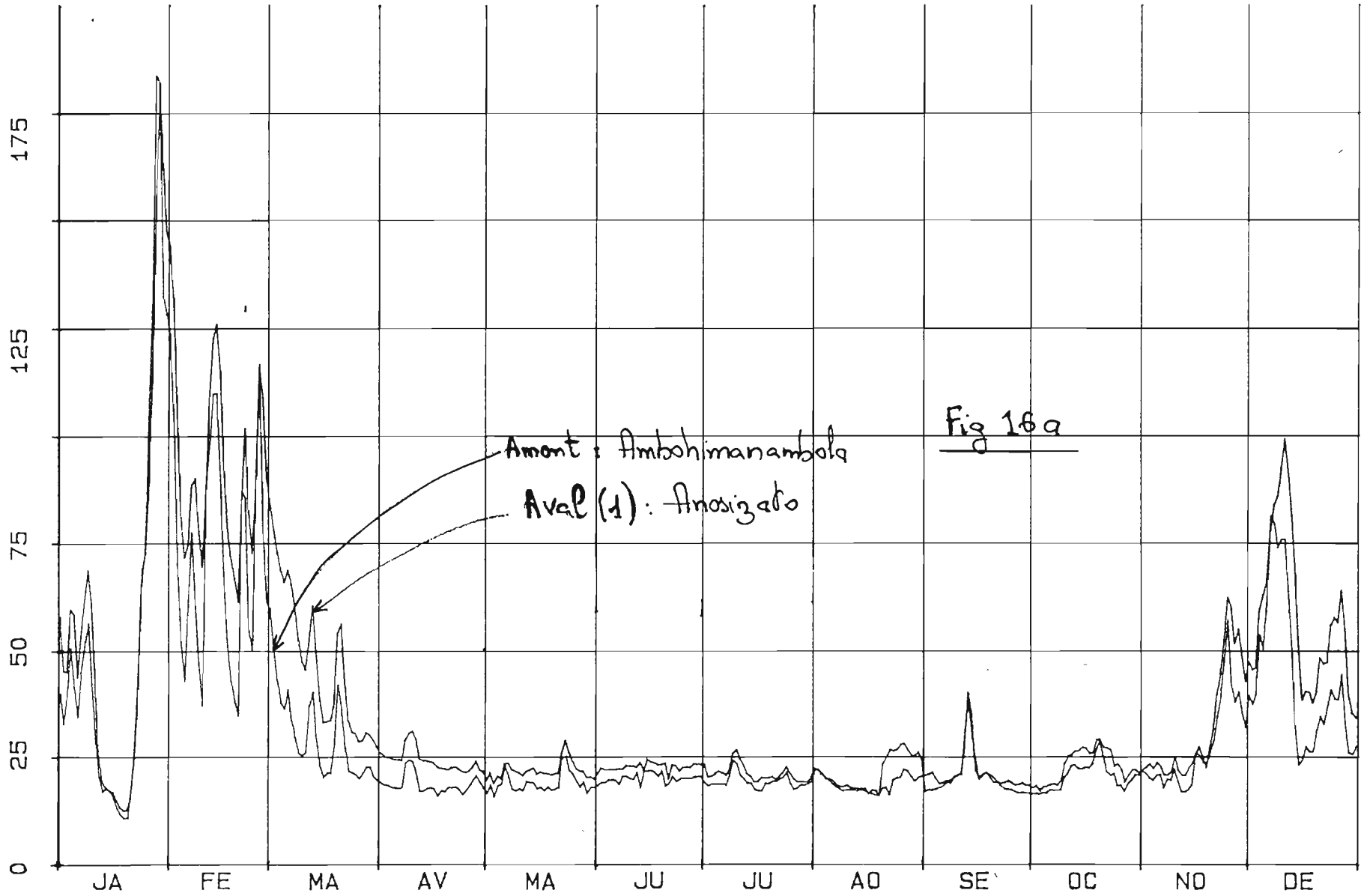


Figure 16

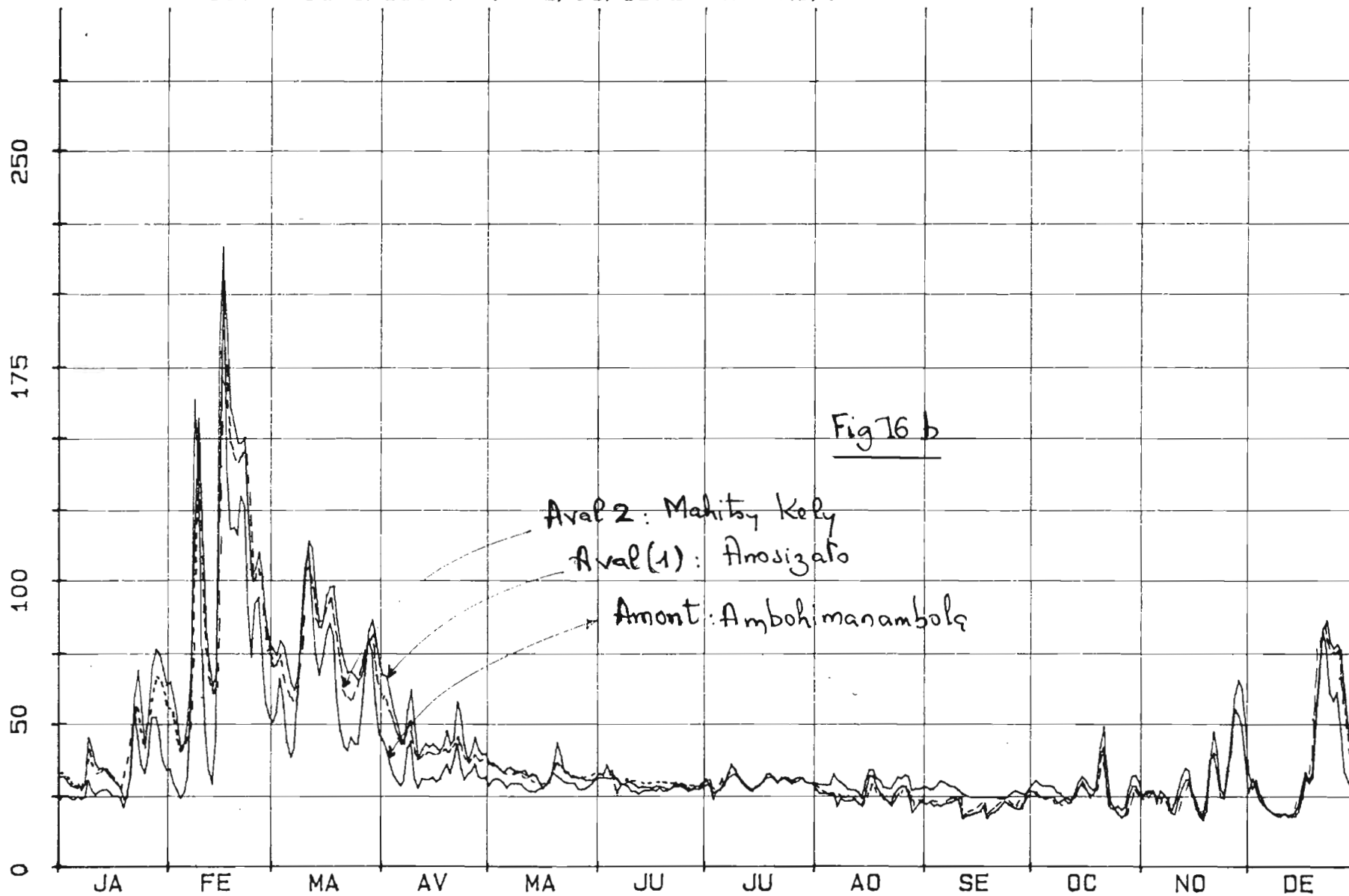
1250100202 IKOPA

debut du trace le : 1/01/1971 en M3/S



1250100203 IKOPA

debut du trace le : 1/01/1972 en M3/S



1250100203 IKOPA

debut du trace le : 1/01/1973 en M3/S

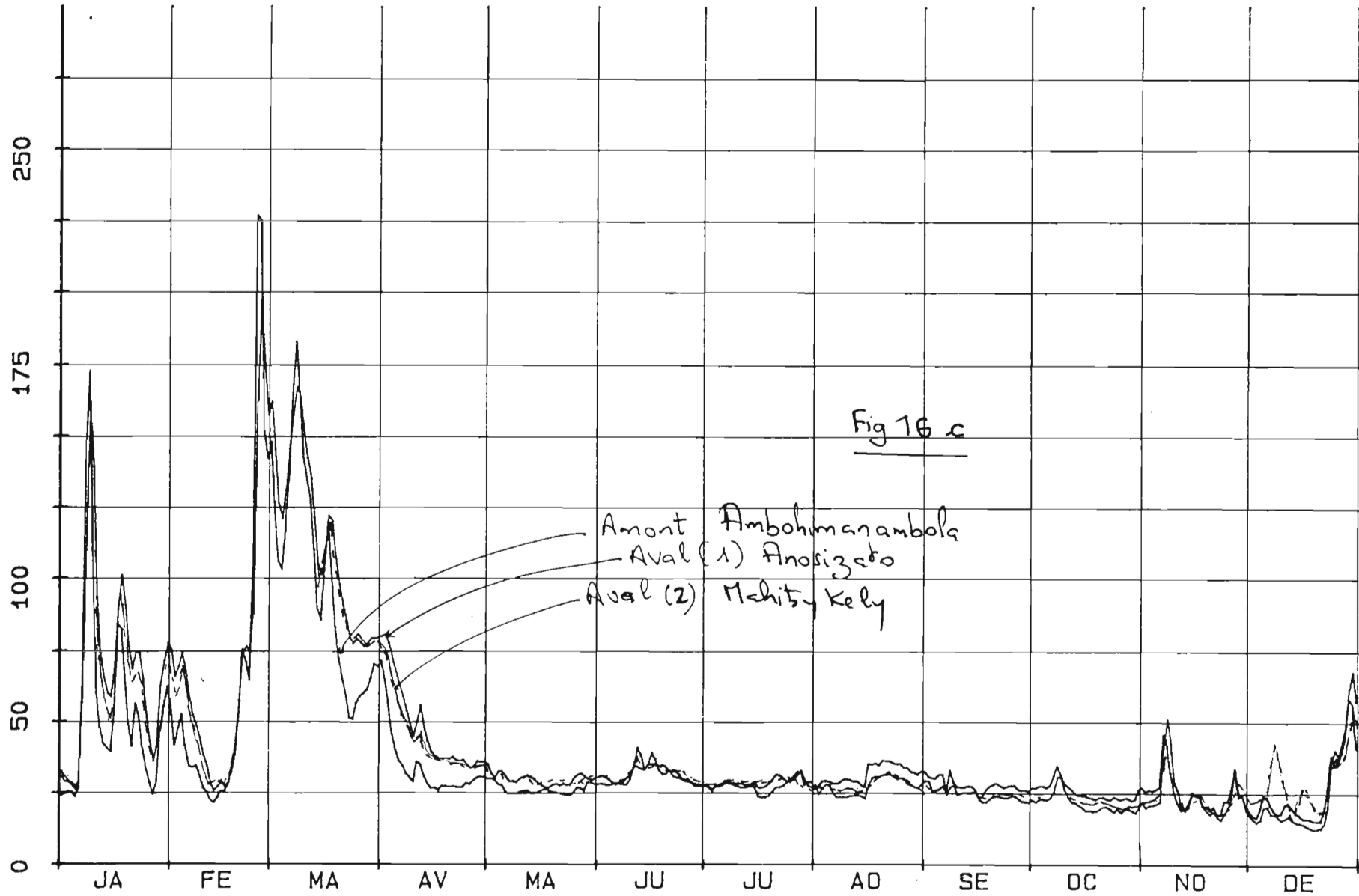
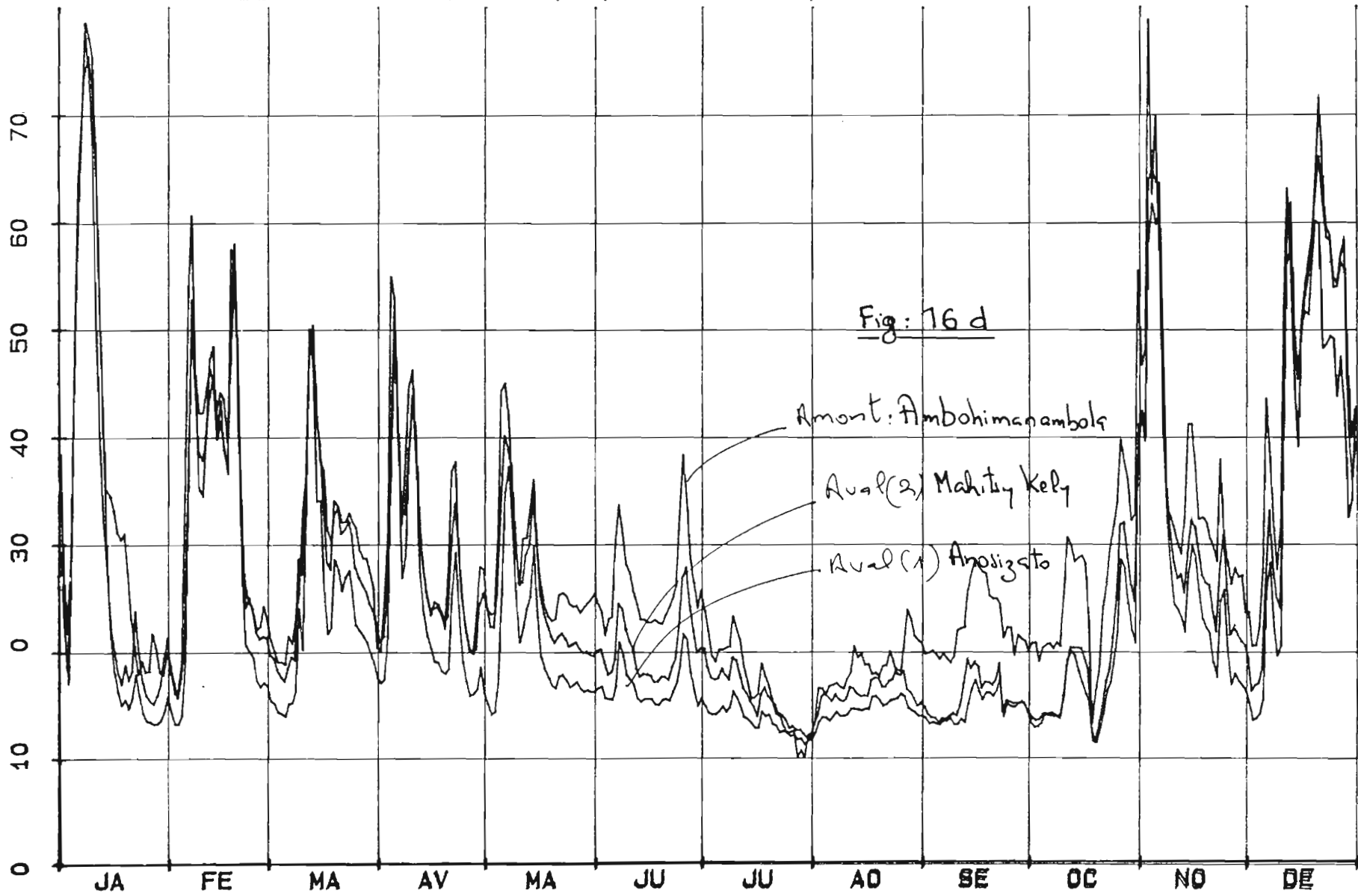


Fig 16 c

Amont Ambohimambola
Aval (1) Anosizeto
Aval (2) Mahity Kely

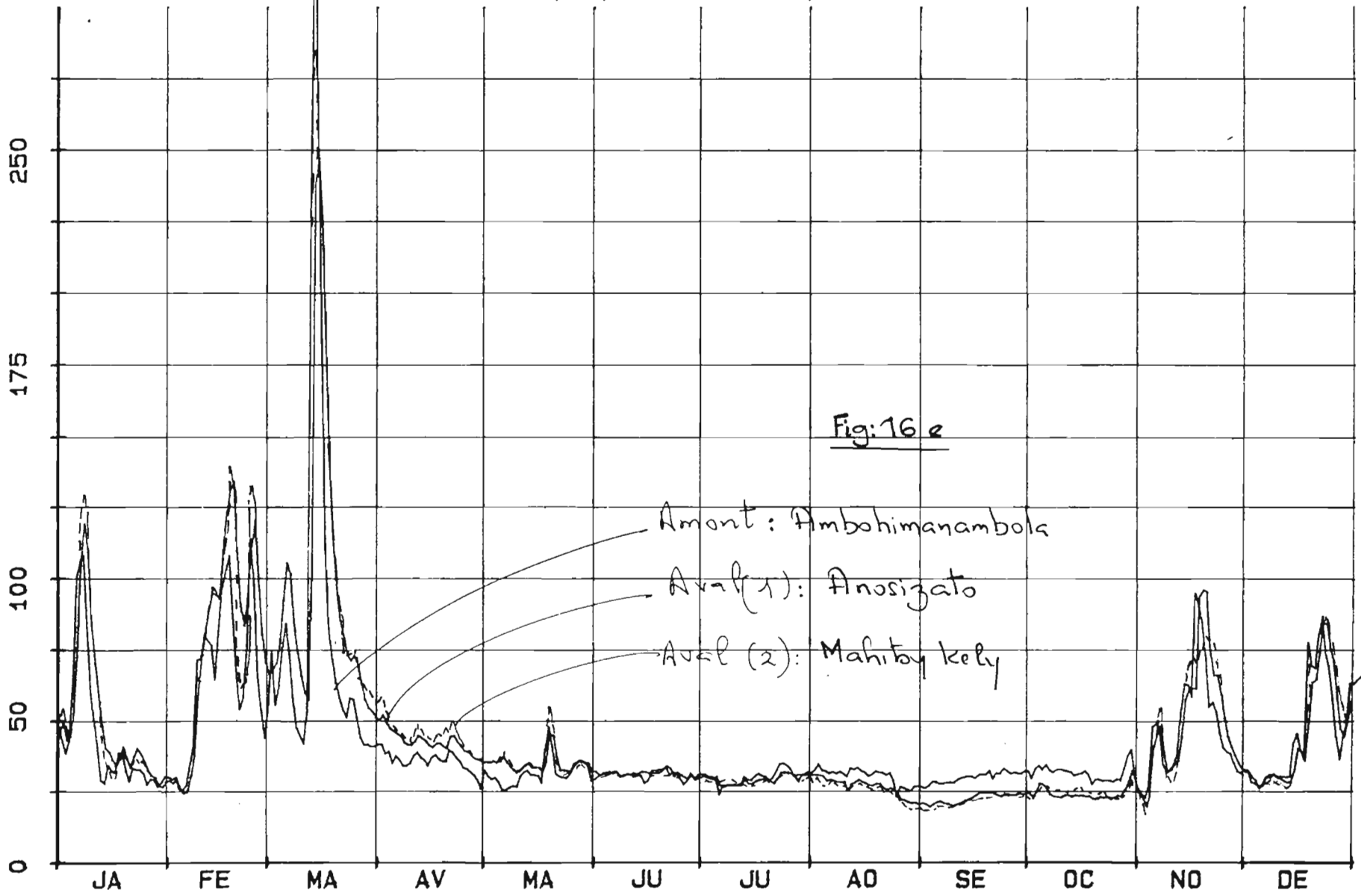
12501002 IKOPA

debut du trace le : 1/01/1974 en M3/S



1250100203 IKOPA

debut du trace le : 1/01/1975 en M3/S



a) Caractéristiques de la retenue de Mantasoa

La station de Mantasoa contrôle un bassin de 116km², situé sur le rebord nord-est du bassin de l'Ikopa. La retenue constitue un soutien du débit à l'étiage sur la plaine rizicole en aval.

L'aménagement a les caractéristiques suivantes:

- capacité du réservoir: 72 millions de m³
- surface maximale inondée: 1850 ha
- lâchures et déversements (moyenne annuelle⁽³⁾): 1.9 m³/s

Les lâchures sont effectuées à partir du mois d'août jusqu'à mi-octobre.

La digue d'Analavory, fermant un col vers le nord-est, fonctionne en déversement hors du bassin, lorsque le barrage est fermé. Après la construction de la retenue de Tsiazompaniry, les eaux de Mantasoa servent plutôt à alimenter la centrale de la Mandraka, hors du bassin, avec le débit dérivé correspondant à 80 millions de m³/an. Nous ne disposons pas du calendrier programmant ce déversement.

b) Caractéristiques de la retenue de Tsiazompaniry

La station de Tsiazompaniry contrôle un bassin de 336km². Le barrage stocke les apports de la Varahina et d'un autre affluent, la Manandriana. Le barrage fut conçu pour l'écretage des crues sur l'Ikopa mais il joue également le rôle de soutien du débit à l'étiage.

L'aménagement a les caractéristiques suivantes:

- capacité du réservoir: 223 millions de m³
- surface maximale inondée: 2800 ha
- lâchures et déversements (moyenne annuelle⁽³⁾): 11.2 m³/s

Le stockage s'effectue de novembre à mai (environ 100 millions de m³) et la restitution à l'aval s'étale de juin à octobre selon le calendrier cultural du riz.

Notons toutefois l'existence de multiples prises "sauvages" dans le tronçon Ambohimanambola jusqu'à Anosizato qui perturbent les bilans.

⁽³⁾ de 1971 Á 1975

B - PRESENTATION DE LA PLAINE D'ANTANANARIVO

B1- CADRE PHYSIQUE

La grande plaine d'Antananarivo est le résultat d'une sédimentation dans un lac de barrage tectonique de formation récente. Elle couvre une superficie de 30.000ha et comprend notamment la plaine de Betsimitatatra (se traduisant littéralement: "Trop grand pour être vidangé!"), un vaste marécage gorgé d'eau. Le seuil naturel, de Bevomanga dû à une surélévation tectonique, barre le lit de l'Ikopa et fixe ainsi le niveau de base de la plaine. Une grande partie de la plaine est cultivée en riz, une moyenne annuelle de 5 à 6m³/s sont dérivés pour assurer une bonne irrigation. C'est l'Ikopa et la Sisaony qui participent en plus à cette dérivation, à des proportions respectives de 65 et 35% selon la saison précédente.

A l'entrée de la plaine, les rivières décrivent de nombreux méandres ralentissant la vitesse d'écoulement des eaux. Le haut du bassin est constitué par des collines nues avec des altérations latéritiques récentes. Le débit solide transité est très important et la sédimentation au niveau de la plaine considérable. Le lit mineur est ainsi très mobile et le débordement imprévisible.

Pour éviter que les eaux ne s'étalent davantage, risquant l'inondation de la ville-basse, et pour récupérer des terres, les cours d'eau ont été endigués sur la partie bordant le contour sud de la ville d'Antananarivo. Le problème persiste cependant car au lieu d'un étalement, on a une forte surélévation du lit dû à un alluvionnement constant.

L'écoulement s'effectue donc presque toujours au dessus de la plaine; il y a risque de débordement ou accentuation des brèches par les flots qui sont reflusés depuis l'aval (présence du seuil naturel).

B2- PROBLEME DE DRAINAGE ET RISQUE D'INONDATION

Les deux grands problèmes attachés depuis toujours au nom de " Plaine d'Antananarivo " sont:

- le problème de drainage dû à une forte urbanisation de la ville basse, à la vétusté des infrastructures, à l'insuffisance des canaux de drainage et surtout à la nature même de la texture du sol de type hydromorphe sur une assise quasi-imperméable;

- le risque d'inondation de la ville dû au débordement ou à la rupture de la digue.

La conception initiale de la digue avec l'évolution de l'hydraulicité de l'écoulement favorise la persistance de ces deux problèmes (figure 17).

En effet,

- la digue ne permet pas d'écouler plus de $350\text{m}^3/\text{s}$ sans qu'il y ait risque de débordement;
- la décrue est prolongée par l'existence du seuil de Bevomanga, à l'aval de la station de Mahitsy, (sortie de la ville);
- la confluence de l'Ikopa avec un autre affluent important, la Sisaony, fait qu'il existe une sorte de bouchon hydraulique. Cette confluence se situe à 10km environ de la station suivie et la conséquence est notable lors des fortes pluies; la Sisaony a une crue, en général, en avance de 24h par rapport à l'Ikopa;
- l'étalement de la décrue dû aux aménagements des rizières recouvrant 80% de la plaine (diguettes, digues-routes,...), freinent l'écoulement des eaux;
- au niveau d'Anosizato, il y a rétrécissement du val d'inondation, par la proximité de la route nationale n°1 (route-digue), et donc un autre bouchon hydraulique.

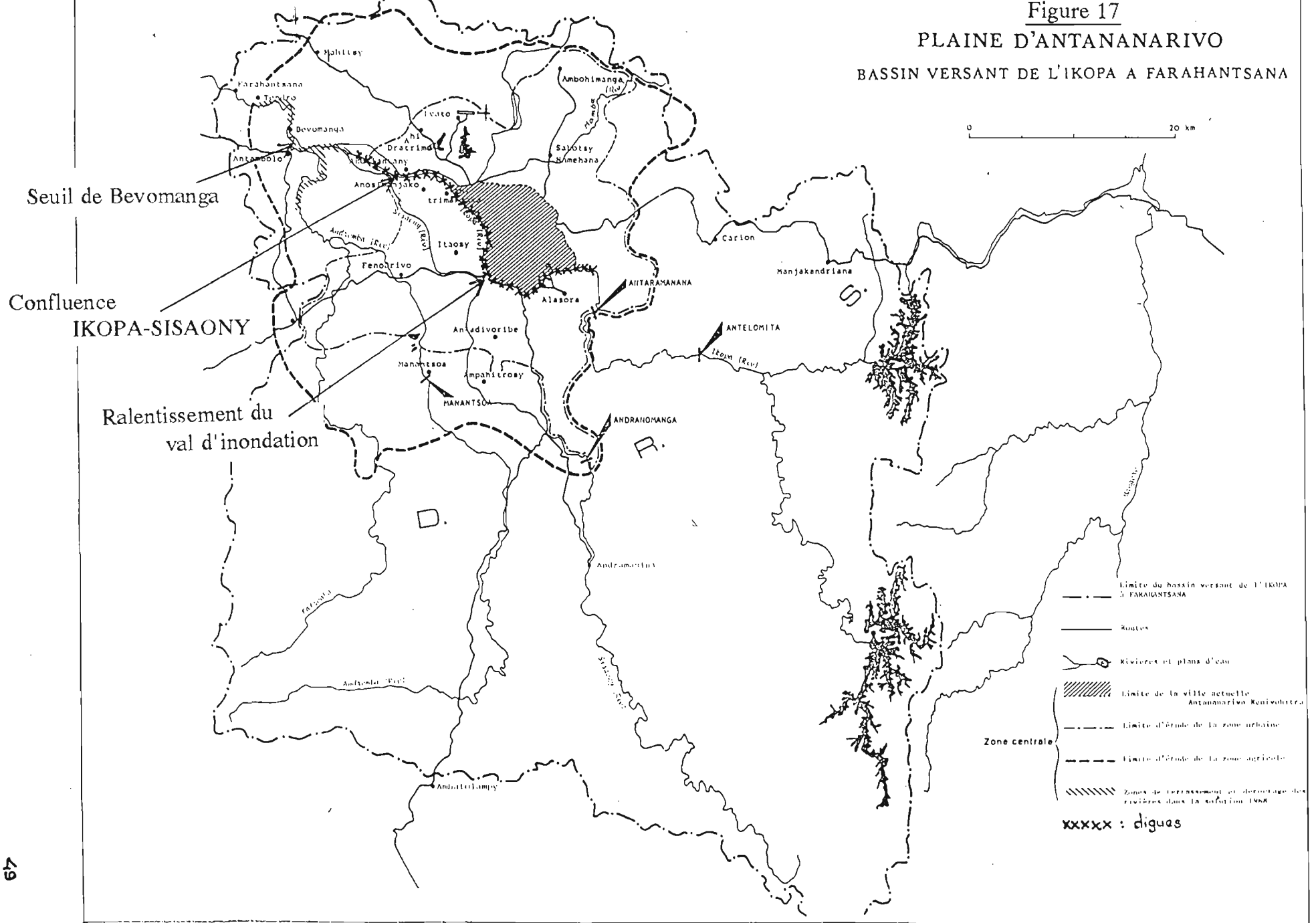
B3- SITUATION ACTUELLE

La préoccupation de l'autorité actuelle face à ces deux problèmes a conduit à des séries de projet consistant notamment:

- à un rehaussement de la digue;
- au déroctage du seuil à l'aval;
- à une maîtrise du drainage par la création d'un réseau séparatif;
- à la création d'un barrage de retenue en amont, à Antelomita;
- à une gestion plus rigoureuse du réservoir de Tsiacompaniry et de Mantasoa, avec éventuellement un déversement hors du bassin;

Ainsi l'application du modèle MODLAC sur cette région se trouve justifié, du fait de ses possibilités de pouvoir tenir compte de ces réorganisations hydrauliques futures. Il appartient à l'utilisateur, de disposer les données correctes et de quantifier les paramètres du modèle.

Figure 17
 PLAINE D'ANTANANARIVO
 BASSIN VERSANT DE L'IKOPA A FARAHANTSANA



C - MODELISATION DU BASSIN DE L'IKOPA

C1- DISCRETISATION DU BASSIN

A partir de la carte topographique au 1/100.000, les étapes suivantes ont été réalisées:

- tracé des limites du bassin versant, et des sous-bassins;
- mise en évidence du réseau de drainage principal;
- localisation de toutes les stations hydrométriques, des retenues, et des postes pluviométriques retenues pour la simulation

a) Maillage

Le choix de la taille dépend en premier lieu de l'envergure du bassin, mais aussi de la capacité de l'ordinateur qui limite le nombre total possible de mailles.

Nous avons adopté le dimensionnement du maillage suivant:

- taille de la grande maille: 4.000m
- taille de la moyenne maille: 2.000m
- taille de la petite maille: 1.000m

Etant donné la précision de l'information saisie sur une carte au 1/100.000, il n'a pas été jugé nécessaire d'utiliser des micro-mailles.

La discrétisation du bassin a été faite selon le principe évoqué au chapitre II-A ; pour le bassin de l'Ikopa à Mahitsy Kely, nous avons abouti aux valeurs suivantes:

- nombre de maille schéma-type,
 - en largeur: 13
 - en longueur: 21
- nombre de maille de surface: 303 dont, 49 en grandes mailles, 233 en moyennes et 21 en petites
- nombre de maille rivière: 53

Le graphique de la discrétisation du bassin est donné sur la figure n°18.

b) Calages en coordonnées du maillage

Pour permettre au modèle de déterminer les coordonnées de chaque maille, le maillage schéma-type a été positionné en coordonnées UTM. C'est une opération nécessaire car elle permet non seulement d'attribuer automatiquement la pluviométrie de chaque maille mais aussi de connaître la localisation exacte des diverses singularités du bassin.

Il est donc nécessaire de changer les coordonnées lues sur la carte. Le système de projection établi pour Madagascar, du fait de sa forme étirée par rapport au méridien est celui établi par Laborde et portant son nom. Dans notre calcul de transformation, nous avons observé que compte tenu de la taille du bassin de l'Ikopa et de sa forme allongée, parallèle au méridien, la confusion des deux systèmes n'aurait pas entraîné une erreur significative. Nous donnons la formule de transformation dans l'annexe.

Nous avons les coordonnées suivantes pour le schéma-type:

	Latitude(*)	Longitude(*)	X, en U.T.M.	Y, en U.T.M.
Coin haut-gauche	47°25'20" S	18°47'30" E	504,000	812,000
Coin haut-droite	47°57'28" S	18°47'30" E	560,000	812,000
Coin bas gauche	47°57'28" S	19°33'20" E	560,000	728,000

c) Direction de drainage

Les étapes suivantes ont été entreprises pour définir le sens de drainage de chaque maille:

- sur la carte au 1/100.000, le tracé des courbes de niveau fut renforcé;
- les altitudes minimales des mailles rivières et ensuite des mailles bassins sont lues. Des interpolations ont été faites le long du réseau hydrographique principal pour déterminer ces valeurs de façon à assurer la dénivellée correcte.
- le sens de drainage a été défini, parmi les huit directions possibles. Cette étape permet la répartition des mailles aux sous-bassins versants. Des contrôles ont été effectués en comparant les superficies mesurées et celles fournies par le modèle.

Sur la figure n°18 nous avons la discrétisation du bassin versant et sa situation en coordonnées (latitude, longitude).

Les figures n°19 et 20 nous présentent les sous-bassins réels et ceux de calcul, le réseau de drainage principal et l'arborescence de l'écoulement du bassin.

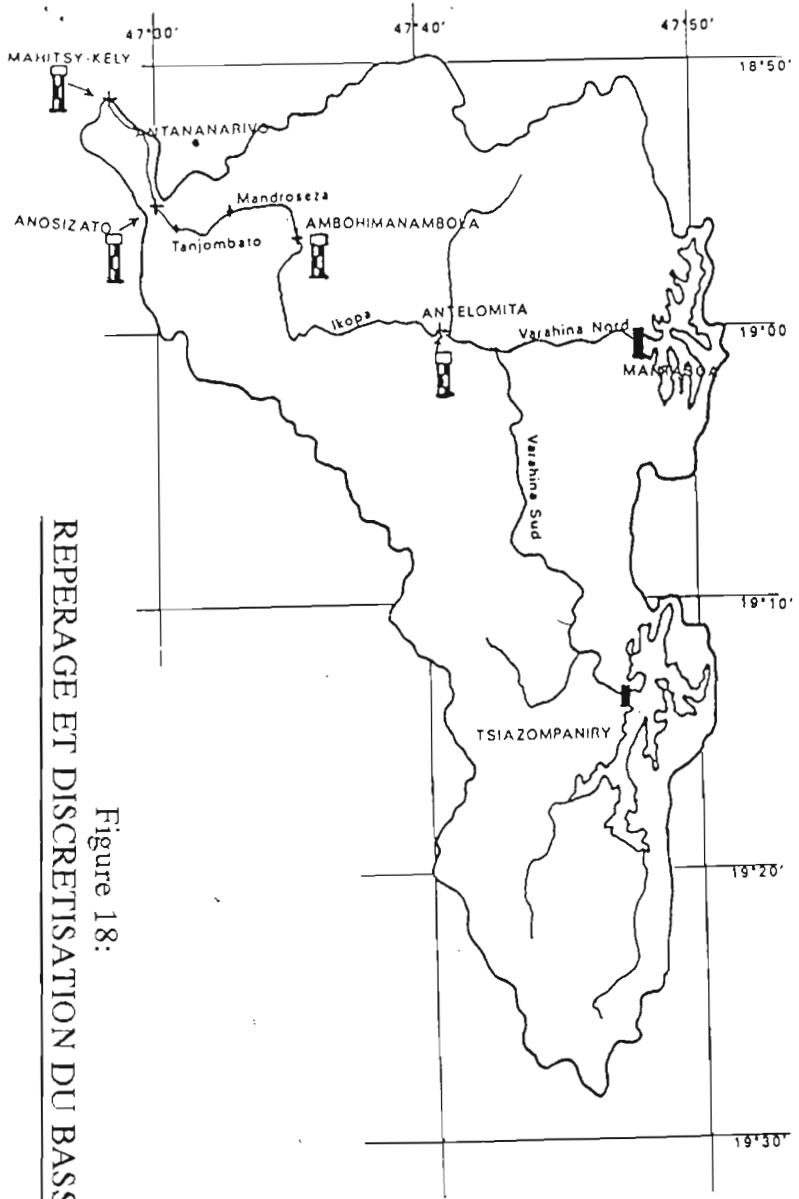
C2- TYPES DE FONCTION DE PRODUCTION

Dans la partie descriptive du bassin (cf.:A1- b, d et A2-a), deux grandes unités géomorphologiques peuvent être mis en évidence:

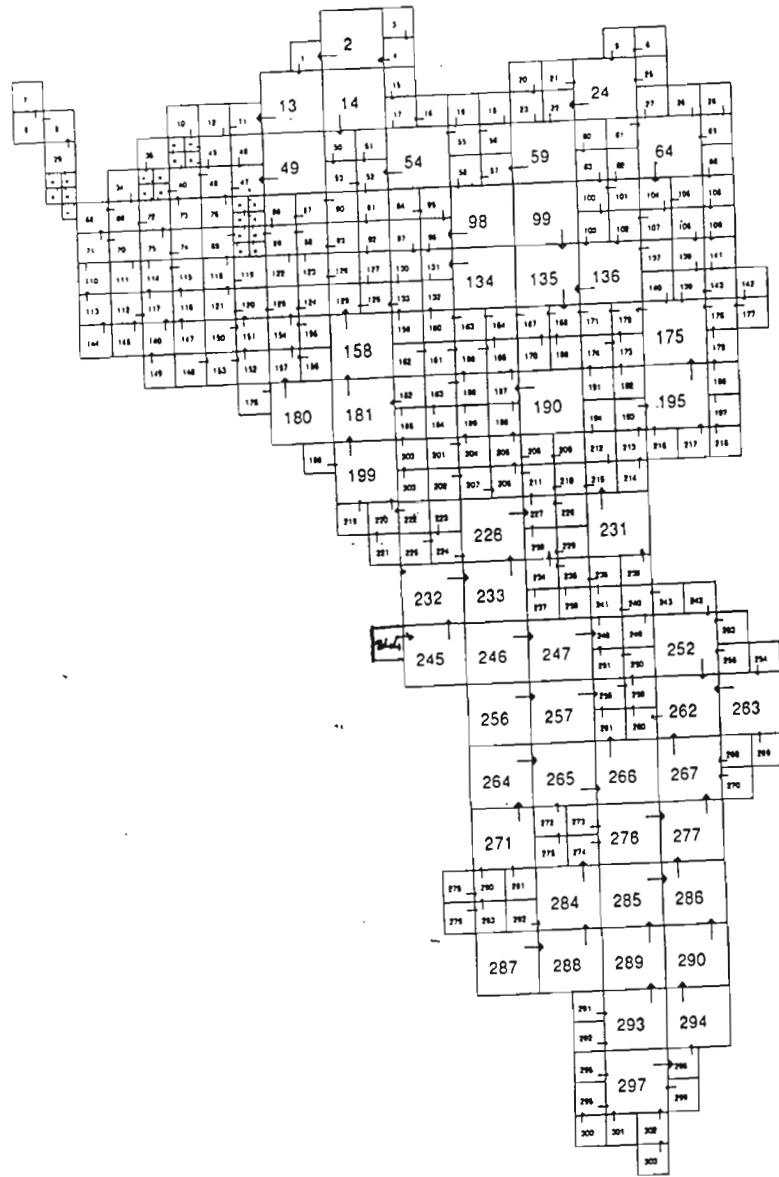
- d'une part le haut bassin au relief plus accentué avec un réseau de drainage dense indiquant un ruissellement plus actif,
- d'autre part, une plaine incapable d'évacuer ses eaux aussi rapidement qu'elle les reçoit, causant des vastes plaines d'inondation

Il apparaît donc que le calcul de la lame d'eau écoulée et son transfert vers l'exutoire sont marqués par ces deux unités. Les considérations des divers types de fonction production que nous allons définir par la suite tiennent compte de ces deux unités géomorphologiques, nous y rajouterons l'état de la couverture et la nature des sols.

(*) :projection conforme LABORDE



REPERAGE ET DISCRETISATION DU BASSIN
 Figure 18:



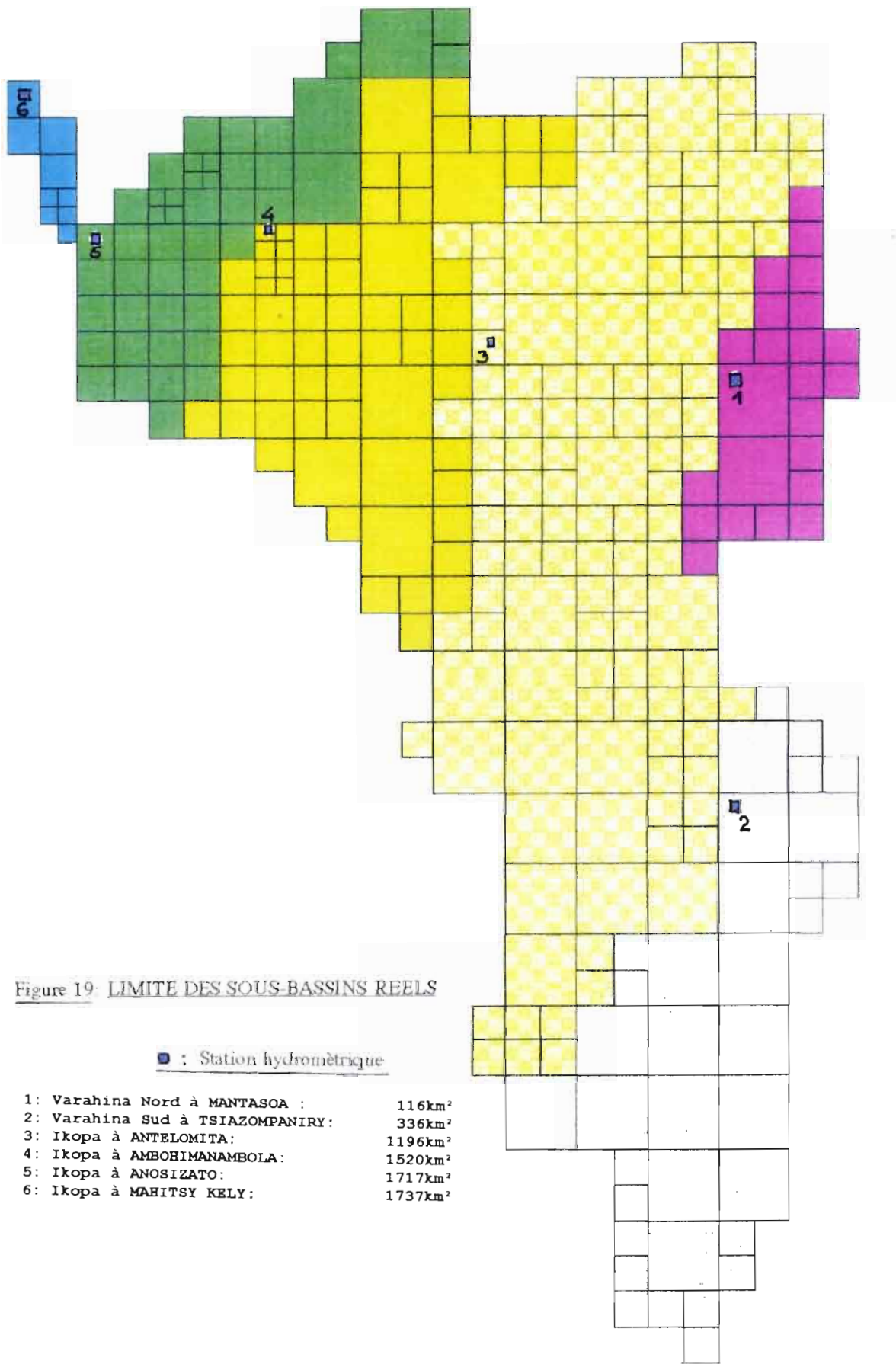


Figure 19- LIMITE DES SOUS-BASSINS REELS

■ : Station hydrométrique

1: Varahina Nord à MANTASOA :	116km ²
2: Varahina Sud à TSIAZOMPANIRY:	336km ²
3: Ikopa à ANTELOMITA:	1196km ²
4: Ikopa à AMBOHIMANAMBOLA:	1520km ²
5: Ikopa à ANOSIZATO:	1717km ²
6: Ikopa à MAHITSY KELY:	1737km ²

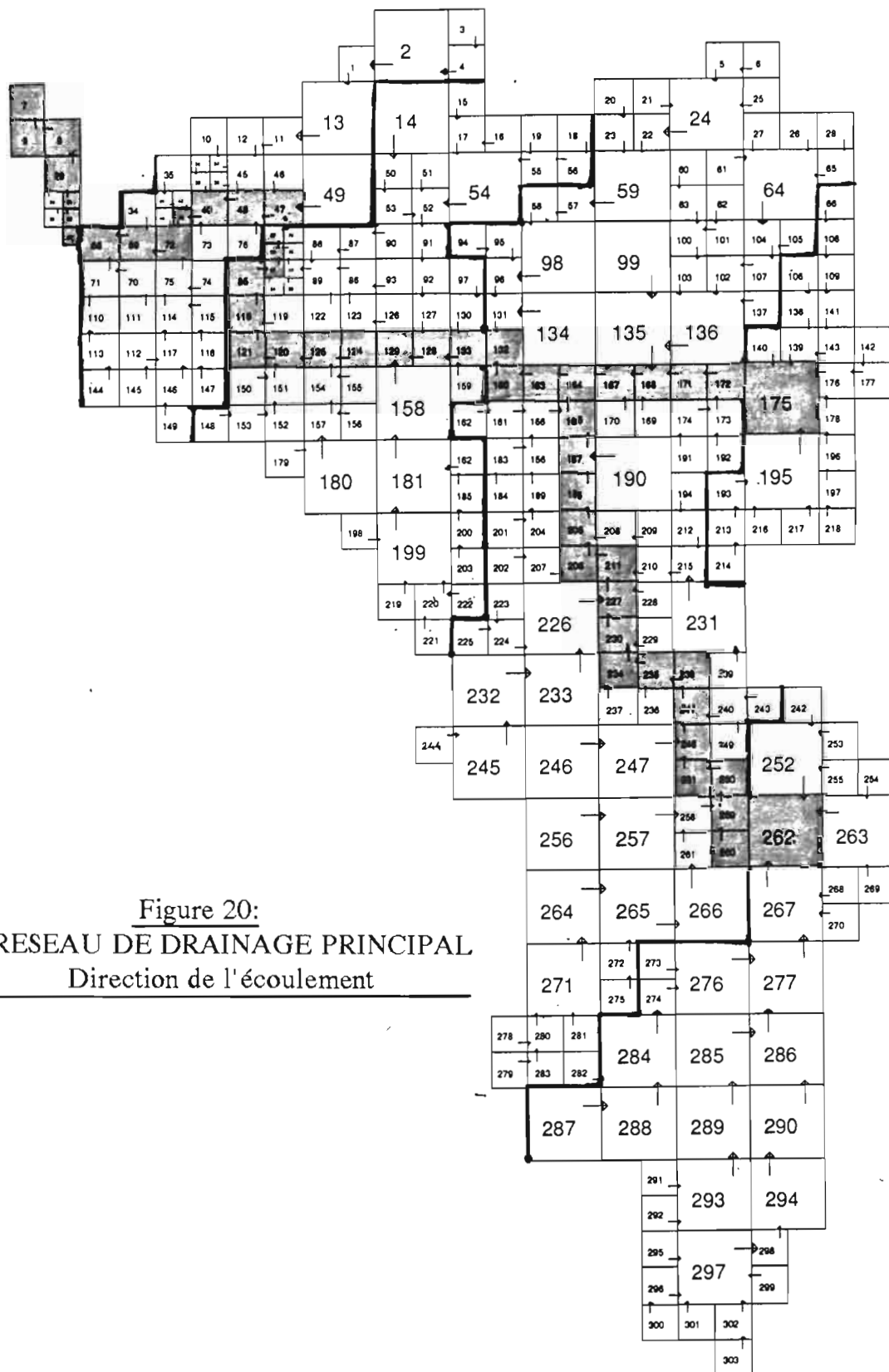


Figure 20:
 RESEAU DE DRAINAGE PRINCIPAL
 Direction de l'écoulement

Les divers types de fonction de production avec leurs caractéristiques sont données dans le tableau ci-après; la figure n° 21 montre la répartition dans le bassin.

Dénomination	Superficie en km ²	Pourcentage sur le bassin
FORET	72	4%
EAU	50	2,9%
DENUDEE	297	17%
INTERMEDIAIRE	1116	64%
RIZIERE	78	4,5%
MAREE	18	1%
SUB-URBAINE	98	5,6%
URBAINE	8	0,5%

Cette phase de discrétisation du bassin avec l'identification et la mise en forme discrétisée des divers types de fonction de production conduit finalement à l'elaboration par le modèle, des fichiers de la "géométrie du bassin" denommés FICGEO et FIC10.

Cette première phase de mise en oeuvre du modèle est la plus fastidieuse. Toutes anomalies (mauvaise numérotation des mailles, altitude non conforme à la direction de drainage,...) signalées obligent à revenir à la carte topographique, à la carte du bassin discrétisée... et à recommencer la formation des fichiers FICGEO et FIC10.

C3- CONTROLE ET TRAITEMENT DES DONNEES

a) Pluies et Evapotranspiration

Nous donnerons ci-après les étapes successives pour préparer le fichier "précipitation":

Une première étape (manuelle) qui devait être moins lourde si l'homogénéisation des données de base avait été déjà faite, consiste à sélectionner les stations et à choisir la période d'étude. Une deuxième étape (informatique) est la mise en route par le modèle des vérifications diverses ainsi que la mise en forme pour la modélisation. Une autre étape (manuelle) est l'obligation de revenir et d'intervenir directement sur les données si le modèle signale des anomalies.

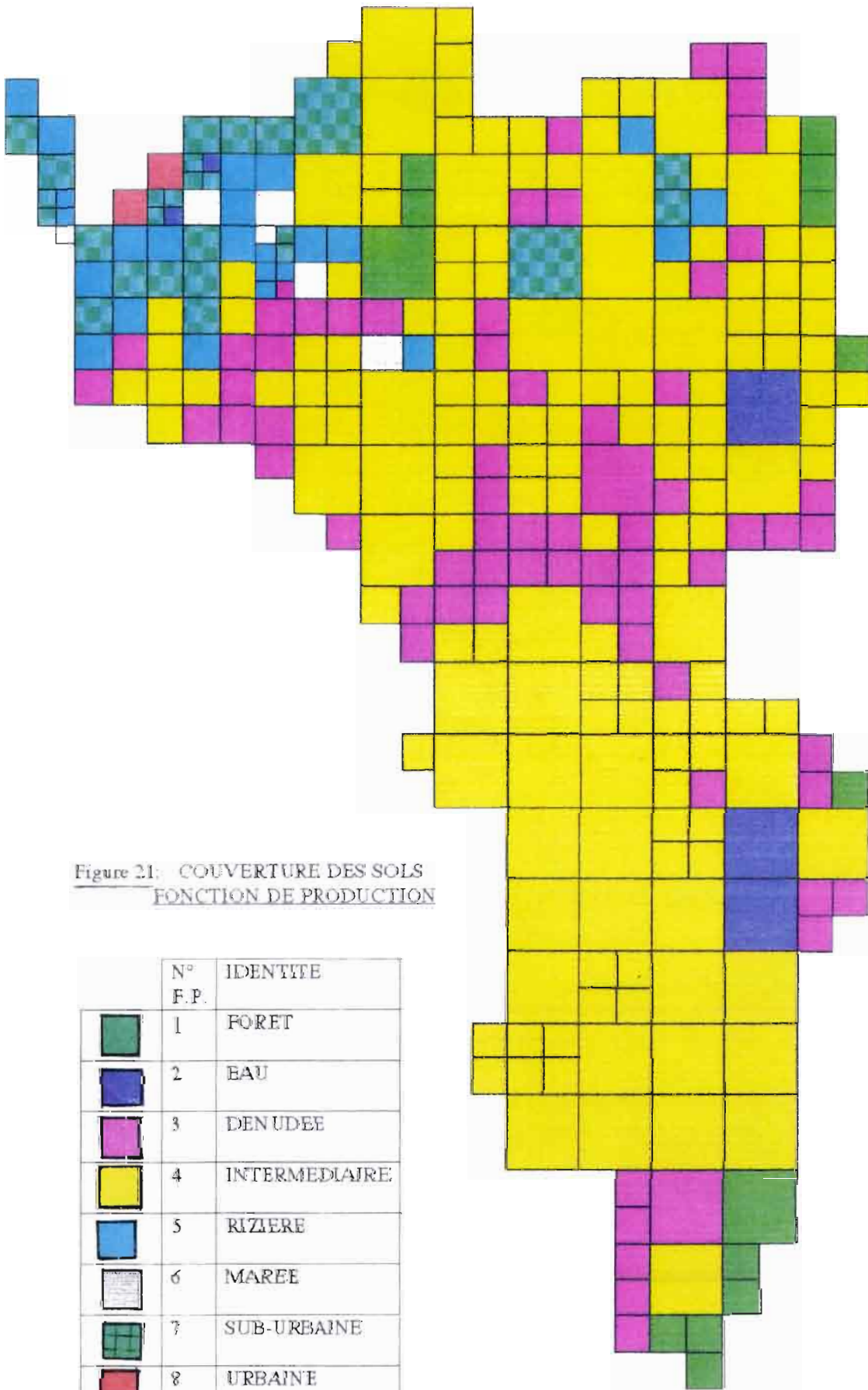
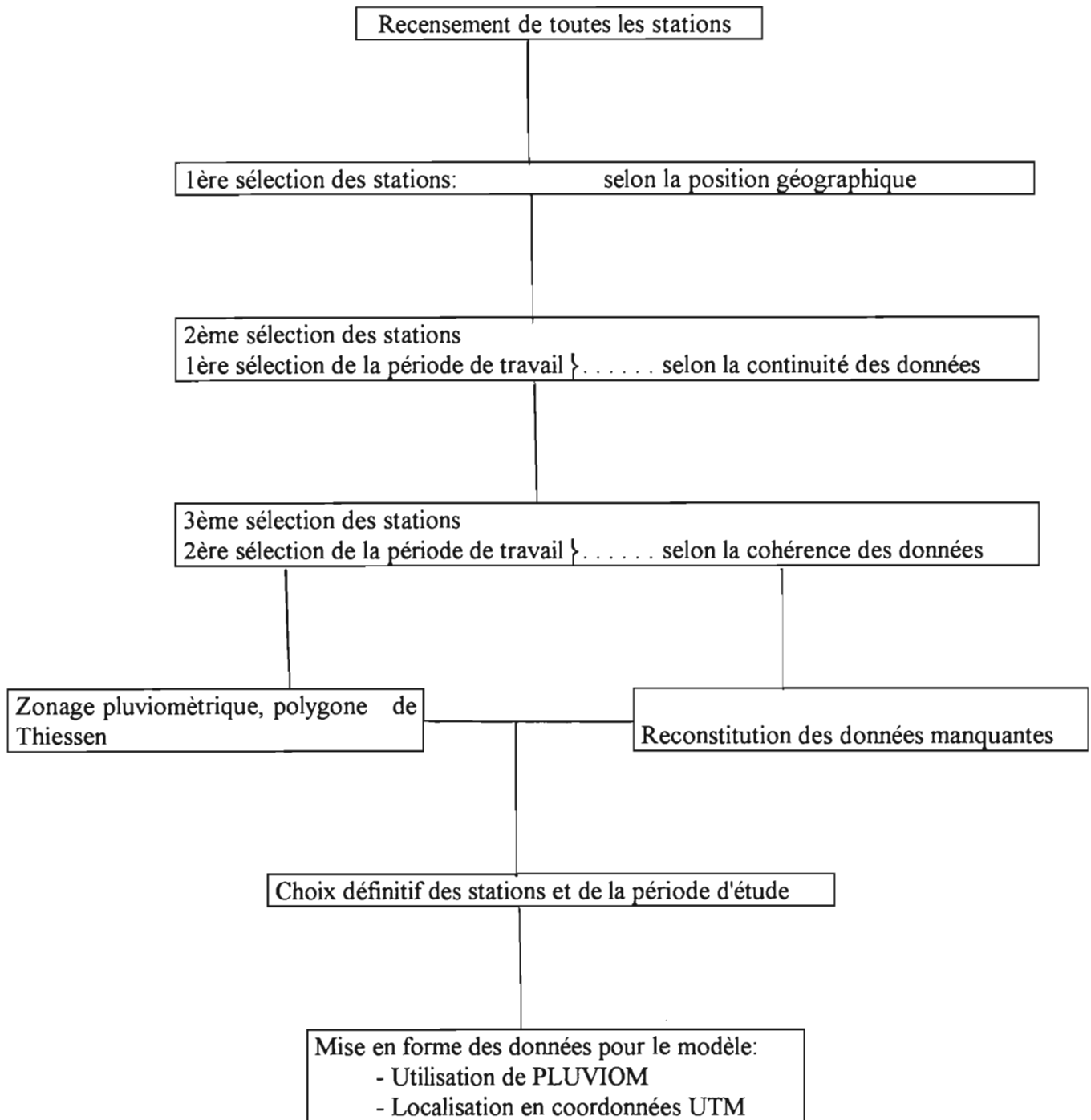


Figure 21: COUVERTURE DES SOLS
FONCTION DE PRODUCTION

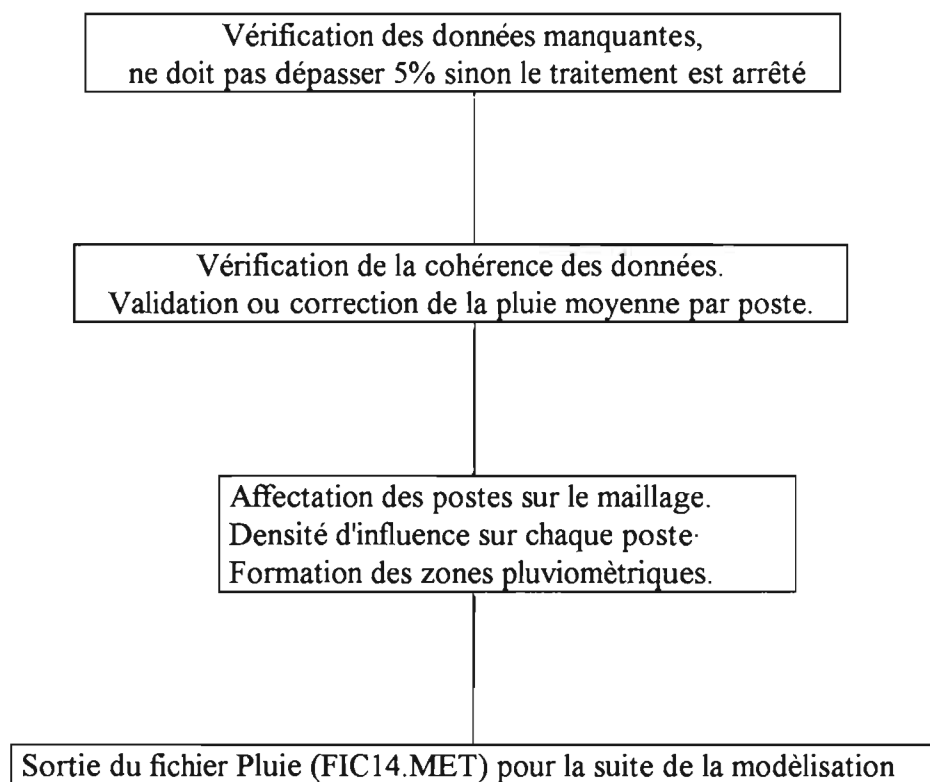
	N° F.P.	IDENTITE
	1	FORET
	2	EAU
	3	DENUDEE
	4	INTERMEDIAIRE
	5	RIZIERE
	6	MAREE
	7	SUB-URBAINE
	8	URBAINE

** Etape manuelle*



Dans cette étape nous étions partis avec **102 stations** dont la durée des observations s'étalait de 55 à 2 ans. A la fin de la troisième sélection, **35 stations** ont été retenues, avec 6 années d'observations continue allant de **1971 à 1976**.

* *Etape informatisée* : traitement par le modèle



* *Etape de vérification manuelle*

Toutes les anomalies signalées lors du traitement informatique, et celles constatées sur les fichiers de sortie, doivent être corrigées; les incohérences des maximums entre stations voisines entre autres.

Cette étape est rigoureuse. Elle a nécessité:

- une reconstitution plus poussée des données manquantes,
- une élimination des stations non influentes sur le bassin,
- le rajout d'autres stations pour respecter la densité spatiale requise.

Après ces corrections et la remise en marche de l'étape informatique, le modèle a retenu **23 stations**. La figure n° 23 et les tableaux ci-après donnent toutes les informations concernant ces stations:

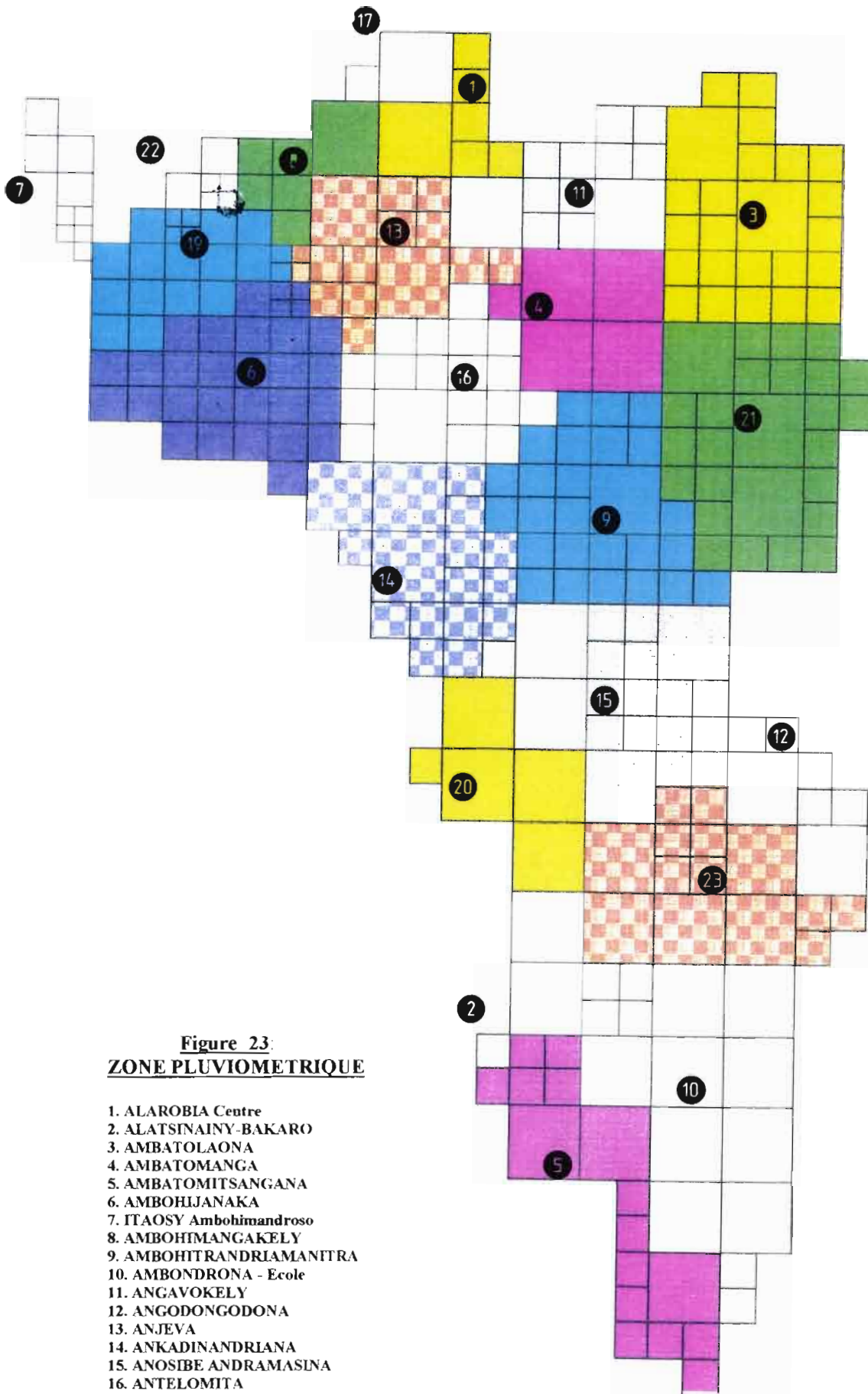


Figure 23:
ZONE PLUVIOMETRIQUE

1. ALAROBIA Centre
2. ALATSINAINY-BAKARO
3. AMBATOLAONA
4. AMBATOMANGA
5. AMBATOMITSANGANA
6. AMBOHJANAKA
7. ITAOSY Ambohimandroso
8. AMBOHIMANGAKELY
9. AMBOHITRANDRIAMANITRA
10. AMBONDRONA - Ecole
11. ANGAVOKELY
12. ANGODONGODONA
13. ANJEVA
14. ANKADINANDRIANA
15. ANOSIBE ANDRAMASINA
16. ANTELOMITA
17. FIEFERANA
19. MANDROSEZA
20. MANGABE
21. MANTASOA - Barrage
22. TANANARIVE S.C.M.
23. TSAZOMPANIRY

TABLEAU 1

Nombre de mailles et Densité d'influence de chaque poste

N°	Identité	Station	Nb.maille	Surface (kr)
1	1250000800	ALAROBIA CENTRE	6	36.0
2	1250001400	ALATSINAINY-BAKARO	3	36.0
3	1250013200	AMBATOLAONA	24	120.0
4	1250014800	AMBATOMANGA	6	72.0
5	1250015800	AMBATOMITSANGANA	16	100.0
6	1250026800	AMBOHIJANAKA	30	108.0
7	1250029000	AMBOHIMANDROSO ITAOSY	9	21.0
8	1250029600	AMBOHIMANGAKELY	6	36.0
9	1250032200	AMBOHITRANDRIAMANITRA	26	116.0
10	1250034600	AMBONDRONA ECOLE	15	168.0
11	1250068800	ANGAVOKELY	12	72.0
12	1250069200	ANGODONGODONA	10	64.0
13	1250070800	ANJEVA	17	74.0
14	1250073200	ANKADINANDRIANA	16	100.0
15	1250084400	ANOSIBE ANDRAMASINA	16	112.0
16	1250094400	ANTELOMITA	18	84.0
17	1251153409	FIEFERANA	2	20.0
19	1253203600	MANDROSEZA	23	65.0
20	1253204400	MANGABE	5	68.0
21	1253212400	MANTASOA BARRAGE	26	140.0
22	1257266800	TANANARIVE S.C.M.	3	9.0
23	1257273600	TSIAZOMPANIRY	14	116.0

NOMBRE DE POSTES RETENUS DE FAIT : 22

TOTAL = 1737.0

TABLEAU 2

Poste K = 1	Attache a la maille :	4
Poste K = 8	Attache a la maille :	11
Poste K = 19	Attache a la maille :	43
Poste K = 13	Attache a la maille :	53
Poste K = 11	Attache a la maille :	56
Poste K = 3	Attache a la maille :	64
Poste K = 4	Attache a la maille :	98
Poste K = 6	Attache a la maille :	121
Poste K = 16	Attache a la maille :	133
Poste K = 21	Attache a la maille :	175
Poste K = 9	Attache a la maille :	190
Poste K = 14	Attache a la maille :	199
Poste K = 15	Attache a la maille :	234
Poste K = 12	Attache a la maille :	242
Poste K = 20	Attache a la maille :	245
Poste K = 23	Attache a la maille :	260
Poste K = 10	Attache a la maille :	285
Poste K = 5	Attache a la maille :	287

TABLEAU 1: Identification des stations pluviométriques et densité d'influence de chaque poste

TABLEAU 2: Rattachement des pluviomètres aux mailles

Parallèlement les données climatiques pour calculer l'évapotranspiration ont été mises en forme, pour la même période que celle retenue pour la pluie. La station d'Antananarivo (altitude de 1380m) est la seule qui dispose des données nécessaires. Bien entendu il avait été plus correct de trouver une station sur le haut du bassin, pour avoir une idée de l'effet d'altitude.

Les 5 données journalières (température maximale, minimale, humidité relative, durée d'insolation, vitesse du vent) nécessaires pour appliquer la formule de Penman (citée en annexe) ont été recueillis dans le TCM (Tableau climatique mensuel). Elles ont été disposées suivant le format demandé par le modèle.

La valeur de l'albedo que nous avons prise est de 0,15.

b) Données hydrométriques

Il y a en tout sur le bassin 7 stations limnimétriques (dont 3 équipées de limnigraphes) faisant l'objet de mesure de débit (jaugeage).

Pour constituer les fichiers de débit et de hauteur (FIC20, FIC21) nécessaires pour la phase de contrôle, les travaux suivants ont été entrepris:

- collections de toutes les données disponibles sur la période définie pour la pluie (1971-1976). Les données étaient d'origines diverses, et il a été nécessaire de les homogénéiser.
- mise en forme des fichiers en utilisant HYDROM;

Compte tenu de la qualité de ces données et de leur continuité sur la période choisie, seules les trois stations en aval, équipées de limnigraphe seront utilisées pour le contrôle du calage. Le tableau ci-après renferme la liste des stations sélectionnées:

Station	Rivière	Superficie (km ²)	Equipements	latitude	Localisation longitude	maille n°	Caracteristiques
Tsiazompaniry	Varahina S.	336	Echelle	19°15 S	47°51 E	262	B.reservoir
Mantaso	Varahina N	96	Echelle	19°01 S	47°51 E	175	B.reservoir
Antelomita	Ikopa	1196	Echelle	19°01 S	47°42 E	132	B.fil de l'eau
Ambohimanambola	Ikopa	1520	Echel.+Limnig	18°56 S	47°35 E	77	Sta. Jaugeage
Tanjombato	Ikopa	1624	Echelle	18°56 S	47°31 E	40	Irrigation
Anosizato	Ikopa	1717	Echel.+Limnig	18°56 S	47°29 E	67	Sta.Jaugeage
Mahitsy Kely	Ikopa	1737	Echel.+Limnig	18°51 S	47°27 E	77	Sta.jaugeage

c) Ouvrages hydrauliques sur le réseau de drainage

Deux barrages fonctionnent comme des retenues d'ordre 2:

- celui de Mantaso qui donne des débits restitués à l'Ikopa et des débits dérivés vers la Mangoro (rivière ne faisant pas partie du système de l'Ikopa);
- celui de Tsiazompaniry qui effectue des lâchures ou des déversements dans l'Ikopa.

A partir des courbes de capacités des retenues, pour les caractériser nous avons établi la cubature de la retenue (courbe de la variation de la superficie du plan d'eau), avec des pas de

discrétisation de 1,00m. C'est la courbe S(H). Rappelons que la capacité respective de chaque réservoir est de 122 et 223 millions de m³.

Nous donnons ci-après les éléments de ces courbes:

Courbe S(H) de Mantasoa

Pas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	18250	17150	15900	14600	13200	11800	10500	9100	7650
Pas	10	11	12	13	14				
S	5950	4100	2400	1000	000				

Courbe S(H) de Tsiazompaniry

Pas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S	28000	26000	23900	22100	20300	18800	17200	15500	13700
Pas	10	11	12	13	14	15	16	17	18
S	11600	9800	8300	7050	6000	4900	3600	2200	900
Pas	19	20							
S	350	000							

Concernant la courbe de variation du plan d'eau dans la retenue H(t), nous n'avons disposé que du tableau d'exploitation du barrage contenant directement le relevé journalier du volume stocké.

Les données de ce tableau, malgré de multiples efforts de dépouillements, avec des passages de la forme,

V(t), disponible		} vers H(t)
V(H), établissement d'une sorte d'etalonnage		

s'avèrent inexploitable.

Contrairement à la courbe S(H), absolument nécessaire pour la modélisation, la courbe H(t) sert à apprécier le vidange du réservoir et n'a aucun rôle pour la suite. Son existence, ou son absence n'influencera pas le bon déroulement de la modélisation; par défaut, ce contrôle ne s'effectuera donc pas.

En descendant le cours de la rivière, nous arrivons à la station d'Antelomita où est construite une centrale hydro-électrique fonctionnant au fil de l'eau. Elle n'effectue aucun stockage. Ses caractéristiques n'intéressent pas donc le modèle.

Puis, à quelques dizaines de kilomètres, à l'aval de la station hydrométrique d'Ambohimambola, se trouve la station de pompage du lac Mandroseza. Elle prélève sur l'Ikopa un

débit équivalent de 75.000 à 100.000 m³ par jour pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la ville d'Antananarivo.

Nous avons réparti cette valeur d'une façon identique pour tous les jours de l'année. Il est certain que pendant la saison des pluies, ce prélèvement ne s'effectuera que très peu (eau trop chargée pouvant nuire au système d'épuration, ou parce que le lac réservoir dispose déjà suffisamment d'eau). Faute de renseignements sur ce point, et comme le pourcentage de ce prélèvement sur le volume total écoule est assez faible, de l'ordre de 3%, nous avons adopté le principe d'une répartition journalière constante.

La prise de Tanjombato destinée à l'irrigation de la plaine, se trouve 4 kilomètres à l'amont de la station d'Anosizato. Elle prélève un débit qui suppose suivre le calendrier cultural sur la plaine. Toutefois du fait du mauvais drainage de la plaine (cf. III-B2) et du plan d'eau élevé sur l'Ikopa (alluvionnement important), le canal d'irrigation est aussi utilisé comme drain. Cette opération ne s'effectue pas suivant une stratégie donnée, mais dépend surtout de l'état d'humectation de la plaine.

Nous donnons ci-après le calendrier cultural du riz et la répartition mensuelle du débit prélevé à Tanjombato sur l'Ikopa.

Calendrier cultural et débit prélevé (m³/s) à Tanjombato

		Avr	Mai		Aout	Sept	Octo	Nov	Dec
Pépinière		1ère saison	1ère saison			2ème saison	2ème saison		
Repiquage					1ère saison	1ère saison		2ème saison	2ème saison
Débit					3.5	3.5	3.0	1.5	

Nota: Le niveau élevé dans les rivières bloque toute possibilité de drainage des zones basses pendant la saison de pluies. Pour avoir une récolte avant la submersion des rizières, il se pratique une culture dite de première saison dont la récolte se situe avant la saison des pluies, d'où la nécessité de mettre en eau les rizières dès le début du mois d'Aout.

Notons que les données recueillies concernant les caractéristiques des retenues et les débits prélevés ou restitués sur chaque maille constituent les fichiers FIC34, FIC44.MOD et PRELEV.MOD nécessaires pour lancer le modèle (ces fichiers sont disponibles en annexe).

D - ANALYSE ET CALAGE DES PARAMETRES

Nous rappelons que le modèle que nous avons utilisé est la dernière version de MODLAC, adoptée pour la région sahélienne. Dans le logiciel LACMOD correspondant, ont été introduits des paramètres supplémentaires tenant compte:

- de la part de la pluie affectée en ruissellement direct avant d'entrer dans le concept du premier réservoir,
- de l'évaporation sur le réseau hydrographique,
- de l'état du réservoir souterrain au début de la simulation, Rnap.

Le calage que nous avons effectué ne tient pas compte de ces paramètres supplémentaires.

Dans l'interprétation des résultats, nous aborderons la discussion en envisageant leur introduction, ou d'autres approches spécifique au bassin de l'Ikopa.

D1- CALAGE DE LA LAME D'EAU ECOULEE

Paramètres mis en jeu:

CRT, DCRT, Rinit. (et Rnap.)

Indication⁽⁴⁾ :

L'optimum est obtenu en variant CRT avec Rinit. et DCRT faible

Référence:

La lame écoulee de 2263mm (mesurée sur trois ans) à Ambohimambola servira de référence. Cette station est choisie compte tenu de la disponibilité de ses données et aussi de sa position qui est moins influencée par rapport aux autres stations à l'aval.

Période de calage:

Elle portera sur trois ans, de 1971 à 1973 et la validation des valeurs du paramètre s'effectuera sur les deux années suivantes 1974 - 1975.

⁽⁴⁾ Thèse de M. ROBIN (1991), voir bibliographie

a) Participation de Rinit et de Rnap.

Passage n°	CRT (mm)	DCRT (mm)	Rinit. (mm)	Rnap. (mm)	Lame écoulée	Ruissellement R	Infiltration I
1	200	10	0	250	2323	2239	243
2	200	10	50	250	2366	2282	243
3	200	10	50	0	2265	2282	0
4	200	10	50	700	2542	2282	680

Constats:

- Rinit., augmente la lame écoulee, à travers le ruissellement direct R. (passage n° 1 et n°2.)
- Rnap. participe à l'augmentation de la lame écoulee, par les apports dus à l'infiltration (passage n°2 , 3 et 4)

Interprétation:

- Rinit. et Rnap. sont des paramètres qui interviennent en début de période car ils traduisent l'état initial du bassin.
- Rnap en participant au volume écoulé global, peut être pris comme un paramètre du premier groupe. On s'attendait à une augmentation des débits de base, mais ses effets s'expriment par un important pic au début de la simulation !!.

Les figures 24 et 25 illustrent cette participation de Rinit. et Rnap.

b) Variation de CRT et de DCRT

Passage n°	CRT	DCRT	Rinit.	Rnap.	Lame écoulée LE	Ruissellement R	Infiltration I	Passage à comparer
2	200	10	50	250	2366	2282	243	
5	200	50	50	250	2386	2299	243	2 - 5
6	100	10	50	250	2775	2699	243	2 - 6
7	100	10	50	0	2675	2699	0	6 - 7
8	125	10	50	0	2567	2588	0	7 -
9	175	10	50	0	2360	2378	0	7-8-9

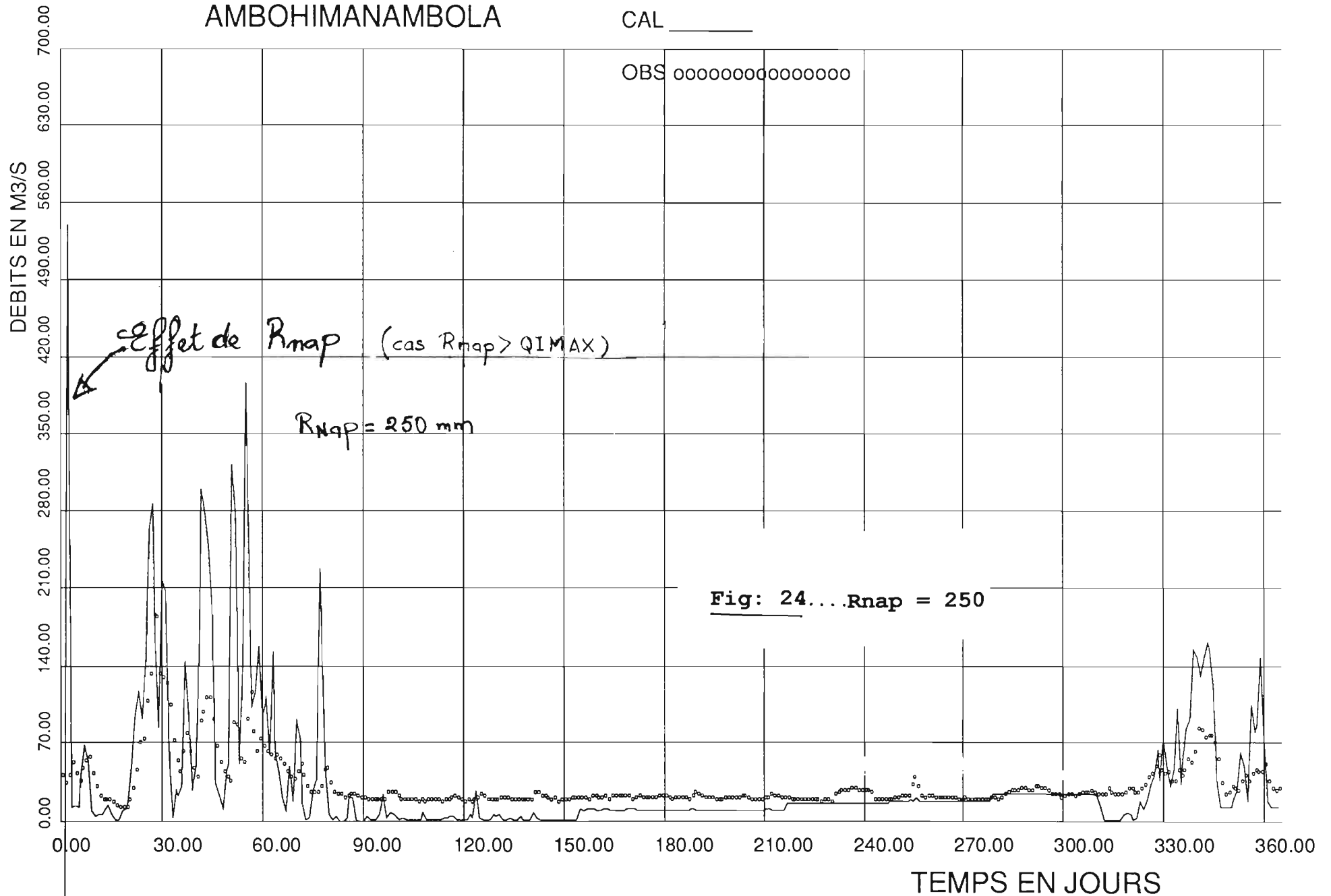
R_{nap} = 250

HR₁ = 2239
HR₂ = 243

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

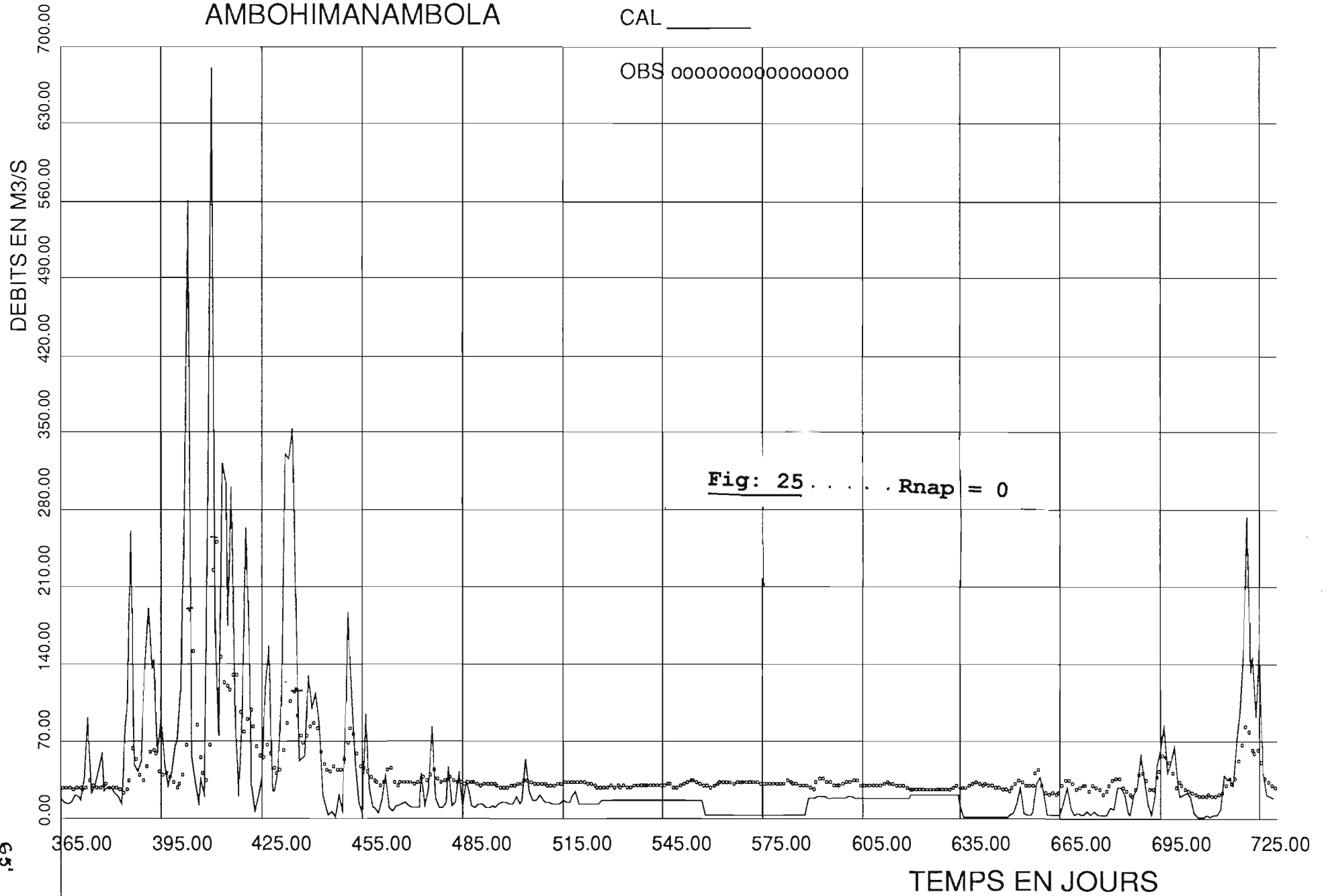


AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

Fig: 25 Rnap = 0



Constats:

- CRT et DCRT comme Rinit. n'ont donné aucun effet sur l'infiltration. Le concept au niveau de la variation de la lame écoulée est bien mis en évidence.
- CRT et DCRT ont parfaitement joué leur rôle. Les effets produits correspondent au concept de leur construction: **à une diminution de CRT correspond bien une augmentation de la lame écoulée.**

Interprétation:

- En s'appuyant sur les passages n°6, 8 et 9, on voit qu'il existe un facteur 4 entre la variation de la lame écoulée LE et celle de CRT. Ce dernier est conditionné par la valeur attribuée à DCRT: **plus DCRT est faible, plus CRT est sensible**

c) Paramètres finaux

Les paramètres retenus avec leur valeur respective qui ont donné le meilleur calage en volume sont:

CRT	DCRT	Rinitial
175	10	50

D2- CALAGE DE LA FORME DE L'HYDROGRAMME

a) Protocole de résolution au niveau de la répartition, débit ruisselé et débit infiltré

**** Variation de FN seul***

Passage n°	CRT	DCRT	Rinit.	FN	LE	R	I	Evaporation E	Pic de Q m ³ /s
10	175	10	50	0	2360	2378	0	2135	709
11	175	10	50	40	2360	240	2139	2135	709

Il s'agit de vérifier la répartition entre ruissellement et infiltration.

Dans les passages n°10 et 11, le volume global n'a pas varié alors que le ruissellement et l'infiltration ont variés en sens inverse: FN a bien joué son rôle de partiteur entre le volume le volume d'eau infiltré (QI) et le volume de ruissellement QR.

L'effet exact de FN sur la forme de l'hydrogramme n'est visible qu'avec l'introduction des autres paramètres de calage, CQR et QRMAX pour le ruissellement de surface, CQI et QIMAX pour le souterrain.

Nota: pour la suite de notre présentation, les valeurs de CRT - DCRT - Rinit. étant déjà fixées, nous ne les reportons plus dans les autres tableaux.

b) Protocole de résolution au niveau du réservoir superficiel

Rappelons que QRMAX permet de fixer l'importance du réservoir de ruissellement et CQR le rythme de sa vidange. Ces deux paramètres sont utilisés pour reconstituer la forme des hydrogrammes (hauteur des pics et forme de la courbe de décrue).

Indication:

Augmenter QRMAX avec CQR faible jusqu'à ce qu'on arrive à baisser les débits de pointe avec une allure de décrue conforme à celle observée.

*** Variation de CQR et QRMAX pour FN fixe**

Passage n°	FN	CQR	QRMAX	LE	R	I	E	Pic de débit
11	40	0	0	2360	240	2139	2135	709
12	40	0.4	500	2360	240	2139	2135	571

Les résultats obtenus montrent que la répartition faite par FN (volume global de R et de I) reste inchangée. CQR et QRMAX agissent bien sur la forme de l'hydrogramme quelque soit FN. Les valeurs extrêmes du pic de débit donne une idée de la variation de l'hydrogramme.

*** Variation de FN, CQR et QRMAX fixes (Optimisation)**

Les valeurs optimales de CQR et QRMAX étant identifiées par des simulations intermédiaires, nous avons obtenu le tableau suivant qui nous a permis d'avoir la valeur de FN.

Passage n°	FN	CQR	QRMAX	LE	R	I	E	Pic de débit
13	0	0.05	500	2312	2344	0	2135	169
14	10	0.05	500	2348	1067	1308	2135	261
15	20	0.05	500	2356	590	1788	2135	348
12	40	0.40	500	2360	240	2139	2135	571

Ces passages sont illustrés par les figures 26 et 27.

C'est le passage n°14 (figure 27) qui donne la meilleure allure de l'hydrogramme moyennant l'ajustement:

- des forts débits qui sont surestimés à chaque pic.
- des débits d'étiage qui sont sousestimés.

En faisant fonctionner le réservoir souterrain, on espère une amélioration de cette répartition. La valeur des paramètres pour la répartition de la lame d'eau et pour le réservoir superficiel seront :

FN	CQR	QRMAX
10 (*)	0.05	500

(*): cette valeur de FN ne doit plus changer, sauf si le réservoir souterrain reclame plus d'eau pour augmenter le débit de base, au détriment du volume ruisselé.

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

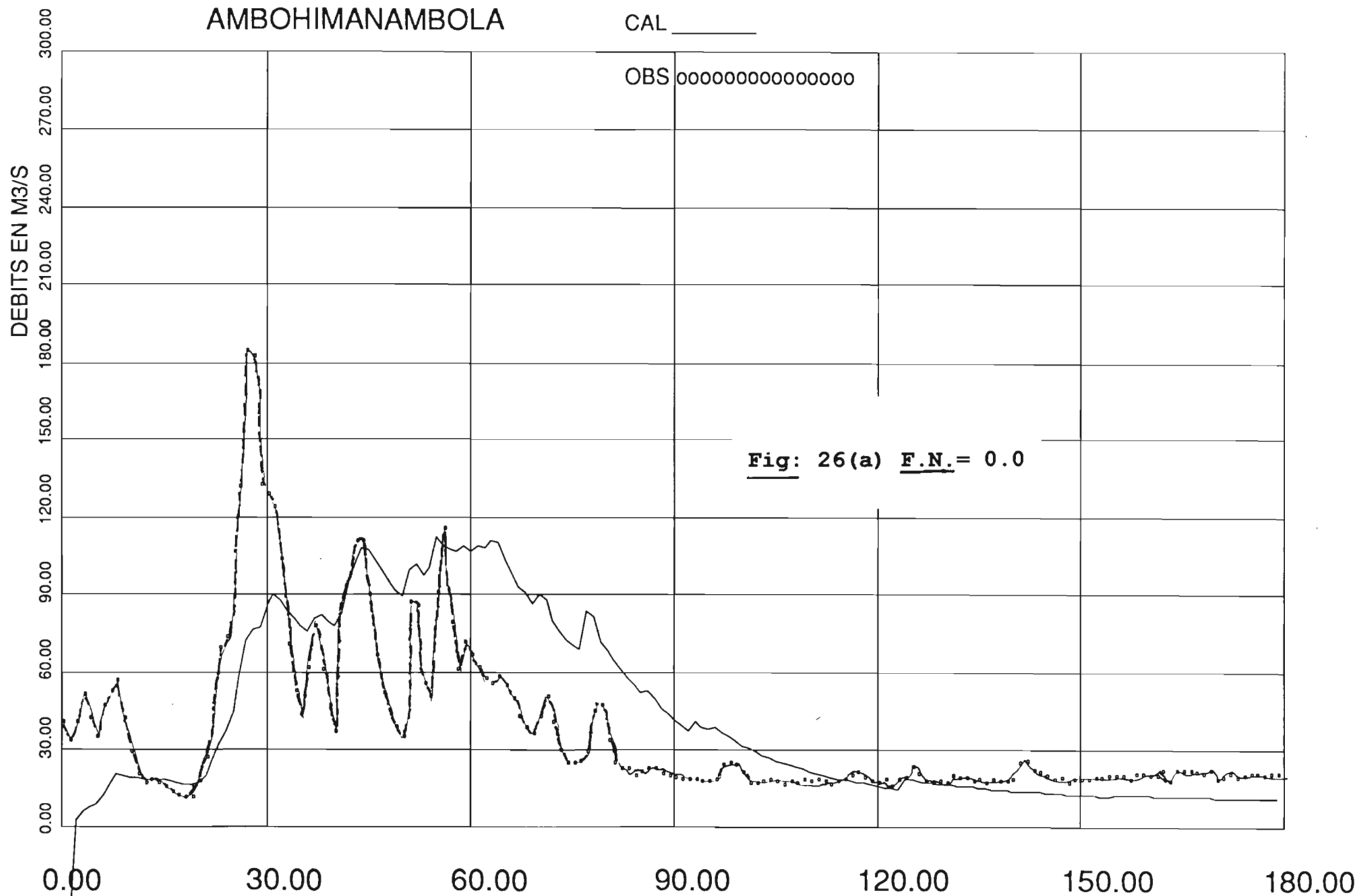
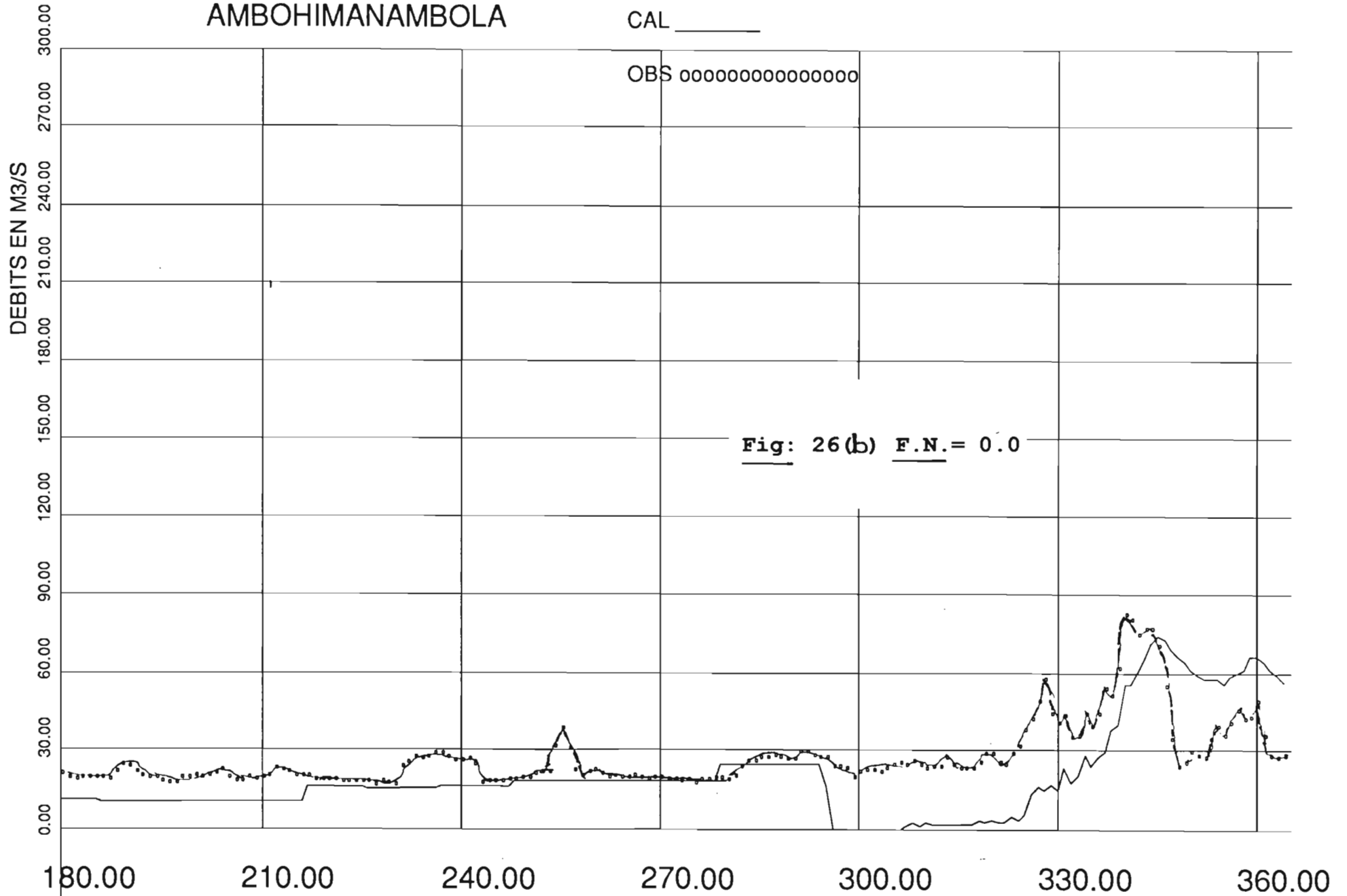


Fig: 26(a) F.N. = 0.0

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000



AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

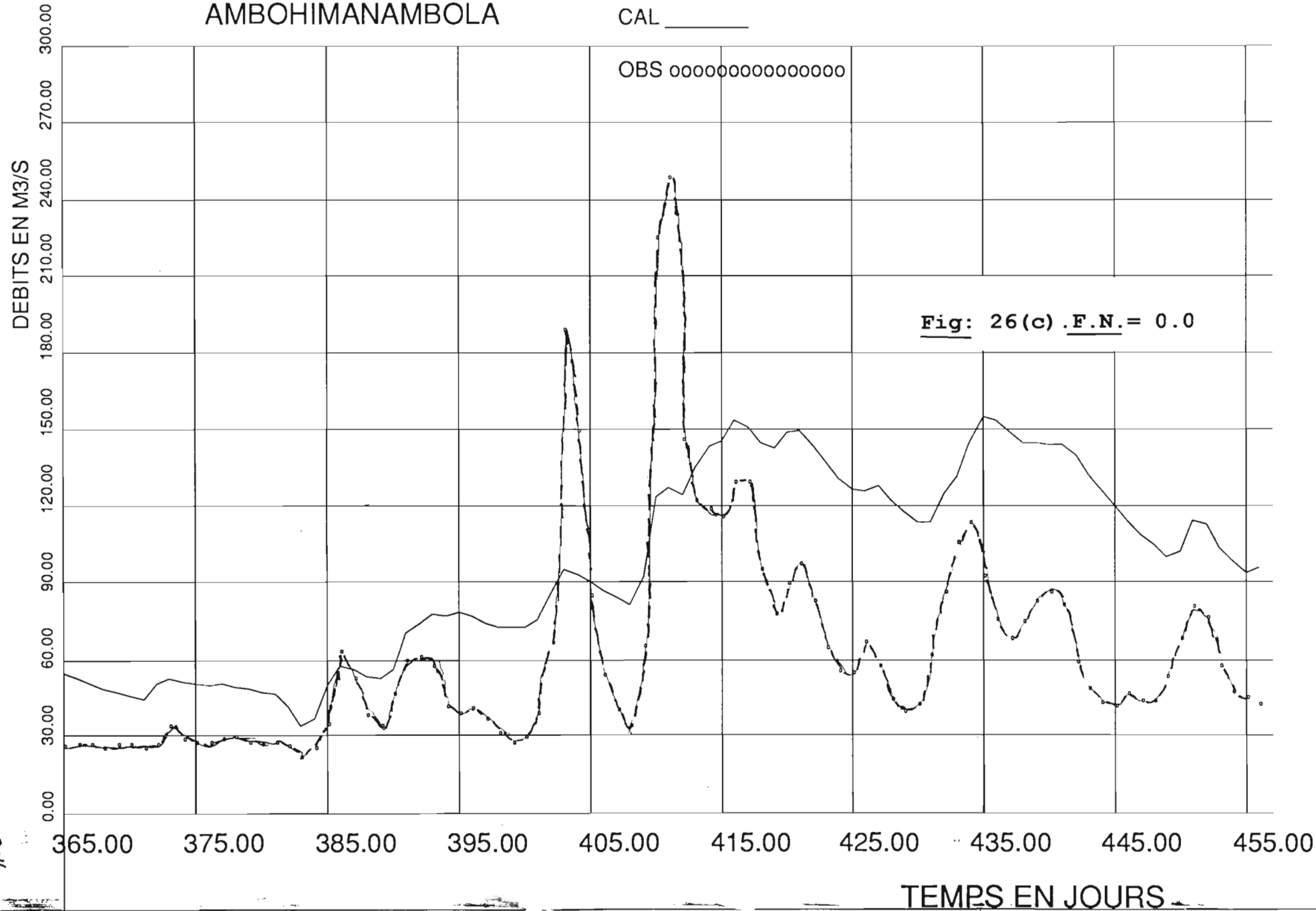


Fig: 26(c) .F.N.= 0.0

VL:

CRIT = 175
DCRT = 10
Rinit = 50

FN = 10

QRYAK = 500
CQR = 0,05

LR = 2348

I = 1208

R = 1067

E = 2135

Qmax = 264

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 000000000000000000

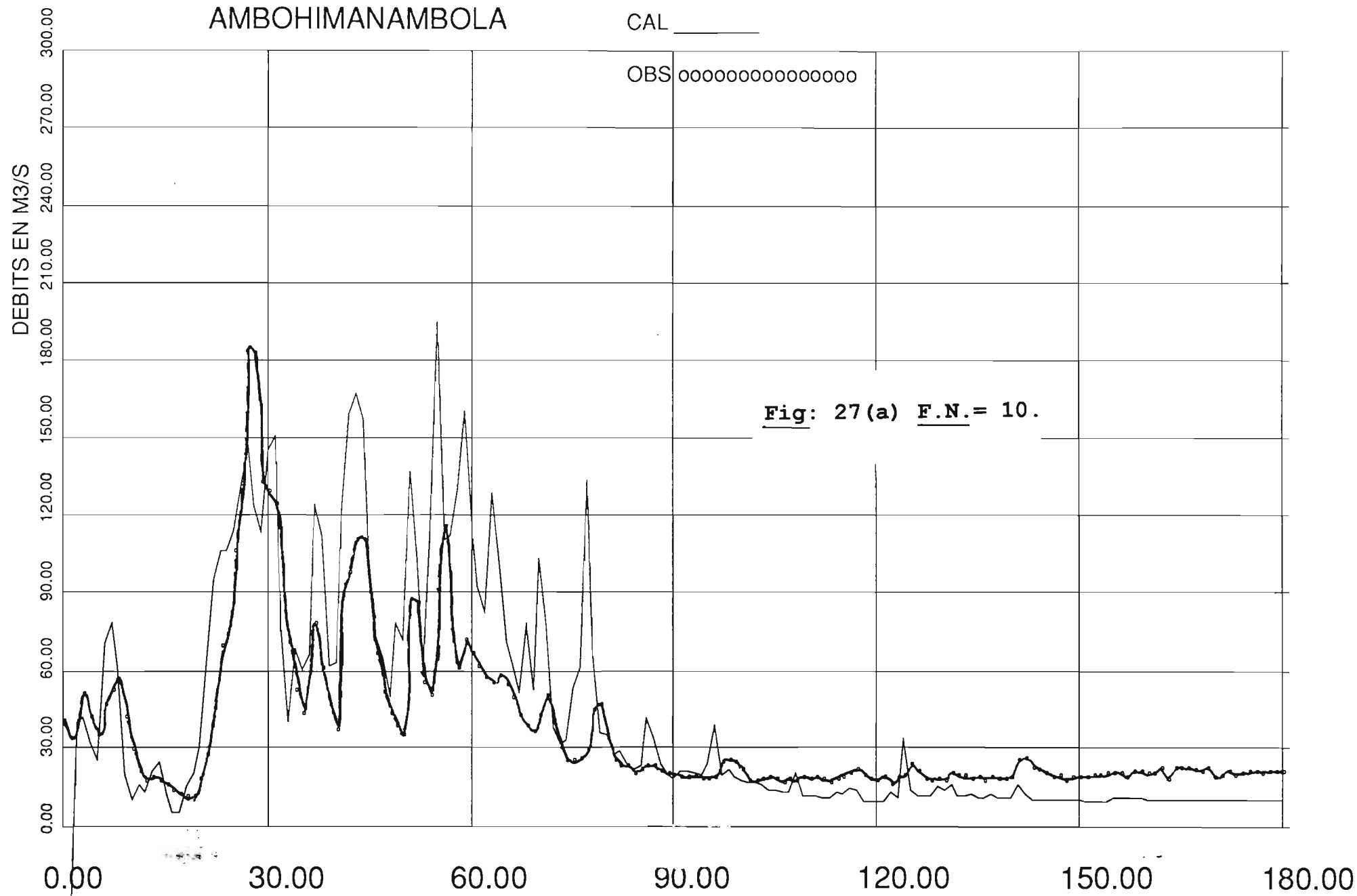


Fig: 27(a) F.N. = 10.

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

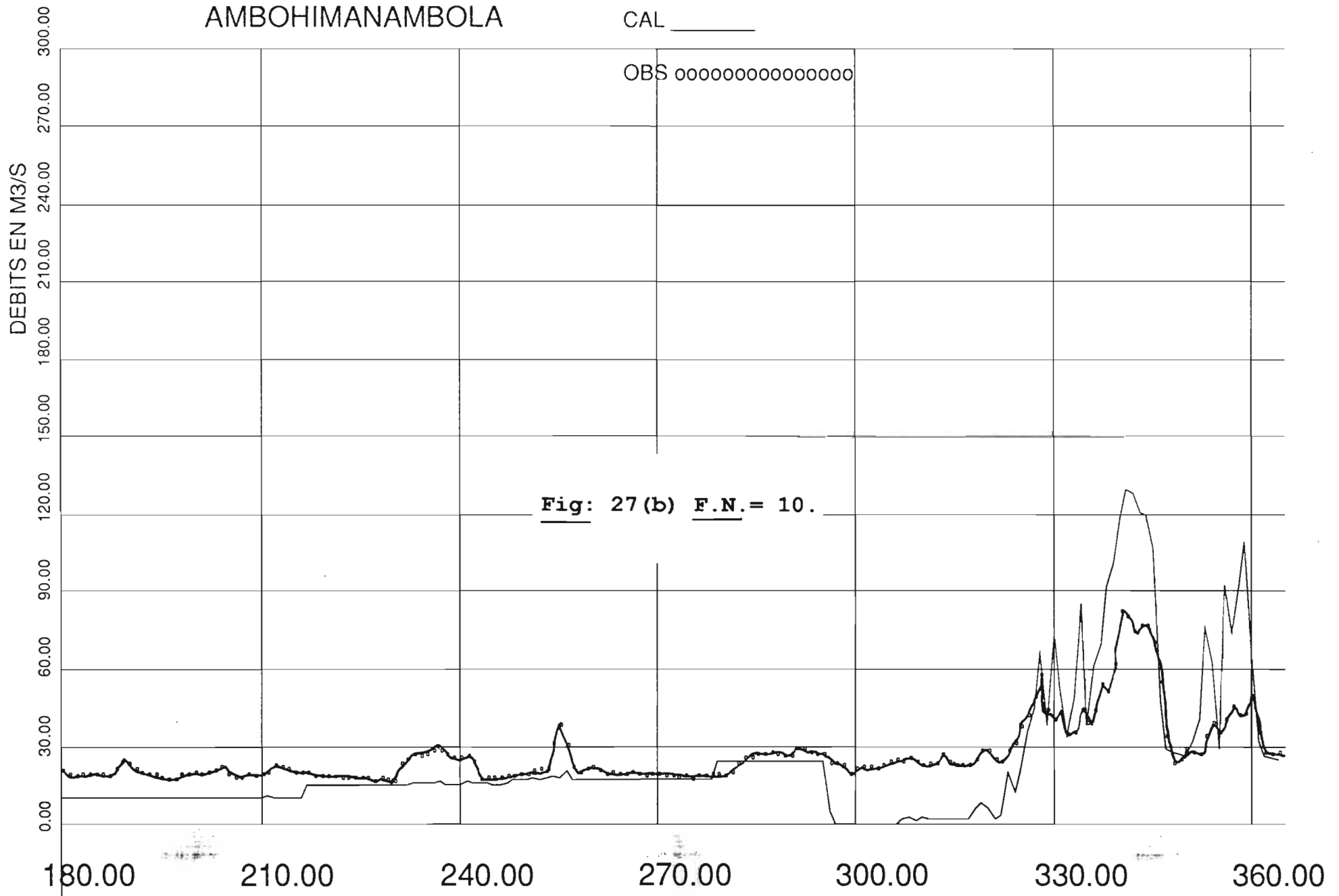


Fig: 27 (b) F.N. = 10.

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

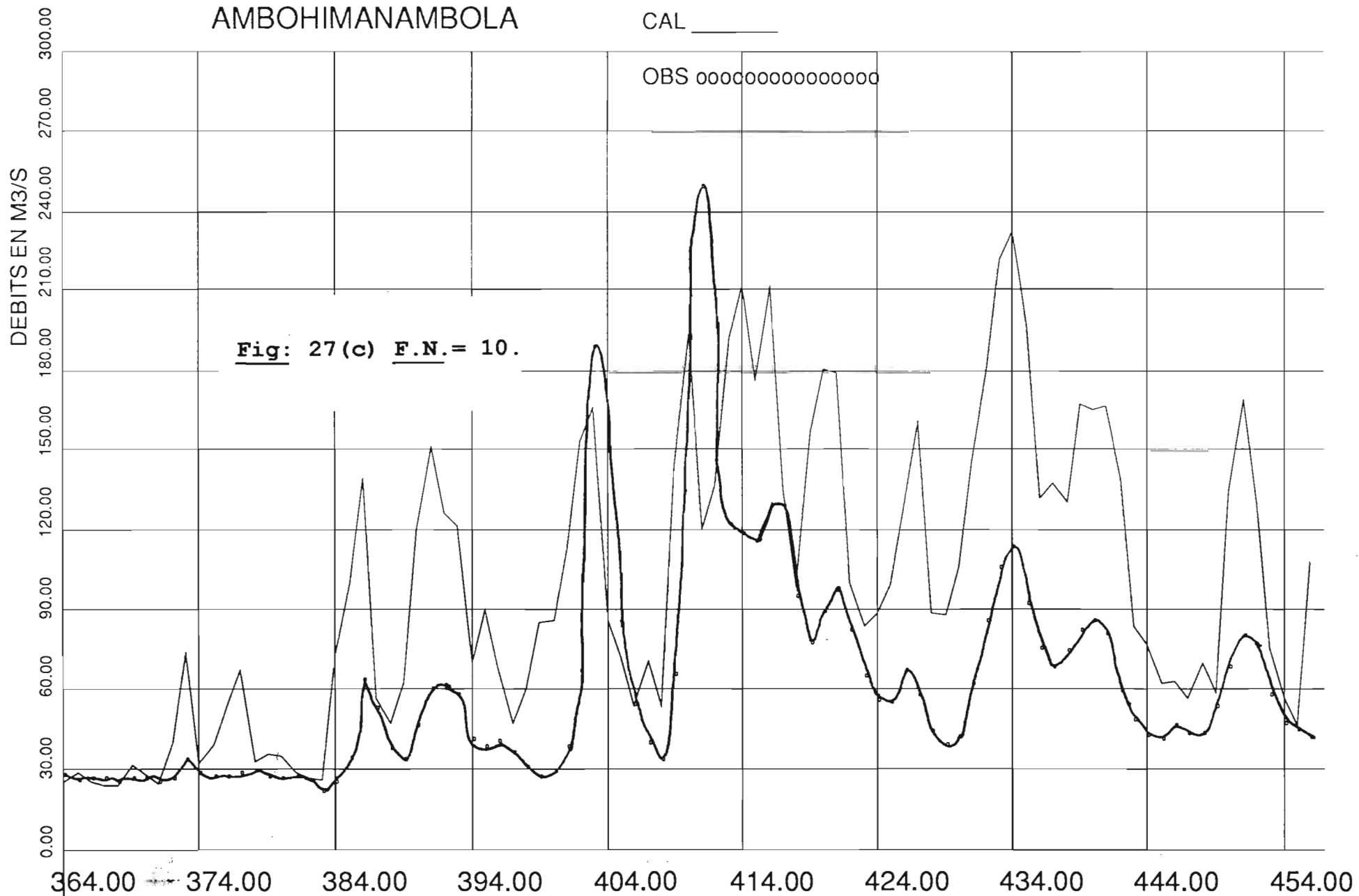


Fig: 27(c) F.N. = 10.

TEMPS EN JOURS

04

c) Protocole de résolution au niveau du réservoir souterrain

Rappelons les valeurs des différents paramètres que nous avons retenues.

Ce tableau servira de référence par la mise en fonction du réservoir souterrain (CQI, QIMAX).

n°	CRT	DCRT	Rinit	FN	CQR	QRMAX	LE	R	I	E	Pic
14	175	10	50	10	0.05	500	2348	1308	1067	2135	261

*** Introduction de QIMAX et de CQI**

Rappelons que QIMAX indique l'amplitude du réservoir "souterrain" et CQI le rythme de sa vidange.

La lame de base dans le pas de temps est le produit $CQI \cdot QIMAX$

n°	FN	CQR	QRMAX	QIMAX	LE	R	I	E	Pic
16	10	0.05	500	100	1691	1068	639	2774	201
16'	10	0.05	500	500	1571	1068	51		

Faire varier QIMAX en laissant CQI nul ne veut rien dire au niveau du fonctionnement du modèle. Toutefois, ce passage nous a permis d'observer le rôle important de QIMAX. On voit ici que le réservoir déborde quand la valeur de QIMAX est inférieure à 500mm (avec CQI nul). Le poids de QIMAX dans le calage de la forme de l'hydrogramme est important (diminution de la lame globale de 650mm pour QIMAX=100).

Nécessairement QIMAX doit être calé parallèlement avec CQI.

L'introduction de CQI permet la participation du réservoir souterrain à l'écoulement.

n°	FN	QIMAX	CQI	LE	R	I	E	Pic
16	10	100		1691	1068	639	2774	201
18	10	100	0.10	1979	1068	938	2489	158
19	10	100	0.50	2104	1068	1065	2377	190
20	10	500	0.10	1979	1067	938	2489	158
21	40	100	0.10	1979	240	1759	2496	259

Constats:

- les passages n°18 et 20, dans le tableau ci-dessus qui fait varier de 100 à 500 la valeur de QIMAX, avec le même CQI, ne donnent aucune variation du bilan.

- les passages n°19 et 20 qui font varier en parallèle CQI et QIMAX, démontrent une variation de la part fournie par le réservoir souterrain.

Interprétation:

Les hypothèses possibles sont :

- soit une faible répartition de FN pour QI,
- soit une faible ouverture du réservoir souterrain par un CQI trop faible.

Il fallait ainsi augmenter la partie qui s'est infiltrée (augmentation de FN) avant de considérer sa répartition (variation de QIMAX et CQI). Ce qui fut fait pour le passage n°21 du tableau précédent.

Le passage n°19 avec une vidange plus forte du réservoir souterrain pour augmenter le débit de base est donnée par la figure 28. La tendance est faiblement perçue.

Selon les résultats trouvés à travers les passages précédents, nous avons poursuivi la simulation .

n°	FN	QIMAX	CQI	LE	R	I	E	Pic
22	40	500	0.10	1979	240	1759	2497	188

La figure 29 illustre cette étape, on a bien des écrêtages des pics, par rapport aux précédents, mais encore des débits de base faible.

*** Variation combinée de FN, CQI et QIMAX**

Selon les résultats précédents, pour remonter en même temps le volume total écoulé (dont la valeur de référence est de 2268mm), et pour améliorer la forme de l'hydrogramme, des variations successives de FN, CQI et QIMAX sont faites (passage n°23, 24 et 25 dans le tableau suivant).

Il avait fallu revenir au calage de CRT (passage n°26 et 27), pour rétablir la lame écoulée global; les effets des paramètres du reservoir souterrain causant sa diminution.

n°	CRT	DCRT	Rin	FN	QRM.	CQR	QIMA	CQI	LE	R	I	E	Pic	N°fig
23	175	10	50	50	500	0.05	1000	0.30	2055	178	1895	2434	263	
24	175	10	50	60	500	0.05	1200	0.15	2005	141	1882	2476	220	30
25	175	10	50	65	500	0.05	1500	0.15	2005	128	1896	2476	220	30
26	150	10	50	65	500	0.05	1500	0.15	2105	137	1987	2380	227	
27	140	10	50	50	500	0.05	1500	0.15	2146	200	1966	2342	227	31

CURT = 170
DCRT = 10
Rinit = 50

FN = 10 CQR = 0,05
QRMAX = 500

CQI = 0.50
QIMAX = 700

LR = 2104

I = 1068
R = 1065

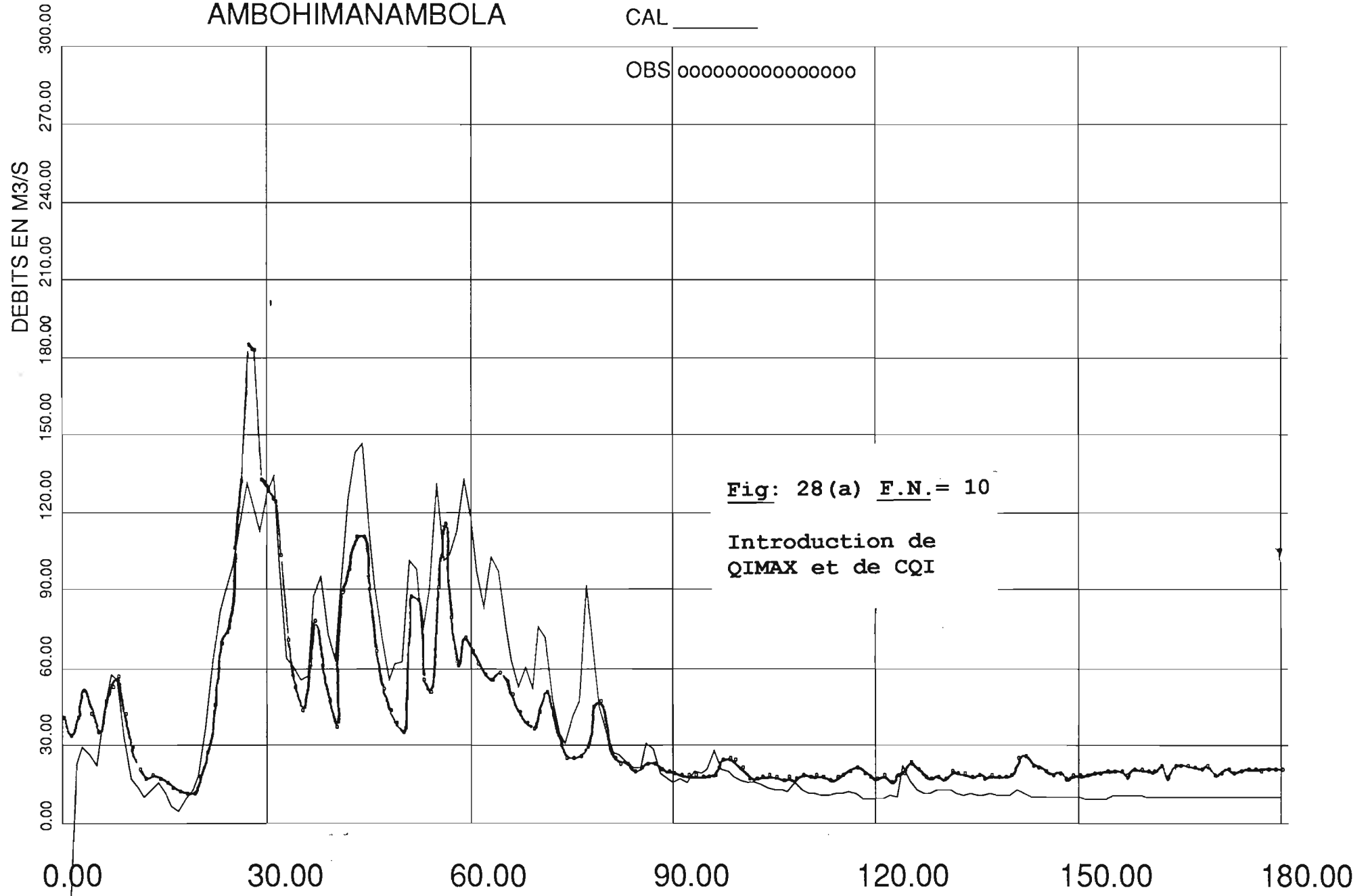
E = 2377

Qmax = 790

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000



AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

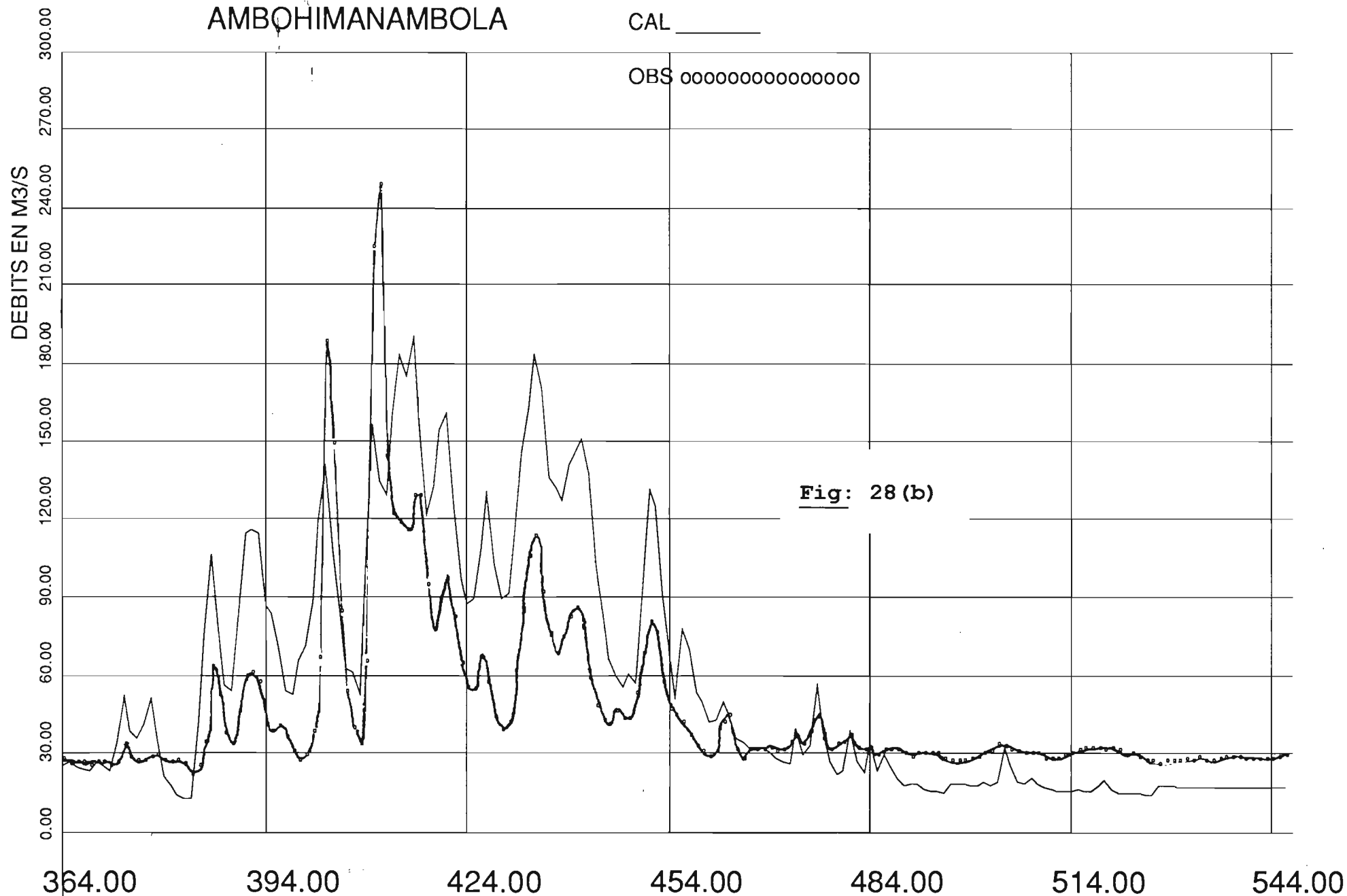


Fig: 28 (b)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

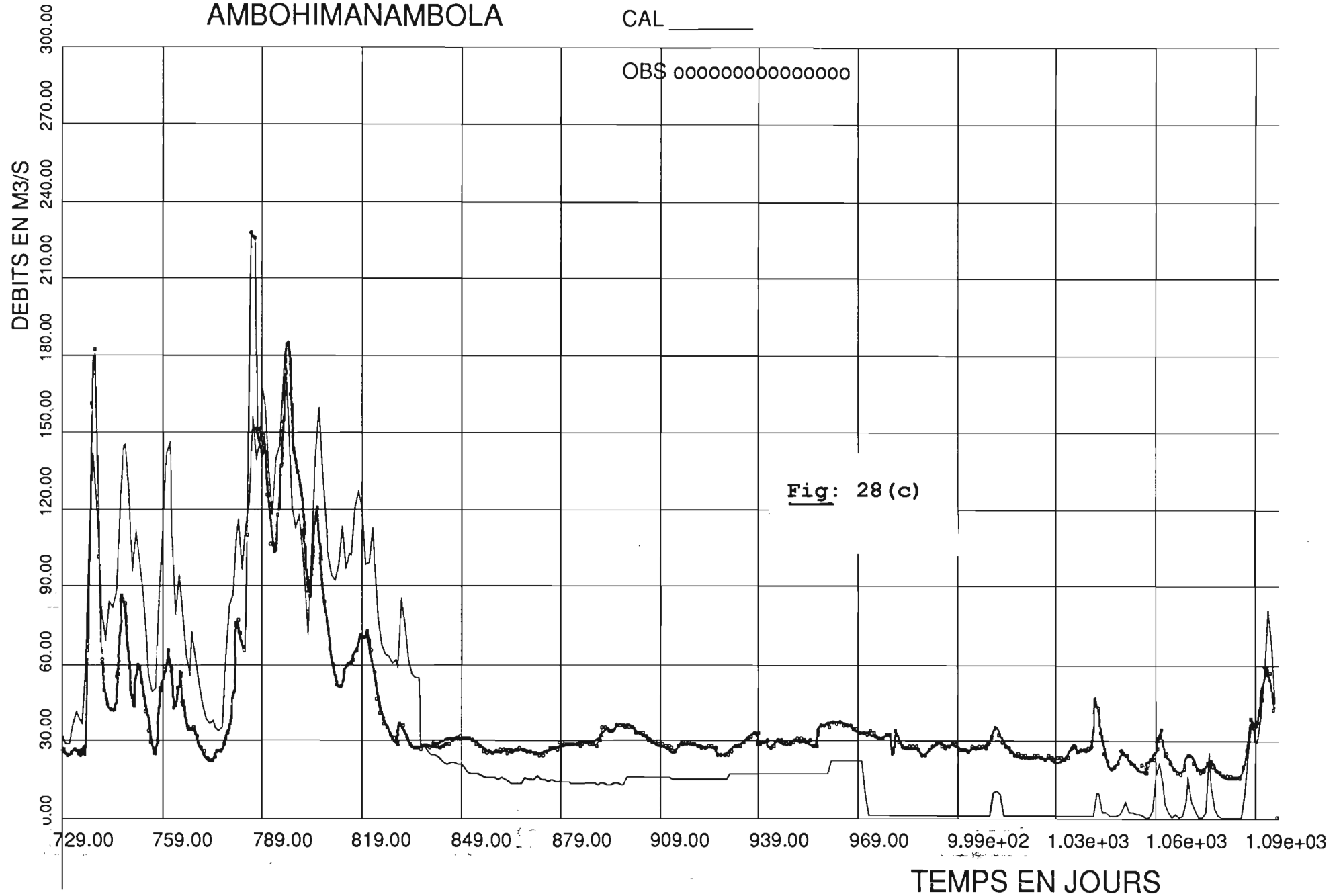


Fig: 28 (c)

CRT = 175
DCRT = 10

FN = 40

CQR = 0,05
QRMAX = 500

CQI = 0,10
QIMAX = 500

LE = 1979

I = 1750
R = 240

Z = 2497

Qmax = 788

Rinit = 50

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

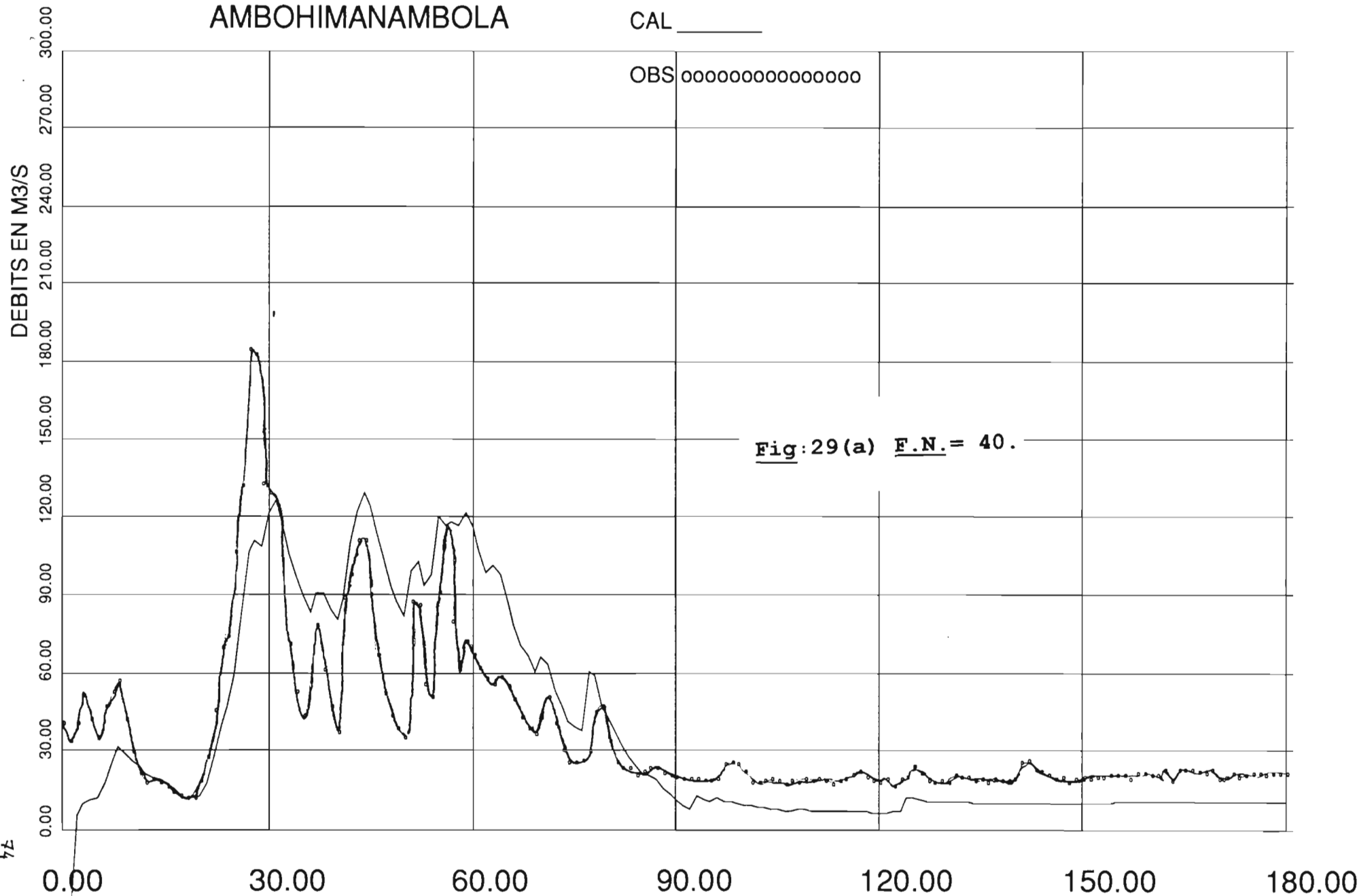


Fig:29(a) F.N. = 40.

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

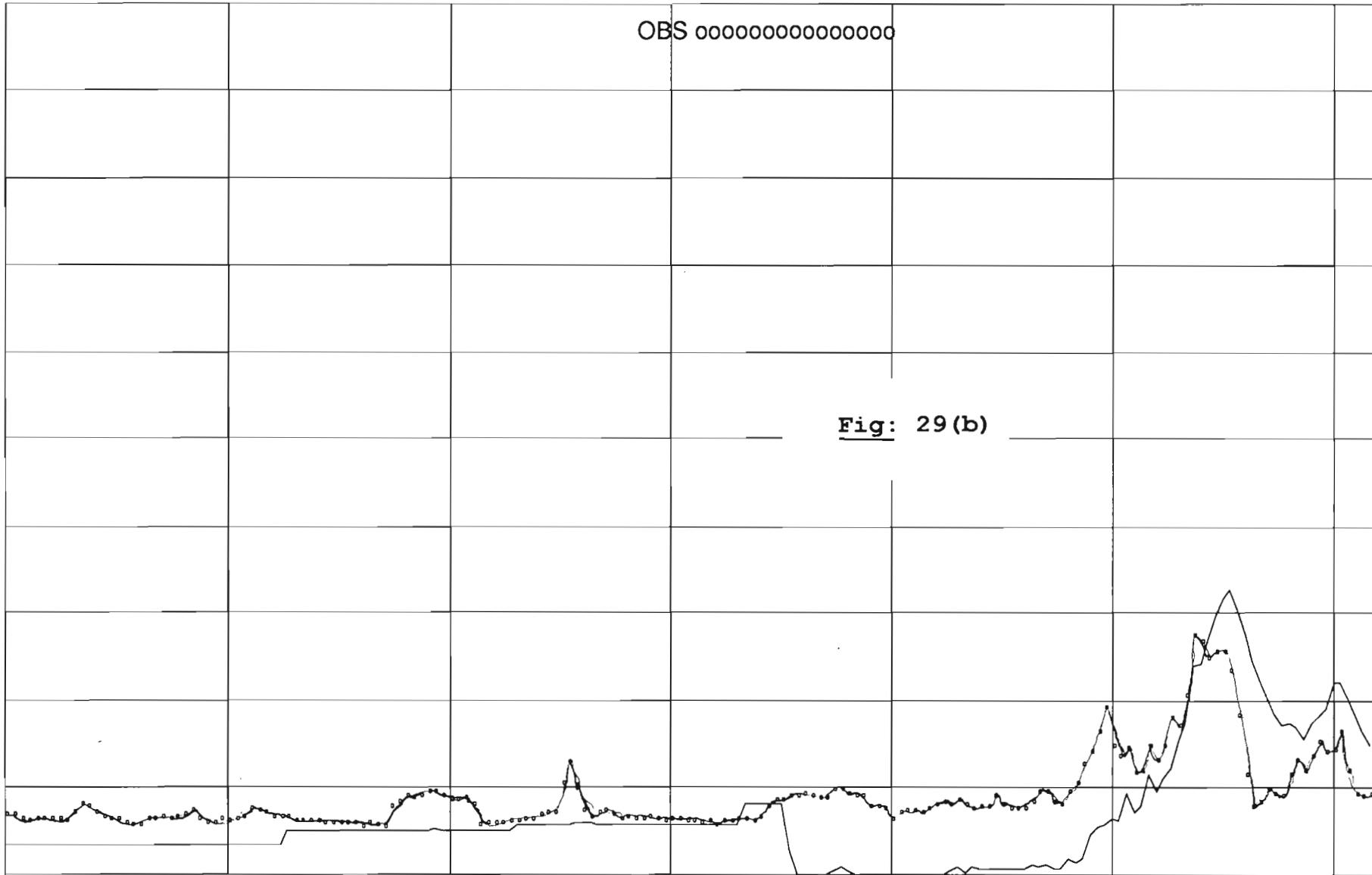
DEBITS EN M3/S

300.00
270.00
240.00
210.00
180.00
150.00
120.00
90.00
60.00
30.00
0.00

Fig: 29 (b)

179.00 209.00 239.00 269.00 299.00 329.00 359.00

7/4



AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

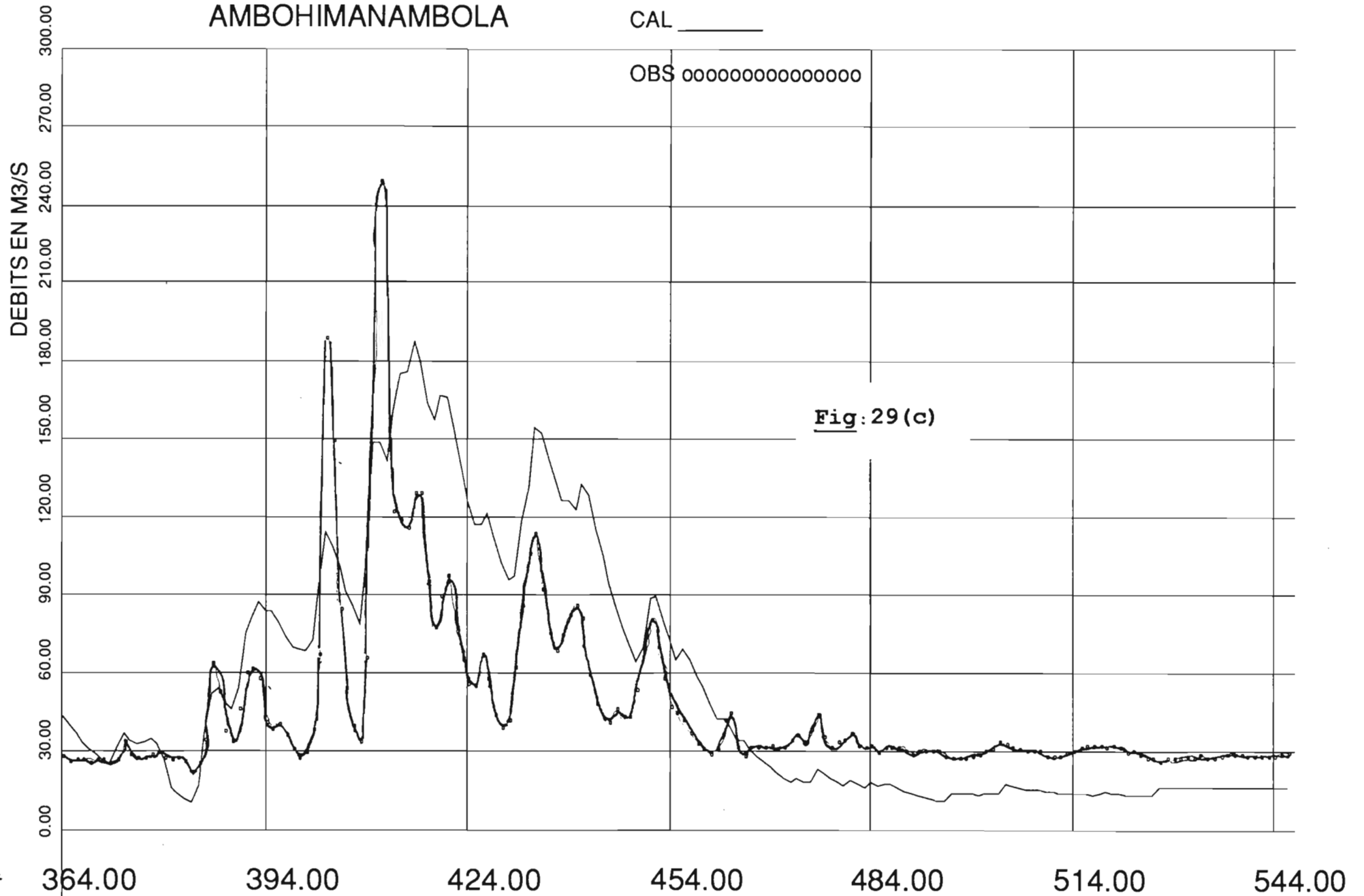
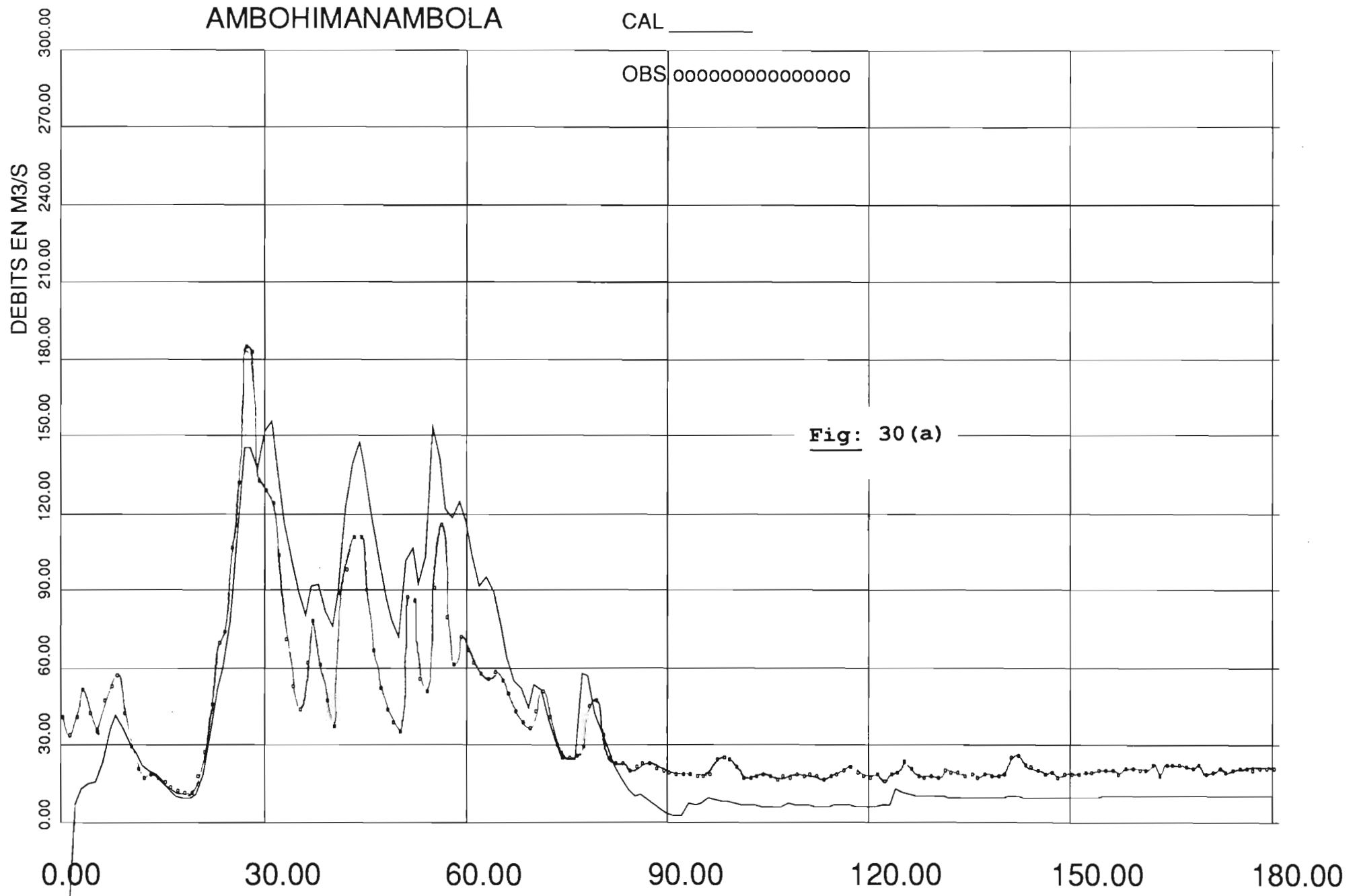


Fig: 29 (c)

DCR T = 10 FN = 60 CQR = 0,05 CBI : 0,15 I = 1882 Ev = 2476 Qmax 220



AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

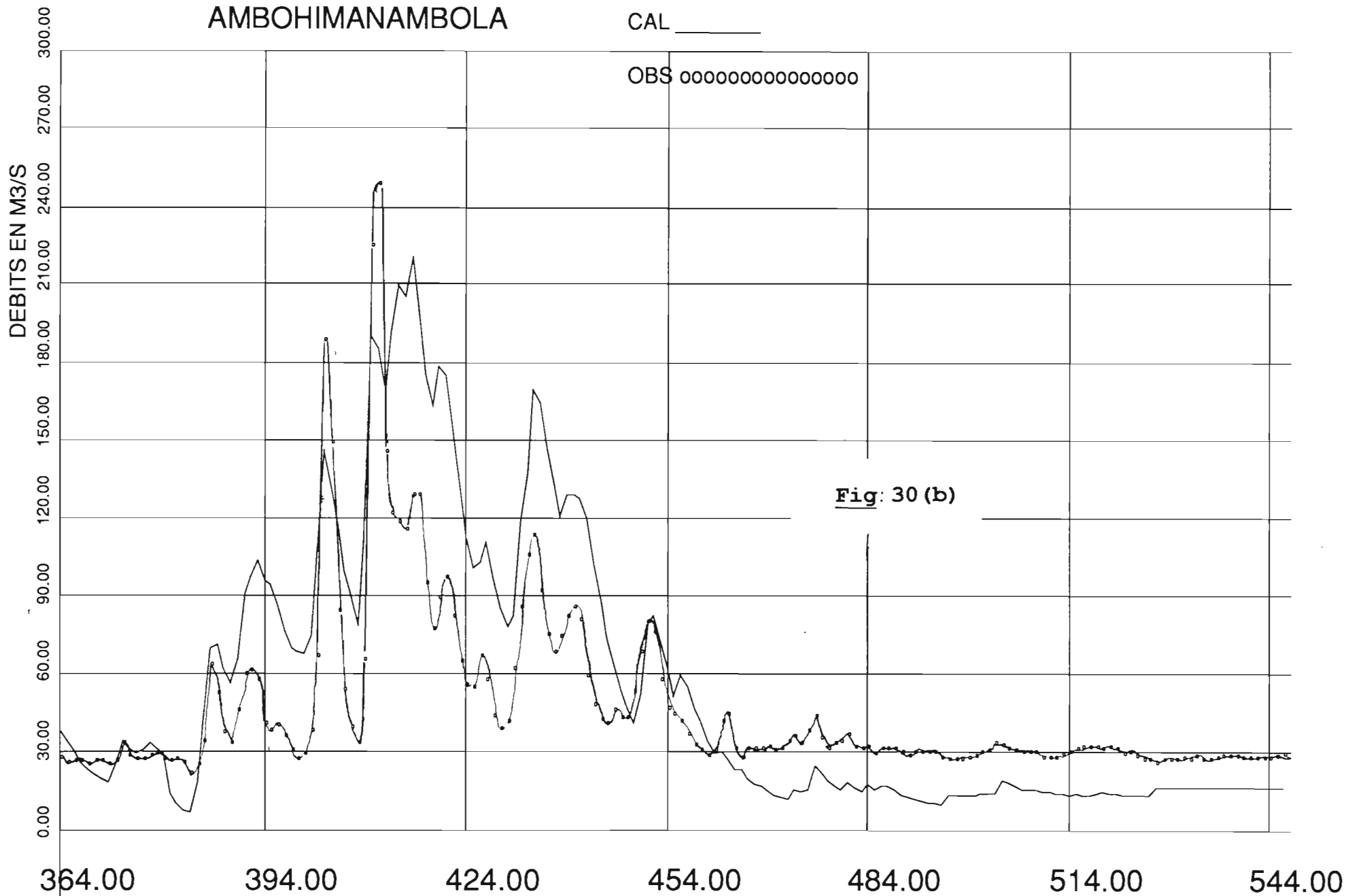


Fig: 30 (b)

CPT = 140 CQR = 0,05 CQI = 0,15 I = 1946
DCRT = 10 FN = 50 QRMAX = 500 QIMAX = 1500 LR = 2146 R = 200 E = 2342 Qmax = 227
Rinit = 50

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

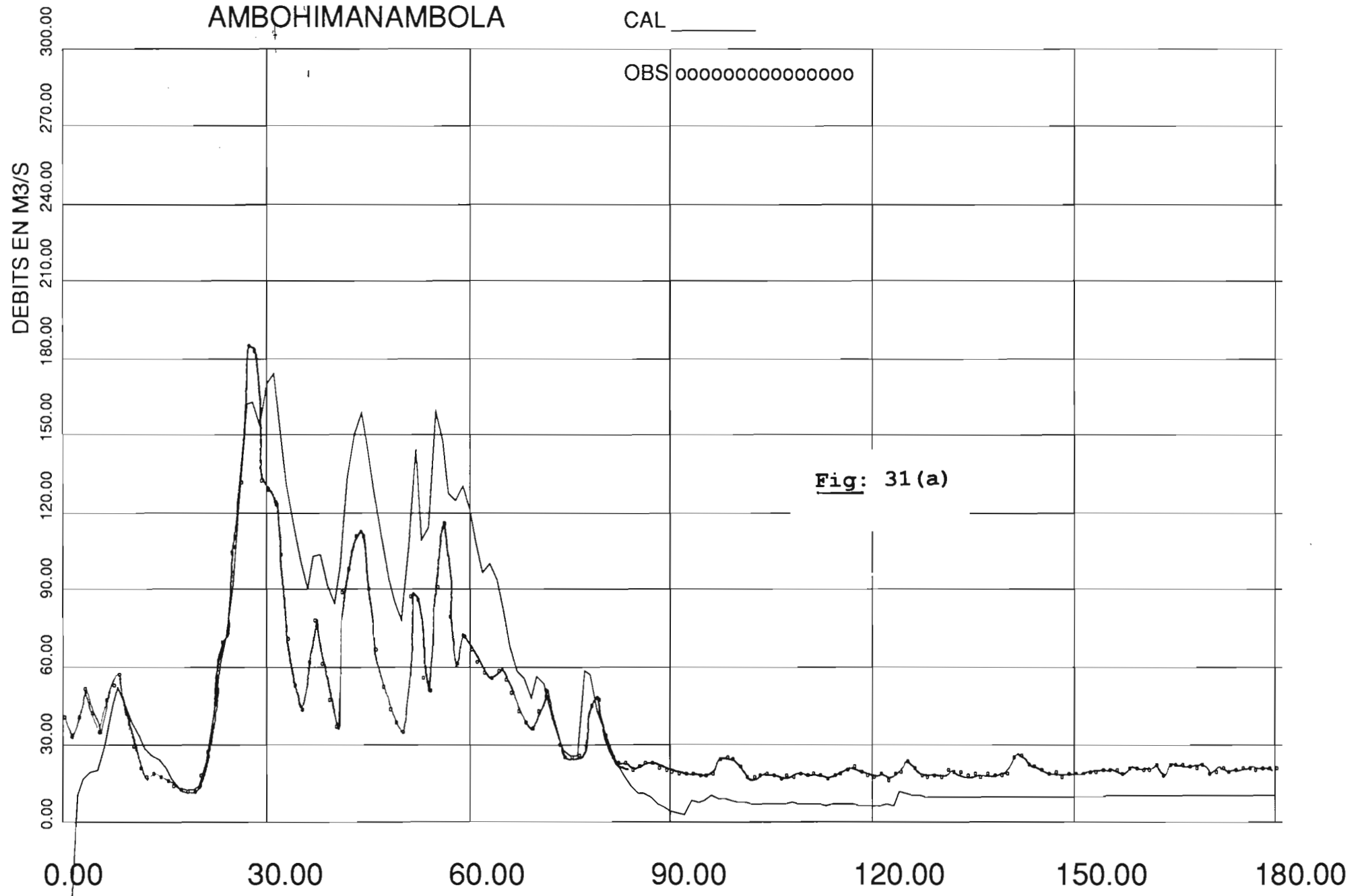


Fig: 31(a)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

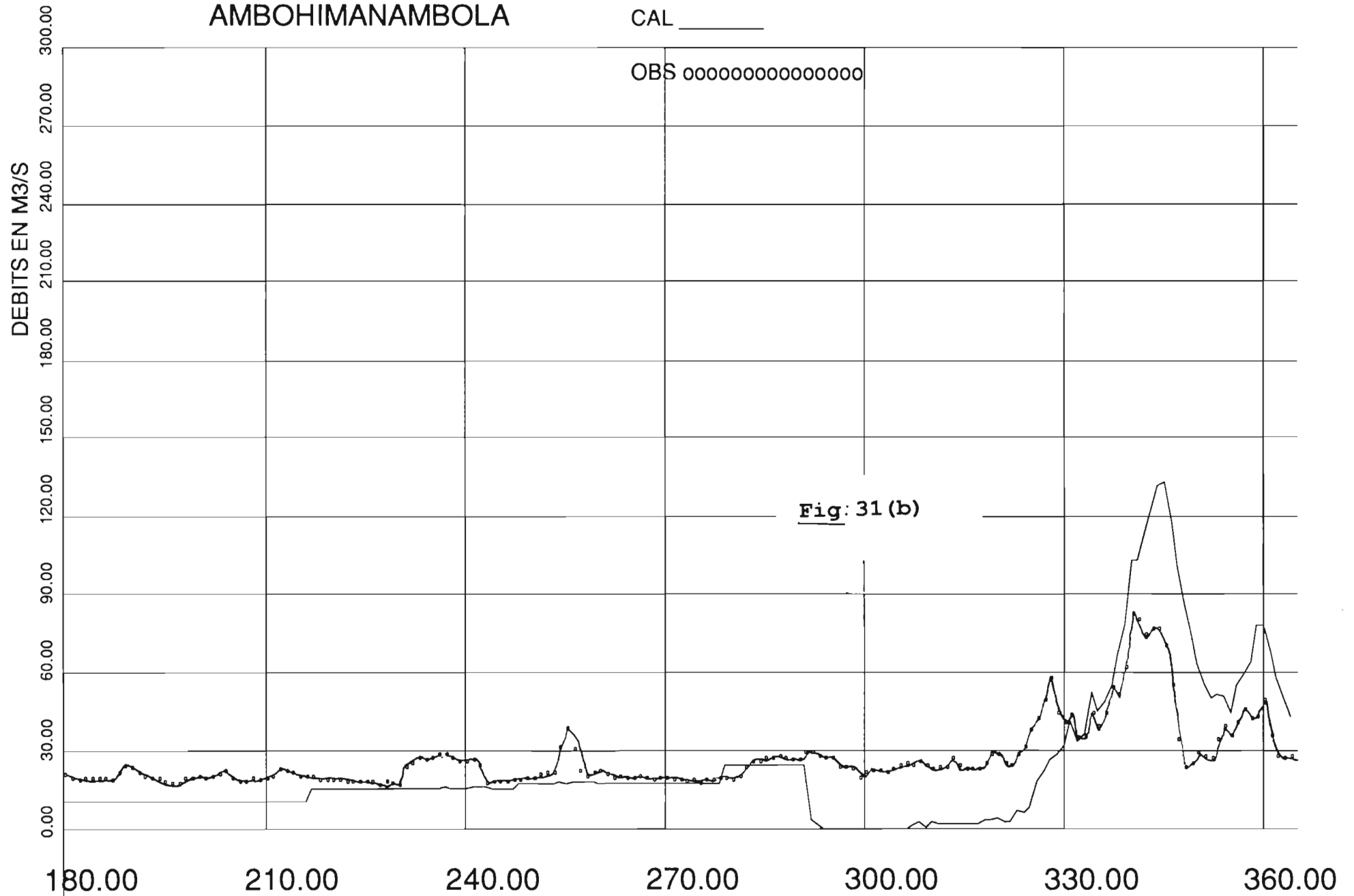


Fig: 31 (b)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

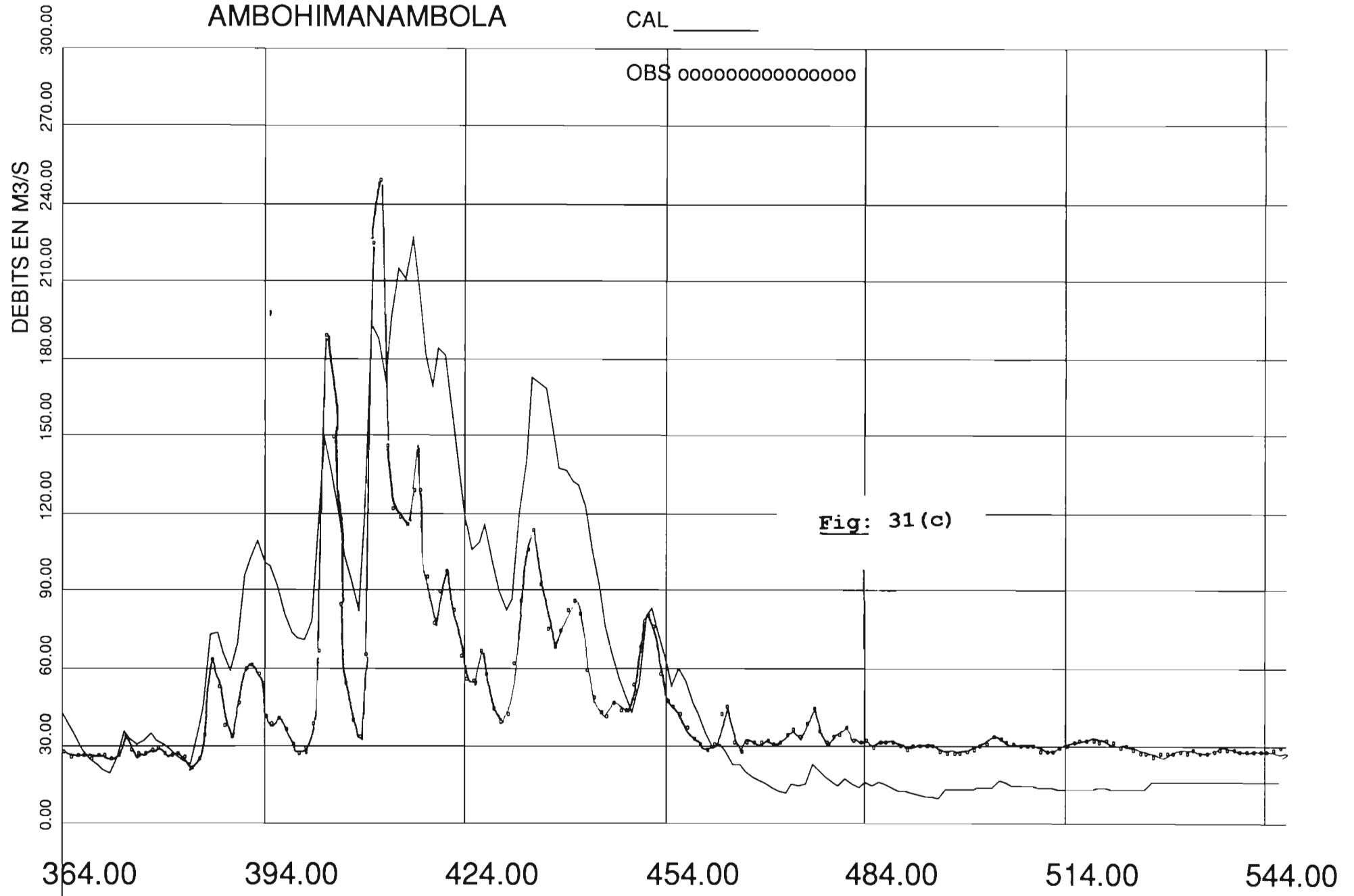


Fig: 31 (c)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

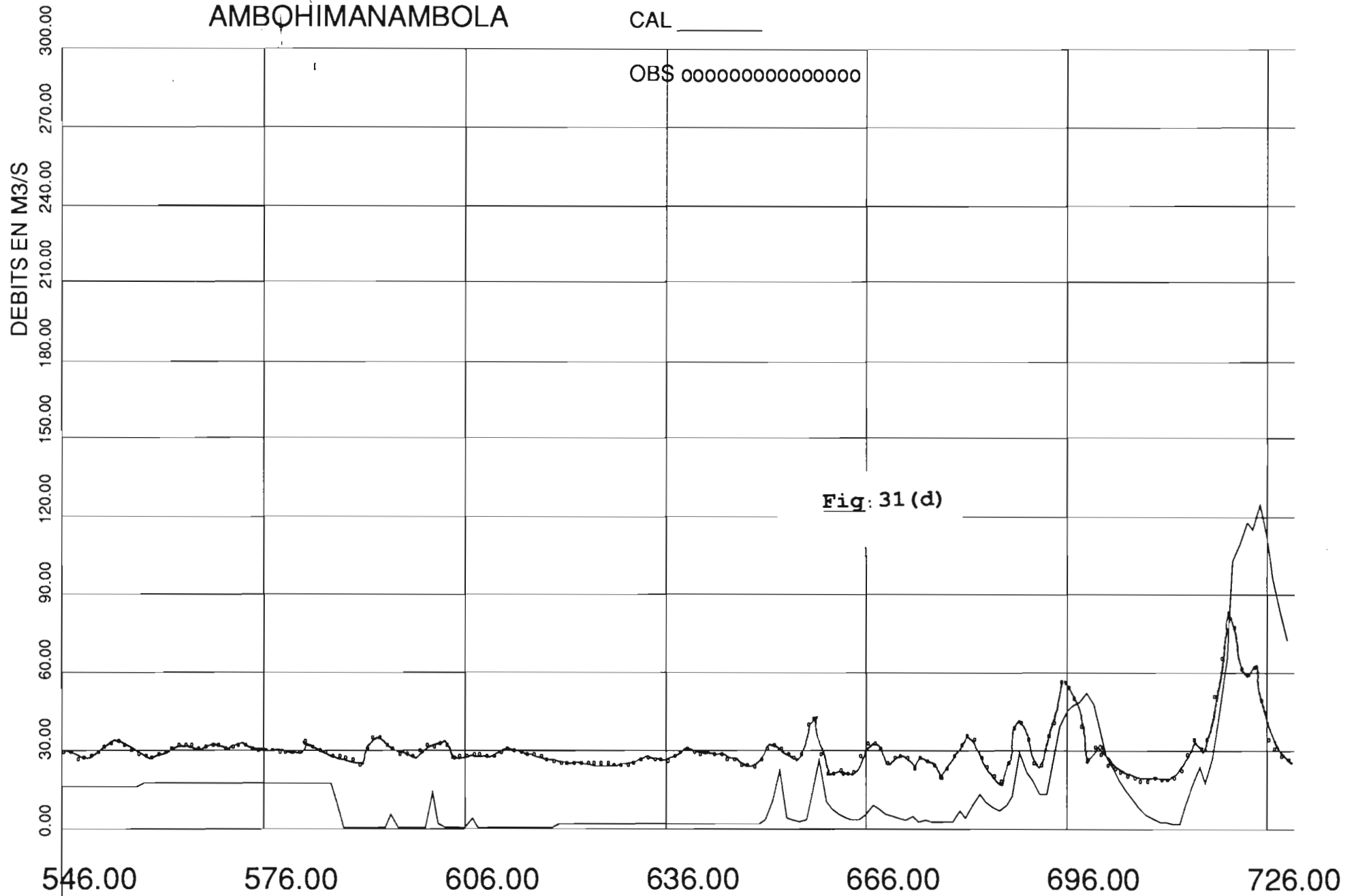


Fig: 31 (d)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

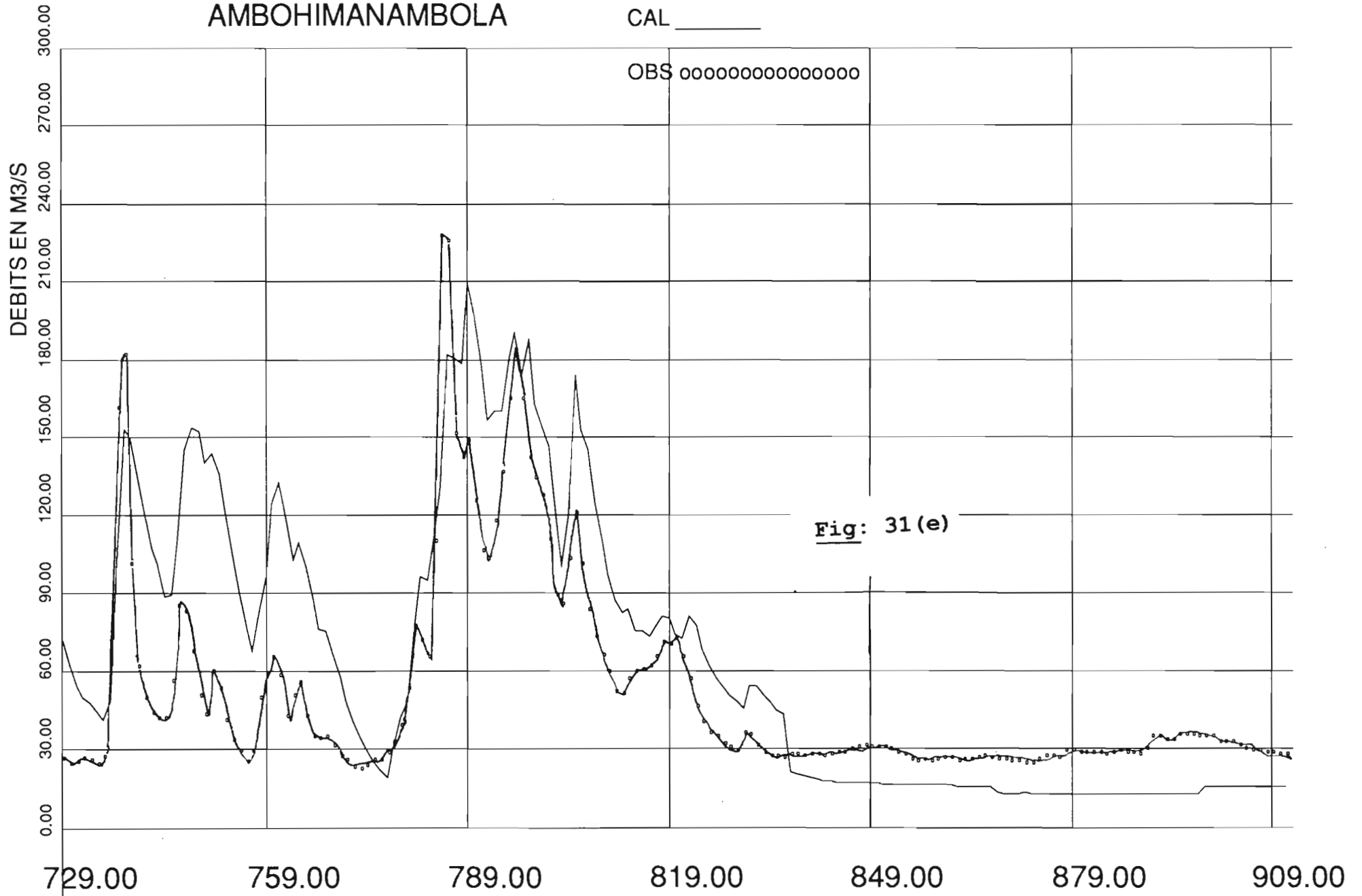


Fig: 31(e)

AMBOHIMANAMBOLA

CAL _____

OBS 0000000000000000

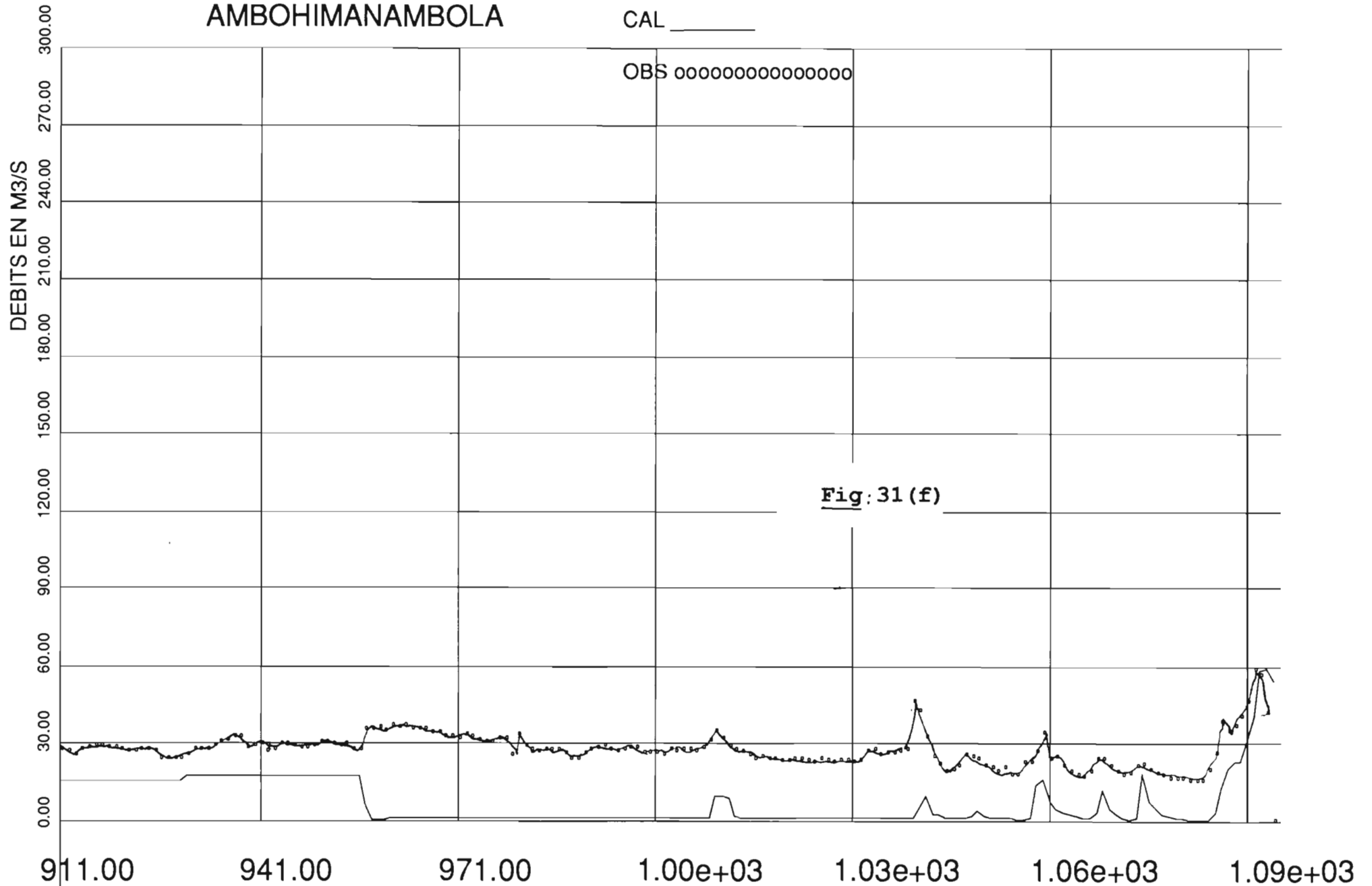


Fig: 31 (f)

E - VALIDATION DES RESULTATS

Les valeurs des paramètres calculées sur la période de calage sont testées sur les données d'une autre période.

Concernant notre application, la période d'ajustement était de 1971 à 1973 et pour la validation nous utiliserons les données de 1974 - 1975. Rappelons que l'objectif initial était de comprendre et manipuler les divers paramètres de Modlac sur le bassin de l'Ikopa. Compte tenu des données disponibles et surtout des nombreux compléments que nous avons dû faire pour les rendre continues (uniformisation des débits prélevés pendant toute la saison par exemple), la finesse des résultats jusqu' à la forme convenable de l'hydrogramme reste beaucoup à discuter.

Nous nous contenterons de vérifier le calage en volume écoulé pour la période de validation. Les valeurs successives des références et des paramètres sont:

- paramètres de calage en volume seulement:

CRT	DCRT	Rinitial
175	10	50

- tous les paramètres:

CRT	DCRT	Rinit.	FN	QRMAX	CQR	QIMAX	CQI
140	10	50	50	500	0.05	1500	0.15

- période de calage: 1971 -1973

- lame d'eau observée à Ambohimambola: 2268mm

- lame d'eau calculée à Ambohimambola:

* avec les paramètres de calage en volume : 2360mm

* avec l'intervention de tous les paramètres: 2146mm

- période de validation: 1974 -1975

- lame d'eau observée à Ambohimambola: 1470mm

- lame d'eau calculée à Ambohimanambola:
 - * avec les paramètres de calage en volume : 1556mm
 - * avec l'intervention de tous les paramètres: 1324mm

Le meilleur calage s'effectue comme pour la période d'ajustement avec les paramètres réels d'ajustement de volume, sans influence des autres. Avec l'intervention de tous les autres paramètres, nous constatons toujours la diminution de la lame écoulée, elle est due probablement à la variation de stock du réservoir souterrain. Une partie de QI après la répartition de FN n'est pas restituée et reste dans le réservoir.

F- DISCUSSION SUR LES PARAMETRES

Le calage en volume d'eau écoulée s'est déroulé d'une manière satisfaisante, les paramètres pour ce calage ont évolué dans le sens entendu par le concept du modèle. C'est CRT qui agit en plus, son poids par rapport aux autres paramètres DCRT et Rinit est très significatif. La valeur de CRT pour le bassin de l'Ikopa est de 140mm, (pour 70mm dans le bassin du Paraíba région de Rio de Janeiro au Brésil et pour 120mm dans le bassin de Massili Sahel, Burkina Faso).

Globalement, la répartition par FN du volume d'eau infiltrée (QI) et du volume de ruissellement (QR) a un rapport de 10. C'est une caractéristique propre du bassin qu'il est bon de noter car elle exprime la grande capacité du réservoir souterrain. -Nous avons signalé en III-A1 b- l'existence d'une tranche épaisse de sols alluvionnaires, hydromorphes qui surplombent un front d'argiles gonflantes. Le modèle met bien en évidence cette caractéristique des sols.

La partie la plus délicate concerne le calage de la forme de l'hydrogramme. La validité des données d'entrée est le premier facteur de la réussite de ce calage. La finesse du raisonnement dans le calage relatif des paramètres, connaissant les caractéristiques du bassin, joue aussi son rôle.

Les résultats que nous avons obtenu ne donnent pas une bonne représentation de l'hydrogramme. L'allure générale est donnée mais on a un débit de base faible et des crues importantes.

La variation des paramètres que nous avons utilisée dépasse largement la gamme de valeur conseillée par l'auteur du modèle, par exemple:

- pour CQR elle devrait se situer entre 0.5 à 1.0; dans notre cas pour avoir la meilleure allure de la courbe de décrue nous sommes allés jusqu' à 0.05

- pour CQI la gamme proposée est large, de 0.0001 à 0.5. L'ajustement est difficile et délicate, il y a la forte dépendance CQI - QIMAX - FN qui perturbent la répartition initiale de QI et QR et aussi du volume total écoulé.

Nous avons toujours la persistance :

- des forts débits qui sont surestimés à chaque pic,
- des débits d'étiage qui sont sousestimés.

Une hypothèse possible est la participation de Rnappe, paramètre que nous n'avons pas considéré compte tenu du résultat obtenu dès le début de la simulation (figure n°24). Le problème pour nous était de le considérer parmi les paramètres de calage en volume ou parmi ceux pour la forme de l'hydrogramme. Les indications que nous avons reçu de l'auteur supposent que c'est un paramètre de volume, et nous l'avons appliqué dans ce sens. L'application faite par P. ROBIN (1991) considère la variation de Rnappe parallèlement avec QIMAX.

Il fallait donc mettre en eau ce réservoir, sans toutefois avoir Rnappe supérieur à QIMAX, sinon le réservoir déborde à chaque coup. Ce calage devrait se faire tout au début de la simulation, ROBIN avait une valeur de départ Rnappe égal à $0,5QIMAX$.

Une autre hypothèse est la mauvaise estimation des données sur les retenues ou sur les pluies de la zone intéressant les retenues. Il nous arrivait d'avoir des débits restitués surévalués. Notons qu'au environ du réservoir de Tsiazompaniry, les deux postes pluviométriques n°5 et 10 (voir figure 23, page 57 et les tableaux après) couvrent une zone de 268km², valeur dépassant la norme requise par le modèle.

PARTIE IV
PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Partie -IV- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail qui nous a été demandé dans le cadre de ce mémoire, trouve son intérêt en plusieurs points.

a) -Au début il s'agissait de faire une application du modèle MODLAC sur le bassin de l'Ikopa avec ses caractéristiques propres.

- Dans une première phase, nous avons dû apprendre à utiliser et, dans le même temps, tester un outil "neuf" (logiciel LACMOD) qui est complexe. Cela nous a pris un temps assez long mais nous a instruit sur la manière de contourner, ou de remédier, aux anomalies constatées.

- Ensuite lorsque les données nous sont parvenues, les étapes successives à l'application du modèle ont été entreprises:

- discrétisation spatiale du bassin, avec 303 mailles.
- la qualité et la quantité des données de base Pluies, ETP, débits, caractéristiques des barrages, prélèvements divers en liaison avec les surfaces irriguées... laisse beaucoup à désirer. Les données ne sont pas fiables. La liaison avec Antananarivo pour avoir des compléments était à ce moment presque impossible. Il nous a fallu procéder à des compléments de données et à des homogénéisations quelquefois arbitraire. Il est certain que lorsque nous avons reconstitué les données de pluies sur une période donnée pour le besoin de la spatialisation, cette action devait être en liaison avec les débits observés. C'est une entreprise difficile et parfois subjective, les imprécisions sont à prévoir.

b) Compte tenu de ces problèmes, et avec l' accord de notre directeur de stage, l'effort a porté sur la compréhension du fonctionnement du modèle et pour l'appréciation du poids de chaque paramètre de calage.

Il ne s'agissait plus de faire une application au sens de trouver les valeurs "opérationnelles" de ces paramètres mais plutôt de maîtriser l'outil sur ses diverses possibilités. Il n'est pas possible dans le cadre de ce rapport de présenter tous les essais de calage des paramètres que nous avons faits. Seuls ont été rapportés le début et la fin d'une étape sur le

calage d'un paramètre ou d'un groupe de paramètres. Nous pensons être parvenu, par ces multiples manipulations à une bonne compréhension du fonctionnement du modèle.

Ce travail est loin d'être achevé. Les perspectives d'exploitation du modèle dans le cas du bassin de l'Ikopa sont nombreuses:

* Pour la plaine d'Antananarivo, par exemple, nous avons évoqué, les problèmes de drainage et de risque d'inondation. Il est possible dans "Modlac", de considérer ce problème comme un stockage d'eau dans une plaine d'inondation très étendue. Dans ce cas, on peut l'imaginer comme un ensemble de retenues fictives ayant chacune une loi de vidange du déversoir selon la situation ou la saison. Une telle éventualité a été signalée sur la mare d'Oursi à Ouagadougou par G GIRARD (1991).

* Ou plus simplement, lorsque nous serons sur place il sera possible de continuer ce travail de simulation journalière avec les données les plus récentes dont nous pourrons alors vérifier la qualité.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

ALDEGHERI M., 1964

Monographie hydrologique de l'Ikopa et de la Betsiboka., 5 Volumes
ORSTOM - Société d'Energie de Madagascar.

CHEVALLIER P., 19..

Utilisation d'un modèle distribué sur un petit bassin versant de savane
(Booro-, Côte d'Ivoire) *Laboratoire d'Hydrologie ORSTOM Montpellier.*

C.I.E.H.- ARMINES - ORSTOM., 1989

Modélisation des écoulements sur un bassin versant hydrauliquement
aménagé.

CHOW V.T., 1964

Handbook of Applied Hydrology. A compendium of water resources
technology. pp 11-15 à 11-33

DIRECTION DE LA METEOROLOGIE MALGACHE

Annuaire Hydrologiques de la Plaine d'Antananarivo, de 1970 à 1977.

DOOGE J. C. I., 1973

Deterministic input-output models
University College Dublin

ELECTRICITE DE FRANCE (EDF), 1950

Monographie hydrologique du Bassin Supérieur de l'Ikopa.
Electricité de France - Service des études d'Outre-Mer

EDF - ORSTOM, 19..

Réservoir de Tsiazompaniry. Détermination de la crue exceptionnelle
de la Varahina-Sud et de la Manandriana à Tsiazompaniry.
Note Hydrologique .

GAMBIER G., 1984

Notions sur les représentations planes de la terre.
*Institut Géographique National. Ecole Nationale des Sciences
Géographiques.*

GILLE E. et al., 1985

Problématique de la transposition des modèles à discretisation spatiale
de simulation conjointe des écoulements superficiels et souterrains sur
des bassins versants voisins.
Hydrogéologie n° 3, 1985, pp191-202

GIRARD G. et al., 1972

Modèle précipitation - débits à discrétisation spatiale.
Cahier ORSTOM, série Hydrologie Vol XIX n°2, pp 55-72.

GIRARD G. et RODIER J.A., 1979

Application de modèles mathématiques déterministes à l'étude des
crues et de l'écoulement annuel - zones sahéliennes
Acte du colloque de Canberra Déc 1979, I.A.H.S. - AISH Pub. n°128

GIRARD G. et al., 1981

Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et
des écoulements souterrains sur un système hydrologique.
Cah. ORSTOM, ser. Hydrol. Vol XVIII, n°4 - pp195-278.

GIRARD G., 1982

Modélisations des écoulements de surface sur des bassins
hydrologiques équipés de réservoirs. Modèle MODLAC.
Cah. ORSTOM, ser. Hydrol. Vol XIX, n°2 - pp55-72

GIRARD G., 1982

MODELO SIMMQE: Simulação a malhas quadradas embutidas -
Conceituação aplicação a Bacia do Rio paraíba de Sul, Brasil
*Departamento Nacional de Aguas e Energia eléctrica - Divisão de
controle de Recursos Hidricos.*

GIRARD G., 1991

LACMOD. Logiciel de montage et d'exploitation sur micro-ordinateur du
Modèle de Simulation des Ecoulements Journaliers sur un ensemble
de bassin versants avec retenues.
Notice d'utilisation - Aide mémoire.
Programme sources du modèle.
Source du logiciel Lacmod.
Modèles avec 15 mailles.
*Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, ARMINES - Centre
d'Informatique Géologique - ORSTOM - Comité Inter-Etats d'Etudes
Hydrauliques C.I.E.H.*

IBIZA et al., 1982

Etudes Hydrologiques sur l'Alaotra - Modélisation du bassin.
*Ministère du Développement Rural et de la Réforme Agricole. Direction
des Etudes et de la Programmation.*

LEDOUX E. et al., 1984

Proposition d'un modèle couplé pour la simulation conjointe des
écoulements de surface et des écoulements souterrains sur un bassin
hydrologique. *Col. La Houille Blanche n°1/2 - 1984.*

MOUSSA R., 1991

Variabilité Spatio-Temporelle et Modélisation hydrologique.
Application au bassin du Gardon d'Anduze.
Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc

NEMEC J., 1982

Models in Hydrology.
International Centre of Hydrology "Dino Tonini". University of Padua.

REIGNIER F., 1957

Les systèmes de projection et leurs applications à la géographie, à la cartographie, à la navigation, à la topométrie, etc...
Pub. technique de l'Institut Géographique National.

ROCHE M. et COLOMBANI J.

Modèles conceptuels utilisés dans les études hydrologiques.
World Meteorological Organization. Techn. Reports n°21.

ROBIN P., 1990

Bilan Hydrique de sols
Quantification de la variabilité spatiale et de l'incertitude.
Thèse de Doctorat. Institut National Agronomique de Paris Grignon - Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

SCET International - DINIKA; 1985

Plaine d'Antananarivo. Etude de la protection contre les crues et de ses incidences.
Direction générale du plan, République Démocratique de Madagascar

ANNEXES

Annexe 1: Descriptions des données de MODLAC	3
Annexe 2: Exemple de Fichier FICLAC sur l'IKOPA	1
Annexe 3: Fichier PRELEV.MOD, Débits prélevés et restitués sur les Réservoirs	2
Annexe 4: Fichier FIC44.MOD, Caractéristiques des retenues sur l'Ikopa	1
Annexe 5: Fichier FICGEO, caractérisant la géométrie du bassin de l'Ikopa	1
Annexe 6: Transformation des coordonnées en Coordonnées UTM, Projection de Laborde - Projection de Mercator Tranverse par REIGNIER F. 1957 Les systèmes de projection et leurs applications. Pub techn. de l'IGN	10
Annexe 7: Calcul de l'évapotranspiration par la formule de Penman	1
Annexe 8: Caractéristiques climatiques d'Antananarivo: Temperature maximale et minimale, Humidité relative, Durée d'insolation, Vitesse du vent (1971/1974)	20
Annexe 9: Tableaux des ETPs calculées à la station d'Antananarivo de 1971/1974	4

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES DONNEES DE MODLAC

FICHIERS EN ENTREE DU MODELE

Cette liste n'est pas exhaustive et donne seulement une idée du cheminement Il faut retrouver la classification

DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Cartes topographiques de la région à modéliser pour déterminer le maillage primaire</p> <p>Cartes géologiques, pédologiques et d'occupation des sols aux dates de la modélisation pour définir la physiographie.</p> <p>La forme du réseau hydrographique, le relief, les courbes hypsométriques</p> <p>Des cartes des équipements limnimétriques, stations météorologiques, pluviométriques, des cartes des équipements hydrauliques (retenues, prises d'eau, points de rejets, points de prélèvements, canaux de dérivation) pour déterminer le maillage secondaire ou de surface.</p>	<p>Fichier géométrie</p> <p>FICGEO</p>	<p><u>Quadrillage primaire</u> Longueur, largeur du quadrillage. Type de fonctions de production. Côté des mailles.</p> <p><u>Quadrillage secondaire</u> Type de fonctions de production.</p> <p><u>Organisation des mailles</u> Numéros d'index. Numéros des mailles primaire correspondante. Morphologie. <u>Caractérisation des mailles</u> Type (rivière/bassin). Sens de drainage. Altitude minimum. Numéro de la fonction de production associée.</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Caractéristiques de chacune des retenues du bassin à modéliser et les évolutions de celles-ci sur la période de simulation,</p> <p>Dates de mise en service ou de destruction</p> <p>Cote minimale et maximale de fonctionnement</p>	<p>Caractéristiques des retenues qui n'ont ni de prélèvements ni de restitutions.</p> <p>Retenue d'ordre 1</p> <p>FIC34</p>	<p>Dates de début et fin de simulation.</p> <p><u>Par retenues</u> Localisation /n° maille. % d'occupation de la retenue/ taille de la maille. Hauteur d'eau initiale au dessous du réservoir.</p> <p>Courbe hauteur/surface S(H) de la retenue.</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Caractéristiques de chacune des retenues du bassin à modéliser et les évolutions de celles-ci sur la période de simulation,</p> <p>Débits dérivés dans ou hors bassin</p> <p>Débits restitués à l'aval</p> <p>Dates de mise en service ou de destruction</p> <p>Cotes minimale et maximale de fonctionnement</p>	<p>Retenues qui ont des prélèvements ou des restitutions, Stations hydrométriques avec volume nul</p> <p>Retenue d'ordre 2</p> <p>FIC44</p>	<p>Dates de début et fin de simulation.</p> <p><u>Par retenues</u> Localisation /n° maille. % d'occupation de la retenue/ taille de la maille. Hauteur d'eau initiale au dessous du réservoir. Courbe hauteur/surface S(H) de la retenue (fictive pour les stations hydrologiques)</p>

DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Données concernant l'utilisation journalière des eaux en chacun des points de captage.</p> <p>Pour une retenue: Surfaces doses et dates d'irrigation Caractéristiques de chacune des retenues du bassin à modéliser et les évolutions de celles-ci sur la période de simulation, Cartes des équipements hydrauliques</p>	<p>Inventaire des retenues et des stations</p> <p>LACBASSI.DON</p>	<p>N° de la retenue ou station. Nom. Localisation/ N° de maille. Surface maximum. Volume maximum. Surface irriguée. N° d'ordre (si la retenue n'a ni de prélèvement ni de restitution, la retenue est d'ordre I) . Hauteur du déversoir. N° d'identification.</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Données d'évapotranspiration décennales ou mensuelles,</p> <p>Cartes géologiques, pédologiques et d'occupation des sols aux dates de la modélisation pour définir la physiographie.</p>	<p>Contrôle et commande de la simulation</p> <p>FICLAC</p>	<p>Dates de simulation des pluies. Pas de temps des données de prélèvements et restitutions. N° des mailles portant des retenues ou des stations. Valeurs d' ETP au pas mensuel pour un an. <u>Fonctions de productions</u> Nom. N° d'index. <u>Paramètres de calage</u> Capacité moyenne de rétention des réservoirs conceptuels. Capacité minimale de rétention des réservoirs conceptuels. Capacité des réservoirs . Taux d'infiltration. Coefficients de vidange. Capacité d'amortissement. ...</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Données pluviométriques journalières à tous les postes Cartes des stations pluviométriques Localisation en coordonnées des stations</p>	<p>Données météo</p> <p>FIC14.MET</p>	<p>Nombre de postes. Affectation des mailles par zones pluviométriques Valeurs par jour et par stations des précipitations sur toute la période de simulation.</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Pour les stations de pompage: les débits des pompages dans les nappes et rivières.</p> <p>Pour les points de rejet: les débits restitués vers l'aval.</p> <p>Pour les retenues les débits turbinés ou restitués vers l'aval.</p>	<p>Prélèvements et restitutions sur les retenues</p> <p>PRELEV.MOD</p>	<p>N° des retenues. Prélèvements mensuels par retenue. Restitutions mensuelles par retenue.</p>

DONNEES DE CALAGE

DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Pour une station limnimétrique: les niveaux d'eau dans les piézomètres, données limnimétriques journalières. Courbes de tarage.</p>	<p>Inventaire des débits</p> <p style="text-align: center;">FIC 20</p>	<p>Dates de début et fin de simulation. Localisation des station/ N° de mailles. Valeurs journalières des débits par stations.</p>
DONNEES UTILISEES	NOM DU FICHIER MODLAC	CONTENU
<p>Niveau d'eau journaliers dans les retenues</p>	<p>Inventaire des hauteurs d'eau dans les retenues</p> <p style="text-align: center;">FIC 21</p>	<p>Dates de début et fin de simulation. Localisation des station/ N° de mailles. Valeurs journalières des hauteurs d'eau par stations.</p>

ANNEXE 5

FICHER "FIGGEO" (Caractérisant la géométrie du bassin)

MAILLAGE DU BASSIN DE L'IKOPA

Mailles schema-type

14 21 1 1 1 1 8

Côté d'une maille (en m)

4000.

Nombre total de mailles de surface

303

N° des mailles et N° de localisation

1	20300	2	21	0	3	22100	4	22400	5	25300	6	26400	7	30100	8	30300				
9	30400	10	32300	11	33300	12	33400	13	34	0	14	35	0	15	36100	16	36300			
17	36400	18	37300	19	37400	20	38100	21	38200	22	38300	23	38400	24	39	0				
25	40100	26	40300	27	40400	28	41400	29	44200	30	44310	31	44320	32	44330					
33	44340	34	45300	35	46100	36	46210	37	46220	38	46230	39	46240	40	46300					
41	46410	42	46420	43	46430	44	46440	45	47100	46	47200	47	47300	48	47400					
49	48	0	50	49100	51	49200	52	49300	53	49400	54	50	0	55	51100	56	51200			
57	51300	58	51400	59	52	0	60	53100	61	53200	62	53300	63	53400	64	54	0			
65	55100	66	55400	67	58220	68	59100	69	59200	70	59300	71	59400	72	60100					
73	60200	74	60300	75	60400	76	61100	77	61210	78	61220	79	61230	80	61240					
81	61310	82	61320	83	61330	84	61340	85	61400	86	62100	87	62200	88	62300					
89	62400	90	63100	91	63200	92	63300	93	63400	94	64100	95	64200	96	64300					
97	64400	98	65	0	99	66	0	100	67100	101	67200	102	67300	103	67400	104	68100			
105	68200	106	68300	107	68400	108	69100	109	69400	110	73100	111	73200	112	73300					
113	73400	114	74100	115	74200	116	74300	117	74400	118	75100	119	75200	120	75300					
121	75400	122	76100	123	76200	124	76300	125	76400	126	77100	127	77200	128	77300					
129	77400	130	78100	131	78200	132	78300	133	78400	134	79	0	135	80	0	136	81	0		
137	82100	138	82200	139	82300	140	82400	141	83100	142	83300	143	83400	144	87100					
145	87200	146	88100	147	88200	148	88300	149	88400	150	89100	151	89200	152	89300					
153	89400	154	90100	155	90200	156	90300	157	90400	158	91	0	159	92100	160	92200				
161	92300	162	92400	163	93100	164	93200	165	93300	166	93400	167	94100	168	94200					
169	94300	170	94400	171	95100	172	95200	173	95300	174	95400	175	96	0	176	97100				
177	97200	178	97400	179	103200	180	104	0	181	105	0	182	106100	183	106200	184	106300			
185	106400	186	107100	187	107200	188	107300	189	107400	190	108	0	191	109100	192	109200				
193	109300	194	109400	195	110	0	196	111100	197	111400	198	118200	199	119	0	200	120100			
201	120200	202	120300	203	120400	204	121100	205	121200	206	121300	207	121400	208	122100					
209	122200	210	122300	211	122400	212	123100	213	123200	214	123300	215	123400	216	124100					
217	124200	218	125100	219	133100	220	133200	221	133300	222	134100	223	134200	224	134300					
225	134400	226	135	0	227	136100	228	136200	229	136300	230	136400	231	137	0	232	148	0		
233	149	0	234	150100	235	150200	236	150300	237	150400	238	151100	239	151200	240	151300				
241	151400	242	152300	243	152400	244	161200	245	162	0	246	163	0	247	164	0	248	165100		
249	165200	250	165300	251	165400	252	166	0	253	167100	254	167300	255	167400	256	177	0			
257	178	0	258	179100	259	179200	260	179300	261	179400	262	180	0	263	181	0	264	191	0	
265	192	0	266	193	0	267	194	0	268	195100	269	195200	270	195400	271	205	0	272	206100	
273	206200	274	206300	275	206400	276	207	0	277	208	0	278	218200	279	218300	280	219100			
281	219200	282	219300	283	219400	284	220	0	285	221	0	286	222	0	287	233	0	288	234	0
289	235	0	290	236	0	291	248200	292	248300	293	249	0	294	250	0	295	262200	296	262300	
297	263	0	298	264100	299	264400	300	276200	301	277100	302	277200	303	277300	0	0	0			

Le Commandant J. Laborde (1), alors Chef du Service Géographique de Madagascar a réalisé et mis en service en 1936 pour la géodésie et la cartographie de cette île un système de projection *conforme* et réduisant *au minimum l'altération linéaire* pour la direction principale du champ envisagé, lequel est oblong, long de 1600 km, large de 600 environ, et dirigé S.S.O. - N.N.E.

Cette projection s'apparente à une projection de Mercator oblique, dont le champ, sur une sphère, serait axé sur le grand cercle de contact, non pas en son vertex, mais le long d'une portion oblique de ce grand cercle.

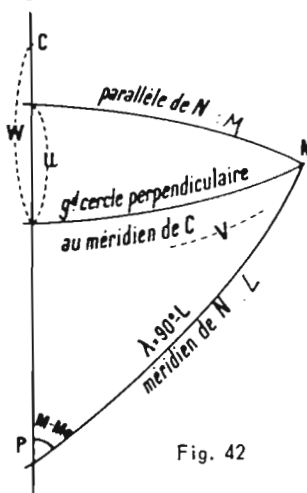


Fig. 42

Comme la Doppelprojektion de Gauss celle de Laborde se calcule en deux temps : 1°) projection conforme de l'ellipsoïde sur une sphère, 2°) projection conforme de cette sphère sur le plan.

Une définition précise de ce système sortirait du cadre de cet ouvrage (2). Nous nous bornerons à donner une description schématique du deuxième temps : projection conforme de la sphère sur le plan.

Soient, dans la figure ci-contre qui représente une portion de cette surface sphérique, P le pôle, C le centre de projection, N un point quelconque (L, M), le méridien et le parallèle de N , enfin le grand cercle abaissé de N perpendiculairement au méridien de C .

Soient L_0 et M_0 la latitude et la longitude de C .

On a d'abord, entre les coordonnées géographiques L, M, L_0, M_0 , et des coordonnées sphériques auxiliaires (arcs u, v, w), les relations ci-après :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin v = \cos L \cdot \sin (M - M_0) \\ \sin u = \sin L \cdot \operatorname{tg} \frac{(M - M_0)}{2} \cdot \operatorname{tg} v \\ w = (L - L_0) + u \end{array} \right.$$

On passe de u, v, w aux coordonnées de Mercator transverse sur la sphère, X, Y par les relations :

$$X = w = (L - L_0) + u$$

$$Y = \operatorname{Log} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{v}{2} \right)$$

Enfin on introduit l'angle θ , azimut, au centre de projection, du grand cercle de contact, au moyen des facteurs

$$A = \frac{1 + 2 \cos 2 \theta}{12}$$

$$B = \frac{\sin 2 \theta}{12}$$

et l'on calcule les coordonnées planes x et y au moyen des relations :

$$x = X + AX^3 - 3BX^2Y - 3AXY^2 + BY^3$$

$$y = Y + BX^3 - 3AX^2Y - 3BXY^2 - AY^3$$

(1) Actuellement Général du cadre de réserve.

(2) Se reporter au *Traité des projections, etc.* par Driencourt et Laborde. Fasc. 4.

On a adopté pour Madagascar :

$$L_0 = 21^{\text{Gr}} \text{ Sud}$$

$$M_0 = 49^{\text{Gr}} \text{ Est Paris}$$

$$\theta = 21^{\text{Gr}}$$

On apporte une réduction d'ensemble aux dimensions du système en les multipliant par 0,9995. L'échelle a ainsi les valeurs extrêmes :

0,9995 sur l'axe longitudinal de l'île

1,0006 sur la côte Est

1,0007 sur la côte Ouest

Les lignes d'égale échelle sont des paraboles (de faible courbure), d'où la qualification de parabolique qui convient à cette projection.

Utilisation

1°) *Géodésique* : Calcul de la triangulation de Madagascar depuis 1926.

2°) *Cartographique* : toute la cartographie de cette île depuis 1928 : échelles du 50.000^e, du 100.000^e, du 200.000^e, du 500.000^e et du 1.000.000^e.

PROJECTION DE MERCATOR TRANSVERSE
ou PROJECTION CYLINDRIQUE CONFORME DE LAMBERT
ou PROJECTION DE GAUSS

En anglais : Transverse Mercator Projection, or Transverse Cylindrical Orthomorphic Projection.

En allemand : Querachsiger winkeltreuer Zylinderentwurf ou (sur l'ellipsoïde) : Gauss'Hannoversche Projektion et Gauss-Krüger Projektion.

Remonte à Lambert (1772). Étudiée ensuite par Laplace, Gauss, Schreiber, Krüger, Laborde, Tardi, Boaga, etc.

Définition et Description

Graphique n° 7

C'est l'aspect transverse de la projection de Mercator, le méridien central jouant le rôle de l'équateur.

Soit PEP' ce méridien central, π, π' ses pôles, A un point de coordonnées L et M . Appelons ses coordonnées «transverses» L_T et M_T

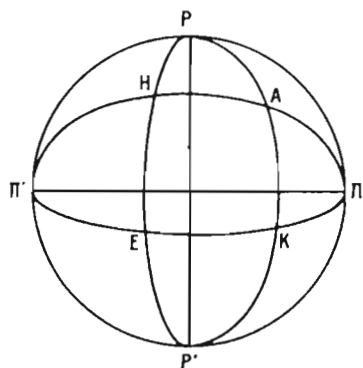


Fig. 41

$$L = \widehat{KA}$$

$$M = \widehat{EK}$$

$$L_T = \widehat{HA}$$

$$M_T = \widehat{PH}$$

Nous savons que, sur la sphère

$$\sin L_T = \cos L \cdot \frac{\sin M}{\cos M}$$

$$\operatorname{tg} M_T = \cotg L \cdot \frac{\cos M}{\sin M}$$

Appliquant à L_T et M_T les relations qui définissent la projection de Mercator et permutant les x et les y on a, sur la sphère, x et y en radians :

$$y = M_T$$

$$x = \operatorname{Log} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{L_T}{2} \right)$$

d'où, en fonction de L et de M :

$$x = \frac{1}{2} \operatorname{Log} \frac{1 + \cos L \sin M}{1 - \cos L \sin M}$$

$$\operatorname{tg} y = \operatorname{tg} L \cdot \sec M$$

L'équateur et le méridien central sont représentés par deux droites orthogonales, tous les autres méridiens et parallèles par deux familles de courbes transcendentes, orthogonales entre elles.

Le planisphère serait un rectangle de largeur infinie et de hauteur égale à 2π . Les pôles π et π' du méridien central seraient rejetés à l'infini et représentés par les bords gauche et droit du planisphère. En fait on n'utilise cette carte que sur d'assez faibles développements en longitude.

Propriétés

La projection est conforme.

L'échelle locale est donc constante autour d'un point : sa valeur sur la sphère, dont une table figure plus loin, est, en fonction des coordonnées géographiques :

$$h = k = a : b = \frac{1}{\sqrt{1 - \cos^2 L \cdot \sin^2 M}}$$

Si l'on veut l'obtenir graphiquement, il est très simple de superposer à la projection transverse une projection directe de Mercator de même échelle centrale qu'on fait tourner de 90°, et dont les parallèles figurent alors, sur la projection transverse, les lignes d'égalité échelle, parallèles à l'axe des y . L'échelle n'est ainsi fonction que de x . Elle a pour valeur (suffisamment approchée) :

$$1 + \frac{x^2}{2}$$

Utilisation

1°) En géodésie.

Ce système a servi au calcul d'un grand nombre de triangulations et par suite à l'établissement des cartes à grande échelle basées sur ces triangulations.

Comme la surface de référence est alors un ellipsoïde, les projections adoptées varient d'abord avec les éléments de celui-ci. Mais leurs différences tiennent surtout aux principes admis pour conduire les calculs. On distingue ainsi deux grandes catégories de projections de Mercator transverses :

- dans l'une on opère une *représentation directe de l'ellipsoïde sur le plan*, en s'imposant généralement de conserver les longueurs le long du méridien central;
- dans l'autre, intitulée *Doppelprojektion*, on opère en deux temps :

représentation conforme de l'ellipsoïde sur une sphère de rayon approprié,
représentation conforme de la sphère sur le plan, telle qu'elle a été définie plus haut.

Les altérations propres à ces deux catégories diffèrent sensiblement : la première permet théoriquement une extension indéfinie dans le sens Nord-Sud, par contre on doit limiter l'amplitude des fuseaux plus que pour la seconde; celle-ci, qui ne conserve pas les longueurs le long du méridien central, a un intérêt plus local; elle convient à un fuseau moins haut mais plus large.

La géodésie et la cartographie ayant pris récemment un caractère international, la Doppelprojektion cède de plus en plus le pas à la représentation directe qui permet d'habiller le globe avec des champs identiques, axés sur l'équateur, constituant ainsi la seule solution vraiment générale du problème.

A. Représentation directe de l'ellipsoïde sur le plan.

Etudiée par *Gauss*, dont elle porte le nom en Allemagne et dans de nombreux pays, cette projection a été mise en pratique par *Schreiber* pour la triangulation du *Hanovre* (1866) : d'où la désignation de *Gauss'Hannoversche Projektion* qu'on lui donne souvent. *Krüger* a établi des formules pratiques pour le *calcul logarithmique* des coordonnées planes; elles ont été appliquées d'abord (en 1912) à la triangulation prussienne et adoptées par de nombreux états soumis à l'influence culturelle allemande (pays scandinaves et slaves, Turquie) ainsi que par la Grande-Bretagne en 1935. Voici les relations qui définissent le système de *Gauss-Krüger* :

Soit un point (L, M) ; soit X la distance de ce point au méridien central, comptée sur la ligne géodésique perpendiculaire à ce méridien (1). Soient γ la convergence des méridiens, B la longueur d'ellipse méridienne comprise entre l'équateur et le point considéré, N la grande normale pour ce point

(1) Dans les pays qui emploient la projection de Gauss, on prend l'axe des x parallèlement au méridien central. Par souci d'homogénéité nous l'avons pris dans cet ouvrage perpendiculaire au méridien central.

(on tire B et N , en fonction de L , des tables de l'ellipsoïde, qui est celui de Bessel pour les Allemands et celui d'Airy pour les Anglais).

On a d'abord :

$$\log \sin X = \log \sin M \cos L + v_1$$

$$\log \operatorname{tg} \gamma = \log \operatorname{tg} M \sin L + v_2$$

où v_1 et v_2 sont de petits appoints logarithmiques faisant intervenir L , M et les dimensions de l'ellipsoïde, et s'annulant avec M (1). On les obtient par interpolation dans des tables à double entrée, opération assez laborieuse.

On passe ensuite aux coordonnées planes, x et y , par les relations :

$$\log x = \log N \sin X + \frac{\mu}{3} \sin^2 X + \frac{13}{90} \mu \sin^4 X$$

$$\log(y - B) = \log 2 N \operatorname{tg} \frac{X}{2} \operatorname{tg} \frac{Y}{2} - v_3$$

(v_3 est un appoint logarithmique (1) de même nature que v_1 et v_2 ; $\mu = \log e = 0,43429$; les logarithmes sont décimaux).

L'emploi de ce système est devenu obligatoire en Allemagne en 1923; il comporte des fuseaux de 3° d'amplitude (pour obvier à un changement trop fréquent de fuseau, gênant dans les opérations militaires, l'armée allemande a ajouté à ce système, pendant la guerre de 1939-45, un système analogue dont les fuseaux avaient une amplitude double). L'Autriche, l'U.R.S.S. (2), la Finlande, la Bulgarie, les Etats scandinaves, la Grande-Bretagne (3) (en 1935) ont adopté la projection de Gauss-Krüger.

Vers 1935 les U.S.A., pour les travaux civils des Etats confédérés, ont adopté, selon la forme de ceux-ci, soit des projections coniques conformes de Lambert, soit des projections de Gauss, mais simplifiées (les développements en série sont arrêtés aux termes inclus du 3^e ordre de petitesse). Nous n'insisterons pas sur ce système.

En 1936 M. Tardi, reprenant les formules de Gauss, a mis au point une solution plus simple que celle de Krüger, appropriée aux nouvelles conditions de travail des calculateurs (emploi de machines) et ne nécessitant que des tables numériques à entrée unique. Les coordonnées x et y s'obtiennent par des développements en série dont on conserve respectivement les termes du 5^e et du 6^e degrés en M .

Selon les notations de M. Tardi (mais en donnant à x et y la même signification que dans le reste de cet ouvrage), on a :

$$y = k_0 B + k_0 \alpha \operatorname{tg} L \left(\frac{\Gamma}{2} + A_3 \Gamma^3 + A_5 \Gamma^5 \right)$$

$$x = k_0 \alpha (1 + A_2 \Gamma^2 + A_4 \Gamma^4)$$

relations dans lesquelles :

B est la longueur d'ellipse méridienne entre l'équateur et la latitude L (prise dans les Tables de l'ellipsoïde);

(1) Ci-dessous la valeur de ces termes :

$$v_1 = \frac{\mu}{2} (e'^2 \cos^2 L) \sin^2 M \cos^2 L$$

$$v_2 = (6 + 4 e'^2 \cos^2 L) v_1$$

$$v_3 = \frac{1}{2} (v_2 - v_1)$$

dans lesquels :

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

(2) avec des fuseaux de 6° d'amplitude.

(3) avec un seul fuseau de 6° d'amplitude, méridien central 2° Ouest Greenwich.

α est l'arc de parallèle de latitude L pour une différence de longitude W (pris également dans les mêmes Tables);

$l' = M$ (radians) $\times \cos L$.

k_0 est le coefficient de réduction d'échelle qui permet de réduire à peu près de moitié en valeur absolue les plus grandes altérations linéaires.

(M. Tardi proposait 0,9996, valeur adoptée depuis pour le système U.T.M.).

Les coefficients A , mis en Tables, dépendent de L et de l'excentricité de l'ellipsoïde :

$$A_2 = \frac{V^2}{6} - \frac{\text{tg}^2 L}{6}$$

$$A_3 = \left(\frac{V^2}{24} + \frac{V^4}{6} \right) - \frac{\text{tg}^2 L}{24}$$

$$A_4 = \frac{V^2 (14 - 58 \text{tg}^2 L) + 40 \text{tg}^2 L + \text{tg}^4 L - 9}{120}$$

$$A_5 = \frac{61 - 58 \text{tg}^2 L + \text{tg}^4 L}{720}$$

avec :

$$V^2 = 1 + e'^2 \cos^2 L$$

où

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

Réduites à leurs termes principaux et exprimées en fonction de L , M et N seulement, les relations de M. Tardi peuvent être écrites ainsi (pour simplifier, nous supprimons le coefficient de réduction d'échelle) :

$$y = B + \frac{1}{2} \cdot N \cdot \text{tg} L \cdot \cos^2 L \cdot M^2 + \frac{5 - \text{tg}^2 L}{24} \cdot N \cdot \text{tg} L \cdot \cos^4 L \cdot M^4 + \\ + \frac{61 - 58 \text{tg}^2 L + \text{tg}^4 L}{720} \cdot N \cdot \text{tg} L \cdot \cos^6 L \cdot M^6$$

$$x = N \cdot \cos L \cdot M + N \cdot \frac{1 - \text{tg}^2 L}{6} \cdot \cos^3 L \cdot M^3 + N \cdot \frac{5 - 18 \text{tg}^2 L + \text{tg}^4 L}{120} \cdot \cos^5 L \cdot M^5$$

dans lesquelles M doit être compté en radians.

Cette présentation permet de retrouver les formules de Gauss et de M. Tardi dans celles qui définissent le système U.T.M. (Voir plus loin).

La solution de M. Tardi a été appliquée telle quelle par l'Espagne pour la géodésie et la topographie de la Guinée espagnole.

Vers 1950 les U.S.A. ont repris cette solution en remaniant seulement les formules de façon à permettre une grande mécanisation des calculs : la variable principale n'est plus $M \cdot \cos L$, mais L . Ils en ont fait la base d'un système universel destiné à unifier la *géodésie, la topographie et la cartographie militaires* des puissances occidentales. -C'est le système U.T.M. (Universal Transverse Mercator), en français : M.T.U., qui a été adopté par les U.S.A., la France, l'Italie, le Benelux, etc. Le globe est divisé en 60 fuseaux de 6° d'amplitude dont le premier et le dernier ont comme limite commune l'anti-méridien de Greenwich. Le champ est toutefois limité aux parallèles de 80° Nord et Sud (le système

Universal Polar Stereographic y succède à l'U.T.M.). Le coefficient de réduction d'échelle est de 0,9996. Les 60 fuseaux étant identiques toutes les tables numériques sont faites une fois pour toutes et applicables à tous les fuseaux, d'où l'universalité du système. Les relations qui le définissent sont les suivantes :

$$y = k_0 B + (II) M^2 + (III) M^4 + A_6$$

$$x = k_0 \cdot N \cos L \cdot M + (IV) M^3 + C_5$$

où : M est compté en secondes d'arc

B a la signification donnée plus haut

k_0 a la signification donnée plus haut

$$(II) = k_0 \frac{N \sin L \cos L}{2} \sin^2 1''$$

$$(III) = k_0 (5 - \operatorname{tg}^2 L + 9 e'^2 \cos^2 L + 4 e'^4 \cos^4 L) \frac{N \sin L \cos^3 L}{24} \sin^4 1''$$

$$(IV) = k_0 N \cos L \sin 1''$$

$$(V) = k_0 (1 - \operatorname{tg}^2 L + e'^2 \cos^2 L) \frac{N \cos^3 L}{6} \sin^3 1''$$

$$A_6 = k_0 (61 - 58 \operatorname{tg}^2 L + \operatorname{tg}^4 L + 270 e'^2 \cos^2 L - 330 e'^2 \sin^2 L) \frac{N \sin L \cos^5 L}{720} \cdot M^6 \cdot \sin^6 1''$$

$$C_5 = k_0 (5 - 18 \operatorname{tg}^2 L + \operatorname{tg}^4 L + 14 e'^2 \cos^2 L - 58 e'^2 \sin^2 L) \frac{N \cos^5 L}{120} M^5 \cdot \sin^5 1''$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

tous ces coefficients étant mis en tables.

La projection U.T.M. a réalisé l'unité dans les formules de définition, mais elle doit s'appliquer encore, provisoirement, aux divers ellipsoïdes nationaux :

- Clarke 1866 pour l'Amérique du Nord
- International pour la France, l'Amérique du Sud, le Pacifique
- Everest pour les Indes et l'Indochine
- Clarke 1880 pour l'Afrique.

On trouve d'autres variétés des formules de M. Tardi. L'une d'elles, qui porte le nom de *projection de Gauss-Boaga*, a été adoptée par l'Italie en 1950 pour tous ses travaux officiels civils. Elle se différencie des précédentes en ce que, dans les relations de définition, les termes du 6^e degré sont bloqués avec ceux du 4^e pour x , et les termes du 5^e avec ceux du 3^e pour y . La réduction d'échelle est la même : 0,9996.

B. Doppelprojektion.

Cette représentation conforme faite en deux temps : 1°) ellipsoïde sur une sphère, 2°) sphère sur le plan (qui n'est pas, d'ailleurs, propre à la projection de Gauss), a été imaginée par Schreiber et

appliquée, il y a près d'un siècle, par la Landesaufnahme prussienne. Elle a été utilisée, ensuite, par la Hongrie pour les calculs de la triangulation. Enfin l'I.G.N. l'a employée, de 1947 à 1951 pour les territoires de l'A.O.F. et de l'A.E.F. sous le nom de projection de *Gauss-Laborde*, mais elle y a été remplacée en 1952 par le système M.T.U.

Etant donné que les systèmes du genre «Doppelprojektion» sont en voie de disparition, nous n'en donnerons qu'un aperçu, renvoyant le lecteur désireux de l'étudier aux ouvrages suivants :

- O. Schreiber. Theorie der Projektionsmethode der hannoverschen Landesvermessung. Hannover 1866.
- Tardi et Laclavère. Traité de Géodésie Tome I. Fasc. II.

1^{er} temps. La condition générale qu'on s'impose est de faire correspondre aux méridiens et aux parallèles de l'ellipsoïde ceux de la sphère. Pour cela, ayant adopté pour un parallèle origine une latitude ellipsoïdique L_0 on s'impose :

- a - la proportionnalité des longitudes sur les deux surfaces.
- b - la conservation de la courbure géodésique sur les deux parallèles centraux, par suite l'égalité des apothèmes des cônes tangents aux deux surfaces le long des parallèles origines.

Il reste à fixer le rayon de la sphère.

Deux solutions principales ont été utilisées :

1°) On adopte le rayon de la sphère tangente le long du parallèle origine L_0 . Alors le rayon = N_0 , valeur de la grande normale pour cette latitude, et le coefficient de proportionnalité des longitudes = 1.

2°) On adopte pour la sphère le rayon de courbure moyenne de l'ellipsoïde à la latitude L_0 , c'est-à-dire :

$$R_0 = \sqrt{N_0 \cdot \rho_0}$$

ρ_0 étant la valeur du rayon de courbure du méridien pour L_0 . Quant au coefficient de proportionnalité des longitudes, dont nous ne voulons pas préciser ici la définition, il se trouve être légèrement supérieur à 1.

C'est cette deuxième solution qui a été généralement adoptée. Toutefois L_0 n'est pas toujours explicité. Ainsi, pour le système Gauss-Laborde utilisé à l'I.G.N. de 1947 à 1951, L_0 est tel que

$$R_0 = 0,999 b$$

(b = demi-petit axe de l'ellipsoïde adopté), R_0 étant le rayon adopté pour la sphère.

2^{ème} temps. Représentation conforme de la sphère sur le plan. Le problème est simple et a été défini au début de l'étude de la projection de Mercator transverse.

Altérations de la projection de Gauss (représentation directe).

Les résultats utiles au géodésien sont les suivants :

Echelle linéaire en un point (rapport de longueurs)

$$r = 1 + \frac{x^2}{2 R_0^2} + \frac{x^4}{24 R_0^4}$$

Réduction angulaire à la projection en un point A : (en secondes)

$$dV = \frac{-(y_B - y_A)}{2 R_0^2 \sin 1''} x_{1/3} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{3 R_0^2}\right)$$

$x_{1/3}$ étant l' x du point situé au tiers de AB à partir de A .

Altération d'une longueur finie (ds sur l'ellipsoïde, ds' dans le plan)

$$\frac{ds'}{ds} = 1 + \frac{x_A^2 + x_B^2 + x_A x_B}{6 R_0^2}$$

Convergence des méridiens. On a :

$$\text{tg } \gamma = - \sin L \cdot \text{tg } M$$

2°) En Cartographie

La projection de Mercator transverse ou de Gauss est actuellement la plus employée dans le monde, du moins en ce qui concerne la cartographie aux grandes échelles, appuyée sur les triangulations et par conséquent relative en général à l'ellipsoïde.

Une remarque préalable s'impose cependant : c'est que si les cartes récentes sont bien dressées, en général, dans le système de Mercator transverse, la plupart des cartes anciennes ou dérivées des cartes anciennes, qui pour des raisons d'unification militaire, doivent correspondre à ce système, conservent leur projection originelle, mais sont revêtues d'un quadrillage relatif à celle de Mercator transverse.

C'est en particulier le cas des séries militaires des cartes de France.

Toutes les cartes à grande échelle de la Grande-Bretagne (de 1 : 1250 à 1 : 253.440) sont depuis 1935 établies dans ce système. Toutes celles de l'Allemagne, du Portugal et de l'Italie devront l'être progressivement.

Il en est de même pour les cartes récentes des U.S.A. (25.000, 50.000, 100.000, 250.000), de l'U.R.S.S. (25.000, 50.000, 100.000), pour la carte au 200.000^e de l'Italie, pour la cartographie de la Suède, de la Norvège, de la Finlande, de la Turquie, de la Bulgarie, de l'Argentine, du Brésil, etc.

Parmi les cartes d'Outre-Mer éditées par l'I.G.N. citons encore : celles de l'A.E.F. - Cameroun au 100.000^e, de l'A.O.F. au 200.000^e (depuis 1951), de la Guyane (esquisse planimétrique au 100.000^e, carte au 500.000^e), de la Côte des Somalis au 100.000^e, de la Réunion et de la Guadeloupe au 20.000^e et au 50.000^e, des Nouvelles-Hébrides au 500.000^e.

Dans les Dominions britanniques on relève aussi un fréquent emploi de cette projection, notamment pour l'Australie (25.000, 63.360, 253.440), l'Afrique du Sud (25.000, 50.000, 100.000, 250.000), le Canada (Cartes du Département des Mines), etc.

Signalons enfin, à titre rétrospectif, que le Service du Cadastre français avait adopté, de 1898 à 1938 environ un système de 5 fuseaux de 2 grades d'amplitude pour la France.

La cartographie aux petites échelles fait également un assez grand emploi de cette projection.

Citons seulement la belle carte d'Europe et d'Afrique au 5.000.000^e éditée par l'I.G.N.

On trouve la projection dans maints atlas par exemple la carte d'Europe dans le Stieler's Handatlas, la carte de la Russie, celle du bassin du Nil dans le Debes' Handatlas.

3°) En navigation

Les lignes de navigation, aérienne ou maritime, sont beaucoup plus fréquemment orientées Est-Ouest que Nord-Sud. Aussi le système de Mercator transverse est-il peu employé en navigation. Citons seulement le cas des cartes aéronautiques du Canada.

On a vu, à propos de l'emploi de la projection de Mercator en navigation, que les calques Favé étaient des canevas de la projection de Mercator transverse.

TABLE DE LA PROJECTION

		x						y								
L	M=0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	L	M=0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
0°	0	0,2648	0,5493	0,8814	1,3170	2,0276	∞	0°	0	0	0	0	0	0	0	Indéterminé
15°	0	0,2554	0,5268	0,8347	1,2094	1,6811	2,0276	15°	0,2618	0,2706	0,3000	0,3622	0,4920	0,8027	1,5708	
30°	0	0,2280	0,4636	0,7127	0,9730	1,2094	1,3170	30°	0,5236	0,5387	0,5880	0,6847	0,8571	1,1494	1,5708	
45°	0	0,1851	0,3695	0,5493	0,7127	0,8347	0,8814	45°	0,7854	0,8027	0,8571	0,9553	1,1072	1,3175	1,5708	
60°	0	0,1301	0,2554	0,3695	0,4636	0,5268	0,5493	60°	1,0472	1,0621	1,1072	1,1832	1,2898	1,4225	1,5708	
75°	0	0,0671	0,1301	0,1851	0,2280	0,2554	0,2648	75°	1,3090	1,3175	1,3428	1,3835	1,4376	1,5016	1,5708	
90°	0	0	0	0	0	0	0	90°	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	

La projection étant symétrique par rapport à ses axes, on n'en donne ici que la huitième partie.

On trouvera une table de projection à l'intervalle de 10° dans le *Traité de Driencourt et Laborde*, II, page 109.

TABLE DONNANT L'ECHELLE EN FONCTION DE L ET DE M

L	M=0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0°	1	1,035	1,155	1,414	2,000	3,864	∞
15°	1	1,033	1,142	1,369	1,825	2,779	3,864
30°	1	1,026	1,109	1,265	1,512	1,825	2,000
45°	1	1,017	1,069	1,155	1,265	1,369	1,414
60°	1	1,008	1,033	1,069	1,109	1,142	1,155
75°	1	1,002	1,008	1,017	1,026	1,033	1,035
90°	1	1	1	1	1	1	1

**TABLE DONNANT L'ECHELLE EN FONCTION DE X
POUR LES PROJECTIONS DE GAUSS-KRUGER (sans réduction d'échelle)
ET U.T.M. (facteur de réduction : 0,9996)**

x	Echelle (Gauss-Krüger)	Echelle (U.T.M.)
0 km	1,00000	0,99960
50 km	1,00004	0,99964
100 km	1,00012	0,99972
150 km	1,00028	0,99988
180 km	1,00040	1,00000
200 km	1,00049	1,00009
250 km	1,00077	1,00037
300 km	1,00111	1,00071
350 km	1,00151	1,00111

ANNEXE 7

Calcul de l'Evapotranspiration par PENMAN:

$$E.T.P. = \frac{A \times H + (0,27E)}{A + 0,27}$$

tel que:

$$E = 0,35(E_s - E_d)(1 + 0,526U)$$

$$H = R(1 - a)(0,18 + 0,55S) - B(0,56 - 0,092 E_d^{0,5})(0,10 + 0,90S)$$

A: pente de la courbe de tension de vapeur saturante de l'air par rapport à la température, soit

$$A = e^{0,0491277T - 1,46809}$$

a: albédo, pourcentage estimé de réflexion de la surface; (sol nu: 0,05 et végétation: 0,20)

B: coefficient dépendant de la température dont la valeur est:

$$B = \sigma * T^4$$

avec:

σ : constante de S. Boltzman = $2,01 \cdot 10^9$ mm/j
 T: température absolue = (T°C + 237)

R: moyenne mensuelle du rayonnement solaire journalier (mm d'eau évaporée/j)

S: ratio de la durée d'ensoleillement mesurée sur la durée possible d'ensoleillement journalier en heures.

U: vitesse moyenne journalière du vent à 2m au dessus du sol.

E: évaporation journalière en mm

E_d: tension de vapeur saturante de l'air à la température du point de rosée, valeur égale à E_a multiplié par l'humidité relative de l'air.

E_a: tension de vapeur saturante de l'air à la température moyenne (mm de Hg)

avec

$$E_a = \exp. 0,057467T + 1,6988$$

Température Maximale

ANNEE : 1971 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	27.8	23.3	26.9	24.3	22.4	19.0	20.7	17.9	18.9	25.2	28.7	27.4
2	25.4	24.9	25.8	23.3	21.7	20.4	18.9	20.3	18.3	26.8	29.8	28.0
3	23.3	25.8	26.3	24.8	23.3	22.9	19.1	19.5	19.4	23.1	30.9	28.0
4	25.3	25.5	24.9	25.6	23.6	23.0	21.3	21.2	21.7	23.2	27.4	27.0
5	23.9	27.6	26.6	24.5	23.3	20.4	20.8	22.3	21.9	27.4	28.1	25.8
6	25.6	27.7	25.6	24.0	22.8	19.6	18.7	22.6	21.3	25.9	27.6	26.9
7	26.5	28.0	26.0	23.9	23.8	18.0	19.0	20.4	22.3	23.9	27.6	26.5
8	26.7	27.1	25.8	24.7	22.5	18.3	18.5	17.6	24.8	25.4	28.4	25.3
9	27.0	26.4	25.0	27.5	22.4	18.5	19.7	17.3	25.7	25.0	27.4	26.6
10	25.8	29.1	24.3	27.6	20.6	18.9	19.2	19.8	23.2	23.1	26.4	27.0
11	28.2	26.5	24.7	28.1	20.3	18.4	20.2	20.6	21.4	21.0	27.6	27.3
12	26.8	24.9	26.4	25.3	22.4	19.9	19.9	20.3	19.6	21.9	25.6	27.4
13	26.6	20.3	24.2	24.7	23.4	19.9	20.0	22.0	22.2	20.9	27.9	28.6
14	26.1	24.4	24.3	24.8	21.8	21.9	21.5	21.0	22.8	20.7	28.6	28.7
15	25.4	25.3	23.4	27.7	22.2	23.2	19.8	20.9	20.4	22.8	25.4	27.4
16	26.0	24.8	24.1	27.2	24.1	24.3	19.6	19.4	22.5	28.1	25.0	28.4
17	25.5	23.7	25.0	28.3	25.1	19.5	20.4	18.4	25.7	29.2	25.5	29.4
18	25.0	23.2	25.8	28.0	22.1	18.9	22.6	18.7	20.5	26.4	25.5	22.6
19	23.9	26.3	22.9	24.1	24.9	19.4	19.8	18.9	20.5	21.8	27.7	22.9
20	22.8	27.6	24.2	24.0	23.2	22.4	18.6	18.2	21.3	21.7	26.2	25.0
21	18.6	26.0	24.6	25.3	24.7	20.8	19.6	18.1	21.7	23.1	26.0	25.3
22	22.6	26.9	25.8	23.5	23.5	20.8	20.6	18.5	24.4	22.8	26.2	26.0
23	18.6	28.0	25.3	23.7	20.1	19.6	21.9	18.1	25.0	23.5	25.7	21.9
24	26.0	26.6	25.9	22.5	25.0	20.0	21.2	18.4	26.7	24.5	24.0	13.1
25	26.2	27.6	26.0	21.1	25.1	18.1	19.4	19.7	21.0	23.3	24.8	24.7
26	25.2	26.5	25.2	25.6	23.9	19.4	19.9	25.3	19.9	22.6	24.0	26.8
27	24.2	27.8	24.0	26.2	24.5	21.0	20.2	23.1	22.3	22.9	21.9	27.1
28	21.8	25.4	25.1	26.1	23.1	19.9	19.7	22.4	21.9	24.7	14.2	26.5
29	23.3		24.8	25.9	22.8	21.8	17.8	18.1	21.0	27.1	28.2	26.1
30	21.2		25.0	25.0	21.6	21.3	17.7	18.8	24.8	28.4	27.3	27.0
31	-.1		23.7		21.0		17.5	18.1		27.9		26.4
1	25.7	26.5	25.7	25.0	22.6	19.9	19.6	19.9	21.8	24.9	28.2	26.9
2	25.6	24.7	24.5	26.2	23.0	20.8	20.2	19.8	21.7	23.5	26.5	26.8
3	22.8	26.9	25.0	24.5	23.2	20.3	19.6	19.9	22.9	24.6	24.2	24.6
Moy	24.7	26.0	25.1	25.2	22.9	20.3	19.8	19.9	22.1	24.3	26.3	26.0

MOYENNE ANNUELLE : - 23.56

ANNEXE 8

Température Maximale

ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	25.5	25.1	27.7	26.1	28.9	23.1	22.9	21.5	27.4	25.8	22.0	26.4
2	25.0	25.9	23.6	25.0	28.2	21.3	21.4	23.2	26.9	24.3	24.8	26.9
3	25.6	24.9	25.4	25.1	26.1	19.9	18.8	23.6	24.2	24.1	24.7	27.2
4	26.6	23.9	25.7	25.0	23.9	19.8	17.9	21.1	23.9	26.6	25.1	27.4
5	24.1	23.5	25.6	26.4	22.8	22.9	17.1	22.7	26.9	24.2	26.4	28.2
6	24.3	24.9	23.2	25.6	23.3	23.9	20.1	22.7	21.4	27.7	28.9	26.9
7	28.3	25.9	20.2	23.3	25.2	24.3	21.2	23.9	21.6	28.7	28.1	25.7
8	29.1	24.6	21.7	24.4	23.9	23.2	20.1	21.0	25.9	28.8	27.7	29.4
9	27.3	25.6	18.0	24.7	19.6	20.7	21.6	19.9	24.7	23.0	28.8	29.0
10	25.9	25.2	19.2	24.2	25.7	22.4	22.9	20.1	20.5	26.2	25.6	26.7
11	25.3	26.9	24.0	24.3	23.9	22.5	24.0	20.0	19.5	26.4	26.0	27.4
12	24.9	28.0	22.6	23.5	24.7	20.9	24.3	21.1	19.8	28.2	23.8	27.7
13	24.5	26.9	24.0	21.3	23.7	21.2	22.0	21.3	19.8	25.1	25.3	29.5
14	24.3	19.2	24.2	23.3	23.5	20.5	20.2	22.2	21.7	22.5	25.5	29.7
15	24.7	22.3	25.6	24.4	23.5	21.1	18.6	23.5	23.0	21.7	27.0	26.6
16	26.5	25.5	27.1	27.6	26.2	21.3	19.5	24.2	20.4	24.4	28.4	26.4
17	28.0	25.7	26.6	27.9	23.4	19.4	19.8	23.9	19.2	23.6	29.6	26.8
18	28.3	25.6	26.1	24.7	22.9	21.4	19.8	22.9	19.0	21.5	26.8	26.1
19	27.1	21.9	25.9	24.3	25.0	21.3	21.6	22.6	20.3	20.0	24.1	24.9
20	24.6	25.5	24.6	26.3	24.4	21.8	19.5	21.9	21.1	23.3	25.5	25.4
21	24.3	22.6	22.6	25.7	24.3	22.7	20.7	21.8	22.1	24.5	23.1	25.0
22	25.1	24.5	24.1	26.1	21.7	22.7	22.3	23.2	22.4	24.4	25.0	23.8
23	26.6	23.3	23.5	26.1	24.3	22.6	20.0	21.9	24.0	24.9	26.2	22.5
24	27.3	25.3	25.7	26.2	21.3	22.4	20.0	23.7	25.1	27.5	25.6	23.3
25	27.6	25.2	24.6	26.5	20.2	22.7	20.2	24.3	27.0	28.6	25.8	25.5
26	26.4	26.4	25.5	26.6	21.6	19.8	18.9	25.6	28.8	26.2	25.6	24.3
27	27.0	27.3	24.0	25.1	22.6	19.2	20.8	23.7	28.9	24.5	26.7	26.0
28	27.4	27.4	23.1	27.1	22.2	18.2	22.6	25.0	29.5	23.2	27.2	22.6
29	26.1		24.1	27.6	22.9	22.6	20.4	26.7	28.8	25.0	25.7	23.0
30	25.7		26.1	28.0	21.8	22.6	23.5	25.7	23.7	24.9	25.1	23.8
31	26.5		27.3		22.7		22.2	26.1		21.7		26.4
1	26.2	25.0	23.0	25.0	24.8	22.1	20.4	22.0	24.3	25.9	26.2	27.4
2	25.8	24.8	25.1	24.8	24.1	21.1	20.9	22.4	20.4	23.7	26.2	27.0
3	26.4	25.3	24.6	26.5	22.3	21.5	21.1	24.3	26.0	25.0	25.6	24.2
Moy	26.1	25.0	24.2	25.4	23.7	21.6	20.8	22.9	23.6	24.9	26.0	26.1

MOYENNE ANNUELLE : 24.20

Température Maximale

ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	24.8	26.0	24.6	26.0	22.6	23.0	22.7	17.4	25.0	21.8	25.0	26.1
2	23.2	25.8	24.1	23.8	25.2	22.6	21.8	19.3	26.7	24.0	28.7	27.1
3	24.6	25.3	27.6	21.2	27.5	20.1	21.9	20.2	22.6	27.0	28.6	25.0
4	25.0	23.2	23.9	22.1	27.3	22.0	21.2	22.0	19.7	27.3	27.9	21.9
5	22.6	24.8	26.8	23.2	24.5	20.2	20.2	20.7	19.2	28.9	28.5	23.2
6	21.2	26.5	27.9	26.0	21.7	18.2	20.2	20.2	22.2	30.5	29.5	23.9
7	24.1	25.0	25.8	26.6	22.3	19.0	20.3	20.2	23.0	28.2	26.2	25.6
8	25.7	24.1	26.2	26.9	21.1	18.8	20.7	20.9	25.8	27.0	25.2	28.9
9	27.6	25.7	26.6	28.3	22.0	19.3	22.8	19.1	26.0	24.8	25.2	28.6
10	27.8	27.8	26.2	26.8	25.7	22.7	19.8	19.0	23.5	23.2	27.4	28.4
11	25.3	27.4	26.6	26.2	25.6	22.7	18.7	18.5	22.0	25.9	28.4	26.2
12	24.9	28.9	26.9	27.2	25.8	17.2	19.2	23.0	21.3	25.8	28.6	25.2
13	23.2	27.0	26.3	26.4	23.0	16.8	20.0	21.6	23.4	25.5	27.0	25.9
14	26.8	27.2	25.3	25.9	25.6	17.2	20.8	18.9	26.2	25.2	25.7	26.4
15	26.2	25.3	26.2	27.5	25.9	17.8	20.4	17.8	25.9	27.0	24.9	26.0
16	25.5	23.3	26.0	24.8	25.9	18.9	19.9	18.3	27.7	26.7	26.9	25.1
17	25.5	22.0	24.7	24.7	26.2	19.7	18.3	20.0	26.3	22.9	27.0	25.5
18	27.1	21.2	26.3	22.1	25.8	19.7	18.2	20.2	23.1	22.3	28.0	26.2
19	25.6	22.0	26.9	21.3	25.0	20.8	19.0	17.2	21.1	23.0	28.2	27.0
20	22.8	24.8	26.6	23.8	23.9	23.1	20.0	19.0	21.0	23.0	25.9	25.4
21	25.1	23.8	26.3	22.9	25.9	22.7	18.9	19.4	22.5	24.8	26.3	22.4
22	24.7	22.8	26.1	22.7	24.9	21.1	19.9	21.9	24.0	23.8	26.8	21.8
23	25.1	26.9	25.3	22.0	21.4	19.3	18.7	16.4	25.4	23.0	27.8	23.0
24	25.0	27.0	23.5	21.9	21.0	20.7	19.1	17.2	29.0	21.2	25.2	22.9
25	26.0	25.0	25.2	20.9	22.1	20.1	18.8	17.9	26.5	21.2	27.2	25.6
26	28.0	26.8	24.6	20.0	21.9	19.7	19.2	17.9	26.9	21.7	26.9	26.8
27	24.4	24.4	21.2	21.0	23.2	20.8	19.5	19.1	25.4	24.0	25.5	27.3
28	23.6	23.5	21.2	20.8	21.6	21.9	20.3	19.0	24.0	26.8	26.8	26.9
29	21.2		21.9	20.4	22.0	23.1	23.3	22.8	21.9	29.7	25.8	24.2
30	20.0		22.8	22.2	19.8	23.2	21.4	24.7	21.0	27.0	24.4	22.4
31	22.9		24.8		20.7		18.3	24.3		27.8		20.9
1	24.7	25.4	26.0	25.1	24.0	20.6	21.2	19.9	23.4	26.3	27.2	25.9
2	25.3	24.9	26.2	25.0	25.3	19.4	19.5	19.5	23.8	24.7	27.1	25.9
3	24.2	25.0	23.9	21.5	22.2	21.3	19.8	20.1	24.7	24.6	26.3	24.0
Moy	24.7	25.1	25.3	23.9	23.8	20.4	20.1	19.8	23.9	25.2	26.9	25.2

MOYENNE ANNUELLE : 23.69

Température Maximale

ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	23.7	25.6	25.2	26.5	21.1	21.6	22.2	19.3	24.0	27.8	24.8	29.4
2	26.4	24.4	24.7	23.9	23.6	21.0	21.7	17.7	24.0	26.4	23.6	27.9
3	25.2	24.2	24.5	27.4	24.7	18.8	19.8	17.1	24.0	26.4	24.0	27.0
4	26.1	24.1	26.1	24.3	23.8	20.9	20.5	18.0	26.2	22.3	25.9	25.1
5	25.3	24.2	26.5	24.8	24.7	22.2	19.4	19.5	20.9	22.7	25.2	24.8
6	24.2	20.9	24.5	27.3	25.6	16.3	18.4	19.8	16.8	23.4	28.2	21.7
7	24.9	22.7	26.0	24.8	23.1	19.3	19.2	25.1	23.2	27.2	24.7	25.2
8	24.0	21.1	26.1	25.0	23.5	18.4	18.9	21.9	23.8	25.7	25.4	27.3
9	24.0	18.5	26.2	25.9	22.9	23.8	18.8	19.9	21.0	26.4	28.8	27.4
10	25.3	25.1	26.3	25.7	25.7	22.8	17.0	18.4	23.6	26.1	30.2	23.3
11	24.2	23.0	26.5	24.9	21.7	22.6	18.4	23.0	24.2	26.4	29.5	25.8
12	24.9	22.0	24.9	24.7	22.6	23.3	18.9	24.0	21.5	26.2	29.0	27.7
13	24.5	26.5	25.6	22.8	22.0	22.8	19.3	20.3	19.2	26.3	28.9	28.4
14	24.8	27.4	24.8	22.7	23.2	21.7	18.5	19.4	18.2	21.6	29.2	27.1
15	22.7	26.2	24.6	23.6	22.2	18.5	18.7	17.2	18.3	22.8	26.2	26.1
16	25.0	26.1	24.3	23.9	22.9	18.2	18.1	17.0	18.1	23.2	24.0	26.3
17	25.9	27.0	23.8	23.8	24.1	19.7	18.6	18.3	20.0	22.4	22.4	25.4
18	26.0	28.2	24.0	23.4	24.0	20.2	19.4	16.6	19.5	22.9	24.3	24.0
19	26.3	25.2	22.8	24.2	22.2	18.1	22.2	16.7	20.3	24.2	24.5	25.0
20	20.7	25.9	22.1	23.3	24.8	18.1	21.8	18.0	21.6	27.8	25.2	24.6
21	24.4	26.1	20.9	20.6	24.0	19.6	22.0	20.4	22.0	28.2	26.3	26.0
22	26.1	24.5	22.2	24.2	23.9	17.7	20.4	18.7	20.3	26.8	26.2	25.7
23	25.1	25.2	22.3	25.2	22.9	15.6	22.8	20.2	23.7	24.0	24.6	25.6
24	26.2	24.2	23.8	26.2	21.5	16.2	23.4	21.4	23.4	21.3	25.7	26.4
25	26.0	23.8	22.3	25.9	21.1	18.8	18.7	25.1	22.0	22.2	26.1	26.5
26	23.8	23.5	21.8	26.4	21.3	19.3	20.0	24.1	25.5	21.2	29.3	26.2
27	23.9	24.7	22.0	24.5	23.7	17.6	18.0	22.8	22.2	21.3	26.9	26.3
28	23.5	23.9	22.6	18.5	23.3	17.7	19.0	25.0	24.5	24.8	27.6	27.8
29	26.2		23.0	21.2	21.1	18.5	19.3	22.3	26.1	24.2	28.9	27.7
30	25.0		25.8	22.6	20.2	20.9	17.4	20.5	26.8	25.8	29.2	26.5
31	24.4		27.4		22.5		18.8	23.9		26.2		22.6
1	24.9	23.1	25.6	25.6	23.9	20.5	19.6	19.7	22.8	25.4	26.1	25.9
2	24.5	25.8	24.3	23.7	23.0	20.3	19.4	19.0	20.1	24.4	26.3	26.0
3	25.0	24.5	23.1	23.5	22.3	18.2	20.0	22.2	23.6	24.2	27.1	26.1
Moy	24.8	24.4	24.3	24.3	23.0	19.7	19.7	20.4	22.2	24.7	26.5	26.0

MOYENNE ANNUELLE : 23.32

Température Minimale

ANNEE : 1971 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	16.5	17.0	14.7	15.0	13.6	6.3	10.6	8.1	10.9	9.7	15.2	15.7
2	16.9	17.0	15.1	15.7	11.6	7.4	10.4	5.8	9.8	12.9	14.2	15.2
3	16.2	16.9	16.3	15.6	13.0	8.8	11.0	8.3	9.8	12.8	13.2	15.9
4	16.8	17.1	16.7	15.5	14.3	10.6	10.6	4.7	10.1	14.8	14.6	16.1
5	16.2	17.9	16.7	15.4	14.9	10.2	7.8	9.7	8.1	13.5	13.6	15.6
6	16.0	17.8	16.5	13.2	12.6	10.3	9.2	4.2	10.7	14.9	13.9	16.5
7	15.1	17.2	17.0	16.0	12.1	9.9	11.3	5.6	9.0	12.4	14.4	16.5
8	15.2	16.0	17.2	16.0	11.8	9.0	11.9	7.0	8.6	13.4	15.7	15.8
9	17.2	16.8	17.5	15.7	11.1	7.3	11.9	7.1	11.9	13.5	14.6	15.2
10	17.9	16.5	15.6	18.1	12.9	9.6	10.0	10.4	12.1	13.4	15.0	15.8
11	16.8	17.1	14.1	17.9	10.0	8.2	9.0	8.1	14.0	13.4	14.2	16.5
12	17.7	16.4	15.6	16.0	13.8	13.0	9.7	9.5	12.7	13.0	15.1	16.9
13	16.8	17.2	15.2	15.1	14.2	12.5	8.9	10.0	13.2	12.9	15.0	17.0
14	17.0	16.0	13.6	16.2	12.9	8.8	7.0	10.3	13.5	9.9	14.2	16.1
15	16.1	16.0	16.0	13.6	13.5	7.9	10.0	10.9	12.5	13.6	15.2	15.5
16	15.9	17.0	15.0	15.2	13.8	9.9	10.0	9.0	9.8	12.6	15.5	15.4
17	14.8	15.9	14.8	15.4	12.2	10.1	10.0	5.7	9.4	13.3	13.9	15.6
18	15.1	17.8	16.4	15.9	13.4	11.8	13.2	6.8	11.0	16.5	14.9	17.7
19	17.0	17.2	16.3	14.5	10.0	11.3	14.0	6.2	11.7	15.0	17.0	17.4
20	15.4	16.6	14.5	13.8	15.0	7.8	12.9	7.9	11.1	14.0	16.2	16.2
21	16.0	16.2	14.7	11.8	13.8	8.8	11.1	9.9	13.0	14.2	15.7	15.7
22	15.1	16.9	16.0	15.1	12.0	7.5	12.6	7.2	11.2	13.0	16.1	16.8
23	16.7	17.0	14.9	13.2	13.9	10.4	11.8	7.4	9.8	9.0	16.5	17.0
24	16.5	16.0	14.9	14.2	13.1	9.5	8.3	7.1	8.6	11.6	15.8	16.9
25	16.1	16.2	14.7	13.0	13.0	10.4	8.3	12.0	13.4	9.2	14.1	17.5
26	17.2	16.9	14.0	12.6	12.7	9.8	5.4	11.0	9.0	10.6	15.2	16.1
27	16.6	14.9	16.9	14.2	12.1	8.2	10.9	12.3	6.5	9.2	13.9	16.6
28	17.4	15.7	14.0	13.7	11.2	11.8	10.4	9.6	8.9	9.8	15.1	16.4
29	16.9		13.8	12.3	9.8	13.1	7.0	11.5	7.5	11.2	13.9	15.3
30	17.9		14.4	11.2	10.8	13.8	10.1	11.2	7.8	13.9	14.1	15.1
31	17.0		14.8		9.0		8.2	8.0		16.2		15.0
1	16.4	17.0	16.3	15.6	12.8	8.9	10.5	7.1	10.1	13.1	14.4	15.8
2	16.3	16.7	15.1	15.4	12.9	10.1	10.5	8.4	11.9	13.4	15.1	16.4
3	16.7	16.2	14.8	13.1	11.9	10.3	9.5	9.7	9.6	11.6	15.0	16.2
Moy	16.5	16.7	15.4	14.7	12.5	9.8	10.1	8.5	10.5	12.7	14.9	16.2

MOYENNE ANNUELLE : 13.20

Température Minimale

ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	16.0	16.9	15.8	16.0	16.1	14.2	12.4	13.0	13.3	11.3	15.2	15.9
2	14.0	17.1	7.0	17.2	15.8	14.3	9.1	9.6	12.7	11.1	14.7	15.4
3	14.5	17.1	16.2	16.0	15.0	11.6	11.2	11.1	12.1	10.6	15.2	14.9
4	16.0	17.4	15.1	16.1	15.6	9.1	9.3	11.5	11.2	11.9	14.6	15.7
5	16.6	16.2	16.5	15.5	16.0	2.9	12.6	10.0	10.8	12.9	16.0	15.6
6	12.6	16.7	16.5	15.5	15.4	4.7	11.4	9.0	12.6	13.2	15.0	12.2
7	13.8	16.3	17.0	15.7	12.1	10.0	12.3	12.2	6.2	14.1	17.2	14.0
8	17.8	17.1	16.2	15.0	15.0	9.9	9.9	12.0	3.6	15.1	15.8	13.9
9	15.9	16.7	15.6	14.3	14.0	5.9	12.2	10.8	7.5	14.8	16.9	15.6
10	17.7	16.7	15.4	14.2	13.3	3.9	13.2	10.9	8.0	13.6	16.0	15.7
11	16.8	15.2	15.6	14.2	13.4	9.6	12.6	10.5	11.5	12.6	14.4	15.1
12	16.7	1.1	16.6	12.7	15.7	10.3	11.6	11.9	10.9	14.4	15.1	14.8
13	16.7	17.9	16.2	12.5	15.6	10.4	11.6	12.8	10.9	15.0	14.1	18.4
14	16.0	16.9	16.0	14.1	14.0	11.7	13.1	12.2	10.0	15.1	14.8	17.1
15	15.0	15.2	15.9	11.6	11.5	12.1	12.2	12.1	10.0	13.8	14.7	16.9
16	14.5	16.5	16.7	14.9	11.8	7.9	12.0	11.6	11.1	15.4	16.0	16.9
17	15.0	16.5	17.4	15.0	15.3	8.9	9.2	11.9	10.9	14.8	16.0	17.6
18	16.7	16.3	16.5	16.0	13.0	6.1	11.6	12.3	12.5	13.6	17.2	18.0
19	15.8	17.0	15.8	15.9	12.2	10.1	12.5	11.0	10.6	12.5	16.4	16.4
20	15.8	17.2	16.0	14.9	13.5	10.2	9.2	10.8	12.2	13.7	15.1	17.6
21	15.7	17.1	15.7	15.2	15.6	11.0	13.2	9.0	13.0	13.9	16.0	17.1
22	15.6	14.3	15.4	16.1	14.3	10.6	12.4	11.0	12.0	17.2	15.2	15.6
23	16.7	15.1	14.7	14.4	13.9	10.8	10.0	11.7	9.9	10.4	15.4	17.3
24	16.3	16.4	15.3	14.5	14.5	10.4	9.6	10.0	10.9	11.9	15.2	17.4
25	18.2	17.3	13.0	16.1	14.0	10.8	11.5	10.4	10.3	14.0	14.9	17.1
26	16.6	17.2	14.7	14.5	12.3	11.6	10.7	11.8	11.2	15.0	16.1	17.2
27	17.1	17.6	13.6	14.7	12.1	12.9	9.9	11.5	12.2	15.4	16.9	16.7
28	17.8	18.4	13.5	16.0	10.7	11.0	10.0	13.3	13.1	15.3	17.1	16.5
29	17.0		16.2	15.0	13.9	11.0	13.6	14.3	14.2	13.9	16.0	16.0
30	17.5		16.5	16.0	12.7	11.3	13.0	14.0	14.6	15.2	16.1	14.8
31	17.6		16.3		13.5		12.2	12.6		-1		16.8
1	15.5	16.8	15.1	15.6	14.8	8.7	11.4	11.0	9.8	12.9	15.7	14.9
2	15.9	15.0	16.3	14.2	13.6	9.7	11.6	11.7	11.1	14.1	15.4	16.9
3	16.9	16.7	15.0	15.3	13.4	11.1	11.5	11.8	12.1	14.2	15.9	16.6
Moy	16.1	16.1	15.4	15.0	13.9	9.8	11.5	11.5	11.0	13.7	15.6	16.1

MOYENNE ANNUELLE : 13.83

Température Minimale

ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	16.6	17.4	17.4	16.8	10.9	11.0	9.3	11.6	11.6	9.5	12.3	12.3
2	16.9	17.6	17.3	17.0	12.2	11.4	9.6	11.4	9.3	10.9	12.0	13.5
3	16.0	18.0	17.2	15.6	15.5	13.2	11.3	11.0	11.8	13.2	16.0	15.1
4	17.0	15.8	17.3	16.0	14.7	10.9	10.1	7.0	12.9	15.8	16.1	15.6
5	17.1	16.2	18.0	16.8	16.2	12.0	9.9	11.1	12.4	14.4	15.8	15.1
6	17.9	18.0	18.0	14.9	11.3	11.8	8.6	12.6	10.6	15.8	16.5	14.1
7	17.0	17.9	18.3	17.2	11.8	11.5	10.1	12.3	6.8	14.7	17.0	14.0
8	17.0	15.9	16.7	14.0	11.0	9.8	8.2	12.3	8.3	15.6	16.7	15.8
9	17.6	14.9	17.9	15.3	13.5	13.5	11.0	11.8	7.7	14.5	15.5	16.4
10	18.7	14.4	18.8	16.5	14.2	14.5	7.3	7.5	10.9	13.5	14.1	15.8
11	18.7	17.0	18.0	17.2	14.3	11.3	6.2	10.6	10.0	9.9	15.5	15.2
12	18.9	18.2	18.3	15.9	13.6	9.0	7.3	9.4	9.0	11.9	17.4	15.5
13	17.7	18.0	17.2	18.3	13.4	10.0	7.9	9.2	8.9	9.9	18.1	16.7
14	17.7	18.2	17.5	17.0	11.6	11.0	7.8	6.0	8.7	10.6	17.3	14.8
15	18.2	18.0	17.8	17.1	11.5	10.7	7.7	8.2	9.5	11.3	16.3	14.5
16	17.6	17.0	17.8	15.9	13.2	11.0	9.3	9.4	11.2	12.1	16.0	15.4
17	17.8	17.1	17.1	17.0	12.1	12.2	11.5	10.6	12.4	13.2	14.5	14.5
18	17.9	15.9	13.9	16.1	14.5	10.2	12.6	10.4	14.7	13.1	16.8	13.5
19	17.2	17.4	16.7	15.4	14.7	13.7	11.4	9.0	13.3	14.8	16.8	16.5
20	18.0	17.7	14.1	16.0	10.3	13.1	11.7	9.1	12.2	14.0	16.2	18.9
21	17.6	17.7	14.2	15.2	11.3	13.4	11.6	10.0	10.8	13.8	14.2	16.2
22	16.8	16.1	16.8	13.4	13.0	13.6	8.3	10.4	12.8	12.2	15.8	15.8
23	17.1	16.0	17.1	12.3	14.8	13.1	13.2	11.6	15.0	10.8	17.7	16.2
24	15.6	18.2	16.4	11.8	13.9	13.4	12.9	9.7	14.0	9.3	15.7	15.2
25	15.3	18.0	16.0	13.3	12.7	12.7	12.1	7.9	14.8	10.7	15.7	15.9
26	15.6	17.3	16.8	11.2	13.1	12.1	11.1	9.5	14.1	12.4	16.0	15.5
27	16.2	17.6	17.0	11.7	10.6	12.6	12.2	9.8	11.8	13.3	15.0	16.5
28	17.9	17.7	15.7	13.6	10.6	11.9	7.5	9.2	10.9	14.0	16.0	17.4
29	18.6		16.5	12.2	9.9	10.7	11.4	6.9	12.2	14.2	17.1	16.4
30	17.3		16.5	12.6	10.9	12.4	11.7	10.3	13.1	14.8	14.8	16.8
31	16.7		16.7		13.6		11.9	10.2		14.0		15.9
1	17.2	16.6	17.7	16.0	13.1	12.0	9.5	10.9	10.2	13.8	15.2	14.8
2	18.0	17.4	16.8	16.6	12.9	11.2	9.3	9.2	11.0	12.1	16.5	15.6
3	16.8	17.3	16.3	12.7	12.2	12.6	11.3	9.6	12.9	12.7	15.8	16.2
Moy	17.3	17.1	16.9	15.1	12.7	11.9	10.1	9.9	11.4	12.8	15.8	15.5

MOYENNE ANNUELLE : 13.89

Température Minimale

ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb
1	16.4	14.7	14.3	15.4	15.4	12.7	12.4	10.2	13.4	10.0	15.0	15.2
2	17.5	16.0	13.1	16.3	15.0	11.7	13.5	8.4	12.0	11.8	14.3	16.4
3	18.2	16.4	16.0	15.9	15.5	11.0	13.1	7.3	14.1	12.5	13.4	15.6
4	16.0	16.4	15.1	16.1	14.4	11.9	12.6	6.8	13.1	12.4	15.3	16.3
5	16.5	17.1	15.9	16.4	13.5	12.8	12.4	10.6	13.6	11.7	15.1	16.7
6	15.0	16.5	15.4	17.0	14.8	11.8	11.5	11.5	10.9	12.7	15.0	15.8
7	15.8	14.7	17.0	16.7	14.5	11.5	11.7	11.7	12.0	13.0	14.7	16.1
8	16.8	14.9	17.7	16.2	14.7	10.5	12.2	11.1	13.3	13.4	15.7	14.7
9	16.8	15.7	17.2	16.9	13.0	12.2	11.3	9.2	13.8	13.0	14.0	16.1
10	16.5	14.1	17.0	17.0	13.9	13.7	11.3	7.5	11.1	15.0	15.8	16.5
11	16.4	16.0	16.0	16.0	15.4	11.1	7.5	4.8	11.8	15.7	17.0	15.0
12	15.8	16.4	16.4	16.7	15.7	10.6	6.7	6.5	13.6	13.2	18.9	15.5
13	14.9	17.0	16.0	16.2	15.4	12.0	10.5	9.1	12.5	15.4	18.3	18.0
14	14.7	19.1	16.3	14.9	9.6	11.2	11.6	11.0	10.4	15.0	16.6	17.7
15	15.3	17.6	14.6	14.5	11.8	12.9	11.7	11.4	10.3	11.8	15.9	16.0
16	12.3	16.6	16.0	15.2	13.0	8.5	10.4	11.1	8.2	11.5	16.5	15.7
17	16.0	18.4	13.8	14.4	14.2	6.4	10.7	8.4	11.3	12.4	15.5	17.3
18	14.6	16.1	14.6	16.0	13.6	6.8	8.0	7.2	7.9	10.7	15.2	15.9
19	15.0	16.1	15.4	15.6	14.6	11.0	12.3	9.0	9.0	10.3	13.0	16.1
20	15.7	17.5	15.1	16.0	14.8	9.6	8.4	10.2	9.3	10.5	15.4	16.0
21	15.6	16.8	15.0	15.7	14.8	7.7	7.8	11.2	8.1	12.6	12.6	16.1
22	15.0	16.7	14.1	14.9	14.0	12.4	11.4	7.9	8.7	16.0	15.3	15.9
23	15.7	16.2	14.1	14.4	13.0	12.0	9.7	11.3	7.1	15.0	16.8	17.2
24	14.4	14.6	14.0	14.6	12.2	10.8	11.4	12.8	7.5	14.9	14.5	18.0
25	16.6	15.3	13.4	13.5	12.1	12.0	13.2	10.0	8.5	13.5	15.6	18.1
26	16.7	15.8	13.2	12.6	9.9	9.8	7.2	13.6	10.7	12.5	16.1	17.5
27	14.0	14.8	15.0	13.7	11.7	9.8	4.7	14.6	11.6	11.5	13.6	15.9
28	16.0	13.4	14.7	15.3	11.1	8.5	5.3	13.5	11.7	12.1	13.0	15.8
29	14.0		14.0	13.6	12.2	11.6	9.1	10.8	11.0	10.5	13.0	16.5
30	15.8		13.9	14.3	12.6	9.7	5.6	9.7	8.0	14.7	16.0	17.1
31	15.5		13.9		13.0		8.4	10.4		12.6		17.2
1	16.6	15.7	15.9	16.4	14.5	12.0	12.2	9.4	12.7	12.6	14.8	15.9
2	15.1	17.1	15.4	15.6	13.8	10.0	9.8	8.9	10.4	12.6	16.2	16.3
3	15.4	15.5	14.1	14.3	12.4	10.4	8.5	11.4	9.3	13.3	14.6	16.8
Moy	15.7	16.1	15.1	15.4	13.5	10.8	10.1	10.0	10.8	12.8	15.2	16.4

MOYENNE ANNUELLE : 13.50

Humidité relative en % ANNEE : 1971 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	82.0	87.0	82.0	80.0	77.0	69.0	78.0	80.0	78.0	70.0	66.0	81.0	1
2	85.0	76.0	79.0	79.0	85.0	78.0	81.0	79.0	87.0	70.0	66.0	83.0	2
3	92.0	84.0	78.0	80.0	77.0	73.0	80.0	81.0	82.0	78.0	66.0	84.0	3
4	84.0	79.0	87.0	78.0	84.0	74.0	76.0	79.0	76.0	78.0	74.0	83.0	4
5	88.0	78.0	83.0	82.0	85.0	75.0	75.0	65.0	75.0	77.0	67.0	81.0	5
6	87.0	87.0	84.0	82.0	79.0	74.0	82.0	67.0	74.0	70.0	71.0	88.0	6
7	88.0	79.0	82.0	81.0	80.0	80.0	84.0	72.0	72.0	70.0	69.0	85.0	7
8	82.0	77.0	82.0	84.0	79.0	78.0	89.0	82.0	74.0	69.0	65.0	85.0	8
9	76.0	84.0	82.0	76.0	79.0	78.0	82.0	84.0	69.0	69.0	58.0	83.0	9
10	79.0	79.0	82.0	85.0	89.0	76.0	75.0	78.0	76.0	75.0	63.0	87.0	10
11	70.0	87.0	83.0	77.0	85.0	81.0	75.0	77.0	85.0	76.0	72.0	86.0	11
12	82.0	86.0	82.0	82.0	84.0	84.0	76.0	80.0	85.0	79.0	61.0	80.0	12
13	79.0	93.0	75.0	79.0	81.0	82.0	72.0	76.0	79.0	75.0	60.0	75.0	13
14	79.0	80.0	75.0	81.0	76.0	80.0	76.0	76.0	74.0	80.0	76.0	74.0	14
15	79.0	91.0	79.0	81.0	81.0	80.0	77.0	80.0	77.0	76.0	83.0	75.0	15
16	75.0	77.0	80.0	76.0	74.0	75.0	81.0	76.0	74.0	68.0	77.0	74.0	16
17	78.0	86.0	85.0	73.0	80.0	76.0	77.0	74.0	70.0	71.0	71.0	78.0	17
18	84.0	91.0	84.0	80.0	81.0	82.0	79.0	73.0	76.0	74.0	69.0	87.0	18
19	83.0	94.0	84.0	79.0	79.0	80.0	81.0	83.0	77.0	81.0	82.0	88.0	19
20	82.0	85.0	84.0	79.0	84.0	76.0	82.0	84.0	78.0	77.0	86.0	87.0	20
21	91.0	82.0	76.0	81.0	82.0	78.0	83.0	80.0	76.0	76.0	85.0	81.0	21
22	90.0	76.0	81.0	77.0	83.0	77.0	84.0	85.0	70.0	74.0	88.0	81.0	22
23	92.0	80.0	80.0	81.0	84.0	77.0	76.0	78.0	61.0	71.0	84.0	88.0	23
24	95.0	87.0	77.0	81.0	79.0	81.0	75.0	88.0	71.0	68.0	88.0	91.0	24
25	87.0	84.0	77.0	84.0	76.0	81.0	74.0	86.0	74.0	70.0	81.0	92.0	25
26	87.0	79.0	79.0	81.0	83.0	73.0	80.0	77.0	69.0	67.0	86.0	80.0	26
27	87.0	84.0	86.0	80.0	75.0	80.0	75.0	69.0	70.0	71.0	89.0	75.0	27
28	88.0	85.0	82.0	75.0	75.0	87.0	76.0	78.0	72.0	71.0	76.0	72.0	28
29	93.0		78.0	74.0	69.0	83.0	81.0	85.0	74.0	72.0	77.0	74.0	29
30	94.0		79.0	75.0	73.0	78.0	83.0	79.0	71.0	70.0	80.0	74.0	30
31	93.0		77.0		69.0		90.0	83.0		71.0		78.0	31
1	84.3	81.0	82.1	80.7	81.4	75.5	80.2	76.7	76.3	72.6	66.5	84.0	
2	79.1	87.0	81.1	78.7	80.5	79.6	77.6	77.9	77.5	75.7	73.7	80.4	
3	90.6	82.1	79.3	78.9	77.1	79.5	79.7	80.7	70.8	71.0	83.4	80.5	
Moy	84.9	83.5	80.8	79.4	79.6	78.2	79.2	78.5	74.9	73.0	74.5	81.6	

MOYENNE ANNUELLE : 79.01

Humidité relative en % ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	J
1	79.0	82.0	82.0	82.0	79.0	85.0	76.0	76.0	76.0	70.0	83.0	78.0	
2	77.0	85.0	90.0	81.0	80.0	87.0	82.0	74.0	73.0	71.0	83.0	75.0	
3	78.0	91.0	86.0	81.0	79.0	79.0	78.0	78.0	74.0	72.0	79.0	81.0	
4	75.0	88.0	83.0	79.0	80.0	75.0	80.0	74.0	73.0	70.0	76.0	77.0	
5	79.0	92.0	81.0	81.0	85.0	65.0	88.0	69.0	69.0	75.0	77.0	68.0	
6	73.0	92.0	87.0	83.0	86.0	69.0	88.0	77.0	74.0	72.0	75.0	68.0	
7	76.0	88.0	89.0	81.0	81.0	78.0	85.0	72.0	56.0	63.0	66.0	72.0	
8	80.0	89.0	85.0	81.0	81.0	68.0	79.0	76.0	57.0	67.0	67.0	68.0	
9	75.0	86.0	93.0	75.0	86.0	71.0	80.0	75.0	71.0	79.0	79.0	76.0	
10	80.0	72.0	95.0	82.0	80.0	72.0	73.0	76.0	74.0	74.0	82.0	71.0	1
11	83.0	78.0	87.0	74.0	82.0	77.0	76.0	78.0	73.0	68.0	81.0	69.0	1
12	84.0	83.0	92.0	78.0	81.0	76.0	76.0	80.0	73.0	75.0	85.0	73.0	1
13	77.0	83.0	91.0	82.0	80.0	78.0	78.0	80.0	78.0	81.0	74.0	69.0	1
14	84.0	96.0	87.0	75.0	82.0	76.0	83.0	85.0	73.0	79.0	71.0	79.0	1
15	83.0	90.0	89.0	80.0	82.0	75.0	86.0	85.0	76.0	82.0	69.0	86.0	1
16	75.0	87.0	82.0	74.0	80.0	71.0	89.0	78.0	78.0	76.0	67.0	83.0	1
17	75.0	88.0	86.0	74.0	82.0	75.0	89.0	78.0	80.0	79.0	74.0	88.0	1
18	72.0	89.0	86.0	77.0	84.0	73.0	83.0	81.0	83.0	81.0	81.0	85.0	1
19	78.0	95.0	85.0	79.0	85.0	78.0	77.0	75.0	80.0	88.0	86.0	87.0	1
20	87.0	89.0	83.0	79.0	85.0	81.0	86.0	73.0	78.0	85.0	87.0	92.0	2
21	83.0	88.0	86.0	82.0	83.0	77.0	80.0	69.0	77.0	80.0	83.0	88.0	2
22	78.0	80.0	82.0	74.0	85.0	77.0	77.0	79.0	72.0	70.0	74.0	91.0	2
23	73.0	86.0	85.0	76.0	83.0	80.0	82.0	77.0	70.0	71.0	81.0	94.0	2
24	77.0	86.0	82.0	74.0	85.0	81.0	83.0	75.0	70.0	67.0	80.0	91.0	2
25	82.0	84.0	85.0	81.0	85.0	82.0	81.0	75.0	73.0	63.0	77.0	86.0	2
26	90.0	78.0	85.0	78.0	84.0	84.0	83.0	70.0	69.0	74.0	78.0	82.0	2
27	87.0	77.0	83.0	81.0	81.0	78.0	79.0	72.0	62.0	82.0	81.0	79.0	2
28	88.0	80.0	80.0	78.0	82.0	79.0	79.0	69.0	73.0	85.0	83.0	82.0	2
29	87.0		81.0	77.0	84.0	82.0	81.0	72.0	77.0	71.0	84.0	83.0	2
30	86.0		82.0	75.0	88.0	85.0	74.0	73.0	74.0	75.0	82.0	82.0	3
31	85.0		84.0		82.0		75.0	71.0		83.0		79.0	3
1	77.2	86.5	87.1	80.6	81.7	74.9	80.9	74.7	69.7	71.3	76.7	73.4	
2	79.8	87.8	86.8	77.2	82.3	76.0	82.3	79.3	77.2	79.4	77.5	81.1	
3	83.3	82.4	83.2	77.6	83.8	80.5	79.5	72.9	71.7	74.6	80.3	85.2	
Moy	80.2	85.8	85.6	78.5	82.6	77.1	80.8	75.5	72.9	75.1	78.2	80.1	

MOYENNE ANNUELLE : 79.37

Humidité relative en % ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	85.0	76.0	87.0	83.0	81.0	79.0	75.0	81.0	71.0	75.0	67.0	70.0	1
2	85.0	85.0	85.0	84.0	82.0	78.0	77.0	81.0	69.0	72.0	67.0	70.0	2
3	84.0	86.0	87.0	86.0	77.0	81.0	75.0	78.0	71.0	70.0	71.0	83.0	3
4	84.0	86.0	91.0	87.0	77.0	80.0	79.0	80.0	80.0	63.0	69.0	87.0	4
5	89.0	85.0	87.0	86.0	75.0	80.0	73.0	76.0	78.0	67.0	79.0	76.0	5
6	94.0	83.0	88.0	82.0	72.0	79.0	79.0	80.0	66.0	72.0	83.0	80.0	6
7	95.0	83.0	87.0	81.0	75.0	81.0	75.0	84.0	67.0	76.0	82.0	80.0	7
8	84.0	80.0	81.0	77.0	82.0	85.0	80.0	85.0	67.0	79.0	84.0	66.0	8
9	78.0	75.0	88.0	74.0	81.0	89.0	74.0	81.0	65.0	72.0	77.0	75.0	9
10	82.0	76.0	83.0	82.0	81.0	84.0	75.0	87.0	67.0	69.0	71.0	74.0	10
11	85.0	76.0	79.0	73.0	76.0	78.0	76.0	88.0	72.0	62.0	72.0	80.0	11
12	86.0	78.0	74.0	79.0	76.0	77.0	74.0	72.0	76.0	59.0	69.0	72.0	12
13	90.0	78.0	75.0	77.0	79.0	81.0	73.0	73.0	69.0	63.0	75.0	70.0	13
14	81.0	78.0	88.0	79.0	74.0	90.0	71.0	75.0	72.0	65.0	81.0	70.0	14
15	91.0	81.0	91.0	79.0	80.0	87.0	74.0	67.0	67.0	63.0	82.0	74.0	15
16	92.0	84.0	83.0	78.0	74.0	84.0	77.0	80.0	65.0	62.0	72.0	75.0	16
17	90.0	88.0	83.0	80.0	70.0	80.0	85.0	78.0	71.0	72.0	73.0	72.0	17
18	84.0	87.0	82.0	78.0	76.0	83.0	85.0	76.0	76.0	70.0	71.0	68.0	18
19	82.0	94.0	79.0	81.0	69.0	90.0	85.0	78.0	81.0	77.0	71.0	67.0	19
20	85.0	89.0	69.0	81.0	64.0	80.0	85.0	75.0	79.0	73.0	69.0	73.0	20
21	82.0	86.0	77.0	80.0	76.0	79.0	85.0	81.0	74.0	71.0	70.0	78.0	21
22	86.0	89.0	79.0	79.0	80.0	78.0	83.0	75.0	73.0	68.0	75.0	91.0	22
23	80.0	87.0	82.0	81.0	85.0	82.0	83.0	82.0	77.0	70.0	77.0	88.0	23
24	80.0	89.0	82.0	79.0	82.0	82.0	85.0	73.0	75.0	72.0	86.0	88.0	24
25	81.0	88.0	82.0	82.0	79.0	81.0	86.0	74.0	75.0	75.0	84.0	89.0	25
26	78.0	88.0	82.0	85.0	78.0	80.0	87.0	78.0	71.0	75.0	82.0	81.0	26
27	83.0	93.0	92.0	82.0	75.0	80.0	85.0	78.0	69.0	75.0	81.0	84.0	27
28	88.0	93.0	87.0	81.0	78.0	76.0	85.0	75.0	73.0	71.0	80.0	81.0	28
29	92.0		87.0	82.0	78.0	78.0	76.0	72.0	76.0	74.0	75.0	91.0	29
30	93.0		85.0	81.0	85.0	78.0	76.0	71.0	80.0	66.0	72.0	92.0	30
31	84.0		89.0		87.0		75.0	73.0		64.0		94.0	31
1	86.0	81.5	86.4	82.2	78.3	81.6	76.2	81.3	70.1	71.5	75.0	76.1	
2	86.6	83.3	80.3	78.5	73.8	83.0	78.5	76.2	72.8	66.6	73.5	72.1	
3	84.3	89.1	84.0	81.2	80.3	79.4	82.4	75.6	74.3	71.0	78.2	87.0	
Moy	85.6	84.3	83.6	80.6	77.5	81.3	79.1	77.6	72.4	69.7	75.6	78.7	

MOYENNE ANNUELLE : 78.85

Humidité relative en % ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	J
1	85.0	78.0	80.0	82.0	87.0	74.0	80.0	79.0	70.0	69.0	82.0	70.0	
2	77.0	83.0	77.0	91.0	82.0	78.0	83.0	80.0	72.0	73.0	86.0	72.0	
3	90.0	83.0	78.0	85.0	85.0	86.0	85.0	80.0	70.0	75.0	80.0	72.0	
4	86.0	88.0	79.0	87.0	85.0	84.0	82.0	84.0	73.0	76.0	78.0	82.0	
5	87.0	90.0	85.0	83.0	83.0	81.0	85.0	83.0	78.0	76.0	79.0	91.0	
6	86.0	91.0	86.0	84.0	84.0	86.0	83.0	82.0	84.0	76.0	78.0	93.0	
7	89.0	86.0	84.0	88.0	86.0	82.0	88.0	77.0	74.0	80.0	80.0	86.0	
8	88.0	92.0	82.0	85.0	87.0	84.0	81.0	77.0	78.0	73.0	76.0	80.0	
9	88.0	94.0	85.0	85.0	81.0	78.0	89.0	75.0	86.0	71.0	72.0	80.0	
10	81.0	86.0	88.0	80.0	82.0	77.0	90.0	80.0	72.0	80.0	72.0	87.0	1
11	83.0	94.0	88.0	80.0	88.0	75.0	88.0	75.0	78.0	71.0	73.0	84.0	1
12	82.0	93.0	90.0	81.0	87.0	76.0	81.0	72.0	80.0	89.0	82.0	80.0	1
13	80.0	82.0	86.0	84.0	82.0	75.0	81.0	77.0	85.0	78.0	80.0	74.0	1
14	83.0	85.0	84.0	85.0	73.0	75.0	81.0	78.0	84.0	82.0	74.0	83.0	1
15	80.0	91.0	83.0	81.0	78.0	83.0	86.0	81.0	82.0	76.0	81.0	65.0	1
16	83.0	86.0	83.0	81.0	78.0	78.0	84.0	81.0	86.0	76.0	81.0	85.0	1
17	74.0	86.0	82.0	83.0	81.0	72.0	78.0	77.0	77.0	76.0	83.0	85.0	1
18	73.0	84.0	87.0	84.0	82.0	77.0	85.0	73.0	76.0	76.0	78.0	86.0	1
19	74.0	81.0	86.0	85.0	85.0	86.0	78.0	79.0	75.0	73.0	75.0	85.0	1
20	90.0	83.0	89.0	89.0	79.0	83.0	72.0	76.0	76.0	73.0	70.0	87.0	2
21	77.0	80.0	91.0	90.0	75.0	84.0	69.0	81.0	75.0	76.0	70.0	83.0	2
22	78.0	85.0	85.0	90.0	76.0	89.0	75.0	77.0	74.0	70.0	80.0	86.0	2
23	74.0	84.0	89.0	78.0	80.0	96.0	82.0	79.0	72.0	76.0	77.0	88.0	2
24	77.0	80.0	89.0	82.0	82.0	90.0	79.0	89.0	72.0	87.0	73.0	86.0	2
25	78.0	85.0	89.0	75.0	80.0	91.0	80.0	72.0	75.0	85.0	69.0	89.0	2
26	77.0	85.0	88.0	79.0	83.0	83.0	77.0	79.0	67.0	79.0	67.0	89.0	2
27	82.0	77.0	87.0	85.0	83.0	81.0	72.0	82.0	71.0	79.0	70.0	82.0	2
28	83.0	81.0	88.0	95.0	79.0	87.0	79.0	72.0	76.0	79.0	72.0	89.0	2
29	82.0		85.0	83.0	79.0	90.0	71.0	74.0	67.0	74.0	69.0	82.0	2
30	82.0		76.0	83.0	82.0	81.0	76.0	77.0	70.0	80.0	68.0	80.0	3
31	81.0		75.0		77.0		86.0	72.0		75.0		89.0	3
1	85.7	87.1	82.4	85.0	84.2	81.0	84.6	79.7	75.7	74.9	78.3	81.3	
2	80.2	86.5	85.8	83.3	81.3	78.0	81.4	76.9	79.9	77.0	77.7	81.4	
3	79.2	82.1	85.6	84.0	79.6	87.2	76.9	77.6	71.9	78.2	71.5	85.7	
Moy	81.6	85.5	84.6	84.1	81.6	82.1	80.8	78.1	75.8	76.7	75.8	82.9	

MOYENNE ANNUELLE : 80.81

Durée d"Insolation en h ANNEE : 1971 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	8.7	3.4	10.2	8.2	8.1	9.5	8.9	7.9	7.7	10.1	7.6	6.2	1
2	5.1	9.8	11.2	7.4	5.4	6.7	3.0	9.4	4.5	8.7	10.4	8.2	2
3	5.6	5.3	10.5	7.4	8.3	9.4	7.8	8.9	5.7	8.3	10.4	7.3	3
4	7.4	8.4	5.7	9.1	5.1	8.8	9.5	9.5	8.2	4.1	9.6	7.5	4
5	2.7	9.1	8.3	7.5	5.3	8.4	9.6	9.5	10.6	6.0	9.8	7.4	5
6	6.0	6.2	7.9	6.0	9.3	8.6	5.0	8.7	10.3	8.2	10.1	5.4	6
7	6.6	9.2	5.5	6.5	9.0	5.6	6.1	9.6	10.0	10.2	9.5	5.5	7
8	7.2	10.9	8.3	4.3	9.7	4.6	6.3	4.7	9.3	9.1	10.4	7.6	8
9	9.9	8.3	7.8	8.9	9.2	8.2	6.8	3.2	10.4	9.7	10.1	6.4	9
10	9.4	10.9	7.9	8.8	1.5	7.7	9.5	6.0	9.4	7.1	11.4	5.6	10
11	11.1	6.8	10.0	7.0	6.9	2.6	8.3	6.9	3.4	6.8	10.4	7.3	11
12	4.4	1.3	9.0	.0	9.1	3.4	5.7	4.5	3.1	7.1	8.9	8.0	12
13	6.8	.5	9.9	9.1	9.1	5.4	9.4	7.1	3.9	8.3	11.3	9.0	13
14	8.4	9.3	9.7	9.3	7.9	9.0	6.9	9.3	9.0	6.0	9.6	11.0	14
15	10.1	8.4	6.3	10.6	7.1	7.9	2.9	5.5	9.0	6.0	7.4	9.9	15
16	10.5	8.1	5.7	7.6	7.2	9.2	7.4	9.7	9.1	8.5	6.6	10.4	16
17	6.9	1.1	5.7	10.0	7.2	7.1	4.2	9.8	10.9	10.3	10.6	8.2	17
18	5.2	4.3	6.0	9.3	5.2	3.3	1.3	10.1	10.5	8.8	9.3	1.7	18
19	4.7	6.6	5.8	8.2	9.0	5.6	3.0	5.2	8.7	5.1	5.4	.7	19
20	4.6	5.3	6.0	8.7	3.0	9.1	6.0	6.4	7.9	6.6	3.9	6.3	20
21	.0	7.2	9.8	9.3	7.9	9.4	5.6	5.9	6.9	7.8	5.2	5.3	21
22	.4	10.5	6.9	7.7	7.2	9.5	8.6	6.1	10.3	7.0	4.2	6.7	22
23	.1	10.5	9.5	6.7	1.5	7.6	8.7	8.2	11.0	11.6	5.1	2.4	23
24	.0	5.1	9.6	8.5	8.5	4.6	9.2	2.6	9.8	10.7	3.4	3.9	24
25	1.4	6.9	9.1	4.3	7.6	4.9	9.4	5.1	8.1	11.6	7.3	4.0	25
26	6.8	7.5	10.5	6.9	6.9	8.9	5.6	8.1	9.6	11.2	4.8	9.9	26
27	6.5	8.1	3.9	6.9	7.4	6.3	7.8	10.8	10.7	11.2	2.1	10.5	27
28	2.6	7.9	7.6	9.4	8.2	3.0	7.5	9.2	9.7	10.6	3.0	10.7	28
29	1.6		10.1	9.8	9.3	5.1	5.5	2.3	9.7	8.2	10.0	10.0	29
30	1.7		9.5	9.8	7.8	9.3	4.7	7.1	9.1	9.4	8.0	10.3	30
31	.2		8.5		9.1		2.2	6.3		7.2		10.8	31
1	6.9	8.2	8.3	7.4	7.1	7.7	7.3	7.7	8.6	8.1	9.9	6.7	
2	7.3	5.2	7.4	8.0	7.2	6.3	5.5	7.4	7.6	7.3	8.3	7.3	
3	1.9	8.0	8.6	7.9	7.4	6.9	6.8	6.5	9.5	9.7	5.3	7.7	
Moy	5.6	7.0	8.1	8.0	7.2	7.0	6.5	7.2	8.6	8.4	7.9	7.2	

MOYENNE ANNUELLE : 7.40

Durée d'Insolation en h ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jc
1	8.1	5.0	9.3	7.3	9.4	5.9	6.6	8.2	8.1	10.7	5.0	6.3	1
2	9.5	3.0	3.3	6.1	7.6	7.5	6.5	8.4	8.8	10.7	3.9	8.4	2
3	8.9	2.6	4.3	8.5	9.7	10.1	5.0	7.3	10.4	9.8	6.3	6.6	3
4	10.0	1.0	9.4	7.7	8.8	10.2	5.2	10.2	9.0	10.7	7.7	7.3	4
5	7.0	.2	8.6	7.7	6.2	10.3	4.0	8.8	8.3	8.3	8.6	10.2	5
6	6.8	4.6	3.2	6.9	3.4	10.0	4.3	8.0	9.2	7.7	8.8	11.0	6
7	9.5	6.7	.0	6.6	8.8	9.3	6.9	9.1	10.5	8.9	10.7	11.0	7
8	8.3	5.1	1.8	6.6	9.8	9.1	9.6	7.0	10.7	8.6	10.9	9.8	8
9	9.2	4.7	.0	9.0	1.5	9.4	4.7	6.7	8.7	7.9	8.4	7.9	9
10	6.7	9.1	.0	8.9	10.0	10.2	9.1	7.7	9.1	7.9	7.4	10.6	10
11	5.0	11.2	2.6	9.3	8.8	9.9	7.6	9.6	8.5	9.4	7.2	10.3	11
12	4.6	6.5	1.2	9.4	9.5	6.8	8.2	6.1	6.5	8.2	3.9	8.4	12
13	6.7	7.4	3.6	3.7	8.6	6.2	9.4	4.5	4.8	7.7	10.1	8.7	13
14	5.5	.0	5.5	10.8	6.0	6.6	7.7	3.7	7.8	8.4	9.7	7.5	14
15	6.9	1.3	6.1	9.5	9.8	6.2	4.9	6.6	8.5	2.7	11.1	3.5	15
16	10.4	5.5	9.2	10.1	6.5	10.0	3.7	10.3	6.3	6.3	11.3	4.2	16
17	10.5	6.4	8.8	8.8	6.0	7.2	4.7	8.6	3.6	4.2	8.9	4.2	17
18	10.1	4.6	4.7	8.6	7.6	9.4	4.5	8.6	.4	.9	6.6	2.5	18
19	8.1	.5	5.7	4.2	5.2	9.6	8.6	8.4	6.5	.9	3.3	6.1	19
20	3.6	6.6	6.9	6.9	5.8	8.3	1.8	10.2	6.0	3.0	8.2	2.6	20
21	6.3	1.4	2.1	6.6	5.6	8.9	6.6	9.8	6.8	8.5	2.3	3.2	21
22	9.1	9.8	5.4	10.3	3.3	9.1	7.8	7.4	10.1	11.5	9.3	.5	22
23	11.2	4.9	3.7	10.3	7.3	7.2	7.2	6.2	10.7	10.0	5.0	.0	23
24	9.4	5.6	9.7	9.7	4.6	9.4	7.7	8.6	8.1	11.4	7.7	.7	24
25	8.3	6.4	4.3	8.4	3.1	7.0	6.8	8.1	10.5	9.7	9.8	3.7	25
26	5.1	8.0	9.2	9.8	5.7	4.6	2.8	10.1	9.0	8.7	6.4	7.7	26
27	6.1	9.7	8.8	7.8	10.0	6.6	8.6	10.7	10.3	8.8	7.4	10.5	27
28	6.0	8.2	9.6	7.9	9.8	2.0	7.8	7.8	8.1	5.6	5.4	1.2	28
29	3.4		7.6	10.7	5.8	6.1	2.3	10.6	9.3	9.5	4.5	4.0	29
30	4.5		9.3	9.6	3.2	6.2	6.0	10.4	10.2	10.5	4.6	2.6	30
31	7.1		6.6		8.8		8.3	7.3		4.4		8.2	31
1	8.4	4.2	4.0	7.5	7.5	9.2	6.2	8.1	9.3	9.1	7.8	8.9	
2	7.1	5.0	5.4	8.1	7.4	8.0	6.1	7.7	5.9	5.2	8.0	5.8	
3	7.0	6.8	6.9	9.1	6.1	6.7	6.5	8.8	9.3	9.0	6.2	3.8	
Moy	7.5	5.4	6.1	8.3	7.0	8.0	6.3	8.2	8.2	7.8	7.3	6.3	

MOYENNE ANNUELLE : 7.19

Durée d'Insolation en h ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Mo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	2.4	11.3	5.9	9.1	10.8	7.9	8.1	.9	10.6	10.4	11.3	10.8	1
2	4.1	3.2	2.6	5.3	7.1	7.8	7.7	5.9	10.6	9.1	10.5	9.5	2
3	6.1	1.5	6.1	1.5	8.8	1.9	9.4	9.5	10.1	9.4	7.2	5.0	3
4	6.5	1.8	2.9	.2	9.5	8.5	8.1	6.6	1.9	11.1	8.1	.9	4
5	1.6	3.8	6.7	2.6	7.6	8.4	10.0	9.5	2.4	9.6	7.0	5.7	5
6	.1	6.1	9.0	10.1	7.6	8.0	6.0	4.4	9.5	9.6	8.0	4.9	6
7	2.6	8.8	6.2	6.3	10.4	7.4	10.1	3.6	10.3	9.2	5.7	5.9	7
8	7.2	8.7	9.1	9.1	4.4	1.4	8.0	5.4	8.7	7.1	6.2	9.8	8
9	10.4	8.8	4.6	8.5	4.3	.0	9.3	8.7	10.6	11.0	7.7	7.5	9
0	7.2	9.2	9.1	7.4	6.6	6.2	10.2	5.6	10.5	10.7	10.6	9.1	10
1	5.4	10.5	9.4	8.6	8.3	10.0	10.2	5.2	10.1	11.2	8.3	5.7	11
2	4.2	9.9	10.6	7.3	9.7	7.6	9.0	9.3	10.0	11.0	11.3	9.0	12
3	2.2	8.4	10.7	8.7	7.8	8.3	10.3	10.4	10.4	11.1	6.5	6.5	13
4	8.5	7.3	3.0	10.6	10.3	4.7	8.5	8.0	9.6	10.6	3.2	10.1	14
5	2.8	6.6	5.2	8.1	6.8	5.0	6.7	8.5	10.6	11.0	2.7	10.0	15
6	2.7	4.5	7.6	9.8	7.2	5.0	6.5	8.2	10.4	10.9	8.5	3.7	16
7	5.4	.2	4.3	6.9	10.1	6.9	.5	9.4	9.3	9.7	9.4	9.5	17
8	9.2	.2	9.1	3.3	9.5	8.1	3.3	9.3	8.5	7.5	7.9	8.0	18
9	8.4	.1	10.4	.5	9.5	2.2	2.7	9.6	5.6	4.9	8.2	5.8	19
0	.3	3.7	11.0	6.1	9.8	5.3	7.2	8.1	5.0	6.2	7.7	4.8	20
1	9.7	3.2	10.3	5.9	8.8	7.9	3.6	2.5	5.7	7.3	9.3	.6	21
2	6.7	2.6	10.0	6.2	9.6	5.5	8.9	8.5	8.0	10.7	6.6	.5	22
3	8.5	7.5	7.6	7.2	4.2	4.7	2.8	.3	6.4	10.8	5.2	3.1	23
4	11.2	5.0	6.1	10.4	8.5	4.1	4.7	9.9	8.1	10.2	3.9	.2	24
5	10.4	4.1	7.5	3.4	9.5	5.9	4.6	9.1	9.4	7.2	7.1	2.2	25
6	11.3	3.8	4.4	5.8	6.0	6.8	3.2	7.3	8.6	2.4	7.2	6.5	26
7	1.0	3.8	.0	3.7	7.8	6.5	5.7	7.9	10.7	2.3	4.1	6.3	27
8	1.9	.3	1.3	6.6	8.7	9.4	6.2	9.7	10.7	5.8	6.8	6.1	28
9	.2		3.2	6.1	9.4	7.5	8.6	10.9	10.2	6.7	6.4	1.9	29
0	.0		5.1	9.6	1.3	9.3	9.7	10.2	6.1	10.5	5.8	1.4	30
1	1.4		3.3		3.1		1.4	7.9		8.9		-.1	31
1	4.8	6.3	6.2	6.0	7.7	5.8	8.7	6.0	8.5	9.7	8.2	6.9	
2	4.9	5.1	8.1	7.0	8.9	6.3	6.5	8.6	8.9	9.4	7.4	7.3	
3	5.7	3.8	5.3	6.5	7.0	6.8	5.4	7.7	8.4	7.5	6.2	2.9	
Mo	5.3	5.2	6.7	6.5	7.8	6.5	6.8	7.4	8.6	8.8	7.3	5.7	

MOYENNE ANNUELLE : 6.90

Durée d"Insolation en h ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	J
1	7.1	7.2	9.1	7.8	1.3	9.5	6.3	9.0	9.2	10.6	7.4	9.6	
2	11.0	3.9	8.0	4.2	8.1	10.1	7.3	8.6	7.1	10.5	4.7	7.3	
3	2.6	3.0	7.9	7.7	3.5	2.6	3.9	6.6	7.2	9.2	7.5	9.4	
4	5.9	3.9	8.0	3.1	6.0	5.9	7.5	4.7	8.9	8.5	8.5	1.8	
5	2.5	2.9	6.5	9.0	7.1	6.3	5.7	6.2	4.5	10.6	6.3	3.4	
6	2.1	.2	3.8	6.1	7.4	1.0	6.1	7.9	.6	11.1	7.2	1.6	
7	3.3	4.6	7.8	3.4	4.8	8.0	5.4	8.9	7.2	7.2	9.3	5.5	
8	3.7	.2	6.0	6.6	3.7	3.6	7.7	10.2	5.6	9.8	9.4	8.6	
9	2.9	.9	7.5	8.7	8.2	7.7	5.3	10.5	2.4	8.9	9.3	8.7	
10	8.1	7.3	6.4	8.6	9.0	6.4	2.1	5.5	10.1	7.1	9.5	2.8	1
11	6.5	3.0	7.3	9.6	4.0	8.4	5.0	10.5	8.7	7.9	9.3	7.3	1
12	6.6	2.2	.0	6.3	4.9	8.1	9.0	10.2	7.3	7.3	8.2	8.7	1
13	10.0	7.2	7.3	2.2	9.0	10.0	6.9	10.2	4.8	10.1	8.9	11.0	1
14	5.2	8.0	3.8	3.7	10.5	6.7	8.0	5.2	4.4	4.1	11.3	6.3	1
15	6.1	4.4	7.7	1.2	7.2	3.5	4.0	6.4	2.9	9.6	8.2	8.9	1
16	7.3	8.1	5.4	8.0	7.5	8.8	3.5	.8	3.8	9.6	6.2	2.7	1
17	8.3	8.4	9.3	6.5	7.6	9.9	9.6	7.3	6.9	9.4	3.3	5.3	1
18	8.3	7.9	5.2	7.7	6.0	9.8	5.0	8.6	9.2	9.7	8.4	2.9	1
19	10.4	8.3	3.3	6.9	4.7	3.8	6.7	5.3	10.7	11.6	11.2	2.1	1
20	.0	5.8	2.0	4.1	7.9	7.8	10.2	9.3	9.3	9.3	10.0	3.9	2
21	8.0	8.9	2.8	.4	9.8	8.4	9.4	5.1	10.6	10.6	9.9	7.2	2
22	9.6	4.2	5.9	5.9	9.1	.4	4.9	8.0	10.6	8.9	7.6	6.3	2
23	8.2	5.6	3.4	9.8	7.5	.0	5.9	5.6	9.8	9.2	4.5	4.6	2
24	7.1	9.4	3.6	7.5	4.3	.5	7.3	4.6	10.2	1.4	9.3	5.1	2
25	10.2	1.2	4.2	10.7	8.7	3.1	5.8	8.6	10.9	4.5	10.5	4.9	2
26	3.4	2.2	4.2	9.1	8.5	8.1	10.2	6.7	10.1	7.9	10.9	3.8	2
27	5.4	10.6	3.1	4.2	5.5	5.8	10.3	7.0	11.0	6.3	11.2	8.4	2
28	6.2	4.9	4.1	.0	8.6	4.9	6.5	9.8	10.1	10.1	10.6	10.6	2
29	7.9		10.0	5.8	9.8	3.8	9.9	10.6	10.3	9.5	10.8	8.1	2
30	5.6		8.6	7.0	3.5	7.6	9.9	10.8	11.0	7.3	8.3	5.5	3
31	2.9		-.1		8.0		5.3	10.7		10.3		2.3	3
1	4.9	3.4	7.1	6.5	5.9	6.1	5.7	7.8	6.3	9.4	7.9	5.9	
2	6.9	6.3	5.1	5.6	6.9	7.7	6.8	7.4	6.8	8.9	8.5	5.9	
3	6.8	5.9	5.0	6.0	7.6	4.3	7.8	8.0	10.5	7.8	9.4	6.1	
Moy	6.4	5.2	5.9	6.3	6.8	6.2	6.8	7.7	7.8	8.6	8.6	6.0	

MOYENNE ANNUELLE : 6.87

Vent en m/s

ANNEE : 1971 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	.8	4.4	1.1	2.2	2.2	1.9	2.5	1.3	3.6	1.1	1.6	1.3	1
2	1.3	2.7	1.6	2.7	1.9	1.3	1.6	1.1	2.2	.8	1.6	1.6	2
3	1.1	2.5	1.3	2.2	2.2	1.1	2.2	1.3	1.6	1.1	1.1	1.6	3
4	3.0	3.0	1.1	1.9	2.2	1.6	1.3	.8	.8	.8	1.1	1.9	4
5	2.2	2.5	.5	2.2	2.2	1.9	1.6	.5	1.3	.5	1.6	1.9	5
6	1.1	1.6	.8	1.9	2.2	2.7	2.2	.5	1.1	1.3	2.2	1.6	6
7	1.3	1.1	1.3	1.9	1.9	2.5	2.5	1.1	1.1	1.3	1.9	1.3	7
8	1.6	1.1	1.9	1.3	2.5	1.9	2.7	1.6	.5	1.1	2.5	1.6	8
9	2.2	1.1	1.9	1.1	2.5	1.9	2.5	1.3	1.6	1.6	3.8	1.6	9
10	3.3	.8	1.9	1.1	2.5	2.7	1.9	1.6	1.1	2.2	3.8	1.6	10
11	2.2	2.2	1.3	1.1	2.2	2.5	.8	1.1	.8	2.5	1.3	1.3	11
12	1.1	1.1	.8	1.3	1.6	2.5	.5	.8	.5	2.2	1.3	1.3	12
13	1.3	2.2	1.6	2.2	1.6	1.9	1.1	.5	.5	2.5	2.5	1.6	13
14	1.6	1.9	1.3	2.5	2.5	.8	.8	1.3	1.1	2.5	1.1	1.3	14
15	1.9	.8	1.9	1.3	1.6	.2	.8	1.9	2.2	1.6	1.1	1.3	15
16	2.5	1.6	1.6	.8	.8	1.1	1.3	2.2	.8	.8	1.1	1.6	16
17	2.5	1.3	.8	1.3	1.3	1.9	.5	1.6	1.1	1.1	1.6	1.6	17
18	2.7	3.3	1.6	1.1	2.7	2.5	1.1	1.9	2.5	2.7	1.1	2.7	18
19	2.7	2.5	1.9	2.2	1.6	1.9	3.0	1.9	2.2	2.5	1.1	2.2	19
20	4.1	.8	1.6	2.2	1.9	1.6	3.0	1.9	1.9	2.7	.5	1.6	20
21	4.7	1.3	1.6	1.6	1.3	1.3	2.7	1.9	1.3	2.2	.8	1.3	21
22	2.7	1.3	2.2	2.5	1.1	1.3	2.2	2.7	1.6	1.9	.5	1.3	22
23	2.7	1.1	2.2	2.5	1.1	1.6	1.3	3.3	1.3	1.6	1.1	2.2	23
24	2.2	1.1	1.6	2.7	.5	1.3	.8	1.3	1.6	1.6	.8	2.7	24
25	2.5	1.3	1.6	1.9	.8	1.9	1.3	.5	2.2	1.3	1.3	1.3	25
26	1.1	1.3	1.9	1.9	.5	1.9	.8	1.3	1.9	2.2	.8	1.6	26
27	1.6	.8	1.9	1.9	.8	1.9	1.1	1.1	2.2	1.6	.8	1.3	27
28	1.6	.8	2.2	1.6	1.1	1.6	1.9	1.3	1.9	.8	.8	1.9	28
29	1.9		1.6	1.3	1.3	1.3	1.1	1.3	1.3	.8	1.3	2.5	29
30	2.2		2.2	2.2	1.3	2.5	1.9	2.7	.8	.8	.8	1.9	30
31	1.6		2.2		1.9		1.3	1.9		1.1		2.5	31
1	1.8	2.1	1.3	1.9	2.2	2.0	2.1	1.1	1.5	1.2	2.1	1.6	
2	2.3	1.8	1.4	1.6	1.8	1.7	1.3	1.5	1.4	2.1	1.3	1.6	
3	2.3	1.1	1.9	2.0	1.1	1.7	1.5	1.8	1.6	1.4	.9	1.9	
Moy	2.1	1.7	1.6	1.8	1.7	1.8	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.7	

MOYENNE ANNUELLE : 1.66

Vent en m/s

ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	J
1	2.2	2.2	1.1	1.6	1.1	1.1	1.3	1.3	1.6	1.9	2.2	1.6	
2	1.9	1.3	1.6	1.9	1.1	1.6	2.2	1.1	1.9	3.3	2.2	1.3	
3	2.7	1.1	2.2	1.9	1.6	3.8	3.8	1.1	2.2	1.9	1.9	1.1	
4	2.5	1.6	2.2	1.6	1.9	2.5	4.4	1.3	2.7	1.3	1.9	1.6	
5	2.7	1.1	3.0	2.2	2.2	.8	3.0	1.1	1.6	1.3	1.3	1.6	
6	2.2	1.9	3.3	2.5	1.1	.8	1.9	.8	4.1	1.3	1.3	1.9	
7	1.6	2.5	4.7	2.7	1.3	1.3	1.9	1.1	2.5	1.6	1.3	1.6	
8	1.3	3.3	4.4	3.0	1.9	1.1	1.6	1.9	1.6	1.3	1.6	1.1	
9	2.2	4.1	2.7	1.9	1.6	1.1	1.3	2.7	2.2	2.5	1.3	1.6	
10	3.3	2.5	1.1	2.5	1.1	.8	1.1	2.2	3.0	2.2	2.2	1.9	1
11	2.5	1.9	1.3	2.7	1.3	.8	.8	2.7	5.0	1.3	1.3	1.6	1
12	1.6	1.1	1.6	2.7	1.6	.8	1.3	2.5	4.1	1.3	1.6	1.3	1
13	1.9	3.0	2.5	2.2	2.7	.8	1.9	1.6	2.7	1.9	1.9	1.3	1
14	2.2	6.9	1.9	2.5	2.5	.5	2.7	1.3	2.2	2.5	2.5	1.9	1
15	2.5	2.5	.8	1.6	1.6	.8	2.5	1.1	1.9	1.9	2.5	1.3	1
16	1.6	1.3	1.1	1.3	1.3	.8	2.2	1.3	2.5	1.3	2.7	2.2	1
17	1.3	1.3	1.6	1.1	1.9	1.1	1.9	1.1	3.0	1.9	2.5	1.1	1
18	1.6	1.3	1.6	1.9	1.6	.8	1.9	1.9	2.2	1.9	1.6	1.1	1
19	1.6	1.1	2.2	1.3	1.1	.8	1.9	1.6	2.2	2.2	1.9	1.6	1
20	1.3	2.2	2.2	1.3	1.1	.5	1.3	2.2	2.2	1.6	1.9	.8	2
21	1.6	1.9	1.9	1.6	1.1	.8	1.3	1.9	2.7	1.9	2.2	1.9	2
22	2.5	1.6	2.2	1.9	1.6	.8	1.1	1.3	2.7	2.5	1.9	1.6	2
23	2.7	1.3	3.0	1.6	1.6	.8	1.3	1.6	1.9	1.9	1.1	1.3	2
24	2.2	1.1	2.7	1.3	2.5	.8	1.6	1.6	1.3	1.3	2.2	1.6	2
25	1.6	1.6	1.6	1.3	2.2	.8	2.2	1.6	1.3	1.3	1.6	1.3	2
26	1.6	1.1	2.5	1.9	1.6	1.9	1.6	1.3	1.3	1.6	1.1	1.9	2
27	1.1	1.1	1.9	1.6	1.3	3.3	1.3	1.9	1.6	1.6	1.6	2.7	2
28	.8	2.2	2.2	1.3	1.6	2.2	1.3	1.6	1.1	1.3	1.6	3.0	2
29	.8		2.7	.8	1.6	2.2	1.3	1.9	1.6	2.5	1.6	1.6	2
30	1.1		2.5	1.1	1.6	1.1	1.3	1.6	1.9	2.5	1.6	1.9	3
31	1.3		1.6		1.1		1.6	1.6		2.7		1.6	3
1	2.3	2.2	2.6	2.2	1.5	1.5	2.3	1.5	2.3	1.9	1.7	1.5	
2	1.8	2.3	1.7	1.9	1.7	.8	1.8	1.7	2.8	1.8	2.0	1.4	
3	1.6	1.5	2.3	1.4	1.6	1.5	1.4	1.6	1.7	1.9	1.7	1.9	
Moy	1.9	2.0	2.2	1.8	1.6	1.2	1.8	1.6	2.3	1.9	1.8	1.6	

MOYENNE ANNUELLE : 1.81

Vent en m/s

ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	1.9	4.4	2.5	2.5	1.3	1.3	1.3	3.3	1.3	2.7	2.5	2.7	1
2	2.5	1.1	1.6	1.9	1.3	1.3	1.3	2.5	1.1	2.2	1.3	1.9	2
3	2.5	1.6	1.1	1.9	1.3	1.3	1.3	2.2	2.2	1.9	1.6	2.2	3
4	3.0	1.9	.8	1.9	1.1	1.6	1.6	1.3	1.9	2.5	1.9	1.6	4
5	3.3	1.1	1.6	2.2	2.5	2.7	1.6	2.2	1.3	1.9	1.9	1.9	5
6	1.9	1.6	1.3	1.3	2.7	2.5	1.6	2.7	2.2	1.9	1.9	2.5	6
7	3.0	2.2	1.9	1.3	2.7	2.2	2.2	2.5	2.2	1.3	1.9	2.5	7
8	4.1	3.0	2.2	1.1	2.2	1.9	2.2	2.5	1.3	1.9	1.9	1.9	8
9	3.0	1.9	1.6	1.1	2.2	1.9	1.6	3.0	2.5	2.7	2.7	1.9	9
10	2.2	1.3	4.7	1.1	1.1	1.1	1.6	1.9	2.7	3.0	1.6	1.9	10
11	2.7	1.3	3.8	1.1	1.3	2.7	1.9	1.9	2.2	1.9	2.5	1.9	11
12	5.0	1.6	3.8	1.1	1.3	4.4	1.6	1.1	2.2	2.5	3.3	2.5	12
13	4.1	1.3	2.5	1.1	1.6	3.8	1.6	2.2	1.9	1.9	2.5	1.9	13
14	3.0	1.9	1.1	1.3	1.3	2.7	1.6	2.5	1.3	1.6	2.2	2.7	14
15	1.1	2.2	1.3	1.3	.8	2.7	1.3	3.0	1.6	1.6	2.2	3.3	15
16	1.3	2.7	2.2	1.9	1.1	2.7	1.6	3.6	1.3	2.2	1.9	3.0	16
17	1.6	2.2	1.6	3.0	1.1	2.5	1.9	2.5	2.2	2.5	2.2	2.5	17
18	1.3	2.7	2.2	3.8	1.1	2.2	2.5	3.0	3.0	3.0	1.9	1.3	18
19	1.9	2.2	1.9	2.7	1.3	1.3	2.5	2.7	3.6	3.0	2.5	1.9	19
20	2.2	2.2	2.2	1.6	1.6	1.1	2.2	1.6	3.0	2.7	3.0	1.9	20
21	3.3	2.2	2.2	2.2	1.3	1.6	1.6	1.3	1.9	2.5	2.2	1.3	21
22	2.2	1.3	2.7	2.5	1.3	2.5	2.2	1.9	1.9	2.5	1.9	1.6	22
23	2.5	.8	2.5	2.2	1.3	1.9	2.7	3.8	1.3	3.3	1.9	2.7	23
24	2.5	1.3	2.5	1.9	1.6	2.5	2.7	4.1	1.6	3.0	1.9	1.6	24
25	2.5	1.3	2.2	3.0	2.2	2.5	2.2	3.3	1.9	3.3	2.2	1.9	25
26	2.5	1.1	1.3	2.5	1.3	1.9	1.9	2.5	1.1	2.7	1.9	1.3	26
27	2.2	.8	1.6	2.7	1.1	2.2	1.6	3.0	1.6	1.6	1.6	1.6	27
28	2.7	1.3	2.7	2.7	1.6	2.5	1.6	2.2	2.2	1.3	1.9	1.6	28
29	3.6		3.0	1.9	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	1.1	2.7	3.3	29
30	3.0		1.9	1.9	1.6	1.3	1.9	1.1	2.7	2.2	2.7	2.5	30
31	5.8		.5		1.1		3.6	1.1		2.2		2.5	31
1	2.7	2.0	1.9	1.6	1.8	1.8	1.6	2.4	1.9	2.2	1.9	2.1	
2	2.4	2.0	2.3	1.9	1.3	2.6	1.9	2.4	2.2	2.3	2.4	2.3	
3	3.0	1.3	2.1	2.3	1.4	2.0	2.1	2.3	1.9	2.3	2.1	2.0	
Moy	2.7	1.8	2.1	2.0	1.5	2.1	1.9	2.4	2.0	2.3	2.1	2.1	

MOYENNE ANNUELLE : 2.09

Vent en m/s

ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	3.0	2.2	2.5	1.1	1.6	2.2	1.1	1.6	1.6	1.9	1.6	1.9	1
2	2.7	2.2	2.5	1.3	1.6	1.6	1.3	2.5	1.3	2.5	1.6	1.9	2
3	1.3	1.6	2.2	1.1	.8	1.3	1.9	2.5	1.3	2.2	1.6	1.6	3
4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.9	1.6	1.6	2.2	1.6	1.9	4
5	1.3	1.6	1.1	1.3	.8	1.1	2.2	1.9	2.7	2.5	1.6	1.9	5
6	1.6	1.9	1.1	1.3	.8	1.1	2.7	1.3	1.6	2.2	2.2	3.3	6
7	1.6	1.9	2.5	1.3	1.3	1.3	2.7	1.1	1.3	1.3	2.2	2.7	7
8	1.6	1.1	2.7	1.1	1.3	1.3	3.0	1.6	1.1	1.3	1.9	1.9	8
9	1.6	1.1	2.5	1.3	.5	.8	2.7	2.2	1.9	1.1	1.1	1.9	9
10	2.2	.8	.8	1.6	.8	.8	2.2	1.6	2.7	1.3	1.6	1.3	10
11	2.7	1.3	.8	1.6	1.1	1.6	2.2	.8	2.2	1.6	1.6	1.9	11
12	2.7	1.3	1.1	1.9	1.3	1.1	1.9	1.6	2.7	1.1	1.9	1.6	12
13	3.3	1.6	1.6	2.5	3.8	1.1	1.9	2.5	3.3	1.3	1.6	2.5	13
14	2.7	1.6	1.3	1.9	1.1	1.1	2.2	3.0	2.5	1.9	1.6	1.1	14
15	2.7	1.1	1.9	1.3	.8	2.7	2.5	3.8	2.7	2.2	2.2	1.1	15
16	2.5	1.9	1.6	1.3	1.3	2.7	2.7	2.7	2.7	1.6	2.2	.8	16
17	1.9	1.9	1.3	1.6	.8	1.6	3.0	2.7	2.7	2.2	2.2	1.3	17
18	1.3	.8	1.1	1.6	1.1	2.2	1.3	3.3	2.7	1.9	2.7	1.3	18
19	2.5	1.6	1.9	1.6	.5	2.5	.8	2.7	2.2	1.6	2.5	1.1	19
20	3.3	1.3	2.2	1.3	1.1	3.6	1.3	2.2	1.9	1.6	1.6	1.6	20
21	2.7	2.2	3.6	1.1	1.3	2.7	1.1	1.6	2.5	1.6	1.9	2.5	21
22	2.2	1.9	2.5	1.1	1.1	2.5	1.3	1.6	3.0	2.5	1.9	.8	22
23	2.2	2.2	2.5	1.1	1.1	2.2	1.1	2.5	2.2	2.5	1.3	.8	23
24	1.9	2.7	2.2	.8	1.1	2.7	1.6	1.3	1.9	1.6	1.6	1.6	24
25	1.9	2.2	2.2	1.6	1.9	2.2	2.2	1.1	2.2	1.6	1.3	1.3	25
26	1.9	1.9	2.2	1.1	1.3	2.7	1.6	1.3	3.0	2.2	1.3	1.3	26
27	1.9	1.6	2.5	1.1	.8	2.5	2.2	1.6	3.0	1.9	1.6	1.9	27
28	2.5	1.6	2.2	1.1	1.1	1.6	1.1	1.6	2.7	2.2	1.3	1.3	28
29	2.2		1.9	1.1	1.6	1.3	2.2	2.2	2.7	1.6	1.3	1.6	29
30	2.5		1.3	1.3	1.6	1.1	2.5	2.2	1.9	2.2	1.6	1.6	30
31	1.9		.8		.8		1.9	1.6		1.6		1.1	31
1	1.8	1.5	1.9	1.3	1.1	1.3	2.2	1.8	1.7	1.9	1.7	2.0	
2	2.6	1.4	1.5	1.7	1.3	2.0	2.0	2.5	2.6	1.7	2.0	1.4	
3	2.2	2.0	2.2	1.1	1.2	2.2	1.7	1.7	2.5	2.0	1.5	1.4	
Moy	2.2	1.6	1.9	1.3	1.2	1.8	1.9	2.0	2.3	1.8	1.7	1.6	
MOYENNE ANNUELLE :					1.79								

o	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	3.8	2.6	5.2	5.0	5.1	4.9	5.0	4.3	4.5	4.7	4.0	3.1	1
2	2.8	4.6	5.5	4.7	3.9	4.1	2.9	4.7	3.2	4.6	4.8	3.6	2
3	2.7	3.3	5.4	4.8	5.2	5.2	4.6	4.7	3.6	4.2	4.7	3.4	3
4	3.5	4.3	3.7	5.5	4.0	5.1	5.2	4.7	4.6	3.0	4.3	3.4	4
5	2.1	4.7	4.7	4.8	4.1	4.8	5.0	5.2	5.2	3.7	4.4	3.3	5
6	3.0	3.7	4.5	4.1	5.5	4.9	3.5	4.6	5.3	4.5	4.5	2.8	6
7	3.2	4.6	3.8	4.4	5.4	3.8	4.0	4.8	5.1	4.7	4.3	2.8	7
8	3.4	5.0	4.9	3.6	5.5	3.4	4.0	3.2	5.0	4.5	4.7	3.2	8
9	4.3	4.2	4.7	5.5	5.3	4.4	4.3	2.7	5.7	4.7	4.7	3.0	9
0	4.2	5.2	4.5	5.7	2.5	4.5	5.1	3.9	5.1	3.9	4.9	2.8	10
1	4.7	3.9	5.1	5.0	4.2	2.8	4.6	4.1	3.0	3.7	4.4	3.3	11
2	2.8	2.0	5.0	2.1	5.4	3.2	3.8	3.4	2.8	3.7	3.9	3.5	12
3	3.4	1.6	5.2	5.5	5.5	3.9	5.0	4.3	3.2	4.0	4.7	3.9	13
4	3.9	4.5	5.1	5.6	5.0	4.9	4.1	5.0	5.0	3.2	4.2	4.2	14
5	4.2	4.2	4.1	6.1	4.7	4.5	2.9	3.8	4.9	3.4	3.4	3.9	15
6	4.4	4.3	3.9	5.0	4.8	5.3	4.3	5.0	4.8	4.3	3.2	4.1	16
7	3.4	2.0	3.8	6.1	4.8	4.3	3.3	4.7	5.5	4.9	4.2	3.6	17
8	2.9	3.0	4.1	5.8	4.0	3.1	2.6	4.9	5.2	4.7	3.9	1.8	18
9	2.9	3.9	3.9	5.1	5.3	3.9	3.2	3.4	4.7	3.2	3.1	1.5	19
0	2.8	3.5	4.0	5.2	3.3	5.0	4.1	3.8	4.4	3.6	2.5	2.9	20
1	1.4	4.1	5.3	5.3	5.1	5.0	3.9	3.8	4.2	3.9	2.8	2.7	21
2	1.5	5.3	4.5	5.0	4.6	4.9	5.0	3.7	5.4	3.6	2.5	3.1	22
3	1.4	5.4	5.4	4.5	2.5	4.5	5.1	4.4	5.5	4.5	2.8	1.9	23
4	1.4	3.4	5.4	5.1	5.2	3.4	4.9	2.5	5.1	4.5	2.2	1.9	24
5	2.0	4.2	5.3	3.4	5.0	3.5	4.9	3.5	4.6	4.4	3.2	2.3	25
6	3.5	4.4	5.7	4.6	4.6	4.9	3.5	4.9	4.7	4.4	2.5	3.9	26
7	3.3	4.5	3.4	4.8	4.8	4.0	4.6	5.8	5.0	4.3	1.8	4.0	27
8	2.2	4.4	4.7	5.6	5.0	2.9	4.5	5.0	4.8	4.2	1.9	4.1	28
9	1.9		5.5	5.6	5.3	3.8	3.5	2.6	4.5	3.8	4.0	3.9	29
0	1.9		5.4	5.6	4.7	5.4	3.4	4.3	4.6	4.4	3.4	3.9	30
1	-.1		5.0		5.1		2.4	3.7		3.9		4.0	31
1	3.3	4.2	4.7	4.8	4.7	4.5	4.4	4.3	4.7	4.3	4.5	3.1	
2	3.5	3.3	4.4	5.2	4.7	4.1	3.8	4.2	4.3	3.9	3.8	3.3	
3	2.0	4.5	5.1	4.9	4.7	4.2	4.2	4.0	4.8	4.2	2.7	3.2	
oy	3.0	4.0	4.7	5.0	4.7	4.3	4.1	4.2	4.6	4.1	3.7	3.2	

MOYENNE ANNUELLE : 4.12

ANNEXE 9

E.T.P Penman en mm

ANNEE : 1972 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	J
1	3.6	3.2	5.0	4.8	6.1	4.2	4.5	4.9	5.2	5.1	2.9	3.1	
2	3.8	2.5	2.5	4.4	5.3	4.7	4.1	4.9	5.4	5.1	2.7	3.6	
3	3.8	2.3	3.3	5.2	6.0	5.5	3.8	4.6	5.7	4.6	3.4	3.1	
4	4.2	1.9	5.0	4.9	5.5	5.3	3.7	5.5	5.2	5.1	3.7	3.4	
5	3.4	1.5	4.9	5.0	4.5	5.1	3.2	5.0	5.1	4.3	4.1	4.1	
6	3.1	2.9	2.9	4.7	3.4	5.1	3.4	4.6	5.3	4.3	4.2	4.0	
7	4.0	3.7	1.8	4.5	5.3	5.3	4.4	5.3	5.2	4.8	4.8	4.0	
8	4.0	3.2	2.5	4.5	5.9	5.2	5.1	4.5	5.3	4.8	4.7	3.9	
9	4.1	3.2	1.6	5.3	2.5	4.8	3.7	4.3	4.9	4.2	4.2	3.6	
10	3.5	4.6	1.5	5.3	5.9	5.0	5.4	4.6	4.8	4.3	3.6	4.1	1
11	2.9	5.1	2.7	5.5	5.3	5.3	4.8	5.2	4.9	4.6	3.5	4.0	1
12	2.7	3.0	2.1	5.3	5.9	4.3	5.0	4.2	4.2	4.5	2.5	3.5	1
13	3.3	4.3	3.1	3.2	5.5	4.1	5.3	3.6	3.5	4.1	4.1	3.9	1
14	3.0	1.5	3.8	5.9	4.4	4.2	4.7	3.3	4.5	4.2	4.2	3.6	1
15	3.3	2.0	4.0	5.3	5.6	4.2	3.6	4.3	4.7	2.4	4.6	2.3	1
16	4.2	3.4	5.3	6.0	4.6	5.2	3.2	5.7	3.9	3.7	4.8	2.6	1
17	4.4	3.7	5.2	5.6	4.4	4.2	3.4	5.1	3.0	3.0	4.3	2.5	1
18	4.5	3.1	3.7	5.4	4.8	4.9	3.5	5.1	2.0	1.9	3.4	2.1	1
19	3.8	1.6	4.0	3.7	4.0	5.2	5.1	4.9	3.9	1.8	2.3	2.8	1
20	2.4	3.9	4.4	4.7	4.2	4.7	2.4	5.5	3.9	2.5	3.6	2.0	2
21	3.2	2.1	2.6	4.6	4.3	5.1	4.3	5.2	4.3	4.1	2.1	2.2	2
22	4.1	4.7	3.9	6.2	3.3	5.1	4.8	4.6	5.3	5.2	3.8	1.4	2
23	4.9	3.2	3.2	6.0	4.9	4.5	4.3	4.2	5.4	4.3	2.8	1.2	2
24	4.4	3.6	5.5	5.8	3.8	5.2	4.4	5.0	4.6	4.9	3.5	1.5	2
25	4.2	3.9	3.4	5.4	3.1	4.4	4.3	4.9	5.5	4.6	3.9	2.3	2
26	3.0	4.6	5.3	5.9	4.0	3.5	2.8	5.7	5.2	4.3	3.1	3.3	2
27	3.4	5.2	5.0	5.0	5.6	4.4	4.8	5.8	5.7	4.1	3.5	4.1	2
28	3.4	4.9	5.2	5.3	5.4	2.7	4.7	5.0	5.0	3.1	3.0	1.8	2
29	2.6		4.8	6.3	4.2	4.2	2.8	6.2	5.4	4.3	2.6	2.3	2
30	2.9		5.6	6.0	3.1	4.1	4.3	6.0	5.4	4.6	2.6	2.0	3
31	3.8		4.6		5.2		5.0	4.8		- .1		3.5	3
1	3.8	2.9	3.1	4.9	5.0	5.0	4.1	4.8	5.2	4.7	3.8	3.7	
2	3.5	3.2	3.8	5.1	4.9	4.6	4.1	4.7	3.9	3.3	3.7	2.9	
3	3.6	4.0	4.5	5.6	4.3	4.3	4.2	5.2	5.2	4.3	3.1	2.3	
Moy	3.6	3.3	3.8	5.2	4.7	4.7	4.2	4.9	4.7	4.1	3.5	3.0	

MOYENNE ANNUELLE : 4.14

E.T.P Penman en mm

ANNEE : 1973 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	2.1	5.2	3.8	5.6	5.8	4.8	4.8	2.3	5.8	4.6	4.6	4.0	1
2	2.5	2.6	2.7	4.0	4.7	4.8	4.6	4.0	5.7	4.5	4.5	3.8	2
3	3.0	2.1	4.0	2.4	5.8	2.7	5.3	5.2	5.5	4.9	3.9	2.7	3
4	3.3	2.1	2.7	2.0	6.0	5.0	4.7	4.0	2.6	5.7	4.1	1.6	4
5	1.9	2.7	4.3	3.0	5.3	4.9	5.3	5.2	2.7	5.1	3.8	2.8	5
6	1.3	3.6	5.2	5.8	4.8	4.7	3.9	3.6	5.2	5.3	4.1	2.6	6
7	2.0	4.4	4.1	4.6	5.8	4.5	5.4	3.2	5.2	4.9	3.3	2.9	7
8	3.6	4.3	5.2	5.4	3.5	2.4	4.5	3.9	4.9	4.2	3.3	4.1	8
9	4.6	4.3	3.6	5.4	3.7	1.9	5.3	4.9	5.6	5.2	3.8	3.5	9
10	3.7	4.5	5.5	5.0	4.7	4.3	5.1	3.5	5.6	5.0	4.4	3.9	10
11	3.1	5.1	5.6	5.5	5.4	5.6	5.0	3.5	5.2	4.9	4.1	2.9	11
12	2.9	5.2	6.1	4.9	5.9	4.5	4.7	5.1	5.0	5.1	5.1	3.7	12
13	2.1	4.5	5.9	5.6	5.0	4.6	5.2	5.5	5.3	4.8	3.6	3.2	13
14	4.1	4.3	2.9	6.2	5.9	3.3	4.7	4.3	5.2	4.7	2.6	3.9	14
15	2.3	3.9	3.8	5.4	4.6	3.5	4.1	4.7	5.6	4.9	2.3	3.9	15
16	2.2	3.1	4.8	5.8	4.9	3.6	4.1	4.6	5.7	5.0	3.9	2.5	16
17	3.0	1.7	3.5	4.9	5.9	4.4	2.1	5.1	5.4	4.5	4.1	3.7	17
18	4.2	1.7	5.1	3.5	5.8	4.6	3.1	5.1	5.1	3.9	3.9	3.3	18
19	3.9	1.6	5.9	2.3	5.8	2.7	2.9	4.8	3.9	3.2	4.0	3.1	19
20	1.7	2.9	5.9	4.4	5.6	4.0	4.4	4.5	3.6	3.6	3.8	2.8	20
21	4.4	2.8	5.7	4.3	5.4	4.9	3.1	2.7	3.8	3.9	3.9	1.6	21
22	3.4	2.4	5.8	4.3	5.7	4.1	4.7	4.9	4.7	4.6	3.4	1.4	22
23	4.0	4.2	4.9	4.5	3.6	3.6	3.0	2.1	4.3	4.5	3.1	2.1	23
24	4.6	3.5	4.2	5.5	5.1	3.5	3.6	5.1	5.1	4.1	2.5	1.4	24
25	4.5	3.1	4.8	3.2	5.5	4.1	3.5	4.7	5.4	3.5	3.4	1.9	25
26	5.0	3.1	3.6	3.8	4.2	4.3	3.0	4.2	5.1	2.4	3.4	3.0	26
27	1.9	2.9	1.8	3.3	4.8	4.3	3.9	4.5	5.5	2.4	2.5	3.0	27
28	2.1	1.7	2.4	4.3	5.0	5.4	3.8	5.0	5.4	3.4	3.3	3.0	28
29	1.5		3.1	4.0	5.2	4.6	5.1	5.4	5.2	3.8	3.3	1.8	29
30	1.4		3.8	5.3	2.4	5.4	5.4	5.5	3.8	4.8	3.0	1.6	30
31	2.2		3.1		3.1		2.7	4.7		4.3		-1	31
1	2.8	3.6	4.1	4.3	5.0	4.0	4.9	4.0	4.9	4.9	4.0	3.2	
2	3.0	3.4	4.9	4.9	5.5	4.1	4.0	4.7	5.0	4.5	3.7	3.3	
3	3.2	3.0	3.9	4.3	4.5	4.4	3.8	4.4	4.8	3.8	3.2	2.1	
Moy	3.0	3.3	4.3	4.5	5.0	4.2	4.2	4.4	4.9	4.4	3.6	2.9	

MOYENNE ANNUELLE : 4.05

E.T.P Penman en mm

ANNEE : 1974 1257266800 TANANARIVE SCM

Jo	Janvi	Fevri	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Septe	Octob	Novem	Decemb	Jo
1	3.3	3.7	4.8	4.9	2.5	5.5	4.3	4.9	5.4	5.1	3.7	4.1	1
2	4.5	2.8	4.4	3.4	5.2	5.5	4.6	4.6	4.6	5.1	2.8	3.5	2
3	2.1	2.5	4.5	5.0	3.5	2.8	3.3	3.9	4.7	4.7	3.5	3.9	3
4	3.0	2.7	4.5	3.1	4.3	4.0	4.6	3.2	5.4	4.3	4.0	2.0	4
5	2.1	2.4	4.1	5.4	4.7	4.3	3.9	4.0	3.6	4.8	3.3	2.2	5
6	2.0	1.5	3.0	4.5	5.0	2.2	4.0	4.6	2.0	5.0	3.8	1.6	6
7	2.3	2.8	4.7	3.3	3.8	4.6	3.7	5.3	4.5	4.1	4.1	2.8	7
8	2.4	1.5	4.2	4.5	3.4	3.1	4.6	5.5	4.0	4.8	4.2	3.6	8
9	2.2	1.6	4.6	5.4	5.0	4.8	3.6	5.4	2.7	4.5	4.2	3.7	9
10	3.7	3.7	4.1	5.4	5.6	4.4	2.5	3.5	5.5	4.0	4.5	2.0	10
11	3.2	2.4	4.4	5.7	3.5	5.0	3.3	5.2	5.0	4.4	4.5	3.2	11
12	3.3	2.1	1.8	4.5	3.9	4.9	4.6	5.3	4.5	3.9	4.2	3.6	12
13	4.1	4.1	4.5	2.9	5.6	5.6	4.2	5.3	3.4	4.9	4.3	4.5	13
14	2.9	4.5	3.2	3.3	5.6	4.4	4.6	3.8	3.2	2.9	4.9	3.1	14
15	3.1	3.1	4.5	2.5	4.6	3.2	3.3	4.1	2.7	4.3	3.8	3.6	15
16	3.3	4.3	3.8	5.0	4.8	4.7	3.1	2.2	2.8	4.3	3.2	2.0	16
17	3.8	4.6	4.9	4.4	4.9	5.0	5.1	4.2	4.1	4.3	2.3	2.7	17
18	3.7	4.4	3.6	4.9	4.3	5.0	3.4	4.5	4.6	4.2	3.7	2.0	18
19	4.4	4.4	3.0	4.6	3.7	3.2	4.4	3.5	5.1	4.7	4.2	1.9	19
20	1.4	3.7	2.5	3.5	5.2	4.5	5.3	4.9	4.7	4.4	4.0	2.3	20
21	3.8	4.8	2.7	2.0	5.9	4.6	5.0	3.7	5.1	4.9	3.9	3.2	21
22	4.2	3.1	3.9	4.1	5.5	2.0	3.7	4.3	5.1	4.6	3.5	2.9	22
23	3.9	3.6	3.0	5.7	4.8	1.7	4.0	3.9	4.9	4.4	2.7	2.5	23
24	3.6	4.7	3.1	4.9	3.5	2.0	4.6	3.5	5.0	1.9	3.8	2.8	24
25	4.5	2.2	3.2	6.1	5.1	2.9	4.0	5.0	5.1	2.8	4.1	2.7	25
26	2.6	2.5	3.2	5.4	4.8	4.6	5.1	4.5	5.4	3.6	4.4	2.3	26
27	3.0	5.1	3.0	3.5	4.0	3.8	4.9	4.6	5.5	3.1	4.2	3.5	27
28	3.3	3.3	3.3	1.7	5.1	3.3	3.8	5.7	5.3	4.3	4.0	4.1	28
29	3.8		5.3	4.0	5.4	3.1	5.2	5.6	5.5	4.0	4.1	3.5	29
30	3.2		5.1	4.5	3.2	4.4	4.8	5.4	5.4	3.8	3.8	2.9	30
31	2.5		-1		4.9		3.5	5.7		4.4		1.9	31
1	2.8	2.5	4.3	4.5	4.3	4.1	3.9	4.5	4.2	4.6	3.8	2.9	
2	3.3	3.8	3.6	4.1	4.6	4.6	4.1	4.3	4.0	4.2	3.9	2.9	
3	3.5	3.7	3.6	4.2	4.7	3.2	4.4	4.7	5.2	3.8	3.8	2.9	
Moy	3.2	3.3	3.8	4.3	4.6	4.0	4.2	4.5	4.5	4.2	3.9	2.9	

MOYENNE ANNUELLE : 3.94