

**APPLICATION DES SIG ET DE  
LAELEDETECTION  
A LA MODELISATION HYDROLOGIQUE  
SPATIALISEE  
(Cas du bassin de Taifine dans le Tangérois)**

Redouane **BOUAICHA**, Mohamed **ROUCHDI**, Ahmed **BOUZIANE**, Maroc

**Key words :** Hydrological model, Prevision, GIS, CEQUEAU, Maroc

**SUMMARY**

The management of extreme hydrological phenomena, particularly flooding, is becoming a necessity given their great negative consequences in socio-economic development. The increasing occurrence of these phenomena began to take an alarming extent due to climate change and human activities which in turn are due land management. Such management may not be undertaken properly unless ensuring an early and reliable assessment of water potential. The prediction is thus a required tool for decision making. As such, this paper focuses on the application of GIS and remote sensing for spatial hydrologic modeling, using the model CEQUEAU, and thus provides forecasts of flows. The analysis undertaken at daily scale, was made in the basin Taifine (38 km<sup>2</sup>) located in the northwest of Morocco, by adopting a mesh (1 km x 1 km) for the purpose of basin discretization. The calibration is done on the period (January 1998 - December 2001), while the validation is performed on the year 2002. The forecast issued on the episode of 9 to 13 December 2003 have been encouraging and can be improved by choosing a shorter time step. Beside the spatial possibilities provided by CEQUEAU, its features are a valuable tool for evaluating changes due to land management and their impact on the hydrological behavior of watersheds.

**RESUME**

La gestion des phénomènes hydrologiques extrêmes, et plus particulièrement les inondations, devient une nécessité accrue vu leurs conséquences préjudiciables au niveau socio-économique. L'occurrence croissante de ces phénomènes commence à prendre une ampleur inquiétante du fait des changements climatiques et des actions anthropiques dues à l'aménagement du territoire. Une telle gestion ne peut se faire convenablement qu'en

assurant une évaluation fiable et anticipée du potentiel hydrique. La prévision constitue donc un outil d'aide à la décision indispensable.

A ce titre, le présent article illustre l'application du SIG et de la télédétection à la modélisation hydrologique spatialisée, grâce au modèle CEQUEAU, en vue d'émettre des prévisions de débits.

L'analyse entreprise à l'échelle journalière, a été faite dans le bassin de Taifine (38 km<sup>2</sup>) situé au Nord-Ouest du Maroc, en retenant une maille de (1 km x 1 km) pour la discrétisation dudit bassin.

Le calage est fait sur la période (janvier 1998- Décembre 2001), alors que la validation est opérée sur l'année 2002.

Les prévisions émises sur l'épisode du 9 au 13 décembre 2003 ont été encourageantes et peuvent être améliorées par le choix d'un pas de temps plus court.

De part les possibilités de spatialisation offertes par CEQUEAU, ses fonctionnalités constituent un outil précieux pour évaluer les modifications apportés par l'aménagement du territoire et leur impact sur le comportement hydrologique des bassins versants.

**MOTS CLÉS:** MODELE HYDROLOGIQUE, , PREVISION, SIG, CEQUEAU, Maroc

**APPLICATION DES SIG ET DE LA  
TELEDETECTION  
A LA MODELISATION HYDROLOGIQUE  
SPATIALISEE  
(Cas du bassin de Taifine dans le Tangérois)**

REDOUANE BOUAICHA, MOHAMED ROUCHDI, AHMED BOUZIANE, MAROC

## **1. INTRODUCTION**

Au cours des quinze dernières années, en dépit d'un climat aride, le Maroc a connu un certain nombre d'événements hydrologiques tragiques ayant généré des inondations au niveau de plusieurs régions du pays.

Vu l'ampleur des dommages constatés, les autorités compétentes ont œuvré en permanence pour atténuer l'impact négatif des catastrophes dues à l'eau tant sur le plan de renforcement des mesures structurelles (construction de barrages de grandes capacités, aménagement des cours d'eau...), que sur le plan des mesures préventives telles que l'amélioration des systèmes d'alerte hydrométéorologique, notamment le renforcement des outils de mesures et d'alerte (radars météorologiques, automatisation des réseaux d'acquisition et de transmission des données...)

La maîtrise de la complexité croissante des problèmes sur le territoire nécessite de disposer d'un ensemble de méthodes et d'outils scientifiques puissants et adéquats. Ces moyens doivent non seulement traiter rapidement les données spatiales, mais aussi les analyser afin d'obtenir une information pertinente, permettant d'éclairer les décideurs de leurs prises de décisions et d'accroître le temps d'anticipation de ces phénomènes. A cet effet, les systèmes d'information géographique et la télédétection proposent des outils d'intégration et d'analyse de données multi-sources qui améliorent significativement les systèmes de prévision et d'alerte.

## **2. SIMULATION HYDROLOGIQUE GRÂCE AU MODÈLE CONCEPTUEL SPATIALISÉ CEQUEAU**

Le modèle hydrologique CEQUEAU est un modèle déterministe distribué qui prend en compte les caractéristiques physiographiques du bassin versant et leurs variations dans le temps et dans l'espace. Ceci est possible grâce au découpage du bassin en éléments carrés, appelés « carreaux entiers ». Ces derniers sont subdivisés par les lignes de partage des eaux; ces subdivisions sont appelées « carreaux partiels ». Le modèle compte deux parties principales visant à décrire le mieux possible l'écoulement à l'exutoire :

- la fonction de production qui a pour but de représenter les différents processus que suivra l'eau précipitée entre le moment où elle atteint le sol et celui où elle rejoint la rivière;
- la fonction de Transfert qui permet de décrire le processus de ruissellement dans le réseau hydrographique

Ce découpage en surfaces élémentaires facilite l'utilisation des SIG et de la télédétection pour définir certaines caractéristiques physiographiques comme le couvert végétal, le réseau de drainage, l'hypsométrie grâce au modèle numérique de terrain...

Le modèle CEQUEAU permet de calculer les débits et les niveaux d'eau aussi aux points de jaugeage qu'en n'importe quel autre endroit. Il donne aussi la possibilité de simuler l'existence de réservoirs artificiels, et de prendre en compte les variations spatio-temporelles des caractéristiques physiographiques.

Les données climatiques nécessaires pour l'utilisation de ce modèle sont les précipitations, les températures minimales et maximales, et éventuellement la hauteur du manteau neigeux, à des pas de temps variant de 1 à 24 heures.

La spatialisation des paramètres relatifs à l'occupation des sols, offerte par CEQUEAU, permet de simuler le régime hydrologique des bassins en fonction des scénarios de développement de l'aménagement du territoire. Ceci est important en vue d'assurer une gestion intégrée des phénomènes hydrologiques, et particulièrement les inondations, tout en respectant les contraintes de développement socio-économique.

### **3. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

La zone d'étude est le bassin versant de l'oued Taifine, affluent de Mharhar, situé dans le Tangérois au Nord-Ouest du Maroc. Ce bassin couvre une superficie de 38,4 km<sup>2</sup> au droit de la station hydrologique Kalaya ; il est localisé entre la latitude 35°38' et 35°44' Nord et la longitude 5°38' et 5°47' Ouest. Le climat régnant dans la zone d'étude est du type méditerranéen, caractérisé par une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 740 mm. La topographie est relativement accidentée; elle varie de 30 à 512 m, cependant l'altitude n'a pas un effet significatif sur la variation de la pluviosité.

### **4. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL**

L'objectif de ce travail est d'intégrer les données issues de la télédétection (imagerie satellitaire Landsat) et du système d'information géographique (SIG) dans la simulation hydrologique en vue d'émettre des prévisions de débits permettant d'éclairer les décideurs sur la prise de décision rationnelle permettant de gérer au mieux les crues en respectant la contrainte liée à la sécurité des biens et des personnes.

#### **4.1 Préparation des données spatiales**

- Délimitation du bassin versant (Figure 1) permettant de fixer l'environnement spatial de travail;

- Réseau hydrographique;
- Modèle numérique de terrain (MNT) pour définir les altitudes des carreaux entiers et la génération des sous-bassins versants. Ce MNT est élaboré à partir des points cotés et les courbes de niveau à 10m d'intervalle, puis en procédant un échantillonnage sous format TIN;
- Carte d'occupation des sols à partir de l'imagerie satellitaire. La classification opérée s'est basée sur la vérité terrain issue de la carte topographique et de la campagne GPS exécutée dans la zone d'étude.

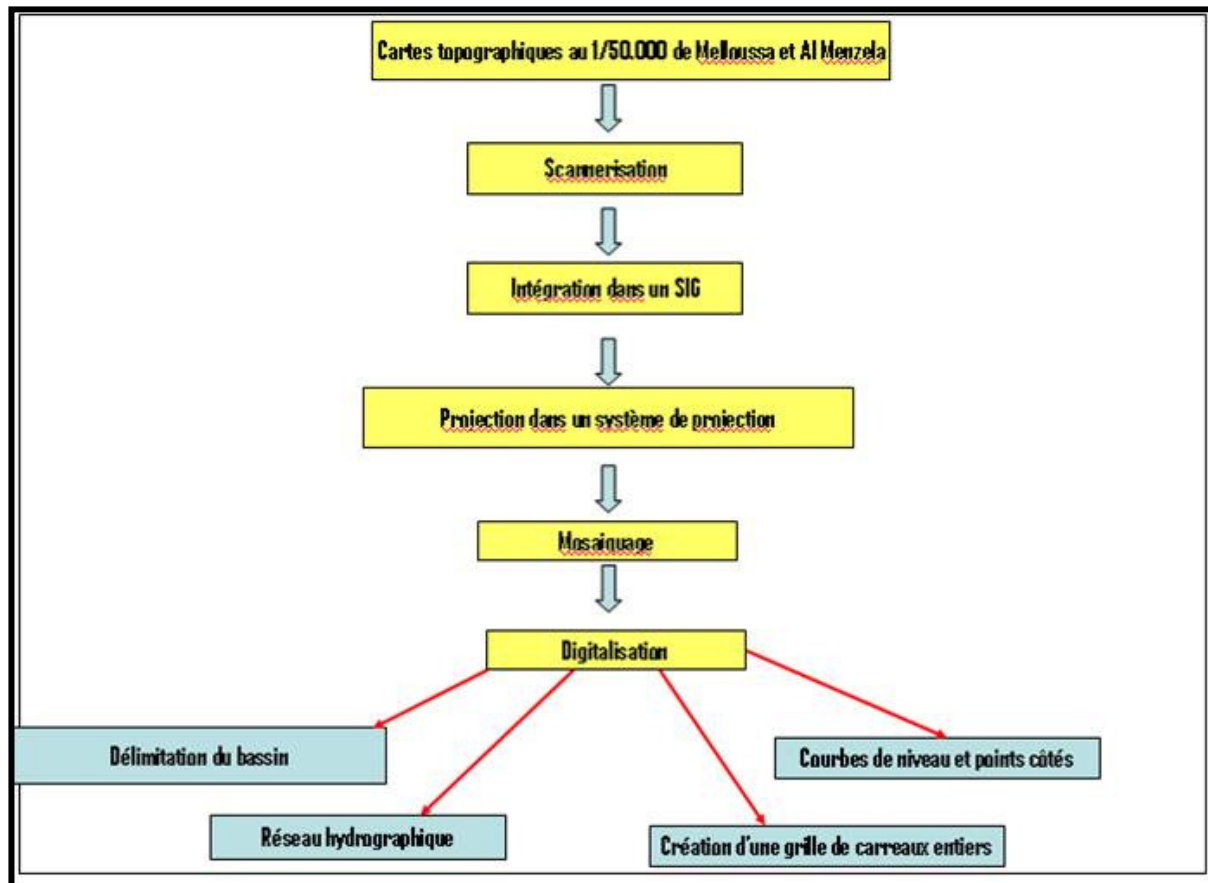


Figure 1. Préparation des données

#### 4.2 Préparation des données pour CEQUEAU

- Constitution de la base de données climatologiques et hydrométriques à partir des données relevées aux stations Roumane et Kalaya, en utilisant la programmation VBA pour la mise au format CEQUEAU;
- Masque sur la végétation pérenne en gardant la couverture végétale type forêt et dôme.

- Caractérisation des carreaux entiers et partiels (Figure 2) en définissant le sens d'écoulement, l'altitude du coin sud-ouest et le pourcentage de la végétation pérenne dans chaque carreau entier.

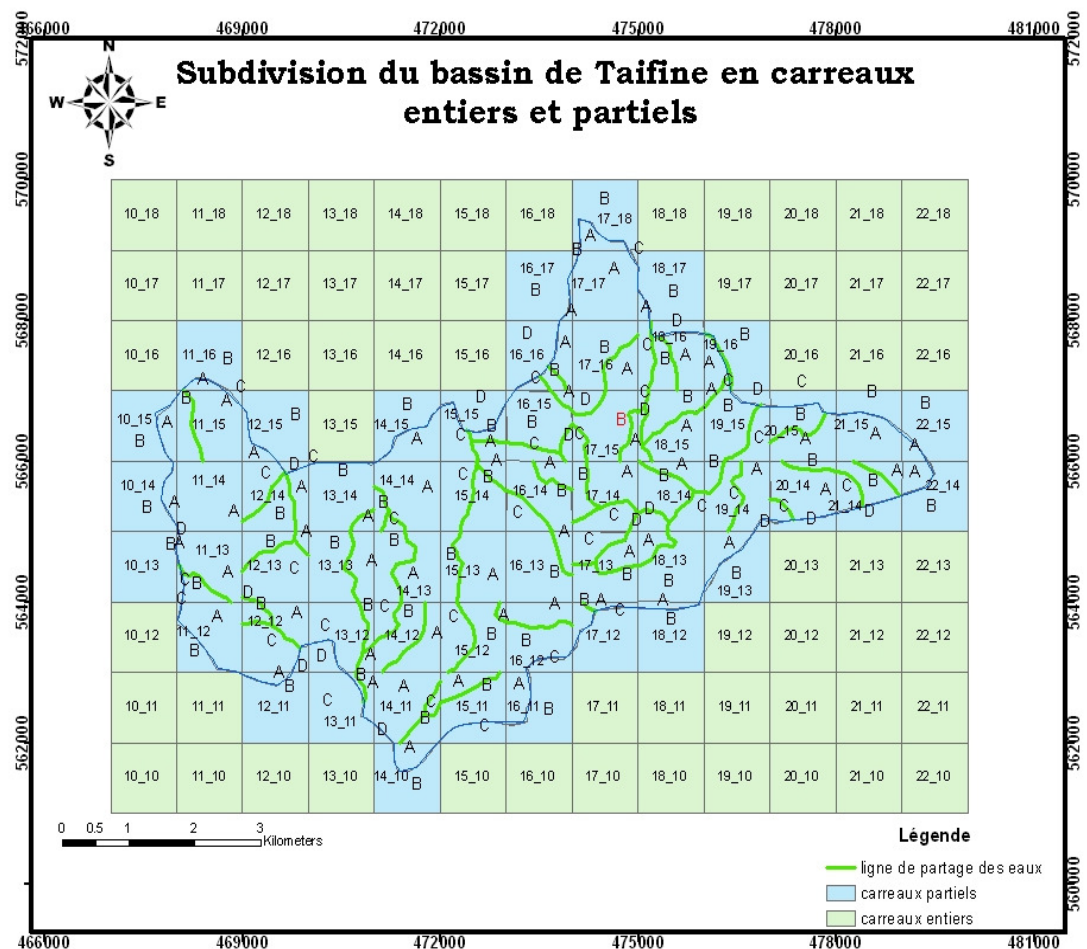


Figure 2 Découpage du bassin en carreaux partiels

## 5. APPLICATION DU MODELE CEQUEAU

La simulation hydrologique par CEQUEAU nécessite la mise à disposition des données journalières relatives à la pluie, la température minimale et maximale, observées au niveau des stations Roumane et Kalaya, ainsi que les débits enregistrés uniquement à Kalaya, et ce sur la période d'analyse qui est 1998-2003. Ainsi, le calage est fait sur la période (1er janvier 1998 - 31 décembre 2001), la validation sur l'année 2002, et la prévision est faite sur l'épisode du 9 au 13 décembre 2003.

## 5.1 Calage du modèle

L'ajustement des paramètres se fait normalement par essai et erreur, c'est-à-dire analyse des résultats précédents et modification des paramètres pour améliorer les résultats; ceci est répété jusqu'à ce que les débits simulés soient comparables aux débits observés. L'évaluation de la qualité des résultats d'une simulation consiste à vérifier si chacune des caractéristiques des écoulements observés est bien reproduite.

Le modèle fournit une série de tableaux et de graphiques présentant les débits observés et calculés à partir desquels on effectue les comparaisons entre les différents essais de calage, dont la validité est évaluée à partir de la comparaison des éléments suivants :

- les débits moyens annuels et mensuels observés et calculés;
- le synchronisme des débits observés et calculés;
- les crues observées et calculées (débits de pointe, volumes, formes);
- les étiages observés et calculés.

De même, le critère numérique basé sur le coefficient de corrélation peut être utilisé. Le coefficient obtenu est de 75% (Figure 3) justifiant ainsi la fiabilité de l'ajustement des débits moyens mensuels observés et simulés.

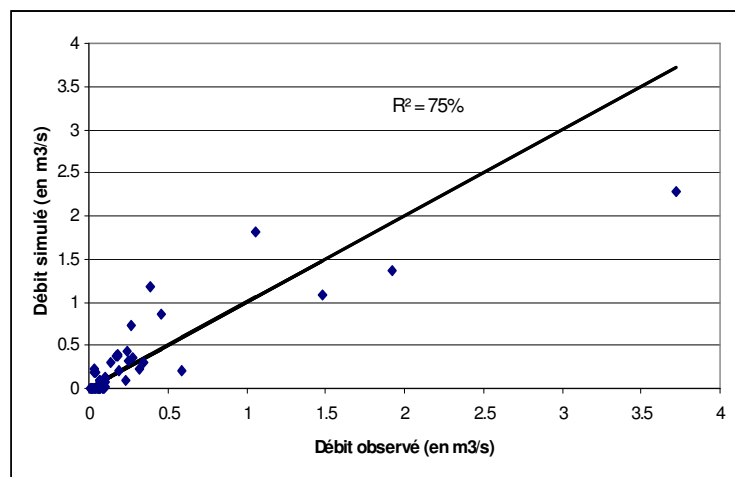


Figure 3: Débits simulés VS Débits observés

## 5.2 Validation du modèle

La validation du modèle calé est opérée sur la période janvier-décembre 2002. Cette étape a permis de confirmer le bon ajustement du modèle, qui peut être utilisé par la suite à la prévision. La figure 4 présente l'évolution des débits observés et simulés avec leur période de validation.

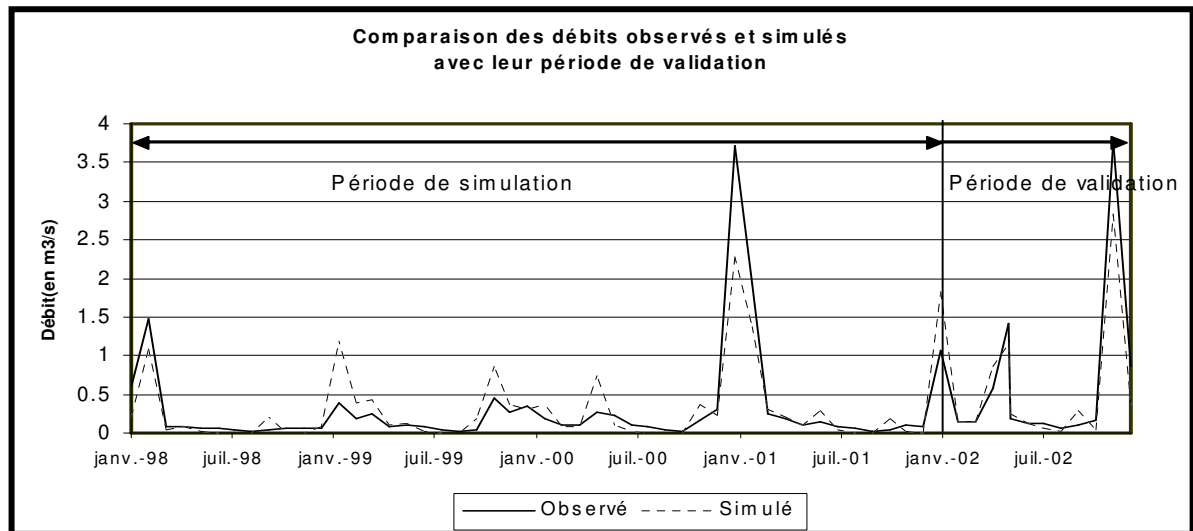


Figure 4 : Débits simulés et observés et leur période de validation

L'application du modèle à la prévision des débits journaliers relatifs à l'épisode pluvieux du 9 au 13 décembre 2003, donne des résultats intéressants qui peuvent permettre l'anticipation des phénomènes extrêmes.

Le graphique de la figure 5 présente les débits prévus en fonction des débits observés, ainsi que la valeur élevée du coefficient de corrélation, qui est de 94%.



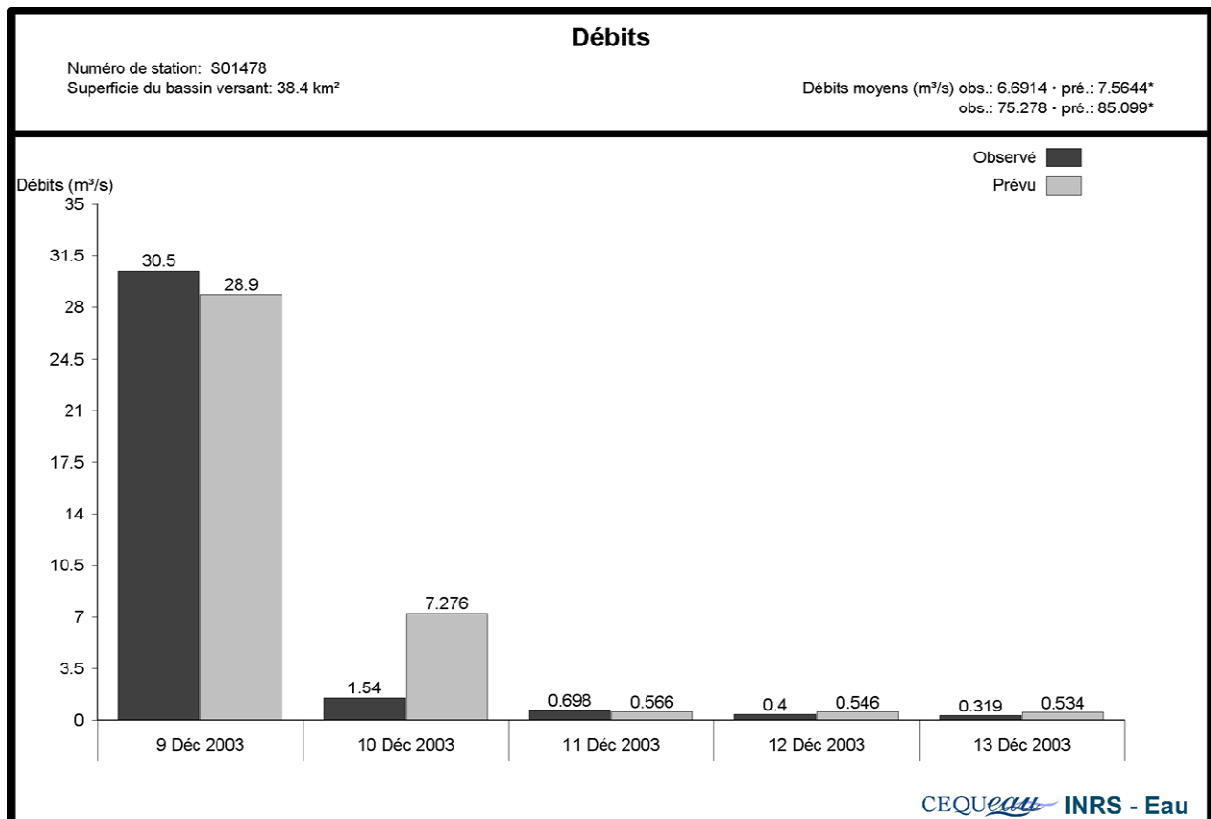


Figure 5 Application du modèle période de prévision 9 – 13 Décembre 2003

## CONCLUSION

L'étude menée montre clairement l'intérêt de l'utilisation des techniques spatiales, offertes par les SIG et la télédétection, pour la mise en application des modèles hydrologiques spatialisés, tels que CEQUEAU, qui donne une simulation acceptable et plausible capable de fournir des prévisions des écoulements des cours d'eau. Il peut donc être utilisé en tant qu'outil d'aide à la décision aux décideurs pour l'anticipation et la gestion des phénomènes extrêmes, notamment les risques d'inondation devenant récurrents ces dernières années à cause des changements climatiques et les actions anthropiques dues particulièrement à l'urbanisation et la déforestation. Ceci offre également la possibilité d'analyse des scénarii d'aménagement du territoire tout en tenant compte de la contrainte liée au développement socio-économique et la protection des biens et des personnes.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

MORIN G. et PAQUET P. 1995. Le modèle de simulation de quantité et de qualité Cequeau, Guide de l'utilisateur, version 2.0B Windows, INRS-ETE, rapport de recherche N°435.

MARCHANE M. et SEBBAR N., 2005, Modélisation pluie-débit par le modèle CEQUEAU (Application au bassin Foum Tillicht), Projet de fin d'Etudes à l'Ecole Mohammadia des Ingénieurs.

Stephane Martin & Nassir El-Jabi, 1995. Rainfall-runoff modelling in muwaqqar watershed.

JAYASEKARE A.S., DAYAWANSAA N.D.K., RANJITH P. De S. And MUTHUWATTA L.P. Spatially Distributed Hydrological Modeling of Upper Uma Oya Catchment Using Soil and Water Assessment Tool (SWAT).

BOUAICHA R., 2006, Application des SIG et de la télédétection pour la préalerte météorologique aux inondations et crues, Cas du bassin du Sebou au Maroc, projet pilote, CRASTE-LF.

Ben Nosra Y. et Elleuch H., 1998/99, Application du modèle CEQUEAU pour l'estimation des apports dans le bassin versant de Merguellil.

BOUAICHA Redouane

Ingénieur en Chef au Secrétariat d'État chargé de l'Eau et de l'Environnement/Maroc

Email : bouaicha@water.gov.ma

GSM : 00 212 661101435

Remerciements :

Nous tenons à remercier le Secrétaire d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement, Le Directeur du Centre Régional Africain des Sciences et Technologies de l'Espace (CRASTE), le Directeur Adjoint, le Coordinateur, l'Administrateur et tous les intervenants au CRASTE, l'INRS-EAU du Canada et le personnel de l'Agence de bassin Hydraulique du Loukkos.