



# UNESCO

**International Hydrological Program /  
Programme Hydrologique International**

## MED FRIEND

**First "pre"-Steering Committee Meeting**

**and Scientific Workshop**

**on**

**FLOW REGIMES AND WATER RESOURCES:  
ASSESSMENT OF GLOBAL CHANGES**

**Rabat, Maroc**

**10-11 décembre 2009**

**Université Mohamed V-Agdal, Faculté des Sciences**



Université Mohammed V  
AGDAL - RABAT



 <p><b>UMR</b> CNRS IRD UM I UM II</p> <p>HydroSciences Montpellier</p>	 <p><i>Liberté • Égalité • Fraternité</i></p> <p>RÉPUBLIQUE FRANÇAISE AMBASSADE DE FRANCE AU MAROC</p>	   <p>PNUE</p>	 <p>En partenariat avec le</p>  <p>Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture</p> <p>Programme hydrologique international</p>	<p>HydroSciences Montpellier Case MSE Université Montpellier 2 34095 Montpellier Cedex 5 France</p> <p><a href="http://www.hydrosciences.org">www.hydrosciences.org</a> <a href="http://www.ird.fr">www.ird.fr</a></p>
--	--	--	---	--



## MED FRIEND “pre”-Steering Committee Meeting

### Agenda

Rabat, Morocco, 10<sup>th</sup> December 2009, 2 to 5 PM  
University Mohammed 5 Agdal, Faculty of Sciences.

**The purpose of the meeting is** to bring together the current MED FRIEND themes coordinators, and invited participants from Moroccan, French and International Institutions. The aim of the meeting is to:

- Discuss and confirm or modify the current scientific themes of the MED FRIEND groups (which was formerly, and up to the 31<sup>st</sup> of December 2008, FRIEND-AMHY).
- Explain the reasoning behind the re-organisation of the MED FRIEND
- Discuss the procedures to elect the coordinators of the groups
- Discuss the composition of the research groups and the role of the coordinator
- Explain the character of a research group within the FRIEND programme
- propose common activities to the topics coordinators for the next 4 years of the MED FRIEND project:
  - topics for training courses,
  - topics for scientific workshops,
  - ideas for other scientific activities.
  - **Below** are given some basic information about the MED FRIEND project.



## MED FRIEND (Mediterranean)

**Regional Coordinator: Dr. Gil Mahé, [gil.mahe@msem.univ-montp2.fr](mailto:gil.mahe@msem.univ-montp2.fr)**

### Introduction

#### 1 Regional Characteristics

The project was launched in 1991. Cemagref (La Recherche pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Environnement) in Lyon, France, hosted the AMHY (Alpine and Mediterranean Hydrology) FRIEND Secretariat up until December 1998. In 1999 the Secretariat moved to the Institute of Research for Development (IRD) in Montpellier, France. The FRIEND AMHY project has changed to MED FRIEND project in January 2009. The countries of the former FRIEND AMHY were separated into EURO FRIEND for those tributaries of the Black Sea, and MED FRIEND for the countries of the borders of the Mediterranean Sea s.s.

There are 17 countries in the MED FRIEND group, namely: Morocco, Algeria, Tunisia, Libya, Egypt, Israel, Syria, Jordan, Turkey, Cyprus, Greece, Albania, Slovenia, Italy, France, Spain and Malta.

#### 2 MED FRIEND Project

The HydroSciences Montpellier Laboratory in Montpellier France (HSM) has served as the secretariat for the project since 1999. Dr Eric Servat, head of HSM, was the General Coordinator up to 2008. Dr Gil Mahe is the Regional Coordinator since 2009.

The project focuses on 5 research projects, including two new ones since January 2009 (karst and flow regimes), plus a database.

The first steering Committee will be held in Rabat, University Mohamed V, Rabat, Morocco, the 10<sup>th</sup> December.

#### - DATABASE

Ing. J.F. Boyer, (France) ([boyer@msem.univ-montp2.fr](mailto:boyer@msem.univ-montp2.fr))

Each FRIEND project is organized around a regional database. To access this information, special conditions are required: a simple guideline has been used for the dissemination of data. Data are freely available to participants of the FRIEND project on the condition they are used solely for research within one of the FRIEND research projects.

#### - EXTREME EVENTS

Prof. E. Ferrari, (Italia) ([ferrari@dds.unical.it](mailto:ferrari@dds.unical.it))

The Extreme Events project focus on statistical and stochastic analyses of extreme events at different temporal and spatial scales in Mediterranean area. The main objective is to interpret the frequency and magnitude of heavy rainfall and floods over large areas.





Special attention is paid to:

- recent disastrous hydrological events, which are analysed through a regional approach of heavy tailed probability distributions,
- a database of extreme events, and experimental basins.

## - EROSION AND SOLID TRANSPORTS

Prof. B. Touaibia, (Algeria) ([touaibiabenina@yahoo.fr](mailto:touaibiabenina@yahoo.fr))

Erosion and Solid Transport are crucial subjects in the Mediterranean Basin countries.

Research centers around seven subjects:

- Exploitation of measures and available models to quantify the flow,
- Estimation of the silting up and the sedimentation of dams,
- Exploitation of hydrological knowledge for fighting against erosion,
- Solid transport by swells and currents in coastal zone, and
- Impact of dams on the environment.
- Quantification of hydric erosion without measures: regional synthesis.
- Aménagement techniques for preservation of water and soil
- "Devasement" and impact on environment

## - FLOW REGIMES AND WATER RESOURCES: ASSESSMENT OF GLOBAL CHANGES

Dr. G. Mahé, (France) ([mahe@msem.univ-montp2.fr](mailto:mahe@msem.univ-montp2.fr))

The Mediterranean Basin faces many challenges with regards to water resources. This project aims to work on global change scenarios with a focus on hydrological changes and the consequences of these on available water resources from both quantity and quality points of view. Changes in land-use/land cover have a huge impact on both erosion and surface flow this is an important topic to be addressed in this project, together with the socio-economic issues related to land-use and water resources.

Special attention will be paid to:

- intermittent rivers;
- relationships between surface flow variability and groundwater resources;
- impact of land-use/land cover change on surface flow and water resources;
- increasing rainfall/runoff efficiency by taking into account data from spatial sources;
- human-environment relationships and impacts on water resources.

## - KARSTIC HYDROGEOLOGY

Dr. M. Bakalowicz, (France) ([michel.bakalowicz@msem.univ-montp2.fr](mailto:michel.bakalowicz@msem.univ-montp2.fr))

This theme is represented by Severin Pistre from HSM (France). The project on karstic aquifer hydrogeology studies water transfer in these complex hydro systems. Karst aquifers represent a major socio-economic issue in the Mediterranean basin because they provide freshwater resources for 50% of the population. The scientific reasoning, combining structural, hydrodynamic and geochemical approaches these complex systems. The evaluation of the



effects of both human activities and climatic changes includes both hydrologic (floods) and hydro-chemical risk (seawater intrusions and pollution among other).

### - RAINFALL RUNOFF MODELLING

Pr. W. Najem, (Lebanon) ([vice-doyen-fi@usj.edu.lb](mailto:vice-doyen-fi@usj.edu.lb))

This theme is represented by Alain Dezetter (HSM, France). Activities concentrates on rainfall-runoff in the Mediterranean basin, with the aim of developing hydrological models appropriate to the specificities of the Mediterranean environment: climate, relief, landscape, small catchments, vegetation, and land use among other. There is also emphasis on hydrological models for use with climate model outputs which allows reflection about modelling scales, data aggregating and disaggregating.





## Atelier scientifique MED FRIEND

Rabat 11 décembre 2009

Université Mohamed 5-Agdal, Faculté des Sciences

### Programme

#### 11 décembre

Le thème de l'atelier est : « **Evaluation des changements globaux sur les régimes hydrologiques et les ressources en eau** » ; qui est l'un des cinq thèmes de recherche du programme MED-FRIEND de l'UNESCO (Programme Hydrologique International).

Les interventions durent 10 minutes chacune et sont suivies d'une très courte séance de questions d'une ou deux minutes (1 ou 2 questions). Le sujet de chaque session est débattu au cours d'une séance de 15 à 20 minutes de discussion à la fin de chaque session.

#### 8:30-8:50 Introduction à l'atelier

- Pr. Wail Benjelloun, Doyen de la Faculté des Sciences de Rabat, Université Mohamed V
- Pr. Siegfried Demuth, UNESCO, Chef de la Section Climat et Processus Hydrologiques
- Dr. Gil Mahe, Coordinateur du programme MED FRIEND de l'UNESCO.

#### 8:50-9:00 Pause

#### 9:00-10:20 Approche régionale des composantes du bilan hydrologique

[Modérateurs : Z. Bargaoui, H. Benabdelfade]

Mohamed Meddi	Algérie	Evolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur des bassins versants algériens
Azzedine Mebarki	Algérie	Apport des cours d'eau et cartographie du bilan hydrologique : cas des bassins de l'Algérie orientale
Ennio Ferrari	Italie	Statistical Techniques for investigating rainfall variability at monthly and annual time scale



Zoubeïda Kebaili-Bergaoui	Tunisie	Sensitivity of soil moisture related drought indices to calibration data
Hamid Benabdelfadel	Maroc	Variabilité et gestion des eaux de surface
Marianne Milano	France	Water resources variability in the Mediterranean basin, a global approach
Mohamed Sinan	Maroc	Bilan des ressources en eau souterraine d'un bassin hydrogéologique d'extension régionale. Cas du bassin du Sebou (Maroc central)

**10:20-10 :40 Discussion**

**10:40-11:00 Pause-café**

**11:00-12:15 Impact du changement climatique sur les ressources en eau, la variabilité des débits et les transports solides associés**

[Modérateurs : F. Driouech, D. Bensafia]

Abdelkader El Garouani	Maroc	Evolution des ressources en eau dans le bassin versant de l'oued Inaouene (Maroc)
Safouan Ben Ammar	Tunisie	Relations entre barrages et eaux souterraines en Tunisie. Cas du barrage El Haouareb Tunisie centrale
Benina Touaibia	Algérie	Erosion et transport solide en Algérie septentrionale
Kenza Khomsi	Maroc	Impact des Changements Climatiques sur les climats et les Ressources en Eau des bassins versants du Tensift et du Bouregreg
Fatima Driouech	Maroc	Evolution et changements climatiques au Maroc
Nouredine Laftouhi	Maroc	Relations eaux de surface/eaux souterraines au Maroc
Djillali Bensafia	Algérie	Le problème de la sédimentation dans les barrages, cas en Algérie.

**12 :15-12 :30 Discussion**

**12:30-14:00 Repas**

**14:00-15:20 Variabilité des régimes hydrologiques et champs de recherche associés [Modérateurs : A Laouina, B. Touaibia]**





Abdellah Laouina	Maroc	Land use, runoff and land degradation, the case of the Sehoul area, Rabat region, Morocco
Telesphore Brou Yao	France	Climat, mutations socio économiques et paysages : l'exemple ivoirien
Maria Snoussi	Maroc	Le continuum bassin versant - zone côtière dans le contexte des changements globaux : Exemples au Maroc
Gil Mahe	France	Population, occupation du sol et hydrologie, cas au Burkina-Faso
Harouna Karambiri	Burkina-Faso	Ecohydrologie, cas en Afrique de l'Ouest
Daghari Hedi	Tunisie	La modélisation régionalisée du bilan d'eau et de sel sur un bassin versant

**15:20-15:40 Discussion**

**15:40-16 :00 Pause café**

**16:00-17:30 Discussions**

- Principaux sujets de recherche dans le thème « **Evaluation des changements globaux sur les régimes Hydrologiques et les ressources en eau** » dans la région MED-FRIEND
- Proposition de sujets de formation transversale dans la région MED FRIEND
- Mise en place de la "Communauté MED FRIEND », attentes et propositions d'organisation et d'activités

**17:30-18:00 Conclusion et Rapport**



## ÉVOLUTION RÉCENTE DES CONDITIONS CLIMATIQUES ET DES ÉCOULEMENTS SUR DES BASSINS VERSANTS ALGÉRIENS

**Mohamed MEDDI (1), Amel TALIA (2) et Claude MARTIN (3)**

(1) : LERP, Centre universitaire de Khemis Miliana, 44225 KHEMIS MILIANA, ALGÉRIE.

Courriel : [mmeddi@yahoo.fr](mailto:mmeddi@yahoo.fr)

(2) : Centre Universitaire de Saïda, 20100 SAÏDA, ALGÉRIE. Courriel : [talia\\_a2003@yahoo.fr](mailto:talia_a2003@yahoo.fr)

(3) : UMR 6012 "ESPACE", Université de Nice-Sophia-Antipolis et CNRS, Département de Géographie, 98 Boulevard Édouard Herriot, BP 3209, 06204 NICE Cedex 03. Courriel : [claudemartin0156@orange.fr](mailto:claudemartin0156@orange.fr)

Plusieurs manifestations climatiques récentes de grande ampleur ont poussé la communauté mondiale à s'intéresser aux changements climatiques et à leurs impacts sur les ressources en eau. Parmi elles, on peut citer la sécheresse qui a affecté les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, depuis les années 70.

Les précipitations, qui sont le facteur principal de l'alimentation des cours d'eau, ont une influence sur la variabilité des écoulements à toutes les échelles de temps. L'étude des séries hydrométriques menée sur une durée assez longue permet donc d'évaluer la réponse des rivières aux variations du climat. Dans cette optique, nous avons examiné l'évolution des précipitations et des écoulements au cours des dernières décennies dans le bassin versant de la Macta, et plus particulièrement dans les bassins moyens et supérieurs des oueds Mekerra et El Hamman. Le bassin versant de la Macta s'étend sur une superficie de 14390 km<sup>2</sup>. Il est situé au Nord-Ouest de l'Algérie. Il est drainé par deux principaux cours d'eau : l'oued Mebtouh, à l'ouest, et l'oued El Hammam à l'est.

Depuis les années 1970, le Maghreb connaît une longue période de sécheresse. Le bassin de la Macta n'échappe pas à ces conditions difficiles qui réduisent les ressources en eau mobilisables pour une population sans cesse croissante et qui pèsent lourdement sur l'activité agricole. Sur la période 1930-2002, les précipitations annuelles ont enregistré une baisse de l'ordre de 40 % en moyenne après la rupture de la stationnarité des chroniques pluviométriques. La sécheresse se poursuit actuellement, puisqu'à Sidi Bel Abbès, par exemple, les précipitations annuelles moyennes ont été de 259 mm seulement sur la période

septembre 2002 - août 2007, contre 292 mm entre septembre 1980 et août 2002.

L'accroissement des températures qui caractérise le changement climatique global participe lui aussi, même si c'est à un moindre degré, à la réduction des écoulements.

Sur la période septembre 1976 - août 2002, les lames d'eau écoulées annuelles des bassins versants de l'oued El Hammam à Trois Rivières et de l'oued Mekerra à Sidi Ali Ben Youb et à Sidi Bel Abbès ont diminué de 28 à 36 % en moyenne par rapport à la période 1949-76. Dans le même temps, les précipitations ont diminué de 26 à 28 %. Entre 1949-76 et 1976-02, les débits annuels moyens sont passés de 4,58 à 2,93 m<sup>3</sup>/s à Trois Rivières, de 0,27 à 0,19 m<sup>3</sup>/s à Sidi Ali Ben Youb et de 1,14 à 0,81 m<sup>3</sup>/s à Sidi Bel Abbès.

La diminution des précipitations touche presque tous les mois de septembre à juin. Elle a bien sûr des répercussions sur les lames d'eau écoulées mensuelles. On notera cependant que les écoulements de la fin de l'été et de l'automne sont peu ou pas diminués, ce qui peut résulter de la violence de certains épisodes de crue.



## APPORTS DES COURS D'EAU ET CARTOGRAPHIE DU BILAN HYDROLOGIQUE : CAS DES BASSINS DE L'ALGERIE ORIENTALE

**Azzedine MEBARKI**

*Université Mentouri de Constantine, Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire - Laboratoire LAT, Route d'Ain El Bey - 25000, Algérie*  
[mebarki\\_azzedine@yahoo.fr](mailto:mebarki_azzedine@yahoo.fr)

L'Algérie orientale est la région la plus arrosée du pays, au climat méditerranéen très contrasté et à influence semi-aride marquée. Elle est drainée par deux systèmes hydrographiques différents : oueds tributaires de la mer Méditerranée (bassins des *Côtiens constantinois*, du *Kébir-Rhumel*, de la *Seybouse*, de la *Medjerda* et de la *Soummam*) et oueds à débit modeste, reliés à des dépressions fermées de l'intérieur (bassins des *Hauts Plateaux constantinois*, du *Chott Melhir* et du *Chott Hodna*).

L'étude des bilans hydrologiques de ces bassins est établie grâce à l'exploitation des données hydroclimatologiques disponibles aux stations d'une part, et à l'application de méthodes de valorisation spatiale de l'information (modélisation, cartographie), d'autre part.

Les chroniques de débits issues de 33 bassins jaugés, d'une superficie variant de 16 à 8 735 km<sup>2</sup>, font ressortir une gamme étendue de débits spécifiques (de 0,32 à 16,1 l/s/km<sup>2</sup>), qui s'explique par le rôle prépondérant exercé par le facteur climatique, pluviométrique en particulier.

La valorisation de l'information pluviométrique disponible est obtenue à partir d'une régression pluies-relief et l'interpolation des résidus (part des précipitations non expliquée par le relief) sur une grille régulière de 2 x 2 km. Le déficit d'écoulement, assimilé en année moyenne à l'évapotranspiration réelle (E.T.R.), est cartographié directement en le calculant sur l'ensemble du maillage par une formule universelle de l'E.T.R. du type Turc.

Il devient alors possible de cartographier la tranche d'eau représentant l'écoulement de surface, troisième et dernier terme du bilan hydrologique interannuel moyen d'un bassin. Les écoulements quantifiés à l'intérieur des limites digitalisées d'un bassin sont, en définitive, validés après leur comparaison aux débits mesurés.

Une seconde démarche a permis à l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) de reconstituer, mois par mois, les écoulements en alimentant le modèle LOIEAU (dérivé de GR2M) de pluies et E.T.P. mensuelles, estimées sur les bassins versants.

Les cartes numérisées obtenues (grilles d'information à la base) sont indispensables pour une connaissance continuellement mise à jour des ressources en eau de surface et de leur variabilité dont dépend le dimensionnement des aménagements hydrauliques.



## STATISTICAL TECHNIQUES FOR INVESTIGATING RAINFALL VARIABILITY AT MONTHLY AND ANNUAL TIME SCALE

**Ennio FERRARI**

*Soil Protection Department "V. Marone", University of Calabria, Cosenza, Italy.*

The shortage of water resources availability in Mediterranean environments could become one of the most dangerous impacts of the ongoing climatic change in hydrology. Since water balance is evaluated at monthly or annual scale, investigations into possible changes of long aggregation rainfalls, though not verifiable with certainty, are very important for engineering applications related to water supply and management. Moreover, if reliably assessed, non-stationary features of rainfall phenomenon should imply the adequacy of the procedures for statistical evaluation of hydrological variables, though criteria for possible modifications are not yet well defined.

Different statistical and stochastic approaches can be adopted for analysing variability of monthly and annual rainfalls at various spatial scale. Among the most common statistical techniques, several parametric or nonparametric tests for trend and shift detection are currently applied on rainfall data series to reveal the possible presence of significant variation in precipitation regime. Alternatively, the seasonality features of monthly rainfalls can be also modelled through more analytical approaches, for example by means of Fourier analysis.

In this work a review of some current statistical techniques for analysing annual and monthly rainfall variability is presented, with application to drainage basins of Southern Italy. Special attention has been focused to the assessment of existence of significant variation in recent rainfalls of the Crati basin (about 2500 km<sup>2</sup>), whose monthly spatial rainfall values have been averaged over the whole basin through a spatial non-statistical interpolation of point rainfall heights, recorded in 70 rain gauges with about 80 years of data. The spatially averaged monthly rainfalls are previously deseasonalized, by assuming the existence of deterministic components in the discrete domain through Fourier analysis. The correct standard normalization of the data is shown by the statistical behaviour of the residuals. Finally, the approach reliability is assessed by means of a cross-validation procedure, which has revealed evidence of trend in recent rainfalls.

Furthermore, some Monte Carlo simulations for evaluating possible decreasing in consecutive n-year rainfalls with reference to a hypothetical next 30-year time period are described. Results have proved that the variation observed in annual rainfalls can be considered a statistically significant long period non-stationary feature of the rainfall phenomena, thus confirming what seems to be a characteristic trend of the climatic behaviour of many Mediterranean countries in more recent decades.



## SENSITIVITY OF SOIL MOISTURE RELATED DROUGHT INDICES TO CALIBRATION DATA

Zoubeida BARGAOUI & Ahmed HOUCINE

*Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis - ENIT, Tunisia*

Modelling time distribution of soil moisture is a key issue for natural vegetation and crop survey and is often adopted when deriving drought awareness indices. Several models of soil moisture dynamics are presented in the literature (Eagleson (1978), Milly (1993), Milly (1994), Rodriguez-Iturbe et al. (1999) and Rodriguez-Iturbe (2002)). They result on the evaluation of soil moisture and evapotranspiration in terms of soil and vegetation parameters as well as of climatic variables (such as storm depth and duration, dry season length, average annual potential evapotranspiration). In drought risk analysis, it is very important to analyze uncertainty in model outputs as pointed out by Morgan and Henrion (1990). In this study, we adopt Rodriguez-Iturbe et al. (1999) and Rodriguez-Iturbe (2002) model: a vertically averaged water budget over the root zone taking into account infiltration, runoff, drainage, leakage and evapotranspiration losses at daily time step. Moreover, this model is completed by a capillary rise component implemented according to Kobayachi et al. (2001). The model involves three parameters which we propose to derive using pedo transfer functions. These parameters are: (1) the soil water retention curve shape parameter  $b$ , (2) the saturated hydraulic conductivity  $K_s$ , (3) the saturated soil water content (in volume/volume)  $\theta_s$ . The model adopts Cosby et al. (1984) equations for pedo transfer parameters estimation. Two other parameters ( $\sigma$ ,  $\eta$ ) representing respectively the resistance of vegetation to evapotranspiration and the moisture retaining capacity are considered as data driven and are thus subject to calibration. To illustrate the methodology, a case study of a basin with an area of 250 km<sup>2</sup> in arid area of South Tunisia is presented. Vegetation is mainly olives, with no irrigation. The soil type is sandy. A time series of meteorological observations allow quantifying the reference crop evapotranspiration  $ET_0$ . Average long term rainfall is 228 mm/an. According to Budyko model, regional average  $ETR = 213$  mm/an. Model inputs are daily average basin rainfall and daily  $ET_0$  over 10 years (1989-90, 1998-1999). Average basin precipitation during this period varies from 55 mm (1994-95) to 398 mm (1989-90). Annual Discharge observations at a river gauging station are also available for the same ten-year period. The maximum observed daily discharge is 80 m<sup>3</sup>/s. Since no data about soil humidity are available, the model is calibrated on the basis of observed runoff at the basin outlet. However, it is proposed to also constraint the model outputs on the basis of regional information on average annual evapotranspiration. For that purpose, Budyko model is adopted for estimating average annual regional  $ETR$  and average annual regional runoff. Four calibration strategies based on bias evaluation are compared. Annual runoff bias is first adopted as calibration criterion (C1). Then, a joint minimization of observed annual runoff bias and regional annual evapotranspiration bias is achieved (criterion C2). Besides, a calibration minimizing only the bias of annual evapotranspiration is performed (criterion C3). This case would correspond to a situation where no runoff observations are available. Moreover, the parameter set that minimizes both annual regional runoff bias and annual evapotranspiration bias is selected (criterion C4). Using only annual observed runoff data as calibration criterion, we find ( $\sigma=0.21$ ,  $\eta=0.29$ )<sub>C1</sub>. Using both bias on observed annual runoff and bias on regional annual evapotranspiration, we find ( $\sigma=0.10$ ,  $\eta=0.26$ )<sub>C2</sub>. Using only regional information on evapotranspiration we find ( $\sigma=0.16$ ,  $\eta=0.32$ )<sub>C3</sub>. Besides, adopting both bias of regional evapotranspiration and regional runoff it comes ( $\sigma=0.15$ ,  $\eta=0.29$ )<sub>C4</sub>. Thus, the value of  $\sigma$  is more subject to fluctuation within the calibration method than the value of  $\eta$ . A performance criterion  $RV$  which weights variance error and bias is computed in each case, adopting an annual as well as a decadal aggregation time step for evaluation. The sorting of performance criteria  $RV$  is in favour of C3 (we obtain  $RVC3 < RVC4 < RVC2 < RVC1$ ). The influence of calibration strategy is then quantified by comparing predicted flux (actual evapotranspiration, percolation and capillary rise). The time distributions of soil moisture are also compared. Furthermore, two water-stress related indicators are computed: the number of days per year where soil moisture values are less than field capacity and the number of days per year where soil moisture values are less than 50 % of the field capacity. It is found that the total number during the ten-year period vary respectively from 3163 (C1) to 3410 (C2) and from 2272 (C1) to 2817 (C2). For driest years, indicators values are similar for all calibration methods (C1 to C4). However, during the rainiest years, the mismatch between calibration criteria becomes more significant. In particular C1 results would indicate less water-stress situations than C3, C4 and C2. In overall, for the case study, C3 and C4 calibration methods are much similar.



## VARIABILITE ET GESTION DES EAUX DE SURFACE AU MAROC

**Hamid BENABDELFADEL**

*Secrétariat d'Etat pour l'Eau et l'Environnement, Rabat, Maroc*

## WATER RESOURCES VARIABILITY IN THE MEDITERRANEAN BASIN, A GLOBAL APPROACH

**Marianne MILANO**

*Plan Bleu, Sophia-Antipolis, France*  
[mmilano@planbleu.org](mailto:mmilano@planbleu.org)





## BILAN DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE D'UN BASSIN HYDROGEOLOGIQUE D'EXTENSION REGIONALE. CAS DU BASSIN DU SEBOU (MAROC CENTRAL)

**Mohamed SINAN (1), Abdessadak CHTAINI (2) & Jaouad FILALI (3)**

(1) Ecole Hassania des Travaux Publics, CERHYDREAU, Casablanca, Maroc

(2) Faculté des Sciences Ben Msik, Casablanca, Maroc

(3) Secrétariat d'Etat à l'Eau et à l'Environnement, Rabat, Maroc

Le bassin de Sebou est situé au Nord-Ouest du Maroc. Il forme une cuvette entre le littoral atlantique à l'Ouest (à hauteur de la ville de Kénitra), le bassin de Moulouya à l'Est (à hauteur de la ville de Taza), la chaîne montagneuse du Rif au Nord et celle du Moyen-Atlas au Sud. Il couvre une superficie d'environ 40 000 km<sup>2</sup>, soit environ le cinquième de la superficie totale du Maroc.

Le climat général du bassin est de type méditerranéen à influence océanique. La pluviométrie annuelle moyenne dans le bassin est d'environ 750 mm et l'évaporation potentielle moyenne annuelle est assez forte, variant entre 1600 mm sur la côte et 2000 mm vers l'intérieur.

Le réseau hydrographique du bassin de Sebou est représenté notamment par l'oued Sebou (d'environ 500 km de long) et ses affluents, produisant près du tiers des ressources en eau superficielles du Maroc. Le bassin du Sebou fait partie des bassins les plus riches en eau souterraine du Maroc. Ses ressources représentent environ 20% du potentiel mobilisable du pays. Ces ressources en eau souterraines sont contenues dans plusieurs nappes, dont les plus importantes sont Dradère-Souière, Maâmora, Gharb, Bou Agba, Fès-Meknès (phréatique et profonde), couloir de Fès-Taza (phréatique et profonde), causeuse du Moyen Atlas (basaltes quaternaires et calcaires et dolomies du Lias) et le Moyen Atlas plissé. L'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) des principales agglomérations du bassin (Fès, Meknès, Kénitra, Taza, Sidi Slimane et Sidi Kacem) est assurée essentiellement à partir des eaux souterraines (forages et captages des sources).

L'actualisation des bilans des ressources en eau des différentes nappes du bassin a montré que :

- les entrées nettes du bassin (au niveau des limites) s'élèvent à environ 1667 Mm<sup>3</sup>/an ;
- les sorties totales s'élèvent à environ 1 963 Mm<sup>3</sup>/an, réparties en 759 Mm<sup>3</sup>/an (39 %) des prélèvements d'AEPI et agricoles, environ 798 Mm<sup>3</sup>/an (41 %) du drainage par les sources et les oueds et 395 Mm<sup>3</sup>/an (20 %) par d'autres sorties naturelles (abouchement souterrain, sortie vers la mer, etc). Les sorties nettes (en dehors des échanges souterrains entre les nappes du bassin) s'élèvent à environ 1823 Mm<sup>3</sup>/an ;
- le bassin est déficitaire d'un volume moyen d'environ 156 Mm<sup>3</sup>/an (environ 5 m<sup>3</sup>/s). Les nappes actuellement déficitaires (niveaux piézométriques en baisse) sont celles de Fès-Meknès (libre et profonde), Gharb, Maâmora, Taza et Bou Agba.
- Seule la nappe du Lias profonde du couloir de Fès-Taza est excédentaire d'un volume d'environ 38,5 Mm<sup>3</sup>/an et celle des basaltes quaternaires du Moyen Atlas tabulaire d'un volume moyen d'environ 15 Mm<sup>3</sup>/an.



## EVOLUTION DES RESSOURCES EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE L'OUED INAOUENE (MAROC)

**Abdelkader EL GAROUANI**

*Laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Route d'Imouzzar, B.P. 2202, Fès, 30 000, Maroc.*

*Tel (212) 6 63 82 90 46, e-mail : [el\\_garouani@yahoo.fr](mailto:el_garouani@yahoo.fr)*

Les conditions climatiques jouent un rôle primordial dans le cycle hydrologique. Elles agissent sur la répartition spatio-temporelle de la ressource hydrique et conditionnent son potentiel hydrogéologique. En effet, la connaissance des conditions climatiques s'impose pour définir et évaluer les ressources en eau de la zone d'étude.

La présente étude concerne le bassin versant de l'Oued Inaouène situé entre le Moyen Atlas et le pré-Rif couvrant une superficie de 3320 km<sup>2</sup>. Le climat de la zone est marqué par de forts contrastes saisonniers et des irrégularités très nettes des précipitations. Une tendance à la baisse très significative débute en 1980 annonçant une sécheresse exceptionnelle qui s'étend jusqu'à maintenant. La période de sécheresse a accentué les processus de dégradation des ressources en eau et en sol, et par conséquent, les mouvements migratoires des populations. Afin de mieux gérer une telle situation, l'étude des facteurs climatiques et la caractérisation de la sécheresse par l'estimation des indicateurs météorologiques et hydrologiques sont indispensables.

La recherche sur les tendances hydrologiques de l'Oued Inaouène s'exprime par l'étude des apports annuels et la variabilité des débits. La caractérisation du régime hydrologique de l'Oued Inaouène se base, principalement, sur l'étude des variations spatiales et temporelles des débits, de leurs fréquences et sur les particularités extrêmes de l'écoulement. Les mesures des débits disponibles de la période commune aux deux stations Bab Merzouka et Idriss 1<sup>er</sup> présentent des variations importantes. Ils décroissent dans le bassin versant de l'Oued Inaouène de l'amont vers l'aval engendrant ainsi un décalage hydrologique saisonnier entre ces différentes stations. Ceci peut être lié à la variabilité des conditions climatiques, et aux caractéristiques géomorphologiques et d'occupation du sol.

De point de vue répercussions sur les ressources en eau souterraines, on a constaté un déficit dans le bilan de la nappe de Taza de l'ordre de 6.6 M m<sup>3</sup>/an. En l'absence d'une carte piézométrique complète de la région d'étude, ce bilan a été déterminé à partir de l'historique piézométrique relevé au niveau du piézomètre de contrôle 762/16. Entre 1998 et 2003, le niveau de la nappe a passé de 550 m à 530 m, soit une baisse moyenne annuelle d'environ 4 m pour une extension latérale de 110 km<sup>2</sup> et un coefficient d'emménagement de 1,5%. A titre de comparaison avec la nappe de Fès-Meknes, cette dernière connaît une baisse continue de ses niveaux depuis le début des années 80. Cette baisse est d'environ 2 m/an.



## RELATIONS ENTRE BARRAGES ET EAUX SOUTERRAINES EN TUNISIE. CAS DU BARRAGE EL HAOUAREB TUNISIE CENTRALE

**Safouan BEN AMMAR**

*Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires, 2020, Sidi Thabet - Tunisie*  
safouan\_ammam@yahoo.fr

La Tunisie, située dans une région typiquement semi-aride, est confrontée à la rareté et à la répartition inégale dans l'espace et dans le temps de la ressource en eau. La variabilité climatique et le développement rapide de la demande en eau surtout pour l'usage agricole ( $\approx 80\%$ ) et domestique ( $\approx 15\%$ ), a conduit à l'adoption d'une stratégie de mobilisation des eaux, surtout de surface, afin de répondre à cette demande. Cette stratégie vise à accroître continuellement l'offre, principalement à travers de grands programmes de construction d'ouvrages de stockage d'eau : grands barrages. Toutefois, certains de ces ouvrages sont parfois sujette à une réduction de leurs capacité de stockage par l'alluvionnement rapide de la retenue et/ou par des fuites non maîtrisables. Dans certains cas ces fuites alimentent naturellement les aquifères adjacents. C'est le cas du barrage el Haouareb, situé en Tunisie centrale.

Le barrage d'el Haouareb contrôle les eaux d'oued Merguellil, dont le bassin couvre une superficie d'environ  $1200 \text{ km}^2$ . La construction du barrage vise la protection de la ville de Kairouan contre les inondations dévastatrices de l'oued ainsi qu'une plus grande mobilisation des ressources en eau. La construction du barrage sur un seuil hydraulique karstique a totalement bouleversé les circulations d'eau superficielles et souterraines. L'eau de la retenue s'infiltré massivement sous le barrage, se mélange avec celle provenant du bassin amont de Ain el Beidha, et alimente le karst qui se déverse dans la nappe alluviale de la plaine de Kairouan située en aval. Les différents bilans du barrage établis depuis sa mise en eau en 1989, font état de pertes assez importantes par infiltration d'environ  $63\%$ .

Dans un contexte hydrogéologique si complexe, une approche isotopique était nécessaire pour répondre à de nombreuses interrogations quant à l'impact des infiltrations sur la recharge de la nappe de la plaine de Kairouan et la caractérisation des processus de cette recharge. L'analyse isotopique ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ ) des différents compartiments (barrage, la nappe de Ain el Beidha et la nappe de la plaine Kairouan) a permis de préciser le bilan en eau et d'affiner sensiblement les informations hydrodynamiques existantes.

Pour les périodes échantillonnées, la contribution des eaux du barrage à l'alimentation du karst varie de  $21$  à  $64\%$  ; elle augmente avec la hauteur d'eau présente dans la retenue. Les eaux ainsi infiltrées depuis la construction du barrage ont déjà largement "contaminé" les  $7$  premiers kilomètres de la nappe alluviale. Plus loin cette nappe garde encore les traces de son ancien mode de recharge par infiltration des fortes crues d'oued Merguellil.



## EROSION ET TRANSPORT SOLIDE EN ALGERIE SEPTENTRIONALE

### Benina TOUAIBIA

*Laboratoire d'Hydrologie, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida, Algérie*  
[touaibiabenina@yahoo.fr](mailto:touaibiabenina@yahoo.fr)

Les pertes en sols des terres, leur transport et leur atterrissement dans les infrastructures hydrauliques, portuaires, routières...ont laissé les pouvoirs publics très soucieux sur la gravité du phénomène de l'érosion hydrique. Des outils d'investigation ont été mis en œuvre pour freiner le phénomène. Une lutte anti érosive intensive a été entreprise à tous les niveaux en commençant par le traitement des bassins versants de barrages.

La gravité du phénomène a atteint un stade parfois irréversible. Toutes les formes d'érosion y sont associées laissant des paysages désolants.

Le phénomène est accru et s'amplifie aussi bien dans l'espace que dans le temps, auquel se greffe le changement climatique. Des cycles d'inondations torrentielles et de sécheresses prolongée sont observées et rendent le bassin d'alimentation et le réseau d'écoulement très vulnérables, conjugués à une action anthropique non contrôlée (incendies, défrichement, surpâturage,...).

Cette problématique complexe reste difficile à quantifier et pose des difficultés à l'hydrotechnicien.

Plusieurs chercheurs de part le monde, chacun dans sa spécialité, se sont penchés sur ce phénomène pour tenter de le maîtriser. Si à l'échelle de la parcelle, celui-ci est maîtrisable il ne l'est pas à l'échelle du bassin versant.

L'insuffisance ou l'absence de données de jaugeage et de concentration en sédiments rend d'avantage complexe la connaissance du phénomène. Seules des synthèses régionales et la bathymétrie par l'identification des zones productives en sédiments peuvent approcher le problème et élaborer des cartes ou des abaques d'aide à la décision. Tous nos travaux de recherche sont axés sur cette approche.



## IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES (CC) SUR LES CLIMATS ET LES RESSOURCES EN EAU (RE) DES BASSINS VERSANTS DE TENSIFT ET BOUREGREG

**Kenza KHOMSI**

*Direction de la Météorologie, Casablanca, Maroc*

A nos jours, le changement climatique est une réalité largement reconnue par la communauté scientifique mondiale.

Toutes les études récentes montrent que le climat global est en réchauffement certain et continu affectant, ainsi, les climats locaux et régionaux.

En toute logique, une augmentation de température devrait avoir des répercussions sur les régimes hydrologiques des cours d'eau et par la suite sur les systèmes écologiques et socio-économiques.

Face à ces considérations, il est devenu impératif d'évaluer l'impact des changements climatiques prévus sur le climat et les ressources en eau aux échelles locaux, surtout dans les pays, comme le Maroc, où l'or bleu est déjà non abondant.

Des telles études auront, parmi autres, l'objectif d'aide à la décision et à la formulation des stratégies de gestion des ressources en eau parallèlement aux changements prévus.

Le projet en cours a pour finalité l'étude de l'impact des changements climatiques sur le climat et les ressources en eau de deux bassins versants marocains : le Tensift et le Bouregreg. Il a deux objectifs, l'étude théorique et technique d'une part et la mise en place des recommandations d'adaptation de l'autre part.

Cette étude a débuté par la collecte des données de précipitations, de température et de débit sur les deux bassins versants, suivie d'une étude des ruptures et des tendances des séries de données collectées caractérisant les variations hydroclimatiques spatiales dans les bassins versants examinés.

La deuxième phase est la modélisation. Les séries des précipitations et de températures correspondant au climat futur (horizon 2020-2050) peuvent être dérivées des Modèles de Circulation Générale (GCM) à travers le downscaling statistique afin de générer des valeurs futures des variables météorologiques sur les bassins de Tensift et Bouregreg.

Les données issues du downscaling seront les inputs des modèles hydrologiques (GR2M, CEMAGREF) et (HEC-HMS, HEC) qui se chargeront de simuler les régimes de débits futures dans les deux bassins versants.

Les résultats obtenus des simulations créeront un contexte fertile pour mener une réflexion sur les stratégies de gestion des ressources en eau des bassins versant étudiés tout en s'adaptant au changement climatique prévu.





## EVOLUTION ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU MAROC

**Fatima DRIOUECH**

*Direction de la Météorologie Nationale, Casablanca, Maroc*

Le réchauffement du système climatique est, selon le Groupe Intergouvernemental des Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC), sans équivoque et ses effets sont au moins partiellement inévitables dans le demi-siècle à venir. Plusieurs changements résultants sont perceptibles aux échelles continentales et régionales. Ils ont concerné différents aspects dont les événements extrêmes comme la sécheresse, les fortes précipitations, les vagues de chaleur.

Le Maroc, fait partie des pays méditerranéens et africains dont le climat fait apparaître les premiers signes de changement tant pour la hausse des températures que pour la diminution des précipitations. Un changement du régime pluviométrique est, en effet, constaté sur les 50 dernières années. Il se manifeste par un déclin des cumuls ainsi que par une augmentation de la persistance temporelle de la sécheresse. En termes thermiques, la température moyenne annuelle a montré une augmentation significative de l'ordre de 0.2 à 0.3 degrés centigrades par décennie et les totaux annuels de jours frais ont connu une diminution significative. Les projections futures de changements climatiques issues de différents modèles globaux et régionaux convergent vers un assèchement du climat marocain auquel s'ajoutera une augmentation de la température moyenne pouvant dépasser les 4 degrés centigrades à l'horizon 2080. Ce sens d'évolution, projeté aussi pour un horizon plus proche (2021-2050), ne sera probablement pas en faveur des ressources hydrologiques du pays et qui se montrent déjà relativement rares dans certaines régions.





## RELATIONS EAUX DE SURFACE/EAUX SOUTERRAINES AU MAROC

**Nour-Eddine LAFTOUHI**

*Faculté des Sciences Semlalia, Université Cadi Ayyad, Marrakech*

La relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines n'est pas une nouveauté en soi et n'a pas besoin d'être prouvée, mais reste, dans le contexte des régions semi-arides, l'un des moyens principaux et les plus sûrs d'alimentation en eau des aquifères.

Qu'il s'agisse d'aquifères libres type Plio-quaternaires dans la plupart des cas Marocains ou d'aquifères profonds contenus dans les séries stratigraphiques profondes (Jurassique du Tadla, Crétacé du haut Atlas Occidental et du Haouz, du Saiss, etc.) en raison de la structuration tectonique de celles-ci, l'infiltration des eaux de pluie ou/et de celles qui s'écoulent dans le réseau hydrographique, constituent le moteur essentiel de l'alimentation des réserves profondes au travers des lits d'oueds de forte perméabilité ou contacts bassins versants plaines favorisant un tel échange.

Les deux cas traités dans le cadre de ce papier sont notamment celui de l'aquifère de la Plaine du Haouz avec un apport des eaux de surface estimé à près de 410 Mm<sup>3</sup>/an selon les chiffres de l'ABHT, essentiellement par les oueds descendant du Haut Atlas de Marrakech (R'dat, Zat, N'fis, Rheraya, etc.) et le cas de la vallée du Drâa en aval du barrage Mansour Ed-Dahbi où le chapelet de six nappes aquifères contenues dans des dépressions topographiques réagit extrêmement rapidement aux lâchers du barrage pour amener l'eau vers les oasis.

La question qui se pose est: dans des conditions d'aridité telles que celles que connaît le Maroc, faut-il stocker les eaux dans des barrages (et les exposer à une forte évaporation) ou les stocker dans les aquifères et diminuer ainsi cette évaporation, réduire les risques de salinisation des eaux et des sols et enfin éviter aux usagers de l'eau cette "*pression psychologique*" de rareté des eaux à leur disposition?



## LE PROBLEME DE LA SEDIMENTATION DANS LES BARRAGES, CAS EN ALGERIE

**Djillali BENSAFIA, Boualem REMINI**

*Département des sciences de l'eau et de l'environnement,  
 Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Saad Dahlab Blida, BP 270,  
 route de Soumaa Blida, 9000 Algérie. Tel/Fax : 213 25 43 39 40, Email : [bensafiadjillali@yahoo.fr](mailto:bensafiadjillali@yahoo.fr) ;  
 reminib@yahoo.fr*

Dans les pays du Maghreb, l'érosion des bassins versants est très répandue et se manifeste avec des valeurs très élevées. Le taux d'érosion spécifique a été évalué à 180 millions de tonnes de sédiments arrachés annuellement au niveau des bassins versants du nord algérien (Demmak A., 1982). Dans le bassin versant de oued Agrioum à l'amont du barrage d'Ighil Emda (Est algérien), le taux d'érosion avoisine les 5000 t/km<sup>2</sup>.an (Demmak A., 1982). Un volume de 45 millions de m<sup>3</sup> de vase se dépose annuellement dans les 58 grands barrages algériens (Hallouche W., 2007). Le volume de vase estimé en l'an 2008 est de 1,1 milliards de m<sup>3</sup>, soit un taux de comblement de 17%.

C'est lors des crues que le transport solide se manifeste dans les cours d'eau. Des teneurs en sédiments dépassent les 300 g/l ont été mesurées dans l'oued Berd (est algérien) (Remini B., 1997). Dans l'oued Isser (à 50 km d'Alger), les concentrations en particules fines ont atteint la valeur de 265 g/l. Contrairement dans les régions humides le transport solide se manifeste avec des faibles concentrations. Les valeurs mesurées dans les rivières Françaises ne dépassent pas 20 g/l en période de crues (Keller P., et Bouchard J-P., 1983). C'est lors des crues et plus particulièrement celles d'automne que les courants de turbidité se forment en tête de retenues, puisque les conditions favorables (de concentration et la forme de la retenue) se trouvent réunies dans les régions arides et semi arides. Le contact des eaux chargées avec celles de la retenue provoque la formation des courants de turbidité qui se propagent sur le fond de la retenue au dessous de l'eau claire bien individualisé sans se mélanger avec les eaux de la retenue. Ces courants de turbidité parcourent plusieurs kilomètres avant d'atteindre le pied du barrage. Dans le cas où ces courants ne sont pas entretenus, ils provoqueront un envasement accéléré des barrages. C'est une particularité des régions arides et semi arides.

L'objectif de cette étude est de faire un état sur le mécanisme des courants de densité. La problématique et les conséquences des courants de densité sur l'évolution de l'envasement dans les barrages.



## LAND USE, RUNOFF AND LAND DEGRADATION, THE CASE OF THE SEHOUL AREA, RABAT REGION, MOROCCO

**Abdellah LAOUINA**

*Chaire UNESCO-GN, FLSH, Université Mohammed V-Agdal, B.P. 1040, Rabat, Maroc*

The Sehoul area, 40km far from Rabat, located between the Mamora forest in the north, and the Grou valley in the south West is a part of the Palaeozoic Atlantic Meseta.

It is affected by spreading erosion, with mainly a rapid incision of channels at the expenses of former accumulated colluviums, extension of gullies and important export of superficial material from the soils.

Despite its location in the more favourable parts of Morocco in terms of climatic conditions, it consists of marginal land with a high poverty and important indicators of degradation. Desertification is both related to natural factors and to human factors (poverty, mismanagement).

The normal land use type corresponds to cereal cultivations, associated to grazing on the whole types of lands (cultivated lands, forests and some remnants of the old pastures). Grazing consumes the whole residues in the croplands and degrades the forests and pastures.

The objectives of identification of the material sources and the evaluation of the rate of degradation led us to use many techniques of measurement in a small catchment equipped with a V-nodge. The other objective is to assess the efficiency of some WSC techniques proposed for land degradation mitigation.

The hydrologic measurements permit to obtain a general overview of the functioning at this scale. They show a very rapid response of overland flow to intensive rain events.

Soil parameters are monitored at many measurement points: texture, stoniness, organic matter, saturated hydraulic conductivity... Soil surface observation and assessment (crusting, surface structure, roughness), crop characteristics (height, cover fraction, mulch cover fraction) and erosion features (rill and gully density and dimensions) give a regular overview of the surface behaviour. The monitoring concerns also field measurements of soil moisture, soil organic matter, surface roughness, infiltration rate.

The results of the measurements show the following:

1. A low infiltration capacity of the silty clay soils, aggravated by sealing and compaction by cattle;
2. The Limited soil moisture storage capacity due to the limited soil depth (less than 40 cm for soils on the eroded hillslopes and much less in the gullied area);
3. Low vegetation cover of the fallow and grazing fields,
4. A very rapid response to intense rains, by a high amount of runoff and important suspended load of the discharge.



## CLIMAT, MUTATIONS SOCIO ECONOMIQUES ET PAYSAGES : L'EXEMPLE IVOIRIEN

**Yao Télésphore BROU**

*PRES Lille Nord de France, université d'Artois, EA 2468 DYRT*

*9 rue du Temple, BP 665 62030 Arras Cedex, France ([telesphore.brou@univ-artois.fr](mailto:telesphore.brou@univ-artois.fr))*

Pays de forêt et de savane, la Côte d'Ivoire, connaît, depuis maintenant plus de 40 ans, une variabilité importante de ses conditions bioclimatiques. L'analyse des données climatiques met, en effet, en évidence une diminution brutale des hauteurs pluviométriques à partir de la fin des années 60 et la persistance de ce phénomène au cours de la dernière décennie (1989-1999). D'un point de vue spatial, cette diminution se traduit par un glissement vers le Sud-Ouest des courbes d'iso-valeurs (de précipitation, de température, d'humidité, etc.). L'étude statistique des séries pluviométriques permet de déceler les dates de rupture qui se situent durant la décennie 60 et le début de la décennie 70. La baisse des précipitations n'a toutefois pas eu la même intensité partout. Par rapport au reste de la Côte d'Ivoire, l'ensemble des stations de l'Ouest et de l'Est l'ont faiblement ressentie.

Corrélativement à cette variabilité climatique, on observe une modification dans la dynamique du couvert végétal. En effet, quel que soit l'indicateur utilisé pour suivre l'évolution spatio-temporelle de la phénologie végétale, il apparaît que les années à pluviométrie exceptionnellement déficitaire comme 1982, 1983 et 1984 présentent une très faible production de biomasse. Inversement, les années de forte pluviométrie comme 1985 et 1986 enregistrent de fortes productions de biomasse. Les régions les moins affectées par cette dynamique interannuelle sont celles de l'Ouest du pays, marquées par la constance des fortes précipitations et la présence de grands massifs forestiers.

L'une des conséquences des modifications environnementales enregistrées depuis les années 60 est la forte mobilité spatiale des populations rurales. Le degré d'humidité et le niveau de réserve des terres faisant partie des conditions suffisantes pour les migrations agricoles, c'est vers les régions encore forestières de l'Ouest, à pluviométrie annuelle supérieure à 1 400 mm, que se dirige la grande partie des migrants. Ces migrants proviennent principalement des régions de savanes ivoiriennes ou des pays limitrophes où la rentabilité de la mise en valeur des terres est limitée par la rigueur des conditions éco-climatiques. La forte pression foncière qui en résulte aboutit à d'inévitables modifications profondes du milieu forestier. Alors que les superficies dépassaient les 12 millions d'hectares en 1960, elles n'atteignent plus les 4 millions d'hectares en 1999. L'analyse diachronique d'images récentes permet de se rendre compte de la poursuite du phénomène de la déforestation avec pour corollaire l'augmentation des surfaces en forêt dégradée et en culture jachère.

Face aux incertitudes du climat et à l'amoindrissement des terres forestières, les paysans adoptent des stratégies et des attitudes conservatoires et régulatrices. D'une manière générale, quelle que soit la région, celles-ci visent à : durcir les possibilités d'accès aux terres humides ; une meilleure disposition des cultures, la priorité étant accordée aux variétés précoces ; accorder la priorité aux bas de pente, aux bas-fonds non inondables et aux cuvettes à inondations peu fréquentes ; accorder une plus grande place aux cultures moins sensibles aux aléas. Dans les régions de savane du Nord, où les conditions éco-climatiques sont plus rigoureuses, les réponses adaptatives des paysans apparaissent beaucoup plus radicales. Les stratégies et les actions de l'Etat ont permis, quant à elles, à partir d'innovations technologiques, d'améliorer la productivité agricole. Au niveau de la protection de l'environnement, on note certes l'existence d'un cadre juridique et institutionnel, mais la mise en œuvre du plan d'action national a du mal à démarrer du fait de lourdeurs administratives, du manque de financement et de la complexité de la situation socio-politique actuelle.



## LE CONTINUUM BASSIN VERSANT - ZONE COTIERE DANS LE CONTEXTE DES CHANGEMENTS GLOBAUX : EXEMPLES AU MAROC

**Maria SNOUSSI**

*Faculté des Sciences, Université Mohamed V-Agdal, Rabat, Maroc*

La zone côtière marocaine, par ses ressources vivantes et non vivantes, constitue un enjeu économique capital pour le pays. Le défi majeur à relever aujourd'hui pour garantir l'utilisation durable de ces ressources, dans un cadre social en mutation rapide et dans le contexte des changements globaux, est de maintenir le fonctionnement organique du milieu en se basant sur une compréhension systémique et holistique de l'ensemble de cette interface terre-océan, dans un continuum bassin versant-zone côtière. Les apports fluviaux jouent un rôle fondamental dans l'équilibre et le budget hydrologique, biogéochimique et sédimentaire côtier. Les changements observés en zone côtière trouvent parfois leur origine très en amont dans le bassin versant adjacent. Toutefois, il est souvent difficile de leur affecter une relation directe de cause à effet, tant les interactions entre les processus terrestres et côtiers sont complexes et les échelles de leur occurrence multiples. L'évolution côtière de la Moulouya durant le dernier demi-siècle d'une part, et celle des apports liquides et solides de l'oued Sebou seront donnés comme exemples pour montrer l'impact de la variabilité climatique et des aménagements des bassins versants sur les écosystèmes côtiers, et illustrer ainsi la complexité de ces interactions.





## POPULATION, OCCUPATION DU SOL ET HYDROLOGIE, CAS AU BURKINA-FASO / IMPROVING HYDROLOGICAL MODELLING IN THE WEST-AFRICAN SAHEL BY TAKING INTO ACCOUNT THE LAND USE/LAND COVER CHANGE AND THE POPULATION DYNAMICS

**Gil MAHÉ<sup>1</sup>, Jean-Emmanuel PATUREL<sup>1</sup>, Pierre DIELO<sup>1</sup>, Harouna KARAMBIRI<sup>2</sup>, Hamma YACOUBA<sup>2</sup>, Bruno BARBIER<sup>2</sup>, Amadou Hama MAIGA<sup>2</sup>**

*1IRD, HydroSciences Montpellier Laboratory Université Montpellier 2, case MSE, 34095 Montpellier Cedex 5, France E-mail: [gil.mahe@msem.univ-montp2.fr](mailto:gil.mahe@msem.univ-montp2.fr)*

*2International Institute of Engineering for Water and Environment, Ouagadougou, Burkina-Faso, West Africa*

The joint effect of climate change and of human activities on land cover is responsible for an increase of the runoff coefficients of the West African Sahelian rivers since the 1970s, as revealed by the analysis of runoff time series of rivers from Mauritania, Burkina-Faso and Niger. The runoff coefficients have increased in regions with less than 750 mm of annual rainfall, under Sahelian and sub-desertic climates, leading to increased flood peaks, occurring earlier in the season. Studies have shown a quick change in land-use/land-cover (LUCC) since the 1970s over Sahelian river basins in Burkina-Faso and Niger. It is likely that the aridification of the environment—triggered by climatic change, especially rainfall shortage—is to an important extent, enhanced by human increasing agricultural activities. The relationships between hydrology and LUCC are studied using hydrological modelling. Rainfall/runoff modelling is improved when taking into account the spatio-temporal evolution of the LUCC through a time varying water-holding capacity (WHC). The WHC, considered as the soil water reservoir in hydrological models, decreases as the natural vegetation is replaced by less permeable cultures or bare soil, leading to increased surface runoff coefficients. But the best model performances are obtained with time-varying WHC data sets depending on the population dynamic together with the land-cover change. The population data are used through a model of the inter-annual dynamic of the population, to set annual population data for each grid point of the model. These annual population data are correlated with the LUCC data for the satellite data images available, according to a simple classification: bare soil, cultivated areas, natural vegetation (including fallows) and open water, to get a WHC value for each year and each grid point. WHC is no more a constant of the model, but a variable that must be determined from observations.



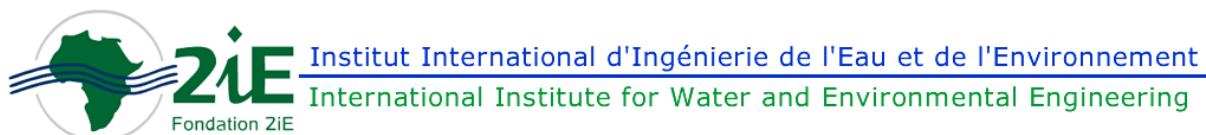


## ECOHYDROLOGIE, CAS EN AFRIQUE DE L'OUEST

**Amadou H. MAIGA, Harouna KARAMBIRI, Yacouba KONATE**

*Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso, Tel: (226) 50 49 28 00 Fax: (226) 50 49 28 01, Web : [www.2ie-edu.org](http://www.2ie-edu.org)  
 Auteur correspondant : H. KARAMBIRI, e-mail : [harouna.karambiri@2ie-edu.org](mailto:harouna.karambiri@2ie-edu.org)*

L'importance accordée à la mobilisation des ressources en eau de surface en Afrique de l'Ouest et plus particulièrement dans les pays sahéliens se manifeste par construction de barrages et de retenues d'eau. Ces ouvrages améliorent considérablement le niveau de vie des populations à travers l'alimentation en eau potable, l'élevage et notamment la petite irrigation qui permet d'atteindre l'autosuffisance alimentaire à l'échelle locale et atténue les conséquences des mauvaises récoltes pluviales. Dans un contexte marqué par les changements climatiques et environnementaux, la question de la durabilité de ces ouvrages est devenue une préoccupation de l'heure et fait l'objet de recherche active en Afrique de l'Ouest. Depuis les années 1998, le 2iE (Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement) et ses partenaires scientifiques ont entrepris un certain nombre d'études sur la problématique de la sédimentation et de la qualité des eaux des petits réservoirs en Afrique de l'Ouest. Cette communication présentera quelques cas d'études et les résultats obtenus. Parmi les principaux résultats, on peut retenir l'existence d'un gradient sud-nord (zone soudanienne à zone sahélienne) par rapport aux risques de dégradation de la qualité des eaux de ces retenues. En effet, le comblement par transport de solides représente la menace prépondérante pour les plans d'eau en zone sahélienne alors que ce risque est plutôt faible en zones soudanienne et soudano sahélienne. Par contre le risque d'eutrophisation de grande envergure s'avère faible en zone soudanienne et soudano-sahélienne, mais constitue une menace pour les réservoirs en zone soudanienne. Ces résultats appellent à des actions concertées à l'échelle des bassins versants, mais différenciées en fonction des zones écologiques et climatiques.





## LA MODELISATION REGIONALISEE DU BILAN D'EAU ET DE SEL SUR UN BASSIN VERSANT

Hedi DAGHARI

**Hèdi DAGHARI, Moncef HAMMAMI, Abdessattar HATIRA, Noura FERJANI, Awatef BEN RHOUMA, Ahmed SAIDI & Wael LTIFI**

*Institut National d'Agronomie de Tunis*  
[Daghari.hedi@inat.agrinet.tn](mailto:Daghari.hedi@inat.agrinet.tn)

La rareté des ressources en eau de bonne qualité d'une part, la forte demande sur cette ressource et les conflits qui se tracent entre différents usagers d'autre part rendent impératif la bonne gouvernance de l'eau.

Les ressources en eau en Tunisie de salinité inférieure à 1.5 g/l ne dépassent pas 40%. D'autre part, plus que la moitié de territoire tunisienne reçoit moins de 150 mm de pluie. La salinité menace sérieusement plusieurs périmètres irrigués dans le monde.

Le périmètre retenu pour cette analyse est celui de Kalaât El Andalous, naturellement bien délimité et correspond à un bassin versant. Il est entièrement équipé avec un réseau d'irrigation, un réseau de drainage et un réseau de pistes agricoles. L'irrigation n'y est pratiquée que sur environ le tiers de la surface.

Un suivi de différentes composantes des bilans d'eau, des sels et de nitrate a été mené durant deux années hydrologiques successives (2006/2007 et 2007/2008). Les résultats du bilan des sels pour les deux campagnes ont montré qu'il n'y avait pas d'accumulation des sels dans le sol.

Par contre, durant la saison d'irrigation, on assiste à une accumulation des sels dans la zone racinaire ; à l'origine d'une chute remarquable des rendements.

La comparaison des mesures (volume drainé et quantités de sels lessivés) aux résultats numériques fournis par le modèle CIRFLE (CONCEPTUAL IRRIGATION RETURN FLOW MODEL HIDROSALINITY) a montré que ce modèle pourrait être utilisé comme outil de suivi et de contrôle de la salinité des sols.

En cas d'une succession d'années sèches, il y a risque d'accumulation des sels dans le profil du sol, d'où la nécessité de bien prévoir un lessivage surtout qu'il s'agit d'une irrigation localisée technique économe en eau. Durant les années humides, le lessivage naturel est suffisant.



HydroSciences Montpellier  
Case MSE  
Université Montpellier 2  
34095 Montpellier Cedex 5  
France  
[www.hydrosciences.org](http://www.hydrosciences.org)  
[www.ird.fr](http://www.ird.fr)

## MED FRIEND / UNESCO “PRE”-STEERING COMMITTEE MEETING AND SCIENTIFIC WORKSHOP

Rabat, 10<sup>th</sup>-11<sup>th</sup> December 2009

### LIST OF PARTICIPANTS

#### 10th

Hamid	BENABDELFADEL	Secrétariat d'Etat à l'Eau et l'Environnement	Ingénieur, chargé de mission
Mohamed	BLINDA	Association Plan Bleu France	Program Officer, Water
Jean-François	BOYER	IRD/ HydroSciences Montpellier	Resp. for the database in MED FRIEND
Siegfried	DEMUTH	UNESCO	Chief Hydrological Processes and Climate Section Division
Alain	DEZETTER	IRD/ HydroSciences Montpellier	Representative for the Rainfall-runoff modelling theme in MED FRIEND
Claudine	DIEULIN	IRD/ HydroSciences Montpellier	GIS Resp. for the database MED FRIEND
Ennio	FERRARI	University of Calabria Italy	Professor. Resp. For Extreme events theme in MED FRIEND
Henri	GUILLAUME	IRD, Rabat	IRD Representative in Morocco
Harouna	KARAMBIRI	Institut International d'Ingénierie pour l'Eau et l'Environnement Ouagadougou, Burkina-Faso	Professor. Representative for the Eco-Hydrology theme in FRIEND AOC
José	KOBIELSKI	Ambassade de France Rabat	Attaché de Coopération Universitaire
Abdellah	LAOUINA	Université Mohamed V Rabat-Agdal	Professor, Faculty of Letters and Human Sciences, Directeur du Centre de Recherche en Géographie
Christian	LEDUC	IRD/ G-EAU Montpellier	Deputy Director of the G-EAU Research Unit
Gil	MAHE	IRD/ HydroSciences Montpellier	MED FRIEND Coordinator, and Resp. for Flow regimes and water resources theme
Marianne	MILANO	Association Plan Bleu France	Phd Student
Abdallah	MOKSSIT	National Meteorology Direction	Deputy Director
Séverin	PISTRE	Univ. Montpellier 2/ HydroSciences Montpellier	Representative for the Karstic Hydrogeology theme in MED FRIEND
Maria	SNOUSSI	Université Mohamed V	Professor, Faculty of Sciences



Université Mohammed V  
AGDAL - RABAT



### Rabat-Agdal

#### & 11th

Zoubeïda	BARGAOUI	ENIT, Tunis	Professeur
Safouan	BEN AMMAR	CNSTN, Sidi Thabet	Professeur
Nathalie	BENARROSH	IRD, UMR HSM, Montpellier	Ingénieur d'Etudes
Wail	BENJELLOUN	Université Mohamed V Faculté des Sciences	Professeur, Doyen de la Faculté des Sciences
Djillali	BENSAFIA	Université Saad Dahlab Blida	Professeur
Nanée	CHAHINIAN	IRD, UMR HSM, Fes	Chercheure
Hedi	DAGHARI	INAT, Tunis	Professeur
Fatima	DRIOUECH	Direction de la Météorologie Nationale	Responsable de la cellule des études climatiques
Abdelkader	ELGAROUANI	Université des Sciences et Techniques, Fes	Professeur
El Bachir	JAAIDI	Université Mohamed V Rabat-Agdal	Professeur, Chef de Département Sciences de la Terre
Kenza	KHOMSI	Météorologie Nationale	Ingénieur, en PhD
Nour-Eddine	LAFTOUHI	Université Cadi Ayyad Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech	Professeur
Jean-Marie	LAMACHERE	IRD, UMR LISAH, IAV, Rabat	Chercheur
Azzedine	MEBARKI	Université Mentouri, Constantine	Professeur
Jean-Louis	PERRIN	IRD, UMR HSM, Fes	Chercheur
Denis	RUELLAND	IRD, HSM, Montpellier	Ingénieur de recherche
Mohamed	SINAN	Ecole Hassania des Travaux Publics	Professeur
Benina	TOUAIBIA	Ecole Nationale Sup Hydraulique, Blida, Algérie	Professor. Erosion and solid transport theme Responsible in MED FRIEND

