

HAPEX II SAHEL-ORSTOM  
PROGRAMME "SUIVI DES MARES  
DE PLATEAUX ET DE BAS FOND"

ETUDE DES ZONES

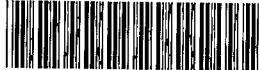
ENDOREIQUES EN MILIEU

SAHELIEN

RAPPORT DE CAMPAGNE 1991 et  
PREMIERS RESULTATS

DESCONNETS J.C.; TAUPIN J.D. ; ESTEVES M. ; GREARD M. ; GUALDE R. ; KONG J. ;  
LEBEL T.

Fonds Documentaire ORSTOM



010015409

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: A 15409 Ex: unique

## 1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'étude et la modélisation hydrologique des réservoirs superficiels (programme "suivi des mares de bas-fonds et de plateaux ") sont fondamentales pour la compréhension de l'hydrologie de surface au sahel. Pour cette raison, ce programme constitue un des pivots de la composante hydrologique de l'expérience Hapex II-Sahel dont les objectifs scientifiques sont l'étude du processus d'évaporation, du bilan d'énergie et du bilan hydrique associé, dans l'optique d'une paramétrisation des flux d'énergie Sol/Atmosphère, à l'échelle régionale, en zone sahélienne. Cette expérience est réalisée sur une superficie de 10000 km<sup>2</sup> qui est de l'ordre de grandeur de la maille des Modèles de Circulation Générale (HOEPPFNER et al; 1990). La zone d'expérimentation retenue pour l'étude de ces différents processus est située au NIGER et est comprise entre les longitudes 2° et 3° EST et les latitudes 13° et 14° NORD .Le programme "suivi des mares", a pour but d'établir la variation de stock d'eau des mares temporaires au cours de l'année et également de définir leur capacité de stockage et leur fonctionnement.

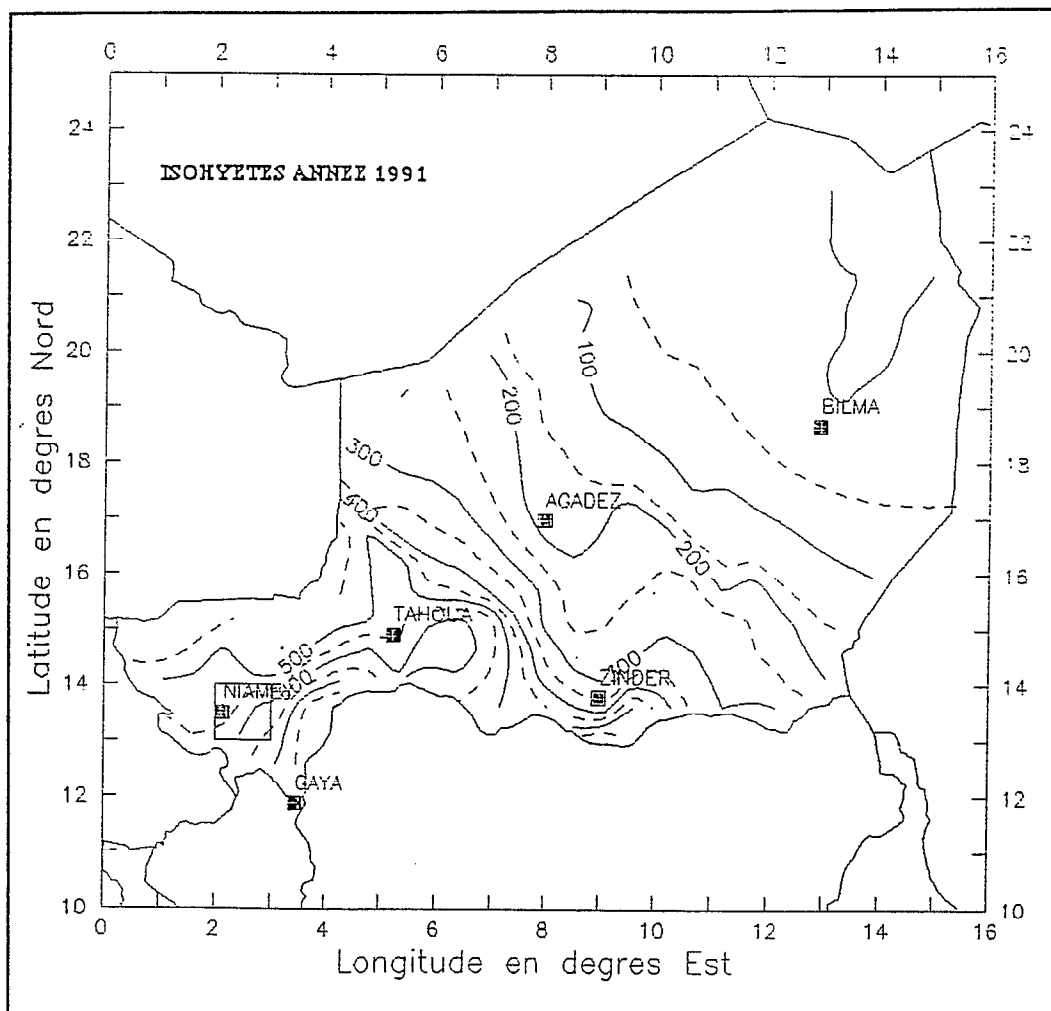


Figure 1: Carte du niger avec l'emplacement du degré carré d'HAPEX II- Sahel

## 2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude de l'expérience Hapex se situe au Niger occidental (0°-3°Est, 12°-15°Nord) qui fait partie d'une ancienne pénéplaine. Celle-ci possède un faible relief (altitudes comprises entre 200m et 300m) et accuse une légère inclinaison vers le sud.

La région comprenant le degré carré est en grande partie constituée d'un paysage de collines tabulaires: plateaux du Continental Terminal recouverts d'une cuirasse ferrugineuse entaillée par des vallées sableuses sèches. Les sites d'observation Hapex ORSTOM ainsi que le secteur d'observation et d'échantillonnage des mares, ont été centralisés dans une aire d'environ 20 sur 30 kilomètres, présentant ce type de paysage que l'on peut décomposer schématiquement en trois grands ensembles organisés selon une toposéquence caractéristique de la région (COURRAULT et al, 1990):

- le plateau cuirassé:

Cet ensemble ne présente qu'un relief très faible, limité à des ensablements et de légères dépressions où l'on rencontre en saison des pluies des mares temporaires de taille variable mais n'excédant pas l'hectare. La couverture végétale est de type contracté, distribuée en arc de végétation: la brousse tigrée.

- son piémont sableux appelé aussi "jupe sableuse":

Il est constitué d'un ensemble sableux rouge qui se présente en placage à la base des plateaux cuirassés. On distingue deux zones: une partie de piémont, dégradée, de pente d'environ 5%. Le réseau hydrographique y est marqué et tend à disparaître dans la zone aval (zone de champs et de jachères à pente légèrement plus faible).

- le bas-fond:

On distingue deux zones dans le bas-fond: la première zone est constituée d'une alternance de bombements occupés par des jachères ou des champs cultivés, et limitée par des fourrés plus ou moins denses. La seconde correspond à une zone fortement dégradée en bordure du lit principal. C'est un ensemble à pente faible (<1%). Il n'est pas rare de rencontrer, dans le bas-fond, des mares installées dans l'axe principal de drainage (kori de DANTIANDOU), axe qui n'est souvent plus fonctionnel.

## 3. PROBLEMATIQUE : estimation et étude du stockage superficiel

Dans une première phase, ce programme s'est fixé comme objectifs:

-la définition et la caractérisation des différents types de réservoirs existants dans la zone d'étude:

**TYPOLOGIE DES MARES**

-l'étude des processus de stockage et déstockage au cours de la saison:

**BILAN HYDROLOGIQUE A L'ECHELLE DE LA  
MARE**

- l'étude des processus d'alimentation de chaque types de réservoirs:

**HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT**

Et dans une deuxième phase, on envisage la régionalisation de ces mesures à l'aide d'une modélisation qui s'appuiera sur la typologie des mares du secteur et l'extension des observations de niveaux, obtenues par l'interprétation des photo-aériennes:

**EXTENSION SPATIALE PAR PHOTO AERIENNE**

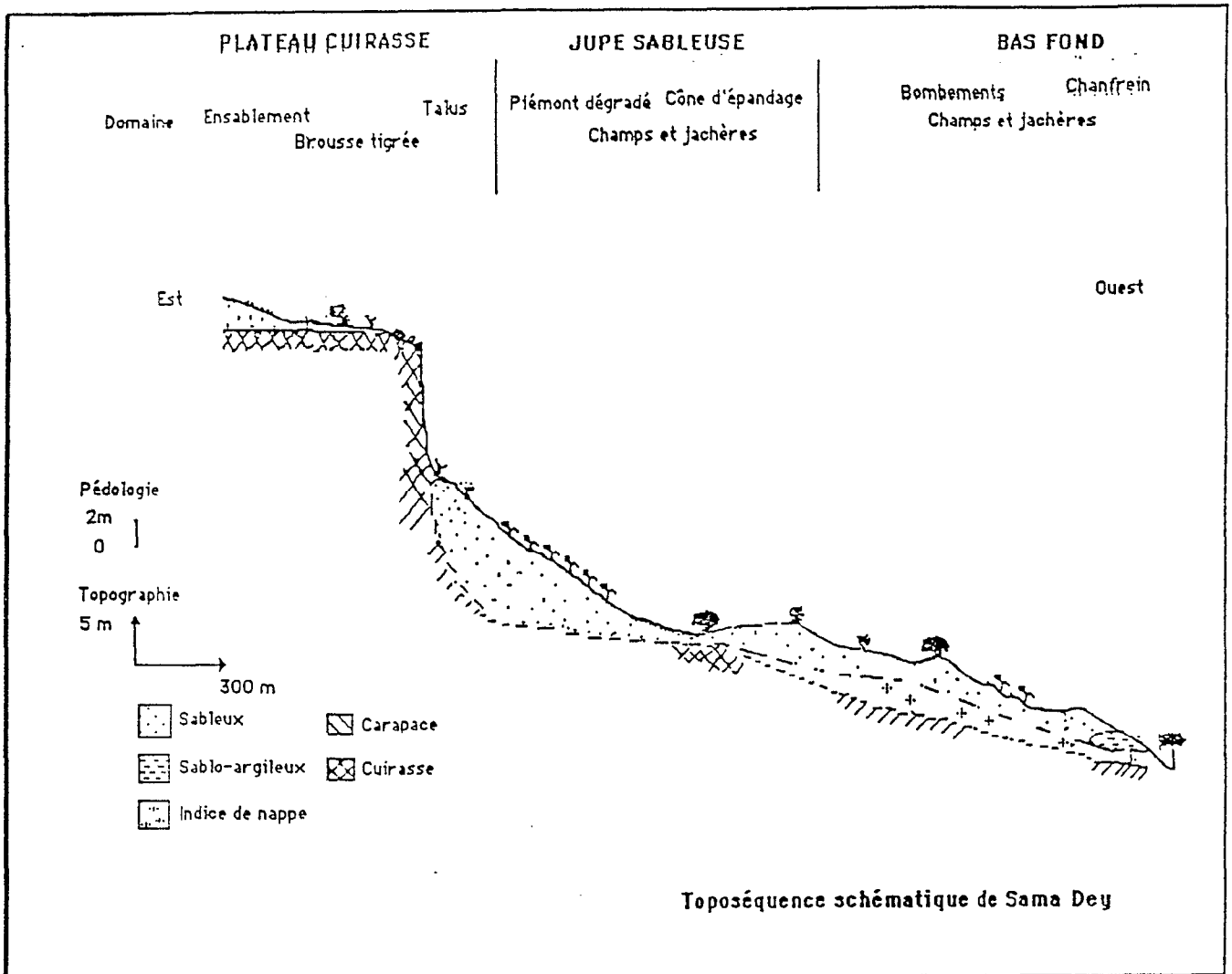
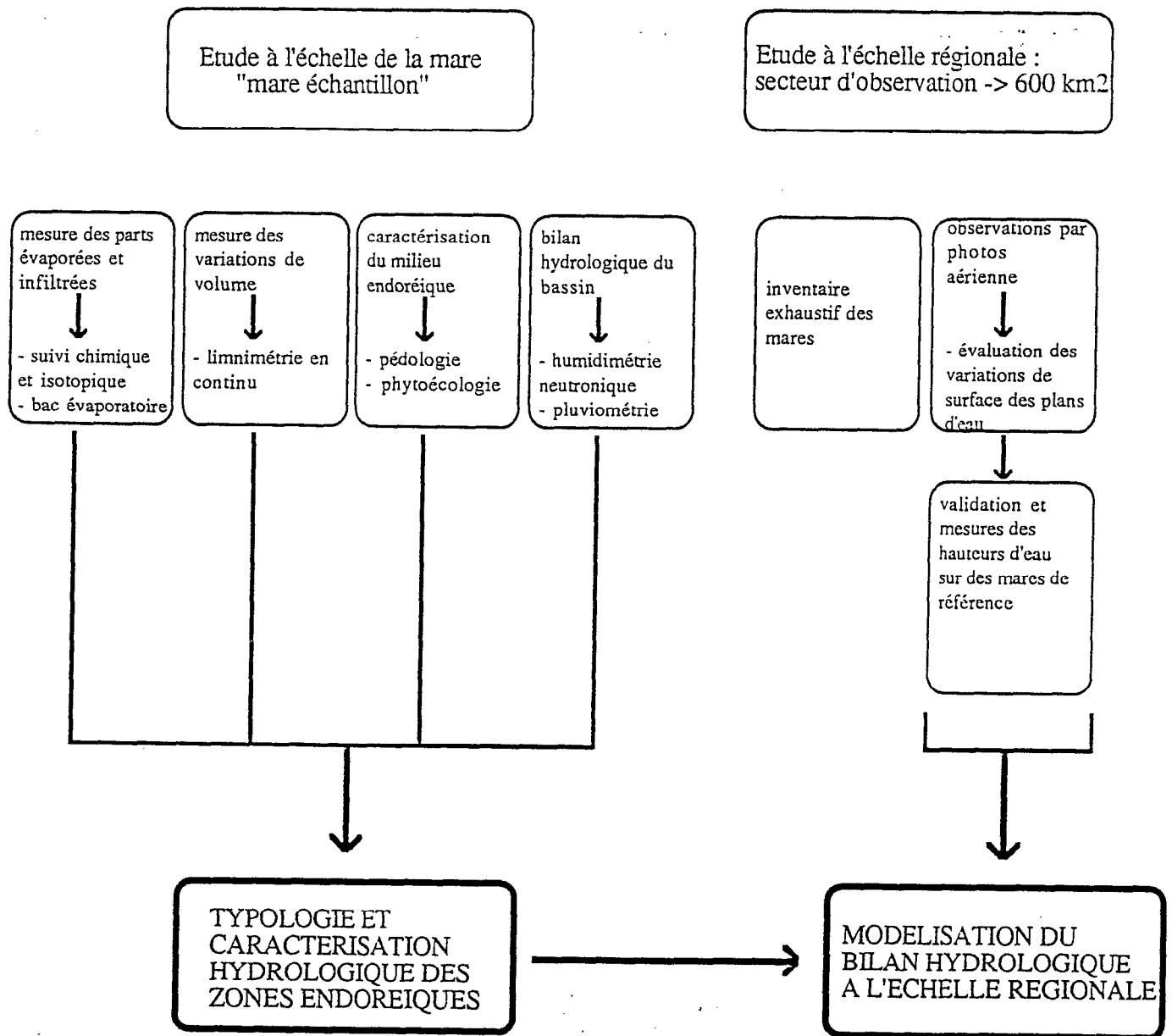


figure2: schéma de la toposéquence caractéristique de la région du degré carré (COURAULT et al; 1990)

#### 4. APPROCHE METHODOLOGIQUE



**Remarque:** par le caractère intégrateur du ruissellement d'une zone endoréique, cette étude revêt un intérêt hydrologique car elle permet l'acquisition d'une mesure des volumes ruisselés très fiable comparativement à des mesures de ruissellement effectuées dans des émissaires classiques.

#### 5. CHOIX ET DESCRIPTION DES "MARES ECHANTILLONS "

La faible connaissance des milieux endoréiques à remplissage rapide et à stockage temporaire au Niger, nous a conduit à débiter notre étude par de multiples observations dans un secteur proche de Niamey.

Ce secteur d'observation des mares est compris (voir figure 3) entre les latitudes 13°25'-13°40'N et les longitudes 2°30'-2°50'E soit approximativement 600 Km<sup>2</sup>.

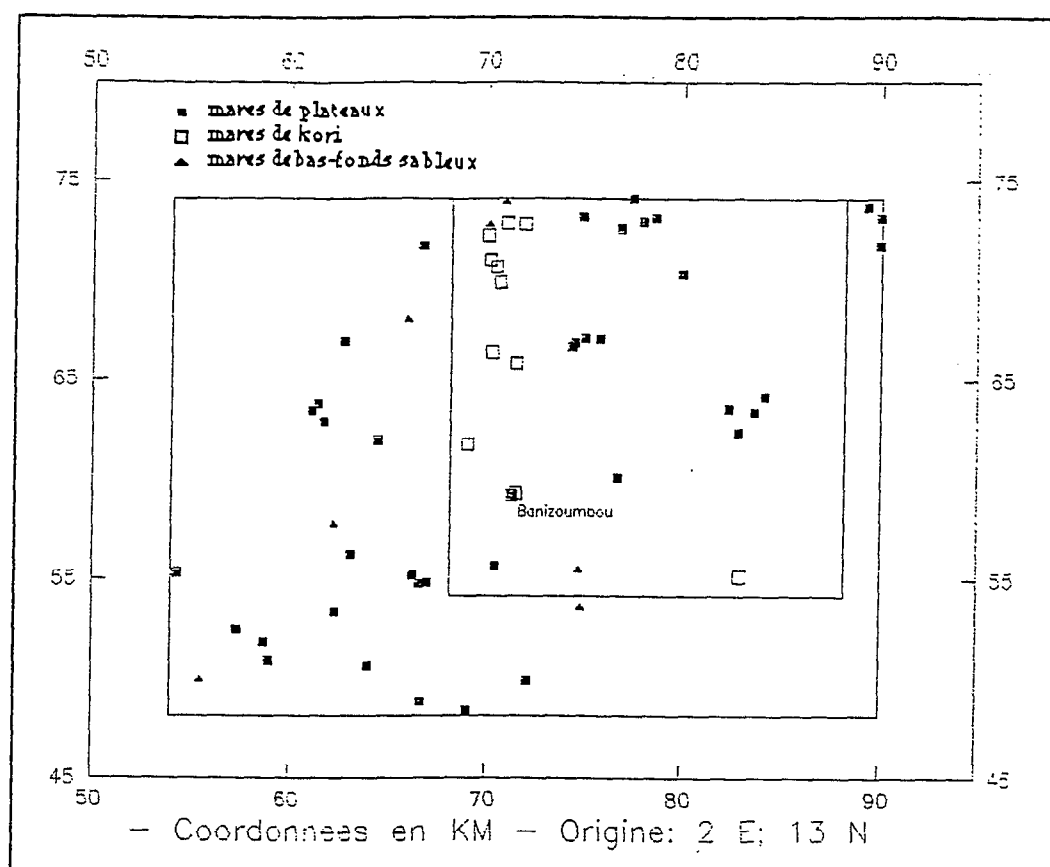


Figure 3 : Secteur d'observation des mares

### 5.1 Choix des "mares échantillons".

Suite à la délimitation du secteur d'observation des mares, et au parcours de ce secteur par voie terrestre et aérienne, une première classification des réservoirs superficiels a été possible grâce à des critères très simples tels que leur situation dans le paysage et leur taille.

Trois grands types de mare ont été ainsi caractérisés:

- les mares sur plateaux latéritiques du Continental Terminal. Elles sont situées dans des dépressions à priori d'origine structurale, de taille très faible à moyennement faible (de la centaine de m<sup>2</sup> à l'hectare) reposant sur un substrat apparemment imperméable: la cuirasse ferrugineuse.

- les mares de bas-fond de vallées sèches sont installées dans les axes de drainage de ces vallées qui ne semblent actuellement plus fonctionnels. Elles reposent sur un substrat sableux recouvert souvent d'alluvions de tailles fines. Elles s'étendent dans l'ancien cours des koris sur quelques centaines de mètres.

- les mares de versants sableux: elles sont situées sur les versants sableux ou en contrebas de ceux-ci où le relief favorise la concentration des eaux de ruissellement. Ce sont des plans d'eau de superficie variable, à fond plat, colmaté par des sédiments très fins.

- il est à noter la présence de mares artificielles généralement situées à proximité des axes routiers goudronnés ou non. En effet, l'enlèvement de matériau d'origine latéritique employé pour la réalisation des routes du pays crée souvent une cuvette où viennent se concentrer les eaux de ruissellement. Ces mares par leur caractère artificiel présentent peut d'intérêt dans cette étude.

En 1991, il a été décidé d'étudier quatre "mares échantillons" : deux mares de taille différente situées sur les plateaux du Continental Terminal, une mare dans un ancien lit de kori et une dernière dans une dépression fermée en bas de versant sableux d'une vallée sèche.

Des observations tout au long de la saison des pluies, nous ont permis de découvrir des mares d'accumulation des eaux de ruissellement à vidange très rapide (de l'ordre de quelques jours après la

pluie). Ces mares par le caractère très temporaire du stockage d'eau peuvent être distinguées des autres mares. Un intérêt particulier leur sera porté pour la saison 1992.

### 5.2 Description des "mares échantillons" :

nom de la mare	situation géographique	situation géomorphologique	caractère du plan d'eau	caractère du bassin d'alimentation
Sofia bangou	13°32'42 N 2°42'52 E Ouest du BV de sama dey	sur un plateau du Continental Terminal à cuirasse ferrugineuse	taille: qqs centaines de m <sup>2</sup> après la crue. forme: en croissant. profondeur max: 80 cm. pérennité: asséchée début décembre. caractère du lit plat, qqs centimètres de sédiments fins.	relief: relief inexistant. sol: sol de très faible profondeur et à fort chargement caillouteux. existence de croûtes (ST3, ERO et G) couverture: couverture végétale contractée: brousse tigrée dégradée aux alentours de la mare. hydrographie: peu développée et induite par les passages de bétail.
Bazanga bangou	13°30'35 N 2°35'11 E Sud-ouest du secteur d'observation	idem	taille: un hectare et plus. forme: ovale allongée. profondeur max: de 70 à 80 cm. pérennité: asséchée fin décembre. caractère du lit plat, sédiments irrégulièrement accumulés et affleurement de la cuirasse.	relief: peu marqué, présence de buttes sableuses (qqs cm de htr) sol: alternance de sol sableux (buttes) et de sols caillouteux à croûtes bien développées (ERO, ST3). sols peu profonds. couverture: alternance zones nues et zones colonisées par des herbacées et arbustes. présence de blocs de cuirasse démantelée. hydrographie: deux collecteurs qui drainent les alentours.
Yéiouma	13°26'97 N ; 2°30'80 E Sud-est du secteur d'observation des mares	approximativement au centre d'une large vallée sableuse en forme de cuvette	taille: qqs centaines de m <sup>2</sup> . forme: circulaire. profondeur max: 60 cm. pérennité: asséchée fin novembre. caractère du lit très plat, recouvert sur plusieurs dizaines de centimètres de sédiments fins.	relief: très peu marqué. sol: sols ferrugineux lessivés avec un horizon plastique sur le bordure de la mare couverture: culture de mil et de sorgho aux alentours. la mare est bordée d'une barrière de végétation dense (herbacées et grands ligneux). hydrographie: pas de trace de ruissellement concentré aboutissant à la mare.
Wankama	13°39'00 N ; 2°38'91 E 15 km au Nord de la base HAPEX de Banizoumbou	dans le lit d'un axe de drainage qui est en partie zone encaissée d'une vallée sableuse	taille: de 1 à 2 hectares forme: allongée profondeur max: 1,5 m pérennité: asséchée mi-mars de l'année suivante. caractère du lit légèrement encaissé, biseau argilo-limoneux épais au centre de la mare.	relief: versants légèrement encaissés. sol: sols ferrugineux peu lessivés évolués profonds. OPS peu développées. couverture: versants cultivés en mil, et versants à faible couverture végétale (herbacées et arbustes). hydrographie: gros collecteur et ravines localisé sur un seul versant.

## 6. DISPOSITIF EXPERIMENTAL EN 1991

Le choix de la méthodologie d'étude a du être adopté en tenant compte de l'importance de la population des mares et de l'étendue du degré carré. Pour des raisons évidentes de logistique, nous avons choisi de réduire le secteur d'étude à une zone de plusieurs centaines de kilomètres carrés, représentative du degré carré, centrée approximativement sur la base du site central: Banizoumbou.

L'estimation des différents termes du bilan hydrique et la compréhension des processus de transfert d'eau liés au stockage superficiel à l'échelle régionale implique des mesures à l'échelle de la mare et de son bassin versant. Pour cela, plusieurs approches méthodologiques ont été envisagées:

-études hydrologiques classiques:

pluviométrie, limnimétrie et mesures de l'évaporation par bac

-études chimiques et isotopiques:

bilans salins, bilans des chlorures, et évolution des teneurs en oxygène 18 et deuterium pour déterminer la part évaporée et la part infiltrée des stocks d'eau du réservoir.

-étude pédologique et humidimétrie neutronique:

du bassin d'alimentation ( et plus particulièrement autour de la mare) pour étudier la redistribution de l'eau en surface et dans la zone non saturée.

Mesure des variations de niveaux du plan d'eau

A un pas de temps très fin (5 minutes) et une variation de niveau de 1cm, ces mesures ont été permises, avec une telle précision et de manière continue, grâce à l'installation de capteur et de station limnigraphique à acquisition automatique de type CHLOE.

En juin 1991, la mare de Sofia bangou était déjà équipée d'une sonde et d'une station d'acquisition limnigraphique CHLOE. Les mares de Yélouma (mi-juin), Bazanga bangou (début juillet) et de Wankama (fin juillet) ont été équipées du même type de station de mesures accompagnée d'une échelle limnimétrique pour corriger l'éventuelle dérive de mesure de la sonde CHLOE. Les seuils d'acquisition ont été progressivement réglés vers un pas de temps de cinq minutes pour une variation de niveau de 1 cm. Ce pas de temps et la variation de hauteur de déclenchement semblent être un seuil intéressant pour acquérir des données en quantité suffisante nécessaires à la description des phénomènes de recharge. Par contre, il devient trop sensible en période de vidange car des phénomènes tel que le vent et la venue de bétail dans le plan d'eau provoquent des déclenchements parasites.

Cette mesure, nous donnent un jeu de données pour calculer et analyser avec précision les épisodes de crue (remplissage de la mare) et les variations de volume durant toute l'année.

Mesure de la pluie.

Les "mares échantillons" ont été équipées de pluviomètres totalisateurs relevés hebdomadairement. Ces données sont nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique hebdomadaire.

- lecture du pluviomètre cumulateur.

- prélèvement des eaux de pluie à chaque événement pluvieux pour analyse (éléments chimiques majeurs et isotopes oxygène18 et Deutérium). Ces prélèvements ont été réalisés sur deux stations du réseau EPSAT (Sama dey village et Yélouma) pendant la période allant du 20 juin au 4 octobre 1991. La connaissance des compositions chimiques et isotopiques des pluies sera utile pour l'interprétation de l'évolution des teneurs isotopiques des mares et pour une étude plus générale sur les événements pluvieux de la région.

Il est intéressant de noter l'existence du réseau pluviométrique EPSAT-NIGER qui s'étend sur tout le degré carré avec une couverture moyenne de 1 enregistreur pour 100 km<sup>2</sup> (environ 110 postes enregistreurs). La qualité des données, autant d'un point de vue spatial que temporel, sera très utile dans la phase de modélisation du bilan hydrologique à l'échelle régionale .



### Humidimétrie neutronique.

Dans l'optique d'un bilan hydrologique du bassin d'alimentation des "mares échantillons", les versants de la mare de Wankama ont été équipés de 4 tubes neutroniques jusqu'à une profondeur de 350 cm pour le suivi des variations de stocks hydriques dans la zone non saturée.

Cette année, seuls les versants et le fond de la mare de Wankama ont été équipés en tubes de sonde à neutrons. L'installation très tardive (fin août 1991) n'a permis de suivre que les trois derniers événements pluvieux de l'hivernage, et la période sèche. La mesure a été hebdomadaire puis bimensuelle. Ces mesures et le stockage des données ont été effectués en collaboration avec l'équipe "humidité des sols".

Echantillonnage de l'eau de la mare chaque semaine pour analyser les teneurs en éléments chimiques (anions et cations majeurs) et les teneurs en isotopes stables, deuterium ( $^2\text{H}$ ) et oxygène 18 ( $^{18}\text{O}$ ). Cet échantillonnage nous donnera le faciès chimique des eaux de mare et son évolution au cours du temps. Mais surtout, l'intérêt du suivi chimique réside dans l'analyse de l'évolution de la concentration en chlorures durant la période sèche. Le chlore étant un élément "conservatif" et son apport étant exclusivement d'origine pluviale, il est un excellent marqueur de l'évaporation. Pour cela, cette analyse doit apporter des éléments à la compréhension du système zone non saturée-mare-atmosphère et estimer les parts de volumes infiltrés et évaporés dans le bilan global saisonnier.

Il en est de même pour l'analyse de l'évolution des teneurs en isotopes durant toute la saison. Ces jeux de données seront nécessaires à la paramétrisation et la modélisation de la cinétique de stockage et déstockage des réservoirs.

L'échantillonnage de l'eau des mares a été couplé à des mesures de conductivité, pH, température et teneur en bicarbonates.

Le suivi chimique a été réalisé seulement pour les mares de Bazanga bangou, Wankama et Yélouma. La mare de Sofia bangou présentait des perturbations de la qualité de l'eau provoquées par les venues incessantes du bétail. L'échantillonnage n'a débuté que très tard au cours de la saison des pluies, en fin du mois de juillet.

#### protocole des prélèvements:

-prélèvement de 125 ml d'eau pour analyse des teneurs en anions et cations majeurs (fer solubles, aluminium et silice lorsque cela a été possible)

- prélèvement de 10 ml d'eau pour analyse des teneurs en oxygène 18 et deuterium,

- mesure dans la mare, de la température, du pH, de la conductivité et titrage des bicarbonates à l'ORSTOM-Niamey.

Le suivi hydrochimique a été effectué jusqu'à l'assèchement des mares c'est à dire en novembre pour la mare de Yélouma, en décembre pour la mare de Bazanga bangou et début février pour celle de Wankama.

#### Campagne de topographie pour le cubage des "mares échantillons":

C'est la direction de la topographie Nigérienne qui a réalisé le levé topographique des cuvettes des mares de Bazanga bangou, Yélouma et Wankama. La topographie de la mare est nécessaire pour obtenir le cubage de celle-ci et permettre la transformation des hauteurs d'eau enregistrées en volume. Ces levés topographiques ont été réalisés avec une précision inférieure au centimètre.

#### Etude hydrologique spatialisée:

le bilan hydrologique à une échelle autre que celle du petit bassin versant est l'un des objectifs de cette étude. Il présente un intérêt évident dans l'étude des petits réservoirs de cette zone où la multitude et la variété sont autant de facteurs qui peuvent être à l'origine d'erreurs dans l'estimation d'un bilan hydrologique qui se doit d'être régional.

L'apport d'une technique peu traditionnelle comme la photo-aérienne en hydrologie de surface, a facilité la régionalisation des suivis sur les "mares échantillons".

La méthode consiste à des passages aériens en fin de saison des pluies et à différentes périodes de la saison sèche afin de photographier toutes les mares inventoriées sur le secteur d'étude. Une bonne définition ainsi qu'une constance des paramètres de vol et de prises de vue autorisent le calcul de surface

des plans d'eau photographiés. Nous pouvons ainsi obtenir les variations de surface des mares dans le temps, que l'on relie ensuite par une relation simple aux variations de volumes.

Il est malgré tout nécessaire, d'effectuer des mesures de distance au sol pour recalibrer et valider les échelles de prises de vue et de réaliser des mesures de hauteur de plan d'eau de référence.

La saison 1991 a servi essentiellement à l'apprentissage et à la mise au point de cet outil de spatialisation.

Différentes missions aériennes ont été réalisées:

- deux missions ont servi au repérage des mares sur le secteur et à l'inventaire de celles ci par une première série de prises de vues (juin et septembre 1991).

- deux autres missions aériennes ont été effectuées en saison sèche (octobre et novembre) . Elles ont surtout servi, à la détermination et au calage, des paramètres de vol et, des prises de vue nécessaire à l'obtention d'une échelle pertinente pour le calcul des surfaces des plan d'eau.

## 7. PREMIERS RESULTATS EN 1991

### 7.1 INVENTAIRE DES MARES SUR LA ZONE D'ETUDE ET PREMIERES CLASSIFICATIONS

La zone d'observation de 600 km<sup>2</sup> (20 km sur 30 km: latitude 13°25'-13°40'N, longitude 2°30'-2°50'E) choisie pour étendre nos mesures et nos observations faites sur les sites échantillons a été définie de façon très arbitraire et "taillée" malgré tout au milieu d'une région spatialement homogène d'un point de vue géomorphologique.

L'inventaire a été effectué par un survol aérien du secteur (en début de saison des pluies et renouvelé au mois de septembre) accompagné de prises de vue et d'un repérage latitudinal et longitudinal de toutes les mares rencontrées (voir la liste des mares inventoriées avec leur position, annexes-tableau 1). Les prises de vue issues de ce premier vol ont permis d'apprécier les différents caractères morphologiques des mares et de distinguer les milieux environnants. Le planimétrage des prises de vue nous a donné une première estimation des superficies des mares. L'inventaire par voie aérienne a été complété par des observations au sol sur une vingtaine de mares.

Les deux survols aériens réalisés au mois de juin et au début du mois septembre, nous ont certainement permis d'observer et de photographier le plus grand nombre de mares sur le secteur. Nous avons dénombré 61 mares réparties d'une façon homogène sur le secteur d'observations. Ces dernières sont positionnées sur la figure 2, qui représente le secteur d'observation des mares.

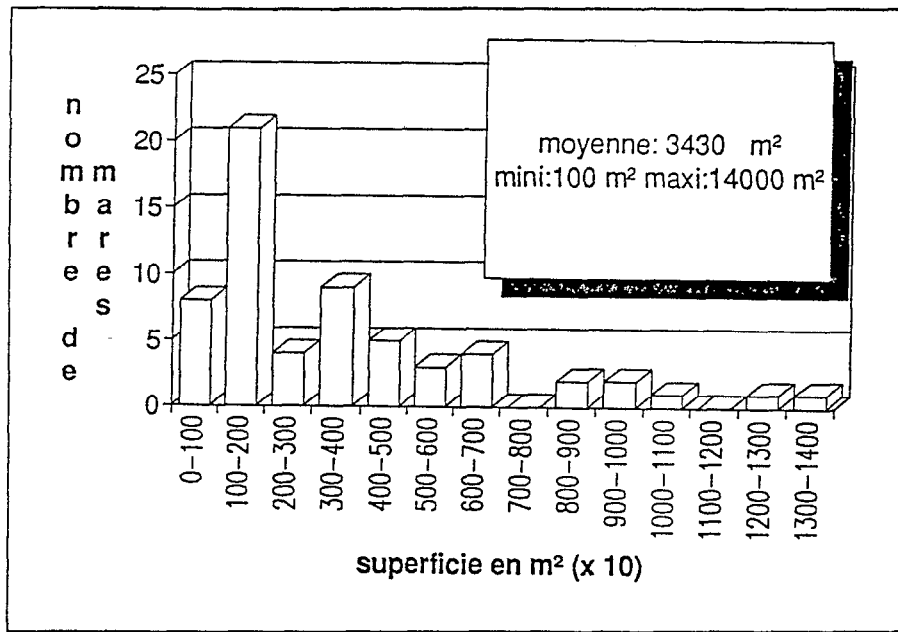


Figure 4: Histogramme des superficies des mares inventoriées dans le secteur d'étude.

Durant l'hivernage, la densité de mares sur le secteur est de 1 mare pour 10 km<sup>2</sup> répartie de la façon suivante:

- 42 mares sur des plateaux cuirassés (69 % de l'échantillonnage) dont 14 sur des plateaux à formation de brousse tigrée et 28 sur des plateaux présentant des ensablements superficiels et à végétation non contractée.

- 19 mares situées dans le bas-fond des vallées (31% de l'échantillonnage) dont 11 dans les bas-fonds ou lit des axes de drainage et 8 dans des dépressions de vallées sèches.

Nous avons établi grâce aux photos du premier survol, une estimation des superficies de chaque mare. La figure 3 montre la répartition de l'échantillon en fonction de la taille.

Nous pouvons faire quelques remarques:

- 82 % des mares ont une taille inférieure à 6000 m<sup>2</sup>,
- la classe de superficie la plus représentée est 1000-2000 m<sup>2</sup> (34% de l'échantillon),
- la superficie de la mare moyenne est de 3400 m<sup>2</sup>. Enfin, on notera une tendance à rencontrer des mares de superficie beaucoup plus grande dans les bas-fonds.

#### premiers critères de classification:

On a pu réaliser une première classification par l'analyse visuelle des photos aériennes, des observations de terrain ainsi que des informations de type cartographique comme la couverture pédologique, la structure morphologique du paysage, et la nature du substrat,

les premiers critères de classification retenus sont:

- la situation topographique et géomorphologique,
- la superficie et la forme de la mare,
- la nature du bassin d'alimentation: couverture pédologique et formation végétale.

L'analyse des processus nous permettra d'apporter d'autres critères de classification qui seront sans doute plus pertinents et plus synthétiques pour une typologie des mares à des fins de modélisation.

## 7.2 HYDROLOGIE DES MARES

### Les événements de la saison 1991:

Seule la mare de Sofia bangou avait un dispositif de mesure opérationnel avant les premières pluies. Nous avons donc pu suivre et enregistrer tous les événements hydrologiques de la saison. dix-sept événements ont été enregistrés (écoulements provoquant le remplissage de la mare) tout au long de la saison 1991 sur un total de 43 événements pluvieux ( pluie > 2,5 mm à la station de Sofia bangou-réseau EPSAT).

Sur les autres mares échantillons qui ont été installées en cours de saison, nous avons suivi et enregistré :

- à Bazanga bangou: 5 crues, la station d'acquisition était défectueuse du 9 août au 30 août,
- à Yélouma: 7 crues pour un total de 33 événements pluvieux ( pluie > 2,5 mm à la station de Yélouma-réseau EPSAT),
- à Wankama: 8 crues pour un total de 27 événements pluvieux (pluie > 2,5 mm à la station de Darey-réseau EPSAT).

Le tableau 2 en annexes donne le récapitulatif des crues sur les quatre mares pendant la saison.

La mise en relation des enregistrements de niveaux des plans d'eau avec leur volume, n'a été possible que pour la mare de Sofia bangou. Le cubage des lits des autres mares nécessaire à l'obtention des courbes hauteur-volume n'a pu être réalisé que très tard, en janvier 1992.

Actuellement, seules les données de la mare de Sofia bangou ont été traitées et analysées.

### analyse et bilan hydrologique de la mare de Sofia bangou

#### échelle de la crue:

**une phase de vidange très rapide juste après la crue**

L'analyse des variations de niveaux du plan d'eau juste après la crue et dans les deux à trois jours qui suivent, met en évidence une baisse de niveau très rapide. Nous avons porté sur la figure 5, cinq enregistrements de niveaux mesurés tout de suite après l'arrêt du ruissellement pour cinq événements différents.

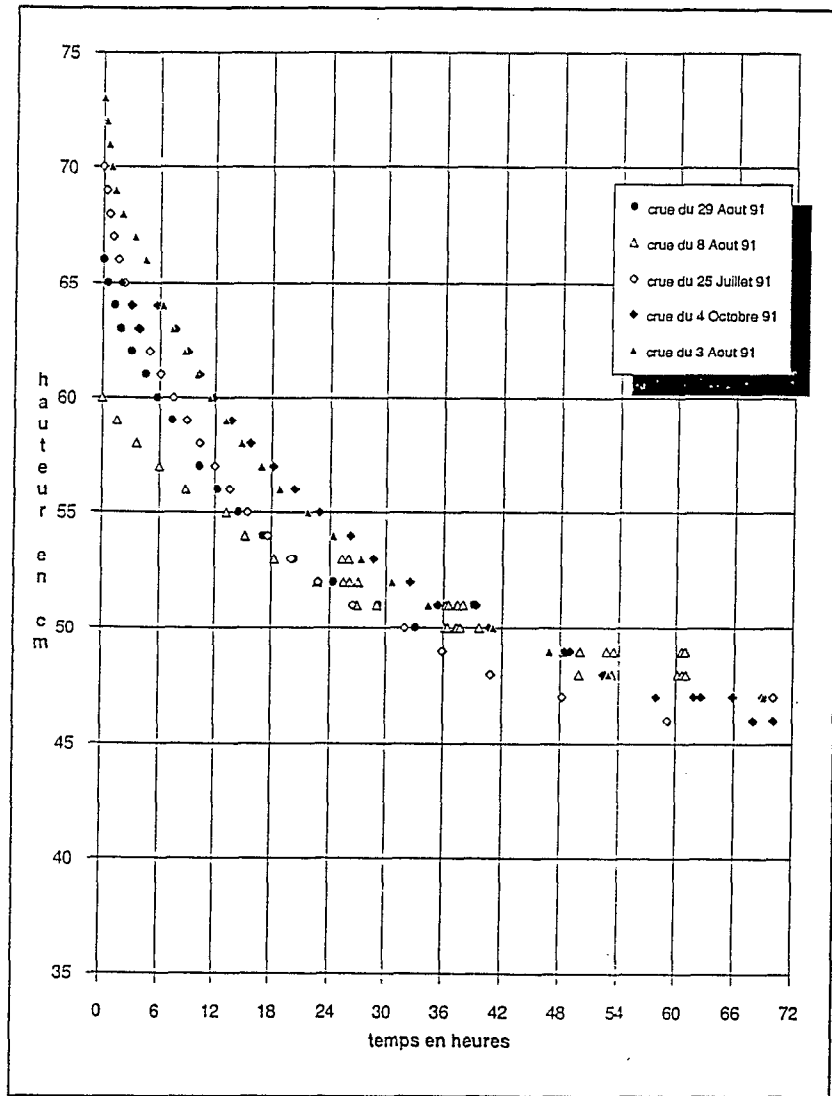


Figure5: Variation des niveaux après la crue-mare de Sofia .

On remarque une baisse rapide des niveaux les premières heures et ceci pour toutes les crues. Cette baisse est d'autant plus rapide que la montée de niveau est importante. Les deux et trois jours après la crue, on observe un ralentissement de la baisse.

**des pertes par évaporation négligeables**

C'est un phénomène Inattendu et non négligeable car cette baisse de niveau par rapport à l'évaporation journalière est élevée. Le tableau suivant nous donne les baisses de niveau en millimètres par jours durant les trois premiers jours après la crue que l'on compare à l'évaporation journalière:

date de la crue	hauteur d'eau après la crue (mm)	baisse de niveau après 24 h (mm)	baisse de niveau après 48 h (mm)	baisse de niveau après 72 h (mm)	évaporation au bac Colorado (Niamey) en 72 h (mm)
25/7/91	700	180	230	250	15,2
3/8/91	730	190	240	260	18,4
8/8/91	600	80	110	130	13,7
29/8/91	660	140	190	210	15,6
4/10/91	660	110	170	210	30,3

Il semblerait qu'une grande part des volumes d'eau stockés dans la mare soit perdue par infiltration dans les premiers jours qui suivent la crue. Nous avons établi un bilan inter-crue afin de quantifier, de manière encore approximative (pas de mesures d'évaporation du plan d'eau), cette perte par infiltration. Pour l'établissement de ce bilan nous avons considéré que les pertes de volume des trois premiers jours après la crue étaient dues principalement à l'infiltration. Les jours suivants, on a considéré que la baisse de niveau était surtout due à la reprise évaporatoire. La figure 6 présente ce bilan réalisé au mois d'août. (données du tableau 5 en annexes).

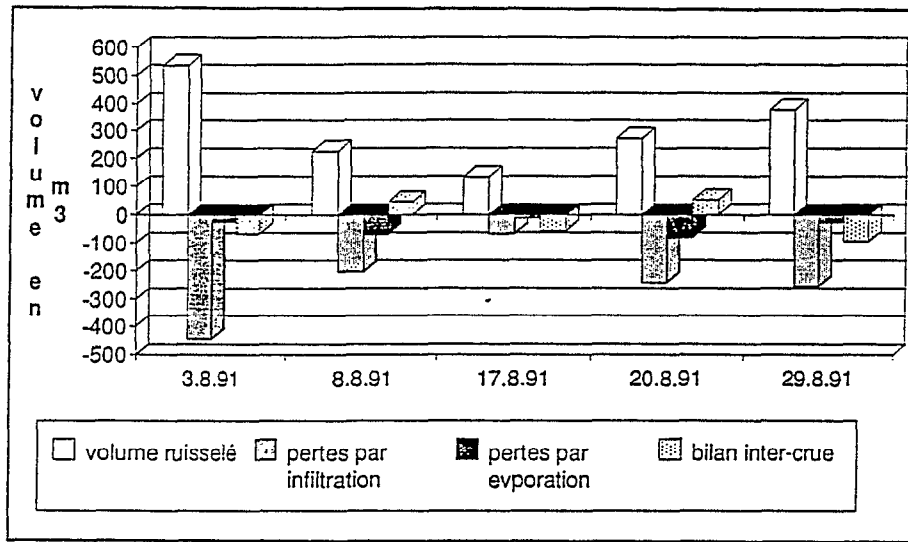


Figure 6: Bilan inter-crue

Pour la saison 1991 et sur 18 événements, la crue moyenne est de 296 m<sup>3</sup> (crue minimum: 102 m<sup>3</sup> ; crue maximum: 536 m<sup>3</sup>). La figure 6 montre l'ampleur du phénomène d'infiltration juste après la crue. Selon le laps de temps écoulé entre deux crues, les pertes rapides par infiltration représentent jusqu'à 90 % du volume ruisselé.

Le tableau suivant nous donnent les valeurs d'un bilan simplifié de la mare de Sofia bangou par rapport aux volumes de crue.

crue du	volume de la crue en m <sup>3</sup>	volume infiltré en % du volume de la crue (3 jours après)	volume évaporé en % du volume de la crue	volume stocké restant en % du volume de la crue
3.8.91	535,8	83,2	4,5	12,3
8.8.91	228,1	89,3	30,4	-19,7
17.8.91	135,3	49,9	9,3	40,8
20.8.91	272,8	89,3	29,6	-18,9
29.8.91	378,5	67,9	7,1	25,0

bilan de la saison:

**la mare: un réservoir de transit**

C'est la première pluie de la saison (26.4.91) qui a provoqué le premier remplissage partiel de la mare. Elle s'est asséchée fin octobre.

Cette année, le total des volumes d'eau ruisselée récupérés par la mare sont de 5330 m<sup>3</sup> pour un total pluviométrique de 558,5 mm (volume entre le 1.5.91 au 31.10.91). Ces volumes ruisselés se répartissent essentiellement sur deux périodes: fin mai-début juin et juillet-août durant lesquelles les épisodes pluvieux

ont été assez rapprochés dans le temps avec des hauteurs d'eau supérieures à 10 mm (voir annexes-figure14).

Le bilan saisonnier est illustré par la figure 7. Il a été calculé au pas de temps de la semaine. A priori, ce pas de temps était intéressant pour réaliser des observations ainsi que les échantillonnages d'eau, et paraissait adapter pour l'analyse des variations de volumes sur toute l'année.

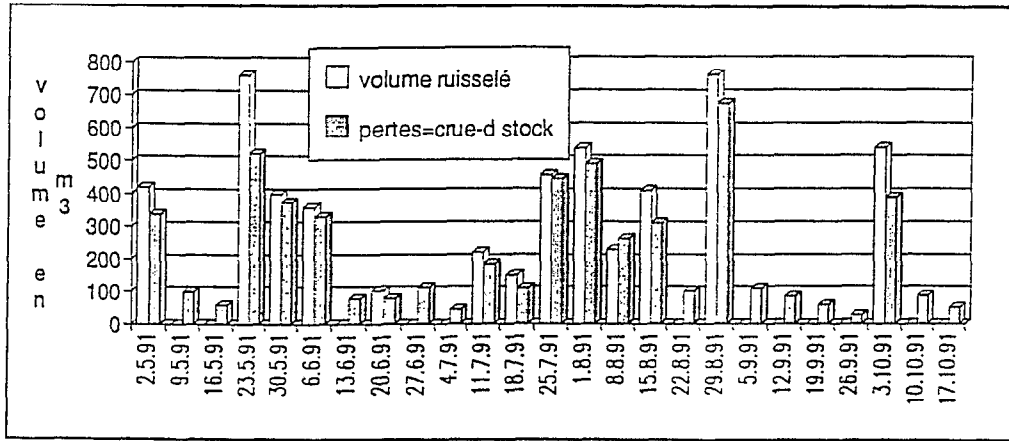


Figure7: Bilan hebdomadaire

. Nous observons deux périodes dans ce graphique:

- une période que l'on peut appeler :période crue -vidange prédominante et,
- une période d'évaporation prédominante.

Dans la première période, les volumes concernés sont élevés en regard des volumes totaux que peut stocker la mare. Les volumes d'entrée (volumes ruisselés) sont à peu près équivalents aux volumes de sortie. Pour cette période, le stockage d'eau est négligeable par rapport aux volumes d'entrée. Pour la deuxième période (période évaporatoire) les volumes concernés sont toujours faibles et toujours du même ordre de grandeur.

Nous pouvons donc observer, qu'à l'échelle de la saison, les pertes d'eau les plus importantes et les plus représentatives des volumes transitant dans la mare sont provoquées par des vidanges rapides des eaux de crue. Les chiffres présentés dans le tableau suivant sont démonstratifs:

	volume moyen sortis/ semaine (m3)	total volumes sortis (m3)	% des volumes d'entrée	% par rapport volume des sorties
période "crue- vidange	346,0	4497,7	84,4	83,2
période "évaporation"	76,9	769,3	14,4	14,2

**Les eaux d'écoulements concentrées dans la mare ne font que transiter au cours de la saison des pluies. Le stockage est réduit à une part infime du volume total des pluies ruisselées.**

bilan sur le secteur d'étude:

Il serait prétentieux d'extrapoler notre analyse et notre bilan sur la mare de Sofia bangou au reste du secteur d'étude. L'analyse hydrologique en cours sur les autres mares échantillons, met en évidence des fonctionnements identiques quant au déstockage rapide des eaux de ruissellement observé sur Sofia bangou. Néanmoins, cela ne permet pas d'estimer les volumes totaux stockés sur les mares du secteur et

leur transfert dans l'atmosphère ou la zone non saturée.

premières conclusions:

**une infiltrabilité accrue aux limites amont de la mare**

L'analyse des variations de niveau et du bilan à l'échelle de la crue nous a permis de mettre en évidence un phénomène intéressant qui semble régir en partie les transferts d'eau entre la mare et son milieu.

La mise en relation de ce phénomène de déstockage, dont l'intensité est liée à la hauteur de montée de niveau dans la mare (voir figure 5), avec l'étude pédologique du lit des mares échantillons, nous permet d'émettre une hypothèse de fonctionnement.

D'un point de vue pédologique, l'ensemble des mares que nous avons observé a une couverture semblable de sédiments dans leur cuvette. Schématiquement, on observe une épaisseur de sédiments fins à très fins très certainement de texture limono-argilo-sableuse ou/et argilo-limono-sableuse avec une épaisseur, par contre, très variable en fonction du site et qui généralement diminue lorsque l'on s'éloigne du point central de la cuvette pour s'estomper et /ou disparaître aux limites de remplissage du plan d'eau. En terme d'infiltrabilité, le gradient doit suivre le même sens en augmentant fortement aux limites de la cuvette. Ces limites représentent en fait celles de la mare pour des événements exceptionnels.

on peut définir ainsi deux cuvettes : une cuvette spatialement peu étendue où réside en permanence l'eau de la mare dont le fond est colmaté par une épaisse couche de sédiments de faible perméabilité , d'ailleurs nécessaire à l'existence de ce plan d'eau et,

- une cuvette spatialement plus étendue qui représente la limite de remplissage de la mare pour des événements exceptionnels où actuellement l'apport de sédiments n'a pas été suffisant pour imperméabiliser le fond. Le temps de séjour de l'eau dépend de la capacité d'infiltration de ce fond avec un gradient d'infiltrabilité d'autant plus important que l'on se rapproche des limites amont.

Il est donc logique que la montée de niveau lors d'une crue provoque une vidange d'autant plus rapide que le niveau atteint sort de la zone d'extension des sédiments de faible perméabilité.

Nous l'avons remarqué dans les paragraphes précédents, ces volumes perdus par infiltration sont de l'ordre de la centaine à quelques centaines de m<sup>3</sup> sur la petite mare de Sofia bangou. Il est certain que ce phénomène à l'échelle régionale représente un terme important du bilan hydrologique des réservoirs. Aussi , il serait intéressant de connaître la destination de l'eau après son infiltration:

- transfert vers la zone non saturée peu profonde puis reprise évapo-transpiratoire?,
- transfert vers la zone non saturée profonde pour réalimenter la nappe?

Deux interrogations auxquelles il faudra répondre par la mise en place d'un nouveau dispositif de mesures. Cela permettra de plus, de valider nos mesures de volumes acquis par limnimétrie, la question est d'autant plus intéressante pour le milieu latéritique où l'on ne dispose d'aucune information quant à l'évacuation de l'eau au niveau de la cuirasse.

d'une manière générale, c'est à l'échelle de la crue qu'il faudra concentrer nos observations et analyses afin de comprendre et d'estimer avec la meilleure précision possible le bilan hydrique de la mare.

### 7.3 GEOCHIMIE ISOTOPIQUE

#### généralités:

Les isotopes stables de l'eau qui intéressent l'étude, sont l'oxygène 18 et le deutérium. Ils suivent les mêmes lois que celles qui régissent les réactions chimiques (loi d'action de masse) mais de plus ils suivent des lois spécifiques qui régissent le comportement de ces différents isotopes entre eux et dans les différentes phases. On peut ainsi définir, le facteur de fractionnement isotopique, facteur thermodépendant, entre l'eau et sa vapeur ainsi que le facteur d'enrichissement isotopique:

$$\alpha_j = R_j(\text{liquide})/R_j(\text{vapeur}) = R_j/R'_j \text{ (avec pour l'oxygène } R=^{18}\text{O}/^{16}\text{O})$$

$$\epsilon_j = (\alpha_j - 1) \cdot 1000 \text{ (en parts pour mille ‰)}$$

Pour faciliter les mesures, les concentrations isotopiques sont exprimées par rapport à un étalon. On utilise la notation:  $\delta$  tel que:  $\delta = (R_{\text{échantillon}}/R_{\text{étalon}} - 1)$



L'oxygène 18 et le deutérium par leurs propriétés, vont être des marqueurs intimes du comportement de l'eau dans le milieu naturel au cours de son cycle : précipitation -écoulement -évaporation.(FONTES, 1976)

### Les précipitations:

Les précipitations proviennent essentiellement d'un phénomène de condensation lors du refroidissement des masses d'air humides. La condensation étant une réaction à l'équilibre, le fractionnement isotopique vapeur-pluie se fera donc à l'équilibre. Ceci se traduit par l'enrichissement en isotopes lourds de la phase liquide au détriment de la phase vapeur. Le deutérium et l'oxygène 18 ayant le même comportement lors de la condensation, une relation linéaire entre les deux teneurs peut être établie pour des pluies arrivant au sol sans avoir été évaporées (CRAIG, 1961). La relation linéaire est connue comme la droite des précipitations mondiales ou droite de CRAIG, d'équation:  $2H=8*^{18}O + 10$ , la constante varie en fonction de l'origine des masses d'air.

Nous portons sur le graphe de la figure 8 la droite météorologique régionale qui caractérise notre zone d'étude. Cette droite a été obtenue par l'analyse des pluies supérieures à 5 mm (pluies non évaporées) d'une partie de la saison 1991 aux stations de Sama-Dey et Yélouma (réseau EPSAT). On constate que cette droite est très proche de la droite météorologique mondiale de CRAIG:  $2H= 7,9 *^{18}O + 5,5$ . Ces résultats sont concordants avec des études réalisées auparavant au Niger.

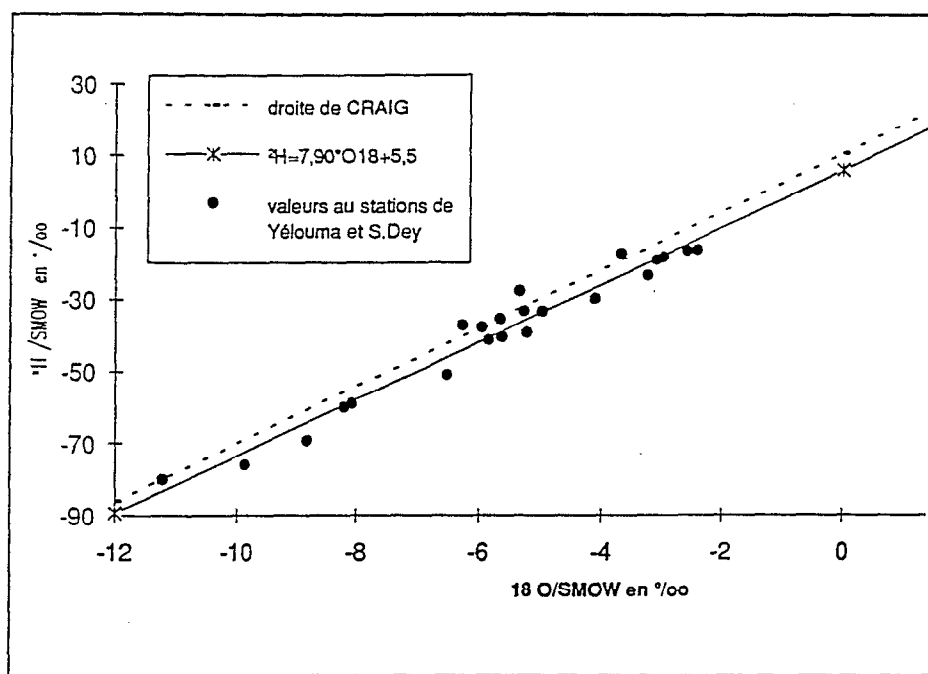


Figure 8: Droite météorologique régionale de stations de Sama dey et Yélouma-saison 1991

### L'évaporation d'une surface libre:

Contrairement à la formation des pluies, le phénomène d'évaporation se produit hors équilibre entre phases liquide et vapeur. Au facteur de fractionnement à l'équilibre, se rajoute un fractionnement cinétique dû à la différence de vitesse de diffusion des différentes formes de molécules dans l'air. Au cours de l'évaporation d'un réservoir d'eau, le liquide résiduel s'enrichit en isotopes lourds dans un premier temps, ensuite, la teneur en isotopes lourds atteint une valeur limite en équilibre avec la teneur isotopique de l'atmosphère ou même décroît dans le cas d'une solution de départ très saline. Le comportement de l'oxygène 18 et du deutérium étant identique, on pourra donc les corrélérer linéairement lors du suivi de la composition isotopique d'un bac d'eau soumis à évaporation au cours du temps. Comme le fractionnement cinétique agit relativement plus sur l'oxygène 18 que sur le deutérium, la pente de la droite sera plus faible que celle des pluies et elle dépend directement des conditions évaporatoires du système (FONTES, 1976).

Le graphe de la figure 8 montre la droite météorologique régionale (voir figure précédente) et la droite des

eaux des mares obtenue par l'échantillonnage des trois mares durant la période allant de juillet 1991 à fin décembre 1991. On observe d'une part, que cette droite a une pente de 4,5 correspondant au domaine des eaux évaporées et d'autre part, que les points des trois mares échantillonnées s'alignent très bien sur cette droite ( $r^2 = 0,96$ ) montrant qu'elles ont subi le même régime d'évaporation.

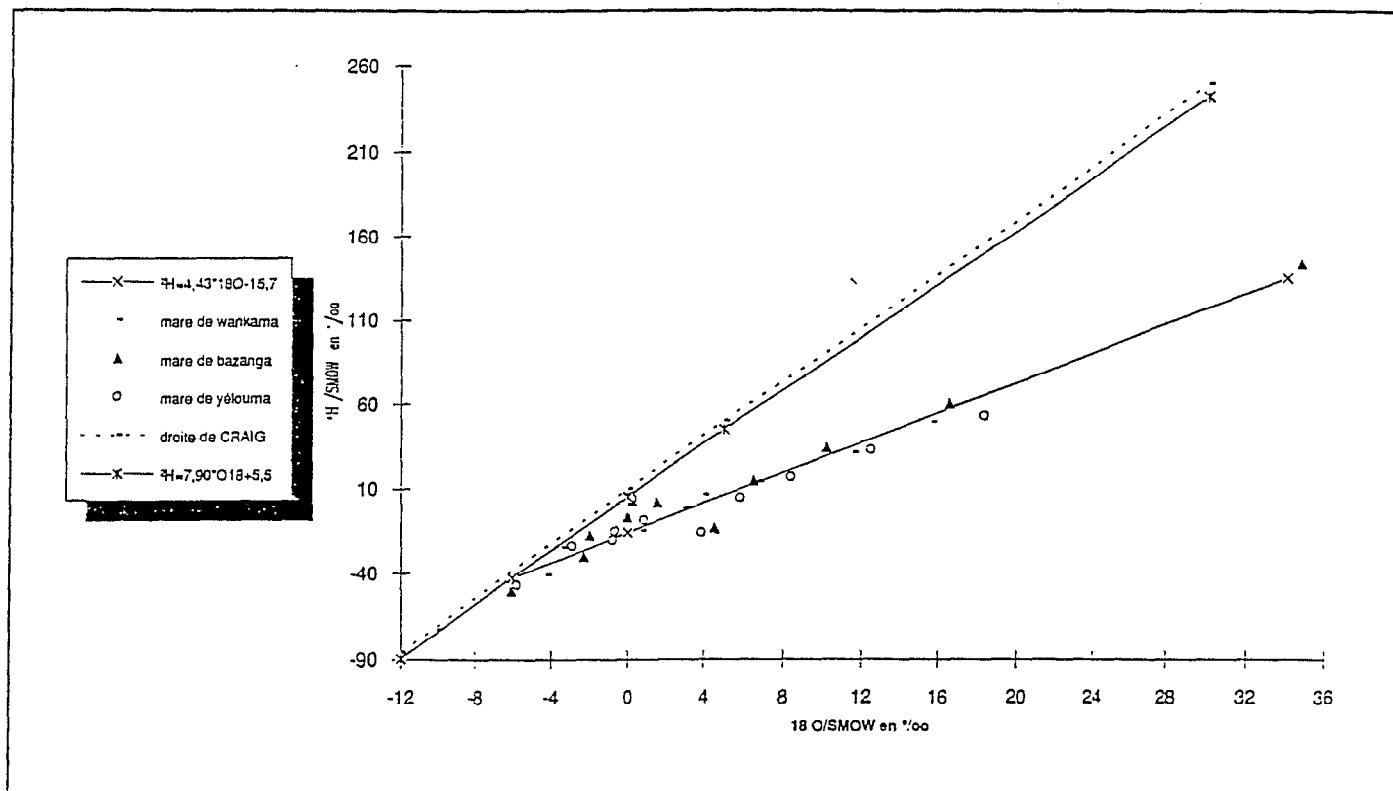


Figure 9 : Droite d'évaporation des mares de Wankama, Yélouma et Bazanga Bgo-saison sèche 1991-92

D'un point de vue descriptif, l'analyse de ces graphes est intéressante car elle donne des indications sur la nature du signal isotopique d'entrée (les pluies), sur sa contribution à la mare et sur l'évolution des teneurs isotopiques au cours de la saison sèche mais ne nous permet en aucun cas de quantifier directement les parts d'eau reprises par évaporation ou/et infiltration.

#### bilan et modélisation de l'évaporation du plan d'eau ( travail en cours )

L'intérêt de l'utilisation de la géochimie isotopique réside dans la réalisation d'un bilan de masse où n'intervient pas des phénomènes tels que la dissolution, la précipitation et la fixation qui modulent les quantités d'éléments salins présents dans l'eau et biaisent l'analyse si l'on veut utiliser par exemple les sels comme marqueur de l'évaporation.

La connaissance du facteur de fractionnement de l'oxygène 18 comme du deutérium, des paramètres atmosphériques (température, humidité relative, composition isotopique de l'atmosphère) qui régissent les lois de fractionnement cinétique de ces isotopes et des variations de volume, permettent l'établissement de bilan de masse, et par là, la quantification des différents termes du bilan: la reprise évaporatoire du stock d'eau et l'infiltration, que l'on peut écrire sous une forme simplifiée:

$$Q_0 \cdot \delta_0 = Q \cdot \delta + Q_{ev} \cdot \delta_{ev} + Q_{in} \cdot \delta_{in}$$

$Q_0$  = volume de la mare au temps t

$\delta_0$  = teneur en isotope i de la mare au temps t

$Q$  = volume de la mare au temps t+dt

$\delta$  = teneur en isotope i de la mare au temps t+dt

$Q_{ev}$  = volume évaporée entre t et dt

$\delta_{ev}$  = teneur en isotope i du volume évaporé entre t et dt

$Q_{in}$  = volume infiltré entre t et to

$\delta_{in}$  = teneur en isotope i du volume infiltré entre t et dt

L'enrichissement des teneurs en oxygène 18 dans les trois mares (figure 10) au cours de la saison est très net et marqué en saison sèche pour les mares de Bazanga et Yélouma. On peut aussi noter une

évolution semblable des teneurs pour les mares de Yélouma et Bazanga bangou.

En théorie, l'enrichissement en isotopes d'un volume d'eau en état d'évaporation répond à une loi de distillation de RALEIGH tel que:  $\delta - \delta_0 = \epsilon * \ln(\text{vol. restant}/\text{vol. initial})$ . La modélisation de la reprise évaporatoire des mares en période sèche sera envisagée grâce à ce modèle ( GONFIANTINI R., 1986).

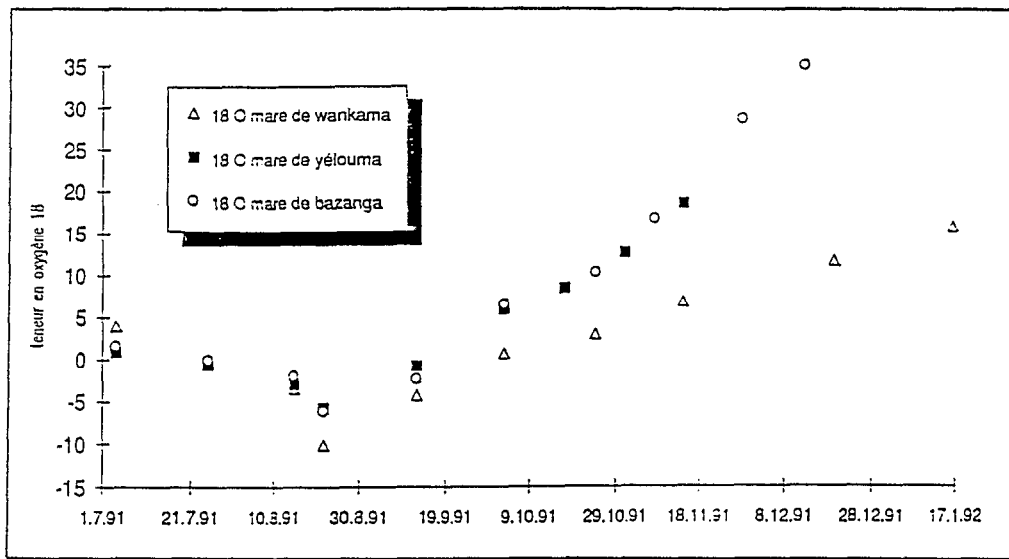


Figure 10 : Evolution des teneurs en oxygène 18 des eaux des mares-saison 1991-92

#### 7.4 HYDROLOGIE DU BASSIN D'ALIMENTATION DE LA MARE SOFIA BANGOU

##### contexte naturel:

Il est difficile de distinguer les limites du bassin hydrologique de surface car le relief est inexistant à l'exception de buttes sableuses ou d'arcs de végétation qui stoppent ou devient les écoulements. Toutefois, on distingue une très légère pente, où s'organise le ruissellement, et qui donne naissance à un système hydrographique peu développé, favorisé par les parcours de bétail et le passage de véhicules. Comme nous l'avons décrit dans un paragraphe précédent, la couverture végétale est de type contractée et laisse la place à des zones nues très étendues sur le site de Sofia bangou. Les sols sont de très faibles profondeurs et à fort chargement caillouteux et ils présentent une surface imperméabilisée par des organisations superficielles de type ST3, ERO et G (VALENTIN et CASENAVE; 1989). Généralement, on retrouve la cuirasse ferrugineuse à moins d'un mètre de profondeur.

caractéristiques de la crue: nous présentons dans la figure 11 quatre hydrogrammes de crues mis en relation avec les variations d'intensités de pluie enregistrées à la station de Sofia bangou (réseau EPSAT). Nous avons choisi quatre événements pluvieux ayant des durées et des intensités très différentes.

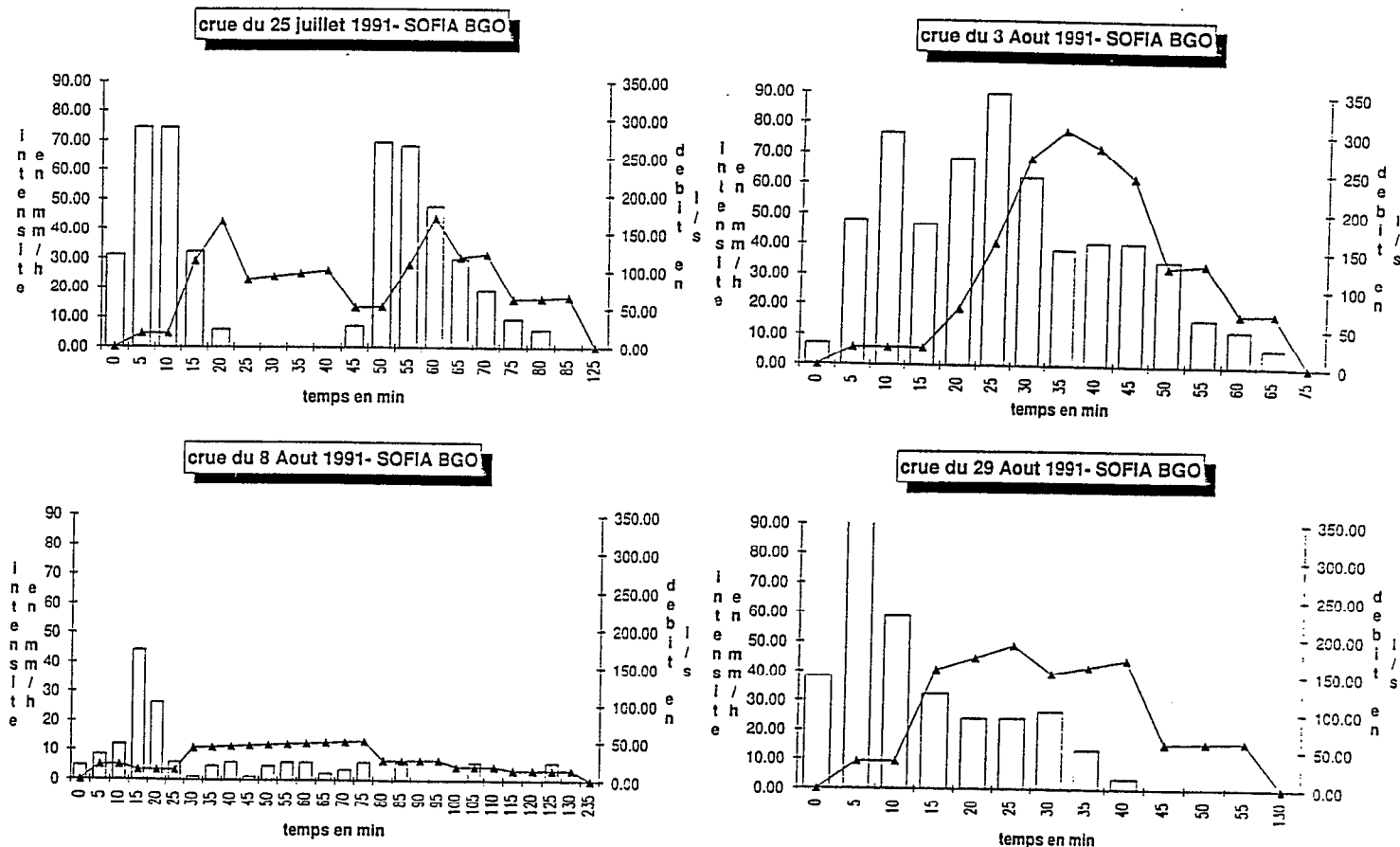


Figure 11: Hydrogrammes types

Ces figures permettent de distinguer des crues aux caractéristiques différentes. Nous donnons les valeurs des principales caractéristiques dans le tableau ci-dessous:

date de la crue	débit maximum en l/s	pointe de la crue (min)	durée de la crue (min)	durée de la pluie (min)	intensité moyenne en (mm/h)
25 juillet 1991	166,0	20	85	80	28
3 août 1991	303,2	35	75	65	42
8 août 1991	51	75	130	125	6
29 août 1991	190,1	25	55	40	36

relation volume -pluie -indice d'humidité:

Pour le peu d'événements disponibles pluies-crues que nous avons obtenu cette année, nous avons tracé la relation pluie-volume qui nous donne des indications quant à l'aptitude du bassin au ruissellement

de surface. En admettant que les volumes d'eau recueillis et mesurés dans le plan d'eau son effectivement issus d'un ruissellement de surface, on peut alors mettre en relation les deux jeux de données: 18 couples pluie-volume ruisselé. On obtient une relation linéaire très dispersée pour des événements ayant donné des volumes importants (problème de précision de tarage de la cuvette de la mare ?). la prise en compte de l'indice de pluie de type KOHLER avec un coefficient de 0,5 regroupe les points expérimentaux sur la droite théorique.

les relations obtenues sont de la forme :

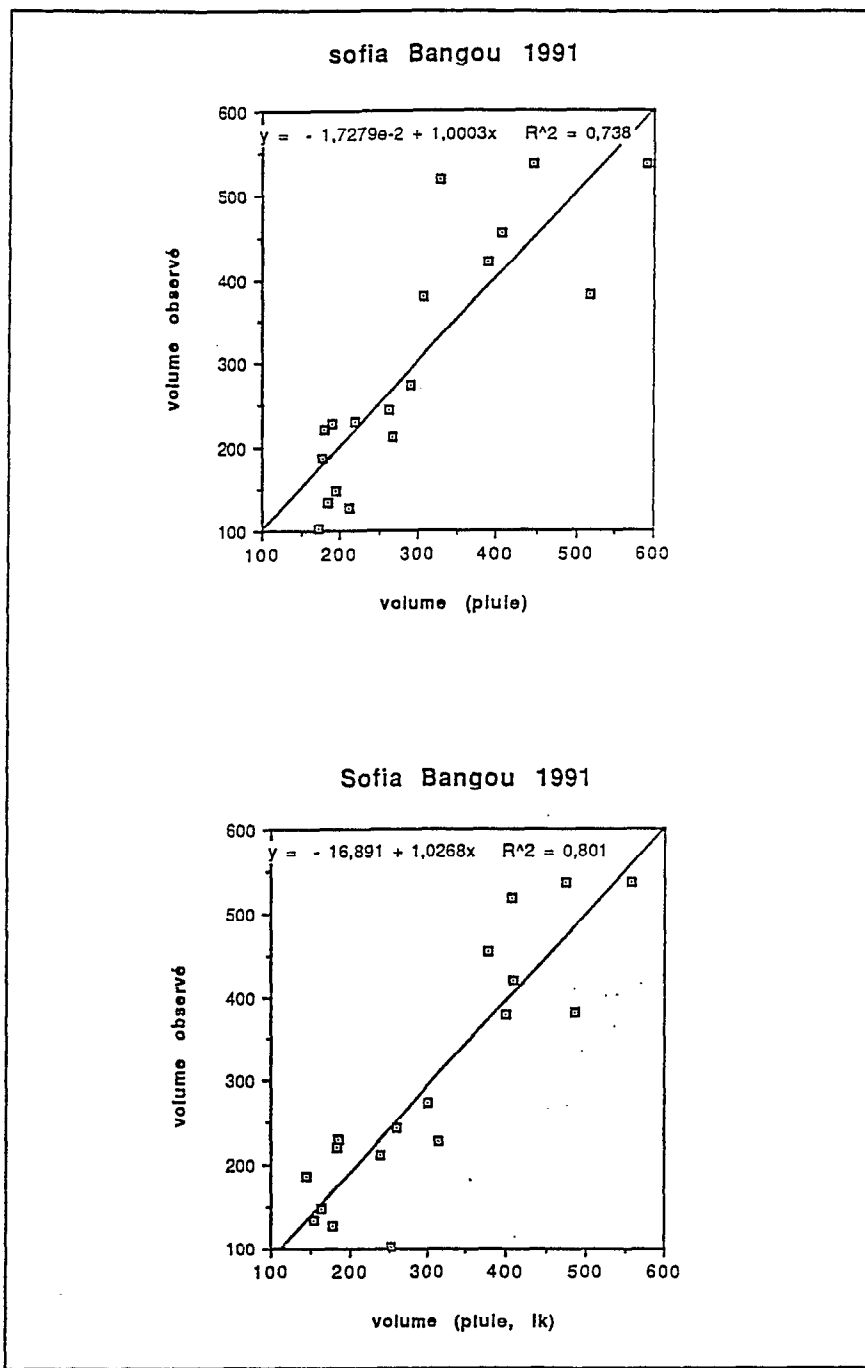


Figure 12 : Relation pluie- volume -indice d'humidité

Le manque de connaissances sur le bassin versant et les différents paramètres, qui régissent les écoulements de surface et les écoulements hypodermiques s'il en existent, tel que la superficie du bassin d'alimentation, la production du ruissellement, les zones d'infiltration: *nature et caractéristiques des états de surface* ne nous permet pas d'analyser plus en détail ces observations.

Malgré tout, il apparait que le bassin d'alimentation de cette mare a un temps de réponse très rapide et

une forte sensibilité aux pluies. Cela laisse présager que la mare a un bassin de faible superficie avec une production de ruissellement élevée.

Une étude plus en détail des bassins versants des mares échantillons est envisagée:

- délimitation du bassin versant,
- caractérisation des états de surface,
- étude de la redistribution de l'eau à l'échelle du versant.

## 8. ETUDES ET TRAVAUX EN COURS

---

### analyses chimiques et interprétations

Les analyses chimiques des eaux ont été confiées au laboratoire d'analyse des eaux de l'ORSTOM-Bondy (SONDAQ) dont une partie a été traitée. La totalité des résultats sera disponible fin juin 1992 et en permettra l'interprétation.

### analyses isotopiques et interprétations

Les analyses isotopiques ont été traitées au Laboratoire d'Hydrologie et de Géochimie Isotopiques de Paris-Orsay (Pr FONTES) au mois de Mars et avril 1992. L'interprétation a été confiée à un étudiant en DEA d'hydrologie (F. LACROUTS) et servira à l'élaboration de son mémoire.

### synthèse pédologique

Une étude pédologique des bassins d'alimentation des mares et des cuvettes a été initiée par R. BOULET lors de sa venue au Niger au mois de décembre 1991. D'autre part, l'équipe "suivi des mares" a réalisé des observations sur des profils et des prises d'échantillons de sols le long des versants des différentes mares. Une première synthèse des observations et analyses de sol est en cours.

### traitement des données d'humidité

Les données d'humidité de sol ont été stockées et sont en cours d'interprétation par l'équipe "humidité des sols".

### stockage des données

hydrométrie: les données hydrométrique ont été dépouillées par le logiciel HYDROM. Elles sont stockées sous forme de fichier EXCEL. Elles ont été critiquées et interprétées pour la mare de Sofia bangou.

Les données hydrométriques des autres mares pourront l'être après l'obtention des courbes hauteur/volume (prévu en mai 1992).

chimie et isotopie: elles sont stockées sous fichiers excel et seront mis en relation avec les données pluie, volumes des mares et climatologie (B.MONTENY) dans un fichier base de données sous EXCEL.

pluviométrie (données EPSAT): elles sont stockées dans la banque de données BADINAGE et utilisables sous EXCEL et Q+E pour permettre leur utilisation conjointement aux autres fichiers.

## 9. PERSPECTIVES ET TRAVAUX POUR LA CAMPAGNE 1992

---

### vers une typologie pertinente pour un bilan hydrologique régional

Durant la saison 1992, un effort sera entrepris pour analyser plus précisément l'environnement des mares (étude pédologique des versants, végétation, environnement phytoécologique) et leur hydrologie à l'échelle de la mare et du bassin versant. Enfin, une campagne de photo-aérienne sera mise en oeuvre pour couvrir tout le secteur d'étude à différentes périodes de la saison.

## participation des mares aux transferts d'eau vers la zone non saturée

Le deuxième volet de l'étude qui sera développé cette année, vise à étudier particulièrement la participation des mares aux transferts d'eau vers la zone non saturée. Cette étude servira à valider les hypothèses sur le déstockage rapide des mares, et à estimer les quantités d'eau mises en jeu.

Pour cela, plusieurs actions seront menées:

**-extension du dispositif "échantillon":** afin de compléter et élargir notre échantillonnage sur le secteur d'étude et afin d'avoir un plus grand nombre de repères au sol pour l'extension spatiale par photo-aérienne (validation des échelles photographiques et calage des surfaces par rapport à des hauteurs d'eau de la mare), nous avons choisi d'équiper trois nouvelles mares de stations limnigraphiques dont deux d'entre elles présentent des caractères très temporaires. La troisième mare est une grande mare de kori qui est extérieure au secteur d'étude: la mare de Sorey qui a été suivie ces deux dernières années par la DRE (direction des ressources en eau du Niger).

Six autres mares situées dans le secteur d'étude ont été choisies et équipées d'échelles limnimétriques à maximum. Elles compléteront le dispositif d'échantillonnage de suivi des niveaux des mares mais serviront surtout à établir lors des survols aériens les relations surface -hauteur d'eau indispensables à la spatialisation du bilan hydrologique des mares à l'échelle régionale. Elles seront suivies hebdomadairement durant toute la saison des pluies. Lors de chaque mission aérienne, une équipe sera chargée de relever les hauteurs d'eau sur tous les sites. Ce travail de suivi des niveaux sera mené en collaboration avec une équipe de la DRE.

nom de la mare	situation	dispositif de mesure
Poura bangou	plateau latéritique	échelle limnimétrique à maximum
Maourey bangou	plateau latéritique	idem
Sulfey bangou	plateau latéritique	idem
Banizoumbou	lit de kori	idem
Kampa zarma	plateau latéritique	idem
Darey	vallée	idem
Sama dey	plateau latéritique	idem
Sama dey village	vallée	station limnigraphique CHLOE
Massi koubou	vallée	idem
Sorey	lit de kori	idem

tableau récapitulatif des nouveaux sites échantillons-Campagne 1992

**-installation de pluviographes à acquisitions automatiques Oedipe:** des pluviographes à acquisitions automatiques de type OEDIPE (pluviographes du réseau EPSAT-Niger) seront à proximité de trois des quatre mares suivies l'année passée: Wankama, Bazanga bangou et Yélouma. Ils renforceront notre dispositif de mesures sur ces sites échantillons pour établir le bilan hydrologique de la mare et du bassin versant de la mare.

**-suivi de l'évaporation in situ par bacs flottants:** deux bacs flottants seront mis en place dès le début de la saison sur les mares de Wankama et Bazanga bangou. Ces bacs pourront nous donner de façon simple la hauteur évaporée du plan d'eau au pas de temps de la semaine. Ils seront placés au milieu du plan d'eau et seront entourés d'une clôture pour éviter le renversement et autres perturbations

possibles.

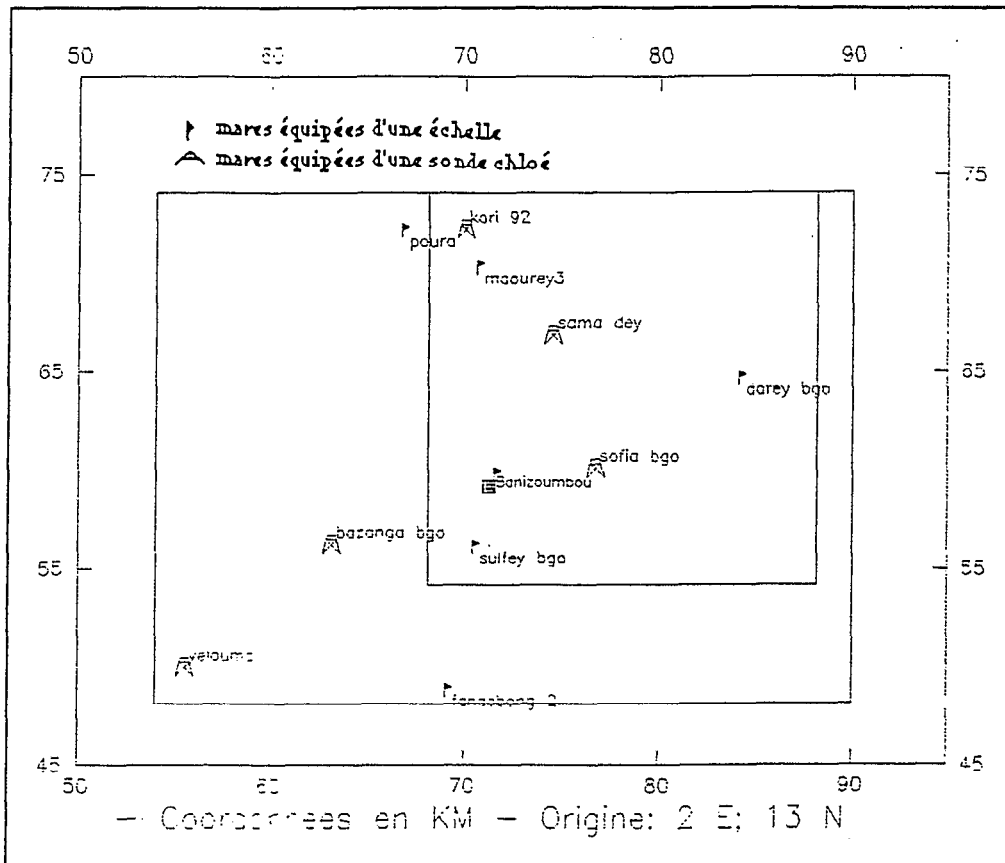


Figure 13: Nouveau dispositif échantillon sur le secteur d'observation des mares.

-reconduction du suivi géochimique et isotopique: le suivi géochimique et isotopique sera reconduit sur les mares échantillons équipées de stations chloé et oedipe au pas de temps hebdomadaire (Wankama, Bazanga et yélouma). On mettra en place un protocole supplémentaire qui consistera à échantillonner les eaux de pluies et l'eau de la mare juste après la crue (Wankama) à l'échelle de l'événement pour établir un bilan isotopique du remplissage par les pluies et du déstockage sur trois jours.

- implantation de tube dans le lit des mares et à la périphérie: cette année, nous poursuivrons la campagne de mesures humidimétriques effectuée sur les versants et dans le lit de la mare de Wankama. L'implantation de tubes d'accès neutroniques sur les versants et dans le lit de la mare de Bazanga bangou élargira l'étude des transferts d'eau, du système mare-zone non saturée, aux plateaux latéritiques.

## 10. INTERVENTION DES EQUIPES HS 2 DANS LE PROGRAMME "SUIVI DES MARES "

Si le programme "suivi des mares" fait parti avant tout de la composante hydrologie de l'expérience Hapex, sa problématique a été élargie à une étude qui ne revêt pas seulement un caractère hydrologique classique mais environnemental. Pour cela, cette étude intéresse des disciplines connexes pour une approche plus complète du milieu physique des zones endoréiques. Aussi, il était intéressant de mettre à profit le caractère pluridisciplinaire de l'expérience Hapex. Deux équipes de travail interviennent dans ce programme:

**Le groupe "humidité des sols":** ce groupe apporte sa collaboration dans le suivi et l'analyse des mesures d'humidité des sols des sites étudiés.

**Le groupe "phytoécologie":** il sera entrepris par ce groupe, un suivi et une caractérisation de la végétation de toutes les mares du secteur d'étude.



De plus les équipes du programme **"versant"** devraient collaborer en établissant les cartes des états de surface de quelques mares "échantillon".

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**CASENAVE A. et VALENTIN C. :** Les états de surface de la zone sahélienne. Influences sur l'infiltration. collections Didactiques-ORSTOM éditions, Paris 1989.

**COURAULT D.; D'HERBES J.M.; VALENTIN C . :** Le bassin versant de Sama dey, premières observations pédologiques et phytoécologiques. Programme Hapex-Sahel. rapport LIA-ORSTOM Bondy, 1990.

**CRAIG H. :** Standart for reporting concentration of Deuterium and Oxygen 18 in natural waters. Sciences, 133:1833-1834.1961.

**EPSAT-NIGER :** rapport de campagne 1991, ORSTOM/DMN-Niamey ,fevrier 1992.

**FONTES J.CH. :** Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles : quelques aspects. Thèse doctorat ès sciences, université de Paris 6, 208 pages.1976.

**GONFIANTINI R. :** Environmental isotopes in lake studies. Handbook vol. 2, Radio isotopes, FRITZ et FONTES.1986

**HOEPPFNER M. ; GOUTORBE J.P. ; SELLERS P. ; TINGA A . :** Plan d'expérience, HAPEX - SAHEL. Montpellier/Toulouse, septembre 1990.

## ANNEXES

Tableau 1: liste des mares inventoriées dans le secteur d'étude -saison 1991

nom	latitude Nord	longitud e Est	X en km	Y en km	situation	sites équipés
yelouma	13° 26 97	2° 30 80	55,48	49,98	vallée	station CHLOE-juin 91
gassan ouest	13° 29 84	2° 30 14	54,28	55,30	PL. ensablé	
gassan ouest2	13° 28 34	2° 31 81	57,29	52,52	PL.ensablé	
yelouma est1	13° 27 46	2° 32 72	58,93	50,89	PL. ensablé	
yelouma est2	13° 27 46	2° 32 72	58,93	50,89	PL. ensablé	
yelouma est3	13° 27 95	2° 32 58	58,68	51,80	PL. ensablé	
yelouma est4	13° 27 95	2° 32 58	58,68	51,80	PL. ensablé	
samsani bgo1	13° 34 23	2° 33 96	61,14	63,44	PL. brousse tigré	
balal suivi 1	13° 28 80	2° 34 64	62,39	53,38	PL. ensablé	
balal suivi 2	13° 28 80	2° 34 64	62,39	53,38	PL. ensablé	
kalasi	13° 31 17	2° 34 61	62,32	57,77	BF. de vallée	
samsani bgo2	13° 33 94	2° 34 31	61,77	62,90	PL.brousse tigrée	
samsani bgo3	13° 34 43	2° 34 13	61,44	63,81	PL. brousse tigrée	
samsani bgo4	13° 36 12	2° 34 91	62,84	66,94	PL.brousse tigrée	
samsani bgo5	13° 33 42	2° 35 86	64,56	61,94	PL.brousse tigrée	
bazanga bgo	13° 30 35	2° 35 11	63,23	56,25	PL. brousse tigrée	station CHLOE-juil 91
dolohi	13° 27 32	2° 35 60	64,12	50,63	PL. ensablé	
komakk1	13° 29 79	2° 36 83	66,33	55,21	PL.brousse tigrée	
dantiandou te	13° 36 73	2° 36 69	66,04	68,07	BF de vallée	
poura bgo	13° 38 71	2° 37 09	66,75	71,74	PL. brousse tigrée	échelle limni-mars 92
komakk3	13° 29 60	2° 37 23	67,05	54,86	PL. brousse tigrée	
komakk2	13° 29 56	2° 37 01	66,65	54,78	PL. brousse tigrée	
fandobong 1	13° 26 34	2° 37 06	66,76	48,82	PL. ensablé	
fandobong 2	13° 26 09	2° 38 33	69,05	48,35	PL. ensablé	échelle limni-mars92
fandobong 3	13° 26 09	2° 38 33	69,05	48,35	PL. ensablé	
boundou	13° 33 32	2° 38 34	69,03	61,75	kori	
maourey 5	13° 38 32	2° 38 96	70,12	71,02	kori	
wankama vill.3	13° 39 33	2° 38 92	70,04	72,89	vallée	
wankama vill.4	13° 39 93	2° 39 40	70,90	74,00	vallée	
wankama vill.5	13° 39 93	2° 39 40	70,90	74,00	vallée	
wankama vill.2	13° 39 34	2° 39 45	70,99	72,91	kori	
wankama vill.1	13° 39 31	2° 39 97	71,93	72,85	kori	
kori 93	13° 39 00	2° 38 91	70,02	72,28	kori	station CHLOE-juil 91
maourey4	13° 38 12	2° 39 15	70,46	70,65	kori	

nom	latitude Nord	longitud e Est	X en km	Y en km	situation	sites équipés
maourey2	13° 35 84	2° 39 03	70,25	66,42	kori	
maourey1	13° 35 55	2° 39 73	71,52	65,89	kori	
banizoumbou	13° 32 00	2° 39 73	71,54	59,31	kori	échelle limni-mars 92
sulfey bgo	13° 30 03	2° 39 12	70,45	55,66	PL. brousse tigrée	échelle limni-mars 92
K.zarma	13° 26 92	2° 40 08	72,19	49,89	PL.ensablé(?)	
yerima dey	13° 28 93	2° 41 59	74,90	53,62	vallée	
korto	13° 29 95	2° 41 53	74,79	55,51	vallée	
sama dey1	13° 35 99	2° 41 34	74,41	66,70	PL. brousse tigrée	
sama dey2	13° 36 09	2° 41 42	74,56	66,89	PL. brousse tigrée	échelle limni-mars 92
sama dey3	13° 36 21	2° 41 70	75,06	67,11	PL. brousse tigrée	
filin 1	13° 39 51	2° 41 61	74,88	73,23	PL. brousse tigrée	
filin 2	13° 39 20	2° 42 68	76,81	72,65	PL. brousse tigrée	
sama dey4	13° 36 20	2° 42 11	75,80	67,09	PL. brousse tigrée	
sofia bgo	13° 32 42	2° 42 62	76,74	60,09	PL. brousse tigrée	station CHLOE- avril 91
filin 3	13° 39 37	2° 43 29	77,90	72,97	PL. brousse tigrée	
filin 4	13° 39 48	2° 43 65	78,55	73,17	PL. brousse tigrée	
filin 5	13° 40 00	2° 43 02	77,41	74,13	PL. brousse tigrée	
karbanga	13° 37 94	2° 44 41	79,93	70,32	PL. ensablé	
sofi bgo1	13° 33 66	2° 45 99	82,80	62,38	PL. brousse tigrée	
sofi bgo2	13° 34 31	2° 45 73	82,32	63,59	PL. brousse tigrée	
darey bgo	13° 34 64	2° 46 73	84,12	64,20	PL. brousse tigrée	échelle limni-mars 92
sofi bgo 3	13° 34 22	2° 46 45	83,62	63,42	PL. brousse tigrée	
bagoua	13° 29 76	2° 46 04	82,91	55,16	kori	
dahel bgo 1	13° 39 78	2° 49 59	89,24	73,73	PL. brousse tigrée	
dahel bgo 2	13° 39 49	2° 49 97	89,92	73,19	PL. brousse tigrée	
dahel bgo 3	13° 38 71	2° 49 95	89,89	71,74	PL. brousse tigrée	

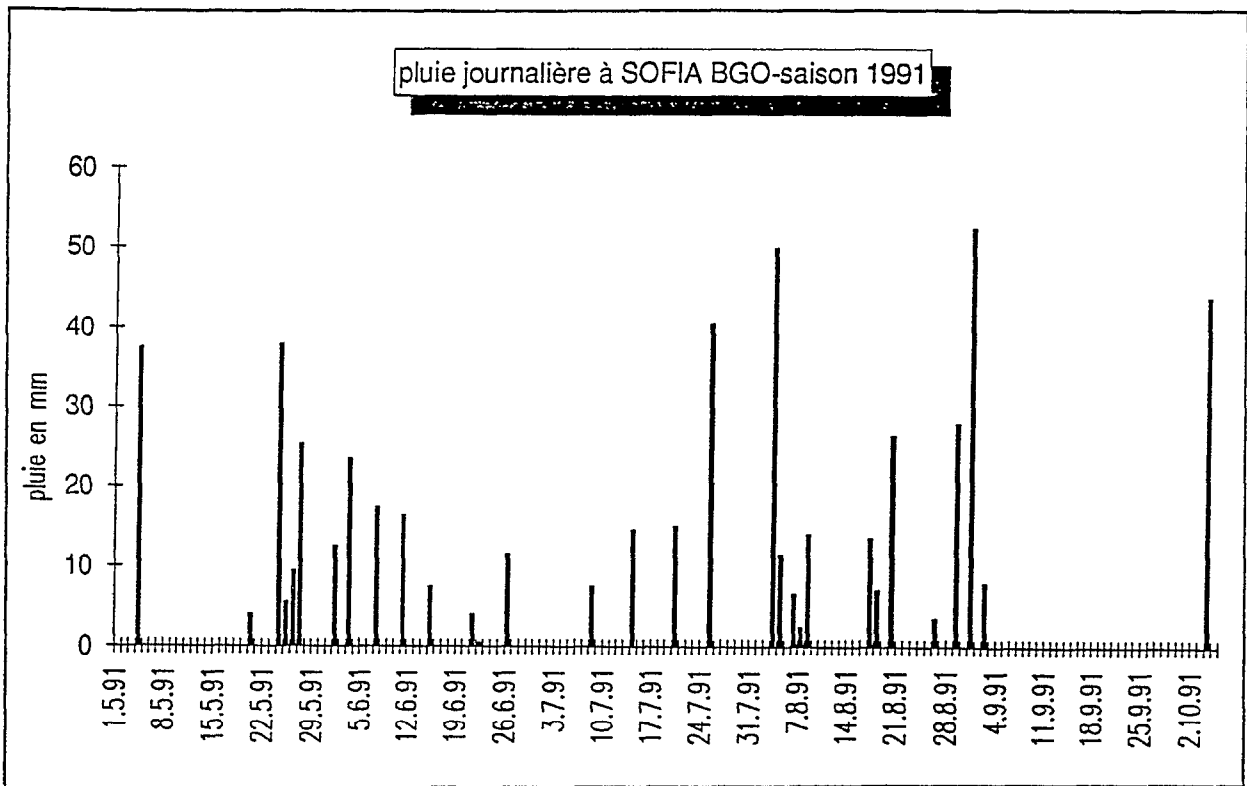
**Tableau 2:** Tableau récapitulatif des événements enregistrés sur les mares échantillons-saison 1991

date	mare de sofia bangou	mare de wankama	mare de bazanga bangou	mare de yélouma
4.5.91	1	-	-	-
24.5.91	1	-	-	-
27.5.91	1	-	-	-
1.6.91	1	-	-	-
3.6.91	1	-	-	-
7.6.91	1	-	-	-
11.5.91	1	-	-	début des observations
26.6.91	1	-	-	1
8.7.91	0	-	début des observations	1
14.7.91	1	début des observations	1	0
20.7.91	1	1	0	1
25.7.91	1	0	0	0
3.8.91	1	1	1	1
8.8.91	1	1	1	1
17.8.91	1	1	0	1
18.8.91	0	1	0	0
20.8.91	1	1	0	1
29.8.91	1	1	0	0
31.8.91	1	0	1	0
4.10.91	1	1	1	0
nombre de crues enregistrées	17	8	5	7

**Tableau 3:** Evénements à la mare de Sofia Bangou Saison 1991.

date	pluie sofia en mm	hauteur initiale en cm	hauteur finale en cm	crue en cm	volume ruisselé en m3
4.5.91	37,5	28	63	35	420,0
24.5.91	30,5	20	66	46	517,4
27.5.91	22,5	52	67	15	243,2
1.6.91	12,5	43	57	14	186,9
3.6.91	23	49	63	14	212,2
7.6.91	17,5	49	64	15	229,6
11.6.91	16,5	48	57	9	126,9
26.6.91	12	39	48	9	102,6
14.7.91	13	30	51	21	220,4
20.7.91	14,5	34	48	14	149,0
25.7.91	39,5	41	71	30	454,8
3.8.91	61	39	74	35	535,8
8.8.91	14	45	61	16	228,1
17.8.91	13,5	41	52	11	135,3
20.8.91	26	47	65	18	272,9
29.8.91	28	41	67	26	378,5
31.8.91	40	49	72	23	379,8
4.10.91	44	20	67	47	535,7
moyenne	25,0			22,1	296,1
écart type	13,8			11,9	147,3
mini	12,0			9,0	102,6
max	44,0			47,0	535,7
médiane	22,75			17	
somme					5329,0

Figure 14: Répartition et hauteur des événements pluvieux à la station de Sofia bangou du 1.5.91 au 31.10.91.



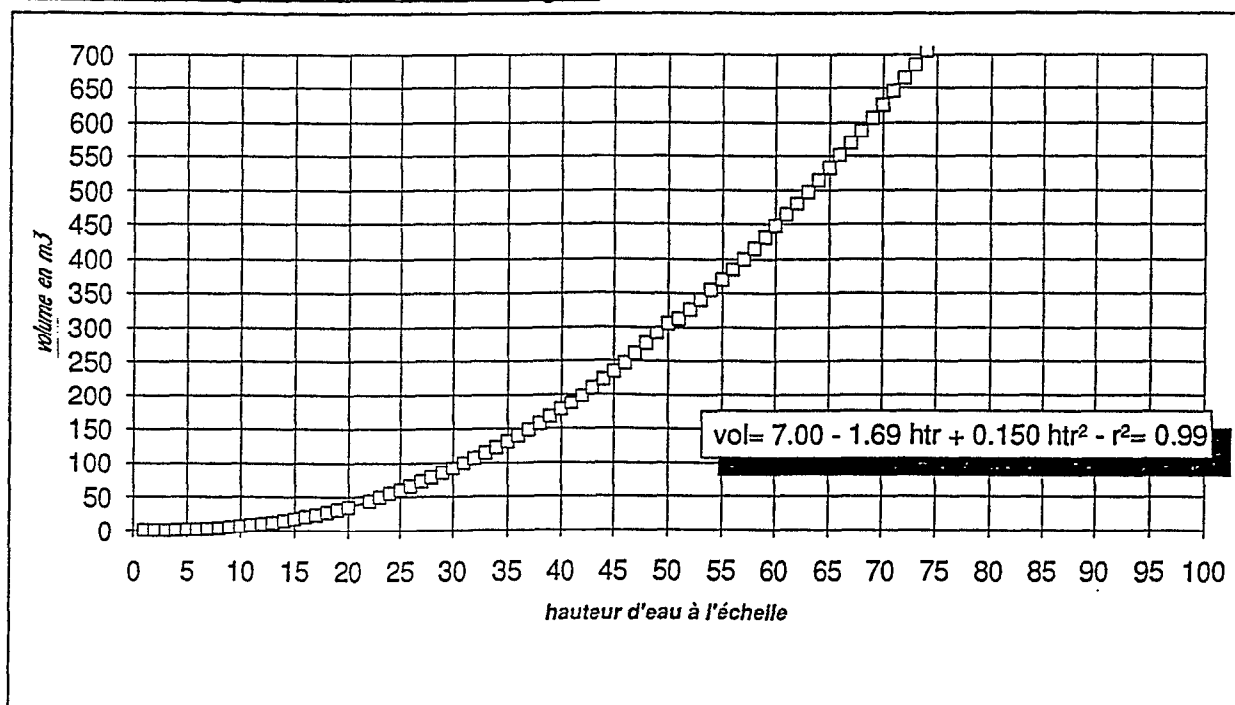
**Tableau 4:** Bilan hydrologique de la saison 1991- pas de la semaine- mare de Sofia Bangou.

date debut (0:00)	date fin (24:00)	volume debut (m3)	volume fin (m3)	volume de crue (m3)	variation volume (m3)	pertes (crue-variation vol)
2.5.91	8.5.91	106,9	190,5	420,0	83,6	336,4
9.5.91	15.5.91	190,5	91,6	0,0	-98,9	98,9
16.5.91	22.5.91	91,6	33,3	0,0	-58,3	58,3
23.5.91	29.5.91	33,3	272,4	760,5	239,1	521,5
30.5.91	5.6.91	272,4	298,5	399,2	26,1	373,1
6.6.91	12.6.91	298,5	325,8	356,6	27,3	329,3
13.6.91	19.6.91	325,8	247,5	0,0	-78,3	78,3
20.6.91	26.6.91	247,5	272,4	102,6	24,9	77,7
27.6.91	3.7.91	272,4	159,9	0,0	-112,5	112,5
4.7.91	10.7.91	159,9	115,0	0,0	-44,9	44,9
11.7.91	17.7.91	115,0	150,4	220,4	35,4	185,0
18.7.91	24.7.91	150,4	190,5	149,0	40,2	108,9
25.7.91	31.7.91	190,5	201,3	454,8	10,8	444,0
1.8.91	7.8.91	201,3	247,5	535,8	46,2	489,6
8.8.91	14.8.91	247,5	212,4	228,1	-35,1	263,2
15.8.91	21.8.91	212,4	312,0	408,2	99,6	308,6
22.8.91	28.8.91	312,0	212,4	0,0	-99,6	99,6
29.8.91	4.9.91	212,4	298,5	758,3	86,1	672,2
5.9.91	11.9.91	298,5	190,5	0,0	-108,0	108,0
12.9.91	18.9.91	190,5	106,9	0,0	-83,6	83,6
19.9.91	25.9.91	106,9	47,7	0,0	-59,2	59,2
26.9.91	2.10.91	47,7	21,7	0,0	-26,0	26,0
3.10.91	9.10.91	21,7	169,8	536,7	148,1	388,5
10.10.91	16.10.91	169,8	84,5	0,0	-85,4	85,4
17.10.91	23.10.91	84,5	33,3	0,0	-51,1	51,1
				5330,0	0,0	5403,6

**Tableau 5:** Bilan hydrologique au pas de l'événement -mare de Sofia bangou-saison 1991.

date	hauteur d'eau en cm	volume avant la crue en m3 (t1)	volume total en m3 (t2)	volume ruisselé en m3 (t2-t1)	volume après stabilisation (t3)	variation de volume en m3 (t3-t2)	variation de stock en m3	vol t3-t'1
3.8.91 22:25	39,0	169,8						
3.8.91 23:30	74,0		705,7	535,8				
6.8.91 20:40	69,0				259,8	-445,9		24,3
8.8.91 8:45	45,0	235,5					65,7	
8.8.91 10:55	61,0		463,6	228,1				
11.8.91 13:40	47,0				259,8	-203,8		69,3
17.8.91 3:25	41,0	190,5					-45,0	
17.8.91 6:15	53,0		339,9	135,3				
19.8.91 11:15	48,0				272,4	-67,5		12,6
20.8.91 7:25	47,0	259,8					69,3	
20.8.91 8:35	64,0		515,0	272,9				
22.8.91 20:10	48,0				271,4	-243,5		80,9
29.8.91 19:55	41,0	190,5					-69,3	
29.8.91 20:50	67,0		569,0	378,5				
31.8.91 13:15	51,0				312,0	-257,0		26,7
31.8.91 21:55	49,0	285,3					94,8	
31.8.91 23:00	72,0		665,1	379,8	312,0	-353,1		

**Courbe de tarage de la mare Sofia Bangou:**





**Tableau 6:**

Analyses en Deutérium et Oxygène 18 des eaux de pluie à la station de Yélouma

date	teneur en oxygène 18 en pour mille	teneur en deuterium en pour mille	hauteur d'eau à Yélouma en mm
21.6.91	-2,41	-16,6	6
24.6.91	-0,11	-7,4	1,4
27.6.91	-2,59	-17	17,4
4.7.91	-5,25	-33,4	5,3
9.7.91	-2,98	-18,5	16,1
18.7.91	-2,57	-20,8	3,1
5.8.91	-5,64	-35,6	68,7
8.8.91	-4,95	-33,5	18
11.8.91	-5,18	-38,7	3,4
15.8.91	-4,11	-30	4,6
18.8.91	-0,18	-31,2	6,8
20.8.91	-9,86	-76	37
2.9.91	-8,07	-59	25
3.9.91	-5,95	-37,9	17,5
3.10.91	2,62	13,5	8,1
4.10.91	-3,1	-19,4	28,8

Analyses en Deutérium et Oxygène 18 des eaux de pluie à la station de Sama Dey

date	teneur en oxygène 18 en pour mille	teneur en deuterium en pour mille	hauteur d'eau en mm à sama dey
9.7.91	-5,32	-27,9	13
14.7.91	-3,69	-17,6	10,3
18.7.91	-1,39	-14,5	0,3
20.7.91	-5,61	-40,5	11,3
30.7.91	-3,7	-15,4	2,7
5.8.91	-5,21	-39,4	64,5
11.8.91	-4,91	-43,2	3,4
17.8.91	-6,53	-50,9	29,7
18.8.91	-8,81	-69,3	7
20.8.91	-11,22	-80,1	32
23.8.91	-6,34	-52,8	1,1
27.8.91	-4,74	-38,3	4,3
30.8.91	-5,83	-41,4	11,7
2.9.91	-8,19	-59,9	17,6
3.9.91	-6,27	-37,3	20,1
3.10.91	1,85	11,6	3,6
4.10.91	-3,24	-23,6	27,6

**Tableau 7:** analyses en Deutérium et Oxygène 18 des eaux de la mare de Yélouma

date	pluie hebdomadaire à Yélouma en mm	teneur en oxygène 18 (en pour mille)	teneur en deuterium (en pour mille)
4.7.91	-	0,87	-8,6
11.7.91	-	-	-
18.7.91	-	-	-
25.7.91	-	-0,67	-15
1.8.91	14	-	-
8.8.91	80,2	-	-
15.8.91	61	-2,91	-23,4
22.8.91	50	-5,74	-46,7
29.8.91	52,5	-	-
5.9.91	39	-	-
12.9.91	0	-0,79	-20,3
19.9.91	0	-	-
26.9.91	0	-	-
3.10.91	1,8	5,86	4,6
10.10.91	23,5	-	-
17.10.91	fin saison des pluies	8,37	16,7
24.10.91		-	-
31.10.91		12,47	32,8
7.11.91		-	-
14.11.91		18,34	52,9
21.11.91		assèchement	

**Tableau 8:** Analyses en Deutérium et Oxygène 18 des eaux de la mare de Bazanga Bangou

date	pluie hebdodomadaire à bazanga bgo en mm	teneur en oxygène 18 (en pour mille)	teneur en deuterium (en pour mille)
4.7.91	-	1,57	1,9
11.7.91	-	-	-
18.7.91	-	-	-
25.7.91	39,5	-0,05	-6,9
1.8.91	90	-	-
8.8.91	68,1	-	-
15.8.91	67	-2,02	-17,6
22.8.91	50	-6,08	-50,1
29.8.91	55	-	-
5.9.91	47	-	-
12.9.91	0	-2,34	-30,1
19.9.91	0	-	-
26.9.91	0	-	-
3.10.91	2,3	6,49	14,7
10.10.91	23	-	-
17.10.91	fin saison des pluies	-	-
24.10.91		10,16	33,9
31.10.91		-	-
7.11.91		16,54	60,1
14.11.91		-	-
21.11.91		-	-
28.11.91		28,36	-
5.12.91		-	-
12.12.91		34,7	143,3
19.12.91		asséchement	

**Tableau9:** Analyses en Deutérium et Oxygène 18 des eaux de la mare de Wankama

date	pluie hebdodomadaire à Wankama en mm	teneur en oxygène 18 (en pour mille)	teneur en deuterium (en pour mille)
4.7.91	-	4	6,4
11.7.91	-	-	-
18.7.91	42,1	-	-
25.7.91	21	-0,15	-5,9
1.8.91	25	-	-
8.8.91	56	-	-
15.8.91	8	-3,43	-24,4
22.8.91	69	-10,1	-72,4
29.8.91	6,5	-	-
5.9.91	39	-	-
12.9.91	0	-4,22	-40,8
19.9.91	0	-	-
26.9.91	0	-	-
3.10.91	0	0,72	-14,7
10.10.91	32	-	-
17.10.91	fin saison des pluies	-	-
24.10.91		2,96	-1,4
31.10.91		-	-
7.11.91		-	-
14.11.91		6,76	14,3
21.11.91		-	-
28.11.91		-	-
5.12.91		-	-
12.12.91		-	-
19.12.91		11,55	31,5
26.12.91			
2.1.92			
9.1.92			
16.1.92		15,62	49,6
6.2.92		assèchement	