Marie-Agnès Bersot

Caractérisation Hydrologique d'un Système Endoréique Temporaire au Niger: la Mare de Kafina

Rapport de maîtrise sciences de l'environnement, 1998/1999.

Maître de stage : Christian Leduc

IRD

Marie-Agnès Bersot

Caractérisation Hydrologique d'un Système Endoréique Temporaire au Niger: la Mare de Kafina

Rapport de maîtrise sciences de l'environnement, 1998/1999.

Maître de stage : Christian Leduc

IRD

Sommaire

INTRODUCTION 4

CONTEXTE SCIENTIFIQUE 5

I^ÈRE PARTIE : PRÉSENTATION 6

CHAPITRE I : LE MILIEU PHYSIQUE 7
1-SITUATION GÉOGRAPHIQUE
2-CONTEXTE CLIMATIQUE
3- LES PLUIES
CHAPITRE II : GÉOLOGIE 10
1 - GÉOMORPHOLOGIE : L'ORIGINE DU PAYSAGE
2-PÉDOLOGIE
CHAPITRE III : HYDROGRAPHIE 12
1 - STRUCTURE HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE
2 - ORIGINE DE LA MARE DE KAFINA

IIÈME PARTIE : ETUDE DE LA VIDANGE 16

CHAPITRE I : ORIGINE DES DONNÉES 17
1 - LE NIVEAU D'EAU
2 - LA SURFACE DE LA MARE
3 - LE VOLUME D'EAU
CHAPITRE II : PLUIES - EPISODES 19
CHAPITRE III : LA VIDANGE 20
1 - DÉFINITIONS
2 - CALCULS
3 - RÉSULTATS
4 - INTERPRÉTATIONS
CHAPITRE IV : INFILTRATION 31
1 - DÉFINITION
2 - A KAFINA
CHAPITRE V : EVAPORATION 32
1 - DÉFINITION
2 - INSTRUMENTATION
3 - PROBLEMATIQUE
4 - CALCULS
5 - RÉSULTATS
CHAPITRE VI : RELATION HAUTEUR/VOLUME 34

IIIÈME PARTIE : RELATIONS AVEC LA NAPPE 35

CONCLUSION 39

BIBLIOGRAPHIE 40

ANNEXES

Introduction

Cette étude, suivie et encadrée par Monsieur C. Leduc, a été réalisée au laboratoire d'hydrologie de l'I.R.D. (Institut de Recherche et de Développement, ex-ORSTOM) de Montpellier durant sept semaines, dans le cadre du stage de la maîtrise de sciences de l'environnement de l'université de Montpellier.
L'étude consiste à établir le bilan hydrologique de la mare de Kafina, située au Sud-Est du Niger, au cours des années 1997 et 1998.

Le but de cette recherche est, tout d'abord, de caractériser les processus de vidange de la mare ; c'est à dire d'identifier des épisodes de vidange par les variations du niveau de la mare, analyser les quantités de pluie tombées sur le site et calculer des intensités de vidange.

La deuxième partie de la recherche consiste en l'analyse détaillée de cette vidange. Les phases d'infiltration et d'évaporation seront étudiées à l'échelle de l'épisode pluvieux et à l'échelle annuelle. L'évolution de 1997 à 1998 de la zone colmatée et de la zone non colmatée sera également analysée

Tous ces résultats seront alors examinés en relation avec la réaction de la nappe phréatique à l'infiltration durant la saison des pluies.

Contexte scientifique

Cette étude fait suite au programme "*bilan hydrologique régional et suivi des mares temporaires*", effectué dans le cadre de l'expérience internationale "*Hapex-sahel*" (acronyme de *Hydrologic and Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel*). Cette dernière s'est déroulée en zone tropicale sèche, dans la région de Niamey au Niger, durant 3 ans (1991 à 1993), sur un degré carré de 110x110 km.

L'étude de Kafina complète également la thèse de J.C. Desconnets, intitulée "typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien", qui ne porta pas sur la mare de Kafina.

Elle a été effectuée dans le cadre du programme MEVHYSA (*Mécanismes de la Variabilité Hydrologique en zone Sahélienne : influences climatiques et environnementales*), au sein de l'équipe du laboratoire d'hydrologie de l'IRD.

Au Sahel, la dégradation du réseau hydrographique est à l'origine d'un mode particulier de redistribution des eaux d'écoulement. Ceci se traduit par la présence de nombreuses zones de stockage durant l'hivernage. Ces mares, temporaires, représentent les deux tiers du système hydrologique de surface du degré carré.

Le principal objectif du programme est d'établir le bilan hydrologique régional au sein des systèmes endoréiques ; c'est à dire, de quantifier la partition des eaux, concentrées dans ces réservoirs, entre évaporation vers l'atmosphère et infiltration vers la zone non saturée et vers les nappes profondes, durant la saison des pluies.

I^ÈRE PARTIE : PRÉSENTATION

Cette présentation a pour objectif de préciser les conditions particulières, tant physiques que sociales, qui règnent autour de la mare de Kafina, et qui expliquent pourquoi cette si petite étendue d'eau concentre tant d'énergies et tant d'attention.

CHAPITRE I : LE MILIEU PHYSIQUE

1-SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le Sahel représente la zone de transition entre l'Afrique désertique et l'Afrique tropicale, au sud de la zone saharienne. Niamey se situe au cœur de ce domaine semi-aride. Le secteur considéré est sur la rive gauche du fleuve Niger, sur le" degré carré" de Niamey, entre 13 et 14°N et 2 et 3°E. La zone d'étude est située à une soixantaine de kilomètres de Niamey. La mare de Kafina se trouve à 2°43' de longitude Est et à 13°44' de latitude N (figure 1).

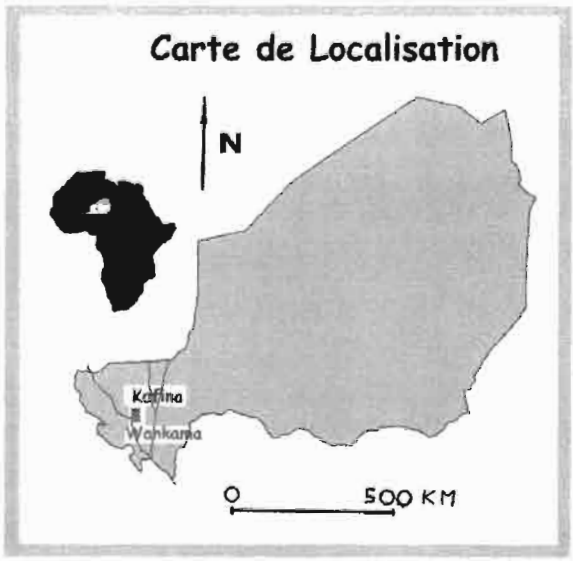


Figure 1

2-CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat, autour de Kafina, est de type sahélien semi-aride, caractérisé par une courte saison des pluies qui s'oppose à une longue saison sèche. La majorité des pluies se concentre de juillet à septembre.

A - La température de l'air

La Température moyenne en saison sèche est de 36°C, le maximum pouvant atteindre 45°C. En saison des pluies celle-ci n'est plus que de 22.1°C. Les amplitudes journalières peuvent varier de 9 à 15°C suivant la saison (cf. figure 2 ci-dessous).

Température de l'air

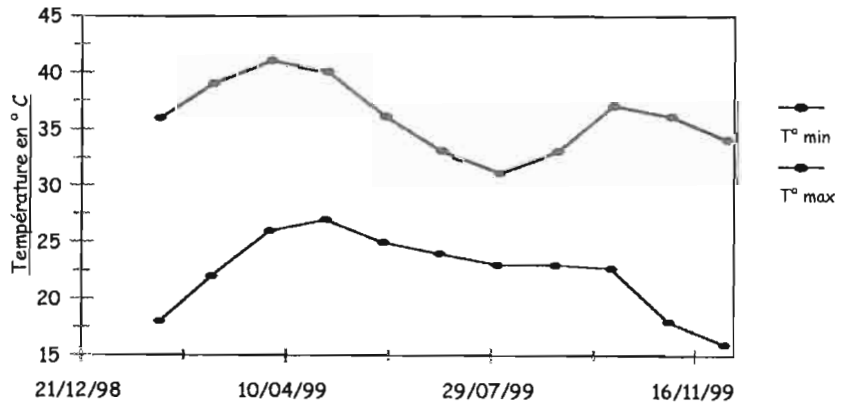


Figure 2

B - Le vent

Deux vents dominent : l'Harmatan, d'octobre à avril et venant du Sahara, il est caractérisé par un transport solide important. Ensuite soufflent les vents humides associés à la mousson guinéenne, de mai à septembre (cf. figure 3).

vitesse du vent

Figure 3

C - L'évaporation

Les variations saisonnières sont très représentatives de l'alternance saison sèche / saison pluvieuse (cf. figure 4). Dans les régions sahéliennes, c'est une composante non négligeable du bilan hydrologique. L'évaporation sera détaillée dans la deuxième partie

Evaporation journalière

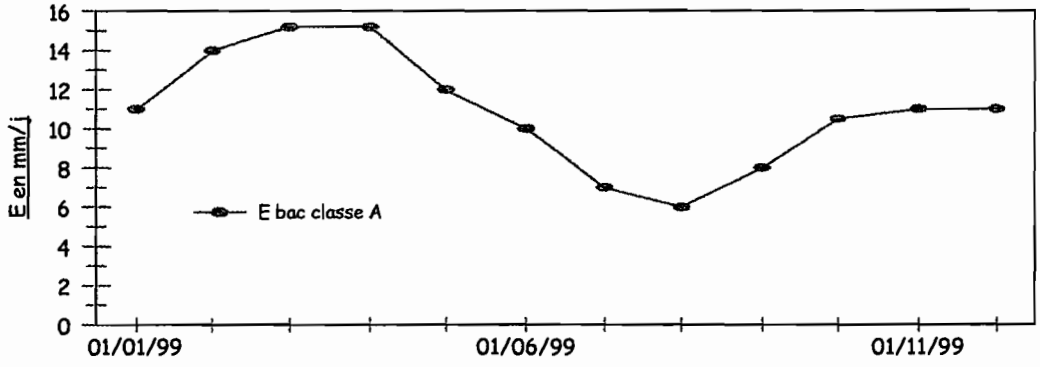


Figure 4

D - La végétation

Typique des régions semi-arides, elle est composée de savanes arborées et de savanes arbustives. Les plateaux latéritiques sont marqués par la brousse tigrée, composée de bandes de végétation dense, séparées par de larges espaces nus.

3- LES PLUIES

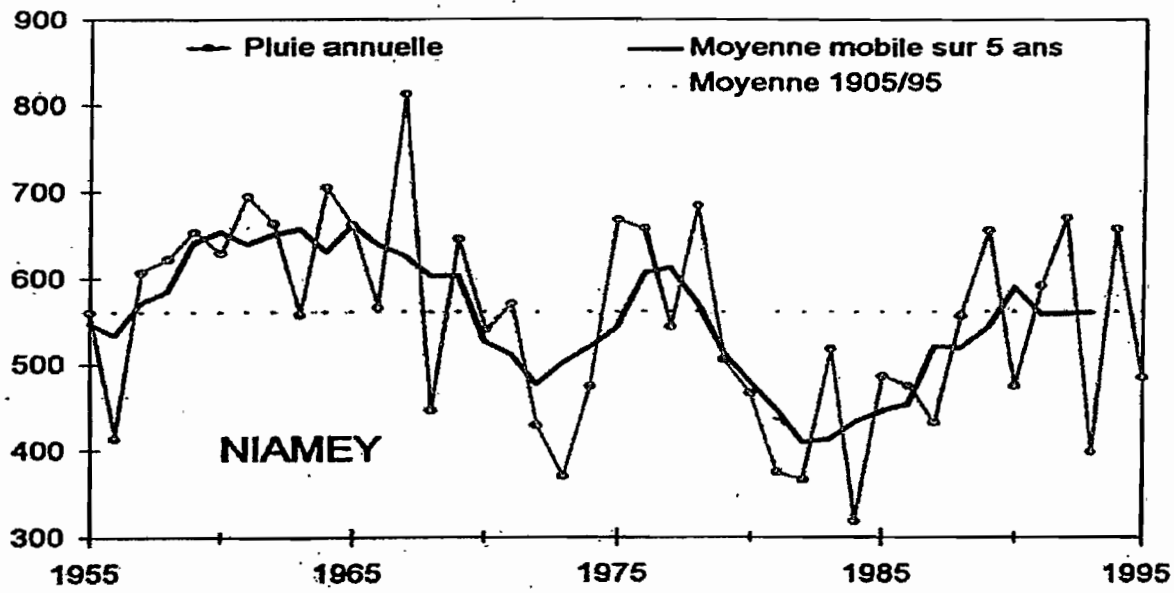
A - Considérations générales

La distribution mensuelle des pluies dans le climat sahélien a la particularité d'opposer une courte saison des pluies à une longue saison sèche.

La première est synonyme de mousson, dans cette zone sahélienne ; elle couvre les mois d'avril à octobre et tout particulièrement ceux de juillet, août et septembre. La caractéristique essentielle du régime pluviométrique est alors son extrême variabilité, spatiale comme temporelle.

B - Données initiales

Avant l'expérience HAPEX-Sahel, la campagne EPSAT-Niger d'estimation par satellite de la pluviométrie, au Niger, mise en place dès 1989 (Lebel et al ,1992), a permis l'installation d'un important réseau de pluviographes (81 en 1989, 109 en 1992). Ce dispositif a permis de caractériser la très grande variabilité spatiale et temporelle des champs pluviométriques, autant à l'échelle de la saison qu'à celle de l'événement : durant la période 1990-1993, 99% des pluies sont ainsi tombées entre le 15 avril et le 15 octobre (figure 5). De même, des gradients de plus de 100mm ont été enregistrés sur des distances de quelques kilomètres.



Pluie annuelle à Niamey depuis 1950.

Figure 5

CHAPITRE II : GÉOLOGIE

1 - GÉOMORPHOLOGIE : L'ORIGINE DU PAYSAGE

Pays de vieille plate forme, la Sahel est terre d'horizontalité. S'y succèdent des paysages de glacis et des paysages dunaires, entrecoupés de reliefs tabulaires hérités d'une histoire géologique et climatique tourmentée.

A l'Est du fleuve Niger, la région des Iullemmeden constitue le grand bassin sédimentaire du Continental Terminal. Mis en place au début de l'ère Tertiaire, cet ensemble sédimentaire est composé de grés argileux et se présente, à l'Eocène supérieur, sous la forme d'une immense cuvette à pente faible, recouverte d'une cuirasse ferrugineuse. Au Pliocène et au Quaternaire, une succession de périodes humides et sèches marque profondément le paysage : les nombreuses vallées fossiles (koris) témoignent d'époques très humides et très érosives. Elles ont ensuite été partiellement comblées par les dépôts sableux éoliens des périodes arides suivantes.

A l'Ouest affleure le socle, précambrien et métamorphisé, à l'histoire beaucoup plus ancienne.

2-PÉDOLOGIE

Les terrains affleurant dans la région appartiennent à un vaste épandage quasi-horizontal et sablo-limoneux du Continental Terminal. Il est armé de niveaux gréseux ou latéritiques et couronné par un plateau cuirassé. Un talus fait transition avec l'unité avale, constituée d'un piémont sableux. Viennent ensuite les zones de bas fond, divisées en zone de bombements et en zones dégradées (toposéquence en figure 6 p.11).

La zone d'étude des mares (Gavaud 1966 - 1975) est caractérisée par des sols ferrugineux peu lessivés. Peu structurés, ils présentent souvent une texture sableuse à plus de 90%.

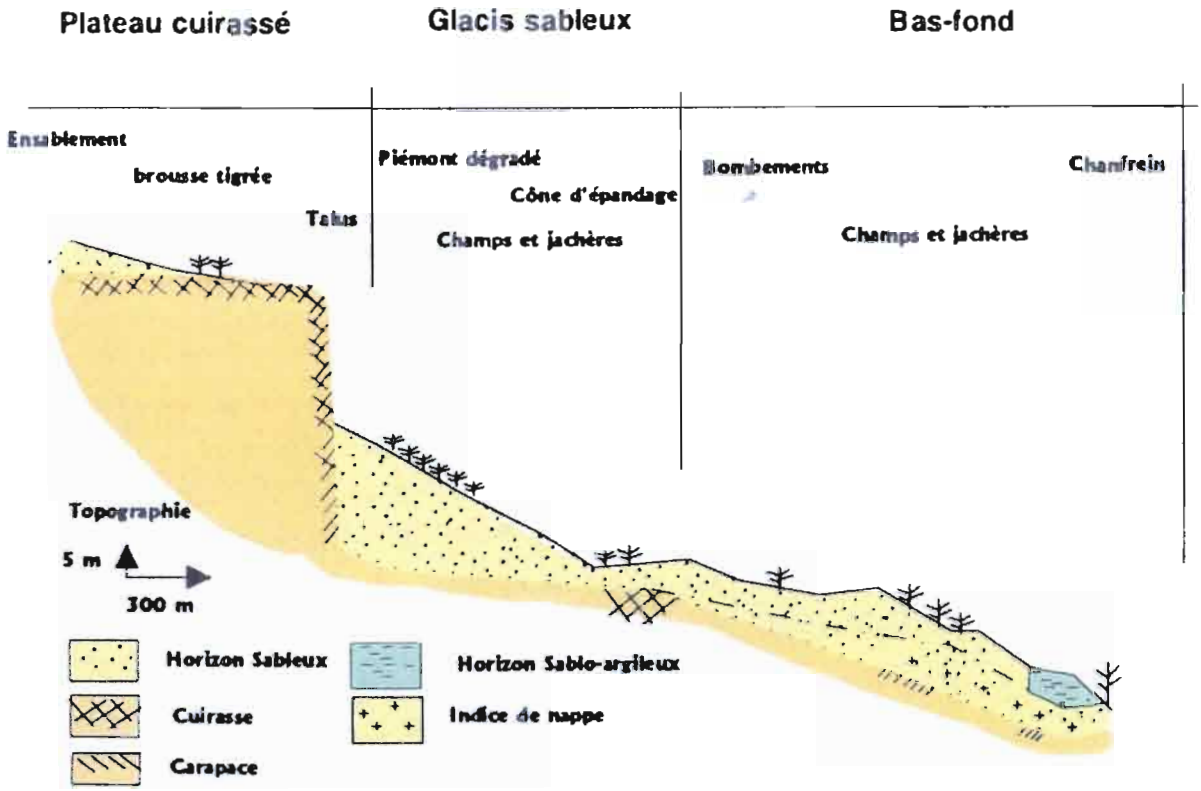


Figure 6:Toposéquence représentative du paysage du degré carré (d'après Courrault *et al.*, 1990)

CHAPITRE III : HYDROGRAPHIE

Seul le fleuve Niger possède un écoulement pérennant ; à l'Est de celui-ci, il n'existe qu'une mosaïque de petits bassins endoréiques. Selon l'intensité des pluies et l'état de la surface, ces bassins contribuent aux écoulements qui peuvent parfois complètement disparaître et se reconstituer en aval pour finalement aboutir à une mare temporaire, lieu privilégié d'infiltration vers la nappe phréatique.

On distingue ainsi :

- les mares formées sur des plateaux à cuirasse ferrugineuse (exemple : mare de Bazanga) ; le faible relief est responsable de l'absence d'organisation hydrologique et de l'individualisation de sous-ensembles hydrologiques (figure 7)
- les mares de bas-fonds (exemple : mare de Wankama), dont l'organisation si particulière est décrite ci-dessous.

1 - STRUCTURE HYDROLOGIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin endoréique correspond au bassin topographique d'alimentation de la mare ou bassin versant. Le bassin alimentant la mare de Kafina est situé dans une vallée sableuse. La dégradation hydrographique du petit bassin versant a pour conséquence une division de cette entité en plusieurs réseaux de drainage, déconnectés les uns des autres. Ainsi il apparaît dans le paysage des ensembles morphologiques bien individualisés et caractéristiques, appelés "vallées fermées" ou "cuvettes".

La mare de Kafina s'est formée dans une de ces vallées sableuses, verrouillées et en forme de cuvette. Elle se trouve à quelques 260m d'altitude. (Figure 7)

Figure 7 : vue aérienne des environs de Kafina

2 - ORIGINE DE LA MARE DE KAFINA

A - Prédispositions

Dans cette région, comme sur l'ensemble du degré carré, l'ancien réseau hydrographique a été obstrué par les dépôts éoliens. Cette désorganisation a pour conséquence principale de privilégier le stockage en mares temporaires, des eaux d'écoulement, dans la région même de leur production.

B - Facteurs agravants

Depuis 1950, l'emprise de l' homme s'est considérablement accrue (forte croissance de la démographie et de la charge animale (figure 8), surtout après les grandes sécheresses des années 1970 et 1980.

Figure 8 : Kafina à la saison des pluies

Les surfaces cultivées ou laissées en jachère courte sont passées de 12% à 63%. La profonde modification du couvert végétal a induit des changements dans la redistribution des eaux de pluie à la surface, et même dans la nappe.

La raréfaction du couvert végétal augmente nettement le ruissellement pour diverses raisons :

- augmentation de surfaces fortement encroûtées (figure 9) ;
- diminution des obstacles à l'écoulement ;
- diminution de l'activité faunique, qui créait une macroporosité très propice à l'infiltration.

Figure 9 : surface encroûtée

C - Conséquences

Cet accroissement du ruissellement se traduit par une hausse des apports en eau vers les mares temporaires. Les récits des habitants de la région confirment cette hypothèse. En effet, il y a vingt ans, le site de la mare n'était qu'une zone humide. Actuellement le plan d'eau peut s'étendre sur quelque 42 500 mètres carrés, lorsque son niveau est au plus haut.

D'un intérêt limité dans les pays tempérés, la mare prend un véritable sens en pays sahélien où elle constitue une réserve d'eau pour les populations rurales et pour leur bétail, au cours de la longue saison sèche.

D'un point de vue hydrologique, une mare est un réservoir naturel de stockage des eaux de ruissellement. Elle constitue aussi le principal exutoire d'un ensemble de bassins temporaires. Elle n'existe qu' au cours de la saison des pluies (figure 9) et s'assèche progressivement dans les semaines et mois qui suivent les dernières précipitations (figure 10).

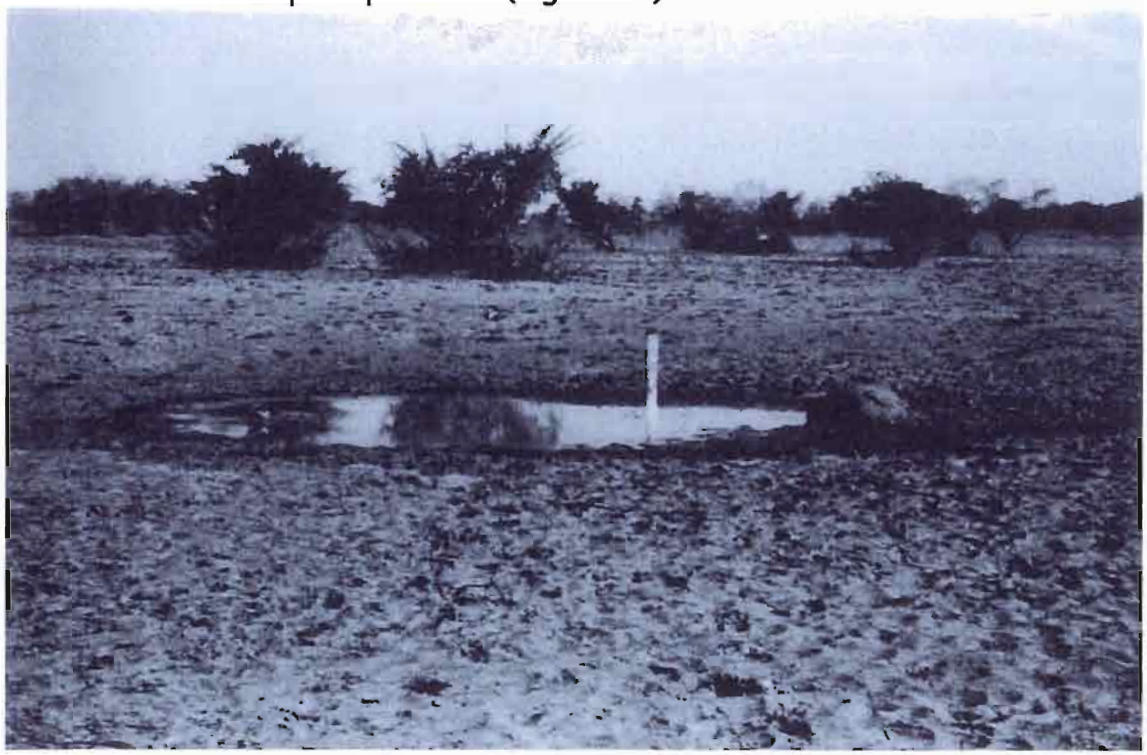


Figure 10 : mare de Kafina en saison sèche

2° PARTIE : ÉTUDE DE LA VIDANGE

Cette étude se consacre essentiellement aux pertes engendrées par l'environnement naturel de la mare (atmosphérique et pédologique).

Au cours de la saison des pluies, le régime de la mare est caractérisé par une alternance de phases de remplissage, dépassant rarement quelques minutes à quelques heures, puis de phases de vidange, dont la durée peut être très variable.

CHAPITRE I : ORIGINE DES DONNÉES

1 - LE NIVEAU D'EAU

A - Mesures

Le niveau d'eau dans la mare se mesure de deux façons (figure 11).

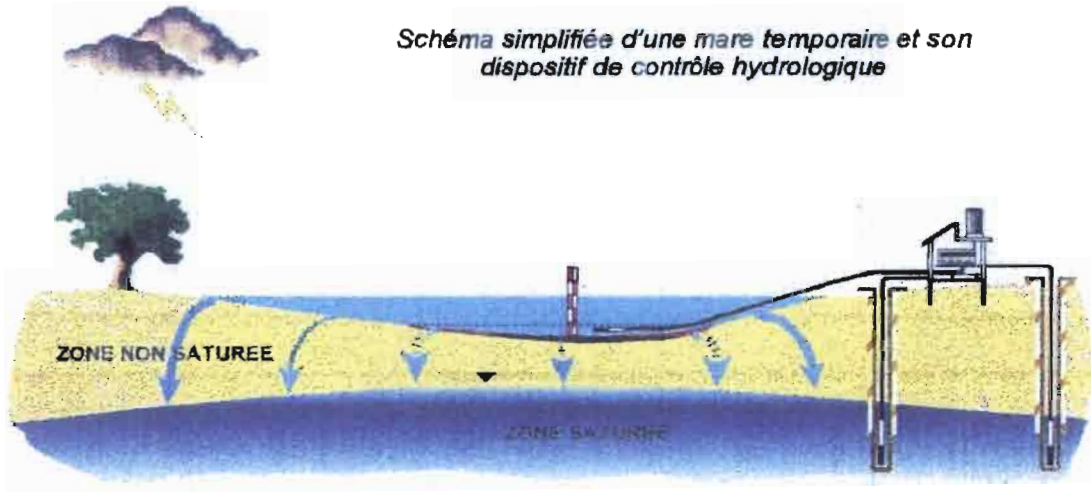


Figure 11

- par suivi limnigraphique : on utilise une sonde mesurant la hauteur d'eau par comparaison de la pression hydrostatique avec la pression atmosphérique ; cette sonde est reliée, via un câble enterré, à une centrale d'acquisition : le Chloé.

- par lecture directe du niveau d'eau sur des échelles limnimétriques (figure 12). On obtient ainsi un niveau, ou cote échelle, en mètres.

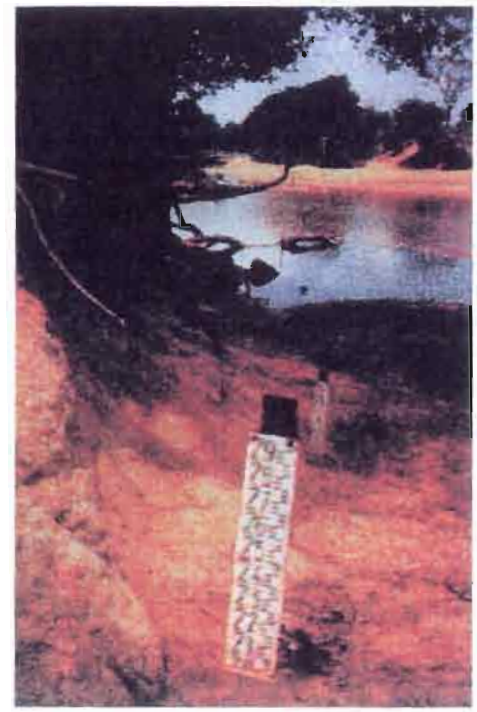


Figure 12 : limnimètre

B - Corrections

Cependant, il peut apparaître un léger décalage entre la hauteur enregistrée par la sonde et la hauteur lue sur l'échelle. Celui-ci est sûrement dû à une dérive électronique de la sonde, à cause des trop fortes températures, par exemple, ainsi qu'à un envasement partiel de la sonde. Lors de l'assèchement, les imprécisions sont plus visibles car la hauteur d'eau plus faible.

La correction de ces erreurs est indispensable. En effet, ces dérives provoquent une oscillation du niveau échelle en fonction du temps, rendant les calculs et interprétations hasardeux.

2 - LA SURFACE DE LA MARE

Cette surface est calculée à partir de la hauteur d'eau dans la mare et d'une loi de relation hauteur/surface. Cette loi repose sur un relevé topographique du site de la mare (figure 13). La surface du plan d'eau est une donnée nécessaire aux calculs de vidange.

3 - LE VOLUME D'EAU

Ce volume s'avère lui aussi indispensable pour les calculs de vidange. Il est obtenu par intégration de la loi reliant l'aire de la mare à sa hauteur en eau ; ces dernières sont représentées en annexe.

Topographie de la mare de Kafina
(en niveau échelle)

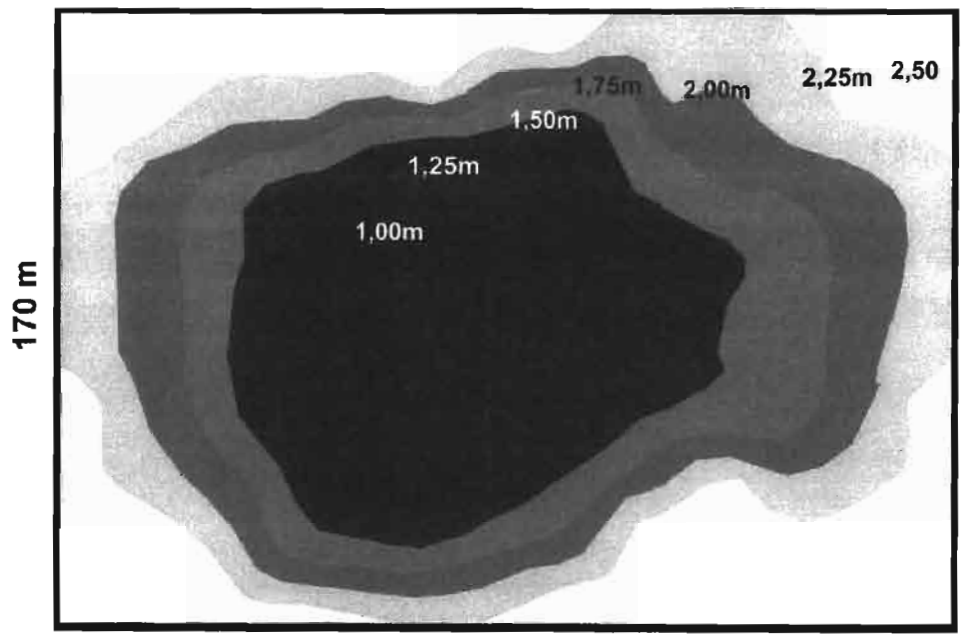


Figure 13

CHAPITRE II : PLUIES - EPISODES

L'étude des phénomènes de vidange de la mare de Kafina, pour être rigoureuse, nécessiterait de posséder les données pluviométriques de la zone. Les enregistreurs ayant malheureusement eu quelques problèmes, l'utilisation des données est presque impossible ; (cf. en annexe la lettre adressée par M. Robin, par courrier électronique)

- En 1997, les conditions extérieures ont perturbé les pluviographes à augets et les enregistrements ne débutent que le 20 août.

- En 1998 les données des pluies ont été enregistrées que jusqu'au 9 juillet. Les premiers enregistrements par la sonde dans la mare de Kafina débutent le 28 juillet. L'analyse de la répercussion des pluies sur le niveau d'eau de la mare ne pouvant être effectuée en utilisant ces données, cette étude s'est donc réalisée d'après l'analyse des isohyètes des années 1997 et 1998, sur l'ensemble du degré carré, avec une marge d'erreur incontournable.

Cette marge d'erreur se ressent sur les représentations graphiques. En effet, la corrélation entre épisodes pluvieux et remontée du niveau de la mare devrait être parfaite ce qui n'est malheureusement pas tout à fait le cas ici, surtout pour l'année 1998 (Figure 14).

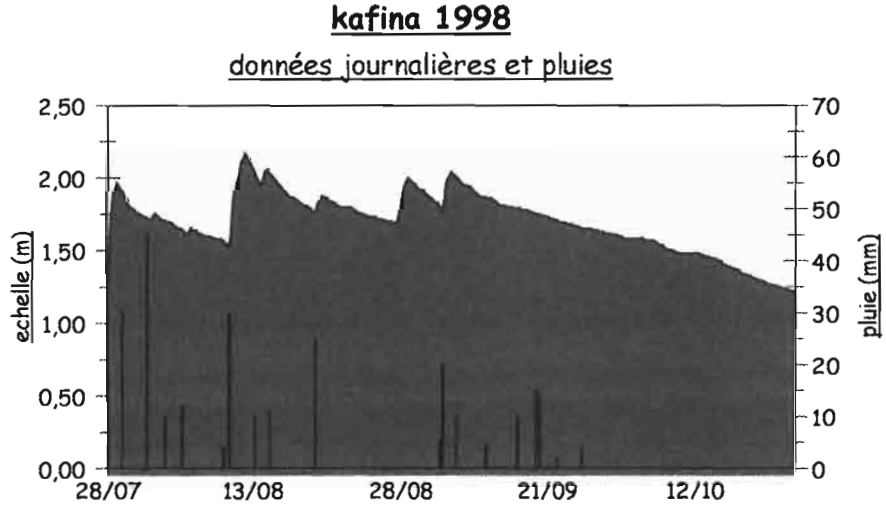


Figure 14

CHAPITRE III : LA VIDANGE

1 - DÉFINITIONS

Après correction des dérives du limnigraphe, à l'aide des données relevées ponctuellement sur l'échelle limnimétrique, on peut représenter précisément l'évolution du niveau de la mare dans le temps.

Les courbes obtenues représentent une succession de crues et de décrues. Comme en milieu sahélien, une pluie engendre une remontée extrêmement rapide du niveau d'eau dans la mare, on appellera "épisode", une séquence de crue puis de décrue du plan d'eau.
En effet, à cette brusque remontée du niveau d'eau, succède une décrue beaucoup plus lente.

Six épisodes ont ainsi été individualisés pour 1997, et huit pour 1998 (figures 16 et 17).

2 - CALCULS

Il a été décidé de représenter l'évolution des vitesses d'infiltrations, au fur et à mesure de la baisse du niveau d'eau.
Pour cela, nous avons raisonné dans un premier temps en lames d'eau.

Ainsi, si au temps T_i (date + heure), la lame d'eau est mesurée égale à, alors on peut calculer l'intensité de vidange I_V en cm/j:

$$I_V = \frac{H_1 - H_2}{t_2 - t_1}.$$

Cette formule a été appliquée pour calculer l'intensité, tous les centimètres puis tous les deux centimètres.

Les représentations centimètre par centimètre, plus précises, sont mal adaptées aux épisodes riches en données, dont les courbes deviennent illisibles, mais sont indispensables pour analyser les vidanges lors des plus petits épisodes (les épisodes 1 et 6, puis 3, de l'année 1997, figures 15 à 22).

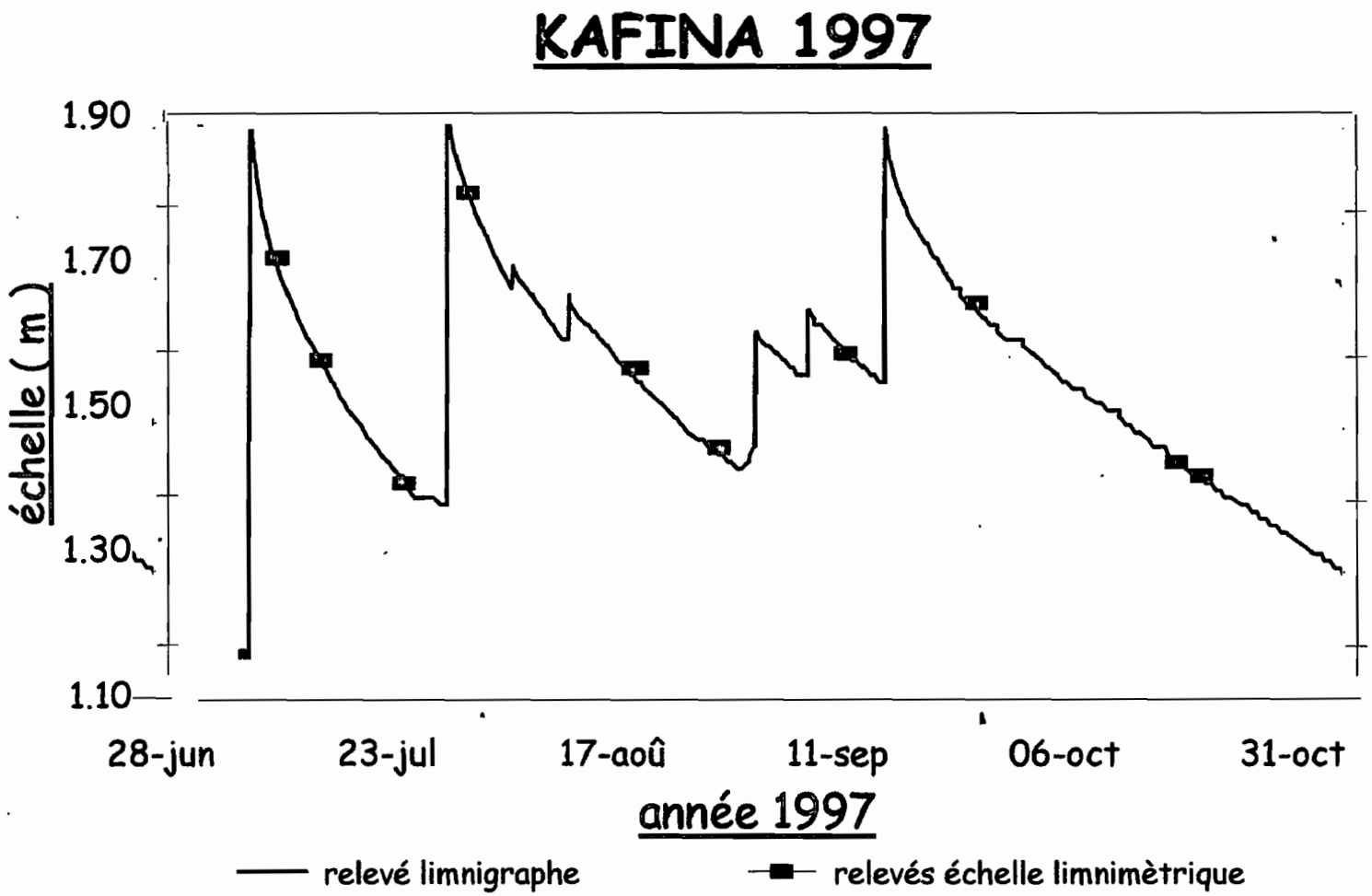

KAFINA 1997
1.90
1.70
1.50
1.30
1.10
échelle (m)
28-jun
23-jul
17-aoû
11-sep
06-oct
31-oct
année 1997
relevé limnigraphe
relevés échelle limnimètrique

Figure15

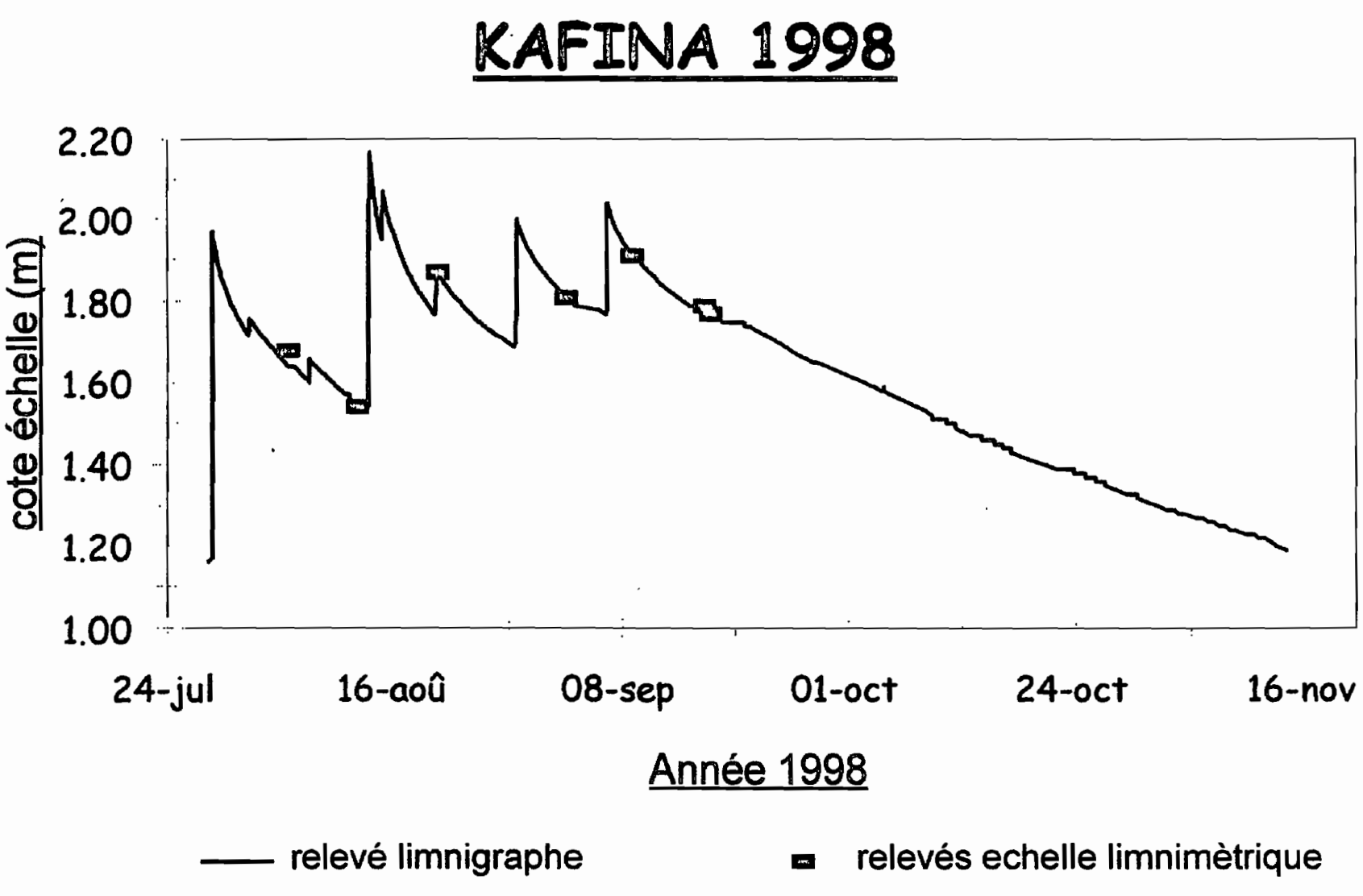
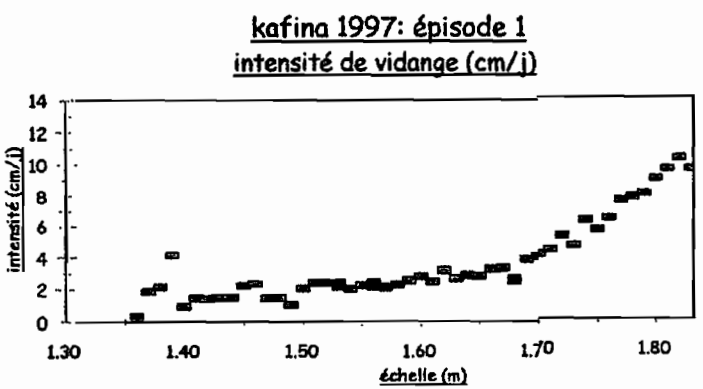
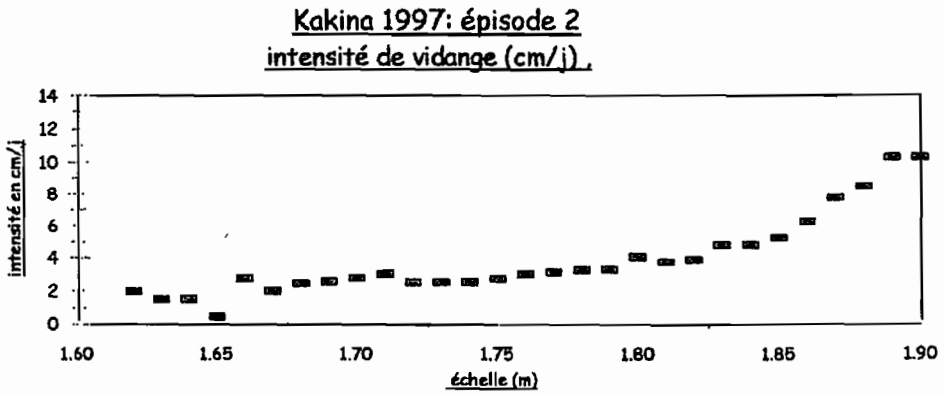
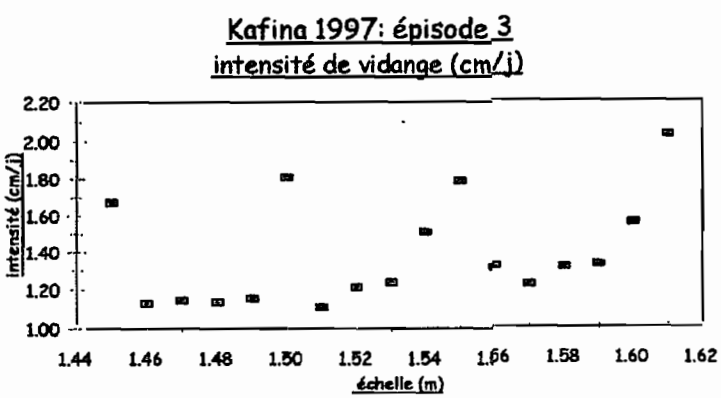

KAFINA 1998
cote échelle (m)
2.20
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
24-jul
16-aoû
08-sep
01-oct
24-oct
16-nov
Année 1998
relevé limnigraphe
relevés echelle limnimètrique

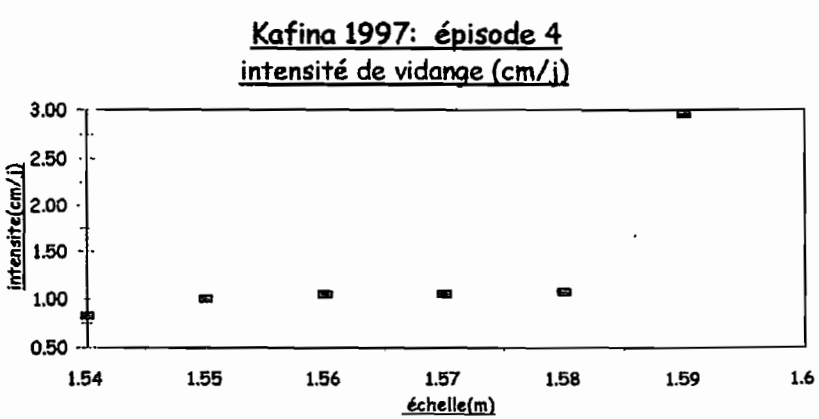
Figure 16

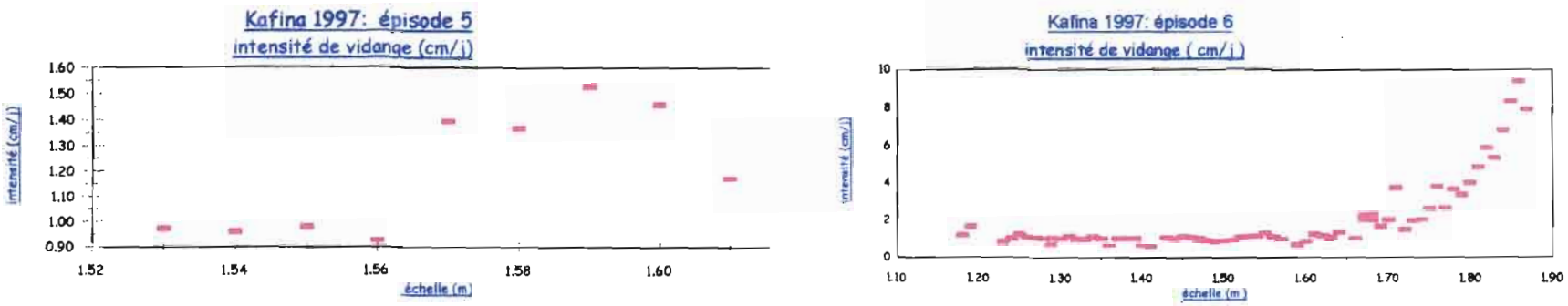
Figure 17


kafina 1997: épisode 1
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
14
12
10
8
6
4
2
0
1.30
1.40
1.50
1.60
1.70
1.80
échelle (m)


Kakina 1997: épisode 2
intensité de vidange (cm/j) .
intensité en cm/j
14
12
10
8
6
4
2
0
1.60
1.65
1.70
1.75
1.80
1.85
1.90
échelle (m)


Kafina 1997: épisode 3
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
2.20
2.00
1.80
1.60
1.40
1.20
1.00
1.44
1.46
1.48
1.50
1.52
1.54
1.56
1.58
1.60
1.62
échelle (m)


Kafina 1997: épisode 4
intensité de vidange (cm/j)
intensite(cm/j)
3.00
2.50
2.00
1.50
1.00
0.50
1.54
1.55
1.56
1.57
1.58
1.59
1.6
échelle(m)


Kafina 1997: épisode 5
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
1.60
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
1.52
1.54
1.56
1.58
1.60
échelle (m)
Kafina 1997: épisode 6
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
10
8
6
4
2
0
1.10
1.20
1.30
1.40
1.50
1.60
1.70
1.80
1.90
échelle (m)

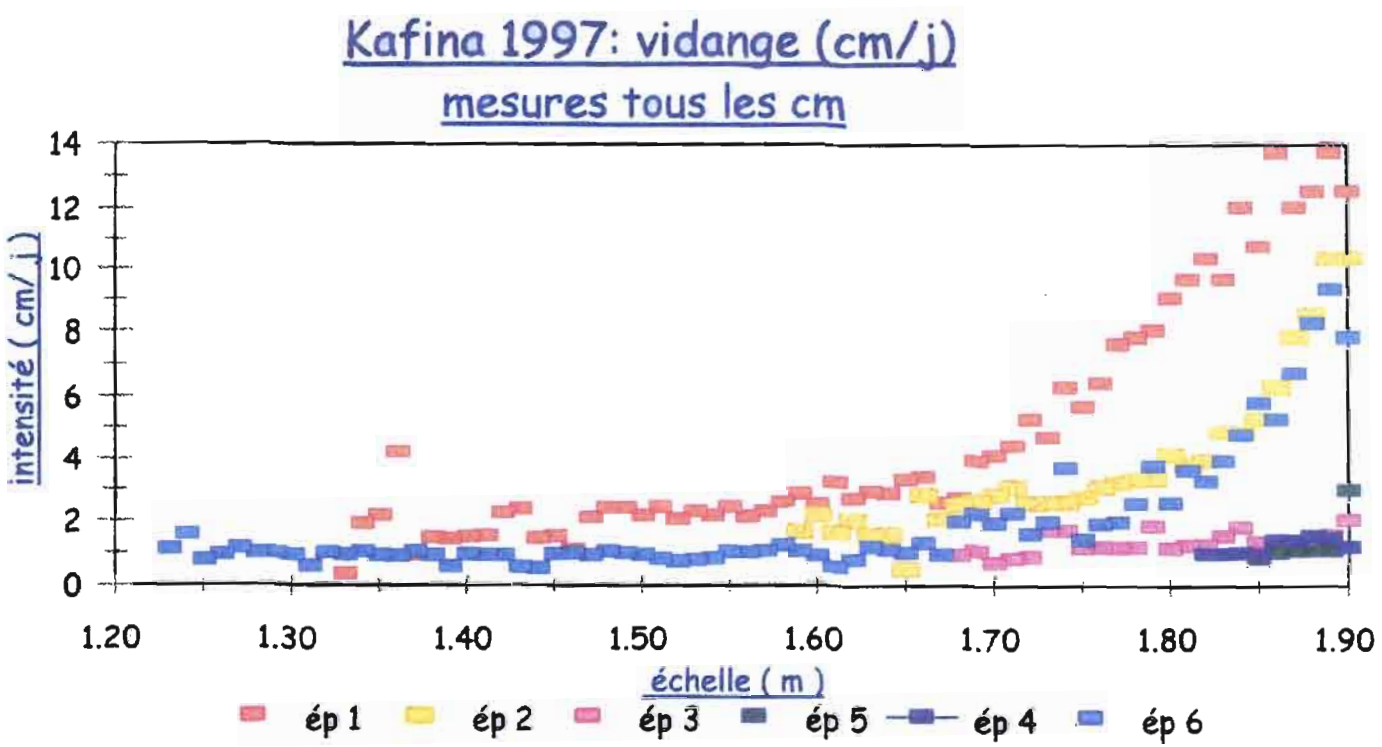
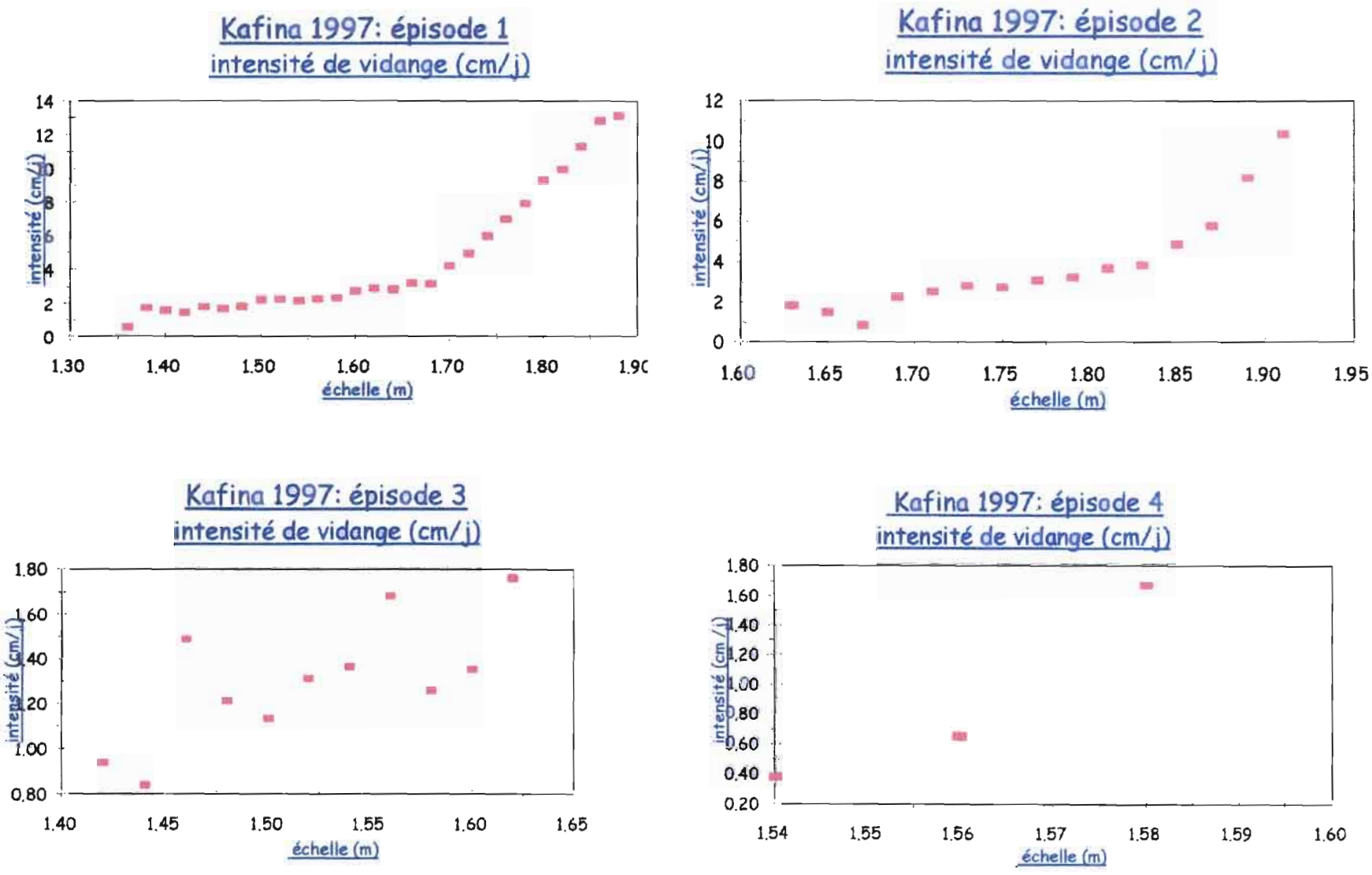
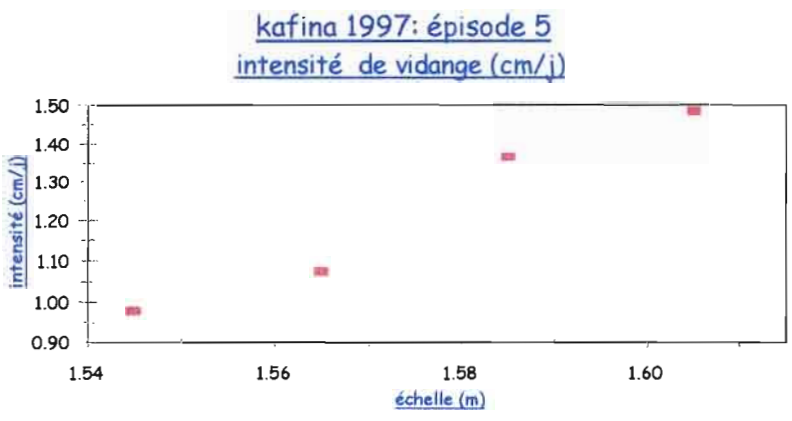
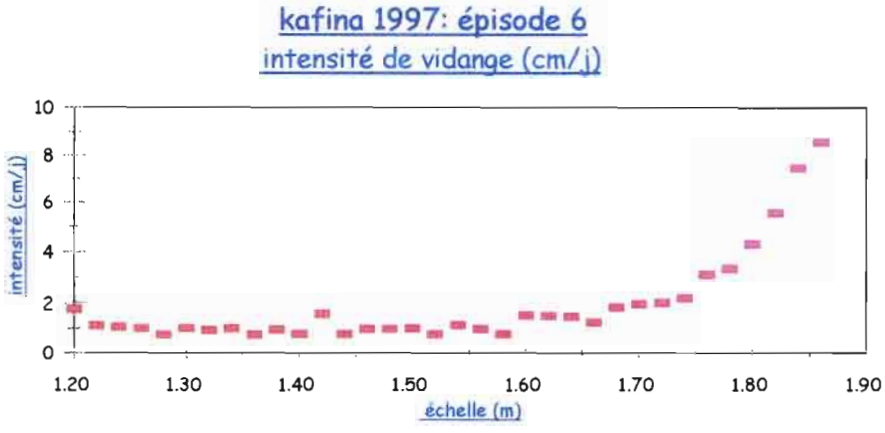

Kafina 1997: vidange (cm/j)
mesures tous les cm
intensité (cm/ j)
14
12
10
8
6
4
2
0
1.20
1.30
1.40
1.50
1.60
1.70
1.80
1.90
échelle (m)
ép 1
ép 2
ép 3
ép 5
ép 4
ép 6

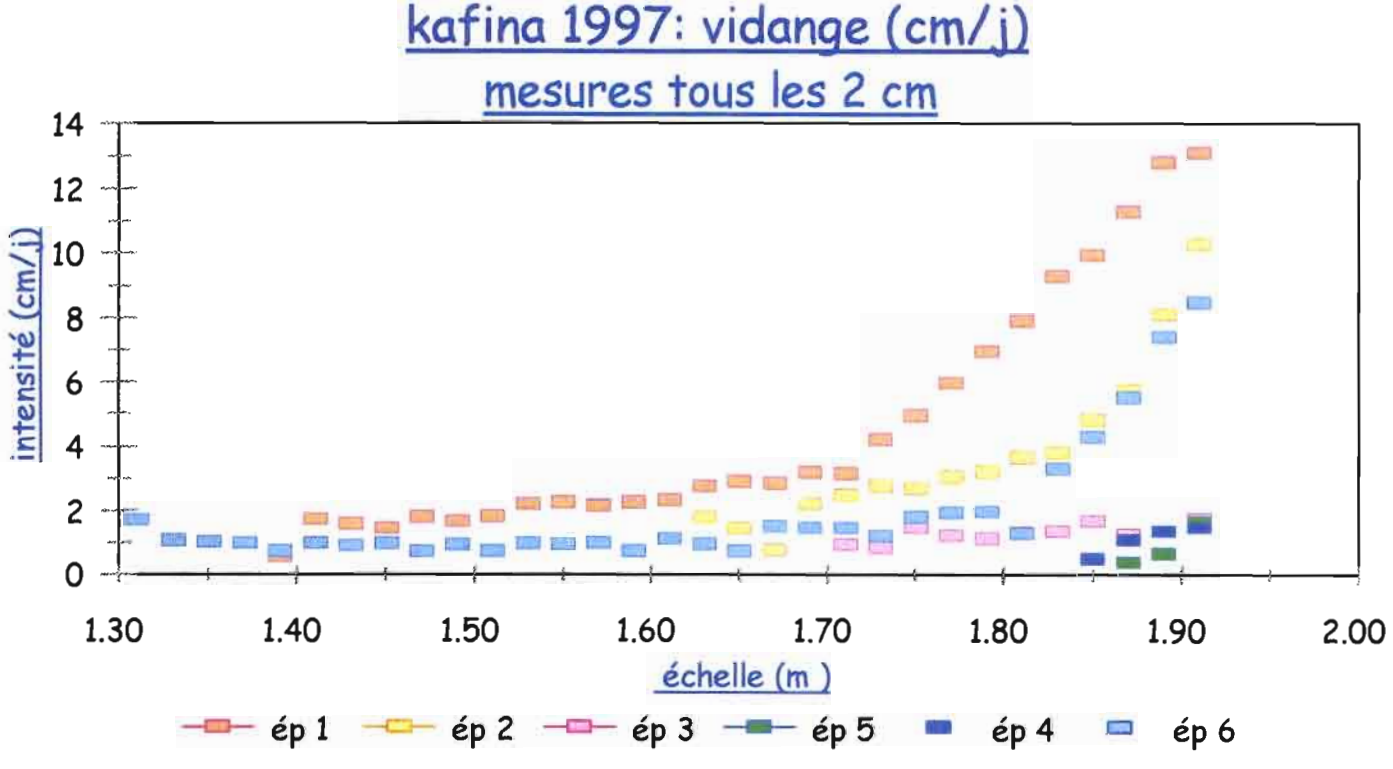
Figure 18

Figure 19


Kafina 1997: épisode 1
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
échelle (m)
Kafina 1997: épisode 2
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
échelle (m)
Kafina 1997: épisode 3
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
échelle (m)
Kafina 1997: épisode 4
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
échelle (m)

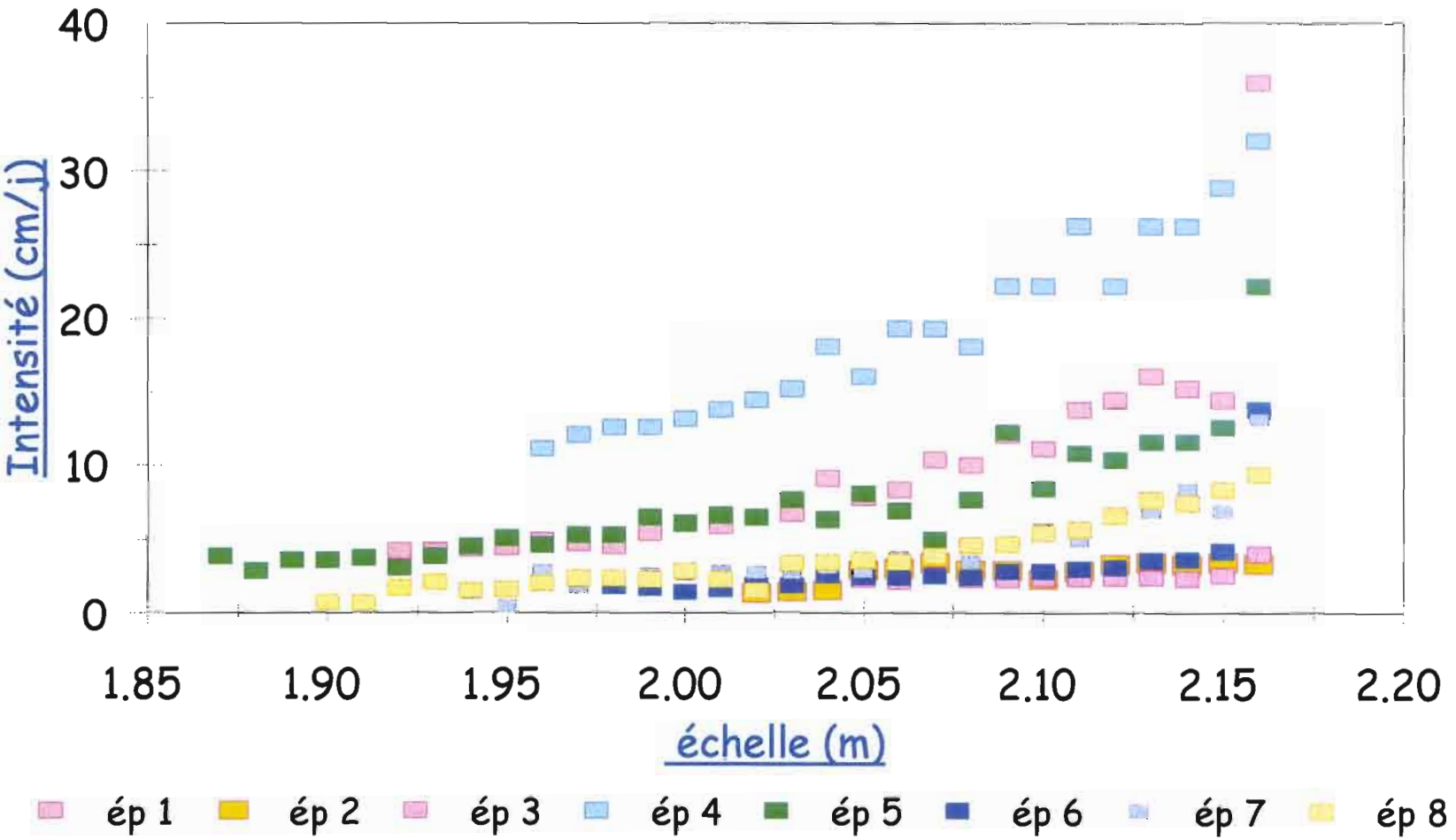

kafina 1997: épisode 5
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
1.50
1.40
1.30
1.20
1.10
1.00
0.90
1.54
1.56
1.58
1.60
échelle (m)


kafina 1997: épisode 6
intensité de vidange (cm/j)
intensité (cm/j)
10
8
6
4
2
0
1.20
1.30
1.40
1.50
1.60
1.70
1.80
1.90
échelle (m)


kafina 1997: vidange (cm/j)
mesures tous les 2 cm
intensité (cm/j)
14
12
10
8
6
4
2
0
1.30
1.40
1.50
1.60
1.70
1.80
1.90
2.00
échelle (m)
ép 1
ép 2
ép 3
ép 5
ép 4
ép 6

Intensité de vidange (cm/j)

Mesures tous les cm



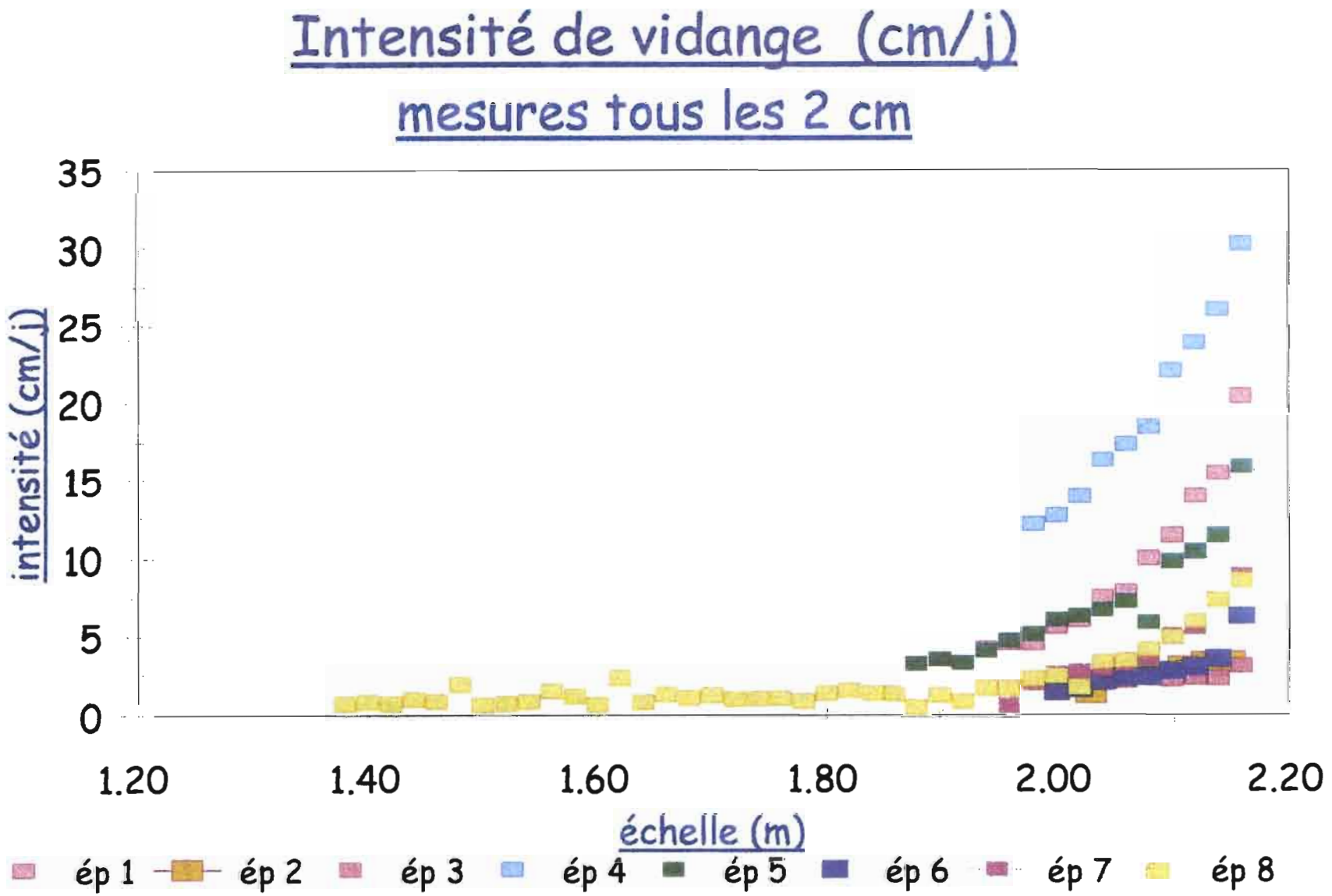

Intensité de vidange (cm/j)
mesures tous les 2 cm
intensité (cm/j)
35
30
25
20
15
10
5
0
1.20
1.40
1.60
1.80
2.00
2.20
échelle (m)
ép 1
ép 2
ép 3
ép 4
ép 5
ép 6
ép 7
ép 8

Figure 22

3 - RÉSULTATS

Pour un épisode donné, l'intensité d'infiltration est proportionnelle au débordement de la mare.
Elle diminue ainsi très rapidement au début de l'épisode de vidange pour ensuite tendre vers une valeur constante. Cette rupture de pente caractérise le passage d'une zone où l'infiltration est facile à une autre, où elle devient presque impossible.

4 - INTERPRÉTATIONS

Le site de la mare, comme son bassin d'alimentation, est caractérisé par des sols sableux. Ainsi, les eaux de la mare s'étendent temporairement sur deux zones:
-une zone colmatée, qui se caractérise par un matériau à texture fine, d'origine sédimentaire, avec une structure continue, un aspect luisant à l'état saturé et une conductivité hydraulique réduite.
-une zone non colmatée, morphologiquement différente de la première, et caractérisée, lorsqu'elle est sèche, par une ressemblance morphologique et texturale avec les sols autochtones,.

Les études antérieures (Desconnets et al., 1993) ont montré que, par évaporation, la phase solide tendait vers un pôle montmorillonite. De plus, l'association dans les eaux de surface, d'argiles de types smectite et kaolinite avec un fort pourcentage de limons fins, a tendance à créer une couche de surface colmatée. Tout ceci contribue à limiter la conductivité hydraulique du fond de la mare.

L'analyse des courbes d'intensité de vidange montre une évolution saisonnière.
- Pour une même cote échelle, les intensités d'infiltration diminuent au cours de la saison des pluies.
Par exemple : Pour une échelle de 1,77m,
Entre le 1° et le 6° épisodes, en 1997,
L'intensité d'infiltration passe de 4 à 1 cm/j.
- Le point de rupture de pente, donc la limite de la zone colmatée, monte entre le début et la fin de la saison des pluies, passant de la cote de 1,77m à celle de 1,82m.

Trois hypothèses ont été avancées pour expliquer ces phénomènes :
- l'infiltration pourrait être simplement facilitée par le débordement vers surface en déficit hydrique ; mais rien n'expliquerait alors la baisse saisonnière observée pour une même cote échelle.
- Ces fluctuations pourraient aussi être liées à celles du niveau de la zone saturée; mais des études ultérieures ont mis en évidence la stabilité de ce niveau.
- Reste alors l'hypothèse d'un colmatage par :
    - un apport allochtone d'argiles ; les eaux de ruissellement qui s'écoulent dans le bassin versant étant chargées en sable (déposé lors de l'écoulement) et en fines (déposées à faible vitesse, dans les mares).
    - une néogénèse de kaolinite et smectite.

L'analyse des courbes d'intensité de vidange a montré de même une évolution sur les deux années.

en 1997:
- un régime d'infiltration au delà du niveau 1.75 mètres (zone non colmatée)
- un régime de vidange à dynamique linéaire en dessous de 1.75 mètres

en 1998:
- un régime d'infiltration au delà du niveau 1.90 mètres (zone non colmatée)
- un régime de vidange à dynamique linéaire en dessous de 1.90 mètres

La différence peut être due au fait que:
- L'évaporation intense à la fin de la saison des pluies de 1997 a provoqué la formation de montmorillonite qui s'est donc ajoutée aux argiles précédentes.
- Les écoulements des premières pluies de 1998 ont provoqué des apports supplémentaires de fines.

CHAPITRE IV : INFILTRATION

1 - DÉFINITION

L'entrée de l'eau dans le sol est à la fois gouvernée par les forces de capillarité et les forces gravitaires qui constituent le potentiel total.
Les forces de capillarité sont dominantes dans un profil non saturé. Elles sont déterminées par le taux d'humidité. Les forces de gravité deviennent dominantes au fur et à mesure que le profil d'infiltration tend vers la saturation. En effet, la conductivité hydraulique tend vers sa valeur maximale lorsque l'humidité est proche de la saturation.

2 - A KAFINA

Les études antérieures ont montré qu'en dehors des mares, l'infiltration diffuse semble être extrêmement lente et réduite. A l'opposé, à proximité immédiate des mares, les fluctuations de la nappe sont significatives et liées à l'arrivée, parfois rapide, d'eau de la mare.
La présence de matériaux argileux explique la transformation structurale de surface entre l'état sec (fentes de retrait en surface) et l'état saturé (matériau d'aspect luisant : gonflement des argiles). Elle met en évidence la sensibilité du matériau à la teneur en eau.

CHAPITRE V : EVAPORATION

1 - DÉFINITION

C'est le passage de l'eau de l'état liquide à celui de la vapeur.
L'étude concerne les principaux facteurs de l'évaporation des surfaces d'eau libre de mare sous climat sahélien et la méthode d'estimation. On estime l'évaporation d'un plan d'eau par la mesure directe sur un bac à évaporation placé à proximité du plan d'eau. L'évaporation de la surface élémentaire est alors considérée représentative de celle du lac.

2 - INSTRUMENTATION

Placés à proximité de chaque mare, des bacs enterrés (1 mètre sur 1 mètre et 60 cm de profondeur) ont été installés en fin de saison des pluies. Alimentés à chaque visite par l'eau de la mare en mesurant le volume manquant (par rapport au niveau initial de référence), ce suivi est combiné à un prélèvement d'eau pour les mesures isotopiques et de conductivité.
Les variations de niveau de la mare ont été suivies par limnimétrie automatique au pas du centimètre.
Les valeurs journalières utilisées dans nos calculs sont non corrigées.
En réalité il faudrait attribuer un coefficient de transposition entre l'évaporation mesurée sur bac et l'évaporation réelle de la mare. Les travaux de Roche (1958), Riou (1966), Pouyaud (1986) indiquent aussi la nécessité de prendre en compte les conditions climatiques locales et les caractères de la surface évaporante (profondeur, superficie, encaissement), dans la détermination du coefficient de transposition.

3 - PROBLEMATIQUE

On cherche à connaître la part de l'évaporation et de l'infiltration dans les processus de vidange. Les calculs ont été effectués en considérant l'évaporation en centimètres par jour puis en mètre cube par jour.
Concernant les lames d'eau, le calcul suivant a été réalisé tout au long des différents épisodes de vidange afin de connaître la véritable infiltration dans le sol.

4 - CALCULS

Intensité d'infiltration (cm/j) =intensité de vidange (cm/j)-évaporation (cm/j)

Concernant les volumes d'eau:
infiltration (m3/j)= débit vidangé(m3/j)-((évaporation (cm/j)*surface moyenne))

5 - RÉSULTATS

Pour l'année 1997, les pourcentages d'évaporation sont très importants. En fin d'épisode l'évaporation est presque toujours au moins égale à l'infiltration .Elle est même supérieure pour plusieurs d'entre eux.
-Pour l'année 1998, l'infiltration reste bien supérieure à l'évaporation.
Interprétation:
La quantité et la fréquence des pluies en 1997 étant peu importantes, chaque fin d'épisode est largement situé sous le niveau de la zone de colmatage; a l'opposé, en 1998,les précipitations plus régulières et plus abondantes permettent de maintenir le niveau d'eau à proximité de la zone non colmatée.

L'estimation de l'évaporation s'est donc révélée indispensable dans le cas des mares temporaires où la vidange dans la zone colmatée fait apparaître une évaporation significative.

CHAPITRE VI : RELATION HAUTEUR-VOLUME

Afin de mieux se rendre compte du contexte hydrologique de Kafina, il apparaît indispensable de connaître les quantités d'eau infiltrée durant la saison des pluies.
Les résultats indiquent un volume de : - 28012 m3 pour 1997 -
- 40111m3 pour 1998 -
La superficie de ce bassin a été évaluée (figure 23), à partir de la carte au 1/50 000°, à 2.24 km^2. Un bassin de cette superficie pourrait engendrer des volumes infiltrés plus importants. Ce calcul montre donc que la délimitation de ce bassin, d'en réalité environ 1 km^2, n'est pas rigoureuse à l'échelle du 1/50000.

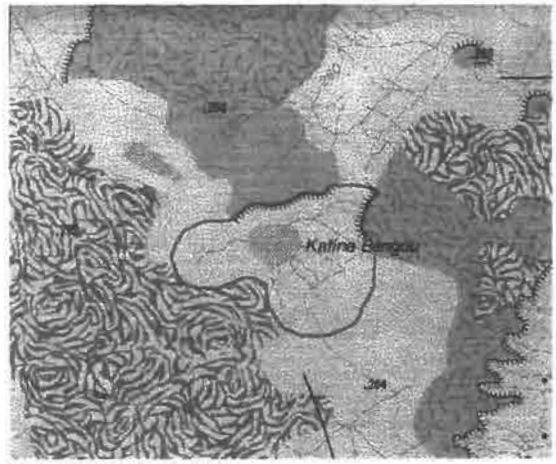


Figure 23 : le bassin versant de Kafina

Afin de contraindre les résultats d'intensité de vidange obtenus par calcul sur les lames d'eau, nous nous sommes intéressés au débit vidangé par infiltration. Pour cela les valeurs de volumes et surfaces se rapportant au niveau échelle étaient indispensables.
Les calculs suivant ont été réalisés pour tous les épisodes pluvieux, de 1997 comme de 1998 ; les résultats en sont représentés en annexe

Si au temps T_i (date + heure), la cote échelle indique H_i, si le volume est calculé égal à V_i et la surface égale à S_i, alors on peut calculer le débit vidangé Q_V en m^3/j :

$$Q_V = \frac{V_1 - V_2}{t_2 - t_1}.$$

Si l'on veut connaître l'infiltration, débarrassée de l'évaporation, on sait aussi que le débit infiltré Q_i en m^3/j est :

$$Q_i = Q_V - Q_{\acute{e}} \times \left(\frac{S_2 + S_1}{2} \right)$$

avec $Q_{\acute{e}}$, le débit évaporé en m^3/j.

3° PARTIE : RELATIONS AVEC LA NAPPE

CHAPITRE I : LA NAPPE PHREATIQUE

L'aquifère de la nappe est constitué principalement de sables fins et de silts, passant progressivement en profondeur à des argiles imperméables. Les gradients hydrauliques sont faibles et à l'échelle de la région étudiée il n'y a pas de direction d'écoulement privilégiée.
Dans le cadre du projet Hapex-Sahel, les investigations hydrologiques menées depuis 1991 ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de la nappe phréatique dans la région de Niamey et notamment le processus de réalimentation durant la courte saison des pluies.
L'étude des relations entre la mare et la nappe à Kafina n'a pas été possible à l'échelle de l'épisode. En effet, il n'existe pas de puits à proximité directe de la mare où l'on peut mesurer le niveau piézométrique de la nappe. Cependant, celui-ci a été enregistré entre 1991 et 1999 à un autre puit situé au village de Kafina situé à environ 2 Km de la mare (figure 24).

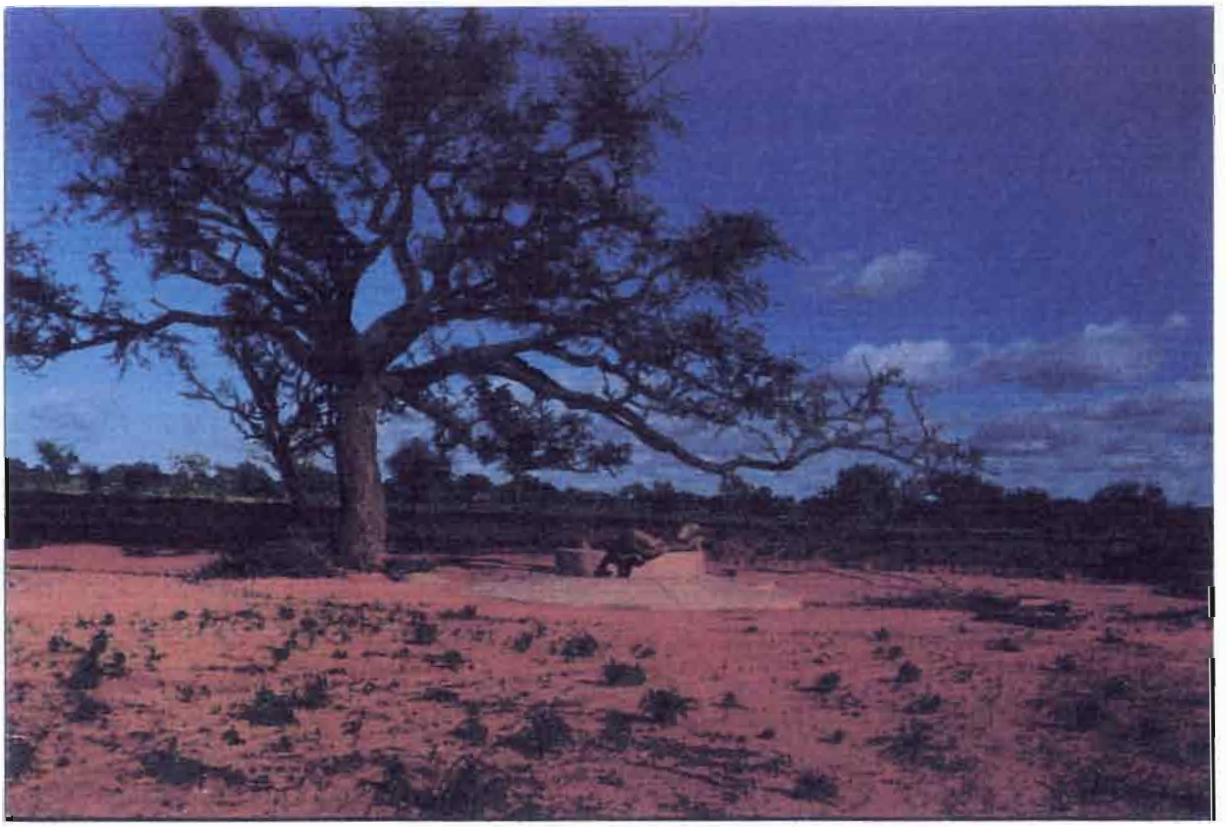


Figure 24 : puits du village de Kafina

Le graphe indique clairement une remontée de 3 mètres du niveau piézométrique (figure 25).

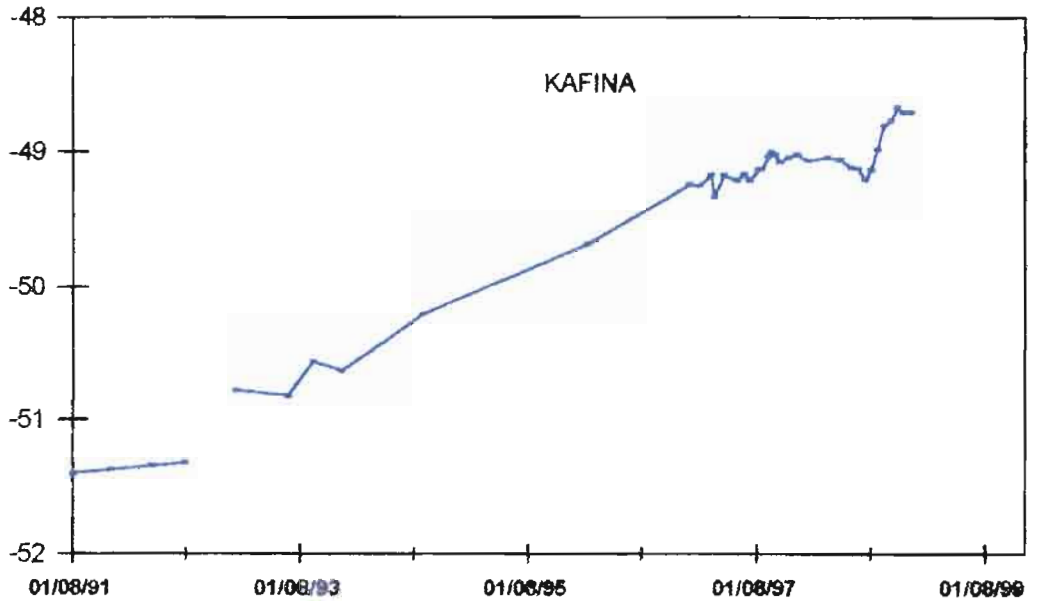


Figure 25 : niveau piézométrique à Kafina

Afin de visualiser à l'échelle de la saison des pluies la relation mare-nappe, la zone de Bani Kossey a été étudiée. L'environnement et les phénomènes d'infiltrations étant similaires à ceux de Kafina, cette mare a été choisie car elle possède un puits à proximité du plan d'eau, le puits village, et un autre, le puits pastoral, construit à quelques kilomètres des habitations.

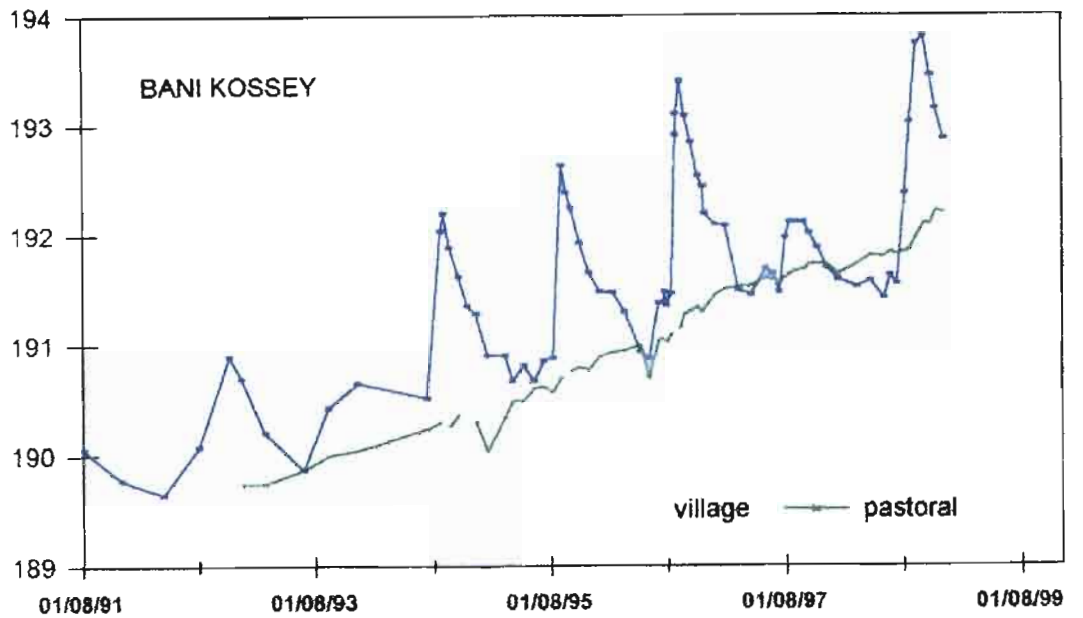
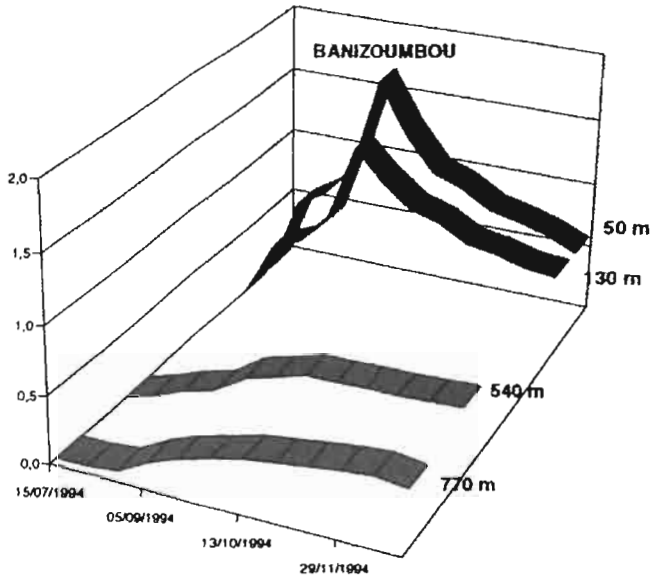


Figure 26 : variation du niveau piézométrique

On constate (figure 26 ci-dessus) :
- la remontée significative du niveau piézométrique à chaque saison des pluies.
- l'augmentation constante de ce même niveau depuis 1991 comme au puits de Kafina.

Disposant de plusieurs points de mesures rapprochés, quelques sites expérimentaux centrés non sur Kafina mais sur la mare de Banizoumbou ont été retenus pour visualiser le phénomène de recharge de la nappe à l'échelle d'une saison des pluies. Ils permettent une approche plus fine de la géométrie du dôme piézométrique créé par l'infiltration sous la mare, et par-là, la quantification locale de la recharge. Les premières infiltrations depuis la mare n'ont aucun effet visible sur la nappe tandis qu'en cœur de saison des pluies les crues de la mare se répercutent en quelques heures dans la nappe (figure 27).



Dôme piézométrique à la mare de Banizoumbou et son évolution du 15 juillet 1994 au 1 janvier 1995 (amplitude piézométrique et distance à la mare en m).

Figure 27 : dôme piézométrique

Ces résultats indiquent la remontée de la nappe dans cette zone à l'échelle de la saison des pluies et à l'échelle de la décennie. Cette étude confirme une fois de plus l'hypothèse de remontée du niveau piézométrique de la nappe phréatique du continental terminal. En effet, la nappe, après avoir baissé durant les sèchererres des années 1970 et 1980, remonte depuis une dizaine d'année. Les niveaux récents sont comparables, voir supérieurs, à ceux des années 1960, alors que cette période était plus humide qu'actuellement. La hausse récente ne peut être expliquée que par la combinaison d'un retour de meilleures conditions pluviométriques et de l'anthropisation du milieu. La modification du couvert induit un changement de redistribution de l'eau de pluie à la surface et dans le sous-sol et donc de la recharge de la nappe.

Conclusion

Développée dans le cadre du programme MEVHYSA, cette étude a été conçue pour étudier le bilan hydrologique de la mare de Kafina et tout particulièrement, les processus de vidange en jeu (évaporation + infiltration).

La très forte augmentation des zones cultivées se traduit par un changement important du couvert végétal. Le ruissellement ainsi majoré amène de plus grands volumes d'eau dans les mares temporaires. L'étude des processus de déstockage a montré que, en saison des pluies, la vidange de la mare est essentiellement induite par un processus d'infiltration.

Deux phases ont ainsi été identifiées dans les processus de vidange.

-Une phase à cinétique rapide où l'infiltration est le terme principal, correspondant au déstockage dans les zones perméables.

-une phase à cinétique lente où l'évaporation est le terme principal correspondant au déstockage dans les zones perméables.

Cette limite de zone de colmatage évolue à l'échelle de l'épisode et à l'échelle annuelle;

L'intensité est proportionnelle au débordement du niveau hors de la zone argileuse colmatant le fond de la mare. Ces débordements de la mare représentent alors l'essentiel de l'infiltration vers la nappe phréatique qui voit son niveau piézométrique remonter à l'échelle de la saison des pluies et sur la dernière décennie.

Bibliographie

Desconnets J.C. (1994): Typologie et caractérisation hydrologiques des systèmes endoréiques en milieu sahélien (degré carré de Niamey, niger). *Thèse de doctorat de l'université de Montpellier II, 326p.*

Desconnets J.C , Taupin J.D, Lebel T,et C. Leduc, 1997. Hydrology of the Hapex-Sahel central Super-Site: surface mater drainage and aquifer recharge through the pool systems. *Journal of Hydrology.*

Leduc C et M. Loireau, 1997. Evolution du couvert végétal et de la recharge de la nappe phréatique en zone sahélienne (Niamey, Niger). In "*Sustainability of water ressources under increasing uncertainly*", AISH publ. n°240, 193-200

Leduc C.,J.Bromley et P.Schroeter, 1997. Water table fluctuation and recharge in semi-arid climate: Some results of the Hapex-Sahel hydrodynamic survey (Niger).*journal of Hydrology*

ANNEXES

Annexes

Bilans hydrologiques en lames d'eau et en volumes, pour 1997 et 1998.
Abaque de relation hauteur/volume de la mare de Kafina.
Isohyètes des épisodes pluvieux de 1997 et 1998.
Mesures d'évaporation de 1988 à 1998.

Bilans hydrologiques 1997

	hauteur du début de l'épisode (m)	hauteur de la fin de l'épisode (m)	amplitude de la vidange (m)	durée de l'épisode (j)	intensité moyenne (cm/j)	intensité initiale (cm/j)	intensité finale (cm/j)
épisode 1	1,90	1,36	0,54	21,10	4,56	13,09	0,58
épisode 2	1,91	1,61	0,30	11,75	3,79	10,29	1,80
épisode 3	1,64	1,42	0,22	17,64	1,30	1,76	0,94
épisode 4	1,60	1,54	0,06	5,36	0,90	1,66	0,37
épisode 5	1,62	1,54	0,08	6,71	1,23	1,48	0,98
épisode 6	1,88	1,20	0,68	55,95	1,91	8,47	1,72

	hauteur du début de l'épisode (m)	hauteur de la fin de l'épisode (m)	amplitude de la vidange (m)	durée de l'épisode (j)	volume infiltrés (m^3)	débit moyen (m^3/j)	débit initial (m^3/j)	débit final (m^3/j)
épisode 1	1,90	1,36	0,54	21,10	8300	819,88	2821,09	56,44
épisode 2	1,91	1,61	0,30	11,75	5509	742,54	2247,43	270,90
épisode 3	1,64	1,42	0,22	17,64	3069	185,14	268,62	98,50
épisode 4	1,60	1,54	0,06	5,36	836	168,69	239,72	118,10
épisode 5	1,62	1,54	0,08	6,71	1133	174,79	220,45	131,98
épisode 6	1,88	1,20	0,68	55,95	1107	313,87	1787,29	118,13

Bilan hydrologique 1997

épisode 1

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
07-jul	09:05 AM	1,90		0,52			
07-jul	12:45 PM	1,88	13,09	0,52	12,57	3,97	96,03
07-jul	04:30 PM	1,86	12,80	0,52	12,28	4,06	95,94
07-jul	08:45 PM	1,84	11,29	0,52	10,77	4,60	95,40
08-jul	01:35 AM	1,82	9,93	0,52	9,41	5,24	94,76
08-jul	06:45 AM	1,80	9,29	0,52	8,77	5,60	94,40
08-jul	12:50 PM	1,78	7,89	0,52	7,37	6,59	93,41
08-jul	07:45 PM	1,76	6,94	0,52	6,42	7,49	92,51
09-jul	03:50 AM	1,74	5,94	0,52	5,42	8,76	91,24
09-jul	01:35 PM	1,72	4,92	0,52	4,40	10,56	89,44
10-jul	01:00 AM	1,70	4,20	0,52	3,68	12,37	87,63
10-jul	04:10 PM	1,68	3,16	0,52	2,64	16,43	83,57
11-jul	07:10 AM	1,66	3,20	0,52	2,68	16,25	83,75
12-jul	12:00 AM	1,64	2,85	0,52	2,33	18,24	81,76
12-jul	04:30 PM	1,62	2,91	0,52	2,39	17,88	82,13
13-jul	09:55 AM	1,60	2,76	0,52	2,24	18,87	81,13
14-jul	06:25 AM	1,58	2,34	0,52	1,82	22,21	77,79
15-jul	03:35 AM	1,56	2,27	0,52	1,75	22,93	77,07
16-jul	01:45 AM	1,54	2,17	0,52	1,65	24,01	75,99
16-jul	10:55 PM	1,52	2,27	0,52	1,75	22,93	77,07
17-jul	08:25 PM	1,50	2,23	0,52	1,71	23,29	76,71
18-jul	10:40 PM	1,48	1,83	0,52	1,31	28,44	71,56
20-jul	03:10 AM	1,46	1,68	0,52	1,16	30,88	69,13
21-jul	05:45 AM	1,44	1,81	0,52	1,29	28,80	71,20
22-jul	02:50 PM	1,42	1,45	0,52	0,93	35,84	64,16
23-jul	09:05 PM	1,40	1,59	0,52	1,07	32,77	67,23
25-jul	12:40 AM	1,38	1,74	0,52	1,22	29,88	70,12
28-jul	11:35 AM	1,36	0,58	0,52	0,06	89,83	10,17

épisode 2

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
29-jul	03:35 AM	1,91		0,52			
29-jul	08:15 AM	1,89	10,29	0,52	9,77	5,06	94,94
29-jul	02:10 PM	1,87	8,11	0,52	7,59	6,41	93,59
29-jul	10:35 PM	1,85	5,70	0,52	5,18	9,12	90,88
30-jul	08:35 AM	1,83	4,80	0,52	4,28	10,83	89,17
30-jul	09:10 PM	1,81	3,81	0,52	3,29	13,63	86,37
31-jul	10:20 AM	1,79	3,65	0,52	3,13	14,26	85,74
01-aoû	01:15 AM	1,77	3,22	0,52	2,70	16,16	83,84
01-aoû	04:55 PM	1,75	3,06	0,52	2,54	16,97	83,03
02-aoû	10:40 AM	1,73	2,70	0,52	2,18	19,23	80,77
03-aoû	03:55 AM	1,71	2,78	0,52	2,26	18,69	81,31
03-aoû	11:05 PM	1,69	2,50	0,52	1,98	20,76	79,24
04-aoû	08:40 PM	1,67	2,22	0,52	1,70	23,38	76,62
07-aoû	09:55 AM	1,65	0,78	0,52	0,26	66,35	33,65
08-aoû	06:50 PM	1,63	1,46	0,52	0,94	35,66	64,34
09-aoû	09:30 PM	1,61	1,80	0,52	1,28	28,89	71,11

épisode 3

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
11-août	05:05 PM	1,64		0,52			
12-août	08:20 PM	1,62	1,76	0,52	1,24	29,52	70,48
14-août	07:45 AM	1,60	1,36	0,52	0,84	38,37	61,63
15-août	09:50 PM	1,58	1,26	0,52	0,74	41,26	58,74
17-août	02:20 AM	1,56	1,68	0,52	1,16	30,88	69,13
18-août	01:30 PM	1,54	1,36	0,52	0,84	38,10	61,90
20-août	02:05 AM	1,52	1,31	0,52	0,79	39,63	60,37
21-août	08:25 PM	1,50	1,13	0,52	0,61	45,86	54,14
23-août	11:55 AM	1,48	1,22	0,52	0,70	42,79	57,21
24-août	08:10 PM	1,46	1,49	0,52	0,97	34,94	65,06
27-août	05:15 AM	1,44	0,84	0,52	0,32	61,84	38,16
29-août	08:25 AM	1,42	0,94	0,52	0,42	55,43	44,57

épisode 4

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
01-sep	12:25 PM	1,60		0,49			
02-sep	05:15 PM	1,58	1,66	0,49	1,17	29,43	70,57
04-sep	02:25 PM	1,56	0,65	0,49	0,16	75,54	24,46
06-sep	09:05 PM	1,54	0,37	0,49	0,00	100,00	0,00

épisode 5

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
07-sep	11:00 PM	1,62					
09-sep	07:20 AM	1,60	1,48	0,49	0,99	33,01	66,99
10-sep	06:30 PM	1,58	1,36	0,49	0,87	35,90	64,10
12-sep	03:05 PM	1,56	1,08	0,49	0,59	45,51	54,49
14-sep	04:00 PM	1,54	0,98	0,49	0,49	49,94	50,06

épisode 6

date	date+heure	échelle (m)	vidange (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
15-sep	06:35 PM	1,88					
16-sep	12:15 AM	1,86	8,47	0,49	7,98	5,78	94,22
16-sep	06:45 AM	1,84	7,38	0,49	6,89	6,64	93,36
16-sep	03:30 PM	1,82	5,49	0,49	5,00	8,93	91,07
17-sep	02:45 AM	1,80	4,27	0,49	3,78	11,48	88,52
17-sep	05:15 PM	1,78	3,31	0,49	2,82	14,80	85,20
18-sep	08:50 AM	1,76	3,08	0,49	2,59	15,91	84,09
19-sep	06:45 AM	1,74	2,19	0,49	1,70	22,37	77,63
20-sep	06:55 AM	1,72	1,99	0,49	1,50	24,67	75,33
21-sep	07:30 AM	1,70	1,95	0,49	1,46	25,10	74,90
22-sep	10:00 AM	1,68	1,81	0,49	1,32	27,05	72,95
24-sep	02:00 AM	1,66	1,20	0,49	0,71	40,83	59,17
25-sep	11:05 AM	1,64	1,45	0,49	0,96	33,77	66,23
26-sep	08:00 PM	1,62	1,46	0,49	0,97	33,60	66,40
28-sep	04:05 AM	1,60	1,50	0,49	1,01	32,75	67,25
30-sep	09:50 PM	1,58	0,73	0,49	0,24	67,12	32,88
03-oct	12:15 AM	1,56	0,95	0,63	0,32	66,17	33,83
04-oct	07:25 PM	1,54	1,11	0,63	0,48	56,66	43,34
07-oct	01:50 PM	1,52	0,72	0,63	0,09	87,17	12,83
09-oct	02:30 PM	1,50	0,99	0,63	0,36	63,87	36,13
11-oct	05:45 PM	1,48	0,94	0,63	0,31	67,27	32,73
13-oct	07:50 PM	1,46	0,96	0,63	0,33	65,73	34,27
16-oct	01:35 PM	1,44	0,73	0,63	0,10	86,30	13,70
17-oct	08:40 PM	1,42	1,54	0,63	0,91	40,80	59,20
20-oct	02:15 PM	1,40	0,73	0,63	0,10	86,08	13,92
22-oct	06:20 PM	1,38	0,92	0,63	0,29	68,36	31,64
25-oct	02:20 PM	1,36	0,71	0,63	0,08	89,25	10,75
27-oct	04:05 PM	1,34	0,96	0,63	0,33	65,30	34,70
29-oct	09:10 PM	1,32	0,90	0,63	0,27	69,67	30,33
31-oct	10:05 PM	1,30	0,98	0,63	0,35	64,20	35,80
03-nov	04:55 PM	1,28	0,72	0,7	0,02	97,47	2,53
05-nov	06:00 PM	1,26	0,98	0,7	0,28	71,58	28,42
07-nov	04:50 PM	1,24	1,02	0,7	0,32	68,30	31,70
09-nov	01:35 PM	1,22	1,07	0,7	0,37	65,26	34,74
10-nov	05:25 PM	1,20	1,72	0,7	1,02	40,59	59,41

Bilan hydrologique volumique 1997

épisode 1

date	date + heure	échelle (m)	volume d'eau (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m2)	évaporation (m^3/j)	infiltration (m^3/j)
07-jul	09:05 AM	1,90	10703		21845			
07-jul	12:45 PM	1,88	10272	2821,09	21340	21592,50	112,28	2708,81
07-jul	04:30 PM	1,86	9850	2700,80	20835	21087,50	109,66	2591,15
07-jul	08:45 PM	1,84	9438	2326,59	20320	20577,50	107,00	2219,59
08-jul	01:35 AM	1,82	9037	1991,17	19790	20055,00	104,29	1886,89
08-jul	06:45 AM	1,80	8646	1816,26	19280	19535,00	101,58	1714,68
08-jul	12:50 PM	1,78	8266	1499,18	18780	19030,00	98,96	1400,22
08-jul	07:45 PM	1,76	7895	1287,33	18295	18537,50	96,40	1190,93
09-jul	03:50 AM	1,74	7534	1071,84	17815	18055,00	93,89	977,95
09-jul	01:35 PM	1,72	7183	864,00	17340	17577,50	91,40	772,60
10-jul	01:00 AM	1,70	6840	721,05	16877	17108,50	88,96	632,09
10-jul	04:10 PM	1,68	6508	525,36	16415	16646,00	86,56	438,80
11-jul	07:10 AM	1,66	6184	518,40	15955	16185,00	84,16	434,24
12-jul	12:00 AM	1,64	5869	449,11	15510	15732,50	81,81	367,30
12-jul	04:30 PM	1,62	5534	487,27	15060	15285,00	79,48	407,79
13-jul	09:55 AM	1,60	5267	367,92	14610	14835,00	77,14	290,78
14-jul	06:25 AM	1,58	4979	337,17	14160	14385,00	74,80	262,37
15-jul	03:35 AM	1,56	4700	316,35	13700	13930,00	72,44	243,91
16-jul	01:45 AM	1,54	4431	291,25	13190	13445,00	69,91	221,33
16-jul	10:55 PM	1,52	4173	292,54	12675	12932,50	67,25	225,29
17-jul	08:25 PM	1,50	3924	277,95	12230	12452,50	64,75	213,20
18-jul	10:40 PM	1,48	3684	219,43	11815	12022,50	62,52	156,91
20-jul	03:10 AM	1,46	3451	196,21	11420	11617,50	60,41	135,80
21-jul	05:45 AM	1,44	3227	202,23	11035	11227,50	58,38	143,85
22-jul	02:50 PM	1,42	3010	157,42	10660	10847,50	56,41	101,01
23-jul	09:05 PM	1,40	2800	166,61	10295	10477,50	54,48	112,13
25-jul	12:40 AM	1,38	2598	175,76	9930	10112,50	52,59	123,17
28-jul	11:35 AM	1,36	2403	56,44	9570	9750,00	50,70	5,74

épisode 2

date	late+heur	échelle (m)	olume d'ea (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m2)	évaporation (m^3/j)	lébit infiltr (m^3/j)
29-jul	03:35 AM	1,91	10923		22095			
29-jul	08:15 AM	1,89	10486	2247,43	21590	21842,5	113,58	2133,85
29-jul	02:10 PM	1,87	10059	1732,06	21090	21340	110,97	1621,09
29-jul	10:35 PM	1,85	9643	1186,22	20580	20835	108,34	1077,88
30-jul	08:35 AM	1,83	9236	976,80	20055	20317,5	105,65	871,15
30-jul	09:10 PM	1,81	8841	753,38	19535	19795	102,93	650,44
31-jul	10:20 AM	1,79	8455	703,59	19025	19280	100,26	603,34
01-aoû	01:15 AM	1,77	8079	604,96	18535	18780	97,66	507,30
01-aoû	04:55 PM	1,75	7714	559,15	18055	18295	95,13	464,01
02-aoû	10:40 AM	1,73	7357	482,70	17575	17815	92,64	390,07
03-aoû	03:55 AM	1,71	7010	482,78	17110	17342,5	90,18	392,60
03-aoû	11:05 PM	1,69	6673	421,98	16645	16877,5	87,76	334,22
04-aoû	08:40 PM	1,67	6345	364,73	16185	16415	85,36	279,37
07-aoû	09:55 AM	1,65	6025	125,39	15730	15957,5	82,98	42,41
08-aoû	06:50 PM	1,63	5715	226,03	15285	15507,5	80,64	145,39
09-aoû	09:30 PM	1,61	5414	270,90	14835	15060	78,31	192,59

épisode 3

date	late+heur	échelle (m)	olume d'ea (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m2)	évaporation (m^3/j)	débit infiltr (m^3/j)
11-août	05:05 PM	1,64	5869		15510			
12-août	08:20 PM	1,62	5564	268,62	15060	15285,00	79,48	189,14
14-août	07:45 AM	1,60	5267	201,26	14610	14835,00	77,14	124,12
15-août	09:50 PM	1,58	4979	181,50	14160	14385,00	74,80	106,69
17-août	02:20 AM	1,56	4700	234,95	13700	13930,00	72,44	162,51
18-août	01:30 PM	1,54	4431	183,58	13190	13445,00	69,91	113,67
20-août	02:05 AM	1,52	3924	332,61	12675	12932,50	67,25	265,36
21-août	08:25 PM	1,50	3684	136,06	12230	12452,50	64,75	71,31
23-août	11:55 AM	1,48	3451	141,57	11815	12022,50	62,52	79,05
24-août	08:10 PM	1,46	3227	166,70	11420	11617,50	60,41	106,29
27-août	05:15 AM	1,44	3010	91,24	11035	11227,50	58,38	32,85
29-août	08:25 AM	1,42	2800	98,50	10660	10847,50	56,41	42,09

épisode 4

date	late+heur	échelle (m)	olume d'ea (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m2)	évaporation (m^3/j)	débit infiltr (m^3/j)
01-sep	12:25 PM	1,60	5267,00		14610			
02-sep	05:15 PM	1,58	4979,00	239,72	14160	14385	70,4865	169,236043
04-sep	02:25 PM	1,56	4700,00	148,25	13700	13930	68,257	79,9939225
06-sep	09:05 PM	1,54	4431,00	118,10	13190	13445	65,8805	52,217061

épisode 5

date	late+heur	échelle (m)	olume d'ea (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m2)	évaporation (m^3/j)	débit infiltr (m^3/j)
07-sep	11:00 PM	1,62	5564		15060			
09-sep	07:20 AM	1,60	5267	220,45	14610	14835	72,69	147,76
10-sep	06:30 PM	1,58	4979	196,55	14160	14385	70,49	126,06
12-sep	03:05 PM	1,56	4700	150,19	13700	13930	68,26	81,93
14-sep	04:00 PM	1,54	4431	131,98	13190	13445	65,88	66,10

épisode 6

date	late+heur	échelle (m)	olume d'ea (m^3)	débit vidangé (m^3/j)	surface (m^2)	surface moyenne(m^2)	évaporation (m^3/j)	débit infiltr (m^3/j)
15-sep	06:35 PM	1,88	10272		21340			
16-sep	12:15 AM	1,86	9850	1787,29	20835	21087,50	103,33	1683,97
16-sep	06:45 AM	1,84	9438	1521,23	20320	20577,50	100,83	1420,40
16-sep	03:30 PM	1,82	9037	1099,89	19790	20055,00	98,27	1001,62
17-sep	02:45 AM	1,80	8646	834,13	19280	19535,00	95,72	738,41
17-sep	05:15 PM	1,78	8266	628,97	18780	19030,00	93,25	535,72
18-sep	08:50 AM	1,76	7895	571,38	18295	18537,50	90,83	480,55
19-sep	06:45 AM	1,74	7534	395,32	17815	18055,00	88,47	306,85
20-sep	06:55 AM	1,72	7183	348,58	17340	17577,50	86,13	262,45
21-sep	07:30 AM	1,70	6840	334,86	16877	17108,50	83,83	251,03
22-sep	10:00 AM	1,68	6508	300,68	16415	16646,00	81,57	219,11
24-sep	02:00 AM	1,66	6184	194,40	15955	16185,00	79,31	115,09
25-sep	11:05 AM	1,64	5869	228,51	15510	15732,50	77,09	151,42
26-sep	08:00 PM	1,62	5564	222,38	15060	15285,00	74,90	147,48
28-sep	04:05 AM	1,60	5267	222,17	14610	14835,00	72,69	149,48
30-sep	09:50 PM	1,58	4979	105,13	14160	14385,00	70,49	34,64
03-oct	12:15 AM	1,56	4700	132,81	13700	13930,00	87,76	45,05
04-oct	07:25 PM	1,54	4431	149,56	13190	13445,00	84,70	64,86
07-oct	01:50 PM	1,52	4173	93,23	12675	12932,50	81,47	11,75
09-oct	02:30 PM	1,50	3924	122,79	12230	12452,50	78,45	44,34
11-oct	05:45 PM	1,48	3684	112,39	11815	12022,50	75,74	36,65
13-oct	07:50 PM	1,46	3451	111,65	11420	11617,50	73,19	38,46
16-oct	01:35 PM	1,44	3227	81,76	11035	11227,50	70,73	11,03
17-oct	08:40 PM	1,42	3010	167,55	10660	10847,50	68,34	99,21
20-oct	02:15 PM	1,40	2800	76,85	10295	10477,50	66,01	10,84
22-oct	06:20 PM	1,38	2598	93,08	9930	10112,50	63,71	29,37
25-oct	02:20 PM	1,36	2403	68,82	9570	9750,00	61,43	7,40
27-oct	04:05 PM	1,34	2215	90,69	9200	9385,00	59,13	31,57
29-oct	09:10 PM	1,32	2035	81,38	8830	9015,00	56,79	24,59
31-oct	10:05 PM	1,30	1862	84,88	8455	8642,50	54,45	30,43
03-nov	04:55 PM	1,28	1697	59,25	8085	8270,00	57,89	1,36
05-nov	06:00 PM	1,26	1539	77,26	7730	7907,50	55,35	21,90
07-nov	04:50 PM	1,24	1388	77,38	7370	7550,00	52,85	24,53
09-nov	01:35 PM	1,22	1244	77,23	7025	7197,50	50,38	26,85
10-nov	05:25 PM	1,20	1107	118,13	6675	6850,00	47,95	70,18

Bilans hydrologiques 1998

	hauteur du début de l'épisode (m)	hauteur de la fin de l'épisode (m)	amplitude de la vidange (m)	durée de l'épisode (j)	intensité moyenne (cm/j)	intensité initiale (cm/j)	intensité finale (cm/j)
épisode 1	1,97	1,73	0,24	3,47	9,40	20,57	4,27
épisode 2	1,76	1,62	0,14	5,29	2,84	3,39	1,48
épisode 3	1,66	1,54	0,12	4,92	2,47	3,13	2,20
épisode 4	2,16	1,96	0,20	0,98	19,42	30,32	12,26
épisode 5	2,07	1,77	0,30	4,95	7,02	16,00	3,29
épisode 6	1,88	1,70	0,18	7,23	2,92	6,03	1,53
épisode 7	2,00	1,78	0,22	8,34	4,11	9,00	0,71
épisode 8	2,04	1,24	0,80	63,45	2,00	8,73	0,74

	hauteur du début de l'épisode (m)	hauteur de la fin de l'épisode (m)	amplitude de la vidange (m)	durée de l'épisode (j)	volume infilté (m^3)	débit moyen (m^3/j)	débit initial (m^3/j)	débit final (m^3/j)
épisode 1	1.96	1,72	0,24	3,47	4876,00	1780,16	3412	733,00
épisode 2	1,76	1,62	0,14	5,29	2331,00	477,82	611,58	225,81
épisode 3	1,66	1,54	0,12	4,92	1753,00	362,62	493,04	295,60
épisode 4	2,12	1,96	0,16	0,98	4085,00	4444,18	6461,24	2898,38
épisode 5	2,06	1,78	0,28	4,95	6261,00	1392,77	3090,00	608,00
épisode 6	1,88	1,70	0,18	7,23	3432,00	571,63	1350,40	262,03
épisode 7	2,00	1,78	0,22	8,34	4779,00	923,35	2173,50	135,78
épisode 8	2,04	1,24	0,80	63,45	12624,00	386,97	2199,27	55,83

Bilan hydrologique 1998

épisode 1

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
28-jul	01:30 PM	1.97					
28-jul	03:50 PM	1.95	20.57	0.61	19.96	2.97	97.03
28-jul	06:55 PM	1.93	15.57	0.61	14.96	3.92	96.08
28-jul	10:20 PM	1.91	14.05	0.61	13.44	4.34	95.66
29-jul	02:30 AM	1.89	11.52	0.61	10.91	5.30	94.70
29-jul	07:15 AM	1.87	10.11	0.61	9.50	6.04	93.96
29-jul	01:15 PM	1.85	8.00	0.61	7.39	7.63	92.38
29-jul	07:30 PM	1.83	7.68	0.61	7.07	7.94	92.06
30-jul	03:20 AM	1.81	6.13	0.61	5.52	9.95	90.05
30-jul	11:45 AM	1.79	5.70	0.61	5.09	10.70	89.30
30-jul	10:10 PM	1.77	4.61	0.61	4.00	13.24	86.76
31-jul	08:30 AM	1.75	4.65	0.61	4.04	13.13	86.87
31-jul	07:45 PM	1.73	4.27	0.61	3.66	14.30	85.70

épisode 2

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
01-août	04:50 AM	1.76					
01-août	07:00 PM	1.74	3.39	0.37	3.02	10.92	89.08
02-août	09:20 AM	1.72	3.35	0.37	2.98	11.05	88.95
03-août	01:05 AM	1.70	3.05	0.37	2.68	12.14	87.86
03-août	07:50 PM	1.68	2.56	0.37	2.19	14.45	85.55
04-août	11:15 AM	1.66	3.11	0.37	2.74	11.88	88.12
05-août	03:25 AM	1.64	2.97	0.37	2.60	12.46	87.54
06-août	11:50 AM	1.62	1.48	0.37	1.11	24.99	75.01

épisode 3

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
07-août	07:25 AM	1.66					
07-août	10:45 PM	1.64	3.13	0.37	2.76	11.82	88.18
08-août	07:00 PM	1.62	2.37	0.37	2.00	15.61	84.39
09-août	03:10 PM	1.60	2.38	0.37	2.01	15.55	84.45
10-août	12:05 PM	1.58	2.29	0.37	1.92	16.12	83.88
11-août	07:40 AM	1.56	2.45	0.37	2.08	15.11	84.89
12-août	05:31 AM	1.54	2.20	0.37	1.83	16.84	83.16

épisode 4

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
13-août	09:25 AM	2.16					
13-août	11:00 AM	2.14	30.32	0.37	29.95	1.22	98.78
13-août	12:50 PM	2.12	26.18	0.37	25.81	1.41	98.59
13-août	02:52 PM	2.10	24.00	0.37	23.63	1.54	98.46
13-août	05:00 PM	2.08	22.15	0.37	21.78	1.67	98.33
13-août	07:35 PM	2.06	18.58	0.37	18.21	1.99	98.01
13-août	10:20 PM	2.04	17.45	0.37	17.08	2.12	97.88
14-août	01:15 AM	2.02	16.46	0.37	16.09	2.25	97.75
14-août	04:40 AM	2.00	14.05	0.37	13.68	2.63	97.37
14-août	08:25 AM	1.98	12.80	0.37	12.43	2.89	97.11
14-août	12:20 PM	1.96	12.26	0.37	11.89	3.02	96.98

épisode 5

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
14-août	04:35 PM	2.07		0.37			
14-août	07:35 PM	2.05	16.00	0.37	15.63	2.31	97.69
14-août	11:45 PM	2.03	11.52	0.37	11.15	3.21	96.79
15-août	04:19 AM	2.01	10.50	0.37	10.13	3.52	96.48
15-août	09:10 AM	1.99	9.90	0.37	9.53	3.74	96.26
15-août	05:10 PM	1.97	6.00	0.37	5.63	6.17	93.83
15-août	11:40 PM	1.95	7.38	0.37	7.01	5.01	94.99
16-août	06:40 AM	1.93	6.86	0.37	6.49	5.40	94.60
16-août	02:05 PM	1.91	6.47	0.37	6.10	5.72	94.28
16-août	09:50 PM	1.89	6.19	0.37	5.82	5.97	94.03
17-août	07:00 AM	1.87	5.24	0.37	4.87	7.07	92.93
17-août	05:00 PM	1.85	4.80	0.37	4.43	7.71	92.29
18-août	04:35 AM	1.83	4.14	0.37	3.77	8.93	91.07
18-août	06:45 PM	1.81	3.39	0.37	3.02	10.92	89.08
19-août	08:05 AM	1.79	3.60	0.37	3.23	10.28	89.72
19-août	10:40 PM	1.77	3.29	0.37	2.92	11.24	88.76

épisode 6

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
20-aoû	04:55 AM	1.88					
20-aoû	12:25 PM	1.86	6.40	0.37	6.03	5.78	94.22
21-aoû	01:45 AM	1.84	3.60	0.37	3.23	10.28	89.72
21-aoû	05:25 PM	1.82	3.06	0.37	2.69	12.08	87.92
22-aoû	10:25 AM	1.80	2.82	0.37	2.45	13.10	86.90
23-aoû	05:45 AM	1.78	2.48	0.37	2.11	14.90	85.10
24-aoû	01:20 AM	1.76	2.45	0.37	2.08	15.10	84.90
24-aoû	11:15 PM	1.74	2.19	0.37	1.82	16.89	83.11
26-aoû	03:05 AM	1.72	1.72	0.37	1.35	21.45	78.55
27-aoû	10:30 AM	1.70	1.53	0.37	1.16	24.22	75.78

épisode 7

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
28-aoû	07:35 AM	2.00					
28-aoû	12:55 PM	1.98	9.00	0.37	8.63	4.11	95.89
28-aoû	07:20 PM	1.96	7.48	0.37	7.11	4.95	95.05
29-aoû	03:50 AM	1.94	5.65	0.37	5.28	6.55	93.45
29-aoû	01:10 PM	1.92	5.14	0.37	4.77	7.19	92.81
30-aoû	02:25 AM	1.90	3.62	0.37	3.25	10.21	89.79
30-aoû	05:20 PM	1.88	3.22	0.37	2.85	11.50	88.50
31-aoû	09:50 AM	1.86	2.91	0.37	2.54	12.72	87.28
01-sep	03:10 AM	1.84	2.77	0.45	2.32	16.25	83.75
01-sep	09:20 PM	1.82	2.64	0.45	2.19	17.03	82.97
02-sep	08:35 PM	1.80	2.06	0.45	1.61	21.80	78.20
05-sep	03:45 PM	1.78	0.71	0.45	0.26	62.97	37.03

épisode 8

date	date + heure	échelle (m)	intensité (cm/j)	évaporation (cm/j)	infiltration (cm/j)	lame évaporée %	lame infiltrée %
06-sep	12:45 PM	2.04					
06-sep	06:15 PM	2.02	8.73	0.49	8.24	5.61	94.39
07-sep	12:40 AM	2.00	7.48	0.49	6.99	6.55	93.45
07-sep	08:35 AM	1.98	6.06	0.49	5.57	8.08	91.92
07-sep	06:10 PM	1.96	5.01	0.49	4.52	9.78	90.22
08-sep	05:35 AM	1.94	4.20	0.49	3.71	11.65	88.35
08-sep	07:15 PM	1.92	3.51	0.49	3.02	13.95	86.05
09-sep	09:20 AM	1.90	3.41	0.49	2.92	14.38	85.62
10-sep	11:50 AM	1.88	1.81	0.49	1.32	27.05	72.95
11-sep	06:50 AM	1.86	2.53	0.49	2.04	19.40	80.60
12-sep	03:20 AM	1.84	2.34	0.49	1.85	20.93	79.07
13-sep	06:10 AM	1.82	1.79	0.49	1.30	27.39	72.61
14-sep	09:15 AM	1.80	1.77	0.49	1.28	27.65	72.35
16-sep	10:15 AM	1.78	0.98	0.49	0.49	50.02	49.98
17-sep	08:50 PM	1.76	1.39	0.49	0.90	35.30	64.70
21-sep	03:15 AM	1.74	0.61	0.49	0.12	80.05	19.95
22-sep	02:15 PM	1.72	1.37	0.49	0.88	35.73	64.27
24-sep	12:45 AM	1.70	1.39	0.49	0.90	35.22	64.78
25-sep	07:35 AM	1.68	1.56	0.49	1.07	31.48	68.52
26-sep	05:35 PM	1.66	1.41	0.49	0.92	34.71	65.29
28-sep	10:40 PM	1.64	0.90	0.49	0.41	54.19	45.81
30-sep	06:05 PM	1.62	1.11	0.49	0.62	44.32	55.68
02-oct	03:25 PM	1.60	1.06	0.63	0.43	59.50	40.50
04-oct	01:35 PM	1.58	1.04	0.63	0.41	60.59	39.41
06-oct	03:00 AM	1.56	1.28	0.63	0.65	49.11	50.89
07-oct	10:30 PM	1.54	1.10	0.63	0.47	57.09	42.91
09-oct	10:25 AM	1.52	1.34	0.63	0.71	47.14	52.86
11-oct	07:45 PM	1.50	0.84	0.63	0.21	75.25	24.75
12-oct	04:15 PM	1.48	2.34	0.63	1.71	26.91	73.09
15-oct	05:30 PM	1.46	0.66	0.63	0.03	96.14	3.86
17-oct	09:40 AM	1.44	1.20	0.63	0.57	52.72	47.28
18-oct	05:05 PM	1.42	1.53	0.63	0.90	41.23	58.77
21-oct	01:55 AM	1.40	0.84	0.63	0.21	74.59	25.41
23-oct	06:45 PM	1.38	0.74	0.63	0.11	85.09	14.91
26-oct	10:30 PM	1.36	0.63	0.63	0.00	99.42	0.58
27-oct	11:15 PM	1.34	1.94	0.63	1.31	32.48	67.52
30-oct	04:50 AM	1.32	0.90	0.63	0.27	70.33	29.67
01-nov	04:55 AM	1.30	1.00	0.70	0.30	70.12	29.88
03-nov	10:25 PM	1.28	0.73	0.70	0.03	95.52	4.48
06-nov	06:45 AM	1.26	0.85	0.70	0.15	82.15	17.85
08-nov	11:40 PM	1.24	0.74	0.70	0.04	94.67	5.33

Bilan hydrologique volumique 1998

épisode 1

date	date +heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
28-jul	02:10 PM	1.96	12059		23365.00			
28-jul	05:25 PM	1.94	11597	3412	22850.00	23107.50	140.96	3270.74
28-jul	08:35 PM	1.92	11145	3426	22345.00	22597.50	137.84	3287.84
29-jul	12:30 AM	1.90	10703	2708	21845.00	22095.00	134.78	2573.65
29-jul	04:55 AM	1.88	10272	2342	21340.00	21592.50	131.71	2210.32
29-jul	10:10 AM	1.86	9850	1929	20835.00	21087.50	128.63	1800.51
29-jul	03:55 PM	1.84	9438	1720	20320.00	20577.50	125.52	1594.13
29-jul	11:15 PM	1.82	9037	1312	19790.00	20055.00	122.34	1190.03
30-jul	07:20 AM	1.80	8646	1161	19280.00	19535.00	119.16	1041.74
30-jul	05:05 PM	1.78	8266	935	18780.00	19030.00	116.08	819.30
31-jul	03:05 AM	1.76	7895	890	18295.00	18537.50	113.08	777.32
31-jul	02:00 PM	1.74	7534	794	17815.00	18055.00	110.14	683.51
01-aoû	01:30 AM	1.72	7183	733	17340.00	17577.50	65.04	667.48

épisode 2

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
01-aoû	04:50 AM	1.76	7895		18295			
01-aoû	07:00 PM	1.74	7534	611.58	17815	18055.00	66.80	544.77
02-aoû	09:20 AM	1.72	7183	587.72	17340	17577.50	65.04	522.68
03-aoû	01:05 AM	1.70	6840	522.67	16877	17108.50	63.30	459.37
03-aoû	07:50 PM	1.68	6508	424.96	16415	16646.00	61.59	363.37
04-aoû	11:15 AM	1.66	6184	504.39	15955	16185.00	59.88	444.50
05-aoû	03:25 AM	1.64	5869	467.63	15510	15732.50	58.21	409.42
06-aoû	11:50 AM	1.62	5564	225.81	15060	15285.00	56.55	169.26

épisode 3

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
07-aoû	07:25 AM	1.66	6184		15955			
07-aoû	10:45 PM	1.64	5869	493.04	15510	15732.50	58.21	434.83
08-aoû	07:00 PM	1.62	5564	361.48	15060	15285.00	56.55	304.93
09-aoû	03:10 PM	1.60	5267	353.45	14610	14835.00	54.89	298.57
10-aoû	12:05 PM	1.58	4979	330.45	14160	14385.00	53.22	277.23
11-aoû	07:40 AM	1.56	4700	341.69	13700	13930.00	51.54	290.15
12-aoû	05:31 AM	1.54	4431	295.60	13190	13445.00	49.75	245.86

épisode 4

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
13-août	12:50 PM	2.12	16144		27905			
13-août	02:52 PM	2.10	15593	6461.24	27245	27575.00	102.03	6359.21
13-août	05:00 PM	2.08	15054	6101.89	26635	26940.00	99.68	6002.21
13-août	07:35 PM	2.06	14527	4896.00	26050	26342.50	97.47	4798.53
13-août	10:20 PM	2.04	14012	4494.55	25480	25765.00	95.33	4399.21
14-août	01:15 AM	2.02	13508	4147.20	24935	25207.50	93.27	4053.93
14-août	04:40 AM	2.00	13015	3463.02	24400	24667.50	91.27	3371.75
14-août	08:25 AM	1.98	12532	3091.20	23880	24140.00	89.32	3001.88
14-août	12:20 PM	1.96	12059	2898.38	23365	23622.50	87.40	2810.98

épisode 5

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
14-août	05:40 PM	2.06	14527		26050			
14-août	09:40 PM	2.04	14012	3090	25480	25765.00	95.33	2994.67
15-août	12:20 PM	1.98	12532	2422	23880	24680.00	91.32	2330.50
15-août	08:40 PM	1.96	12059	1362	23365	23622.50	87.40	1274.84
16-août	03:30 AM	1.94	11597	1623	22850	23107.50	85.50	1537.14
16-août	10:25 AM	1.92	11145	1568	22345	22597.50	83.61	1484.77
16-août	06:05 PM	1.90	10703	1384	21845	22095.00	81.75	1301.90
17-août	02:25 AM	1.88	10272	1241	21340	21592.50	79.89	1161.39
17-août	12:15 PM	1.86	9850	1030	20835	21087.50	78.02	951.94
17-août	10:20 PM	1.84	9438	981	20320	20577.50	76.14	904.49
18-août	12:20 PM	1.82	9037	687	19790	20055.00	74.20	613.23
19-août	01:25 AM	1.80	8646	717	19280	19535.00	72.28	644.97
19-août	04:25 PM	1.78	8266	608	18780	19030.00	70.41	537.59

épisode 6

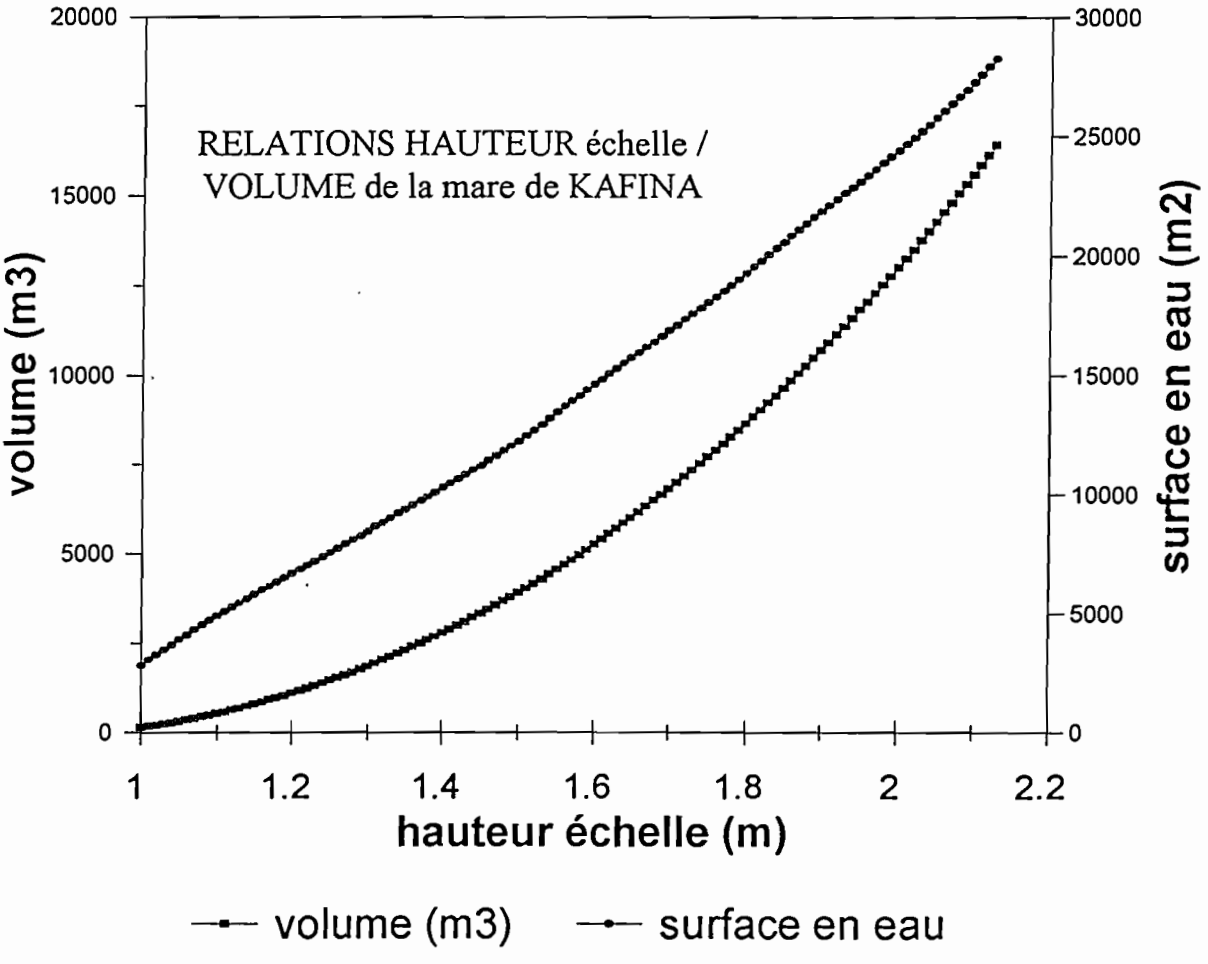
date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
20-août	04:55 AM	1.88	10272		21340			
20-août	12:25 PM	1.86	9850	1350.40	20835	21087.50	78.02	1272.38
21-août	01:45 AM	1.84	9438	741.60	20320	20577.50	76.14	665.46
21-août	05:25 PM	1.82	9037	614.30	19790	20055.00	74.20	540.09
22-août	10:25 AM	1.80	8646	552.00	19280	19535.00	72.28	479.72
23-août	05:45 AM	1.78	8266	471.72	18780	19030.00	70.41	401.31
24-août	01:20 AM	1.76	7895	454.67	18295	18537.50	68.59	386.08
24-août	11:15 PM	1.74	7534	395.32	17815	18055.00	66.80	328.51
26-août	03:05 AM	1.72	7183	302.66	17340	17577.50	65.04	237.62
27-août	10:30 AM	1.70	6840	262.03	16877	17108.50	63.30	198.73

épisode 7

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
28-août	07:35 AM	2.00	13015		24400			
28-août	12:55 PM	1.98	12532	2173.50	23880	24140.00	89.32	2084.18
28-août	07:20 PM	1.96	12059	1769.14	23365	23622.50	87.40	1681.74
29-août	03:50 AM	1.94	11597	1304.47	22850	23107.50	85.50	1218.97
29-août	01:10 PM	1.92	11145	1162.29	22345	22597.50	83.61	1078.67
30-août	02:25 AM	1.90	10703	800.60	21845	22095.00	81.75	718.85
30-août	05:20 PM	1.88	10272	693.45	21340	21592.50	79.89	613.56
31-août	09:50 AM	1.86	9850	613.82	20835	21087.50	78.02	535.79
01-sep	03:10 AM	1.84	9438	570.46	20320	20577.50	92.60	477.86
01-sep	09:20 PM	1.82	9037	529.76	19790	20055.00	90.25	439.51
02-sep	08:35 PM	1.80	8646	403.61	19280	19535.00	87.91	315.71
05-sep	03:45 PM	1.78	8266	135.78	18780	19030.00	85.64	50.15

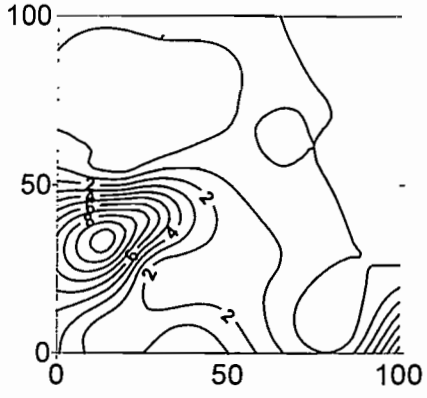
épisode 8

date	date+heure	échelle (m)	volume m^3	vidange (m^3/j)	surface m^2	surface moyenne (m^2)	évaporation (m/j)	infiltration (m^3/j)
06-sep	12:45 PM	2.04	14012		25480			
06-sep	06:15 PM	2.02	13508	2199.27	24935	25207.50	113.43	2085.84
07-sep	12:40 AM	2.00	13015	1843.95	24400	24667.50	111.00	1732.94
07-sep	08:35 AM	1.98	12532	1464.25	23880	24140.00	108.63	1355.62
07-sep	06:10 PM	1.96	12059	1184.56	23365	23622.50	106.30	1078.26
08-sep	05:35 AM	1.94	11597	971.21	22850	23107.50	103.98	867.23
08-sep	07:15 PM	1.92	11145	793.76	22345	22597.50	101.69	692.07
09-sep	09:20 AM	1.90	10703	753.23	21845	22095.00	99.43	653.80
10-sep	11:50 AM	1.88	10272	390.34	21340	21592.50	97.17	293.17
11-sep	06:50 AM	1.86	9850	533.05	20835	21087.50	94.89	438.16
12-sep	03:20 AM	1.84	9438	482.34	20320	20577.50	92.60	389.74
13-sep	06:10 AM	1.82	9037	358.66	19790	20055.00	90.25	268.41
14-sep	09:15 AM	1.80	8646	346.49	19280	19535.00	87.91	258.58
16-sep	10:15 AM	1.78	8266	186.12	18780	19030.00	85.64	100.49
17-sep	08:50 PM	1.76	7895	257.47	18295	18537.50	83.42	174.05
21-sep	03:15 AM	1.74	7534	110.49	17815	18055.00	81.25	29.24
22-sep	02:15 PM	1.72	7183	240.69	17340	17577.50	79.10	161.59
24-sep	12:45 AM	1.70	6840	238.61	16877	17108.50	76.99	161.62
25-sep	07:35 AM	1.68	6508	258.42	16415	16646.00	74.91	183.51
26-sep	05:35 PM	1.66	6184	228.71	15955	16185.00	72.83	155.87
28-sep	10:40 PM	1.64	5869	142.42	15510	15732.50	70.80	71.62
30-sep	06:05 PM	1.62	5564	168.60	15060	15285.00	68.78	99.82
02-oct	03:25 PM	1.60	5267	157.24	14610	14835.00	77.14	80.09
04-oct	01:35 PM	1.58	4979	149.72	14160	14385.00	74.80	74.92
06-oct	03:00 AM	1.56	4700	178.96	13700	13930.00	72.44	106.52
07-oct	10:30 PM	1.54	4431	148.41	13190	13445.00	69.91	78.50
09-oct	10:25 AM	1.52	4173	172.40	12675	12932.50	67.25	105.15
11-oct	07:45 PM	1.50	3924	104.23	12230	12452.50	64.75	39.48
12-oct	04:15 PM	1.48	3684	280.98	11815	12022.50	62.52	218.46
15-oct	05:30 PM	1.46	3451	76.34	11420	11617.50	60.41	15.93
17-oct	09:40 AM	1.44	3227	133.84	11035	11227.50	58.38	75.46
18-oct	05:05 PM	1.42	3010	165.77	10660	10847.50	56.41	109.36
21-oct	01:55 AM	1.40	2800	88.68	10295	10477.50	54.48	34.20
23-oct	06:45 PM	1.38	2598	74.78	9930	10112.50	52.59	22.19
26-oct	10:30 PM	1.36	2403	61.78	9570	9750.00	50.70	11.08
27-oct	11:15 PM	1.34	2215	182.30	9200	9385.00	48.80	133.50
30-oct	04:50 AM	1.32	2035	80.62	8830	9015.00	46.88	33.74
01-nov	04:55 AM	1.30	1862	86.35	8455	8642.50	60.50	25.85
03-nov	10:25 PM	1.28	1697	60.46	8085	8270.00	57.89	2.57
06-nov	06:45 AM	1.26	1539	67.31	7730	7907.50	55.35	11.96
08-nov	11:40 PM	1.24	1388	55.83	7370	7550.00	52.85	2.98

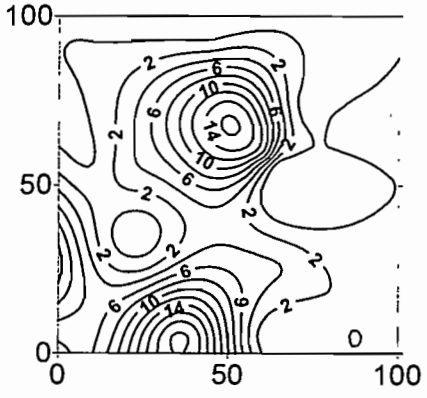

RELATIONS HAUTEUR échelle /
VOLUME de la mare de KAFINA
volume (m3)
surface en eau (m2)
hauteur échelle (m)
20000
15000
10000
5000
0
30000
25000
20000
15000
10000
5000
0
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2
2.2
volume (m3)
surface en eau

ANNEXE 2.
ISOHYETES DES 34 EPISODES DE LA SAISON 1997

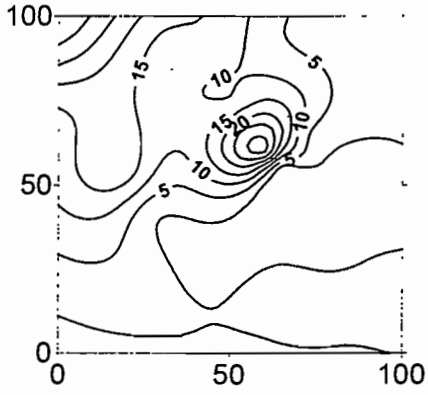
06/05 0h30 - 4h20



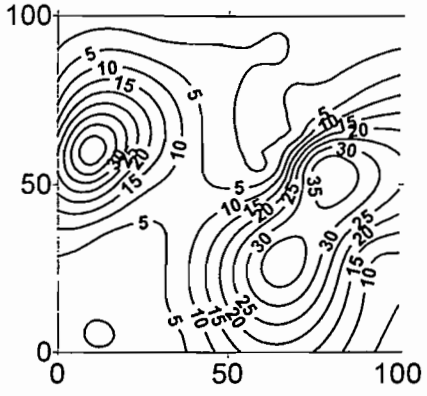
24/05 14h40 - 16h30



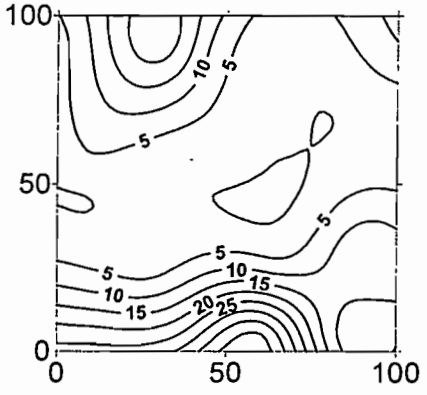
28/05 9h30 - 14h10



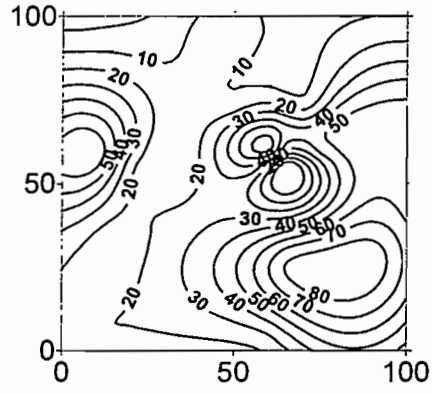
02/06 6h05 - 9h50



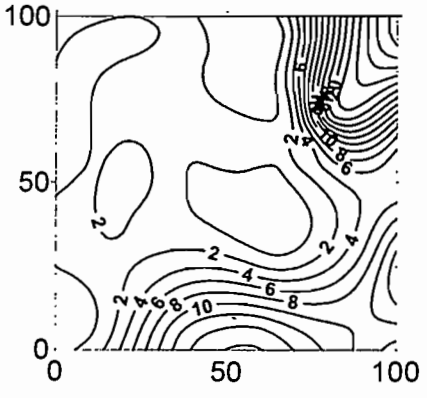
10/06 22h45 - 11/06 5h20



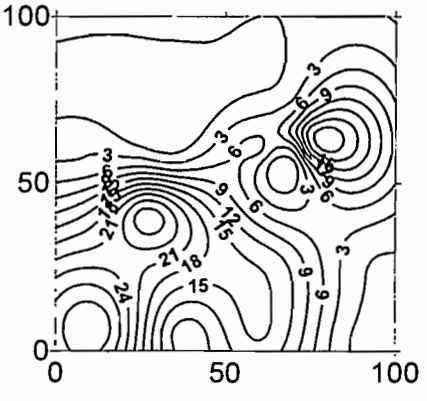
13/06 6h10 - 13h25



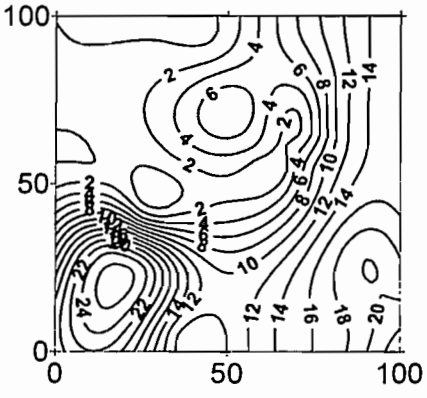
21/06 5h25 - 9h15



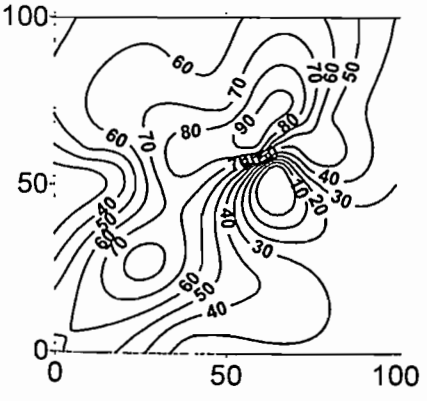
23/06 6h15 - 9h25



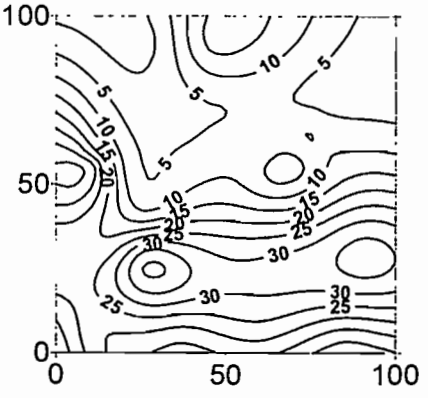
30/06 4h50 - 8h40



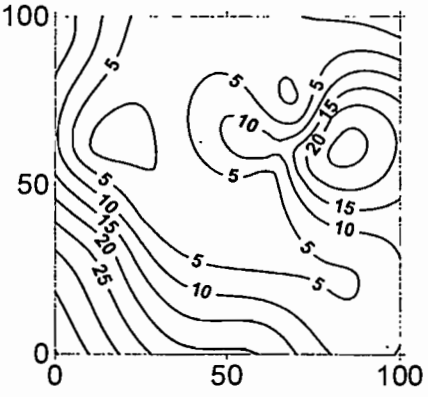
07/07 4h40 - 11h40



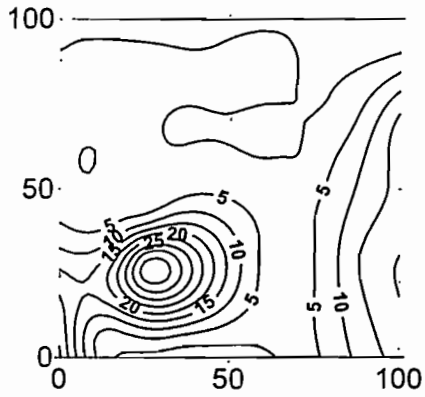
10/07 7h15 - 11h55



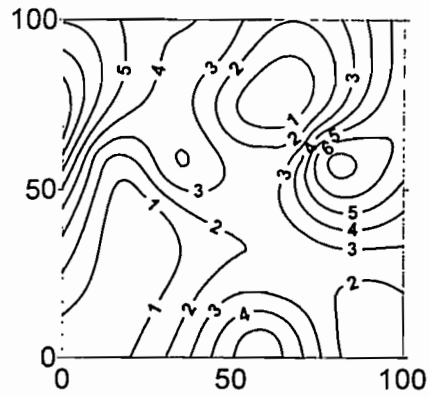
18/07 11h05 - 16h25



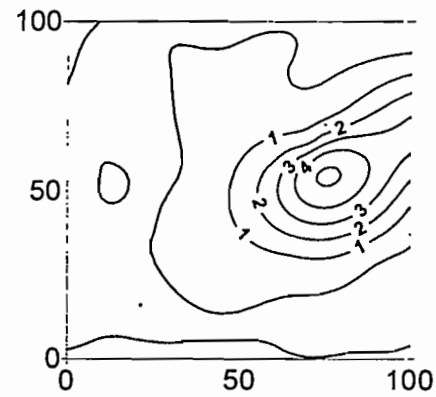
20/07 2h15 - 6h30



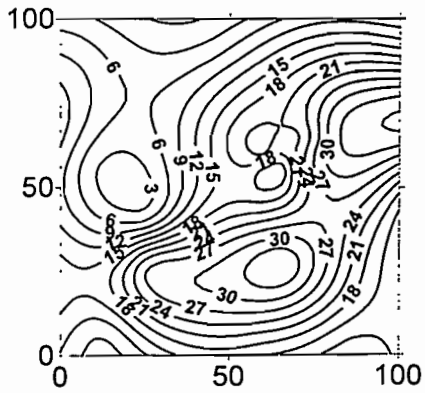
20/07 13h05 - 17h30



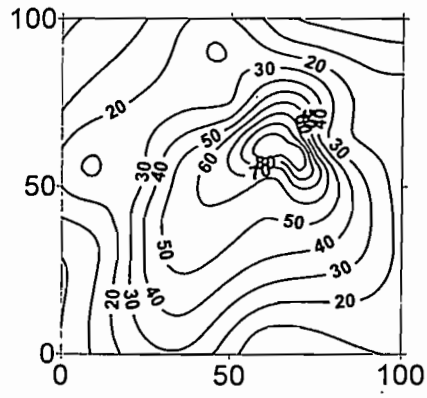
20/07 17h55 - 19h15



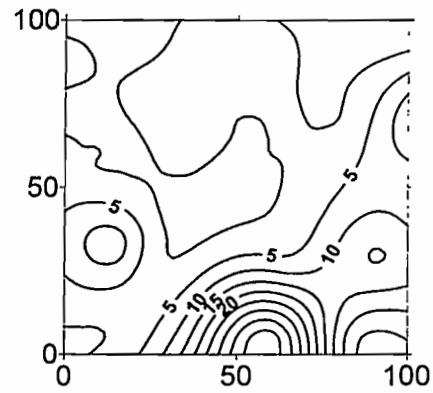
26/07 1h35 - 5h50



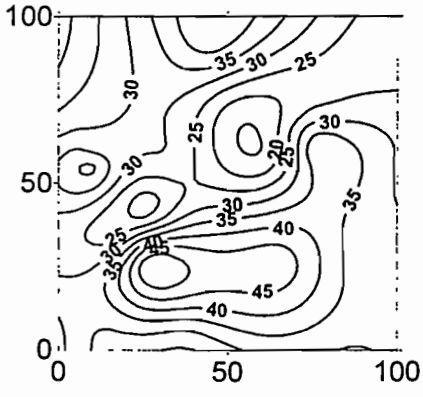
29/07 1h05 - 6h40



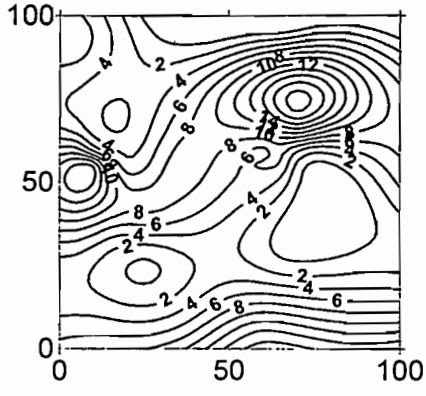
02/08 21h00 - 23h20



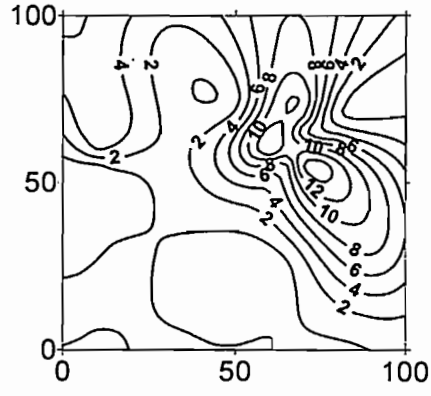
05/08 9h20 - 16h00



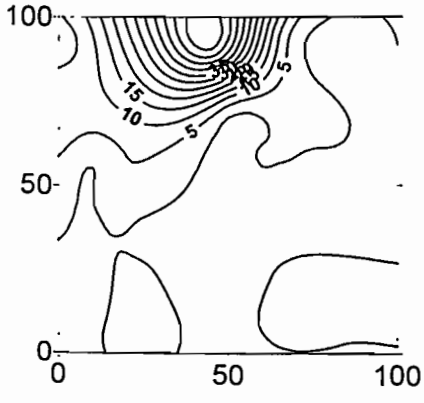
08/08 9h55 - 13h30



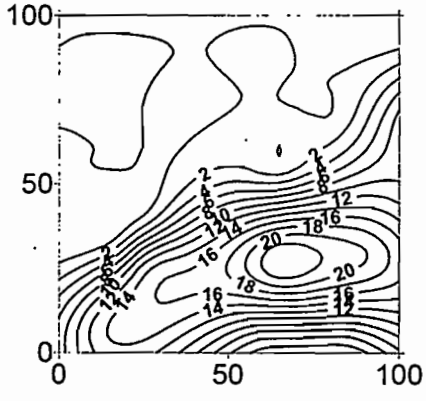
13/08 17h50 - 19h05



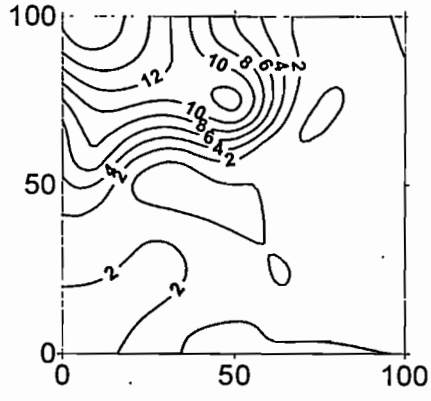
24/08 16h45 - 19h40



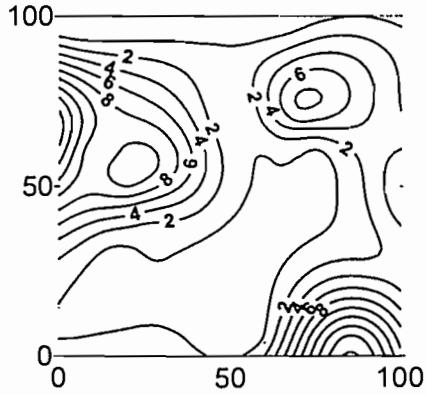
27/08 5h15 - 8h00



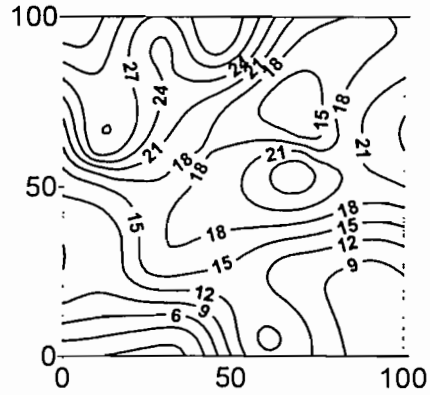
27/08 8h10 - 11h15



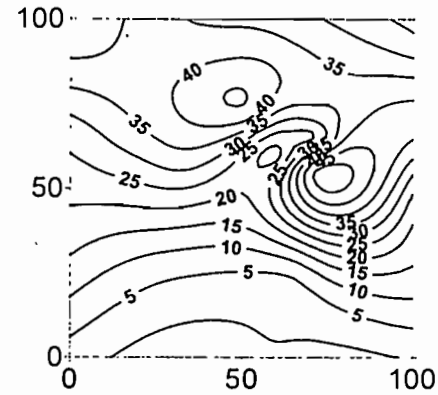
30/08 13h05 - 15h25



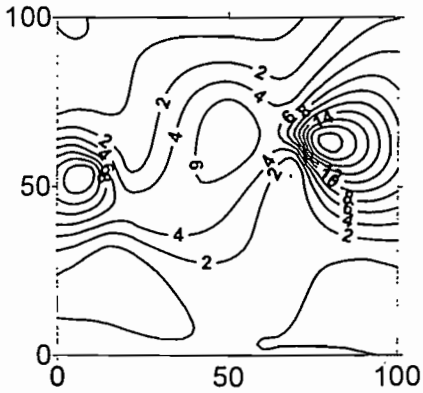
31/08 16h25 - 23h05



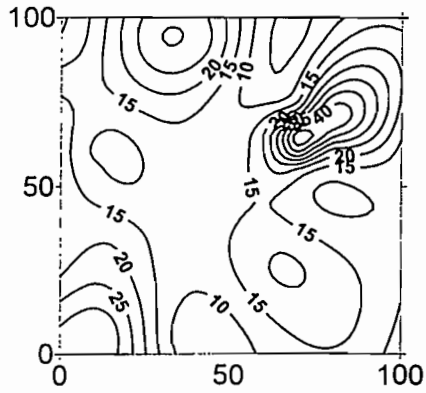
01/09 6h25 - 14h25



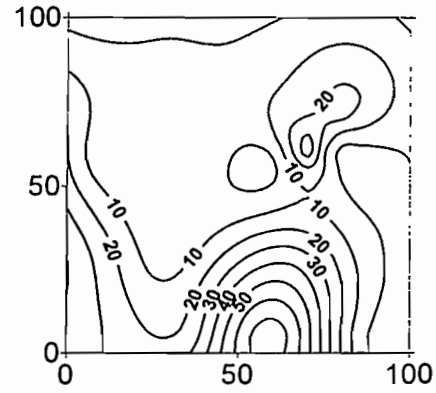
04/09 6h15 - 8h35



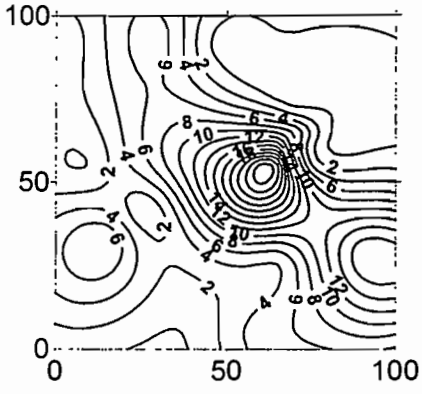
07/09 3h00 - 9h00



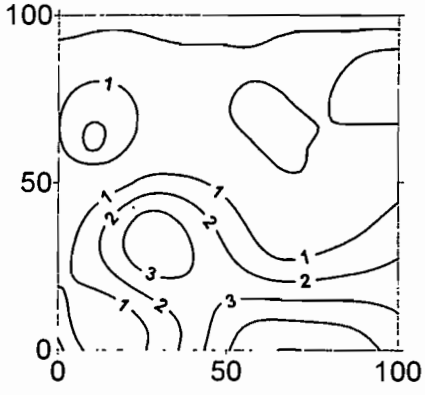
15/09 16h20 - 22h00



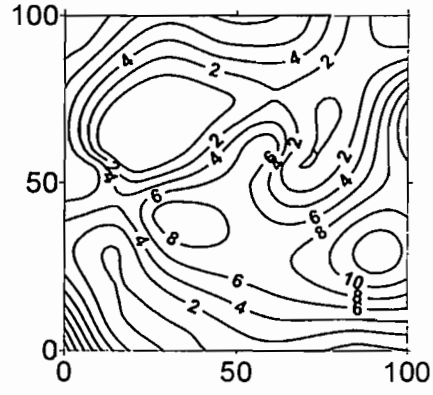
24/09 0h00 - 3h05



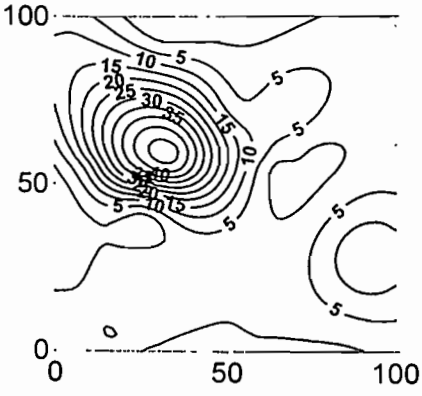
24/09 7h15 - 9h30



27/09 22h55 - 28/09 2h10

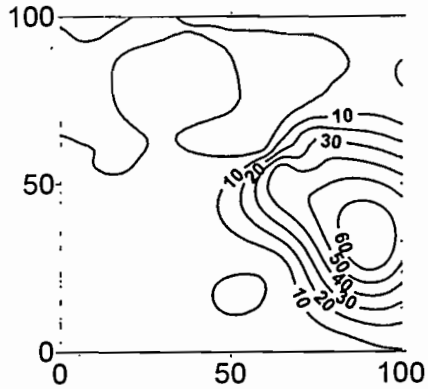


06/10 17h05 - 19h25

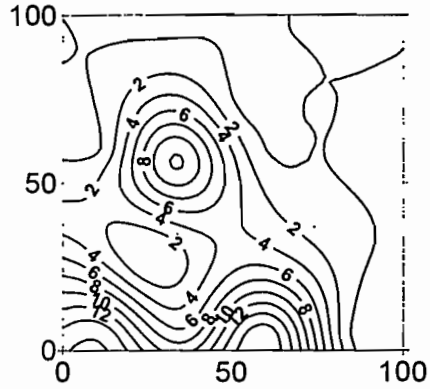


ANNEXE 2.
ISOHYETES DES 44 EPISODES DE LA SAISON 1998

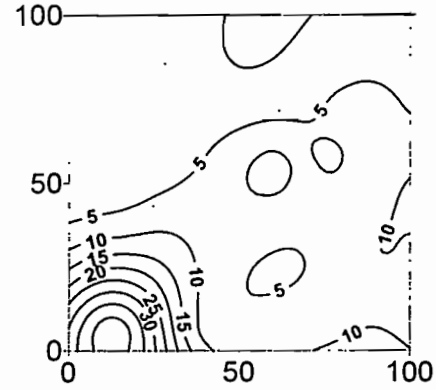
30/04 6h25 - 11h00



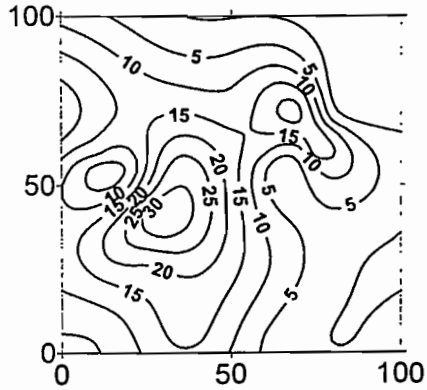
04/05 21h05 - 23h25



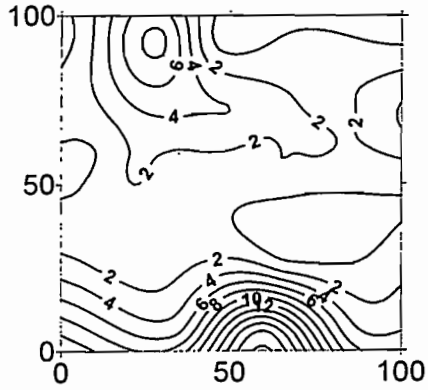
16/05 22h30 - 17/05 4h50



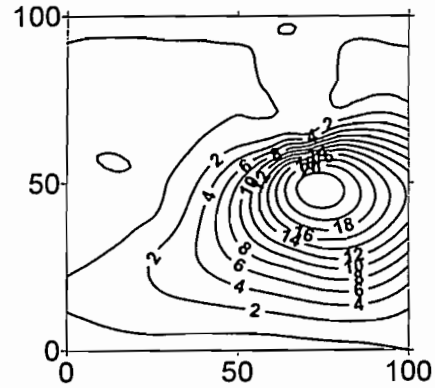
28/05 0h05 - 3h35



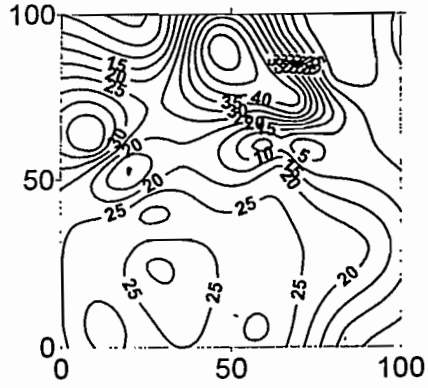
02/06 7h00 - 9h10



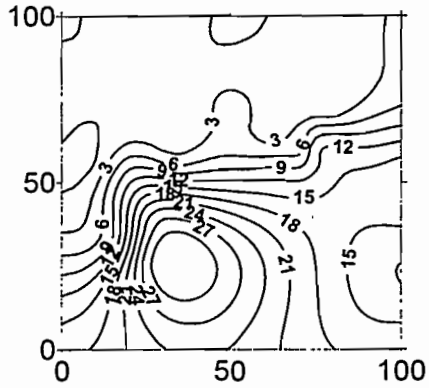
5/06 6h30 - 8h40



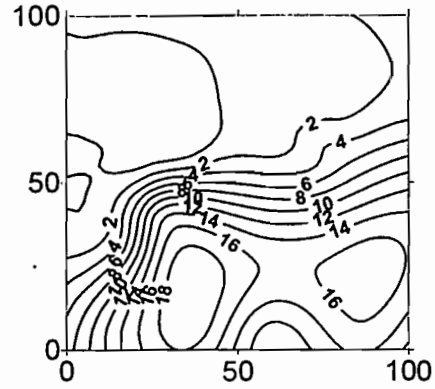
08/06 14h35 - 20h55



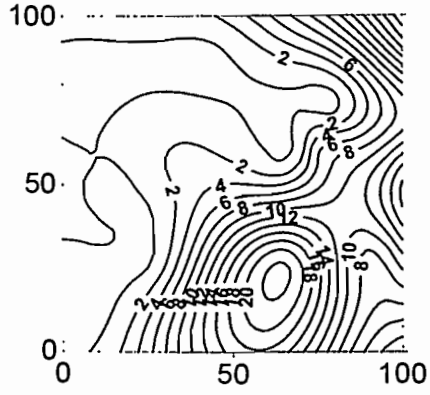
16/06 0h20 - 5h20



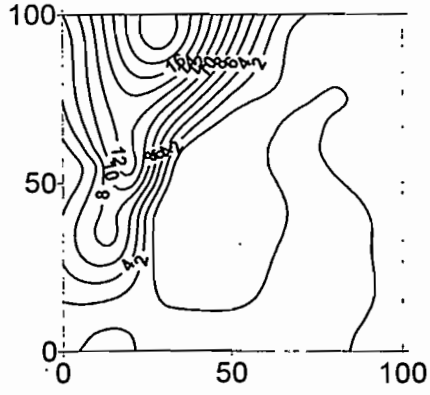
20/06 21h25 -21/06 1h50



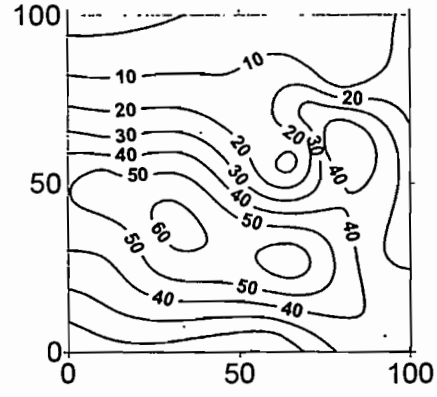
25/06 3h40 - 6h40



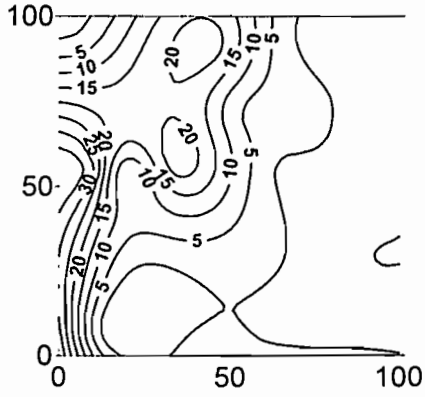
25/06 6h50 - 8h35



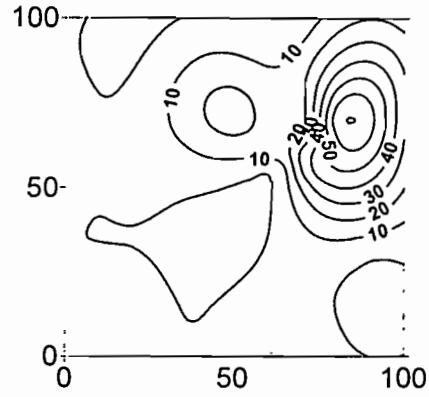
30/06 22h15 - 01/07 5h10



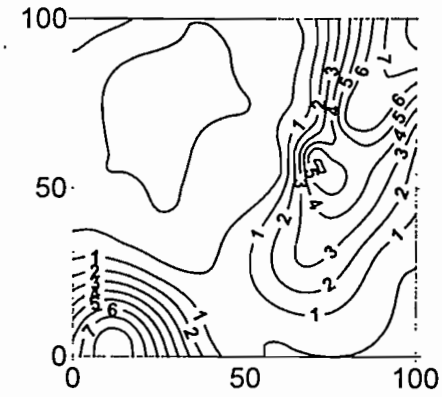
09/07 4h05 - 7h40



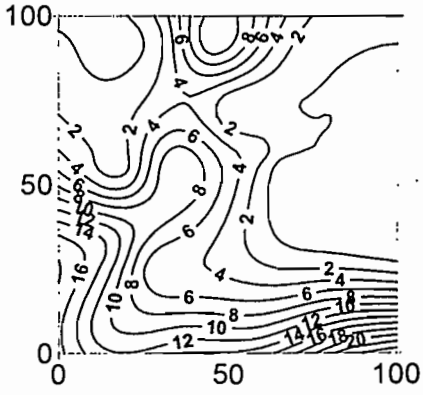
12/07 15h40 - 21h10



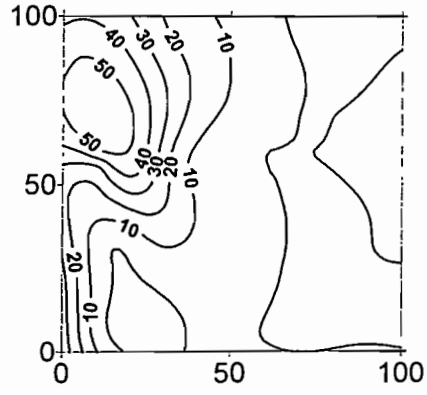
17/07 21h35 - 22h35



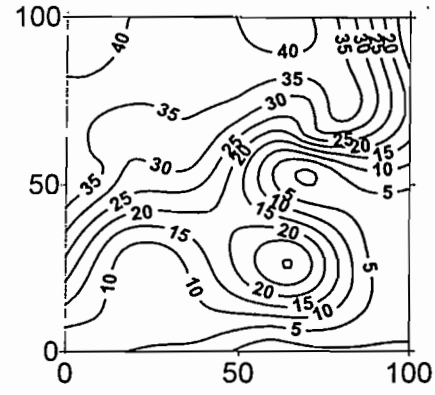
17/07 22h40 - 18/07 2h40



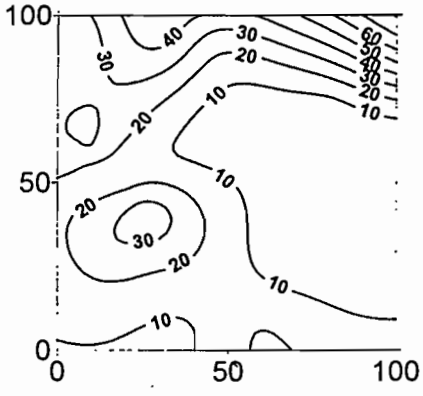
20/07 3h20 - 6h45



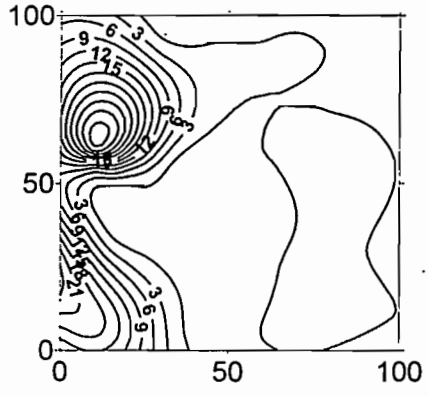
20/07 19h40 - 21/07 1h25



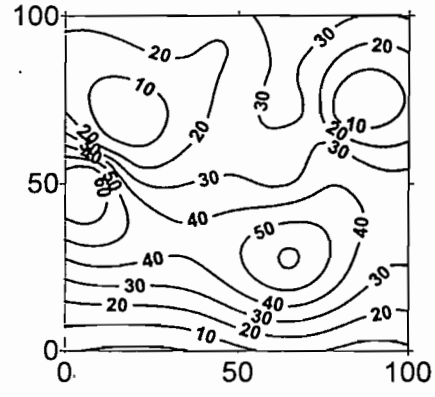
23/07 0h30 - 6h05



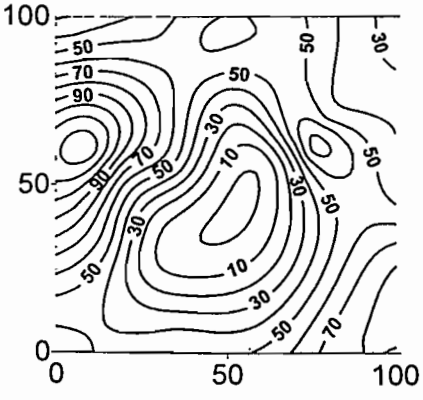
26/07 6h50 - 10h20



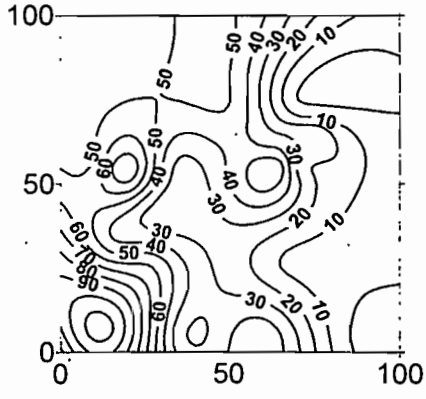
28/07 9h10 - 16h20



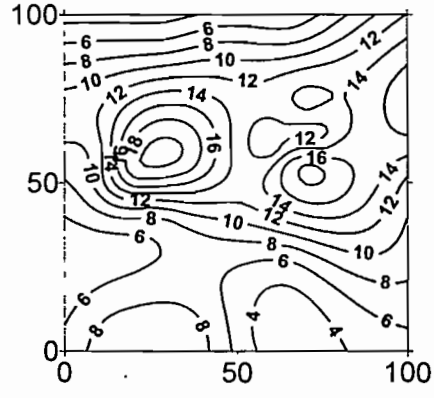
01/08 1h45 - 11h40



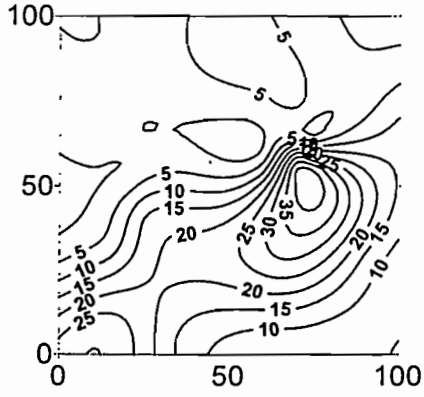
03/08 7h15 - 13h50



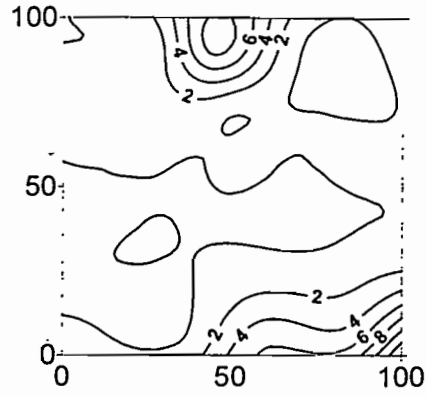
05/08 6h00 - 13h45



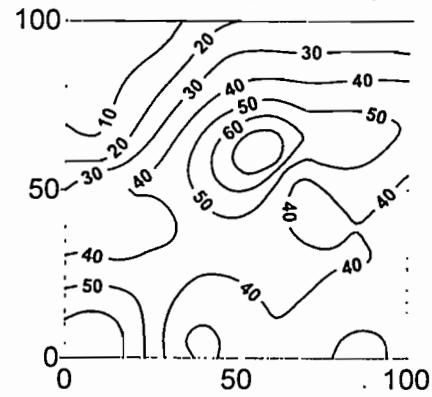
07/08 6h30 - 11h15



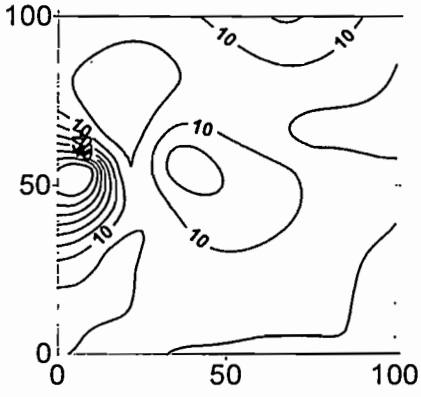
11/08 13h15 - 15h40



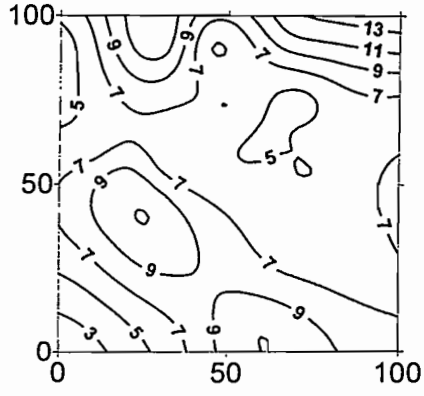
13/08 5h05 - 12h10



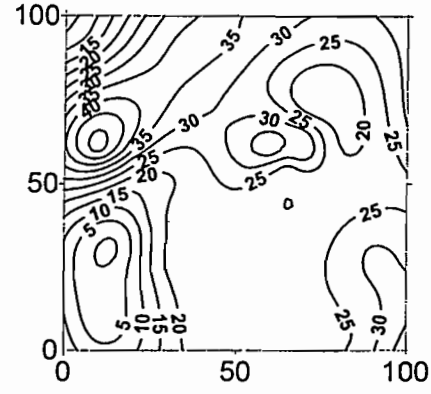
14/08 15h10 - 17h40



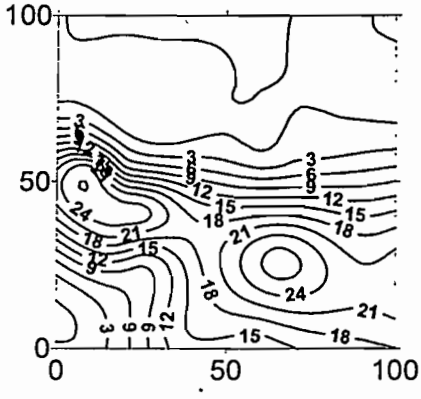
15/08 13h10 - 16h40



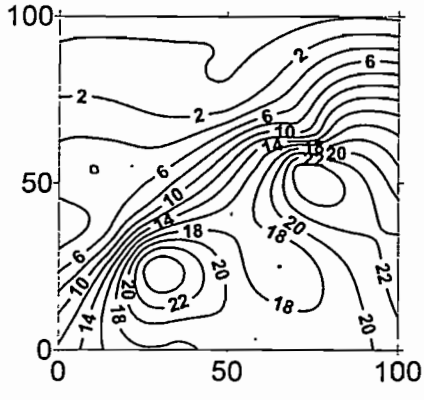
20/08 1h20 - 7h15



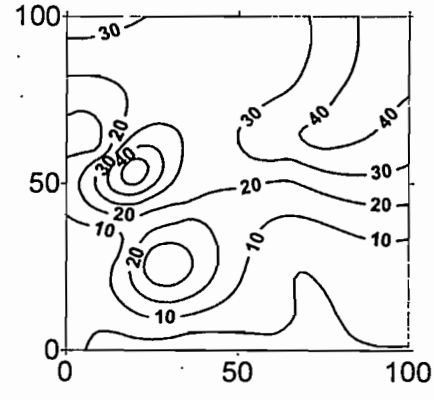
23/08 1h15 - 4h00



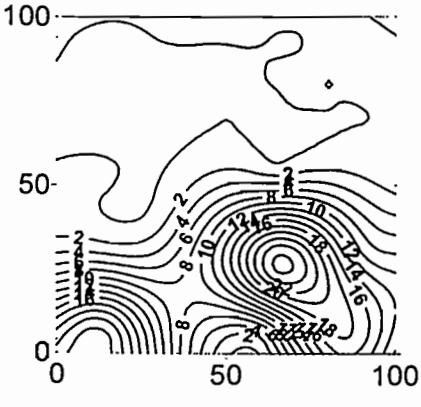
25/08 11h35 - 14h55



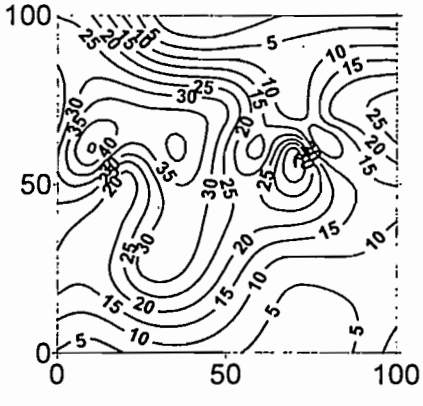
28/08 5H00 6 10H05



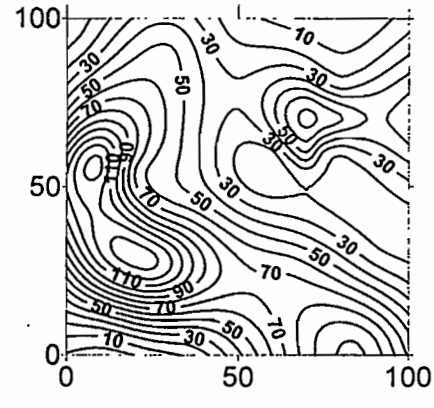
31/08 15h25 - 18h50



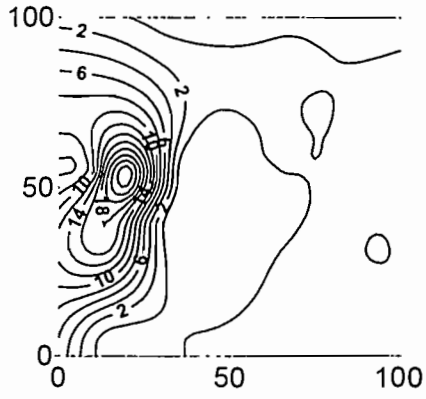
04/09 1h30 - 8h55



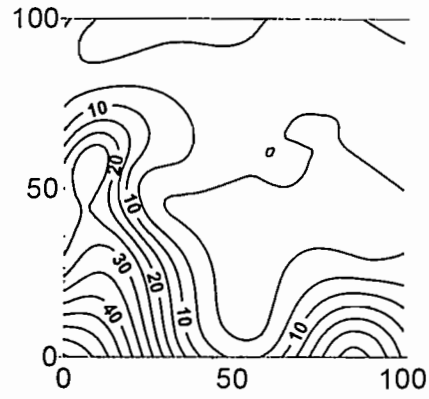
06/09 7h30 - 18h05



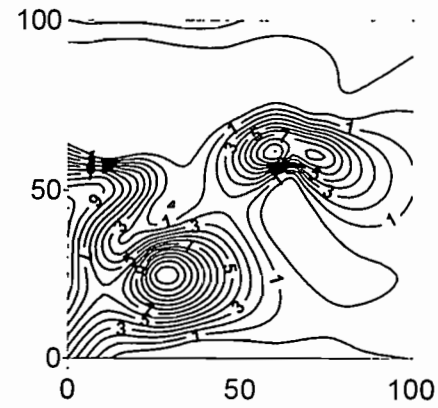
06/09 20h35 - 07/09 0h05



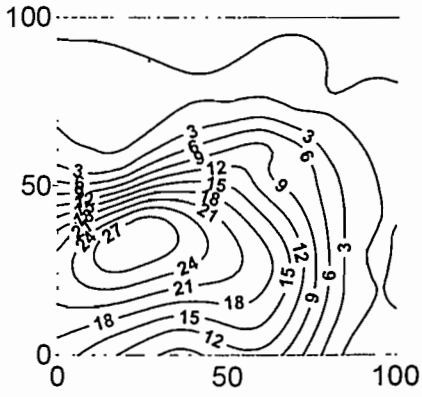
08/09 5h25 - 12h15



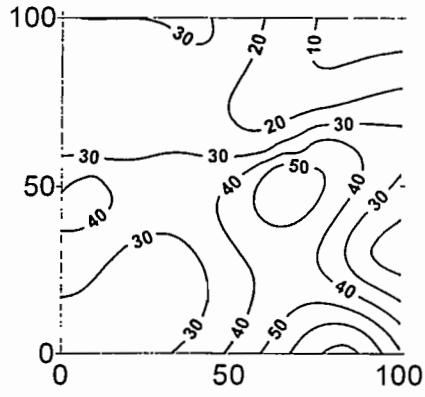
11/09 15h20 - 17h25



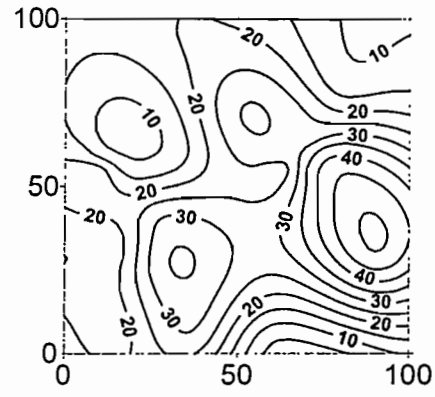
14/09 8h20 - 11h25



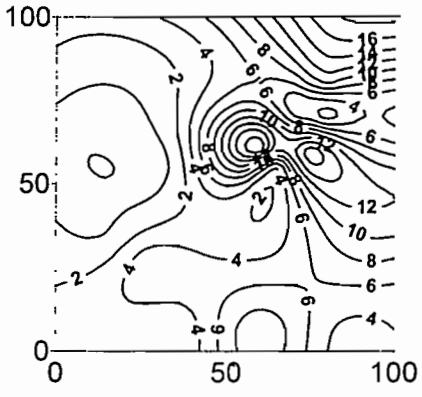
15/09 22h40 - 16/09 4h45



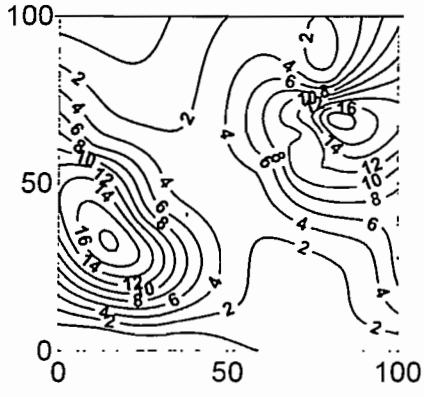
18/09 11h25 - 15h15



20/09 23h40 - 21/09 3h55



27/09 20h55 - 23h10



Evaporation bac type A à sadoré (ICRISAT)

(données non corrigées)

Année	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc	Total
1988	221.0	254.7	339.6	315.4	316.3	219.8	170.6	133.8	122.4	175.3	197.5	201.2	2667.6
1989	220.8	239.8	318.7	317.0	320.5	251.8	206.1	145.0	143.2	180.1	225.1	206.3	2774.4
1990	218.5	235.5	337.6	286.4	290.2	243.6	172.2	175.2	165.1	216.5	222.0	219.3	2782.1
1991	253.8	235.8	324.8	279.6	203.0	189.5	150.2	131.6	158.6	200.7	212.4	205.9	2545.9
1992	227.9	282.3	317.5	295.4	259.4	239.2	169.6	140.0	149.6	197.3	216.7	209.5	2704.4
1993	228.4	260.0	318.3	302.1	305.9	224.2	158.6	140.5	162.2	197.8	197.3	214.2	2709.5
1994	229.9	240.9	316.3	315.0	291.9	217.4	163.6	119.8	137.2	149.2	197.9	208.3	2587.4
1995	193.4	217.3	307.0	257.3	280.0	246.6	174.9	147.3	147.5	200.3	220.6	210.6	2602.8
1996	218.5	238.6	312.2	270.5	276.6	195.9	206.3	139.4	141.8	184.3	217.9	202.5	2604.5
1997	234.6	237.3	271.4	278.6	234.9	206.7	160.2	160.3	148.2	194.1	210.4	209.3	2546.0
1998	222.3	267.2	311.7	285.8	274.7	193.2	190.4	115.8	133.8	161.4			
	224.5	**246.3**	**315.9**	**291.2**	**277.6**	**220.7**	**174.8**	**140.8**	**146.3**	**187.0**	**211.8**	**208.7**	**2652.5**

Moyennes journalières

Année	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc	Moyenne
1988	7.1	8.8	11.0	10.5	10.2	7.3	5.5	4.3	4.1	5.7	6.6	6.5	7.3
1989	7.1	8.6	10.3	10.6	10.3	8.4	6.6	4.7	4.8	5.8	7.5	6.7	7.6
1990	7.0	8.4	10.9	9.5	9.4	8.1	5.6	5.7	5.5	7.0	7.4	7.1	7.6
1991	8.2	8.4	10.5	9.3	6.5	6.3	4.8	4.2	5.3	6.5	7.1	6.6	7.0
1992	7.4	9.7	10.2	9.8	8.4	8.0	5.5	4.5	5.0	6.4	7.2	6.8	7.4
1993	7.4	9.3	10.3	10.1	9.9	7.5	5.1	4.5	5.4	6.4	6.6	6.9	7.4
1994	7.4	8.6	10.2	10.5	9.4	7.2	5.3	3.9	4.6	4.8	6.6	6.7	7.1
1995	6.2	7.8	9.9	8.6	9.0	8.2	5.6	4.8	4.9	6.5	7.4	6.8	7.1
1996	7.0	8.2	10.1	9.0	8.9	6.5	6.7	5.0	4.7	5.9	7.3	6.5	7.2
1997	7.6	8.5	8.8	9.3	7.6	6.9	5.2	5.2	4.9	6.3	7.0	6.8	7.0
1998	7.2	9.5	10.1	9.5	8.9	6.7	6.1	3.7	4.5	5.2			7.1
	7.2	**8.7**	**10.2**	**9.7**	**9.0**	**7.4**	**5.6**	**4.6**	**4.9**	**6.0**	**7.1**	**6.7**	**7.3**

Valeur Maximum

Année	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc	Moyenne
1988	10.0	12.0	17.0	15.9	13.4	11.2	9.2	6.9	6.5	7.6	8.7	7.8	10.5
1989	8.5	11.7	13.4	14.9	13.6	11.1	8.7	7.5	6.6	7.4	9.3	8.6	10.1
1990	8.6	10.6	14.8	12.5	12.2	12.4	10.4	7.8	8.1	9.3	10.1	9.2	10.5
1991	10.0	11.8	15.6	13.1	10.9	9.4	7.4	6.9	7.0	8.0	8.9	9.5	9.9
1992	10.5	13.4	13.7	13.2	12.0	11.0	10.8	6.5	6.2	8.6	8.8	8.8	10.3
1993	9.4	11.9	14.1	13.2	11.8	10.6	7.7	6.5	7.1	8.9	8.3	8.7	9.9
1994	11.5	11.4	12.7	12.9	12.0	11.1	7.8	7.0	6.4	8.2	8.3	8.2	9.8
1995	7.6	9.4	14.6	12.6	12.4	11.8	8.9	8.5	7.3	10.1	10.6	8.8	10.2
1996	8.9	11.0	12.8	11.3	12.6	11.5	10.7	7.8	6.9	8.3	10.7	8.4	10.1
1997	11.7	11.5	12.9	12.3	10.3	11.1	7.8	7.2	8.2	9.1	9.3	9.6	10.1
1998	9.8	12.9	12.9	12.9	12.6	12.0	13.6	7.6	9.3	6.7			11.0
Moyenne	**9.7**	**11.6**	**14.0**	**13.2**	**12.2**	**11.2**	**9.4**	**7.3**	**7.2**	**8.4**	**9.3**	**8.8**	**10.2**
max	**11.7**	**13.4**	**17.0**	**15.9**	**13.6**	**12.4**	**13.6**	**8.5**	**9.3**	**10.1**	**10.7**	**9.6**	**12.2**
min	**7.6**	**9.4**	**12.7**	**11.3**	**10.3**	**9.4**	**7.4**	**6.5**	**6.2**	**6.7**	**8.3**	**7.8**	**8.6**

Valeur Minimum

Année	jan	fév	mar	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	déc	Moyenne
1988	5.4	5.9	6.6	6.1	8.0	2.5	2.1	2.1	1.2	3.3	4.0	5.1	4.4
1989	5.1	6.2	6.6	8.2	6.4	4.5	3.7	1.7	2.6	2.4	5.3	4.1	4.7
1990	5.1	5.9	7.4	7.3	5.1	4.3	2.1	1.2	2.9	5.1	4.4	5.0	4.7
1991	5.9	6.3	5.8	6.5	2.0	3.1	2.3	2.4	2.8	1.8	5.2	5.0	4.1
1992	4.2	6.2	6.0	6.7	4.2	3.2	1.3	2.1	2.4	4.1	5.0	4.5	4.2
1993	6.0	6.2	6.9	7.8	8.1	4.0	3.0	2.3	2.3	3.8	4.9	5.4	5.1
1994	3.7	6.0	6.3	6.3	5.2	3.9	2.1	1.4	2.5	2.3	5.1	4.8	4.1
1995	5.2	5.9	4.8	4.2	5.2	2.9	2.6	1.6	2.5	4.2	4.0	4.2	3.9
1996	5.0	5.2	7.2	7.4	4.8	3.1	3.1	2.4	2.5	2.7	4.8	5.1	4.4
1997	4.6	6.8	2.5	6.3	4.9	3.7	2.4	3.5	1.7	4.2	4.1	5.0	4.1
1998	5.4	7.7	7.4	4.7	2.8	3.6	2.4	0.9	0.5	3.5			3.9
Moyenne	**5.1**	**6.2**	**6.1**	**6.5**	**5.2**	**3.5**	**2.5**	**2.0**	**2.2**	**3.4**	**4.7**	**4.8**	**4.3**
max	**6.0**	**7.7**	**7.4**	**8.2**	**8.1**	**4.5**	**3.7**	**3.5**	**2.9**	**5.1**	**5.3**	**5.4**	**5.7**
min	**3.7**	**5.2**	**2.5**	**4.2**	**2.0**	**2.5**	**1.3**	**0.9**	**0.5**	**1.8**	**4.0**	**4.1**	**2.7**