

OMERE Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau Bassin versant de Kamech : Impact des actions anthropiques sur les transferts de masse dans les hydrosystèmes méditerranéens ruraux

Rim Zitouna-Chebbi¹, Denis Feurer², Damien Raclot³, Jérôme Molenat⁴, Insaf Mekki¹, Nétij Ben Mechlia⁵, Frederic Jacob⁶ et al.

¹ LR VENC0, INRGREF, Rue Hédi Karray, PB10, 2080, Ariana, Tunisie
E-mail : rim-zitouna@lycos.com

² UMR LISAH-IRD, 83 av. Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie.

³ UMR LISAH-IRD, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France.

⁴ UMR LISAH-INRA, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France.

⁵ INAT, 83 av. Charles Nicolle, 1082 Tunis Mahrajène, Tunisie.

⁶ UMR LISAH-IRD, INRGREF, Rue Hédi Karray, PB10, 2080, Ariana, Tunisie.

ملخص- المرصد المتوسطي للبيئة الريفية والمياه : "اثر الأنشطة البشرية على نقل الكتلة في نظم المياه المياه بالمناطق المتوسطية الريفية" من أهم أسباب التغيرات العالمية ارتفاع معدل النمو السكاني الذي يضغط على الموارد الطبيعية. بالإضافة إلى ذلك ينتظر حصول تغيرات مناخية كبيرة. هذه التغيرات تنتج مشاكل بيئية. لدراسة هذه الاشكاليات تم انشاء مرصد بيئية و من بينها OMERE. و قد تم اختيار اثنين من مستجمعات المياه الصغيرة على جانبي البحر الأبيض المتوسط هما: روجون 92 هكتارا في فرنسا و الكامش 263 هكتارا بتونس. لدراسة اثار استخدام الأراضي و التهنية الترابية على التوازنات المائية في مستجمعات المياه الصغرى المتوسطية. و ذلك (1) بتقييم ديناميكية و كثافة الانجراف و علاقتهما بالنشاط البشري و (2) دراسة التغيرات في نوعية المياه الناتجة على التلوث في القطاع الفلاحي على المدى المتوسط والطويل و (3) وضع هيكل عام للنمذجة الهيدرولوجية يسمح بمحاكاة اثار سيناريوهات التهنية و إستغلال الأراضي الفلاحية. فتم تركيب محطات متداخلة لقياس السيالان و الانجراف كما تم وضع معدات لقيس عمق المائدة المائية و المعطيات المناخية. لضمان التتبع والملاحظات والموثوقية، و استراتيجة الملاحظة، تم اعتماد منظومة ضمان الجودة. و الى جانب كون OMERE يهدف الى البحث العلمي فان له ايضا غاية بيداغوجية تعليمية اذ يدرّب الطلبة و المتصرفين في المياه على الحصول على البيانات، وإدارة قواعد البيانات.

مرصد / السيالان / الانجراف/المعطيات المناخية/ المائدة المائية / مستجمعات المياه

Abstract- OMERE a long term hydrological research observatory about anthropogenic and climate change impacts on water and matter flow in Mediterranean rural catchments. The continuous growth of population density and intensification of land use in the Mediterranean area together with the predicted climate change lead to serious agricultural and environmental issues that will have to be answered in the near future. In this context, the long term research observatory OMERE is launched by in 2004. Its aim is to analyze long term effects of anthropogenic and climatic changes on water and soil resources in order to develop sustainable management

mode in the cultivated Mediterranean areas. It consists in two catchments : the Kamech catchment (263 ha), located on the Cap Bon (Tunisia) and the Roujan in south France catchment (92 ha). Monitoring, includes atmospheric inputs, surface flow, groundwater fluctuations, land management practices, solute and erosion fluxes, and land surface fluxes. In order to ensure the traceability and reliability of observations, a strategy of quality insurance is adopted from data sampling to making data available. *OMERE* is not only a scientific tool only but has an educational and participatory approach transfer activity.

Observatory / runoff/erosion / evapotranspiration / underground / watershed

Résumé - D'importants changements globaux en cours sont engendrés par une croissance forte de la population avec une pression croissante sur les ressources. Ces changements globaux produisent des problèmes environnementaux. C'est dans ce contexte que l'observatoire de recherche en hydrologie *OMERE* a été initié en 2004. Son objectif est d'analyser sur le long-terme les effets des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau et en sol afin de dégager des modes de gestion durable des milieux méditerranéens cultivés. Deux petits bassins versants sont choisis : le bassin versant de Roujan (92 ha) en France, et le bassin versant de Kamech (263 ha) en Tunisie. Une stratégie d'observation des variables hydrologiques en système emboité est adoptée. Ainsi, des mesures de pluie/débit, de l'érosion et de la contamination, de la profondeur de la nappe et de la géochimie, et des flux atmosphériques. Aussi, les pratiques culturelles sont suivies. Pour assurer la traçabilité, la fiabilité des observations, une politique d'assurance qualité est adoptée. Si *OMERE* est un outil scientifique, il a aussi une vocation pédagogique pour former des étudiants et des gestionnaires à l'hydrométrie et la gestion de base de données.

Observatoire / ruissellement / érosion / evapotranspiration / nappe / bassin versant.

1. INTRODUCTION

La pression sur les ressources en eau, amplifiée par la croissance de la population et l'intensification de l'agriculture, est de plus en plus ressentie dans les régions méditerranéennes. Au regard des changements globaux prévus, en lien avec les pressions climatiques et anthropiques, des problèmes environnementaux découlent. Parmi ces problèmes, la diminution des ressources en eau et/ou l'augmentation de la variabilité, l'occurrence d'événements de crues extrêmes et de sécheresses, le conflit sur le partage des ressources en eau entre agriculture et autres secteurs, l'érosion des sols,

la dégradation de la qualité de l'eau en terme de salinité et de la contamination par métaux traces et pesticides.

Une gestion rationnelle de l'eau et la conservation des sols, s'appuyant sur des acquis scientifiques s'impose. De fortes demandes émanent des organismes de gestion et d'utilisation, visant à contrôler et optimiser 1/ la consommation en eau des cultures et la productivité de l'eau associée, 2/ les aménagements hydro-agricoles (Albergel et Rejeb, 1997) et 3/ les rotations culturales en lien avec les itinéraires techniques (Ben Mechlia et al 1998). Il est important de noter que ces demandes concernent des actions de gestion de l'échelle de la parcelle et de l'exploitation agricole en termes de pratiques par les agriculteurs jusqu'à l'échelle du paysage (du bassin versant agricole de quelques km² au bassin versant ressource de plusieurs centaines de km²) pour une répartition spatiale optimisée des ressources en eau (notion d'eau bleue et d'eau verte) (Mekki et al. 2006).

L'influence à long terme des changements anthropiques et des modifications climatiques en cours sur les régimes hydrologiques, sur l'érosion des sols, et sur la disponibilité et la qualité des ressources en eau, reste incertaine. Cela est dû notamment à l'insuffisante connaissance des interactions entre processus à dynamiques rapide et lente (e.g. phases de crues / phases de récession; érosion ravinatoire / érosion diffuse; transformation / transfert de polluants) et entre organisation spatiale de l'espace cultivé et processus hydrologiques. Dans ce cadre, OMERE est créée. Cet observatoire initié par le ministère de la recherche français est géré par UMR-LISAH (INRA-IRD-SupAgro, France), INRGREF-Tunisie, INAT-Tunisie et UMR-Hydrosciences (CNRS-IRD-Univ. France). OMERE fait parti des réseaux des bassins versants français RBV. Ce programme a les objectifs scientifiques spécifiques suivants:

- i) Observer et comprendre l'impact des activités agricoles sur les flux de masse dans les bassins versants élémentaires méditerranéens: régimes hydrologiques,
- ii) Observer et comprendre les intensités et vitesses d'évolution quantitative et qualitative des ressources en eau et en sol en fonction de changement d'utilisation des terres,
- iii) Appuyer le développement d'approches de modélisation des flux en milieu cultivé par l'acquisition de jeux de données de test de modèles incluant des périodes longues d'observation et un nombre significatif d'évènements climatiques intenses,
- iv) Fournir des bases scientifiques, des références et des outils de diagnostic à l'ingénierie agro-environnementale des paysages cultivés.

En plus d'objectifs scientifiques, OMERE a une vocation pédagogique et de sensibilisation auprès des étudiants de 2^{ème} et 3^{ème} cycles, et auprès des acteurs agricoles et des gestionnaires des ressources en eau et en sol.

Dans cet article, après une présentation de l'observatoire et de son dispositif, nous illustrerons à travers la présentation d'actions l'intérêt d'un tel observatoire pour les objectifs scientifiques et pédagogiques visés.

Les résultats des activités scientifiques utilisant *OMERE* comme site d'études sont publiés dans des projets de recherches, d'articles scientifiques, des mémoires d'étude et des thèses de doctorat. Ce présent article vise à illustrer les activités de l'ORE sur le site de Kamech en Tunisie, en illustrant quelques résultats obtenus par différentes équipes de recherche et en discutant du l'état de lieu de l'ORE.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites

L'observatoire OMERE repose sur l'observation et l'étude de deux petits bassins versants de part et d'autre de la Méditerranée. Le bassin versant de *Roujan* (92 ha) en France, marqué par une agriculture intensive et le bassin versant de *Kamech* (263 ha) en Tunisie avec une agriculture pluviale. Le bassin versant de *Kamech* est un sous bassin du *bassin versant* de Lebna situé à la péninsule du Cap Bon. Ce bassin versant élémentaire collinaire, partagé en 273 parcelles, a une vocation agropastorale, il est cultivé en céréales, légumineuses ou occupé par des parcours. Différents types de sol sont présents sur le *bassin versant*. Le site de *Kamech* est décrit dans plusieurs travaux nous citons (Mekki 2003, Raclot et Albergel 2006, Corbane 2007, Zitouna-Chebbi 2009).

2.2. Dispositif expérimental

Un dispositif de mesure des variables hydrologiques est installé sur les bassins versants. Les mesures de débit, de l'érosion et de la contamination de l'eau, la profondeur et la géochimie de la nappe, les flux atmosphériques sont réalisées à l'aide de techniques récentes et/ou conventionnelles. Les mesures sont suivies sur différentes échelles spatiales (Figure 1), des mesures à l'échelle de la parcelle, à l'échelle d'une ravine, du versant, de l'oued et du lac collinaire. Cette stratégie d'observation déployée sur des échelles emboîtées est couplée avec des observations sur des activités anthropiques telles que l'occupation du sol, les pratiques culturelles, les intrants, l'aménagement et les états de surface.

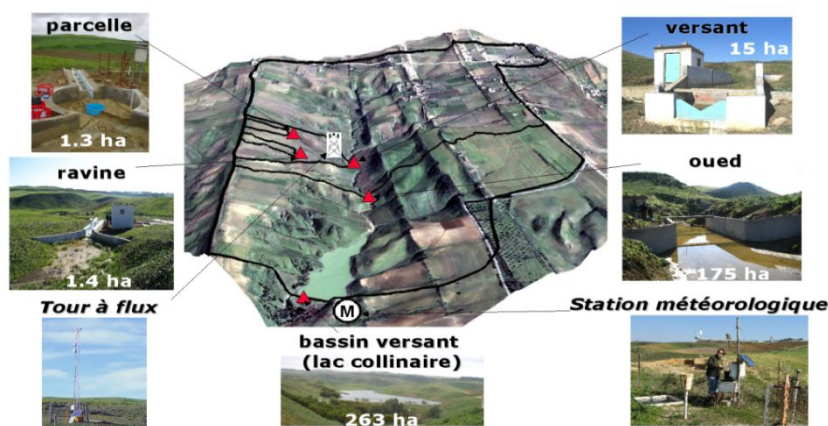


Figure 1: Points de mesures principaux sur le bassin versant *Kamech*

L'un des principes de l'observatoire est d'acquérir des mesures continues dans le temps. Selon les variables, les mesures sont réalisées sur différentes échelles temporelles, certaines sont continues dans le temps et à pas de temps fin, d'autre sont continues à des pas de temps moins fréquents. Pour des raisons scientifiques ou financières certaines mesures sont ponctuelles. Une description détaillée du dispositif de mesure à Kamech se trouve dans le site de l'ORE document PE004-1.

2.3. Variables suivies

2.3.1. Mesure de la pluie

La mesure est assurée par un réseau de pluviomètres et de pluviographes : des pluviomètres à lecture directe (bague 400cm²) métalliques et plastiques ainsi que des pluviographes à augets basculeurs : bague 400 cm² "précis mécanique" à résolution de 0.5 mm/basc, et « Hydreka » à résolution de 0.2 mm/bas.

2.3.2. Mesure des débits

Les débits de ruissellement et d'écoulement dans l'oued sont mesurés à quatre points au sein du bassin versant, correspondant à des échelles emboîtées (figure 1): la parcelle (stations de la parcelle et de la ravine), le versant (station du micro bassin) et le bassin versant (station de l'oued). Sur chacun de ces points est installé une station hydrométrique, composée de canaux concentrant les écoulements dans lesquels une mesure automatique et continue de hauteur d'eau est réalisée. A cet effet des capteurs de type « Hydreca » sont utilisés. Les courbes d'étalonnage des canaux permettent de

transformer la mesure de hauteur en un débit instantané. Les mesures automatiques sont accompagnées de lectures manuelles quotidiennes ainsi que des suivis en crue.

2.3.3. Mesure de l'érosion

Les mesures de l'érosion se font selon deux méthodes complémentaires. La première est de faire des mesures de matière sèche sur des échantillons d'eau prélevés dans les écoulements d'eau. A cet effet, des préleveurs séquentiels d'échantillon des eaux d'écoulement type SIGMA 900P à 24 flacons sont utilisés. La seconde méthode est basée sur la turbidimétrie. Un capteur turbidimétrique de type Campbell OBS 500 est ainsi installé sur dans le lit de l'oued. Des prélèvements manuels sont réalisés lors des suivis de crue de manière à disposer d'un échantillonnage représentatif du turbidigramme.

2.3.4. Mesures piézométriques

Un réseau de 21 piézomètres a été installé sur le bassin, piézomètres permettant de mesure la charge hydraulique dans la nappe se développant dans le sol et les marnes. Les profondeurs des piézomètres dépassent 4m. Les piézomètres sont équipés de capteurs de pression mesurant à haute fréquence, généralement 5 à 15 minutes, la profondeur de la nappe. Les capteurs utilisés sont des sondes de pression type "Mini Diver" et "Level Troll" (avec les sondes de pression atmosphérique associées). Pour les piézomètres non équipés de sonde, des mesures manuelles par sonde à ruban sont effectuées à une fréquence hebdomadaire à mensuelle.

2.3.5. Mesure des flux atmosphériques

La station météorologique, installée sur le site depuis 1998, est située près du lac collinaire à l'exutoire du bassin versant (36°52' N, 10°52' E, 108 m au dessus de la mer). C'est une station automatisée, qui mesure le rayonnement global, la vitesse du vent, la direction du vent et la température et l'humidité de l'air à l'aide d'un pyranomètre SP1110 (Skye, Powys, UK), d'un anémomètre A100R (Vector instruments, Rhyl, UK), d'une girouette W200P (Vector instruments, Rhyl, UK) et d'un capteur HMP45C (Vaisala, FI) respectivement. L'évaporation est estimée par une mesure manuelle quotidienne sur un bac Colorado

Une tour à flux est installée depuis 2010. A une hauteur de 10 m du sol un anémomètre sonique à 3D type CSAT3 Campbell Sc. et un hygromètre type LICOR 7500 sont installés pour mesurer l'évapotranspiration.

2.3.6. Observation des pratiques culturelles

Des observations et des enquêtes in situ régulières permettent le suivi des états de surface sur un sous-ensemble de parcelles. Le suivi du travail du sol ainsi que la détermination de la destination finale des cultures (usage en foin ou en grain par exemple) est assuré sur l'ensemble des parcelles du bassin versant. Le suivi de l'occupation du sol est réalisé annuellement, le parcellaire étant mis à jour lorsque les changements observés le justifient.

2.4. Assurance qualité en recherche

La démarche d'observation s'inscrit dans une politique d'assurance qualité qui assure d'une part la traçabilité et la fiabilité et d'autre part l'homogénéisation entre les deux sites. Cette démarche est suivie en trois étapes, la première est l'acquisition des données et le pré traitement, la seconde est la gestion des données et des métadonnées en utilisant la base de données HYSAE, la troisième étape est la mise à disposition des données sur le site web de l'observatoire <http://www.obs-omere.org> et sur des procédures de visualisation et d'extraction des données (VIDAE, coll. ORE Aghrys), la mise à disposition se fait selon une charte qui s'aligne aux chartes des observatoires à l'échelle internationale. Sur le site web sont aussi mises à disposition les étapes d'acquisition et de prétraitement sous forme de notes rédigées tel que mode opératoire d'acquisition, des inventaires, des suivis et étalonnage des capteurs.

2.5. Perception et mise en débat des résultats

2.5.1. Discussion des résultats avec les groupes d'agriculteurs, responsables de développement et étudiants

Dans le cadre des activités de valorisation et de transfert, un travail de mise en débat des résultats des travaux a été effectué dans le cadre du projet JEA JASMIN. Le projet vise le développement des relations de synergie avec les acteurs du développement agricole au niveau local et la création d'un lieu d'échange par la mise en place d'une série d'ateliers entre les agriculteurs, les responsables de développement, les chercheurs et les étudiants et les informer sur les travaux de recherche. Il s'agit de :

- i) croiser les perceptions des acteurs locaux aux contraintes rencontrées et les résultats obtenus par l'équipe en termes de diagnostics / pronostics sur l'état des ressources en eau et sol et sur les performances agroenvironnementales,
- ii) établir des liens entre le monde étudiant et le monde professionnel

agricole, en sensibilisant les étudiants à de possibles carrières au sein des organismes de développement agricoles.

2.5.2. Organisation des journées de terrain pour les élèves ingénieurs

Plusieurs journées de visite du site de Kamech par les élèves ingénieur des écoles supérieurs d'agriculture ont eu lieu. Ces journées ont pour objectif la formation en mesure en hydrométéorologie, la connaissance des instruments de mesure, leur fonctionnement, et l'intérêt de tels suivis.

3. RESULTATS

3.1. Écoulement de surface

Les écoulements de surface mesurés sur plusieurs années et sur différentes échelles spatiales. La figure 2 synthétise ces travaux en caractérisant les lames ruisselées aux diverses échelles en fonction du cumul de pluie annuel. Cette figure montre une similitude de la tendance pour la parcelle, la ravine, le versant l'oued et le lac. Cependant, une très forte variabilité interannuelle est observée. Cette variabilité est engendrée d'une part par la quantité de pluie mais peut être due aussi aux différences dans la distribution des pluies d'une année à l'autre en lien avec des états de surfaces eux aussi variables dans le temps.

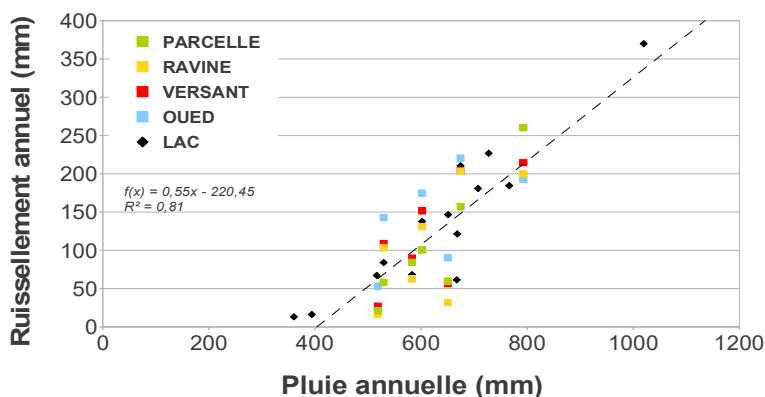


Figure 2: Caractérisation du ruissellement annuel en mm en fonction du cumul de la pluie annuelle en mm sur les échelles spatiale emboîtées parcelle, ravine, versant oued et lac de Kamech pour la période (2005-2012).

3.2. Dynamique des aquifères superficiels- Isotopie

La dynamique hydrologique des aquifères superficiels et le rôle de ces aquifères dans le cycle hydrologique des bassins versants font l'objet d'études dans le cadre de d'OMERE. Plus spécifiquement, il s'agit de mieux comprendre les échanges entre la nappe, la surface, le lac, et de caractériser la répartition et le transfert de l'eau à l'échelle du bassin versant.

Les principales caractéristiques de l'aquifère sont:

- une surface piézométrique globalement parallèle à la surface topographique,
- une forte réactivité piézométrique à la pluie en automne et en hiver,
- l'amplitude des fluctuations piézométriques est importante à l'échelle de l'année comme à l'échelle de l'événement pluvieux,
- la surface de la nappe affleure dans les zones de convergence des écoulements.

Ces caractéristiques reflètent une dynamique contrôlée par une recharge diffuse sur les versants et par des échanges aquifère-oued essentiellement au niveau de l'oued principal. Par ailleurs, la contribution de la nappe à l'écoulement dans l'oued a été estimée à entre 10 et 20% selon les années hydrologiques.

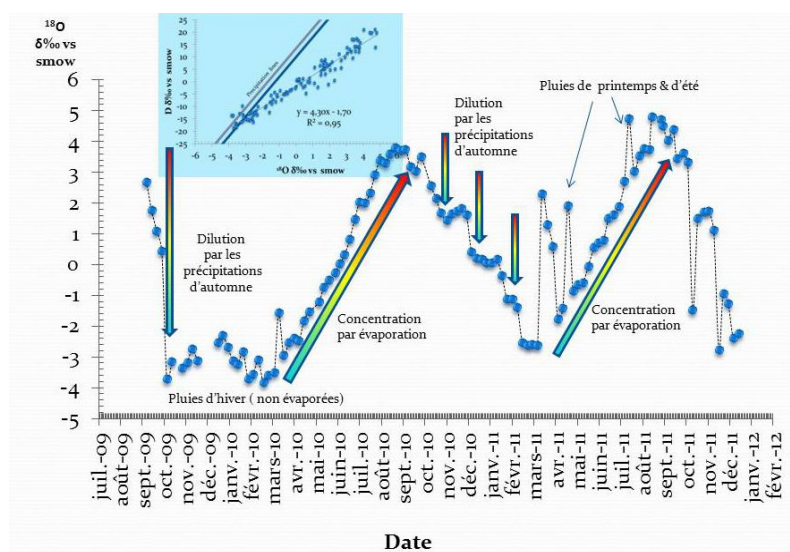


Figure 3: Variation de la composition isotopique en oxygène 18 de l'eau du lac de Kamech au cours de la période 2009/2012

L'analyse de la dynamique hydrologique de la nappe s'appuie par ailleurs sur le traçage isotopique des flux d'eau de surface et des flux d'eau souterrains. Les isotopes lourds de la molécule d'eau ($2H$, $18O$) sont mesurés dans les

eaux de pluie, de l'oued, du lac et de la nappe à partir d'échantillons prélevés quotidiennement à mensuellement depuis l'année hydrologique 2009/2010 dans le cadre d'un programme de recherche financé par l'AEIA (coll. ENI Sfax Laboratoire de Radio Analyse de l'Environnement -N. Chkir, K. Zouari, A. Hamouda).

La composition isotopique des différents compartiments hydrologiques aidera i) à contraindre le bilan hydrologique de la retenue (Figure 3), ce qui permettra de quantifier les échanges entre le lac et l'aquifère, ii) à quantifier la contribution de la nappe à l'écoulement de l'oued et iii) à comprendre plus généralement les échanges entre la surface et le souterrain.

3.3. Hiérarchisation des processus d'érosion

Afin de mieux définir les stratégies de lutte anti-érosive, il est fondamental de mieux préciser la hiérarchie des processus au sein des versants : le sol responsable du comblement de la retenue provient-il des ravines ou des parcelles agricoles ? Pour cela des levés microtopographiques d'une ravine de 0.17 ha sur Kamech sont régulièrement effectués depuis 2001.

Les données quantitatives issues de ces nivellements permettent de spatialiser les zones d'iso-abrasion et d'iso-dépôts entre chaque levé, ou pour la plus grande période (Figure 4).

Si on élimine la zone de dépôt aval artificiellement induite par l'installation de la station de suivi des flux, on constate que la ravine a produit moins de 50 m³ de sédiment en 7 ans, provenant en totalité des flans de la ravine ayant une érosion moyenne nette de 0.5 cm/an environ (El Khalili et al., 2013). Cette valeur est à mettre en lien avec le flux de matière mesurée à l'aval de la ravine (recueillant la ravine et son impluvium de 1.1 ha) qui sont de l'ordre de 100 m³ sur la période 2005-2009.

Des carottes dans le lac ont également été prélevées et analysées pour essayer de déterminer la source des sédiments. Parmi les traceurs testés, les plus discriminants entre le sol provenant de la surface des parcelles agricoles et celui des matériaux provenant des ravines ou de l'oued sont : le césium, le potassium, le carbone et l'azote.

Les premiers résultats montrent que le sol piégé dans la retenue est majoritairement issu de la surface des parcelles agricoles : l'érosion diffuse agricole est donc largement majoritaire par rapport à l'érosion combinée des ravines et de l'oued.

Ce résultat synthétique couvrant la totalité du bassin versant et intégrant 15 ans de processus permet de montrer qu'une lutte anti-érosive efficace sur ce bassin passe avant tout par la définition de modes de gestion des parcelles agricoles qui protègent la ressource en sol (Ben Slimane et al., 2013). Des recherches sur les facteurs déterminants de la localisation et de l'activité des ravines sont également en cours (doctorat H. Rebai, en cours).

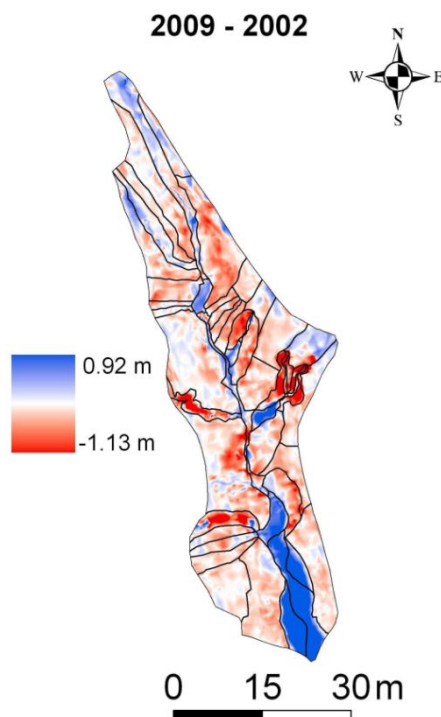


Figure 4: Évaluation de la dynamique érosive d'une ravine de Kamech entre 2002 et 2009.

3.4. Estimation de l'évapotranspiration

Dans l'objectif de documenter l'évapotranspiration réelle (*ETR*), composante majeure du bilan hydrologique en climat méditerranéen, à l'échelle du bassin versant, une démarche de mesure de l'*ETR* à l'échelle de la parcelle et à l'échelle d'un ensemble de parcelles est adoptée. A l'échelle de la parcelle, l'effet du relief collinaire sur les écoulements atmosphériques et sur la magnitude des flux d'évaporation ont été étudié et ont montré des différences entre les écoulements ascendants et descendants, Zitouna-Chebbi (2009), Zitouna-Chebbi et al. (2012).

La variation saisonnière des *ETR* journaliers mesurées à l'échelle du versant (Figure 5) montre une dynamique similaire entre les deux années. En effet, cette dynamique d'augmentation de l'*ETR* durant l'hiver pour atteindre un maximum au printemps, lorsque l'*ET0* atteint 4 mm/j, a été observée pour différents couverts et sur plusieurs années. Cette similitude marquant ainsi sans doute la prépondérance du contrôle climatique qui s'impose à tous ces

couverts (blé, avoine, fève et parcours) au-delà de leurs différences éco-physiologiques.

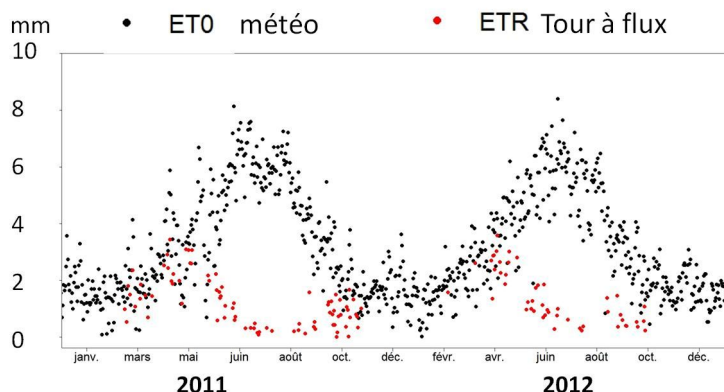


Figure 5: Variation saisonnière de l'évapotranspiration de référence (ET_0) mesurée à la station météorologique de Kamech et de l'évapotranspiration réelle (ETR) journalière mesurée par la tour à flux pour les années 2011 et 2012. Marniche (2014).

3.5. Perception et mise en débat des résultats

La discussion des résultats de recherche avec les groupes d'agriculteurs, responsables de développement et étudiants nous amène à tirer des enseignements sur 3 niveaux : le choix de la méthode utilisée, les perspectives envisagées par les participants, la place des partenaires du développement dans un projet de recherche. Plus spécifiquement, les ateliers ont permis : 1/ La connaissance des enjeux environnementaux en lien avec les pratiques agricoles, 2/ l'identification des différents problèmes liés à la gestion des ressources en eau des sols et la perception des processus biophysiques par les acteurs, 3/ De faire un diagnostic des contraintes vécues au quotidien pour la gestion des productions agricoles et comment les agriculteurs voient-ils l'évolution des pratiques et leur implication dans la gestion des ressources en eau et en sols, 4/ De préparer les agriculteurs et les étudiants à un échange constructif sur les processus biophysiques.

En ce qui concerne la ressource en eau les agriculteurs ont montré une perception réduite du cycle de l'eau et surtout de l'eau dans le sol. Ils ont évoqué que l'eau collectée au niveau du lac collinaire est de mauvaise qualité et ont mentionné la salinité. Les éleveurs l'utilisent rarement pour l'abreuvement du troupeau ovin. Un agriculteur a mentionné que cette

source d'eau utilisée pour l'irrigation a un effet néfaste sur la qualité des productions (tomates et piments).

La sensibilité des agriculteurs aux enjeux environnementaux est également réduite. La capacité de perception de la dégradation des ressources naturelles est conditionnée par des facteurs tels que les moyens techniques et financiers, l'éducation et l'accès à l'information. Leur principale préoccupation est les ressources financières et la main d'œuvre pour gérer les systèmes de cultures. Concernant la question sur les principaux problèmes rencontrés dans la gestion de leurs exploitations, les agriculteurs ont évoqué le manque de moyens financiers. Ils ont plusieurs fois évoqué la situation de la main d'œuvre (rareté et coût en lien avec la forte concurrence avec les usines qui attirent les jeunes) et ont insisté sur l'augmentation des charges d'intrants, notamment les semences, les engrais et les pesticides.

4. DISCUSSION

Après dix années d'observation et de suivi du milieu (sol, climat et l'occupation du sol) une base de données importante est collectée pour des échelles fines.

L'étude des processus a été réalisée par chaque équipe et plusieurs questions de recherches sont mises en exergue suite aux analyses d'observations tel que l'impact du relief collinaire sur les flux atmosphériques.

Maintenant que le transfert de l'eau et du sol est étudié et approfondi par chaque discipline séparément, l'approche multidisciplinaire est devenue possible et nécessaire.

La comparaison entre les deux sites a débuté concernant la relation pluie débit, il est intéressant de continuer ces comparaisons pour le reste des questions scientifiques.

Aussi le jeu de données offre la possibilité de mise en œuvre d'un programme de recherche visant à la modélisation des impacts des changements climatiques sur le bilan hydrologique pour différents scénarios d'occupation du sol.

Le transfert de l'étude du petit bassin versant à un bassin versant régionale nécessite de connaître les caractéristiques des agro-systèmes, en particulier en terme de distribution spatiale. Un travail de diagnostic basé sur une collecte de données et des enquêtes est nécessaire et a débuté dans le cadre du programme ALMIRA .

Un premier diagnostic de la pollution de l'eau du lac de kamech a montré qu'il n'y a pas de contamination. Un suivi après un certain nombre d'année est requis.

L'organisation des journées de terrain pour les élèves ingénieurs en mesure hydrométéorologique a été fort appréciée. Il est intéressant de proposer des

activités de formation des élèves ingénieurs, avec une approche holistique multidisciplinaire.

5. CONCLUSION

Les analyses sur le long-terme des effets des changements anthropiques et climatiques sur les ressources en eau et en sol afin de dégager des modes de gestion durable des milieux méditerranéens cultivés sont rendues possible par les travaux du programme OMERE. Ce dernier a commencé à donner ses résultats en termes d'observation et de gestion de base de données. Certaines limitations ressenties pour approfondir les connaissances sont la modélisation des effets des changements climatiques et anthropiques et sont mises en exergues et traités dans des programmes complémentaires.

OMERE a un impact au niveau national, le nombre de mesures et leurs distributions spatiale qui ont pu être réalisées sur un petit bassin versant peuvent être transposées sur des bassins versants de plus grande taille (ex : ALMIRA). La base de données est rendue disponible selon une charte de mise à disposition. Le site peut être considéré comme pilote d'un point de vue observations en hydrométéorologie et dans la gestion de réseaux de bases de données ce qui est présente un intérêt au niveau national pour la formation. Ce programme offre une intégration à l'échelle internationale, la notion d'observatoire de recherche en environnement, fréquente dans les pays du nord, est relativement neuve dans le contexte sud méditerranéen.

REMERCIEMENTS

Les auteurs, gestionnaires remercient tous les initiateurs du programme, tous ceux qui ont participé au développement et déroulement du programme. Le comité de pilotage Seidel J.L., Voltz M., Coulouma G. Toutes les personnes qui ont été contributeurs majeurs à l'ORE OMERE et que nous souhaitons associer à cet article : Ben Azzez K., Biarnes A., Bouhlila R., Chkir N., Dubreuil A., Fabre J.C., Habaieb H., Hamdi R., Huttel O., Jenhaoui Z., Louati R., Masmoudi M., Negro S., Ponchant L., Prévot L., Zrilli J. Les bailleurs de fond, tous les agriculteurs de Kamech, les agents locaux du ministère de l'agriculture tunisien.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Albergel J., Rejeb N. 1997. Les lacs collinaires en Tunisie: Enjeux, contraintes et perspectives. *Comptes Rendus à l'Académie d'Agriculture de France. Vol 83 n°2* (1997)77(2)-88(2) et 101(2)-104(2).

Ben Mechlia N., Mekki I. and Zante P. 1998. Spatialisation de l'activité agricole et de l'occupation du sol dans une région au relief accidenté. CNES, Colloque International, L'observation spatiale: Un outil pour l'étude du

bassin méditerranéen.

Ben Slimane A., Raclot D., Evrard O., Sanaa M., Lefèvre I., Ahmadi M., Tounsi M., Rumpel C., Ben Mammou A., Le Bissonnais Y. 2013. Fingerprinting sediment sources in hillside reservoir within a cultivated catchment of Tunisia. *Journal of Soils and Sediments*, 13: 801-815. doi: 10.1007/s11368-012-0642-6.

Corbane C. 2006. Reconnaissance des états de surface en milieu cultivé méditerranéen par télédétection optique à très haute résolution spatiale. Thèse de doctorat. Université Montpellier II. p 252.

El Khalili A., Raclot D., Habaieb H., Lamachère J.M. 2013. Factors and processes of permanent gully evolution in a Mediterranean marly context (Cape Bon, Tunisia). *Hydrological Sciences Journal*, 58(7), 1-13. doi : 10.1080/02626667.2013.824086 .

Hamouda A. 2011. Bilan hydrogéochimique et isotopique de la retenue du barrage Kamech (Nabeul - Cap bon). Master de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Tunisie.

Marniche M. 2014. Observation des flux d'énergie, à l'échelle du bassin versant collinaire à partir des mesures de tour à flux, dans la région du Cap Bon Tunisie. Master Modélisation en hydraulique et environnement- ENIT.

Mekki I. 2003. Analyse et modélisation de la variabilité des flux hydriques à l'échelle d'un bassin versant cultivé alimentant un lac collinaire du domaine semi-aride méditerranéen (Oued Kamech, Cap Bon, Tunisie). Thèse de doctorat. Université Montpellier II. p 176.

Mekki I., Albergel J. Ben Mechlia N. and Voltz M. 2006. "Assessment of overland flow variation and blue water production in a farmed semi-arid water harvesting catchment." *Physics and Chemistry of the Earth* 31: 1048–1061.

Raclot D., Albergel J. 2006. Runoff and water erosion modelling using WEPP on a Mediterranean cultivated catchment. *Phys. Chem. Earth*. 31 (17), 1038-1047.

Zitouna-Chebby R. 2009. Observation et caractérisation des échanges d'eau et d'énergie dans le continuum sol-plante-atmosphère en condition de relief collinaire. Cas du bassin versant Kamech, Cap Bon, Tunisie. Thèse de Doctorat Montpellier SupAgro, France. 292 pp.

Zitouna-Chebby R., Prévot L., Jacob F., Mougou R., Voltz M. 2012. Assessing the consistency of eddy covariance measurements under conditions of sloping topography within a hilly agricultural catchment. *Agricultural and Forest meteorology*. 164, 123-135