

Summary report of the side event

"Hydrological changes in semi-arid and arid areas under climatic and human influences: focus on the Mediterranean region"

Christian LEDUC



Tunis, September 2006

Within the framework of the Sixth Phase of International Hydrological Programme, and especially the Theme 3 Land Habitat Hydrology, Unesco asked a report on the side event "Hydrological changes in semi-arid and arid areas under climatic and human influences: focus on the Mediterranean region" that was held in Tunis on June 21, 2006 in addition to the International Scientific Conference on "The Future of Drylands". This report includes a summary of the scientific papers that were presented and a list of possible follow-up to the event.

Scientific context of the side event

Mediterranean and semi-arid areas are well known for their hydrological sensitivity to small changes in the environment. This high sensitivity makes the survey of their water resource particularly interesting from the scientific point of view but also imposes major constraints in terms of socio-political management.

During the last century, the large increase in population, the development of irrigated agriculture, new activities as tourism drastically changed the water use in the Mediterranean region, moving from a parsimonious management of local irregular resources to an era of heavy projects where mankind thought able to control nature.

Since one decade, the climatic change is evoked as the main responsible of all hydrological modifications. A more cautious analysis is necessary. First of all, the frequent confusion between climate change and climate fluctuation must be avoided: the climate fluctuation is naturally very high in Mediterranean and semi-arid areas and has nothing to do with long-term change. Secondly, the human works under many different shapes (deforestation, dams, protection against erosion, irrigation, etc) have a much quicker and heavier impact on hydrological processes than the global increase in temperature.

The international conference "Future of drylands" appeared as a pertinent opportunity to draw the attention towards these hydrological changes. Organizing a side event could be an efficient way to gather contributions from different sources around the Mediterranean (north and south, east and west) showing how hydrology has been deeply modified during the last decades, in both surface and groundwater flows. The intention was to get a wide range of experiences, in terms of spatial and temporal scales, of quantity and quality, of processes.

Moreover, many links exist between the Mediterranean hydrologists as individuals or research teams but it appeared that a conference in Tunisia could help to dynamize scientific exchanges between the different countries of the western Mediterranean.

Organization of the side event

The limited time of the event was a severe constraint for the number and representativeness of participants, in comparison with the aims described above. Moreover, the late notification of the main conference, and the even much later notification of the side event, was a risk for the size of the audience.

Despite this time constraint, the side event was a great success. More than 60 identified persons took part in the event, the number of unidentified persons is not known. A majority of them came from Algeria and Tunisia, but others came from Spain, France, Great Britain, Italy, Egypt or Senegal. They are students, young and senior researchers but also belong to administrations, cooperation agencies and international structures.

The side event was organized by the IRD office in Tunis. A financial support was given by the research team G-EAU Montpellier, the G-WADI network of the UNESCO's IHP and the European integrated project AQUASTRESS (FP6). This support was used for the literature printing, the lunch for presenting participants and a contribution to travel expenses for non-Tunisian colleagues.

Participants received a booklet including the list of oral communications and posters and their abstracts. The morning and the evening sessions were held in two different rooms (large in the morning, smaller in the evening) but the audience did not disappear in the corridors.

Communications

The morning started with a set of three "institutional" communications. C. Leduc introduced the reasons of the side event and its place in the regional cooperation network. H.S. Wheater focused on the experience and interest of the G-WADI network. R. Al Weshah detailed the UNESCO role in water management in the Arab countries.

The invited conference was given by G.M. Zuppi. The first part of his speech was centered on the atmosphere dynamics of rainfall in the Mediterranean region. The second part was about the origin of salinity in coastal aquifers.

The next two communications concerned particular regions in semi-arid Algeria. The unexpected rise in the water-table of Ouargla was explained by L. Djabri. M. Chettih showed the interest of a wavelet approach for the hydrological analysis in an environment with a limited information.

Hydraulics changes in the Medjerda valley, the only permanent river in Tunisia were evoked by two complementary communications (Y. Zahar and F. Lebdi).

Linked transport of water and sediment was evoked by two different points of view: large dams in Algeria (B. Remini) and hillside conservation works in Tunisia (S. Nasri).

W. Martin-Rosalès detailed the recent hydrological changes in Southern Spain and went back into the centuries.

The water overexploitation in the Seybouse catchment (eastern Algeria) was illustrated by H. Amarchi.

Beyond the classical hydrology, B. Romagny highlighted the differences in behaviours and developments in two semi-arid regions of Tunisia and Morocco.

Because of pregnancy, the Ardoin' speech was delivered by C. Leduc and showed that results from global atmospheric models are still largely inaccurate in the Mediterranean region.

M. Slimani gave a detailed overview of the rainfall distribution in Tunisia depending on time and place.

The last three speakers (A. Kingumbi, S. Ben Ammar, N. Jebnoun) worked in the Merguellil catchment (central Tunisia), a reference for the regional research. They respectively considered the changes in rainfall and surface runoff, the transfer to the aquifer through a karstified dam based on isotopic analysis and the changes in groundwater flow identified by thermal and geochemical measurements.

Only two speakers were not able to come: A. Hreiche, coming from Beyrouth because of flight considerations, and N. Chkir, for personal reasons.

Posters were also brought about water losses in an Algerian dam (H.N.E. Benfetta) and geomorphology-based analysis of river flow (H. Boudhraa; S. Chargui).

All speakers kept in mind the general theme of the side event. Their communications covered a very large range of space and time but they all showed a neat homogeneity of trends affecting the Mediterranean region.

Some preliminary conclusions

The interest of many research teams and other structures for this meeting showed the need for a greater dissemination of information and a more active collaboration between specialists of the Mediterranean hydrology to face regional stakes of economic and social development respecting environmental constraints. In a very friendly atmosphere, the side event highlighted that many African scientists wish to compensate a relative loneliness in their national structures by a greater insertion in international networks.

The great success of a meeting where English was not mandatory emphasized that the language issue is not that easy. Most scientists understand written English but many of them in semi-arid Africa, north and south of the Sahara, do not feel fluent enough to play their role in the international communication. Even in international agencies that officially consider the cultural diversity, as UNESCO, most of the literature is delivered only in English. A special effort has to be delivered towards French and Spanish speaking countries if we want to really develop the international scientific cooperation.

Follow-up of the event

Soon after the side event, the communications authors were informed of three axes for post-publication that are not exclusive:

- a CD gathering presentations in PDF format,
- the web site of G-WADI (Global Network on Water Resources Management in Arid and Semi-arid Zones),
- a special section in an international journal dealing interested by hydrological changes.

The CD is in progress. Some presentations are still pending but it should be achieved soon.

The two other options are more linked. Hydrological Sciences Journal agreed about the principle of a publication of a selection of papers into a special section of a 2007 issue with several conditions: papers are written and submitted before the end of this year; they will follow the normal process of peer review; only a limited number can be printed. For many reasons, it seems that all participants will not be able to keep in time and to respect the international standards of scientific publication. Communications not published in HSJ could be re-formatted for insertion in the G-WADI web site. This does not imply that HSJ communications cannot appear in the G-WADI website in a condensed way.

As IAHS, the HSJ publisher, is a non-profit scientific organization, they would greatly appreciate a financial support from UNESCO and IRD, either with the insertion of logos on the cover or with the buying of copies of this journal issue. There is no fixed amount for such a co-sponsorship of the special section. This could be for UNESCO and IRD a good return of their efforts at a reasonable price. In this case, the introductory paper of the special section would mention their activities for developing semi-arid hydrology. Guest editors of the HSJ special section will probably be C. Cudennec and myself. Some papers, originally presented in French during the side event, will be written in English.

Christian LEDUC

Hydrogeologist, Research director

UMR G-EAU

IRD - Mission en Tunisie

BP 434 - 1004 El Menzah 4

Tunis, Tunisie

tel (216) 71.750.009 fax (216) 71.750.254

Christian.Leduc@ird.fr

ANNEX A: PROGRAMME OF THE SIDE EVENT

COMMUNICATIONS

- 8h45 Introduction : la coopération scientifique en hydrologie méditerranéenne, au travers de projets et réseaux internationaux**
Christian Leduc
- 9h00 G-WADI – UNESCO's Global network for WAter and Development Information for arid lands.**
Howard S. Wheeler
- 9h15 UNESCO role in sustainable water resources management in the Arab world**
Radwan Al-Weshah
- 9h30 Conférence invitée:
How do hydrological systems (precipitations and deep saline groundwater) work in the Mediterranean coastal plains?**
Gian Maria Zuppi
- 10h La remontée des eaux dans la région de Ouargla (Sud algérien) et ses conséquences**
Larbi Djabri & Imed Eddine Nezli
- 10h15 Apports de l'analyse en ondelettes à la connaissance du fonctionnement d'un système atlasique saharien**
M. Chettih & M. Mesbah
- 10h30 Le rétrécissement du lit de la basse vallée de la Medjerda suite à la construction du barrage Sidi Salem et ses conséquences durant les inondations 2003.**
Yadh Zahar & Jean Albergel
- 10h45 Modélisation de la dynamique fluviale de la Medjerda : impact de l'évolution morphologique du lit sur l'écoulement**
Fethi Lebdi, Mohamed Karim Fdhila & Ali Hzami

CAFE

- 11h30 L'envasement des barrages des régions semi-arides et arides : quelques exemples algériens**
Boualem Remini & Hallouche Wassila
- 11h45 Impacts et efficacité hydrologiques des banquettes**
Slah Nasri, Noamene Baccari & Mohamed Rached Boussema
- 12h Impact des aménagements hydro-agricoles sur la dynamique hydrologique du bassin versant de Chaffar (Sahel de Sfax – Tunisie)**
Najiba Chkir Ben Jemâa
- 12h15 Desertification processes in Almería (South East Spain): causes and effects**
Wenceslao Martín-Rosales, Juan Gisbert Gallego, Antonio Pulido-Bosch & Angela Vallejos Izquierdo
- 12h30 Déséquilibre progressif entre ressources et usages de l'eau en Algérie : cas du bassin de la Seybousse**
Hocine Amarchi, Christophe Cudennec & Mounir Hamami

12h45 Entre tradition et modernité, l'eau au cœur des stratégies de développement durable en zone aride ou semi-aride méditerranéenne
Bruno Romagny

DEJEUNER

14h15 Evolution pluviométrique sur le bassin méditerranéen à partir des scénarios d'émission de gaz à effet de serre traités par les modèles climatiques
Sandra Ardoin-Bardin, Eric Servat, Jean-Emmanuel Paturel & Laurence Casenave

14h30 Analyse spatio-temporelle du gradient pluviométrique tunisien
Mohamed Slimani, Christophe Cudennec & Haïfa Feki

14h45 Impact d'une variabilité pluviométrique potentielle sur les régimes hydrologiques des fleuves
Antoine Hreiche, Wajdi Najem & Claude Bocquillon

15h Evaluation de l'impact de la variabilité pluviométrique et des aménagements de conservation des eaux et des sols sur le bilan hydrologique du bassin du Merguellil (Tunisie centrale)
Ahmadi Kingumbi, Zoubeida Bargaoui, Pierre Hubert, Emmanuel Ledoux & Mustapha Besbes

15h15 Estimation de la recharge de la plaine de Kairouan à partir des fuites du barrage El Haouareb : apport des isotopes stables de la molécules d'eau
Safouan Ben Ammar, Kamel Zouari, Christian Leduc & Jemaiel M'barek

15h30 Variabilité spatiale des flux internes d'une nappe libre surexploitée par mesure de gradients thermiques et géochimiques (Kairouan, Tunisie)
Guillaume Favreau, Badia Z. Chelli, Jamila Tarhouni, Nessim Jebnoun & Monique Oï

POSTERS

Processus d'acquisition du chimisme des eaux : exemple de l'oued Medjerda (Nord-Est algérien)
Imen Guasmi & Larbi Djabri

Les fuites d'eau dans le barrage de Ouizert (Algérie)
H.N.E. Benfetta & B. Remini

Towards net rainfall estimation by inversed geomorphology-based unit hydrograph
Houda Boudhraâ, Mohamed Slimani, Hervé Andrieu, Christophe Cudennec

Robust and versatile accounting for rainfall space-time variability in a geomorphology-based rainfall-runoff modelling
Sameh Chargui, Houda Boudhraâ, Mohamed Slimani, Christophe Cudennec

ANNEX B: ABSTRACTS OF ORAL COMMUNICATIONS

CONFERENCE INVITEE / INVITED CONFERENCE

How do hydrological systems (precipitations and deep saline groundwater) work in the Mediterranean coastal plains

Gian Maria Zuppi

*Dipartimento di Scienze Ambientali, Università Ca' Foscari
Dorsoduro 3246, 30123 Venis, Italie
zuppi@unive.it*

Isotopic data, obtained at the scale of rain events collected during the last decades over peri-mediterranean countries and Central Sahara, allow to define the origin of air masses, and to depict their movements at the continental scale. Isotopic signals suggest that the displacement of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) and the Azores anticyclone control the climatological regime and, consequently, the isotopic composition of rainfall.

The western Mediterranean basin is affected by the displacement of the Azores cyclone or anticyclone. Apart from the topography, important forcing factors for the regional variability of precipitation are:

1. the low pressure systems originating from the Atlantic ocean, moving towards South-East,
2. the low pressure systems originating from Maghreb, moving towards North or North-East and
3. the cyclonogenesis over the Lion - Genoa Gulf.

These factors are the consequence of the northward or southward Azores anticyclone movements modulating rainfall on the Sahara desert. The temperate regions of the north Mediterranean countries experience summer climates with precipitation, originated essentially by continental moisture. On the contrary, winter air masses move eastward, favoured by low pressure on the Mediterranean basin. The European regions receive the majority of the precipitation during winter from westerly cyclonic disturbances. Moreover, air masses crossing the Mediterranean sea, pick up moisture, which modifies and, thus, characterises the meteoric isotopic signal.

The difference in isotopic signals, associated to the Azores anticyclone displacement, is confirmed by the deuterium excess and by the large seasonal variation in altitude gradients. Three main areas of water vapour sources are: Subtropical Atlantic, North Atlantic and Afro-Mediterranean, depending on the Azores cyclone displacement.

Hydrogeological and hydrochemical conditions of several coastal and inland aquifers around Mediterranean Sea are studied in the last decennia for their critical role in water resources. A general deterioration of water quality in aquifers have been observed due to freshwater salinization. The hydrogeological and hydrochemical informations suggest that the sources of salinization are generally the aquifer overexploitation. The degree of deterioration in terms of the decline in piezometric head and the contamination of groundwater by salt varies depending on the geographical locations and geological configurations. Salinization of coastal aquifers is a global phenomenon that endangers present and future utilization of groundwater resources, particularly in arid and semiarid zones. Effects salinization comprehension is crucial for water management in regions where groundwater is a diminishing resource and where its availability and quality control the future urban, agricultural and, consequently, economic development.

The determination of the origin of the salinity in the superficial aquifer and the understanding of its hydrogeological and geochemical behaviours related to severe natural and anthropic

constraints, were approached by the combined survey of some dissolved ions (especially the conservative elements: Br^- and Cl^-), and by oxygen-18 and by deuterium the stable isotopes of water molecules. These 'tracers' indicate that: (1) the present recharge during rainwater infiltration brings downward a high content of anthropic signals and other superficial dissolved salts; (2) two other sources of dissolved salts in groundwater exist, favoured by the intensive exploitation of the phreatic aquifer. The first one is due to mineralised water uprising from a deep and confined aquifer. The sea intrusion is the second source of salinity.

Saline groundwater from the coastal aquifer, analyzed for their radiocarbon and tritium content to assess the origin of their salinity, indicate an apparent non-recent seawater source or water-rock interactions along the underground flow. The process is supported by measurable tritium values at some sites, which imply a relatively rapid rate of recent freshwater mobilizing trapped in the brines or salt deposits. In other sites, low tritium values (<2 T.U.) indicate that recent seawater does not penetrate inland. The depleted $\delta^{13}\text{C}$ composition of saline groundwater (between -5.0‰ to -10‰ versus 0‰ in seawater) indicate that the dissolved carbon pool consist of a significant fraction of organic carbon. The negative linear correlation between $\delta^{13}\text{C}$ and ^{14}C implies that this organic source is old.

Geochemistry indicates that these are marine waters, evaporated to the stage of gypsum precipitation, trapped at the bottom of the basin in early Pliocene or late Messinian. The mobility of these brines is restricted because of their high density. Nevertheless, natural out-flows of brackish waters are observed, especially in relationship with tectonic features, such as buried and outcropping thrust faults. Saline waters are brought to the surface either by infiltrating meteoric waters, that can partially leach the upper part of the brines, or by the compressive forces acting along the orographic margins, squeezing the brines out from the sediments.

This broad reconstruction does not take into account the local disturbances associated with the intense exploitation of deep groundwaters for domestic or industrial purposes and sometimes also for methane or oil extraction. Human-induced perturbations are a serious problem in the region. Human activities have lowered the pore-water overpressure in depth and are now considered to be responsible for the increase in subsidence of the plain and the pollution of coastal aquifers by present sea water. The deep brines represent the base level of the Quaternary aquifer located in the thick clay-sand layer sedimentary sequence.

**G-WADI – UNESCO's Global network
for WATER and Development Information for arid lands.**

Howard S. Wheeler

*Imperial College of Science, Technology and Medicine
London, SW7 2BU, United Kingdom
Tel: (+44) 2075946066, Fax: (+44) 2075941511
h.wheater@imperial.ac.uk*

Arid and semi-arid regions face immense pressures to deliver and manage freshwater resources. Problems are exacerbated by population growth, expansion of agricultural activities and agricultural/urban pollution. Water stress, over-abstraction of groundwater, salinisation and desertification are common problems. However, although the scientific understanding of arid areas is poor, it is developing rapidly, new tools and management information are becoming available and there is extensive experience of water management, both of the application of new scientific and technical knowledge to mitigate against water scarcity and the reapplication of traditional technologies to conserve water. UNESCO has therefore established a global network for the exchange of knowledge and information. Its aims are to promote:

- improved understanding of the special characteristics of hydrological systems in arid regions
- awareness of the potential of new technologies for data provision, data assimilation and system analysis
- the development and use of appropriate decision support tools for integrated basin management
- the exchange of management experience, for example through case studies
- the exchange of data
- the broad dissemination of understanding of these systems and their integrated management to stakeholders and the general public

This paper reviews the activities and products of the G-WADI programme to date, highlights the need for appropriate modelling tools based on improved science to support integrated catchment management, and identifies the challenges associated with assessment of impacts of land use and land management change on water resource availability and management.

UNESCO Role In Sustainable Water Resources Management In The Arab World

Radwan Al-Weshah

*Hydrology Programme, UNESCO Cairo Office
8 Abdel Rahman Fahmy Street, Garden City, Cairo 11541, Egypt
Tel: (+20) 2 794 5599, Fax: (+20) 2 794 5296
R.Weshah@mail.unesco.org.eg*

Most of the Arab countries are located in arid and semi-arid zones known for their scanty annual rainfall, very high rates of evaporation and consequently extremely insufficient renewable water resources. Sustainable Management of Water resources is a must as water scarcity is becoming more and more a development constraint impeding the economic growth of many countries in the region.

The International Hydrological Program of the UNESCO (IHP) is a vehicle through which Member States can upgrade their knowledge of the water cycle and thereby increase their capacity to better manage and develop their water resources. It aims at the improvement of the scientific and technological basis for the development of methods for the rational management of water resources.

In UNESCO, current concentration areas of IHP in the Arab Region are groundwater protection through the Arab Network on Groundwater Protection and integrated water resources management with special emphasis on Wadi Hydrology. A recent efforts are concentration on the concept of ecohydrology linking water and its supporting ecosystem. These concentration areas are selected during the regional meeting of Arab IHP National Committees, held each biennium. Activities in the Arab Region include both research, applied training and capacity building.

The sixth phase of IHP (2002-2007) strives to minimizing the risks to vulnerable water resources systems, taking fully into account social challenges and interactions and developing appropriate approaches for sound water management. Assessing the global time and space distribution of freshwater availability and use, developing approaches to reduce the vulnerability of hydrosystems and their supporting ecosystems and improving water resources management for vulnerable areas are among the main objectives. Capacity-building and water education and training, as well as institutional development (with emphasis in the use of information and communication technologies for water resources research and training) are reinforced, and the social and ethical views of water users are incorporated into the development of conflict prevention and resolution.

Many extra budgetary projects are initiated in UNESCO Cairo Office: the UNESCO/Flanders Funds-In-Trust Project on "Capacity Building and Training on Environmental Planning and Management" in Palestine. A FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data Sets) Project for the river Nile is recently launched. FRIEND is one of IHP's success stories which is considered as a cross-cutting theme in IHP-VI. The FRIEND/Nile project has selected various research projects, being carried out by research groups with members of all riparian Nile basin countries.

The urgent need for comprehensive assessment of the world's freshwater has been emphasized by the UN Commission on Sustainable Development. It urged a collective initiative to this effect. This led to the launch of the UN system-wide World Water Assessment Programme (WWAP) led by UNESCO, which aims to improve the assessments of the state of world water resources and their response to the pressure posed by escalating human demands,

Conférence Scientifique Internationale "L'avenir des terres sèches" (Tunis, 19–21 Juin 2006)
**Session "Changements hydrologiques en zones arides et semi-arides sous influences climatique et anthropique :
cas du bassin Méditerranéen", 21 Juin**

as well as by factors related to global change. UNESCO is a lead agency in the decade of water for life 2005-2015 and Cairo Office will be instrumental in implementing this them in the Arab Region.

Therefore, UNESCO Cairo Office is implementing efficiently the themes of the IHP relevant to the Arab Region. It is taking the lead in groundwater protection and dryland hydrology through several concentration areas of groundwater protection and integrated water resources management in drylands. UCO is a co-founder of the global G-Wadi network. A new concept of the ecohydrology of dry lands is an emerging topic to ensure linkage between hydrology and environment in the arid region. Most recently, UNESCO Cairo Office has launched the Arab Network on Water use Ethics, focusing on issues related to water interactions with society, culture, and other stakeholders. Our strategy is to consolidate efforts of various national, regional and international agencies in these areas to address these themes. Human resources development and capacity building has been a prime objective of UCO activities. UCO is actively following the UNESCO approach of result based management in all its activities.

L'envasement des barrages des régions semi-arides et arides : quelques exemples algériens

Boualem Remini¹ & Hallouche Wassila²

¹ *Université Saad Dahlab, Blida, Algérie*

Tel/Fax : (+213) 25 43 39 40, reminib@yahoo.fr

² *Lab. Eau– Roche–Plante, Centre Universitaire Khemis, Miliana, Algérie*

En Algérie, dans les régions semi-arides, le taux d'érosion spécifique des bassins versants est généralement très élevé et les quantités transportées sont extrêmement variables suivant les dispositions des bassins versants (les pentes des rives ; l'état de la végétation...). L'importance de l'envasement des barrages est défini par le taux d'érosion, il peut atteindre la valeur de 5000 t/km².an comme le cas du bassin versant de Oued Agrioum à l'amont du barrage d'Ighil Emda. Ces quantités des sédiments sont transportées par les cours d'eau pendant les crues, variant de 50 à 150 g/l avec des valeurs maximales dépassant même 500 à 600 g/l. Cette forte concentration en particules fines dans les oueds provoque l'apparition des courants de turbidité à l'entrée des retenues en périodes de crues. Cette étude s'est limitée à l'étude de l'envasement les barrages situés dans les zones arides et semi-arides, de l'Algérie. Le choix de ces sites est justifié par leurs fort taux d'envasement annuel et surtout, ils sont menacés de comblement total si, des dispositions de dévasement ne seront pas prises à court terme. Nous examinons un constat sur la problématique de ce phénomène et la formation des courants de turbidité dans les retenues. Nous traitons ensuite, les différentes solutions proposées et les soutirages des courants de turbidité pratiqués au niveau de ces barrages.

La remontée des eaux dans la région de Ouargla (Sud algérien) et ses conséquences

Larbi Djabri¹ & Imed Eddine Nezli²

¹ 11, Rue Asla Hocine, Annaba, Algérie
Tel : (+213) 38 87 14 48, djabri_larbi@yahoo.fr
² Université de Ouargla, Algérie

Au cours des dernières années la remontée des eaux enregistrée au niveau de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued Mya (Ouargla) dans le sud algérien a mis à nu les carences d'un mode de gestion. En réalité ces eaux usées d'ordinaires évacués sont revenus au niveau des nappes. Ce retour a engendré une pollution des eaux, cette dernière s'est caractérisée par un accroissement des conductivités se traduisant donc par une salinité importante des eaux ce qui rend les eaux cette nappe inutilisable. En outre les analyses réalisées montrent un excès de fluor dans les eaux, les teneurs obtenues atteignent les 6.5mg/l, pouvant affecter la santé des citoyens. La description des formations géologiques et en l'absence de l'affleurement de formations tel que le phosphate laisse supposer une origine anthropique du fluor.

En effet les habitants de la région consomment beaucoup de thé et de dattes considérées comme très riches en fluor, ce qui explique la présence du fluor dans les eaux de la nappe phréatique qui reste contaminée par les eaux usées.

Le fluor en excès ou en déficit expose les consommateurs de ces eaux aux maladies tel que les caries dentaires, fluorose dentaire ou fluorose osseuse. Les enquêtes réalisées sur le terrain ont surtout montré que les habitants ne consommés pas les eaux de la nappe phréatique par contre les eaux des nappes des sénonien (1.0mg/l), du moi-pliocène(1.2mg/l) et de l'Albien (0.68mg/l) ne présentent pas de risque sur la santé.

**Evaluation de l'impact de la variabilité pluviométrique
et des aménagements de conservation des eaux et des sols
sur le bilan hydrologique du bassin du Merguellil (Tunisie centrale)**

Ahmadi Kingumbi^{1*}, Zoubeida Bargaoui¹, Pierre Hubert²,
Emmanuel Ledoux² & Mustapha Besbes¹

¹ *Laboratoire de Modélisation en Hydraulique et Environnement (LMHE), ENIT, Tunisie.*

² *Ecole des Mines de Paris – C. I. G., Fontainebleau, France.*

** BP 37 Le Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie,*

Tél : (+216) 22 660 376, Fax : (+216) 70 860 396, kingumbi@yahoo.fr

Le bassin versant de l'oued Merguellil (1200 Km²) se situe en Tunisie centrale et a été contrôlé par le barrage d'El Haouareb depuis 1989. Cette région est caractérisée par un climat semi-aride, intermédiaire entre le nord sub-humide et le sud de la Tunisie aride. Ce bassin a été l'objet de plusieurs aménagements de conservation des eaux et des sols dès le début des années 1960 mais dont le rythme d'implantation ne s'est accéléré que vers le milieu des années 1980. Ces aménagements, qui couvrent actuellement presque ¼ de la superficie du bassin, sont classés en deux catégories : les aménagements des versants constitués essentiellement de banquettes (200 Km²) et les aménagements du réseau hydrographique constitués principalement de retenues collinaires drainant une superficie d'environ 170 Km². Quatre systèmes aquifères interconnectés, qui s'étendent sur environ 600 Km² de superficie, constituent les principaux réservoirs souterrains en relation avec l'oued Merguellil. D'importants prélèvements, qui n'ont cessé de progresser depuis le début des années 1970, sont effectués dans ces aquifères pour l'alimentation en eau potable, l'utilisation agricole et l'industrie touristique. Ces prélèvements ont provoqué d'importantes baisses piézométriques qui ont atteint dans deux zones 30 m de rabattement. La pluviométrie annuelle est habituellement comprise entre 200 et 500 mm, mais deux années exceptionnellement pluvieuses (1969/70 et 1989/90) ont marqué l'historique pluviométrique de ces quatre dernières décennies. Les apports moyens interannuels aux stations de Haffouz (675 km²) et Sidi Boujdaria (890 Km²) ont été estimés respectivement à 16.7 et à 32 millions de m³ (sur la période 1974-1982), alors qu'une étude récente a estimé les apports moyens interannuels au barrage d'El Haouareb à seulement 23 millions de m³ entre 1989 et 1998. Deux facteurs peuvent avoir contribué à la baisse des écoulements : d'une part une éventuelle diminution des précipitations et d'autre part l'action anthropique matérialisée par les différents travaux de conservation des eaux et des sols qui auraient pour conséquence la réduction du ruissellement de surface. L'investigation sur la première hypothèse a été effectuée par une étude de la variabilité interannuelle des pluies journalières (entre 1950 et 1998) à l'aide des tests et procédures statistiques de détection des changements. On trouve que les distributions de probabilité des pluies journalières supérieures à 30 mm, aux différentes stations, sont statistiquement différentes entre la période 1976-1989 et les périodes antérieure et postérieure. De même, la surface couverte par les pluies journalières dépassant 30 mm a statistiquement diminué entre 1976 et 1989. Si l'hypothèse de changement peut être retenue pour les distributions des séries des surfaces couvertes par les pluies > 30 mm, le changement aurait eu lieu en 1976. Nous investiguons l'effet des aménagements de conservation des eaux et des sols combiné à celui de la variabilité pluviométrique par modélisation hydrologique à travers le Modèle MODCOU qui simule à la fois les écoulements superficiels et souterrains. Le modèle a été calibré sur la période 1970-

1998 alors que sa validation a porté sur la reconstitution de la crue exceptionnelle de l'année 1969. Deux cas de figure ont été considérés : les paramètres du modèle sont invariants dans le temps ou bien les paramètres évoluent dans le temps au fur et à mesure que les aménagements sont mis en place. Une paramétrisation spatio-temporelle de la fonction de production a été considérée en distinguant la nature pédologique des terres et leurs occupations (naturelle et anthropique). Le calage considérant la reconstitution de piézométrie et de l'hydrométrie sur plusieurs sites de mesures (multicritère et multisite), et par la génération stochastique des solutions candidates, a été effectué.

Les performances du modèle incluant une dynamique des paramètres sont nettement supérieures à celles obtenues en considérant des paramètres stationnaires, pour le même jeu d'entrée (pluie, température).

Les solutions (dans la version avec paramètres variables dans le temps) qui donnent une bonne reconstitution des historiques hydrométriques et piézométriques ont été retenues et analysées à l'aide des mêmes tests et procédures statistiques que ceux utilisés pour les séries pluviométriques sur la période 1970-1998. En effet, ces tests ont été appliqués sur la moyenne des sorties simulées issue des meilleures solutions retenues. Il en ressort que les écoulements simulés connaissent une rupture de moyenne en 1976, ce qui corrobore le changement identifié dans les grands événements pluviométriques (> 30 mm). Cependant, la contribution du ruissellement simulé dans l'écoulement montre deux ruptures en 1977 et en 1989 : deux périodes durant lesquelles cette contribution est relativement plus importante (1970-1977 et 1989-1998) séparées par une période dans laquelle elle est sensiblement plus faible (1977-1989). D'autre part, la contribution du débit de base simulé dans l'écoulement connaîtrait deux dates de ruptures (1977 et 1989) qui donnent deux périodes déficitaires (1970-1977 et 1989-1998) encadrant une période excédentaire (1977-1989). Ainsi, malgré une certaine reprise pluviométrique sur la période 1989-1998, la baisse de la réponse du bassin du Merguellil enregistrée à partir de la mise en eau du barrage d'El Haouareb (1989) serait essentiellement due à la baisse de la contribution du débit de base aux écoulements. Cette baisse, en relation avec le niveau piézométrique, serait consécutive à une action conjuguée d'une période sèche relativement longue (1976-1989) et d'une augmentation des prélèvements dans les nappes sur la période.

Estimation de la recharge de la plaine de Kairouan à partir des fuites du barrage El Haouareb : apport des isotopes stables de la molécule d'eau

Safouan Ben Ammar^{1,2}, Kamel Zouari², Christian Leduc³ & Jemaiel M'barek⁴

¹ Centre National des Sciences et Technologies Nucléaires, 2020 Sidi Thabet, Tunisie
safouan_ammam@yahoo.fr

² Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement, E.N.I Sfax, BP W 38 Sfax, Tunisie

³ IRD, UMR G-EAU, BP 434, 1004 El Menzah 4, Tunis, Tunisie

⁴ Société Nationale d'Exploitation et de Distribution des Eaux, 23 rue J. Nehru, Montfleury, 1008 Tunis, Tunisie

La nappe de la plaine de Kairouan est l'un des plus importants aquifères de la Tunisie centrale. De part sa situation en zone semi-aride, l'alimentation de cet aquifère était tributaire des apports des oueds Zeroud et Merguellil. Depuis la construction des barrages Sidi sâad sur le Zeroud et El Haouareb sur le Merguellil, le régime naturel de recharge de la nappe a été bouleversé. Barrage El Haouareb, objet de la présente étude, est construit au niveau d'un seuil hydraulique favorisant la communication entre les nappes d'Ain el Beidha (bassin amont) et de la plaine de Kairouan (bassin aval). Lors de sa construction des fuites non maîtrisées se présentant sous forme d'émergences karstiques sont apparues au niveau de l'appui droit du barrage mettant à nu le seuil hydraulique. Les eaux du barrage se perdent alors par infiltration (63 %) et par évaporatoire (25 %). Les eaux de la retenue du barrage s'infiltrent dans la formation karstique, se mélangent avec les eaux souterraines en provenance de Ain El Beidha et se déversent dans la plaine de Kairouan pour y s'infiltrer de nouveau.

La caractérisation isotopique des eaux des différents compartiments hydrologiques (barrage, nappe de Ain el Beidha et la nappe de la plaine Kairouan) a permis une meilleure compréhension des nouveaux processus de recharge de la plaine de Kairouan à partir des fuites du barrage qui viennent se substituer aux processus naturels. Les données en références proviennent de plus d'une soixantaine de points d'eau des deux bassins et du barrage (retenue et émergences) acquises entre 1997 et 2000.

Le traçage au moyen des isotopes de la molécule (¹⁸O, ²H et ³H) d'eau montre que les émergences en aval du barrage présentent un mélange entre les eaux de déversement d'Ain el Beidha et celles du barrage. Les bilans isotopiques ont permis d'estimer la participation des eaux du barrage à ce mélange entre un et deux tiers selon la période d'échantillonnage. La signature isotopique des eaux souterraines à l'aval du barrage suggère une recharge active à partir des émergences bien marquée sur environ 3 Km et une contamination à partir des eaux évaporées du barrage atteignant 7 Km.

Impact d'une variabilité pluviométrique potentielle sur les régimes hydrologiques des fleuves libanais

Antoine Hreiche, Wajdi Najem & Claude Bocquillon

*CREEN, ESIB, Université Saint Joseph, BP 11-0514 Riad-el-Solh, Beyrouth, Liban
antoine.hreiche@fi.usj.edu.lb*

L'alimentation en eau des agglomérations et des périmètres irrigués au Liban dépend pour une large part des fleuves, dont le régime est pluvio-nival. Un changement climatique aurait un effet notable à la fois sur l'écoulement annuel total, mais aussi sur le régime des débits, en particulier sur la sévérité des étiages. Les conséquences d'un éventuel changement dans la structure stochastique de la pluie ont été analysées au moyen des simulations obtenues avec un modèle de transfert pluie-débit soumis à divers scénarios. Le modèle pluie-débit utilisé est le modèle conceptuel journalier MEDOR, spécifiquement adapté aux conditions climatiques régionales méditerranéennes, caractérisées par une forte alternance saisonnière. La pluie est modélisée par un modèle de renouvellement alterné dépendant de 3 variables saisonnières. Les caractéristiques de débit analysées sont: l'écoulement annuel moyen, les quantiles des débits, la répartition mensuelle, la durée des étiages. Une analyse de sensibilité de ces caractéristiques a été faite avec diverses hypothèses de changement: diminution d'un facteur constant de la pluie, modification de la durée de la saison pluvieuse, élévation de la température. Les résultats obtenus montrent une faible sensibilité à la structure stochastique journalière de la pluie, et une grande sensibilité aux totaux mensuels de pluie et à la durée de la saison pluvieuse.

Apports de l'analyse en ondelettes à la connaissance du fonctionnement d'un système atlasique saharien

M. Chettih¹ & M. Mesbah²

¹ *Laboratoire de recherche en Génie Civil, Université de Laghouat, BP 37. G 03000, Laghouat, Algérie
m.chettih@mail.lagh-univ.dz*

² *Département de géologie, F.S.T. G.A.T, U.S.T.H.B., B.P. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.*

Les formations gréseuses mésozoïques représentent les aquifères les plus importants de l'Atlas Saharien et constituent des systèmes aquifères hétérogènes complexes à multiple porosité induisant souvent une spécificité de structure et de fonctionnement.

Les analyses préliminaires (débits classés, courbes de récession) ont montré que les systèmes atlasiques possèdent des réseaux de drainage très développés, mais une zone noyée à faible volume dynamique. Les paramètres d'ajustement déterminés traduisent en général le caractère bien drainé pour les différents systèmes étudiés, et l'importante organisation structurale des aquifères. Les systèmes sont classés dans la catégorie des systèmes évolués et donc de faibles réserves.

Les analyses corrélatoire et spectrale ont montré une très faible mémoire des systèmes, et une réponse impulsionnelle très courte attribuée principalement à la structure très développée de l'aquifère et à son degré d'organisation. Le comportement hydrodynamique du système atlasique, montre une forte dépendance des réserves de l'aquifère vis-à-vis des précipitations dont la répartition dans le temps est très hétérogène et discontinue.

L'analyse du bruit a permis de montrer que le signal de sortie est non-gaussien, sa variance est également caractérisée par une forte variabilité des moments dès l'ordre 2. La fonction cohérence du système indique des non-linéarités fortes. Le système possède donc l'ensemble des non-propriétés, il est non-stationnaire et non-linéaire. C'est pourquoi d'ailleurs que de nouvelles voies ont été explorées.

Les spectres en ondelettes de Morlet, à petites échelles, des précipitations et des débits ont permis de mettre en évidence des processus à hautes fréquences présentant une forte variabilité temporelle moins visibles pour les débits. Cependant, l'influence des crues s'étend profondément sur la gamme des échelles. Ceci est révélateur à court terme d'un comportement de système évolué et bien drainé. A grande échelle, les spectres révèlent la présence de certains processus bien localisés en temps, correspondant à des processus multi-annuels similaire à l'effet Joseph. Par conséquent, il apparaît clairement que les processus débits sont des processus non-stationnaires dont la distribution varie temporellement à toutes les échelles.

Les analyses multirésolution en ondelettes de Daubechies ont montré une répartition non uniforme dans le temps est à travers les échelles à court et à moyen terme. Certains niveaux ont permis de mettre en évidence un processus multi-annuel. L'analyse multirésolution croisée a permis l'identification de deux composantes aux comportements caractéristiques correspondant à des hétérogénéités hydrodynamiques. Elle a montré également que les systèmes aquifères atlasiques sont très peu sensibles aux fluctuations des précipitations pour les courtes périodes, mais, les phénomènes pluri-annuels les influencent fortement.

Desertification processes in Almería (South East Spain): causes and effects

Wenceslao Martín-Rosales¹, Juan Gisbert Gallego², Antonio Pulido-Bosch²
& Angela Vallejos Izquierdo²

¹ *University of Granada, Department of Geodynamic, E-18190 Granada, Spain
Tel: (+34) 958248083, Fax: (+34) 958248527, wmartin@ugr.es*

² *University of Almeria, Department of Hydrogeology, E-04120, Almería, Spain
Tel: (+34) 950015989, Fax: (+34) 950015465, apulido@ual.es, jgisbert@ual.es*

The South-East of Spain is one of the areas within the Mediterranean Basin where climatic variability, topographic heterogeneity and intense anthropogenic pressure on the environment means that the management of water resources is especially difficult. An example of this occurs in the western part of the province of Almería. This is the most arid area of Spain, and an area where human activity over time has provoked various desertification processes, each with distinct environmental impacts. Deforestation of the mountains from the seventeenth to the nineteenth century, which led to the most significant impacts, was basically motivated by an increase in population associated with the intense mining activity that made Almería one of the most important markets in the world at that time. During the twentieth century the mining resources were exhausted and so the activity was abandoned. This abandonment coincided with a peak in the cultivation of crops grown under plastic (25,000 ha), which in turn has created impacts on other elements of this fragile ecosystem (principally in the aquifers). This study examines the principal causes and effects of the desertification in this area using historical, physical, socio-economic and hydrological data. It is shown that this semi-arid corner of the Mediterranean Basin has again become one of the largest markets in the world, though this time in an activity other than mining. Whilst the environmental impacts induced are also distinct, the end result in both cases has been a serious degradation in the state of the environment.

Variabilité spatiale des flux internes d'une nappe libre surexploitée par mesure de gradients thermiques et géochimiques (Kairouan, Tunisie)

Guillaume Favreau¹, Badia Z. Chelli², Jamila Tarhouni³,
Nessim Jebnoun^{1,4} & Monique Oï¹

¹ IRD, Mission en Tunisie, BP 434, 1004 El Menzah 4, Tunis, Tunisie
guillaume.favreau@ird.fr

² CRTE, Borj Cedria, BP 273, Soulimène 8020, Tunisie

³ INAT, Lab. STE, 43 Av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie

⁴ FST, Tunis, Tunisie

L'aquifère libre de la plaine de Kairouan constitue le plus important réservoir aquifère de la Tunisie centrale. Dans cette région à climat méditerranéen aux précipitations irrégulières, cette ressource en eau souterraine est depuis de nombreuses années surexploitée, avec une chute pluri-décamétrique des niveaux statiques.

En régime naturel, l'aquifère était rechargé, de manière épisodique mais importante, par infiltration des eaux de crues des oueds parcourant la plaine ; la décharge de l'aquifère s'effectuant, à l'aval, par évapotranspiration au droit de large sebkhas. Depuis plus d'une dizaine d'années, ce régime naturel est bloqué par de nombreux barrages et retenues collinaires à l'amont du bassin. La recharge n'intervient plus que suite à des lâchers épisodiques des barrages, auxquels s'ajoutent de faibles flux latéraux en provenance d'aquifères adjacents. L'augmentation simultanée des pompages ainsi que la multiplication des forages ont ainsi résulté en une baisse importante du niveau de la nappe, dont l'exhaure apparaît de plus en plus coûteuse.

Une gestion à long terme de cette ressource en eau partagée implique une modélisation des flux hydrique basée sur une connaissance fine des processus, qu'ils soient externes (recharge/décharge) ou internes (3D) à l'aquifère. Jusqu'à présent, les méthodes géochimiques et hydrodynamiques appliquées pour contraindre le bilan de la nappe ont permis de mettre en évidence des phénomènes de recharge localisés (oued, barrage), avec à plus large échelle des flux latéraux (2D) dominants.

Des profils de salinité sur une trentaine de piézomètres, souvent crépinés plusieurs dizaines de mètres sous le niveau statique, ont été comparés au chimisme de puits situés à proximité immédiate, aux crépines plus superficielles. Cette comparaison a révélé une hétérogénéité chimique verticale de la nappe localement importante. A l'échelle de la première centaine de mètre de l'aquifère, les eaux ne montrent cependant pas de gradient de minéralisation évident. Ceci témoigne de flux complexes, avec des temps d'interaction eau - roche variables avec la profondeur.

Des mesures fines des gradients thermiques sur ces mêmes piézomètres, sur des colonnes d'eau de plusieurs dizaines de mètres, ont révélé une hétérogénéité forte des flux. Partout, une composante verticale des flux hydriques a pu être mise en évidence. Les gradients mesurés montrent en majorité des valeurs positives avec la profondeur, en moyenne plus faible (+0.018°C/m) que le gradient géothermique local (+0,029°C/m). Ceci témoigne de flux à composante verticale descendante, d'intensités variables. A l'amont de la plaine, plusieurs gradients négatifs témoignent de flux ascendants d'eaux relativement plus fraîches. En accord avec l'interprétation isotopique effectuée de manière indépendante, ces gradients inverses témoignent d'une recharge artificielle par les barrages situés à l'amont.

Evolution pluviométrique sur le bassin méditerranéen à partir des scénarios d'émission de gaz à effet de serre traités par les modèles climatiques

Sandra Ardoin-Bardin, Eric Servat, Jean-Emmanuel Paturel & Laurence Casenave

*UMR HydroSciences Montpellier, CNRS – IRD – UM1 – UM2, Université Montpellier 2,
Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5, France
ardoin@msem.univ-montp2.fr*

Dans une première partie on présentera des éléments généraux sur les modèles climatiques retenus dans le cadre des études menées au sein de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Ces modèles constituent une référence pour étudier l'évolution du climat dans les décennies à venir. On complètera cette présentation par une description des scénarios d'émission de gaz à effet de serre utilisés pour simuler le changement climatique à échéance moyenne et longue.

Dans le cadre de l'étude entreprise, seuls certains modèles et certains scénarios ont été retenus à partir de critères fondés sur : (i) la disponibilité de données observées sur les périodes de simulation de manière à pouvoir juger de la qualité des séries générées par les algorithmes, (ii) le fait qu'un scénario donné soit disponible et utilisable avec plusieurs des modèles sélectionnés de façon à autoriser les comparaisons.

Dans la seconde partie de l'étude on se livrera à une évaluation des résultats fournis par les différents modèles utilisés avec les scénarios disponibles qui leur correspondent. Cette appréciation des performances repose sur la comparaison des données observées et des données générées à des pas de temps annuel et saisonnier. La conclusion principale souligne une certaine disparité en ce qui concerne la capacité des algorithmes utilisés à reproduire la réalité observée. Cette partie de l'étude montre également les différences qui sont attendues entre les diverses régions du bassin méditerranéen pour ce qui est de l'évolution de leurs précipitations.

Une dernière partie de l'étude présentée est consacrée au devenir des précipitations pour les décennies à venir. Celui-ci est étudié sur la base des variations attendues aux trois horizons définis par l'IPCC (2020, 2050, 2080) pour chacune des cellules qui constituent le maillage du bassin méditerranéen. Ces ratios de variations sont calculés pour l'ensemble des possibilités offertes par les combinaisons modèle climatique / scénario de gaz à effet de serre.

La conclusion de cette étude met en avant la grande variabilité des résultats actuellement disponibles en ce qui concerne l'évolution de la pluviométrie sur le bassin méditerranéen au cours du 21^{ème} siècle.

**Le rétrécissement du lit de la basse vallée de la Medjerda
suite à la construction du barrage Sidi Salem
et ses conséquences durant les inondations 2003**

Yadh Zahar¹ & Jean Albergel²

¹ *Université Tunis-Manouba, Tunisie
Yadh.Zahar@flm.rnu.tn*

² *IRD, UMR LISAH, Montpellier, France*

Depuis l'aménagement du barrage de Sidi Salem en 1981, sur le cours moyen de l'oued Medjerda, on assiste à un rétrécissement alarmant du lit dans la basse vallée. Ce rétrécissement, est la conséquence directe du barrage, du fait de la diminution sensible des écoulements les plus forts qui permettaient le curage du lit régulièrement. Des évacuations d'eau très concentrée sont régulièrement effectuées pour limiter l'envasement de la retenue du barrage. Elles sont à l'origine de dépôts de sédiments dans le lit de la rivière dans toute sa basse vallée. D'autres aménagements hydrauliques moins importants exagèrent également la perte de vitesse de l'eau dans cette basse vallée : série de seuils en bétons installés pour faire remonter le niveau de l'eau, gestion du barrage le plus en aval de Laroussia régulant les débits du canal du Cap Bon, multiplication des ponts de franchissement. Toutes ces raisons associées à des conditions topographiques marquées par une très faible pente générale, et par un profil du cours d'eau très sinueux ont conduit à un colmatage du lit extrêmement rapide. Ce colmatage a été à l'origine d'inondations catastrophiques en 2003. Il est désormais la cause de débordement et d'inondation plus fréquents provoqués par des débits lâchés de moyenne importance comme ceux de 1996, 1997, 2000, 2003 et de 2004.

Ce travail analyse ce processus de colmatage du lit aval de cet oued et montre ses conséquences sur les crues fortes que le barrage ne peut pas complètement contrôler.

Déséquilibre progressif entre ressources et usages de l'eau en Algérie : cas du bassin de la Seybousse

Hocine Amarchi¹, Christophe Cudennec² & Mounir Hamami³

¹ Université de Annaba, Département d'hydraulique, BP 12, 23000 Annaba, Algérie
amarchihocine@yahoo.fr

² IRD, UMR G-EAU, Tunis, Tunisie

³ Université de Skikda, Département de Genie Civil, 21000 Skikda, Algérie

Selon les conférences internationales de Paris (mars 1998), de la Haye (mars 2000), de Bonn (décembre 2001) et les travaux du 3ème Forum Mondial de l'eau (Kyoto), le manque d'eau est un problème majeur dans nombre de pays du monde. D'ici 2025, la situation deviendra critique dans certains pays si la demande ne diminue pas et les ressources non conventionnelles ne sont pas maîtrisées.

L'Algérie est, dans son ensemble, particulièrement concernée par cette question et la prise de conscience nationale est amorcée. Le climat semi-aride à aride, associé aux spécificités du milieu physique, engendre des ressources limitées et très variables dans l'espace et le temps. L'organisation géographique des activités humaines génère quant à elle une hétérogénéité des besoins en eau et donc de la pression exercées sur les ressources.

A partir d'une collecte de données variées sur une longue série d'années, nous avons étudié les dynamiques climatique et démographique du bassin versant de la Seybousse (Est algérien) afin de caractériser la situation actuelle de la relation ressources-usages, et l'historique de sa mise en place. La confrontation entre les volumes alloués et les besoins en eau en rapport avec le développement socio-économique a fait ressortir une insuffisance importante et un déficit considérable dans la dotation et la distribution des eaux, pour l'ensemble du bassin versant ; qui se décline selon une organisation amont-aval.

Impacts et efficacité hydrologiques des banquettes

Slah Nasri¹, Noamene Baccari^{1,2} & Mohamed Rached Boussema²

¹ Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF), Tunisie
nasri.slah@iresa.agrinet.tn

² Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Informations à Référence Spatial,
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis (ENIT), BP 37, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie

Les banquettes anti-érosives représentent l'aménagement de conservation des eaux et du sol le plus répandu en Tunisie centrale. Actuellement plus d'un million d'hectare de terres agricoles sont aménagées en banquettes mécaniques. Ces aménagements, en milieux semi-arides, sont destinés à lutter contre l'érosion hydrique des sols, retenir les eaux de ruissellement et favoriser l'infiltration sur les versants. Cependant, à l'échelle élémentaire et à l'échelle du bassin versant, l'impact sur l'écoulement et l'érosion de ce type d'aménagement reste mal connu. De même l'efficacité de ces aménagements, au fil des années de leurs édification, n'a jamais fait l'objet de suivi et d'étude.

Entre juin 1996 et juillet 1997, le bassin versant d'El Gouazine, situé à environ 15 km de la ville de Ousseltia en Tunisie centrale, a été aménagé en banquettes mécaniques sur environ 43% de sa superficie (1800 ha). Dès lors, au niveau du lac collinaire à l'exutoire du bassin versant, les apports d'eau ont été réduits jusqu'à 80%, les coefficients de ruissellement enregistrés ont été très faibles (<9%). De même, le taux spécifique de l'envasement du lac est passé de 1,55 (1996) à 1,1 m³/ha/an (1998).

Dans ce travail, les auteurs ont évalué le fonctionnement hydrique et son impact sur la conservation des eaux et du sol d'un aménagement en banquettes mécaniques réalisé depuis juin 1997 sur un versant de 11,2 ha dans la région d'Ousseltia, en Tunisie centrale. Les mesures topographiques au théodolite laser ont montré que la superficie totale des impluviums des 14 banquettes est de 9,04 ha. La superficie occupée par les banquettes (fossé et talus) est alors égale à 19% de la superficie totale du versant aménagé. La capacité totale actuelle de rétention de toutes les banquettes a été évaluée à 1800 m³, soit l'équivalent d'une lame d'eau ruisselée de 20 mm. Jusqu'en juin 2005, le volume total des sédiments retenus derrière les banquettes a été évalué à environ 800 m³. Les banquettes ont alors perdu 30% de leur capacité de rétention initiale entre juin 1997 et juin 2005. Les pertes des capacités de rétention des banquettes varient entre 10 et 57% de leur capacité initiale en fonction de la pente, de l'occupation des terres, de la taille de l'impluvium et des déversements des autres banquettes à son amont. Les mesures par nivellement du canal de chaque banquette ont montré que le taux de sédimentation varie de 04 à 30 tonnes/ha/an. Sans banquettes, environ 70 tonnes de sédiments arrivent chaque année à l'exutoire du bassin versant tandis que avec banquettes, seulement 8,5 tonnes/an, 88% des sédiments sont donc retenus par les banquettes. Si on considère que la durée de vie d'une banquette correspond au comblement total de son canal par les sédiments, la durée de vie des 14 banquettes est en moyenne égale à 28 ans avec un minimum de 14 ans et un maximum de 79 ans.

Le travail du sol sur l'impluvium, combiné à l'aménagement en banquettes mécaniques, permet de réduire de 90% la lame ruisselée pour les pluies inférieures à 60 mm et de 40 à 70% la lame ruisselée pour les pluies supérieures à 60 mm. Si le bassin versant reste en jachère, les aménagements en banquettes mécaniques permettent de réduire de 50 à 90% la lame ruisselée pour les pluies inférieures à 60 mm et de 20 à 40% la lame ruisselée pour

les pluies supérieures à 60 mm. A l'échelle du versant, les pluies supérieures à 20 mm qui avaient des coefficients de ruissellements de 4% à 30% avant l'aménagement, ont des coefficients de ruissellements qui varient de 1% à 9% après l'aménagement. De plus, les débits de pointe des crues simulées sont réduites jusqu'à 94%. Ainsi, l'aménagement en banquettes a considérablement réduit les ruissellement et le transport solide au niveau de l'exutoire de ce versant.

Toutefois, à partir d'octobre 2000, les apports d'eaux et de sédiments dans le lac ont à nouveau augmenté. Les coefficients de ruissellement ont atteint la valeur de 33% en 2003 et le taux d'envasement a été évalué à 1,46 m³/ ha/an en juin 2005. Ces observations hydrologiques ont incité les auteurs de ce travail à étudier l'efficacité de ces banquettes sur les écoulements et les transports solides. L'exploration sur le terrain a permis d'identifier 116 brèches sur 95 parmi les 439 banquettes réalisées sur le bassin versant d'El Gouazine. Soit une banquette sur quatre a été endommagée. Les causes principales de ces ruptures sont reliées à la non conformité de ces aménagement à la nature du terrain, à la longueur excessive des éléments de banquettes et leur alignement par rapport aux courbes de niveau et au rapport de la capacité de rétention de chaque élément de banquette à la superficie de son impluvium.

Le résultat de ce travail doit servir à améliorer les plans d'aménagement en banquettes des bassins versants dans les zones semi-arides, dans le but d'améliorer l'efficience des banquettes tout en conservant une alimentation hydrique satisfaisante des lacs collinaire.

Analyse spatio-temporelle du gradient pluviométrique tunisien

Mohamed Slimani¹, Christophe Cudennec² & Haïfa Feki¹

¹ INAT, Lab. STE, 43 Av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie

slimani.mohamed@iresa.agrinet.tn

² IRD, UMR G-EAU, Tunis, Tunisie

Le gradient du module pluviométrique annuel est très important du Nord au Sud de la Tunisie (allant de plus de 1000 mm en Kroumirie à quasiment rien dans le Sahara) et correspond à un gradient géographique spectaculaire en termes d'hydrologie, d'écologie et d'adaptations anthropiques. La caractérisation de ces gradients, et de leurs interdépendances, pourrait servir de référence synchronique pour l'étude de changements diachroniques, soit à venir en Tunisie même, soit en d'autres lieux comparables.

Après avoir vérifié la stationnarité passée des normales pluviométriques en Tunisie, nous avons analysé le gradient pluviométrique en termes spatio-temporels via une étude géostatistique des pluies moyennes –annuelles et mensuelles– et fréquentielles. Le variogramme type puissance –révélateur du gradient– modélise les pluies moyennes et fréquentielles, et ce pour la quasi-totalité des mois. Les structures spatiales directionnelles ont permis d'identifier l'origine et la direction du gradient. Une anisotropie, variable en direction et en amplitude selon les saisons, a été mise en évidence.

Ces observations et caractérisations ont été mises en relation avec la géomorphologie du pays. Il s'avère ainsi que le gradient pluviométrique Nord-Sud n'est pas un simple gradient spatial (latitudinal) mais aussi altimétrique. En outre, les caractéristiques spatiales de la pluviométrie dépendent de certains paramètres géomorphologiques régionaux et locaux, de portées importante à relativement limitée. Les premiers paramètres favorisent l'homogénéisation de la variation spatiale de la pluviométrie, tandis que les deuxièmes sont souvent des sources de micro-régionalisation et se manifestent sous forme de pépite dans les variogrammes.

Enfin, du point de vue de la pertinence du réseau d'observation, il apparaît que l'insuffisance et la redondance ne sont pas absolues, mais dépendent des saisons, de la nature de la variable (moyenne, fréquentielle) et de la direction considérée.

Entre tradition et modernité, l'eau au cœur des stratégies de développement durable en zone aride ou semi-aride méditerranéenne

Bruno Romagny

*IRD, UMR LPED, Tunis, Tunisie
Bruno.Romagny@ird.fr*

Dans les zones arides ou semi-arides du sud du bassin méditerranéen, l'eau est plus que jamais au cœur des stratégies nationales de développement durable, à travers une série d'enjeux économiques, sociaux et environnementaux qui interviennent à différentes échelles territoriales. Compte tenu du degré actuel de mobilisation des ressources conventionnelles dans ces zones, les pouvoirs publics tentent de relever un défi majeur. Il s'agit du passage d'une gestion centralisée et orientée vers un accroissement de l'offre, à un modèle plus décentralisé et participatif, tourné vers une gestion de la demande en eau. Cette gestion, qui consiste à se servir mieux de l'eau pour en prélever moins, relève d'un projet de société et nécessite d'importants changements techniques, institutionnels et culturels.

La question de la gestion intégrée de l'eau apparaît donc comme un problème impliquant de nombreux facteurs anthropiques. Ces derniers sont liés notamment aux différents usages sectoriels de l'eau et aux pratiques des populations locales confrontées à d'importantes contraintes environnementales (ressources en eau aléatoires, inégalement réparties, sécheresses récurrentes, fragilité des milieux naturels). Pour illustrer concrètement ces liens complexes entre population et environnement, nous nous intéresserons à deux cas d'études en Tunisie et au Maroc. Dans ces deux pays, où les contextes physiques, politiques et historiques diffèrent, des formes traditionnelles de gestion de l'eau sont encore présentes. Cependant, elles sont désormais confrontées à de nouveaux modes d'organisation (groupements d'intérêt collectif, associations d'usagers de l'eau agricole, etc.) ainsi qu'aux projets de développement, qu'ils soient étatiques ou du ressort d'ONG nationales et internationales. Recherchant une plus grande responsabilisation et participation des acteurs locaux, les autorités et les gestionnaires ne parviennent pas forcément à prendre en compte le fonctionnement des systèmes traditionnels ni les aspirations des populations rurales. De telles difficultés se rencontrent par exemple dans le Sud-est tunisien ou encore dans certaines vallées montagneuses du Haut Atlas marocain, ayant subi de profondes mutations qui vont en s'accroissant. Les systèmes de production agro-pastoraux et les formes d'usages des ressources entrent désormais dans un dispositif socio-économique débordant largement la sphère agricole (migrations, pluriactivité, sensibilité accrue aux aléas climatiques et à ceux de la conjoncture internationale, etc.).

Au Maroc, dans la vallée des Aït Boughemez, des institutions coutumières énoncent les règles d'accès et d'usages des ressources communes, désignent au besoin des représentants et gardiens chargés de veiller au respect des décisions collectives, sanctionnent les contrevenants. Leur fonctionnement, hérité de pratiques séculaires, présente une grande souplesse et flexibilité, permettant aux agro-pasteurs de s'adapter aux changements et aux contraintes du milieu. En Tunisie, le processus d'implantation humaine dans le Sud-est s'est fait en partie selon une logique amont-aval, de la montagne vers la plaine. Dans certaines zones de piémonts, comme celle de Dkhilet Stout, l'expansion de la mise en valeur des terres, le long des oueds, a été fortement structurée par fractions ou appartenances sociales afin de limiter les conflits autour du partage des eaux de surface. Il apparaît ainsi à des échelles territoriales fines que la prise de conscience, par des groupes

sociaux structurés par d'autres liens, des interdépendances nature-société, a été au fil de l'histoire un élément essentiel de structuration territoriale et de gestion de l'eau. Cependant, le fonctionnement de ces systèmes ressources-usages subit actuellement de fortes perturbations. Des échelles spatiales plus larges correspondent quant à elles à une perception par la société des interdépendances bien plus faible, ainsi qu'à une structuration de cette même société moins forte, moins spontanément solidaire et plus sous influence des institutions.

A partir de ces deux cas d'étude, l'objectif de cette communication est d'analyser les évolutions en cours des modes de gestion des ressources en eau, tant traditionnels que modernes. Ceci nous conduira à nous interroger sur les nouveaux rôles de l'État et des acteurs locaux aux intérêts souvent divergents, pris dans des jeux de pouvoirs et de concurrences pour l'accès à l'eau qui s'inscrivent dans des échelles spatiales emboîtées.

Impact des aménagements hydro-agricoles sur la dynamique hydrologique du bassin versant de Chaffar (Sahel de Sfax – Tunisie)

Najiba Chkir Ben Jemâa

*Dép. de Géographie - Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Sfax - Tunisie
& Lab. de Radio-Analyses et Environnement - Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax - Tunisie
najiba_chkir@yahoo.fr*

Le bassin versant de Chaffar, situé au Sud de la ville de Sfax, est soumis à des contraintes climatiques et anthropiques assez sévères. Il reçoit une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 180 mm caractérisée par une répartition temporelle très irrégulière aussi bien à l'échelle annuelle qu'à l'échelle interannuelle. Cependant, ce bassin versant doit répondre à un besoin en eau croissant suite à une anthropisation marquée essentiellement par un développement de l'agriculture. Pour répondre à ces besoins, les aménagements hydro-agricoles réalisés et prévus pour ce bassin versant sont nombreux. Ils ont pour objectif premier de stabiliser les sols et de mobiliser les eaux de surface. Largement dispersés, sur l'ensemble de ce bassin versant, ils agissent directement sur la dynamique hydrologique de ce bassin versant dont les apports à l'exutoire se trouvent fortement perturbés. En effet, contrairement à l'effet escompté, les apports du bassin versant sont passés, d'une moyenne annuelle de 1.3 à 3,6 millions de m³ avant et après la date de 1987 considérée comme celle à laquelle l'impact des aménagements a commencé à se faire ressentir. Un test de comparaison permet de montrer que cette différence est statistiquement significative et reflète effectivement une modification des processus de genèse des écoulements de surface.

Nous avons tenté de mettre en évidence cette perturbation en appliquant une méthodologie simple mais fiable qui consiste à comparer certains indices statistiques calculés sur les données hydrométriques enregistrées à l'exutoire de ce bassin versant avant et après aménagement. Nous avons appliqué cette démarche sur le coefficient de ruissellement global du bassin versant à l'échelle annuelle, à l'échelle mensuelle et à l'échelle événementielle. En effet, ce coefficient permet d'intégrer une éventuelle variabilité pluviométrique tout en reflétant l'impact des aménagements sur les processus de ruissellement de surface.

Modélisation de la dynamique fluviale de la Medjerda : impact de l'évolution morphologique du lit sur l'écoulement

Fethi Lebdi, Mohamed Karim Fdhila & Ali Hzami

*INAT, Lab. STE, 43 Av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie
lebdi.fethi@inat.agrinet.tn*

Ce travail de plusieurs années a ciblé l'étude de la dynamique fluviale de la Medjerda, notamment en période de crue, afin de délimiter les surfaces inondées et déterminer les zones à risque. Ceci a nécessité des observations in situ et en temps réel ainsi que des campagnes de détermination des sections en travers et de la morphologie longitudinale. La modélisation des écoulements de la Medjerda en période de crue ainsi que le calage du modèle par les observations et mesures de terrain, ont permis de proposer au Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques des solutions pratiques. Elles consistent à procéder à des corrections du lit de l'oued dans des sections précises et à orienter les écoulements et les torrents pour éviter les étranglements et les ondes d'intumescence positives d'aval. Les écoulements fluviaux ont été accélérés et les tirants d'eau ont baissé. La crue de 2003 a montré que le débit qui a été à l'origine des débordements d'eau à Medjez El Bab est de 180 m³/s. Le débit qui est passé sans débordements lors de la crue de 2006 est de 327m³/s. Ce gain prévu par les résultats de la modélisation et des mesures in situ, ainsi que le travaux réalisés par la suite, a permis d'éviter les conséquences des inondations de 2003. De même, des cartes d'inondabilité ont été dressées selon la crue et son débit, permettant d'identifier les périmètres vulnérables et de prévenir les autorités et les populations à l'approche de chaque crue.

L'ensemble des données recueillies a ensuite été utilisé pour traiter deux volets :

Premièrement, étudier l'évolution morphologique du lit de la Medjerda et quantifier l'engraissement observé (engraissement continu depuis 1981, date de la mise en service du barrage Sidi Salem). Cette étude a mis en évidence la diminution de la débitance de la Medjerda suite au comblement des sections de passage de l'eau par les dépôts solides, dû aux lâchers fréquents de faibles débits du barrage Sidi Salem.

Deuxièmement, on s'est intéressé à la modélisation de la dynamique fluviale en période de crue afin d'élaborer des cartes d'inondation et des zones habitées vulnérables ainsi que des solutions de correction.

Cet outil a permis une simulation en temps réel des écoulements de la Medjerda, grâce aux informations issues des stations hydrométriques situées le long de l'oued et suivies heure par heure. Le résultat a été :

- Des cartes de vulnérabilité aux inondations,
- Une anticipation en temps réel des inondations et des zones vulnérables,
- Le déclenchement des plans d'évacuation des populations en cas d'alerte,
- La proposition de solutions techniques pour minimiser les effets des crues et favoriser l'écoulement dans le lit de l'oued, sans débordement.

POSTERS

Les fuites d'eau dans le barrage de Ouizert (Algérie)

H.N.E. Benfetta¹ & B. Remini²

¹ Université de Mostaganem, Algérie

Tél : (+213) 45 82 37 87, HNOURBENFETTA@yahoo.fr

² Université de Blida, Algérie.

Tel: (+213) 25 43 39 40, Fax: (+213) 25 43 11 64, reminib@yahoo.fr

Certains barrages algériens sont confrontés aux problèmes de fuites à travers les rives et les fondations. L'étude de ce phénomène s'avère d'une très grande importance, vu les risques engendrés sur la stabilité de l'ouvrage et la réduction de la capacité utile du barrage, dont l'importance primordiale pour les zones où cette ressource se fait rare, à l'instar des zones arides particulièrement en Algérie. Ceci, nous a incité, à étudier les fuites d'eau dans le barrage de Ouizert, connu pour ces pertes considérables en eau.

Situé à environ 35 Km au Sud – Ouest du chef lieu de la wilaya de Mascara, le barrage de Ouizert d'une capacité totale de 100 millions de m³ est destiné à accroître le degré de régularisation de l'Oued El Hammam en vue de l'alimentation en eau potable et industrielle d'Oran – Arzew, l'irrigation du périmètre d'El Habra situé au Nord de Mohammadia et d'alimenter le barrage de Bouhanifia par les lâchers. Cependant, ce barrage est menacé par les fuites à travers les rives en nette évolution dans le temps. Le barrage n'a jamais atteint son niveau maximum, puisque le volume perdu avoisine généralement la valeur de 1m³/s. Nous présentons dans cette communication un constat sur la problématique et le mécanisme des fuites ainsi que les résultats d'une étude physico-chimique et piézométrique.

Processus d'acquisition du chimisme des eaux : exemple de l'oued Medjerda (Nord-Est algérien)

Imen Guasmi¹ & Larbi Djabri²

¹ BP 42/02, PTT Colonel Amirouche, 23000 Annaba, Algérie
guasmi_imen@yahoo.fr.

² 11, Rue Asla Hocine, 23000 Annaba, Algérie

La qualité des eaux constitue l'une des approches permettant d'expliquer les mécanismes d'acquisition du chimisme des eaux. La réaction de l'eau avec son environnement est contrôlée par de nombreux processus tels que : La mise en solution primaire de divers éléments, les phénomènes modificateurs susceptibles de transformer cette première acquisition et les lois de la Thermodynamique chimique qui fixent la teneur à saturation des éléments. Toutes ces réactions sont réglées par les conditions physiques et géologiques du milieu. Les variations, résultant de ces interactions, constituent un moyen d'identification et de reconnaissance du fonctionnement des systèmes. La chimie des eaux offre une grande variété de traceurs naturels (paramètres physico-chimiques, éléments majeurs, etc.....) capables d'apporter des informations sur le comportement d'un système. Pour caractériser

ces interactions Eau- Roche au niveau de l'oued Medjerda, nous nous sommes intéressés à la qualité des eaux de cet oued. A cet effet soixante dix huit (78) analyses chimiques des eaux, se rapportant aux mois de septembre, octobre, novembre, décembre (2003), janvier et février (2004), ont été réalisées. Le dépouillement des résultats obtenus, nous a permis de développer les parties suivantes :

- L'analyse en composantes principales, qui donne des indications sur les liens existants entre les éléments chimiques. Cela permet d'étudier, l'évolution du chimisme des eaux dans l'espace et dans le temps.
- L'outil Thermodynamique se base sur le calcul de l'indice de saturation qui confortera les résultats obtenus, ce qui nous permet de schématiser le processus d'acquisition du chimisme des eaux de cet oued.

Towards net rainfall estimation by inversed geomorphology-based unit hydrograph

Houda Boudhraâ^{1,2}, Mohamed Slimani¹, Hervé Andrieu³, Christophe Cudennec²

¹ INAT, Lab. STE, 43 Av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie
boudhraa_hda@yahoo.fr

² IRD, UMR G-EAU, Tunis, Tunisie

³ LCPC, Division eau, Bouguenais, France

The use of geomorphology-based transfer functions is a strong perspective in data-scarce contexts. Indeed, the geomorphological basis can be observed for any considered outlet, from information – of various kinds and qualities – about the relief and the watercourses. Moreover it can be translated into basin-level transfer functions, through more or less complex conceptualisations, according to the available data and knowledge.

The water path from any point in a basin down to the outlet is considered and seen as the composition of a set of hillslope paths, due to the different flow processes, and of a single channelized path. The probability distribution of the hydraulic length L of this channelized path is used as the geomorphological basis of a transfer function. Assuming that most of the whole basin-level nonlinearity of the rainfall-runoff relationship comes from nonlinearity of hillslope processes, a simple average flow velocity is used to translate the geomorphometric function into a travel time distribution function. Furthermore, a strong assumption of spatially homogeneous rainfall input is made at this stage. These two assumptions make the obtained transfer function equivalent to a unit hydrograph. This is acceptable as a first step of a downward approach, since the way how additional complexity will be considered should be based on the identification of the hierarchy of further causes of complexity.

From the physical significance of the proposed unit hydrograph, its inversion should help in assessing runoff amounts produced by hillslopes through the deconvolution of river flow data at the outlet. This assessment would allow isolating the hillslope system, knowing the rainfall input and the runoff output, and thus to analyse its own nonlinear functioning.

Such an inversion modelling is proposed for a Tunisian semiarid basin (192 km²), whose gauging data at the outlet are among the most precise of the country. The relevance and relative roles of error sources are discussed for the most spatially homogeneous rainfall events. Moreover the main cause of additional complexity is confirmed to be the space-time variability of rainfall, whose accounting for appears to be the next step of the downward approach.

Robust and versatile accounting for rainfall space-time variability in a geomorphology-based rainfall-runoff modelling

Sameh Chargui¹, Houda Boudhraâ^{1,2}, Mohamed Slimani¹, Christophe Cudennec²

¹ INAT, Lab. STE, 43 Av Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie

² IRD, UMR G-EAU, Tunis, Tunisie

christophe.cudennec@ird.fr

In semiarid Mediterranean contexts, hydrometeorological events generate both potential resource and hazards, and are thus of major interest. But the variability of rainfall inputs is high at different time and space scales, and is sparsely observed through available raingauge networks. We propose, with the example of the Skhira basin (192 km²) in central Tunisia, a simple method to account for available information related to the event space-time variability of rainfall in a rainfall-runoff modelling, in order to check its influence on the shape, magnitude and timing of resulting hydrographs. The transfer function used is a geomorphology-based unit hydrograph with an explicit territorial significance. Simulations made for highly variable events show the relevance of this introduction of information, and its robustness facing the quality and the density of data.