

**SIMULATION DE PLUIE, TELEDETECTION, MODELISATION  
EXEMPLE DE LA MARE D'OURSIS - BURKINA FASO**

**Pierre CHEVALLIER**

**Centre ORSTOM d'Adiopodoumé - B.P. V 51 - ABIDJAN  
Côte d'Ivoire**

## AVANT-PROPOS

=====

Cet exposé reprend une grande part du chapitre consacré à la modélisation dans un mémoire pour la Société Hydrotechnique de France (CHEVALLIER - 1985). Le travail a été réalisé d'abord pour la synthèse de l'étude hydrologique des bassins versants représentatifs de la Mare d'Oursi auquel on pourra se reporter pour une information plus complète (CHEVALLIER et al. - 1985).

L'aspect plus particulier de la modélisation des variations annuelles des niveaux de la Mare d'Oursi fait l'objet d'un poster présenté à l'occasion d'une conférence internationale à Cocoa Beach - USA (CHEVALLIER, LOINTIER, LORTIC - 1985).

## INTRODUCTION

=====

Les bassins versants représentatifs de la Mare d'Oursi ont fait l'objet d'observations hydropluviométriques classiques pendant 6 années (1976-1981). Une campagne de simulation de pluies menée en 1980-81 sur les bassins versants de Polaka (9,14 km<sup>2</sup>) et de Jalafanka (0,80 km<sup>2</sup>) avait permis une première tentative de reconstitution des crues à partir de la composition des résultats obtenus sur des parcelles installées sur des "entités morphostructurales" considérées comme représentatives (VALENTIN - 1981, CHEVALLIER - 1982).

Il a paru intéressant d'associer à la simulation de pluie deux autres outils récents de l'hydrologie :

- La télédétection spatiale pour la cartographie des "entités morphostructurales" ;
- Le modèle à discrétisation spatiale ORSTOM - Ecole des Mines, dont le déterminisme paraît s'accorder particulièrement bien avec la méthode.

Il semble inutile de revenir ici sur le milieu et la situation géographique des bassins versants de la Mare d'Oursi longuement décrits par ailleurs (CHEVALLIER et al.-1985). Mentionnons quand même que le site d'étude est au nord du Burkina Faso, au coeur de la zone climatique sahélienne. La pluviométrie interannuelle est de l'ordre de 400 mm. Les paysages d'une assez grande diversité sont parfaitement représentatifs de l'ensemble régional qu'il est convenu d'appeler "Boucle du Niger".

D'autres auteurs présentent à l'occasion de ces Journées d'Hydrologie des travaux portant sur l'évaluation des fonctions de production à partir des observations sous pluies simulées, et sur la cartographie des états de surface, d'une part. L'utilisation des modèles déterministes sera largement évoquée d'autre part. Aussi, tout en assurant le lien entre ces outils pour bien exposer la marche suivie, cet exposé insistera surtout sur l'utilisation des données satellitaires pour l'extension de la cartographie précise d'une petite surface à une zone géographique beaucoup plus vaste. A titre de démonstration quelques résultats obtenus sur les variations du niveau de la Mare d'Oursi serviront de conclusion.

## 1. SIMULATION DE PLUIE ET MODELISATION A DISCRETISATION SPATIALE

=====

La modélisation à discrétisation spatiale a été développée dès 1972 à l'ORSTOM par GIRARD en collaboration d'abord avec les chercheurs de l'Institut National de la Recherche Scientifique du Québec (INRS-Eau) (GIRARD, MORIN, CHARBONNEAU - 1972) ; plus récemment, les hydrogéologues de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris se sont associés à ce travail (GIRARD, LEDOUX, VILLENEUVE - 1981) pour y introduire la composante souterraine.

La première étape de la discrétisation spatiale est la représentation du bassin versant sous la forme d'une partition de carrés dont la taille est adaptée à la morphologie et à la physiographie du bassin.

Sur cet ensemble de carrés représentatifs du système hydrologique étudié, on définit cinq fonctions interconnectées qui modélisent le cycle de l'eau.

- Une fonction d'entrée représente les apports au système (précipitations surtout, mais aussi éventuellement, apports extérieurs de débits de surface ou souterrain).

- Une fonction de production pour un état de surface donné du sol, définit les termes du bilan hydrique, c'est-à-dire, la répartition des apports entre l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration (stockage superficiel et interne).

- Une fonction de transfert de surface définit les conditions de passage d'un carré au suivant des volumes d'eau stockés ou transitants dans la zone superficielle.

- Une fonction de transfert souterrain définit les conditions de passage d'un carré au suivant des volumes d'eau stockés ou transitants dans la zone souterraine.

- Une fonction d'échange surface-souterrain établit les conditions d'échanges réciproques dans la "zone tampon" entre les écoulements de surface et les écoulements souterrains.

Ces cinq fonctions doivent être parfaitement définies spatialement et temporellement (choix d'un pas de temps de calcul compatible avec le problème à résoudre).

La fonction de production est le moteur essentiel du modèle à discrétisation spatiale. Elle est définie pour une entité cartographique d'état de surface (un "thème"). Il peut donc y avoir plusieurs fonctions de production sur un même carré. Elles se combinent alors proportionnellement à la surface occupée par chacun des thèmes sur le carré.

Pour l'étude de la Mare d'Oursi, il a semblé intéressant d'utiliser une fonction de production directement déduite des résultats obtenus sur parcelles expérimentales avec le mini simulateur de pluie (CHEVALLIER - 1982). Priorité est alors donnée au ruissellement puisque pour une parcelle donnée le simulateur fournit une lame ruisselée en fonction de la hauteur de précipitation et de l'indice des précipitations antérieures (API).

La simulation de pluie permet de construire une équation caractéristique pour une parcelle expérimentale et par extension pour un "thème" de surface (ALBERGEL, CASENAVE, VALENTIN - 1985). Cette équation peut s'écrire :

$$QR = AA * P + AB * API1 + AC * P * API1 - AD$$

où QR, est la lame ruisselée ;

AA, AB, AC et AD sont les constantes caractéristiques ;

P, la hauteur de précipitation ;

API1, la valeur de l'indice des précipitations antérieures au début de l'averse donnant lieu à du ruissellement.

GIRARD et RODIER (1979) proposaient un calcul équivalent pour des pas de temps courts avec une équation caractéristique légèrement différente.

Deux versions du modèle à discrétisation spatiale ont été utilisées pour la Mare d'Oursi :

1. Le modèle dit "couplé" (GIRARD, LEDOUX, VILLENEUVE - 1981 ; GIRARD, LEDOUX - 1983) a été développé conjointement par le Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM et par le Centre d'Informatique Géologique de l'Ecole des Mines de Paris. Il utilise pour schématiser le cycle de l'eau, les cinq fonctions interconnectées de base. Dans le cas de l'étude des bassins versants de la Mare d'Oursi, ce modèle a servi pour la simulation des hydrogrammes de crues du bassin de Polaka. Sur ce bassin, les débits enregistrés à l'exutoire sont uniquement dus au ruissellement et seule la partie fonction de production + transfert de surface du modèle a été utilisée. Le pas de temps de calcul choisi est de 36 minutes (1/40 jour) ; il correspond à une durée suffisamment courte pour simuler des crues qui durent en moyenne 3 à 5 heures, tout en limitant le nombre d'itérations du programme pour rester dans des temps et des coûts de calcul raisonnables

2. Le principal défaut du modèle couplé est de ne pas pouvoir tenir compte d'aménagements hydrauliques de surface ou de situations naturelles évolutives dans le temps, en particulier, des retenues naturelles ou artificielles. Le modèle MODLAC a été conçu pour pallier à cet inconvénient et aider à la planification de la gestion rationnelle des eaux de surface (GIRARD - 1982). Ce modèle à discrétisation spatiale simule les écoulements sur un système hydrologique composé d'un ensemble de bassins pour lesquels un certain nombre de réservoirs ou de retenues correspondent à des situations naturelles ou artificielles. Il a été choisi pour simuler le remplissage de la Mare d'Oursi en tenant compte des vastes plaines d'inondation dont le comportement est comparable à celui de retenues.

## 2. CARTOGRAPHIE DES SURFACES ET TELEDETECTION SATELLITAIRE

### 2.1. Procédure LOTERIE appliquée à la cartographie des états de surface (LOINTIER et LORTIC - 1984)

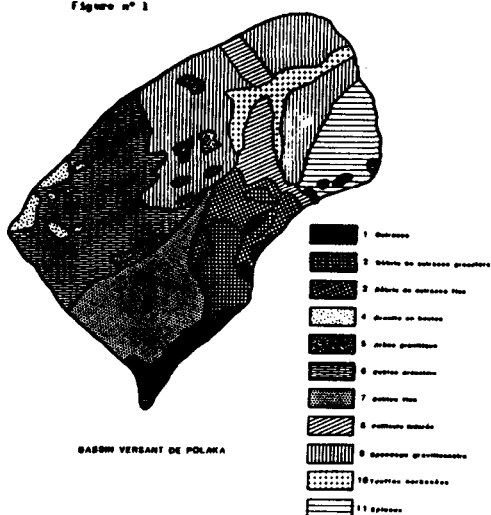
Dans les modèles à discrétisation spatiale, les fonctions de production sont définies pour un thème descriptif présumé homogène du sol. La fonction de production utilisée pour chaque carreau du modèle est une combinaison linéaire des fonctions de production de chacun des thèmes de sol présents sur le carreau, obtenue en proportion des surfaces d'occupation respectives.

Il est par conséquent essentiel d'établir une carte précise des thèmes d'occupation de la surface totale du système hydrologique que l'on veut étudier.

Pour l'étude de la genèse des crues à l'aide de la simulation de pluie, le même besoin s'était déjà exprimé (CHEVALLIER - 1982) et VALENTIN (1981) avait dressé une carte des différenciations morpho-structurales de surface du bassin versant de Polaka. Cette opération a été renouvelée depuis sur d'autres bassins au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Congo.

Cette carte (fig. n°1) présente 11 thèmes de surface et peut être directement utilisable pour le calage des modèles à discrétisation spatiale. Cependant une telle approche, possible à l'échelle du bassin de Polaka (9,14 km<sup>2</sup>) reste exceptionnelle : on ne dispose pas toujours facilement d'un pédologue aguerri à ces nouvelles méthodes ; et, lorsque les surfaces augmentent, le problème devient rapidement quasi insoluble.

Figure n° 1



DIFFERENCIATIONS MORPHOSTRUCTURALES DE LA SURFACE (VALENTIN-1981)

La télédétection satellitaire apparaît donc tout naturellement comme une technique nouvelle et séduisante pour la "constitution d'une base de données d'occupation du sol", en reprenant l'expression de LOINTIER et PIEYNS (1981). La région sahélienne est particulièrement propice à une telle démarche : très bonne visibilité satellitaire, paysages nettement diversifiables, densité de végétation couvrante faible, implantations humaines négligeables.

La cartographie des différenciations morpho-structurales du bassin de Polaka constitue pour le calage de l'analyse multispectrale à partir des données satellitaires une excellente "vérité terrain".

Il existe pour la région de la Mare d'Oursi de nombreuses "scènes" (couvrant une superficie de 180 x 180 km centrée sur un point légèrement à l'ouest de Dori) prises par les radiomètres des satellites américains LANDSAT (ORSTOM - 1977). L'image choisie pour l'analyse est celle du 4 février 1976, sur laquelle les quatre canaux radiométriques du MSS (MultiSpectral Scanner) sont disponibles.

Une série d'opérations de "traitement d'images" (LORTIC - 1982) permet de créer deux nouveaux canaux appelés 7-5 et 7+5 composés à partir des canaux 5 et 7. Le premier permet surtout de se rendre compte de l'état de la végétation (mais pas uniquement de cela) et le second, des états de surface, des reliefs et du réseau hydrographique.

Une analyse multivariée sur ces deux nouveaux canaux avec la procédure LOTERIE (ORSTOM - 1978, LOINTIER et PIEYNS - 1981) permet par consultation de la carte de vérité terrain et grâce à la connaissance du milieu, de déterminer un certain nombre de lots. Le regroupage de ces lots donne 9 classes thématiques :

1. Sables vifs dont dune d'Oursi.
2. Buttes (gabbros, roches vertes et cuirasses).
3. Altération de cuirasse.
4. Blocailles de roches diverses.
5. Epandage gravillonnaire.
6. Arène, sable grossier.
7. Pellicule indurée.
8. Sables fins, cordon dunaire.
9. Végétation.

La carte obtenue par la représentation de ces lots (CHEVALLIER, LOINTIER, LORTIC - 1985) est à rapprocher pour le bassin de Polaka de celle établie sur le terrain par VALENTIN (1981). Il apparaît que l'extension de cette vérité terrain à l'ensemble du bassin versant de la Mare d'Oursi, se fait sans erreurs grossières. Pour la commodité de la lecture, la classe n°9 a été artificiellement divisée en une classe n°9 (végétation et bas-fond) et en une classe n°10 (nappes d'eau libres ou couvertes de végétation aquatique) à partir de la connaissance du milieu naturel.

Ces opérations de traitement d'image sont réalisées directement sur l'écran de l'ordinateur spécialisé PERICOLOR 1000 qui possède un certain nombre de fonctions et de séquences préprogrammées pour résoudre les problèmes de l'analyse d'image. La procédure LOTERIE est effectuée automatiquement à partir des bornes choisies par l'opérateur.

## 2.2. Discrétisation spatiale automatique

La suite des traitements est liée aux performances techniques du PERICOLOR 1000 et l'exposé en sera assez sommaire, l'essentiel restant le résultat final.

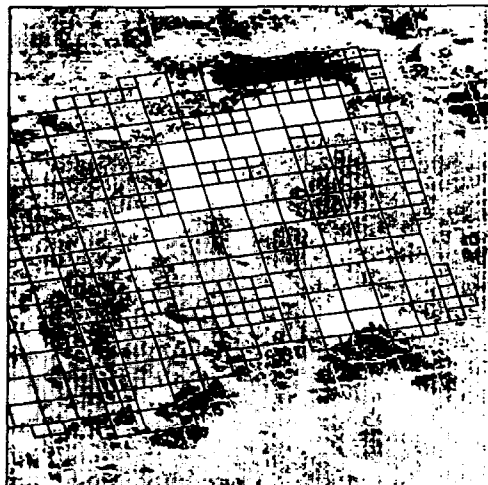
Les satellites d'observation de la terre LANDSAT donnent de images radiométriques dont la résolution la plus fine est un parallélogramme (ou "pixel") sensiblement orienté dans sa plus grande dimension suivant un axe nord-nord-est / sud-sud-ouest et de surface 56 x 79 m (environ 0,45 ha). Le résultat de la LOTERIE est d'attribuer à chaque pixel, un numéro de lot que l'on peut matérialiser à l'écran par une couleur quelconque.

Une caractéristique du PERICOLOR est de visualiser une image carrée de 256 pixels de côté. Cela signifie que chaque pixel apparaît sous forme d'un carré et que l'image apparente offre une déformation de la réalité géographique. Un carré sur le terrain deviendra sur l'écran, un parallélogramme orienté dans le sens de sa plus grande dimension suivant un axe ouest-sud-ouest / est-nord-est.

Pour représenter la totalité du bassin versant de la Mare d'Oursi, il est nécessaire de le partager en deux moitiés (est et ouest) couvrant chacune une surface de 14,3 x 20,2 km et coïncidant parfaitement au pixel près.

Des "marqueurs" peuvent être utilisés sur le PERICOLOR pour matérialiser des limites quelconques. Ce marquage est appliqué à la délimitation des carreaux de base de la modélisation à discrétisation spatiale. La principale difficulté est la correction indispensable de la déformation géographique. Le tracé des droites limites est réalisé par une séquence programmée. Le résultat pour la moitié est du bassin versant de la Mare d'Oursi apparaît sur la figure n°2.

Figure n° 2  
BASSIN VERSANT DE LA MARE D'OURSIS (MOITIE EST)  
COPIE DE L'ECRAN DU PERICOLOR ET REPRESENTATION DU MAILLAGE  
AVEC LA CORRECTION GEOGRAPHIQUE





A partir du carroyage, il suffit de pointer un curseur systématiquement sur chacun des carreaux pour avoir instantanément en pourcentage l'histogramme d'occupation sur le carreau de chacun des lots, assimilés ultérieurement à une entité d'état de surface. Cet histogramme est transféré tel quel dans le sous-programme GEOCOU de la modélisation pour la caractérisation de la fonction de production moyenne d'un carreau donné qui est une composition des fonctions de production de chacune des entités d'état de surface.

A titre d'exemple, le tableau suivant donne l'histogramme de quelques mailles choisies sur le bassin versant de la Mare d'Oursi :

Tableau n°1

Correspondance des mailles choisies :

- 14 : dune d'Oursi
- 95 : Mare d'Oursi
- 208 : plaine de Taïma
- 234 : centre du bassin de Taïma
- 345 : partie aval du bassin de Tchalol
- 405 : massif de Kolel

n° maille	histogramme par lot (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	97							3	
95									100
208				5		38	40		17
234					43	38	8	10	
345			1	47			47		5
405		82	11						7

### 3. RESULTATS

=====

#### 3.1. Ajustement du modèle

Le calage du modèle à discrétisation spatiale se fait essentiellement sur les paramètres de la fonction de production, mais la marge de manoeuvre est étroite. En effet, si la fonction de production représente bien le fonctionnement hydrodynamique de l'entité de sol pour laquelle elle est prédéterminée, la réponse du modèle doit être bonne.

Dans le cas de la Mare d'Oursi, les fonctions de production sont entièrement définies par les résultats de la simulation de pluie transposés sans modification (CHEVALLIER - 1982); Les observations établies à partir de l'étude du bassin versant de Polaka sont étendues à la totalité du bassin versant de la Mare d'Oursi.

#### 3.2. Limnimétrie de la Mare d'Oursi

##### 3.2.1. Comparaison des niveaux observés et des niveaux modélisés

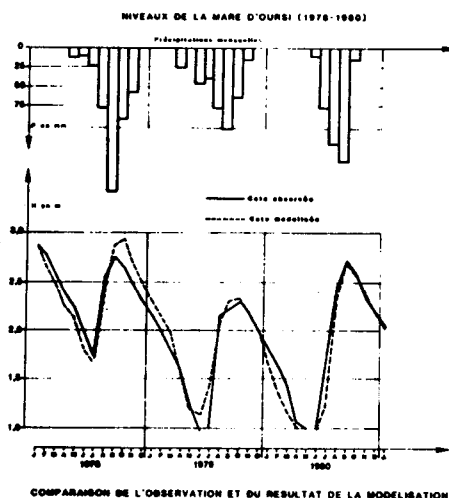
Passant du bassin versant de Polaka (9,14 km<sup>2</sup>) à celui de la Mare d'Oursi (263 km<sup>2</sup>), le modèle à discrétisation spatiale n'a subi aucune modification fondamentale dans ses fonctions de production. Le passage du modèle couplé au modèle avec retenues est aisé puisque les modules de calcul des fonctions de production sont identiques.

Le modèle a été testé pour le calcul de la limnimétrie de la Mare d'Oursi en 1978, 1979 et 1980, avec une cote de départ de 2,88 m qui est celle du 1er janvier 1978 (rappelons à cette occasion que le niveau d'assèchement est très voisin de 1,00 m). Les seuls paramètres de calage qui ont servi sont l'extension des plaines d'inondation de Taïma (avec ajustement des volumes écoulés à l'exutoire du sous-bassin) et, dans une moindre mesure, de Winnde Tukuli.

La figure n°3 présente les résultats comparés des niveaux observés et modélisés de la Mare d'Oursi. Le pas de temps utilisé pour le calcul est la journée; mais pour la commodité de l'interprétation, les cotes prises en compte sont celles du premier jour de chaque mois.

On ne peut que constater la remarquable adéquation du modèle, sauf peut-être pour le maximum de 1978 avec sa répercussion sur le niveau bas consécutif. Cet écart peut s'expliquer simplement par l'adoption d'une valeur moyenne de l'évapotranspiration mensuelle, inchangée sur les trois années. Cette valeur oscille entre 7 et 10 mm/j et il suffit d'une période plus sèche ou plus ventée pour lui faire subir des variations qui, cumulées, peuvent être considérables.

Figure n° 3



### 3.2.2. Simulation pour différentes hypothèses de pluviométrie extrême et moyenne

Il est intéressant de profiter de la modélisation pour simuler les variations de niveaux de la Mare d'Oursi dans certaines situations particulières.

Le choix s'est porté sur trois cas pluviométriques fictifs empruntés au poste de Gorom-Gorom. Le principe est de se faire succéder trois fois de suite la même série annuelle de précipitations et de voir dans quel sens évolue la limnimétrie de la Mare d'Oursi.

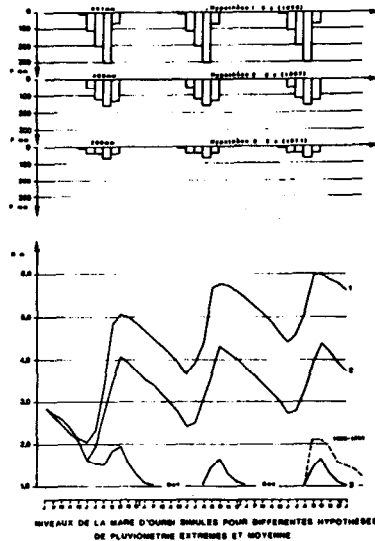
Hypothèse n°1 (extrêmement humide) : trois fois de suite l'année 1958 dont le total pluviométrique est de 691 mm, ce qui correspond à une période de retour de 50 ans.

Hypothèse n°2 (moyenne) : trois fois de suite l'année 1967 dont le total pluviométrique de 465 mm est sensiblement égal à la moyenne interannuelle.

Hypothèse n°3 (extrêmement sèche) : trois fois de suite l'année 1971 dont le total pluviométrique est de 200 mm, ce qui correspond à une période de retour de 100 ans.

La simulation a été appliquée en partant dans les trois hypothèses de la cote 2,88 m (celle du 1er janvier 1978) qui est plutôt basse. La figure n°4 présente les résultats obtenus et entraîne les conclusions suivantes :

Figure n°6



Hypothèse n°1 : Le niveau général de la Mare croit régulièrement pour atteindre et même dépasser la cote de 6,00 m fixée comme étant celle de débordement (le nivellement donne une cote de 6,33 m ; mais il est vraisemblable qu'avec de telles quantités de pluies, on assiste à un décapage érosif à l'exutoire potentiel). Il n'est donc pas impensable, bien que très peu probable, que la Mare puisse déborder ou en tout cas ait pu déborder dans un passé pas trop lointain.

Hypothèse n°2 : L'évolution des niveaux de la Mare d'Oursi tend vers un équilibre dont l'amplitude se situe entre les cotes 2,50 m et 4,30 m. Cet effet a pu faire illusion pendant les périodes de pluviométrie moyenne ou équilibrée et faire considérer la Mare d'Oursi comme pérenne encourageant ainsi son utilisation par les populations. Un retour à des successions de pluviométries plus proches de la moyenne interannuelle permettrait à la Mare d'Oursi de retrouver cet état d'équilibre qui est son état normal.

Hypothèse n°3 : La figure parle d'elle-même : la Mare s'assèche pendant des périodes qui vont de février à juillet. C'est malheureusement la situation qui a prévalu toutes ces dernières années. On peut noter que les variations de l'année 1983-1984 (maximum de 2,17 m en août et assèchement début mars) sont à peine meilleures que celles données dans le cas extrême de simulation.

## CONCLUSION

=====

On s'aperçoit donc que la confrontation de ces nouveaux outils de recherche en hydrologie de surface que sont la simulation de pluie et la télédétection satellitaire avec un modèle déterministe relativement performant donne des résultats tout à fait satisfaisant en région sahélienne où l'influence du couvert végétal est faible.

Ce succès est encourageant ; mais il ne saurait cacher les difficultés à appliquer ce type d'approche à des milieux beaucoup plus complexes comme la forêt ou la savane dense où le rôle de la végétation tend à primer sur celui de la surface du sol.

Dans le cadre du projet Hyperbav, mené en Côte d'Ivoire depuis 1983, pour une région de savane humide, il est prévu de retester la méthode en utilisant les données du satellite SPOT si leur qualité est suffisante.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALBERGEL (J.), CASENAVE (A.), VALENTIN (C.) - 1985  
Modélisation du ruissellement en zone sahélienne, simulation de pluie  
et cartographie des états de surface.  
Journées d'Hydrologie de l'ORSTOM. Montpellier, 17-18 septembre 1985.
- CHEVALLIER (P.) - 1982  
Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi  
- Haute-Volta).  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIX, n°4, 1982
- CHEVALLIER (P.) - 1985  
Analyse et modélisation du ruissellement en région sahélienne. Mare  
d'Oursi - Burkina Faso.  
Mémoire pour la Société Hydrotechnique de France.
- CHEVALLIER (P.), CLAUDE (J.), POUYAUD (B.), BERNARD (A.) - 1985  
Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi. Burkina  
Faso. (1976-1981)  
Travaux et Documents de l'ORSTOM, Paris.
- CHEVALLIER (P.), LOINTIER (M.), LORTIC (B.) - 1985  
Water Levels of a Sahelian Lake (Mare d'Oursi - Burkina Faso).  
Poster présenté à l'International Workshop on Hydrologic Applications  
of Space Technology - Cocoa Beach (USA), août 1985.
- GIRARD (G.) - 1975  
Application du modèle à discrétisation spatiale au bassin de l'Oued  
Ghorfa (Mauritanie).  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., n°3, 1975
- GIRARD (G.) - 1982  
Modélisation des écoulements de surface sur des bassins hydrologiques  
équipés de réservoirs. Modèle MODLAC.  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., n°2, 1982
- GIRARD (G.), LEDOUX (E.) - 1983  
Modèle couplé ; notice d'utilisation des programmes. Mise à jour du  
14 décembre 1983.  
Ecole des Mines de Paris, ORSTOM, Bondy.
- GIRARD (G.), LEDOUX (E.), VILLENEUVE (J.P.) - 1981  
Le modèle couplé. Simulation conjointe des écoulements de surface et  
des écoulements souterrains dans un système hydrologique.  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., n°4, 1981
- GIRARD (G.), MORIN (G.) CHARBONNEAU (R.) - 1972  
Modèle précipitation-débit à discrétisation spatiale.  
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., n°4, 1972
- GIRARD (G.), RODIER (J.A.) - 1979  
Application de modèles mathématiques déterministes à l'étude des  
crues et de l'écoulement annuel en zone sahélienne.  
Proceedings of the Camberra Symposium, dec. 1979.. IAHS-AISH  
Publication n°128.

LOINTIER (M.), LORTIC (B.) - 1984

Mare d'Oursi. Traitement numérique de la vue LANDSAT du 4 février 1976.

ORSTOM, Cayenne.

LOINTIER (M.), PIEYNS (S.) - 1981

Télédétection n°4. Méthodologie de constitution d'une base de données d'occupation du sol par télédétection.

Initiation et documents techniques n°47, ORSTOM, Paris.

LORTIC (B.) - 1982

Création de nouveaux canaux par méthodes photographiques.

Actes du Symposium International de la Commission VII de la SIPT (Toulouse, sept. 1982).

VALENTIN (C.) - 1981

Esquisse au 1/25 000 des différenciations morpho-structurales de la surface des sols d'un petit bassin versant sahélien (Polaka - Oursi, Nord Haute-Volta).

ORSTOM, Adiopodoumé.