



Cinquième rapport d'avancement
Hydromed
ERBIC 18 CT 960091



Tunis, Juillet 1999

Cinquième rapport d'avancement
Hydromed
ERBIC 18 CT 960091

Sommaire

INTRODUCTION	2
ACTION 1 : SYNTHÈSE PRÉLIMINAIRE ET CHOIX DES SITES PILOTES	3
ACTION 2 : EAU - SOL - ENVIRONNEMENT	3
ACTION 3 : AGRO-ÉCONOMIE - GESTION SOCIALE DE L'EAU ET DE L'ÉROSION.	6
ACTION 4 : PÉRENNITÉ ET INTÉGRATION DU LAC COLLINAIRE	6
ACTION DE COORDINATION	7
ACTION DE FORMATION	8
PRODUCTION SCIENTIFIQUE (DEPUIS LE DÉBUT DU PROGRAMME)	8
CONCLUSION	16

Annexe 1: Rapport d'avancement IRD - INGREF Hydromed en Tunisie & Synthèse de l'avancement de la stratégie CES (1990-2000) en matière de lacs et retenues collinaires

Annexe 2 : Rapport d'avancement IAV Hydromed au Maroc

Annexe 3 : Rapport d'avancement IRNASE

Annexe 4 : Rapport d'avancement Lund

Annexe 5 : Rapport d'avancement IH

Photo page couverture (Patrick Zante) : Périmètre irrigué du lac de Kamech

INTRODUCTION

Ce cinquième rapport, rédigé 30 mois après la signature du contrat, présente l'état d'avancement du projet. Il fait suite aux 4 rapports contractuels publiés chaque 6 mois du projet. Il récapitule les principales actions réalisées au cours des deux premiers trimestres 1999.

Les actions 2 : Eau - Sol – Environnement et 3 : Agro-économie - Gestion sociale de l'eau et de l'érosion, entreprises sur les sites pilotes du Maroc et en Syrie depuis 18 mois et depuis 24 mois en Tunisie se sont poursuivies. La quatrième action : Pérennité et intégration du lac collinaire a débuté en Tunisie et au Maroc.

Le cinquième semestre du projet a été marqué par :

- la mission en Syrie et au Liban du Coordinateur, accompagné du représentant de l'IRD à Tunis et du Directeur Adjoint du CREEN (Centre de Recherche sur l'Eau et l'Environnement de l'Université St Joseph de Beyrouth) du 26 Janvier au 2 Février 1999.
- la participation d'Hydromed à la conférence du 5^{ème} programme cadre de recherche et de développement technologique de l'Union Européenne à Essen les 25 & 26 Février 1999. A cette occasion, des responsables de projets européens jugés particulièrement réussis avaient été invités à présenter leurs résultats sur 80 stands dans le hall d'exposition du "Grugamesse". C'est ainsi que notre programme de recherche sur les lacs collinaires de la zone semi-aride du pourtour méditerranéen, bénéficiait d'un stand où étaient présentés les posters des différents sites du projet (IRD /ex ORSTOM, INGRES, Tunisie, IAV Maroc, ACSAD Syrie - Liban, Université de Lund Suède) ainsi que des diaporamas électroniques (IRD, IH Wallingford), des vidéos et la consultation de la page du Web "petits barrages en milieu aride" : <http://www.bondy.ird.fr/gp 623>.
- la soutenance de thèse de Magnus Persson (Phd Université de Lund) le 3 Mars 1999. Analyse des transports de solutés dans les sols en utilisant les mesures TDR.
- le séjour scientifique de haut niveau qu'a effectué Dr Abdallah Droubi de l'ACSAD en France auprès de l'IRD à Montpellier et Paris, de l'Université de Strasbourg, de l'Université de Montpellier et de l'université de Toulouse, du 28 Mars au 18 Avril 1999.
- une mission conjointe de terrain sur le bassin de Saboun par l'IAV et l'IRNASE. Cette mission a permis des caractérisations fines de la perméabilité des sols avec une comparaison de méthodes (simulation de pluie, double anneau, TRIM). Les résultats de cette campagne intensive de terrain qui s'est déroulée du 1^{er} au 30 Mars 99 sera exploitée dans le cadre de la thèse de M. Mossadek.
- une mission conjointe de terrain sur les bassins versants de Kamech et de Fidh Ali en Tunisie, INGRES, IRD Tunis, IRD Montpellier, Université d'Orsay et Université de Montpellier II avec la réalisation de la partie expérimentale de deux DEA. Le premier (Mlle Déborah Gay du laboratoire d'hydrologie et de géochimie isotopique d'Orsay) porte sur l'étude des flux d'eau entre différents compartiments de l'hydrosystème : nappes, sols, réseau de drainage, lac. Le second (M. Victor Reyes de l'Université de Montpellier) porte sur la géochimie du gypse dans les sols de Fidh Ali et son rôle dans les processus de l'érosion. Cette mission a eu lieu du 15 Mars au 10 Avril 1999.

ACTION 1 : SYNTHESE PRELIMINAIRE ET CHOIX DES SITES PILOTES

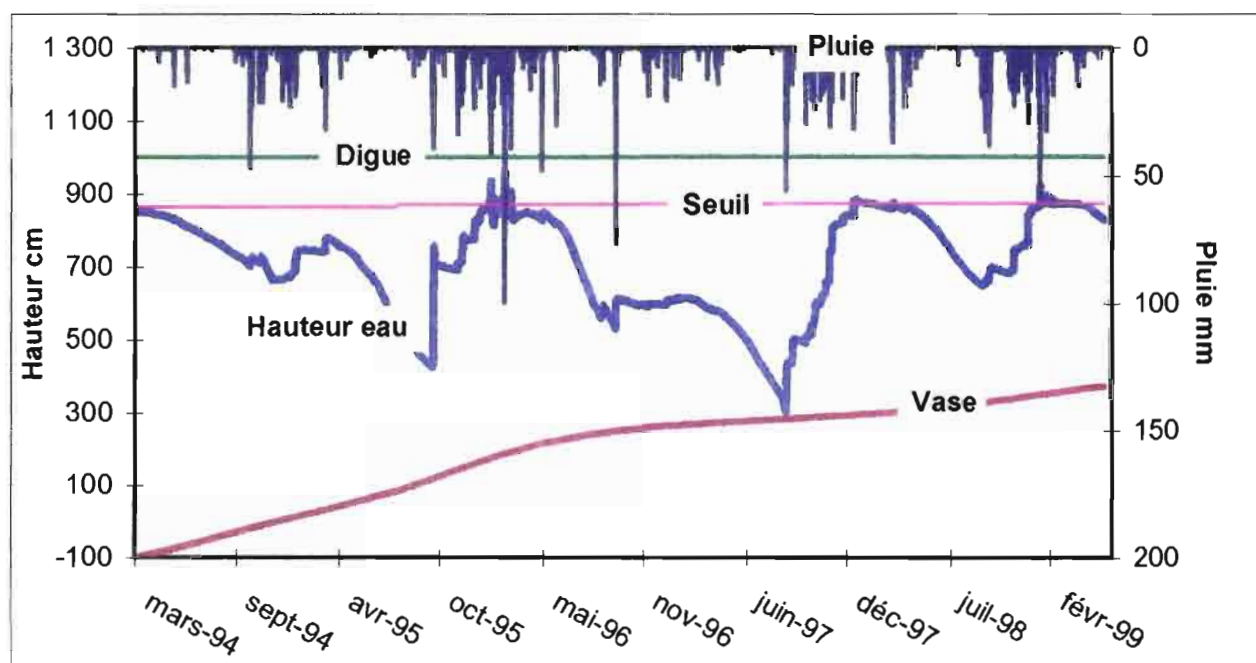
Pour mémoire, cette action est achevée depuis la fin du second semestre du projet. Les principaux résultats sont relatés dans les deux premiers rapports d'avancements. Plusieurs synthèses sectorielles ont été publiées.

ACTION 2 : EAU - SOL - ENVIRONNEMENT

Acquisition des données hydrologiques sur les retenues artificielles

Les observations de terrain se sont poursuivies sur tous les sites pilotes. Les mesures de bilan hydrologiques et sédimentaires ont été assurées en continu et sans problème. Une mesure fine de l'envasement du barrage de Saboun au Maroc, en automne prochain, doit permettre de valider les bilans calculés (cf. Rapport Hydromed Maroc, An. 2). La figure 1 montre en exemple les données hydrologiques (pluies journalières, variations du plan d'eau et des niveaux de vase) au site pilote de Kamech depuis le début des observations.

Figure 1 : Observations hydrologiques à Kamech depuis 1994



Cartographie des bassins versants

Les cartographies de bases ont été réalisées sur tous les sites pilotes et sont utilisées dans différentes modélisations spatialisées. Elles sont toutes réalisées sur des SIG parfois différents mais compatibles par l'exportation de fichiers.

La coordination avait cherché à faire utiliser par tous, un même logiciel de SIG. Il s'est avéré que les habitudes prises dans chaque institut et le prix de ce type de logiciel ne permettaient pas une homogénéisation d'utilisation. Nous avons pris l'option d'accepter tous les SIG dont une possibilité d'exportation de fichier compatible avec ARCVIEW existait.

Les cartographies des occupations du sol se poursuivent sur deux sites pour une caractérisation des dynamiques agricoles (Kamech et M'Richet El Anse).

Notons dans cette rubrique, le projet réalisé par deux étudiants de l'ENGREF Montpellier sur : "Définition des paramètres d'entrée d'un modèle hydrologique spatialisé dans le cadre de l'analyse spatiale du processus d'érosion en Tunisie". Un CD rom a été produit en illustration de ce travail.

Caractérisation hydrodynamique des versants

La collecte de données se poursuit sur trois sites :

- Kamech : Etude de la capacité de rétention de l'eau par les sols argileux fissurés, rôle de la fissuration dans les phénomènes d'érosion.
- El Gouazine : Etude du bilan hydrique d'un versant aménagée en diguettes de rétention en courbes de niveau.
- Fidh Ali : Etude de la dynamique du ravinement.
- Saboun : Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols du bassin versant selon 4 gradients (différents types de sols, positions topographiques et usages) par la méthode du « tension disk infiltrometer ».

Bilan et modélisation hydrologiques des lacs collinaires

L'IH a mis au point un modèle conceptuel de remplissage des réservoirs adaptés aux situations des lacs collinaires du semi-aride méditerranéen (Cf. Rapport IH, an. 5) .

Deux modèles du ruissellement et de l'érosion qui tiennent compte des hétérogénéités spatiales dans le bassin versant ont été appliqués (Modèle Kinéros¹ et modèle H2U²).

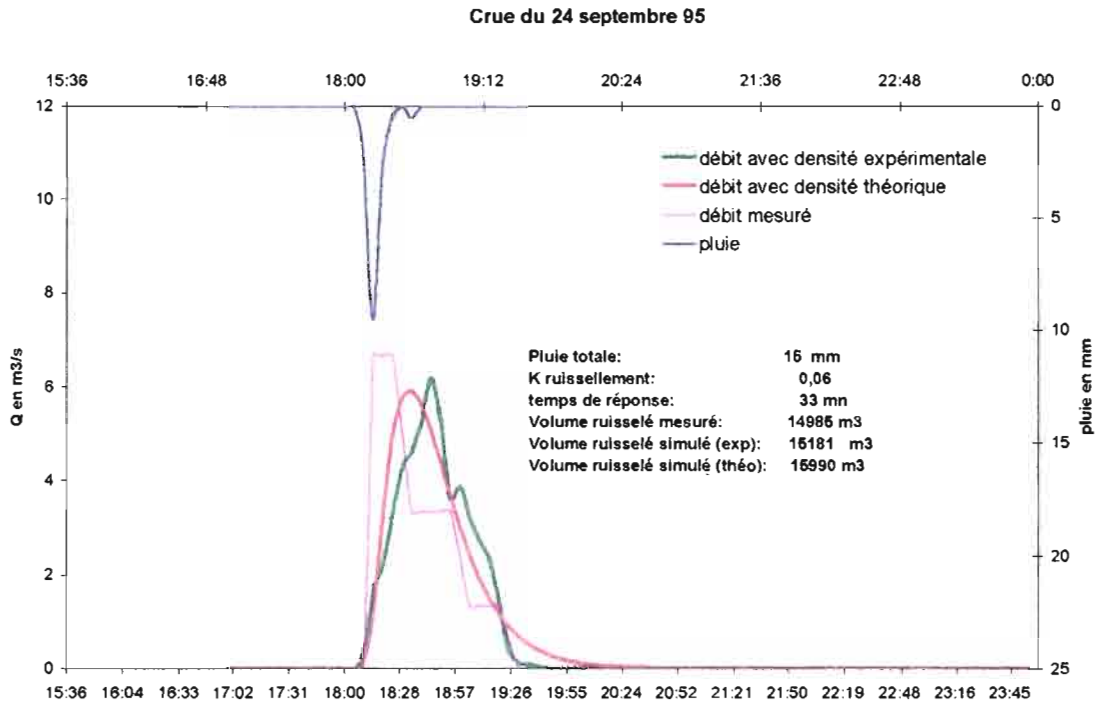
Taoufik Mansouri a été reçu pendant quatre mois (Janvier à Avril 1999) au laboratoire d'Hydrologie de l'IRD à Montpellier pour mettre en œuvre le Modèle Kinéros sur trois bassins de lacs collinaires, dans le cadre d'une allocation de recherche de l'IRD.

Slah Nasri a bénéficié d'un Contrat Formation Insertion de l'IRD pour se rendre au laboratoire du Génie Rural de l'ENSA Rennes pour une caractérisation des réseaux hydrographiques de huit bassins versants et l'application du modèle H2U. La figure 2 montre un exemple de simulation de crue sur le bassin versant d'El Gouazine.

¹ Woolhiser D.A, Smith R.E., Goodrich D.C. (1990) : A kinematic runoff and erosion model. Documentation and user manuel. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130p.

² Cudeneneq C. & Duscheneq J. (1997) : Le modèle H2U : Etat de l'art. Une modélisation déterministe de la transformation de la pluie en débit. ENSAR 34 p.

Figure 2 : Simulation de l'événement du 24 sept 1995 à El Gouazine (Slah Nasri)



Etude de l'érosion des bassins versants et sédimentation des lacs

Les études de l'érosion à différentes échelles se poursuivent :

- Echelle du bassin versant avec la mesure de la sédimentation dans les barrages. Poursuite des observations.
- Echelle du versant avec le suivi des ravines et une étude particulière sur le rôle du gypse dans les processus d'érosion : dissolution du gypse, suffosion des argiles et ravinement. Du fait des caractéristiques géologiques et pédologiques de son bassin versant, la retenue collinaire de Fidh Ali est soumise à des apports terrigènes volumineux mettant en cause la pérennité de l'aménagement. Des formes d'érosion régressive classique sont présentes dans toutes les zones à forte pente du bassin versant. Cependant, là où la pente est moins accentuée, les fronts d'érosion des têtes de ravine montrent des indices d'érosion chimique par dissolution interne de sol gypseux, qui semble renforcer l'effet mécanique d'entraînement du ruissellement en surface.

Une recherche faisant le thème d'un stage de DEA proposé à V. REYES, a pour objectif de quantifier, en un ou deux sites choisis, la cinétique de la dissolution et de la mobilité des sels solubles (essentiellement gypse et chlorures), par quelques suivis d'écoulement interne provoqués par mini-simulation de pluie. Ce protocole de terrain doit permettre, une fois dégagé les traits marquants de ces cinétiques, de proposer un modèle adapté de transfert de solutés. En fonction de situations idéalisées (distribution de pluies, pente, richesse en gypse, distribution de perméabilité), le modèle doit pouvoir simuler l'importance de l'érosion chimique à l'échelle locale et, par généralisation, à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de la retenue.

- Echelle de la parcelle avec des études sous simulations de pluies (simulateur manuel et mécanique).

Qualité des eaux et transferts des polluants dans les sols

- Poursuite des mesures et observations de qualité des eaux en routine en Tunisie et au Maroc.
- Le bilan hydrologique (pluviométrie, hauteur d'eau, évaporation), établi depuis 3 ans et demi sur le site de Kamech, montre une étroite relation hydrodynamique entre les eaux de surface et l'aquifère par la présence d'un terme négatif du bilan annuel représentant approximativement 1/3 du volume de la retenue.

L'objectif central d'une recherche engagée cette année et proposée comme stage de DEA, à Mlle D. GAY, est de documenter la nature des relations hydrologiques à l'aide de traceurs naturels (chimiques et isotopiques ^{18}O , ^{2}D et ^{13}C) et de les interpréter à la lumière des données hydrologiques de surface. Au delà des résultats concernant le fonctionnement géochimique des aquifères du bassin versant, on attend de l'interprétation des données isotopiques collectées, confrontées aux chroniques hydrologiques, la confirmation d'un modèle de relations entre aquifères et lac.

ACTION 3 : AGRO-ECONOMIE - GESTION SOCIALE DE L'EAU ET DE L'EROSION.

Agronomie

Les études en agronomie pendant cette période se sont orientées principalement vers la détermination précise de la consommation en eau des cultures et de l'évapotranspiration potentielle climatique dans les bassins versants contrastés de Kamech (zone sub-humide mais très fortement ventée) et de El Gouazine (zone semi-aride). La transpiration du blé (culture pluviale prédominante) a été mesurée sur des parcelles des agriculteurs par la méthode du rapport de Bowen (la figure 3 montre un exemple des données recueillies). L'évapotranspiration potentielle climatique a été déterminée par la formule de Penman-Monteith. Pour cela sur chaque site une station micro-météorologique complète a été installée depuis janvier 99. Suite aux mesures sur le blé, ces stations ont été installées depuis début juin sur des cultures de tomates irriguées.

Usage de l'eau

Au Maroc, une étude sur l'utilisation de l'eau en milieu rural a été réalisée sur trois « Douars » limitrophes au barrage collinaire Saboun et du périmètre irrigué en aval (plaine de Mharar). Des enquêtes ont été effectuées sur plus de 300 agriculteurs, elles sont actuellement en cours de dépouillement (Cf. Rapport IAV).

En Tunisie, l'étude des systèmes de production des exploitations agricoles irriguées à partir des lacs collinaires choisis comme sites pilotes est basée essentiellement sur les données d'observation des unités de production validées par des visites et contrôle de terrain.

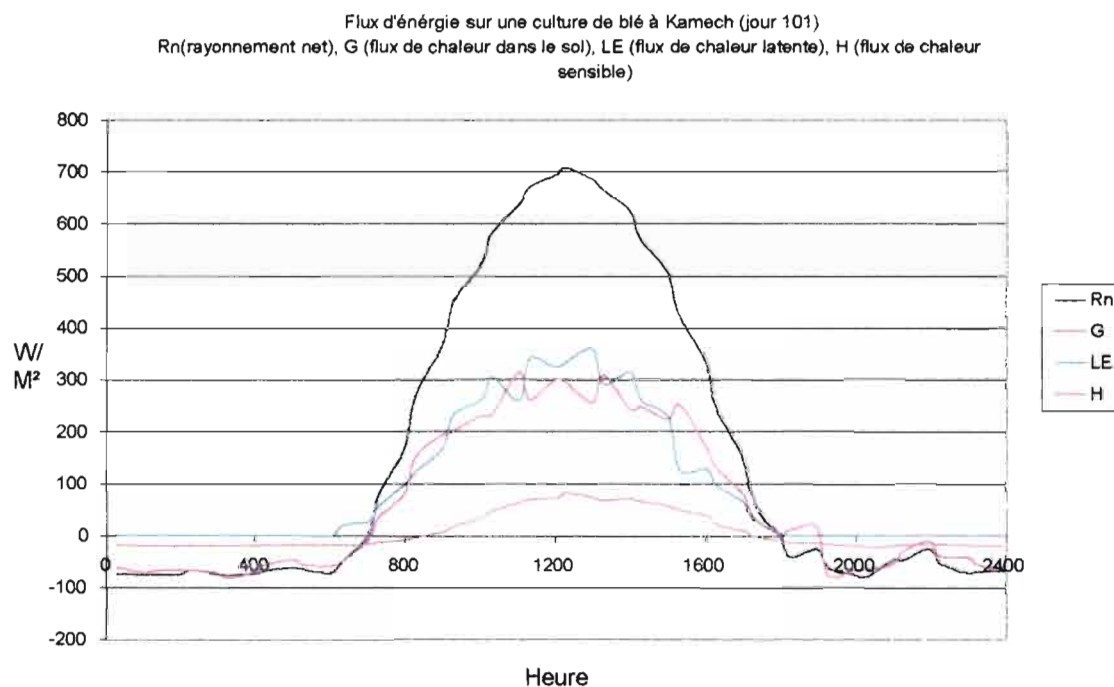
ACTION 4 : PERENNITE ET INTEGRATION DU LAC COLLINAIRE

L'utilisation d'un modèle économique de programmation linéaire (LINDO) ayant pour fonction d'objectif la maximisation des marges brutes des cultures par lac sous les contraintes de disponibilités de l'eau dans la retenue et de la terre irrigable, montre que l'optimisation des usages de l'eau n'est pas difficile à atteindre. Le développement de la gestion sociale par l'intermédiaire des associations et des groupements ou comités d'eau efficaces, reste le facteur le plus important garantissant l'exploitation optimale des ressources rares mobilisées par les retenues collinaires (Cf. Rapport IRD-INGREF, an. 1). Ce travail a fait l'objet du mémoire de spécialisation de Mlle Trabelsi Yamina à l'ESA de Mograne. La marge brute par lac est

importante et atteint 18000 dinars à Es Sénega, 20000 dinars à Kamech et quelques milliers dinars à El Gouazine. Bien que les superficies irriguées restent très faibles par rapport aux superficies totales des exploitations, les revenus ont été largement améliorés par rapport à la situation sans lac collinaire.

La réalisation d'une banque de données géo-référencées sur 450 lacs construits en Tunisie depuis le début de la décennie 1990 est en cours.

Figure 3 : Flux d'énergie sur une culture de blé dans le bassin versant de Kamech



ACTION DE COORDINATION

Les activités de coordination ont été ce semestre :

- la mission en Syrie et au Liban du Coordinateur, accompagné du représentant de l'IRD à Tunis et du Directeur Adjoint du CREEN (Centre de Recherche sur l'Eau et l'Environnement de l'Université St Joseph de Beyrouth) Du 26 Janvier au 2 Février 1999.
- la préparation et la participation d'Hydromed à la conférence du 5ème programme cadre de recherche et de développement technologique de l'Union Européenne a Essen les 25 & 26 Février 1999.
- la préparation du séjour scientifique de haut niveau qu'a effectué Dr Abdallah Droubi de l'ACSAD en France auprès de l'IRD à Montpellier et Paris, de l'Université de Strasbourg, de l'Université de Montpellier et de l'université de Toulouse, du 28 Mars au 18 Avril 1999.
- la rédaction de ce cinquième rapport d'avancement.

ACTION DE FORMATION

La formation à la recherche par la recherche reste le volet prioritaire du programme Hydromed. Le semestre qui vient de s'achever a vu la soutenance de la thèse de Magnus Persson (cf. résumé dans rapport de Lund).

De nombreux mémoires de fin d'études ou des stages de formation de plusieurs semaines ont été accueillis par Hydromed :

Tunisie

- Mekki Insaf a soutenu un mémoire de Troisième cycle à l'INAT le 13 Février 1999 sur l'étude intégrée du bassin versant de Kamech et de l'exploitation de l'eau collectée pour l'irrigation.
- Lagasque Marie Paule et Bernier Sylvie ont présenté un micro-projet sur la réalisation de MNT en vue d'utilisation en modélisation hydrologique dans le cadre d'un master en sciences à l'ENGREF à Montpellier. Définition des paramètres d'entrée d'un modèle hydrologique spatialisé dans le cadre de l'analyse spatiale du processus d'érosion en Tunisie. (Mai 1999). Ce travail a fait l'objet d'une publication sous forme de CD Rom.
- Gay Déborah a soutenu un mémoire de DEA au Laboratoire d'hydrologie et de géochimie Isotopique de l'Université d'ORSAY, PARIS XI : " Géochimie isotopique des relations hydrologiques entre lac de retenue et aquifère. Petit Barrage collinaire de Kamech; Tunisie (juin 1999).
- Trabelsi Yamina a soutenu un mémoire de projet de fin d'étude à l'ESA de Mograne; Spécialité : Agro - économie : " Etude de l'offre et modélisation de la demande en eau : cas des lacs collinaires de Kamech (Nabeul), El Gouazine (Kairouan) et Es Sénégal (Kasserine) (Juillet 1999).

Maroc

- El Hammoudi, Azzédine (en cours) : Evaluation des paramètres de taux de délivrance des sédiments. Application au bassin versant de Telata. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Jalade, Annick : Contribution et réutilisation d'un prototype de SIG pour la gestion Environnementale d'un bassin versant Marocain. Application au bassin versant de Telata. Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse.
- Moussadek, Rachid (en cours): Fonctionnement hydrologique et risque d'envasement de barrage Saboun (Tangérois) Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.
- Morel, Sophie. Utilisation de l'eau en milieu rural : Cas du bassin versant Saboun. Stage de fin d'année.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE (DEPUIS LE DEBUT DU PROGRAMME)

A ce jour, la production scientifique d'Hydromed peut se résumer comme suit :

- Douze articles publiés dans des revues internationales à comité de lecture.

- Deux thèses de doctorat.
- Quarante cinq communications dans des congrès, colloques et séminaires, dont quarante deux sont publiées dans des actes et trois n'ont fait l'objet que de communications orales.
- Quatre notes techniques d'intérêt général.
- Vingt et un mémoires de fin d'études, DEA, MASTER, 5^{ème} ou 6^{ème} Année d'école d'ingénieurs. Dont 2 étudiants de Suède, 14 des pays méditerranéens et 1 du Bénin.
- des rapports divers.
- Neuf Posters.

Publications dans des revues de rang :

ALBERGEL J. & REJEB N. (1997) : Les lacs collinaires en Tunisie : Enjeux, contraintes et perspectives. CR. Acad. Agric. Fr., 1997, pp. 77-88. Séance du 19 Mars 1997. Note présentée par J. ALBERGEL. Discussion pp. 101-104.

PERSSON M. (1997) : Soil solution electrical conductivity measurements under transient conditions using time domain reflectometry. Soil. Sci. Soc. Am. J. vol 61 n°4 July August 1997 pp. 997-1003.

HOUSSA R., MERZOUK A., ABDELLAOUI B., ABERKAN M. (1998) : Cartographie des états de surface en relation avec le processus de ruissellement des sols: région du nord du Maroc. "La réalité de terrain en télédétection: pratiques et méthodes". Ed. J.M.M. Dubois, M. Bernier, J.P. Fortin. Agence universitaire de la francophonie. Montréal, Québec, pp. 319-328.

MERZOUK A. & DHMAN H. (1998) : Shifting landuse and its implication on sediment yield in the Rif Mountains (Morocco). Advances in Geocology N°31, pp.333-340.

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1998) : Soil texture effects on temperature dependency for measurements with TDR, Soil Sci. Soc. Am. J., (in press).

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1998) : Texture and electrical conductivity effects on temperature dependency in time domain reflectometry. Soil. Sci. Soc. Am. J. Vol 62 July August 1998 pp 887-893.

PERSSON M., BERNDTSSON R., ALBERGEL J., NASRI S., BAHRI A., ZANTE P. (1998) : A non-invasive approach for measurements of near-surface water content, Annal. Geophys., 16, Suppl. II, C483.

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1998) : Estimating transport parameters in an undisturbed soil column using time domain reflectometry and transfer function theory, J. Hydrol., 205, 232-247.

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1998) : Noninvasive water content and electrical conductivity laboratory measurements using time domain reflectometry, Soil Sci. Soc. Am. J., 62, 1471-1476.

SELMY S. & SAI M.B. (1998) : La gestion collective de l'eau d'irrigation en Tunisie : Particularités des AIC des oasis. In. Sécheresse n° 2, vol. 9, juin 1998.

SELMY S. (1998) : Quels leviers de développement dans les zones collinaires du Centre - Ouest tunisien. In Géographie et Développement (Revue de l'association des géographes tunisiens), Dix-septième année, Numéro 14, pp. 119-133.

SOMOGYI P., BERNDTSSON R., ALBERGEL J., NASRI S., BAHRI A., ZANTE P. (1998) : Preferential flow as indicated by brilliant blue, Annal. Geophys., 16, Suppl. II, C480.

Ouvrages, thèses :

RAHAINGOMANANA N. (1998) : Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore. Thèse de doctorat en Hydrologie, Université Montpellier I, 311 p.

PERSSON M. (1999) : Conceptualization of solute transport using time domain reflectometry, a combined laboratory and field study, D. Sc. Thesis, Rep. No. 1025, Dep. of Water Resour. Eng., Lund Univ., Lund, pp. 1-60 + 8 append.

Publication dans des actes de séminaires soumis à comité de lecture :

ALBERGEL J. & CLAUDE J. (1997) : Small dams in the dry Mediterranean area : Stakes, constraints and prospects. In Water in the Mediterranean. Collaborative Euro-Mediterranean Research : State of the art, results and future priorities. Istanbul, 25-29 Nov. 1997.

ALBERGEL J., HABAÏEB H., EL FALEH J., RAHAINGOMANANA N. (1997) : Qualité des eaux dans les lacs tunisiens. Enjeu d'un développement durable de la petite hydraulique dans le semi-aride. In Water resources and irrigation water management. Int. Conf. On Water management, salinity and pollution control towards sustainable irrigation in the Mediterranean region. Vol. III « Water resources and irrigation water management ». AIIA, WWC, CIHEAM/MAI-B. 22-26 Sept 1997, Bari. Pp. 55-63.

ALBERGEL J., SMAOUI M., HABAÏEB H., NASRI S. (1997) : Analyse des régimes hydrologiques des rivières et torrents non pérennes à partir d'observations sur les retenues artificielles. Exemple du semi-aride tunisien. V^{ème} assemblée scientifique de l'AIISH de Rabat.

HABAÏEB H., LARBI A., ALBERGEL J. (1997) : Reconstitution des crues. Application au Lac d'EL GOUAZINE. Les Journées Scientifiques de l'INGREF : Collecte, stockage et valorisation des eaux de ruissellement en agriculture pluviale. IRESA, SERST, UE, CIHEAM, ORSTOM, GTZ. Monastir, 25-27 Mars 1997.

MERZOUK A. & DHMAN H. (1997) : Shifting land use and its implication on sediment yield in the Rif mountains (Morocco). ISCO, Post Conference Book. 9th conference in Bonn Germany (in press).

NASRI S., ALBERGEL J. (1997) : Hydrological Survey on hill reservoirs in the semi-arid Tunisia. In Water in the Mediterranean. Collaborative Euro-Mediterranean Research : State of the art, results and future priorities. Istanbul, 25-29 Nov. 1997.

NASRI S., ALBERGEL J., SMAOUI M., HABAÏEB H. (1997) : Hydrologie des lacs collinaires en Tunisie. Les Journées Scientifiques de l'INGREF : Collecte, stockage et valorisation des eaux de ruissellement en agriculture pluviale. IRESA, SERST, UE, CIHEAM, ORSTOM, GTZ. Monastir, 25-27 Mars 1997.

ONIBON H., ALBERGEL J., BARGAOUI, PEPIN Y. (1997) : Modélisation des transports solides sur les bassins versants des lacs collinaires. Les Journées Scientifiques de l'INGREF : Collecte, stockage et valorisation des eaux de ruissellement en agriculture pluviale. IRESA, SERST, UE, CIHEAM, ORSTOM, GTZ. Monastir, 25-27 Mars 1997.

RAGAB R., AUSTIN B.N., ALBERGEL J. (1997) : Hydrology of semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs : an overview and some preliminary results from a Tunisian catchments. In Water in the Mediterranean. Collaborative Euro-Mediterranean Research : State of the art, results and future priorities. Istanbul, 25-29 Nov. 1997.

RAGAB R., SENE K., AUSTIN B. (1997) : A decision support system for hill reservoirs in the semi-arid zone of the Mediterranean periphery, EGS meeting in Vienna, Austria, April 21-25, 1997.

RAHAINGOMANANA N. (1997) : Qualité de l'eau des lacs collinaires de la Tunisie Centrale. Les Journées Scientifiques de l'INGREF : Collecte, stockage et valorisation des eaux de ruissellement en agriculture pluviale. IRESA, SERST, UE, CIHEAM, ORSTOM, GTZ. Monastir, 25-27 Mars 1997.

SELMI S. & SAI B. (1997) : La gestion collective de l'eau d'irrigation en Tunisie : particularités des AIC des Oasis. In Mutation des sociétés rurales et développement durable dans les pays de la rive Sud de la Méditerranée. Centenaire de l'INAT. Tunis. 15-16 Décembre.

SELMI S. & TALINEAU J.-C. (1997) : Diversité et problématique de la gestion collective des lacs collinaires tunisiens. In. La ruralité dans les pays du Sud à la fin du XX siècle. pp. 455-470. Colloques et séminaires. ORSTOM éditions.

SELMI S. (1997) : Interventions de l'Etat en milieu rural et réactions des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare. Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien (Résumé de thèse en 10 pages). In Bulletin du Réseau Erosion n° 17, juillet 1997, pp. 176-185.

SELMI S. (1997) : L'accumulation du capital humain : un déterminant essentiel des stratégies familiales d'exploitation des lacs collinaires en Tunisie semi-aride. Accepté pour présentation aux VI journées démographiques de l'ORSTOM : régulations démographiques et environnement. Paris, 22-24 septembre 1997.

SELMI S. (1997) : Une méthodologie d'évaluation des lacs collinaires. In. Les journées scientifiques de l'INGREF - Collecte, stockage et valorisation des eaux de ruissellement en agriculture pluviale. Monastir, 25-27 mars 1997.

SELMI S., ALBERGEL J., NASRI S. (1997) : Quelques outils de gestion pour une allocation optimale d'une ressource aléatoire : l'eau des lacs collinaires en Tunisie. In. Séminaire International « Agriculture et Développement Durable en Méditerranée. Montpellier, 10 - 12 mars 1997. AGROPOLIS INTERNATIONAL.

SELMI S., AUCLAIR L., ZEKRI S. (1997) : Evolution de la politique de conservation des ressources naturelles et de lutte anti-érosive en Tunisie. In Troisième Séminaire de Géographie. Université des Lettres (Tunis I). Faculté des Lettres de Manouba. Département de Géographie, 10-12 avril 1997.

ALBERGEL J. & PEPIN Y. (1998) : Modeling small dams siltation with MUSLE. in Séminaire International : Rain Water harvesting and management of small reservoirs. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

ALBERGEL J., NASRI S., BOUFAROUA M. (1998) : Small dams water balance : experimental conditions, data processing and modeling. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

ALBERGEL J., NASRI S., PEPIN Y., VACHER J. (1998) : Gestion d'un lac collinaire pour des périmètres irrigués, exemple du lac Kamech dans le Cap-Bon. In les journées scientifiques de l'INGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

BOUFAROUA M., ALBERGEL J., FARHAT H. (1998) : Suivi et surveillance des lacs collinaires dans la zone semi-aride de la Tunisie. In Colloque EURISY, Athènes, 19 - 20 octobre 1998.

CHEN C. (1998) : Remote sensing applications for the management of small catchments in arid and semiarid areas. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

EL AMAMI H. & OUESLATI B. (1998) : Impact socio-économique de la pénurie en eau. Cas des lacs collinaires. In les journées scientifiques de l'INGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

EL GAROUANI A., JABRAN R., BOUSSEMA M., MERZOUK A. (1998) : Contribution à la caractérisation hydrologique de bassins versants par télédétection et SIG : cartographie de l'évaporation réelle. in Colloque International "L'observation spatiale : un outil pour l'étude du bassin méditerranéen. Tunis, 23-27 novembre 1998. Centre national d'études spatiales (CNEO), Toulouse, France.

GRUNBERGER O., MONTOROI J. P., NASRI S., ALBERGEL J., PEPIN Y., RAHAINGOMANA N. (1998) : Water chemistry of a small reservoir catchments in Central Tunisia. In Séminaire International : Rain Water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

HOYBYE J. (1998) : Deterministic versus stochastic hydrological modeling, uncertainties and decisions. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

JABER B. & SAAD F. (1998) : Lebanese hydrology & needs for water storage. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

MEKKI I., ZANTE P., MASMOUDI M., BEN MECHLIA N. (1998) : Dynamique de l'utilisation de l'eau d'un lac collinaire pour l'irrigation. In les journées scientifiques de l'INRGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

MERZOUK A. (1998) : Land use transformation impact on reservoir siltation in Morocco : the need for better assessment tools. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

MERZOUK A., MEJJATI ALAMI M., ABDELLAOUI M., BERKAT O. (1998) : Rupture des écosystème pastoraux du Rif centro-occidental : conséquences hydrologiques et besoins en suivi. in Colloque Int. "L'observation spatiale : un outil pour l'étude du bassin méditerranéen. Tunis, 23-27 novembre 1998. Centre national d'études spatiales (CNEO), Toulouse, France.

MORENO F., DE LA ROSA D., FERNÁNDEZ J.E. (1998) : Integrating soil profile and soil hydraulic properties data bases to be used in simulation models and land evaluation expert system. Proceedings of the International Seminar on Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas (in press).

MORENO F., FERNÁNDEZ-BOY E., CABRERA F., FERNÁNDEZ J.E., PALOMO M.J., GIRÓN I.F., BELLIDO B. (1998) : Irrigation with saline water in the reclaimed marsh soils of south-west Spain: impact on soil properties and cotton crop. Proceedings of the International Workshop on The Use of Saline and Brackish Water for Irrigation, pp. 51-58. Bali, Indonesia, 23-24 July 1998.

NASRI S., GRUNBERGER O., ALBERGEL J. (1998) : Recharge artificielle des nappes phréatiques par les lacs collinaires. Exemple de l'oued El Gouazine (Ousseltia - Kairouan). In les journées scientifiques de l'INRGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

PERSSON M. (1998) : Solute transport and water content measurements in arid soils using Time Domain Reflectometry. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

PRINZ D. (1998) : Water harvesting in the Mediterranean environment. It's past role and future prospects. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

RAHAINGOMANA N. (1998) : Water chemistry in small reservoirs of the semiarid Tunisia. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

RAHAINGOMANA N., BAHRI A., LEMOALLE J. (1998) : Prévion d'évolution de la qualité de l'eau des lacs collinaires en période sèche à l'aide du modèle EXPRESSO. In les journées scientifiques de l'INRGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

SELMi S. (1998) : La gestion collective des lacs collinaires en Tunisie : Vide juridique et pouvoir social important. In. Colloque SFER / Irrigation et gestion collective de l'eau en France et dans le Monde, Montpellier - Agropolis, 19-20 novembre 1998.

ZANTE P. & NASRI S. (1998) : The use of TDR for wetness measurements in soil erosion and conservation practices in small watersheds. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

ZHU K., HUI C., ZHANG L., BERNDTSSON R. (1998) : Disinfection and fresh-keeping of rainwater in small scale cisterns. In arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.

BENMOUSSA M., MLY CHERIF C., MERZOUK A., SIDQUI M. (1999) : Contribution à l'élaboration d'un SIG intégrant la télédétection pour la gestion et le suivi de la pollution des eaux : cas du barrage Sahla (rif, Maroc). Colloque International en marge du 67ème Congrès de l'ACFAS, sur : La télédétection optique et radar et la géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux. Ottawa du 10 au 14 mai 1999., 7 pages.

CHERKAOUI M., MERZOUK A., AMEZIANE T. (1999) : Etablissement d'un SIG intégrant la télédétection pour la gestion conservatoire des eaux et des terres dans la province de Tanger (Maroc). Colloque International en marge du 67ème Congrès de l'ACFAS, sur : La télédétection optique et radar et la géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux. Ottawa du 10 au 14 mai 1999., 7 pages.

MEJJATI ALAMI M. & MERZOUK A. (1999) : Réponses spectrales des espèces clé des formations végétales du bassin rifain (Maroc) et leur utilisation dans la télédétection des faciès pastoraux. (accepté) aux Villes Journées scientifiques du Réseau de Télédétection : La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives, Lausanne, Suisse.

MEJJATI ALAMI M., MERZOUK A., BERKAT O. (1999) : Cartographie et diagnostic du niveau de production des écosystèmes pastoraux du Rif occidental (Bassin versant Telata) à l'aide de l'imagerie spectrale. 67e Congrès de l'ACFAS, Ottawa, 10 au 12 mai 1999, Canada.

Notes techniques :

ALBERGEL J., GUIGUEN N., PEPIN Y. (1997) : Comment faire le suivi hydrologique d'un petit barrage ? ORSTOM. Note technique.

GUIGUEN N. (1998) : L'acquisition numérique et autonome de données hydro-pluviométriques. L'expérience d'un réseau pilote tunisien de 1992 à 1998. "Suivi des barrages en zone semi-aride". CES / Ministère de l'Agriculture. ORSTOM. Note technique.

PEPIN Y. (1996) : Méthode utilisée pour les mesures de l'envasement d'un lac collinaire en Tunisie. CES / Ministère de l'Agriculture. ORSTOM. Note technique.

VACHER J. (1998) : Un modèle agro-météorologique simple de détermination du bilan hydrique d'une culture. Document interne IRD Tunisie. 12 p.

Mémoires d'étudiants :

1997

BELMAMOUN M. (1997) : Apport des données satellitaires, de l'analyse morphostructurale et du réseau hydrographique à l'élaboration du schéma néotectonique de la région de Melloussa (région du bassin versant Saboun). Mémoire de DEA, IAV Hassan II. Rabat, 1997. (Maroc).

EL FATEH S. (1997) : Suivi des lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Projet de fin d'étude, ENIT. Tunis, juillet 1997. (Tunisie).

EL OUAZANI A. (1997) : Contribution des données multispectrales SPOT et LANDSAT TM à l'identification des paramètres d'érodabilité des sols : l'exemple du bassin versant de Telata (région Tangérois). Mémoire de DEA, IAV Hassan II. Rabat, 1997. (Maroc).

KOURAIMI K. (1997) : Cartographie et analyse de la production pastorale et ligneuse du matorral dans le Rif occidental. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, IAV Hassan II. Rabat, 1997. (Maroc).

LAMRANI O. (1997) : Estimation des Qmax pour l'étude d'exécution de lacs collinaires. Projet de fin d'étude, 3ème année génie civil ENIT. Tunis, juillet 1997. (Tunisie).

LARBI A. (1997) : Analyse temporelle et spatiale des pluies mensuelles. Application à la gestion des lacs collinaires. Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation, INAT. Tunis, novembre 1997. (Tunisie).

MOATAMID Z. (1997) : Modélisation de l'écoulement et de l'érosion dans le bassin versant mameux Khadra (Rif Occidental). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, IAV Hassan II. Rabat, 1997. (Maroc).

MOUELHI I. (1997) : Etude comparative des formules empiriques d'estimation des apports liquides et solides ainsi que les débits de crues (cas de la dorsale tunisienne). Mémoire d'ingénieur, filière hydraulique et aménagement, ESIER. Medjez El Bab, Juin 1997. (Tunisie).

ONIBON H.G. (1997) : Analyse statistique de l'envasement des lacs collinaires à partir des caractéristiques géomorphologiques. DEA de modélisation en hydraulique et environnement de ENIT. Tunis, juillet 1997. (Tunisie).

PALMQUIST O. & TULLBERG O. (1997) : A experimental study of pollutant transport and erosion susceptibility in Tunisia. A study with rainfall simulation and dye in the M'Richet El Anse catchments. Master of Science thesis, Minor Field Study. Lund, 1997. (Suède).

PERSSON M. (1997) : Non-destructive measurements of solute transport in the unsaturated zone using time domain reflectometry. Lic. Sc. Thesis, Rep. No. 3212, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, 1997. (Suède)

ROMDHANE A. (1997) : Risque sanitaire des lacs collinaires. Projet de fin d'étude, INAT, Département de génie Rural, Eaux et Forêts. Tunis, juillet 1998. (Tunisie).

1998

CHALRHAMI I. (1998) : Etude des caractéristiques hydrodynamiques en fonction des utilisations des terres et de types des sols dans le bassin versant de Telata. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, IAV Hassan II. Rabat, 1998. (Maroc).

CHIKHAOUI M. (1998) : Fonctionnement hydrologique et risque d'envasement de barrage Saboun (Tangérois). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, IAV Hassan II. Rabat, 1998. (Maroc).

HICHAM E. (1998) : Comparaison de trois modèles d'érosion en utilisant les techniques Géomatiques et SIG. Mémoire d'ingénieur d'état, option sciences du sol, IAV Hassan II. Rabat, septembre 1998. (Maroc).

SIDQUI M. (1998) : Contribution à l'élaboration d'un SIG pour la gestion et le contrôle de la pollution des eaux : Cas du barrage de Sahla. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, IAV Hassan II. Rabat, 1998. (Maroc).

TRABELSI Y. (1998) : Modélisation de l'offre de l'eau des lacs collinaires et recherche d'outils socio-économiques pour une meilleure gestion de la demande en eau d'irrigation. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur, ESAM Mograne. (Tunisie).

1999

GAY D. (1999) : Géochimie isotopique des relations hydrologiques entre lac de retenue et aquifère. Petit Barrage collinaire de Kamech; Tunisie. DEA Lab. d'hydrologie et de géochimie Isotopique de l'Université d'ORSAY, PARIS XI. Paris, juin 1999. (France).

MEKKI I. (1999) : Etude intégrée du bassin versant de Kamech et de l'exploitation de l'eau collectée pour l'irrigation. Troisième Cycle INAT, Année de Spécialisation. (Tunisie).

TRABELSI Y. (1999) : Etude de l'offre et modélisation de la demande en eau : cas des lacs collinaires de Kamech (Nabeul), El Gouazine (Kairouan) et Essenega (Kasserine). Proj. fin d'études ESA de Mograne; Spécialité : Agro - économie. Juillet 1999. (Tunisie).

Posters :

ALBERGEL J., COLLINET J., ZANTE P. (1999) Hydromed Action 2: Eau-sol-environnement La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

ALBERGEL J. (1999) - HYDROMED Research program on hill reservoirs in the semi arid Méditerrananean periphery (English, French and German) La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

COLLINET J., ZANTE P (1998) : Infiltrabilité des sols bruns calcaires du bassin versant de M'Richet El Anse. Congrès International des sciences de sol Montpellier Août, 1998.

DROUBI A., IBRAHIM Y, KAYAT S, EL SOUKI M. (1999) A preliminary evaluation of water budget (Syndianeh lake - Syria) La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

LARBI-MESSAI A., ALBERGEL J., HABAIEB H., PEPIN Y., SLIMANI M. (1997) : Analyse Spatio-temporelle des pluies dans la Tunisie des lacs Collinaires. Centenaire de l'INAT, séminaire ressources naturelles, Tunis, 11-13 novembre 1997.

MEKKI I., ZANTE P., MASMOUDI M., BEN MECHLIA N. (1999) : Caractérisation hydrique du bassin versant Kamech. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

MERZOUK A., BENYOUNES A., CHIKHAOUI M., MEJJATTI ALAMI M., ALBERGEL J., MORENO F., ROOSE E. (1999): Fonctionnement hydrologique et risques d'envasement du barrage collinaire SABOUN (Tangérois) La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

MONTROI J.P., GRUNBERGER O., NASRI S. (1999) Alluvial aquifer recharge of a small hill reservoir in central Tunisia. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

NASRI S (1999) Agroclimatological research on hill reservoirs in the semi arid zone of the mediterranean periphery. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

SELMI S. & ZEKRI S. (1999) : Le lac collinaire d'El Gouazine (Kairouan) - Un exemple d'avantages au profit de la collectivité locale. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

SELMI S. (1999) Lacs collinaires en Tunisie semi-aride - des enjeux pour l'environnement et le développement agricole La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999.

Diaporamas électroniques, Pages Web, CD Rom

ALBERGEL Jean (1998) Hydromerd : Programme de recherche sur les lacs collinaires en zone semi-aride du pourtour méditerranéen. <http://www.bondy.ird.fr/gp 623>

RAHAINGOMANANA N. (1999) Water Chemistry in small reservoir of the semi-arid Tunisia. Power Point Diaporama , slides 33. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999

RAGAB R., AUSTIN B.N. ALBERGEL J. (1999) Hydrology of semi arid mediterranean catchments with hill reservoirs : An overview and some preliminary results from a Tunisian catchment. slides 33. La launch of the 5th Framework Programm. Essen 25-26 Fev. 1999

LAGASQUIE M. P. et BERNIER S. (1999) Définition des paramètres d'entrée d'un modèle hydrologique spatialisé dans le cadre de l'analyse spatiale du processus d'érosion en Tunisie. CD Rom. ENGREF.

Rapports

ALBERGEL J., CLAUDE J., JOB J.O. (1999) : Rapport de mission en Syrie et au Liban, du 29/1 au 2/2/99. IRD, Tunis.

GUIGUEN N. & LOUATI M.B.Y (1997) : Rapport de mission au Maroc. 3-10 Novembre 1997. ORSTOM IAV.

HYDROMED (1997) : Compte rendu de la première réunion de coordination.

HYDROMED (1997) : Premier et second rapports d'avancements.

HYDROMED (1997, 98) : Hydronews 1, Hydronews 2, Hydronews 3, Hydronews 4

HYDROMED (1998) : Troisième et Quatrième rapport d'avancement.

HYDROMED (1999) : Cinquième rapport d'avancement.

KARA DAMOUR S. & MISKI A. F. (1997) : Small dams and hill reservoirs in Syria. ACSAD.

MANSOURI T. (1998) : Etat d'avancement des travaux de recherche. Période du 1/1/97 au 30/10/97 ORSTOM, Université de Tunis II.

PEPIN Y. & LOUATI M.B.Y (1997) : Equipement des sites pilotes syriens. Rapport de mission en Syrie. Du 27 novembre au 4 décembre 1997. ORSTOM - ACSAD.

PEPIN Y. & LOUATI M.B.Y (1998) : Rapport de mission en Syrie. Du 8 au 17 décembre 1998. ORSTOM - ACSAD.

PERNIN C. (1998) : Règles de gestion de l'eau d'irrigation des lacs collinaires tunisiens. Rapport IRD/INAPG. 65 p.

ROOSE E. (1997) : Protection des terres et gestion du ruissellement à l'amont d'un lac collinaire en zone méditerranéenne semi-aride. Etude Bibliographique pour le projet Hydromed. ORSTOM Montpellier.

SELMi S. & NASRI S (1997) : Synthèse préliminaire sur les lacs collinaires de Tunisie. INGRES-ORSTOM Tunis

SELMi S. (1998) : Rapport sur le lac Syndiana. ORSTOM - ACSAD.

CONCLUSION

Les échéances du contrat sont respectées et l'avancement des travaux suit le rythme prévu.

La formation à la recherche par la recherche est un point fort de ce programme avec 20 mémoires de fin d'étude et deux thèses de doctorats soutenues et plusieurs autres en cours. De nombreuses sessions de formation sont organisées par les laboratoires associés et ouvertes au plus grand nombre. Des ateliers et séminaires permettent d'échanger de l'information. La plupart des résultats du projet seront valorisés dans des travaux de thèses.

Le succès de ce projet a été confirmé avec le stand organisé à la conférence de Essen, Février 1999 : Conference on the Fifth Framework Program. Neuf posters ont été présentés sur ce stand émanant de toutes les parties prenantes du projet. Deux diaporamas électroniques ont été réalisés à cette occasion. Le site Internet sur le programme "Petits barrages" de l'IRD qui accueille les pages webs d'Hydromed était consultable depuis le stand.

La production scientifique conserve un rythme honorable. Plusieurs projets de co-publication sont en cours. Un effort particulier sur les publications des résultats et sur la sortie des thèses en cours devra être menée durant les dix huit derniers mois du programme.

Le programme Hydromed a généré de nombreux financements pour des études doctorales, l'organisation d'un séminaire, des voyages d'études essentiellement par :

- l'intermédiaire des outils du partenariat de l'IRD : allocations de thèses, contrats de formations insertion, séjour scientifique de haut niveau, organisation de stages ou de sessions de formation;
- l'intermédiaire de la coopération Suédoise (Sarec) : allocations de thèses, voyages scientifiques, organisation d'un atelier.

De nombreuses coopérations nouvelles apparaissent :

- Une étude en partenariat sur le rôle du manteau neigeux dans le bilan en eau des montagnes méditerranéennes (Liban et Anti Liban) devrait associer, l'ACSAD, l'Université de Lund et l'Université de St Joseph. L'IRD pourrait y participer.

Une coopération bilatérale entre l'IRD et l'ACSAD se met en place sur la création d'observatoires d'études de la désertification.

La troisième réunion de concertation du projet se tiendra à Tanger du 29 Novembre au 4 décembre 1999. Elle sera organisée par l'équipe de l'IAV. Elle comprendra une visite de terrain et des réunions en salle. Les points suivants seront principalement discutés :

- La rédaction du rapport final d'Hydromed
- La possibilité d'organiser un colloque après la fin du projet et qui pourrait se tenir durant le premier trimestre 2001. Il sera nécessaire d'explorer les possibilités de financements.
- Les contributions du programme Hydromed aux banques de données de la commission européennes.
- Les projets de co-publications d'articles.
- Les thèses qui seront soutenues après la fin d'Hydromed.
- Les coopérations scientifiques engagées ou projetées après contrat.

Annexe 1: Rapport d'avancement IRD - INGRES Hydromed en Tunisie & Synthèse de l'avancement de la stratégie CES (1990-2000) en matière de lacs et retenues collinaires

Annexe 2 : Rapport d'avancement IAV Hydromed au Maroc

Annexe 3 : Rapport d'avancement IRNASE

Annexe 4 : Rapport d'avancement Lund

Annexe 5 : Rapport d'avancement IH

Le coordinateur d'Hydromed

Jean ALBERGEL

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jean ALBERGEL', positioned to the right of the printed name.

**Annexe 1 : Rapport d'avancement IRD - INGRES Hydromed en
Tunisie
et
Synthèse de l'avancement de la stratégie CES (1990-2000) en
matière de lacs et retenues collinaires (Dr Salah Selmi)**

RAPPORT D'AVANCEMENT IRD - INGREF HYDROMED EN TUNISIE

Equipe IRD :	ALBERGEL Jean	Equipe INGREF :	NASRI Slah
	COLLINET Jean		MOUGOU Raoudha
	LOUATI B.Y. Mohamed		AMAMI Hassib
	MANSOURI Taoufik		
	PEPIN Yannick		
	SELMi Salah		
	VACHER Jean		
	ZANTE Patrick		

Acquisition des données hydrologiques sur les retenues artificielles

Les observations de terrain se sont poursuivies sur les cinq sites pilotes. Les mesures de bilan hydrologiques et sédimentaires ont été assurées en continu et sans problème. Les mesures de l'envasement des barrages ont débuté en juin avec les basses eaux.

Cartographie des bassins versants

Les cartographies de bases ont été réalisées sur tous les sites pilotes et sont utilisées dans différentes modélisations spatialisées. Elles sont toutes réalisées sur ARC VIEW

Les cartographies des occupations du sol se poursuivent sur deux sites pour une caractérisation des dynamiques agricoles (Kamech et Mriche El Anse).

Notons dans cette rubrique, le projet réalisé par deux étudiants de l'INGREF Montpellier sur : "Définition des paramètres d'entrée d'un modèle hydrologique spatialisé dans le cadre de l'analyse spatiale du processus d'érosion en Tunisie". Un CD rom a été produit en illustration de ce travail.

Caractérisation hydrodynamique des versants

La collecte de données se poursuit sur trois sites :

- Kamech : Etude de la capacité de rétention de l'eau par les sols argileux fissurés, rôle de la fissuration dans les phénomènes d'érosion.
- El Gouazine : Etude du bilan hydrique d'un versant aménagée en diguette de rétention en courbes de niveau.
- Fidh Ali : Etude de la dynamique du ravinement.
- Saboun : Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols du bassin versant selon 4 gradients (différents types de sols, positions topographiques et usages) par la méthode du « tension disk infiltrometer ».

Bilan et modélisation hydrologiques des lacs collinaires

Deux modèles du ruissellement et de l'érosion qui tiennent compte des hétérogénéités spatiales dans le bassin versant ont été appliqués sur les sites pilotes (Modèle Kinéros¹ et modèle H2U²).

¹ Woolhiser D.A, Smith R.E., Goodrich D.C. (1990) : A kinematic runoff and erosion model. Documentation and user manuel. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-77, 130p.

² Cudenec C. & Duschene J. (1997) : Le modèle H2U : Etat de l'art. Une modélisation déterministe de la transformation de la pluie en débit. ENSAR 34 p.

Taoufik Mansouri a été reçu pendant quatre mois (Janvier à Avril 1999) au laboratoire d'Hydrologie de l'IRD à Montpellier pour mettre en œuvre le Modèle Kinéros sur trois bassins de lacs collinaires, dans le cadre d'une allocation de recherche de l'IRD.

Slah Nasri a bénéficié d'un Contrat Formation Insertion de l'IRD pour se rendre au laboratoire du Génie Rural de l'ENSA Rennes pour une caractérisation des réseaux hydrographiques de huit bassins versants et l'application du modèle H2U.

Etude de l'érosion des bassins versants et sédimentation des lacs

Les études de l'érosion à différentes échelles se poursuivent :

- Echelle du bassin versant avec la mesure de la sédimentation dans les barrages. Poursuite des observations.
- Echelle du versant avec le suivi des ravines et une étude particulière sur le rôle du gypse dans les processus d'érosion : dissolution du gypse, suffosion des argiles et ravinement. Du fait des caractéristiques géologiques et pédologiques de son bassin versant, la retenue collinaire de Fidh Ali est soumise à des apports terrigènes volumineux mettant en cause la pérennité de l'aménagement. Des formes d'érosion régressive classique sont présentes dans toutes les zones à forte pente du bassin versant. Cependant, là où la pente est moins accentuée, les fronts d'érosion des têtes de ravine montrent des indices d'érosion chimique par dissolution interne de sol gypseux, qui semble renforcer l'effet mécanique d'entraînement du ruissellement en surface.

Une recherche faisant le thème d'un stage de DEA proposé à V. REYES, a pour objectif de quantifier, en un ou deux sites choisis, la cinétique de la dissolution et de la mobilité des sels solubles (essentiellement gypse et chlorures), par quelques suivis d'écoulement interne provoqués par mini-simulation de pluie. Ce protocole de terrain doit permettre, une fois dégagé les traits marquants de ces cinétiques, de proposer un modèle adapté de transfert de solutés. En fonction de situations idéalisées (distribution de pluies, pente, richesse en gypse, distribution de perméabilité), le modèle doit pouvoir simuler l'importance de l'érosion chimique à l'échelle locale et, par généralisation, à l'échelle de l'ensemble du bassin versant de la retenue.

- Echelle de la parcelle avec des études sous simulations de pluies (simulateur manuel et mécanique).

Qualité des eaux et transferts des polluants dans les sols

Le bilan hydrologique (pluviométrie, hauteur d'eau, évaporation), établi depuis 3 ans et demi sur le site de Kamech, montre une étroite relation hydrodynamique entre les eaux de surface et l'aquifère par la présence d'un terme négatif du bilan annuel représentant approximativement 1/3 du volume de la retenue.

L'objectif central d'une recherche engagée cette année et proposée comme stage de DEA, à Mlle D. GAY, est de documenter la nature des relations hydrologiques à l'aide de traceurs naturels (chimiques et isotopiques ^{18}O , ^{2}D et ^{13}C) et de les interpréter à la lumière des données hydrologiques de surface. Au delà des résultats concernant le fonctionnement géochimique des aquifères du bassin versant, on attend de l'interprétation des données isotopiques collectées, confrontées aux chroniques hydrologiques, la confirmation d'un modèle de relations entre aquifères et lac. Cette étude pourrait se poursuivre dans le cadre d'une thèse.

Agronomie

Les études réalisées en Tunisie peuvent se répartir en 3 thématiques principales :

- l'analyse de l'évapotranspiration potentielle dans les bassins versants de Kamech et El Gouzine ;

- l'analyse de la consommation en eau et de la production du blé sur des parcelles paysannes dans les bassins versants de Kamech et d'El Gouazine ;
- l'analyse fréquentielle des risques de sécheresse dans la zone d'étude par l'utilisation des séries des données météorologiques et un modèles agroclimatiques.

Pour les deux premiers thèmes nous avons installé en janvier dans les bassins versants de kamech et El Gouazine une station micrométéorologique mesurant de façon précise et continue les composantes du bilan radiatif (rayonnement global, rayonnement net), le vent (vitesse et direction), les flux de conduction dans le sol (fluxmètre et température à différentes profondeurs), les températures de plantes et les températures de l'air et de la pression de vapeur d'eau au niveau de la culture et à 2m (pour la détermination du flux de chaleur latente). Pour le dernier thème nous avons calibré le modèle de bilan hydrique sur des données de Kamech et nous l'utilisons actuellement sur les 7 stations météorologiques que nous avons sélectionnées pour l'étude agroclimatique de la zone d'étude.

Analyse de l'évapotranspiration potentielle dans les bassins-versants pilotes de Kamech et El Gouazine.

L'estimation des pertes en eau par évaporation et des flux hydriques dans les systèmes sol-plante-atmosphère passe par une nécessaire connaissance de l'évapotranspiration potentielle. Or celle-ci, dû à l'éloignement des stations météorologiques de référence et à des caractéristiques climatiques particulières (zone fortement ventée, variabilité très importante de l'humidité de l'air, etc.), est assez mal connue pour plusieurs sites pilotes.

Les nombreuses variables mesurées par les stations micrométéorologiques de Kamech et El Gouazine nous permettent une estimation précise de l'évapotranspiration potentielle à partir de la formule de Penman-Monteith (modifiée FAO) et en utilisant les données de rayonnement net.

$$ET_0 = (\Delta R_n + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma / (r_a + r_c) / r_a)$$

Avec E_a représentant le pouvoir évaporant de l'air, r_a la résistance aérodynamique de l'air et r_c la résistance aérodynamique du couvert.

Les résultats obtenus de 27janvier au 1 juin sont les suivants :

Stations	ET ₀ (mm et mm/j)		Terme radiatif		Terme advectif	
Kamech	662,4	5,26	267,1	2,12	395,3	3,14
El Gouazine	579,2	4,60	256,8	2,04	322,5	2,56

Ces premiers résultats globaux montrent d'une part des valeurs particulièrement élevées de l'ET₀ pour ces deux stations (une moyenne de l'ordre de 5mm/j de fin janvier à fin mai, ce qui conduit à prédire une ET₀ annuelle proche de 2000 mm) et d'autre part une ET₀ nettement plus forte pour le site du Cap Bon (zone subhumide) que pour le site d'El Gouazine (zone semi-aride). L'examen des composantes de l'ET₀ souligne l'importance du terme advectif et met en évidence le rôle prédominant du vent sur la période étudiée dans fortes valeurs obtenues et les différences entre les deux sites. Les moyennes de vitesse du vent sont de 4.3 m/s pour Kamech et de 2.9 m/s pour El Gouazine.

L'évolution de ET₀ (figure 1) et de sa composante radiative (figure 2) présente une progression logique selon l'augmentation saisonnière du rayonnement solaire. ET₀ atteint fin mai des valeurs proches de 9 mm/j et le supérieures à 5mm/j pour le terme radiatif. Pour le terme advectif par contre on ne note pas d'évolution saisonnière mais une grande variabilité et avec des valeurs fréquemment supérieures à 4 mm/j (même en hiver) en particulier pour Kamech.

Ces valeurs sont actuellement comparées aux celles des bacs colorado installées dans les stations mais la période étudiée est actuellement trop courte pour toute conclusion.

Figure 1: Evolution de l'évapotranspiration potentielle climatique (ET0 Rn) pour les sites de Kamech (K) et El Gouazine (G) (27/01- 1/06) :

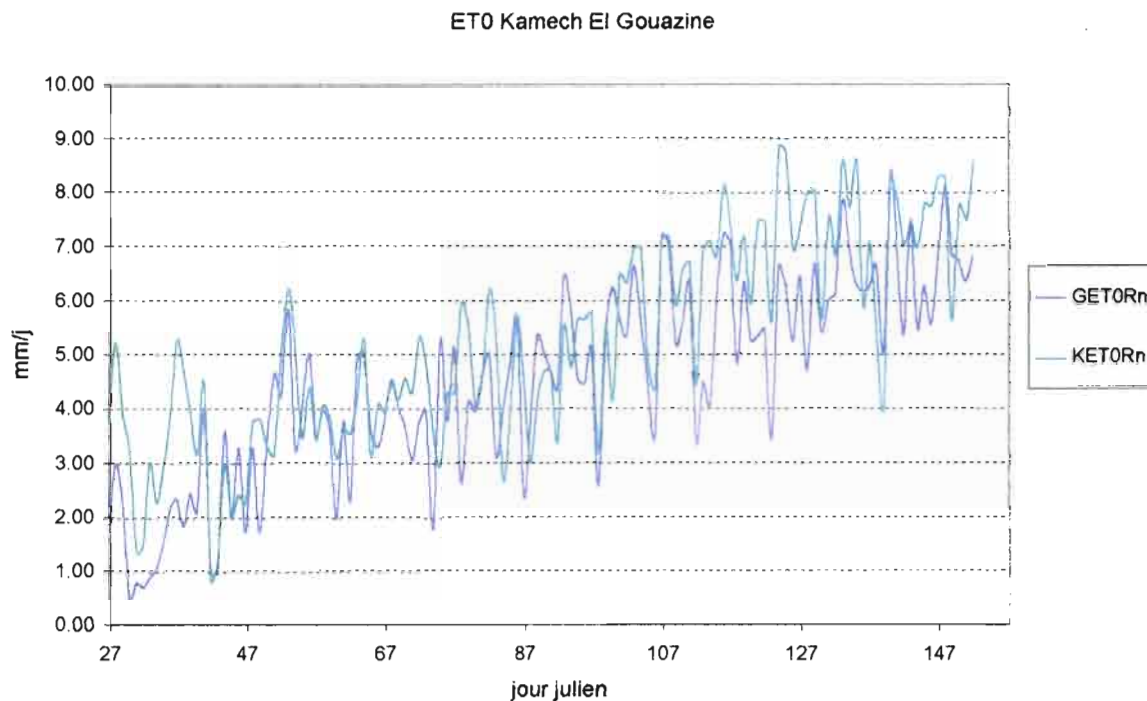


Figure 2 : Evolution des termes radiatifs de ET0 pour les sites de Kamech et EL Gouazine (27/01-1/06)

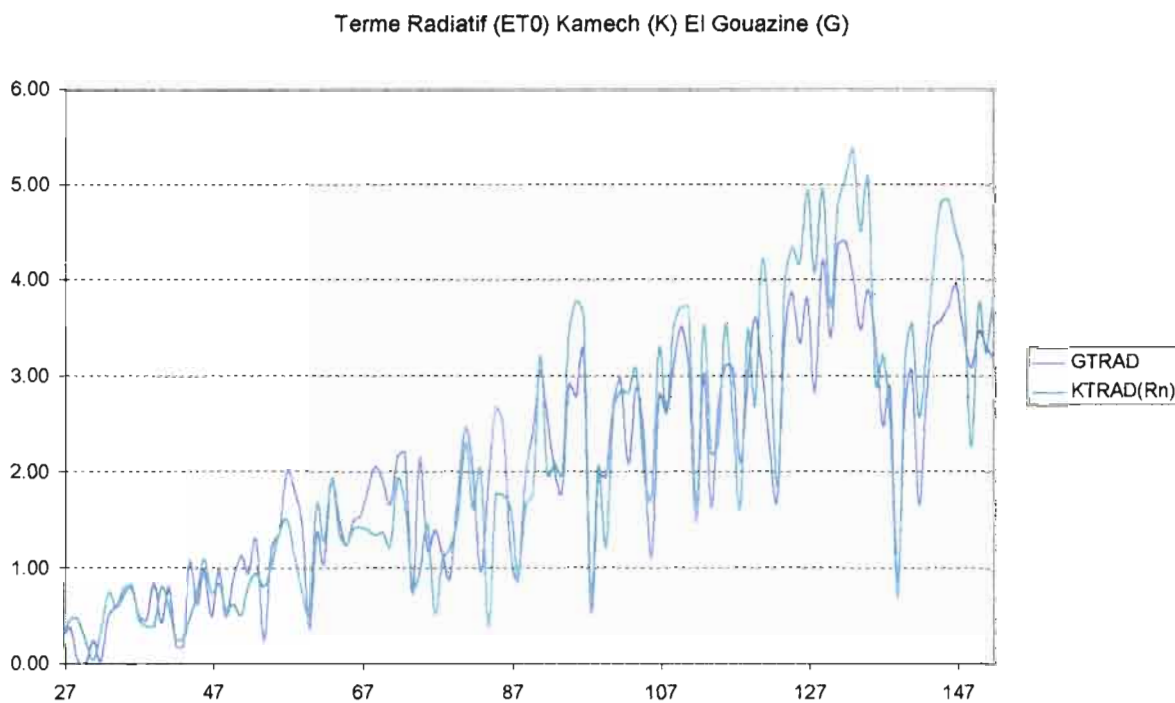
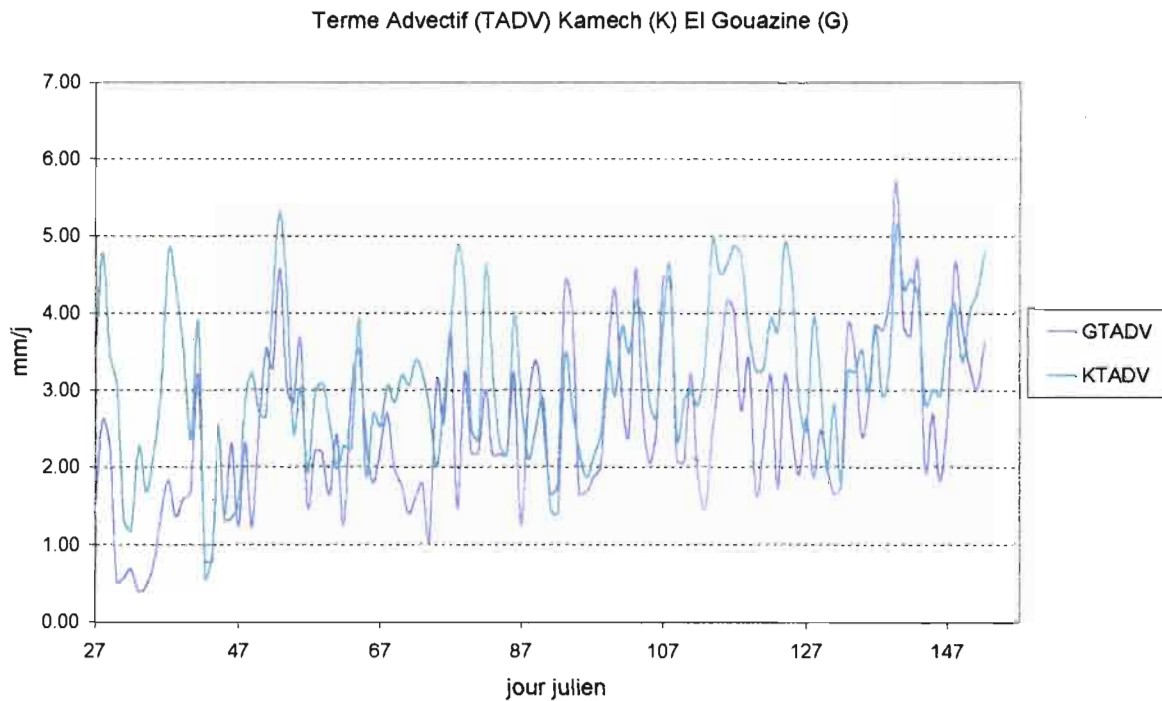


Figure 3 : Evolution des termes advectifs de ET0 pour sites de Kamech et El Gouazine (27/01-1/06)



2. Analyse de la consommation en eau des cultures dans les bassins versants pilotes de Kamech et El Gouazine.

L'étude des flux hydriques à l'échelle du bassin versant demande une connaissance relativement précise des consommations en eau des cultures. Pour cela sur des parcelles paysannes des bassins versants de Kamech et El Gouazine les évapotranspirations d'une culture de blé ont été déterminées par la méthode du rapport de Bowen. Cette méthode est fréquemment utilisée en bioclimatologie car elle nécessite seulement deux mesures de température et de pression de vapeur d'eau et elle est représentative de l'ensemble de la parcelle. Elle est basée sur la combinaison de l'équation du bilan d'énergie (1) et sur les fonctions de diffusion turbulente (2).

$$LE = (Rn-G)/(1+\beta) \text{ avec } \beta = cte * \Delta T / \Delta P$$

$$H = (Rn-G)\beta / (1+\beta)$$

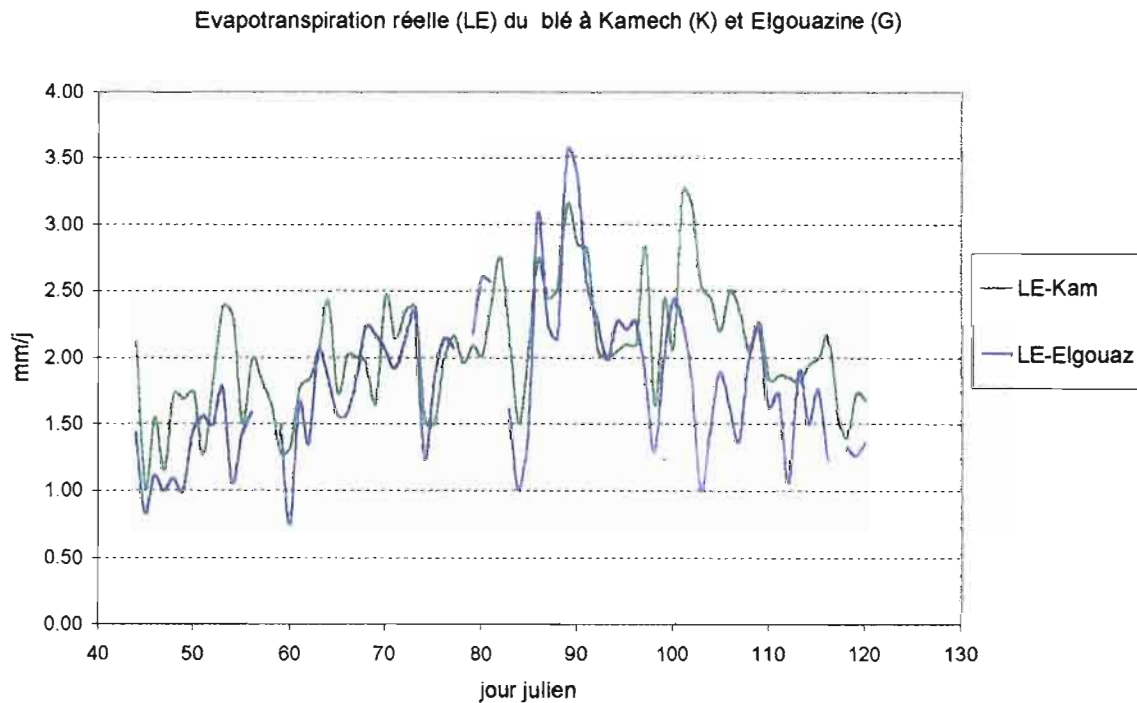
Rn = rayonnement net, G = flux de conduction dans le sol

LE = flux de chaleur latente de vaporisation de l'eau, H = flux de chaleur sensible

ΔT = différence de température de l'air entre le niveau de la culture et 2m

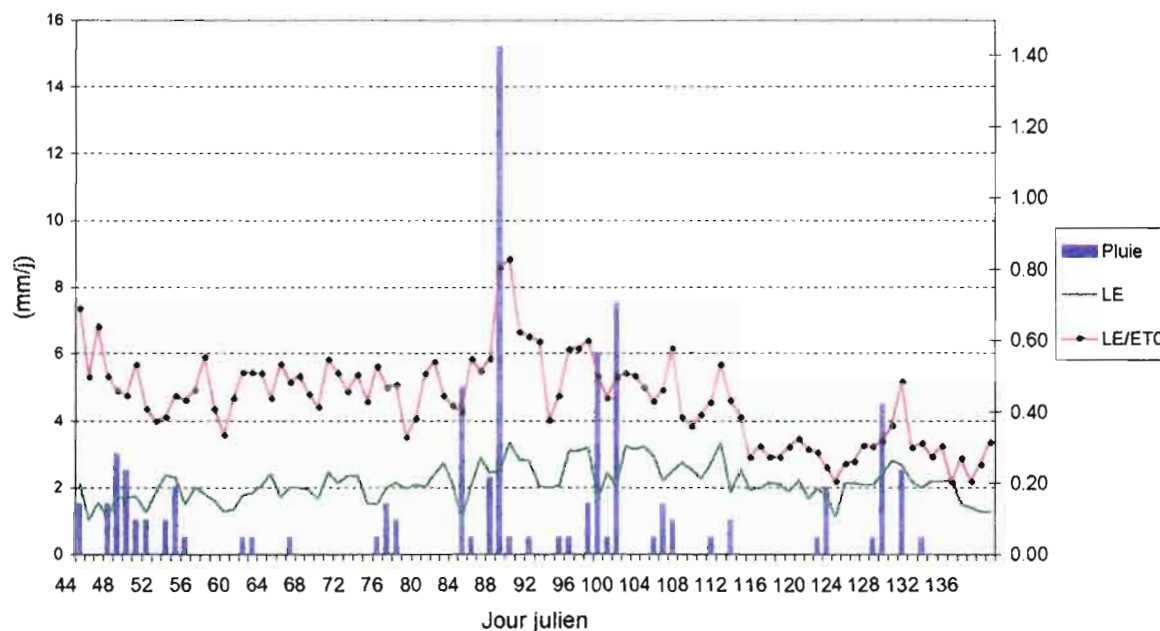
ΔP = différence de pression de vapeur d'eau entre le niveau de la culture et 2m.

Figure 4 : Evolution de l'évapotranspiration réelle du blé pour les sites pilotes de Kamech et El Gouazine



Les consommations en eau du blé pour Kamech et El Gouazine restent relativement basses et ne dépassent rarement les 3mm/j et les rapports LE/ET0 sont en général de l'ordre de 0.5 (figure 4 et 5). Les très faibles précipitations de février à mai (130 mm pour Kamech et 45 mm pour El Gouazine) déterminent ces évapotranspirations réduites qui restent très inférieures à la demande climatique. Les différentes pluviométries entre Kamech et El Gouazine, se traduisent très nettement sur l'alimentation hydrique du blé particulièrement en fin de cycle.

Figure 5 : Evolution de l'évapotranspiration réelle (LE), du rapport LE sur l'évapotranspiration potentielle climatique (ET0) et la pluie pour le site pilote de Kamech



La faible densité du blé (300 000 plantes/ha) à EL Gouazine avec un recouvrement au sol toujours inférieur à 70% participe de même aux valeurs basses de LE et aux rendements agricoles faibles (5 quintaux par hectare). A kamech avec une densité 5 fois plus élevée le rendement est de 22 quintaux par hectare. En début de cycle avec des coefficients culturaux de l'ordre de 0.6 et 0.7, les évapotranspirations sont assez proches des évapotranspirations maximales. L'eau des fortes pluies de janvier et stockée dans le sol a pu être utilisée par le blé pendant ces premières phases du cycle.

Les mesures de consommation en eau du blé ont été accompagnées de mesures de biomasse et de superficie foliaire ainsi que des mesures d'humidité du sol. Ces données nous permettent actuellement de vérifier et de calibrer le modèle générique de production des cultures, le modèle STICS développé par l'INRA.

SYNTHESE DE L'AVANCEMENT DE LA STRATEGIE CES (1990-2000) EN MATIERE DE LACS ET RETENUES COLLINAIRES

Dr Salah SELMI, agro-économiste

1. LES LACS EN TUNISIE : UNE COURTE HISTORIQUE PLEINE D'ENSEIGNEMENTS

Au début de sa mise en oeuvre et jusqu'à 1994, la stratégie décennale (1990-2000) de CES a beaucoup surestimé le dynamisme des populations bénéficiaires des aménagements de collecte des eaux : les lacs collinaires en particulier.

Les arguments justifiant l'engagement de l'Etat dans le processus de construction massive des lacs collinaires se résument dans :

- La rareté des ressources en eau dans les zones collinaires. Cette ressource devrait susciter un grand intérêt chez les usagers potentiels. « ... à l'exception de quelques sources et résurgences naturelles aux piémonts des massifs forestiers et des collines proches mais qui tarissent souvent en été, les populations locales vont toujours à la recherche de l'eau sur de grandes distances et parcourent en moyenne 7 km (Selmi, 1996, p 247),
- L'aménagement lac collinaire est considéré comme un ouvrage CES et par excellence devrait jouer les rôles de protection et de conservation des ressources et ainsi se sont construits des lacs multi-objectifs n'ayant théoriquement que des impacts positifs sur l'environnement et le développement.

Au fur et à mesure de l'avancement des stratégies CES et de mobilisation des ressources en eau, les aspects exploitation de la ressource et développement local à partir de l'irrigation deviennent des objectifs prioritaires et d'orientation des réalisations physiques des retenues collinaires. L'exploitation des lacs collinaires afin de soutenir un développement local est très soutenu par le pouvoir politique³ et la recherche scientifique⁴. On assistera alors depuis 1995 à une nouvelle approche de réalisation des lacs collinaires.

L'expérience des ingénieurs nationaux en matière d'études préalables et de réalisation - exécution des retenues, la pression politique et le souci des décideurs d'exploiter les résultats de la recherche scientifique développés sous forme d'analyse objective globale et de cas particuliers ont constitué les trois éléments clés qui expliquent la notion des « nouveaux lacs » à objectifs ciblés.

Ces lacs se distinguent par :

- l'hierarchisation voire l'affectation d'un objectif prioritaire qui conditionne l'étude technique de l'aménagement,
- la priorité accordée à la nécessité d'un développement local et régional, ce qui oriente le choix raisonnable des sites,
- la promotion de l'approche participative, un des piliers de la stratégie CES, de plus en plus maîtrisée par les agents de développement et les différents acteurs du milieu rural. Il s'agit, selon le cas présenté, d'incitations financières et techniques à l'exploitation de l'eau en fournissant des groupes motopompe, d'aide à l'organisation des usagers potentiels en

³ Visite du président de la république du gouvernorat de Siliana (1995) et distribution d'une vingtaine d'équipements hydrauliques pour l'irrigation autour des lacs collinaires. Plusieurs visites aux lacs collinaires ont été aussi effectuées par les ministres successifs de l'Agriculture.

⁴ Plusieurs articles scientifiques ont été publiés par Selmi et Talineau, une thèse de doctorat a été depuis soutenue et quelques séminaires et colloques traitant totalement ou partiellement les lacs collinaires ont été organisés.

comités de gestion ou en associations d'intérêts collectifs. Certaines séances et visites de formation des agriculteurs bénéficiaires de l'eau ont pu aussi être organisées.

Cette approche nouvelle est de nature à orienter voire engager une transformation progressive des systèmes de production autour des retenues collinaires.

2. EVALUATION DU MODELE TECHNIQUE DES LACS COLLINAIRES⁵

Les études entreprises sur les aménagements des retenues collinaires, montrent que sur le plan technique, la conception du lac collinaire est réussie.

2.1. Une approche améliorée

La réalisation de près de 450 unités de lacs collinaires durant la période de 1990 à 1998, a donné la possibilité d'évaluer cette nouvelle expérience et de formuler des propositions pour des éventuelles améliorations sur le plan technique, social et économique.

Réalisation et objectifs des lacs collinaires

Objectif du lac Réalisation	Exploitation agricole	Protection des infrastructures	Recharge des nappes
Nombre	380	34	36
En % du total	84.4	7.6	8

Ministère de l'agriculture, Direction de la CES, 1999

Suite aux expériences antérieures dans la construction des lacs et des barrages collinaires, des améliorations dans les conditions techniques du modèle d'exécution des lacs ont été apportées :

- l'institution, au niveau national et régional, de comités pluridisciplinaires de choix et de confirmation des sites, le développement de la coordination entre les différents intervenants (Conservation des eaux et des sols, Etudes des Travaux Hydrauliques, Génie Rural, Ressources en Eau) et la définition des critères de choix en fonction des objectifs des ouvrages et des régions,
- au niveau des objectifs recherchés des lacs collinaires, le modèle technique amélioré a associé l'utilisation agricole à la recharge des nappes et la protection des infrastructures,
- les paramètres de choix des sites ont été élargis au diagnostic de l'érosion au niveau de l'impluvium et à la définition des risques d'envasement des retenues projetées,
- à l'instar des barrages collinaires, dans la conception de ces ouvrages, on inclut le tapis filtrant pour assurer une meilleure stabilité du talus aval, la conduite de vidange enrobée en béton armé pour l'utilisation des eaux et la vidange des eaux chargées en cas de nécessités et l'enrochement du talus amont pour éviter l'érosion de cette partie de l'ouvrage,
- la profondeur du tranché d'ancrage de la digue, a été modelée selon les conditions géotechniques du site et a été fixée entre 3 m et 0.3 fois la hauteur de la digue. Cette dernière varie de 8 à 18 m et la largeur des évacuateurs des crues recommandée, est située entre 9 et 15 m au centre et 13 et 20 m au Nord du pays,
- le canevas de l'étude technico-socio-économique met en relief l'utilisation des eaux mobilisées. Pour une meilleure maîtrise de l'exploitation des ressources mobilisées, des vannes et des potences ont été introduites à l'aval des conduites de vidange. D'autres équipements collectifs et/ou individuels sont installés pour faciliter la conduite des eaux à

⁵ Le développement qui suit représente un résumé actualisé d'une étude réalisée, au niveau de la Direction de Conservation des eaux et du sol du Ministère de l'Agriculture, par M. Bouzid ALOUINI.

la parcelle et se résument généralement à des groupes motopompe, des citernes tractées et des conduites.

2.2. Des résultats positifs

Les résultats de cette nouvelle approche de conception et de réalisation des lacs collinaires sont positifs à plusieurs égards. Le suivi des lacs réalisés à partir de 1990 permet de conclure que ces ouvrages ont bien fonctionné et aucune anomalie grave n'a été enregistrée et ce malgré les pluies très intenses enregistrées (300 mm/h au gouvernorat de Nabeul, 50 mm/h au gouvernorat de Siliana, 240 mm/h au gouvernorat de Sousse, ...).

L'analyse des comportements des ouvrages de lacs collinaires fait ressortir que :

- aucune rupture de digue n'a été constatée ;
- l'érosion régressive (phénomène de renard) n'a pas été constatée, ce qui permet de conclure que le tapis filtrant est efficace ;
- 53 cas de ravinements plus ou moins importants au niveau des évacuateurs des crues ont été constatés suite aux pluies très intenses enregistrées ;
- des débordements très limités de 10 à 30 cm ont touché les digues de 5 lacs collinaires ;
- le suivi de l'envasement de 25 lacs collinaires permet de déduire que la durée de vie moyenne des lacs est de 28,5 ans avec 16% de 5 à 10 ans, 8% de 10 à 20 ans ; 40% de 20 à 50 ans et 36% supérieures à 50 ans (IRD, D/CES, 1997).
- au niveau des ouvrages de vidange et d'utilisation des eaux (conduite, vanne, chambre de vanne), nous avons enregistré une cassure de la conduite due au non-respect du plan de béton armé, 5 cas de cassures de tronçon de liaison vanne-conduite de vidange à l'extérieur des talus avals, 24 cas de bouchage de conduite par des débris végétaux et des sédiments.
- la réalisation des 450 lacs collinaires a permis également l'animation de la création de 80 entreprises privées pour l'exécution de ces travaux et la formation des techniciens régionaux en matière d'étude, de réalisation et de suivi des lacs collinaires.

3. EXPLOITATION AGRICOLE DES LACS COLLINAIRES

3.1. Bilan

Parmi les 450 lacs collinaires réalisés et mobilisant près de 46 millions de mètres cubes d'eau, 380 présentent un potentiel d'irrigation. La situation actuelle (mars, 1999) montre l'existence de 232 lacs collinaires équipés en groupes motopompes individuels ou collectifs et contribuent, de ce fait, au développement local. La capacité moyenne de ces lacs est de 97000 m³.

Contrairement aux grands barrages, la totalité de l'eau peut être mise en valeur. Avec l'hypothèse qu'environ 14 millions de m³ d'eau sont mobilisables et en tenant compte du fait qu'un hectare irrigué consomme en semi-intensif près de 4000 m³ d'eau, la superficie irrigable serait, ainsi de 3500 ha. Toutefois, la superficie réellement irriguée est actuellement de près de 1850 ha.

Evaluation de la situation d'exploitation des lacs collinaires

	Mars 97	Mars 98	Mars 99
Nbre de lacs équipés	160	226	232
Nbre de bénéficiaires	1115	1427	1405
Nbre de comités de gestion	93	188	216
Superficie exploitée	1402	1976	1845

Ministère de l'agriculture, Direction de la CES, 1999

Cette situation profite à un total de 1405 bénéficiaires qui exploitent l'eau soit dans un cadre individuel pour la majorité des lacs ou dans le cadre d'un comité de gestion ou d'AIC.

Le nombre des comités et associations actuelles de gestion de l'eau est de 216. Leur rôle se limite à une gestion de la quantité d'eau entre les différents usagers, rarement, suivant un plan cultural.

3.2. La gestion et l'organisation au niveau des lacs collinaires

La question relative à la gestion et l'organisation de la population au niveau des lacs collinaires ne cesse d'occuper une place importante dans la stratégie d'intervention de l'Etat dans le milieu rural en vue de promouvoir le développement local durable. Plusieurs modes de gestion sont actuellement présents et reflètent l'hétérogénéité sur les plan social et économique. Actuellement on peut rencontrer (Trabelsi, 1999) :

Une gestion collective organisée

Il s'agit de certains lacs dont l'effectif représente environ 10% des lacs exploités (D/CES, 1999). Ce sont des lacs sur lesquels il y a eu intervention d'un projet d'investissement qui a permis l'acquisition d'un équipement d'irrigation mis à la disposition d'une population d'agriculteurs sous la condition de leur organisation en comité de gestion ou AIC. L'utilisation de l'équipement (canaux essentiellement) et sa gestion sont confiées au président de l'association, théoriquement responsable de la répartition des équipements et du règlement des conflits et malentendus entre les bénéficiaires de l'eau. Les frais de fonctionnement sont, à l'état actuel, individuels. Le problème qui se pose est celui de l'entretien et la réparation du matériel en cas de panne. Actuellement, c'est l'administration qui s'en occupe dans le cadre d'une action de sensibilisation et d'encouragement à l'exploitation.

Une autre formule de gestion collective des eaux des lacs existe et reste spécifique à certains gouvernorats (essentiellement Nabeul). Il s'agit de lacs qui sont équipés individuellement (fonds propres aux agriculteurs), mais la gestion ne concerne que la quantité d'eau disponible durant la campagne agricole. Dans ce cas, le comité de s'occupe de l'organisation de la campagne en commun accord avec l'administration. Ce mode de gestion profite à près de 15% des lacs collinaires.

Une gestion individuelle

Par cette gestion, les exploitants installent leurs propres équipements d'irrigation pour amener l'eau du lac vers leurs parcelles. Aucun programme ou schéma d'exploitation n'est arrêté et aucun sens d'une gestion rationnelle entre les différents usagers, n'est présent.

Ainsi, le risque d'assèchement des lacs est important surtout durant les périodes sèches de l'année, ce qui peut se répercuter sur les rendements et les productions ainsi que sur l'ouvrage (lac) lui-même. Pour répondre aux demandes et souhaits des irrigants potentiels autour des retenues collinaires, L'administration intervient pour donner des autorisations de pompage et ainsi essayer d'organiser l'exploitation de l'eau.

Une gestion mixte

C'est le mode de gestion qui domine actuellement. Il s'agit d'une gestion organisée avec des équipements individuels ou collectifs, à la quelle s'ajoute des cas d'individus qui pratiquent l'irrigation individuelle sans établir, sauf quelques exceptions, une relation d'entente et de coordination avec les exploitants groupés en comités de gestion ou associations d'intérêt collectif. Certains conflits entre les usagers ont déjà été repérés.

Conclusion

En matière de mobilisation de l'eau à partir des retenues collinaires, les résultats demeurent positifs. En effet, l'objectif technique de l'hydraulicien est atteint. Cependant, le déséquilibre entre l'offre et la demande des ressources en eau persiste et continue à s'approfondir. En outre, du point de vue socio-économique et par rapport à la collectivité, les interventions de l'Etat promoteur du développement des zones pauvres par l'intermédiaire de la mobilisation des ressources en eau peuvent notablement s'améliorer.

Les différents modes de gestion actuellement présents montrent la nécessité de l'intervention ciblée de l'Etat. La logique d'intervention des différents projets et programmes d'équipement des lacs reste à améliorer surtout que ces programmes prévoient l'organisation des exploitations en groupements d'usagers comme condition nécessaire à l'équipement qui serait obligatoirement collectif. Certaines interventions ont déjà contribué à la complication des situations.

Quel que soit le mode de gestion social existant ou à promouvoir, l'intervention de l'administration reste capitale, au moins pour les premières années de fonctionnement de l'aménagement, pour programmer les assolements suivant les quantités d'eau disponibles. Toutefois, une marge de manœuvre doit être laissée aux agriculteurs premiers responsables de la future gestion des retenues et lacs collinaires.

Annexe 2 : Rapport d'avancement IAV Hydromed au Maroc

PROJET HYDROMED

RAPPORT SCIENTIFIQUE : 1999

1-Activités et Résultats :

- 1.1. La station hydrométrique installée par HYDROMED au niveau du barrage collinaire Saboun a fonctionné correctement cette année permettant le suivi et le bilan hydrologique du barrage. Ce suivi a été assuré par les assistants de recherche : M. A. Benyounès et M. M. Chikahaoui. Cette station et son bassin versant continuent à faire l'objet de terrain d'étude pour la réalisation des mémoires de 3^{ème} cycle de l'IAV Hassan II et d'autres institutions (FST Tanger, Faculté des Sciences-Rabat). La station a joué aussi cette année un rôle pédagogique très appréciable à travers les visites guidées des étudiants et stagiaires en hydrologie et conservation des sols.
- 1.2. Quatre études ont été nouvellement réalisées cette année, en plus des thèmes déjà abordés antérieurement (Modélisation de l'érosion dans le cadre du Doctorat d'état de Mr Benyounès, cartographie de l'évapotranspiration réelle par Mr Guerouani Abdelkader. Il s'agit respectivement de :

Un- l'analyse des paramètres biophysiques du bassin versant qui commandent le taux de délivrance des sédiments produits par érosion et
Deux- la caractérisation hydrodynamique des sols des versants marneux. Ce dernier thème est en relation avec celui de la modélisation hydrologique et de l'érosion

- 1.2.1. Mr. Hammoudi Azeddine (étudiant de 3^{ème} cycle de l'IAV option :Sciences du sol) a entamé la première étude reliant le taux d'érosion « brut » des sols sur les versants à celui de la production de sédiments livrés au niveau du barrage. Il s'agit d'un grand besoin pour le Ministère de l'Agriculture (DEF), qui s'est engagé depuis 1989 dans un grand programme de modélisation de l'érosion des sols, parrainé par le PNUD/FAO et se basant sur l'adaptation au Maroc de l'équation Universelle Révisée de perte en sol de l'USDA (USA). Cette dernière ne donne qu'une estimation des pertes potentielles de sols sur le versant. De ce fait, son utilisation par les hydrologues et les techniciens de CES exige la connaissance de ce taux de délivrance (DR). Le travail qu'entreprend HYDROMED a porté en premier lieu à l'adaptation au Maroc (B Saboun) de deux formules empiriques développées en Italie (Ferro et Monacapilli, 1995). Les résultats obtenus sont assez encourageants, mais seront beaucoup plus raffinés quand HYDROMED effectuera la bathymétrie du bassin Saboun (prévue pour automne 99). Les résultats seront présentés dans la thèse de Mr Hammoudi en septembre 99.
- 1.2.2. Le fonctionnement hydrologique des versants marneux reste encore très peu documenté et peu précis. L'étendue de ce faciès lithologique dans le Nord du Maroc et sa forte dominance dans le bassin expérimental Saboun, exige une caractérisation des processus hydrodynamiques de surface. Mr Moussadek (étudiant de 3^{ème} cycle de l'IAV option :Sciences du sol) s'est chargé de cette étude avec la participation et l'encadrement de nos partenaires espagnols (Dr

Moreno et collaborateurs), qui ont développé l'expertise reconnue dans ce domaine de physique du sol. Sur la base du système d'information pédologique du bassin Saboun, établi l'année dernière (SIG), un nombre de toposéquences et site ont été choisis pour analyser les paramètres de transfert de l'eau et leur variabilité spatiale. En plus des méthodes classiques (simulateur de pluie, infiltromètres à double anneaux et du porche), Mr Mossadek a travaillé avec Dr Moreno, en utilisant le Perméamètre à disque. Il s'agit en premier lieu d'un exercice de transfert de technologie entre les deux laboratoires partenaires. Plusieurs campagnes de terrain ont eu lieu dont une en présence des collègues espagnols. Les résultats sont en cours d'élaboration à Séville (voir rapport Dr Moreno) et à Rabat dans la thèse de Mr Mossadek dont la soutenance est prévue pour fin septembre 99.

- 1.2.3. Utilisation de l'eau en milieu rural. La première phase de cette enquête a été conduite par un groupe de neuf étudiants de la 4^{ème} année agronomie de l'IAV Hassan II, encadrés par les chercheurs d'Hydromed, et suivie par une enquête "Douars" qui a été menée en Juin 99 par deux assistants de recherche d'HYDROMED et une stagiaire française dans trois douars limitrophes de la retenue du barrage Saboun et de son périmètre irrigué en aval (plaine de Mharhar). Cette étude qui est parrainée par la Direction Provinciale d'Agriculture de Tanger (DPA-Tanger) permettra d'avoir la première appréciation de l'impact socio-économique des barrages collinaires dans le Rif occidental. Les premiers résultats du dépouillement des fiches d'enquête figurent dans l'annexe jointe à cet effet.
- 1.2.4. Caractérisation des parcours du BV Saboun. Les parcours du BV Saboun sont caractérisés par des communautés végétales dominées par les herbacées. Le recouvrement moyen est de l'ordre de 70 %. Parmi les espèces présentes, on note la dominance des autres herbacées et la très faible contribution des légumineuses. Plusieurs espèces appartenant au groupe des autres herbacées sont très peu appétibles, et par conséquent de valeur pastorale faible. Cette composition démontre que ces parcours subissent une forte pression animale (charge du parcours est élevée), qui est d'ailleurs le facteur principal entraînant cette dégradation. Ce recouvrement de la végétation peut jouer un double rôle : protection du sol contre l'érosion et approvisionnement en unités fourragères pour la production animale. En effet, l'élevage dans cette région, constitue l'une des principales sources du revenu de la famille. En utilisant les images satellitales (HRV - SPOT), on peut suivre l'évolution de ces parcours à travers l'étude de l'occupation du sol dans ce bassin. La dernière rencontre avec les cadres de la Direction Provinciale de l'Agriculture (DPA Tanger), lors des journées d'études sur l'agriculture en pentes, nous a permis de discuter de la future collaboration dans le domaine de l'aménagement des bassins versants en général, et celui des parcours en particulier.
- 1.3. Dans sa mission de diffusion des résultats du projet, l'équipe HYDROMED a intensifié cette année ses efforts d'échanges et de coopération avec les institutions nationales et étrangères et de développement au niveau local. Avec la Faculté des Sciences de Tanger, les visites d'étudiants et la réalisation de mémoires de fin d'étude (2) dans le cadre du projet HYDROMED, a permis aux enseignants de l'FST de mieux connaître le programme et d'y contribuer. La coopération autrichienne a entrepris cette

année un programme de recherche - développement des zones de montagnes, avec l'IAV Hassan II (projet Targa, Haut Atlas, Maroc). Deux hydrologues autrichiens (Univ Vienne) ont visité le projet HYDROMED pour son expérience et future collaboration. Pr Merzouk a été invité à faire-part de leur équipe.

- La rencontre de Tunis (mai 99) entre quatre partenaires d'HYDROMED, à l'occasion de la mise en place du projet AMBRE de l'IRD (ex ORSTOM) leur a permis d'avancer sur la réflexion concernant la valorisation des résultats et du cadre de travail d'HYDROMED.
- L'expérience d'HYDROMED a permis à l'IAV d'être impliqué en tant que partenaire avec le Centre National de l'Energie, des Sciences et Techniques Nucléaires (CNESTEN, Rabat) dans la formulation d'un programme de coopération maroco-française sur l'étude géotechnique et isotopique des différentes composantes de l'écoulement d'un bassin versant en climat méditerranéen.
- Hydromed-Maroc a été aussi contacté cette année par l'Université de Dortmund (Département des Statistiques) pour entamer un travail de collaboration sur la modélisation de l'érosion des sols utilisant l'approche géostatistique et de la télédétection. Pr Wolfgang URFER a déjà engagé un doctorant qui a commencé en Juin 1999 son travail sur la région du Projet.

2- Activités programmées pour l'année 2000 :

- Achever l'élaboration du model spatialisé de l'érosion hydrique au niveau du bassin versant Saboun;
- Etudier l'historique de l'envasement du barrage Saboun et ses relations avec l'évolution des activités anthropiques sur ces versants;
- Améliorer la compréhension du fonctionnement hydrologique des versants marneux;
- Etudier la qualité des eaux du barrage;
- Mettre en place un programme de gestion du périmètre irrigué (300 ha), nouvellement mis en place en aval du barrage Saboun, en utilisant les paramètres du bilan et () de mesures hygrométriques de la station. Une collaboration très étroite entre HYDROMED et la Direction Provinciale de l'Agriculture de Tanger a été initiée cette année et sera la base de ce transfert;
- Organiser l'atelier de Rabat pour HYDROMED du 29 nov. au 1 déc. 99 sur "*l'utilisation de l'eau en milieu rural*". Une tournée de la région sera organisée pour les participants.

3- Publications

- 1998: Abdelaziz Merzouk, Mohammed Mejjati Alami, Benyounes Abdellaoui et Omar Berkat. Rupture des écosystème pastoraux du Rif centro-occidental : conséquences hydrologiques et besoins en suivi. Dans Session N°4 sur *couverture et utilisation des sols et caractéristiques des écosystèmes*. L'observation spatiale: un outil pour l'étude du bassin méditerranéen. Colloque international , Tunis, 23-27 novembre 1998. Centre national d'études spatiales (CNES), Toulouse, France, 6pages.
- 1998: Abdelakader El Garouani, Rabah Jabran , Mohammed Rached Boussema et Abdelaziz Merzouk. Contribution à la caractérisation hydrologique de bassins versants par télédétection et SIG : cartographie de l'évaporation réelle. *L'observation spatiale: un outil pour l'étude du bassin méditerranéen*. Colloque international , Tunis, 23-27 novembre 1998. Centre national d'études spatiales (CNES), Toulouse, France, 6 pages.
- 1999 Mohamed Benmoussa, C. Mly Cherif, Abdelaziz Merzouk et Mariem Sidqui ; Contribution à l'élaboration d'un SIG intégrant la télédétection pour la gestion et le suivi de la pollution des eaux : cas du barrage Sahla (rif, Maroc). Colloque International en marge du 67^{ème} Congrès de l'ACFAS, sur : La télédétection optique et radar et la géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux. Ottawa du 10 au 14 mai 1999., 7 pages.
- 1999: Mohammed Cherkaoui, Abdelaziz Merzouk, et Tayeb Améziane. Etablissement d'un SIG intégrant la télédétection pour la gestion conservatoire des eaux et des terres dans la province de Tanger (Maroc). Colloque International en marge du 67^{ème} Congrès de l'ACFAS, sur : La télédétection optique et radar et la géomatique pour la gestion des problèmes environnementaux. Ottawa du 10 au 14 mai 1999., 7 pages.
- 1999 : M. Mejjati Alami, A. Merzouk et O. Berkat. Cartographie et diagnostic du niveau de production des écosystèmes pastoraux du Rif occidental (Bassin versant Telata) à l'aide de l'imagerie spectrale. 67^e Congrès de l'ACFAS, Ottawa, 10 au 12 mai 1999, Canada.
- 1999 : M. Mejjati Alami et A. Merzouk. Réponses spectrales des espèces clé des formations végétales du bassin rifain (Maroc) et leur utilisation dans la télédétection des faciès pastoraux. (accepté) aux VIII^{es} Journées scientifiques du Réseau de Télédétection : La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives, Lausanne, Suisse.

Mémoires et thèses

- El Hammoudi, Azzédine (en cours) : Evaluation des paramètres de taux de délivrance des sédiments. Application au bassin versant de Telata. *Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat.*
- Jalade, Annick : Contribution et réutilisation d'un prototype de SIG pour la gestion Environnementale d'un bassin versant Marocain. Application au bassin versant de Telata. *Mémoire de fin d'études d'Ingénieur, Ecole Polytechnique de Lausanne, Suisse.*
- Moussadek, Rachid (en cours) : Fonctionnement hydrologique et risque d'envasement de barrage Saboun (Tangérois) *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.*
- Morel, Sophie. Utilisation de l'eau en milieu rural : Cas du bassin versant Saboun. Stage de fin d'année.

1.4 Communications scientifiques

Abdelaziz Merzouk et Mejjati Alami Mohammed : Agriculture en pente et risques d'érosion . Journées d'études organisées par le Centre de Travaux, Direction Provinciale d'Agriculture. Tanger 16-17 juin 1999 Comm orale.

Annexel:

Utilisation de l'eau en milieu rural: Cas de trois Douars limitrophes au Barrage Collinaire Saboun (Tanger)

1. Le Rif occidental bien qu'il soit assez bien arrosé (700-900 mm/an) connaît des problèmes de disponibilité en eau pour sa population rurale, qui reste encore dispersée dans des douars à accès difficile et sur versants à lithologie et morphologie très peu favorables à la mobilisation des eaux souterraines. La ville de Tanger et le littoral méditerranéen par leur hégémonie sur les eaux des barrages de la région, n'ont fait qu'accentuer la crise de l'eau dans l'espace rural du Rif occidental. Cette crise se fait sentir beaucoup plus pendant les années de sécheresse, comme celle de cette année. La campagne de construction des barrages et lacs collinaires, lancée au Maroc au milieu des années 80, avait touché cette région du Nord et a été très salutaire pour la population riveraine. Malheureusement ce programme de construction de ces ouvrages avait connu depuis 1992 un ralentissement et même un arrêt dans plusieurs régions, faute d'évaluation précise et de mobilisation de la population locale pour l'appropriation et la gestion de ces projets d'approvisionnement en eau pour le développement local. Sa reprise reste lente. Le projet HYDROMED qui avait retenu la barrage Saboun comme site expérimental du Rif occidental, vise en plus de ses objectifs scientifiques, la sensibilisation et la promotion de ces petits ouvrages de mobilisation des eaux de surface pour l'approvisionnement en eau de la campagne marocaine. C'est dans cette ligne de recherche, qu'une enquête a été lancée cette année sur l'utilisation de l'eau dans le milieu rural rifain.
2. La première phase de cette enquête a été conduite par un groupe de neuf étudiants de la 4^{ème} année agronomie de l'IAV Hassan II, encadrés par les chercheurs d'Hydromed, et suivie par une enquête "Douars" qui a été menée en Juin 99 par deux assistants de recherche d'HYDROMED et une stagiaire française dans trois douars limitrophes de la retenue du barrage Saboun et de son périmètre irrigué en aval (plaine de Mharhar). Cette étude qui est parrainée par la Direction Provinciale d'Agriculture de Tanger (DPA-Tanger) permettra d'avoir la première appréciation de l'impact socio-économique des barrages collinaires dans le Rif occidental. Des résultats du dépouillement des fiches d'enquête qui est en cours, on relève les remarques qui suivent:
3. Le projet "schéma de l'oued Mharhar" a pour but l'aménagement de la plaine de l'oued Mharhar situé à environ 15 km de la ville de Tanger à l'aval du barrage Ibn Battouta, qui fut réalisé pour l'approvisionnement en eau potable de cette ville. Une partie des disponibilités en eau de ce barrage aurait du être utilisée pour irriguer 2000 ha de la vallée de Mharhar, mais l'accroissement de la demande en eau de Tanger et la sécheresse des dernières années ont aboutit à l'abandon du projet. La plaine de Mharhar représente un des potentiels agricoles les plus favorables de la région de Tanger. Sa proximité de la ville, lui permet une commercialisation immédiate des produits agricoles. L'idée de départ a été reprise dans le cadre de ce programme de lacs collinaires pour pousser la mise en valeur d'un territoire qui présente les conditions nécessaires pour un développement concret. Le barrage Saboun est installé sur les terres appartenant au douar Daimouss. Auparavant c'était un lac qui provoquait des inondations pour l'ensemble des douars qui l'entourent.

L'installation du barrage depuis 1991, visait essentiellement d'assurer l'abreuvement du cheptel et l'irrigation de la plaine de Mharhar, en plus de l'alimentation de la nappe phréatique.

4. Les enquêtes ont touché trois douars : Daimouss (200 foyers) en amont du barrage, Guaret Mharza et Guaret Mchaala (120 foyers) en aval. Pour le Daimouss, l'eau du barrage n'est généralement utilisée que lorsque les puits localisés au douar sont secs, et ce principalement en été. Les agriculteurs-éleveurs sont autorisés de prélever l'eau du barrage, uniquement dans des bidons en plastique (le bidon a une contenance de 30 l), et non des citernes. D'après la population, l'installation du barrage n'a pas eu d'impact sur le système de cultures. Par contre, certains particuliers profitant de la proximité de leurs parcelles, effectuent des pompages directs pendant la nuit. Un de ces exploitants possède un équipement d'irrigation par aspersion installé sur moins d'un hectare.
5. Pour l'ensemble des habitants de ce douar, l'eau du barrage est utilisée pour l'abreuvement du bétail et pour les travaux domestiques. La population utilise alors l'eau des puits comme eau potable ou l'achète à raison de 125 dirhams/ tonne.
6. Pour les deux douars en aval du barrage Saboun, une utilisation indirecte de l'eau se fait par alimentation des nappes souterraines. Cependant, les avis de la population restent partagés en terme d'apport réel de ce barrage. Il a sans doute permis d'éviter les inondations et les crues et ainsi leurs conséquences directes (pertes en sol et en cultures). La disponibilité de l'eau pendant toute l'année a permis de couvrir les besoins en eau pour l'abreuvement du cheptel.
7. L'électrification de ces douars vient d'être achevée (juin 99). Donc la station de pompage serait bientôt fonctionnelle, et ainsi l'irrigation potentielle des 48 ha aménagés dans ce but, pourrait commencer prochainement.
8. Les grandes exploitations sont localisées au bord du lac et ainsi en profitent beaucoup plus pour l'abreuvement de leur cheptel et pour alimenter leurs propres puits. Les éleveurs habitant la partie aval utilisent l'eau de l'oued Saboun pour l'abreuvement des animaux. Les besoins en eau pour les usages domestiques des 320 foyers des trois douars précités sont d'environ 12.800 m³, et ce pendant la période sèche (mai-octobre). Alors que les besoins des troupeaux s'élèvent à environ 13.870 m³.

Observations :

9. Les foyers enquêtés ont rapporté qu'en général l'installation du barrage collinaire Saboun n'a pas eu un impact remarquable sur leur situation sociale et économique. D'après nos observations, on peut dire que les riverains ont bénéficié de ce barrage, surtout en terme de production animale (abreuvement du cheptel). Avant la construction de cet ouvrage, les agriculteurs-éleveurs étaient contraints de vendre une partie de l'effectif animal pendant la période estivale, et surtout lors des années de sécheresse. Par opposition, on note que la taille des troupeaux n'a pas augmenté à cause d'un manque en disponible fourrager (parcours, fourrage vert ...).

Annexe 2: Bilan hydrologique de la retenue du barrage Saboun,

Bilan hydrologique du barrage Saboun 97/98

	NOVE	DECE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIEL	AOUT
D V	271 000	80 000	10 000	-30 000	-30 000	-20 000	-40 000	-88 000	-70 000	-83 000
V P	39 949	69 721	23 914	38 806	5 995	12 409	13 165	867	14 923	0
V E	14 146	15 982	238 863	31 527	47 001	30 063	33 639	69 058	74 155	70 936
V vi	0	168 628	3 946	133 523	0	0	0	71 138	9 003	12 420
Vcrue	267 000	694 378	94 432	632 518	0	0	0	0	0	0
Vdev	0	465 832	122 686	407 137	0	0	0	0	0	0
reste	-21 803	-33 657	42 169	-129 138	11 006	-12 345	-19 526	41 329	-7 765	-8 644

Bilan hydrologique du barrage Saboun 98/99

	SEP	OCT	NOVE	DECE	JANV	FEVR
D V	-37 000	-32 000	-28 000	-7 000	29 000	-1 000
V P	29 127	7 239	4 327	13 574	25 189	15 734
V E	41 406	29 544	15 718	11 494	8 607	12 119
V vi	0	0	3 030	71 013	3 946	78 923
Vcrue	23 035	19 137	0	17 642	300 906	19 437
Vdev	0	0	0	0	0	0
reste	-46 255	-12 338	-14 579	54 546	-284 952	54 871

10. La population habitant le douar Daimouss attendait beaucoup de cette réalisation, surtout en terme d'adduction en eau potable.
11. L'électrification est en cours d'achèvement (fin juin, au plus tard). Le retard cumulé, puisque le projet a déjà huit ans d'existence, a entraîné le développement de frustrations de la part de la population. En effet, pour plusieurs ce projet «schéma Mharhar » était beaucoup plus un rêve qu'une réalité. Aujourd'hui, les agriculteurs-éleveurs attendent beaucoup de cette réalisation pour démarrer un programme d'irrigation.
12. Une des questions qui reste posée est la suivante : La réserve de la retenue suffirait-elle pour les besoins en eau des animaux et ceux des cultures ? La population reste inquiète, surtout les habitants du douar Daimous, pour lesquels le barrage a été construit sur leur terre, alors qu'ils n'ont pas bénéficié d'un programme d'irrigation. Dans ce cadre, ce projet a créé une tension entre les foyers de l'amont et ceux de l'aval. Une approche participative soutenue par une base de donnée fiable sur le fonctionnement hydrologique de la retenue constitue aujourd'hui l'approche de travail des décideurs et techniciens qui se sont mobilisés à trouver les solutions acceptables et durables. Hydromed y contribue par sa base de données sur le barrage.

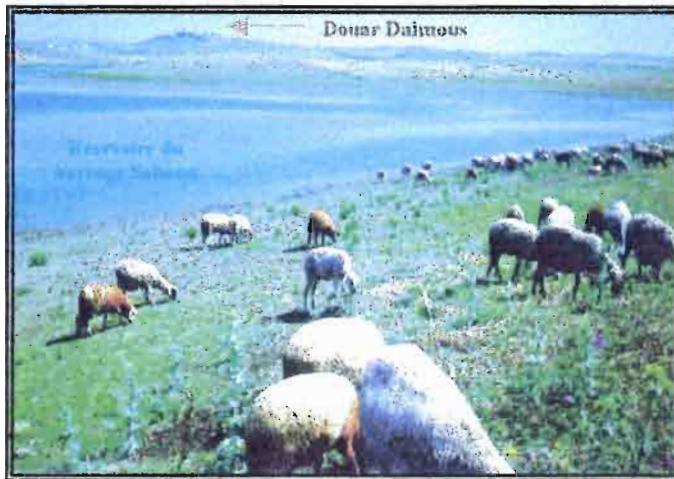


Figure 1: Vue du réservoir du barrage collinaire Saboun et l'utilisation directe de son eau par les douars limitrophes (Juin 1999).

Figure 2: Enquêteurs d'HYDROMED (Juin 1999).



Annexe 3 : Rapport d'avancement IRNASE

**Progress Report of the Joint Experiments between the IRNAS
(Sevilla, Spain) and the IAV (Rabat, Morocco)**

(January – June 1999)



Measurement with the tension disk infiltrometer

Report of the group of IRNAS (CSIC)

During the month of March 1999 the group of IRNAS (CSIC) from Seville was participating together with the group of the IAV from Rabat in a joint experiment in the experimental site at Saboun (Morocco). The experiment consisted in the characterization of the hydraulic properties of the soils surrounding the hill reservoir Saboun. The persons involved in this experiment were: Dr. A. Merzouk, Dr. M.M. Alami, Mr. A. Benyounes and Mr. Moussadek from the IAV (Rabat), and Dr. F. Moreno and Mr. I.F. Girón from the IRNAS (Seville).

Both groups were working with the tension disk infiltrometer. The measurements were carried out in selected transects in the area according with the type of soil, slope and use and management of the soil. The situation of the sites in which the measurements were carried out are shown in Fig. 1. The hydraulic conductivity and sorptivity in the range near saturation were determined. From these measurements was also determined the characteristic mean pore radius and the gravity time.

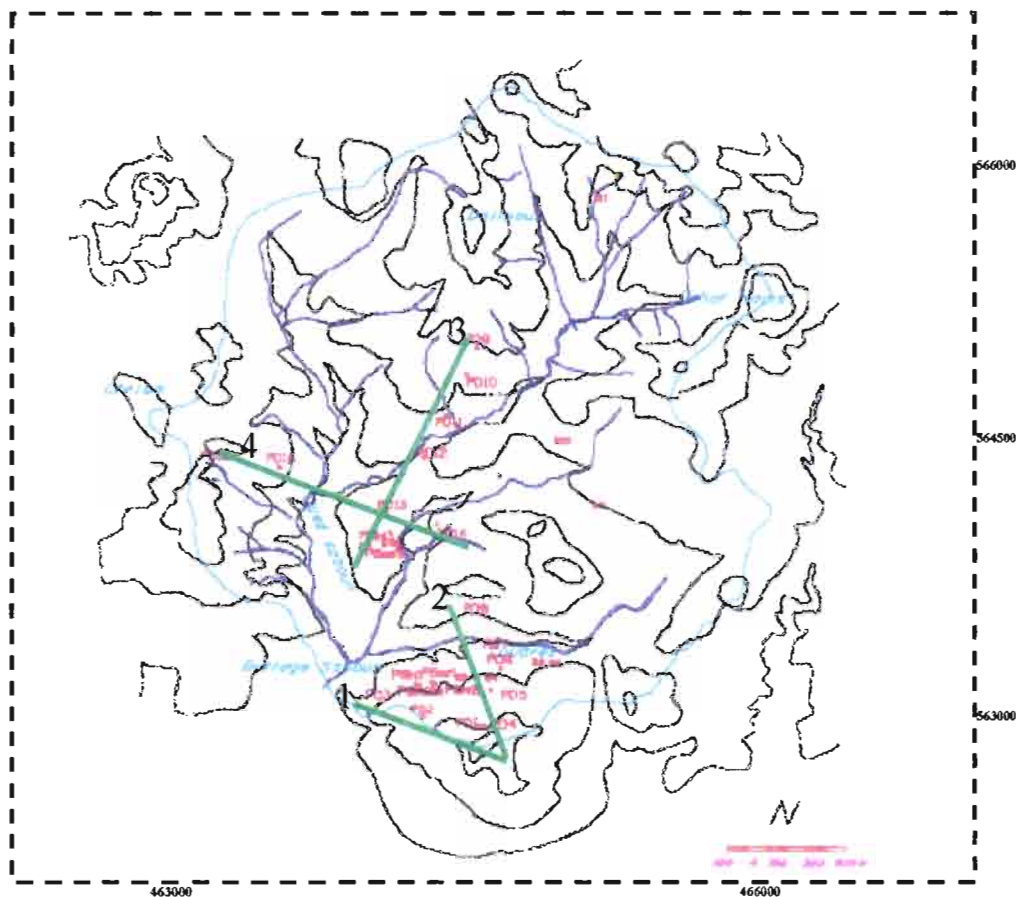


Fig. 1. Situation of the measurement sites. The green lines indicate the four transects.

Results

In Fig. 2 is shown the variation of the hydraulic conductivity with the pressure potential for each measurement site. There is a relatively high variability as was expected taking into account the differences in soil type, slope and use. The mean hydraulic conductivity

of the all sites of measurement shows a high coefficient of variation for all pressure potential applied (Table 1). This coefficient of variation varies between 65.9 and 73.5. The lowest coefficient of variation was obtained in the transect 1.

The variation of the sorptivity with the pressure potential is shown in Fig. 3. The variability of this parameter is a little lower than in the case of the hydraulic conductivity (Table 2). The sorptivity for transect 4 show the highest coefficient of variation.

The mean gravity times (time from which the gravity controls the infiltration rate) calculated for the different measurement sites are shown in Table 3. In most of the cases, is the sorptivity the parameter that controls the infiltration rather than the gravity. Only for the pressure potential $h = -5\text{mm}$ the gravity time is very low that indicates that the infiltration is controlled by the gravity. This parameter shows also a strong variability.

From the results obtained in this experiment we can expect a high variability in the processes (water infiltration and water runoff) related with the hydraulic properties of the soils of the watershed. This is an important point to be taken into account for the application of simulation models, and to understand the processes such as water runoff and erosion.

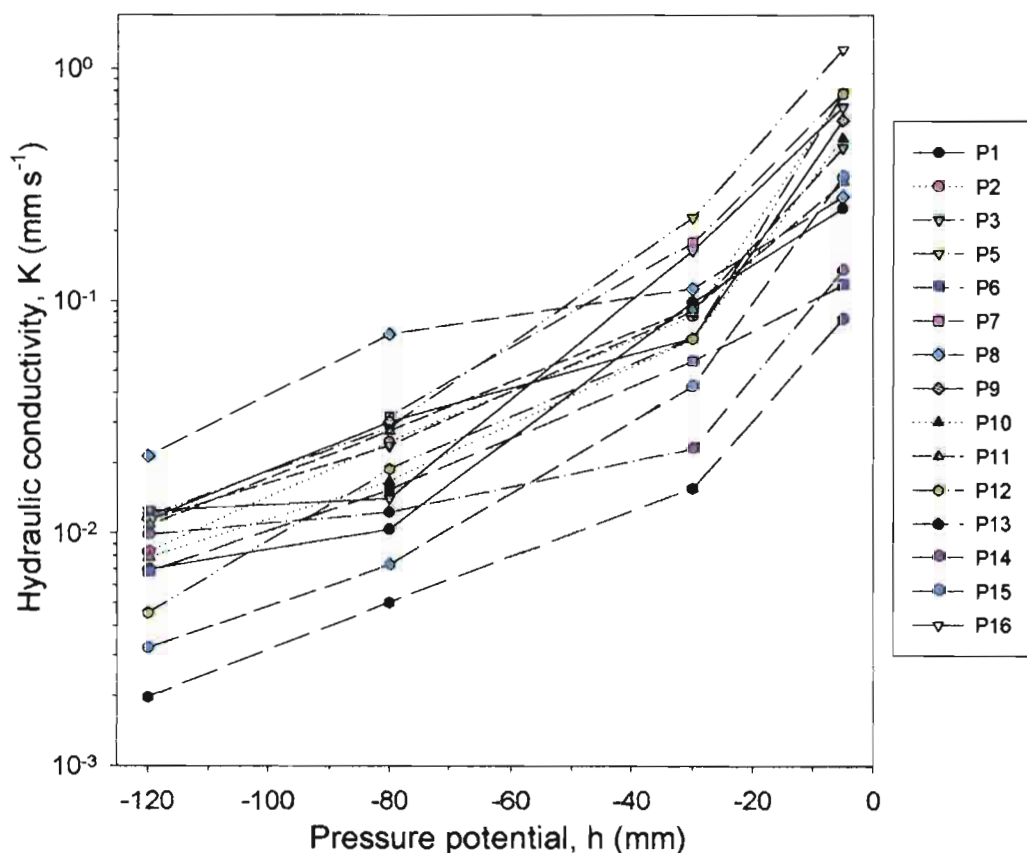


Fig. 2. Change of the hydraulic conductivity (K) with the pressure potential (h) applied in the different measurement sites.

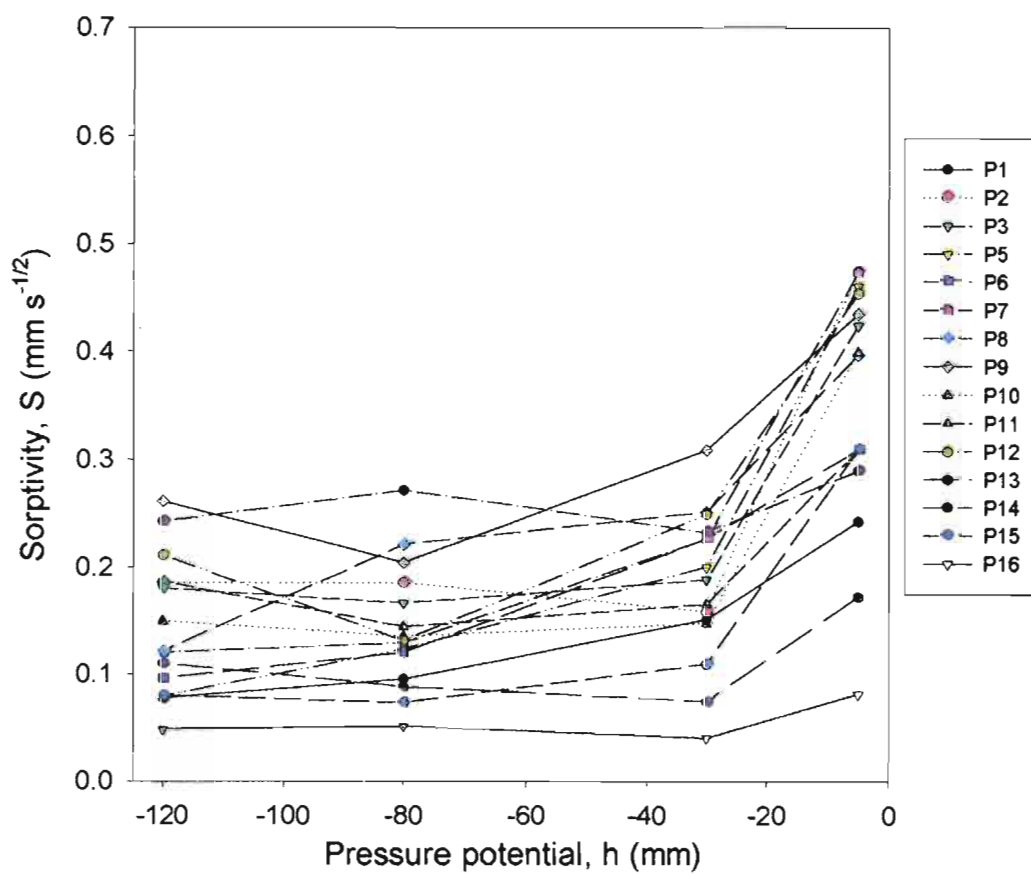


Fig. 3. Change of sorptivity (K) with the pressure potential (h) applied in the different measurement sites.

Table 1. Values of hydraulic conductivity (K)

All points	K (mm s ⁻¹)			
	h = -5 mm	h = -30 mm	h = -80 mm	h = -120 mm
Mean	0.043	0.0078	0.0019	0.00092
Std. dev.	0.028	0.0052	0.0014	0.00064
C.V.	65.9	66.8	73.5	70.4
Transect 1				
Mean	0.0495	0.0092	0.0019	0.00089
Std. dev.	0.0263	0.00064	0.0008	0.00023
C.V.	53.2	6.96	40.7	25.6
Transect 2				
Mean	0.0528	0.0133	0.00316	0.00154
Std. dev.	0.0456	0.0067	0.00241	0.00101
C.V.	86.3	50.9	76.3	65.5
Transect 3				
Mean	0.0424	0.00597	0.00186	0.00073
Std. dev.	0.0254	0.00265	0.00092	0.00036
C.V.	59.8	44.4	49.6	49.6
Transect 4				
Mean	0.0311	0.00617	0.00097	0.00069
Std. dev.	0.0273	0.007	0.00042	0.00051
C.V.	87.7	113.5	43.6	74.0

Table 2. Values of sorptivity (S)

All Points	S (mm s ^{-1/2})			
	h= -5mm	h= -30mm	h= -80mm	h= -120mm
Mean	0.339	0.176	0.139	0.134
Std dev	0.114	0.063	0.056	0.070
C.V.	33.7	39.1	40.5	49.9
Transect 1				
Mean	0.380	0.166	0.149	0.170
Std dev	0.122	0.020	0.048	0.088
C.V.	32.1	11.8	32.1	51.6
Transect 2				
Mean	0.376	0.211	0.138	0.091
Std dev	0.099	0.038	0.049	0.019
C.V.	26.3	17.9	35.3	20.6
Transect 3				
Mean	0.343	0.178	0.140	0.173
Std dev	0.107	0.086	0.037	0.058
C.V.	31.1	48.6	26.7	33.7
Transect 4				
Mean	0.213	0.114	0.121	0.120
Std dev	0.107	0.084	0.101	0.085
C.V.	50.2	73.6	83.9	71.1

Table 3. Values of gravity time (t_{grav})

	t_{grav} (min)			
	h = -5 mm	h = -30 mm	h = -80 mm	h = -120 mm
All points				
Mean	71.9	2830	2060	9320
Std. dev.	53.7	10200	3010	15200
C.V.	74.7	360.3	146.2	163.4
Transect 1				
Mean	1.2	5.6	113	677
Std. dev.	0.5	1.6	22.6	742
C.V.	41.7	29.6	20.1	109.7
Transect 2				
Mean	190	488	2130	6790
Std. dev.	294	704	2290	7720
C.V.	155.3	144.3	107.5	113.6
Transect 3				
Mean	43.2	552	3610	19800
Std. dev.	52.4	778	4290	21700
C.V.	121.3	141	118.8	109.5
Transect 4				
Mean	4.4		599	952
Std. dev.	3.5		575	492
C.V.	79.2		95.9	51.7

Table 4. Values of the characteristic mean pore radius (λ_m)

	Characteristic mean pore radius, λ_m (mm)			
	h (mm)=-5	h (mm)=-30	h (mm)=-80	h (mm)=-120
All points				
Mean	0.468	0.398	0.161	0.117
Std dev	0.130	0.173	0.073	0.129
C.V.	27.728	43.403	45.050	110.312
Transect 1				
Mean	0.471	0.471	0.125	0.055
Std dev	0.187	0.187	0.045	0.027
C.V.	39.738	39.738	36.055	48.561
Transect 2				
Mean	0.340	0.334	0.178	0.238
Std dev	0.120	0.127	0.065	0.210
C.V.	35.276	38.021	36.347	88.227
Transect 3				
Mean	0.529	0.382	0.145	0.044
Std dev	0.096	0.190	0.031	0.028
C.V.	18.146	49.593	21.379	63.780
Transect 4				
Mean	0.484	0.411	0.104	0.045
Std dev	0.098	0.219	0.098	0.029
C.V.	20.333	53.251	94.614	65.746

Annexe 4 : Rapport d'avancement Lund



Department of Water Resources Engineering
Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden

HYDROMED

State of the art
January-June, 1999

Ronny Berndtsson

Lund July, 1999

Postal address:
P. O. Box 118
S-221 00 Lund
Sweden

Office:
John Ericssons vaeg 1
Lund
Sweden

Phone:
+46 - 46 - 222 8986 (office)
+46 - 46 - 184253 (home)

Fax:
+46 - 46 - 222 4435

Email:
Ronny.Berndtsson@tvrl.lth.se

Home page: <http://aqua.tvrl.lth.se>

Contents

1. Background and objectives
2. Activities
3. Expected results
4. Follow up
5. List of accumulated publications

Appendix

- 1) Table of contents for proceedings of seminar on rainwater harvesting.
- 2) Summary of Magnus Persson's doctor of science thesis.
- 3) Summary of joint paper on experiments in undisturbed soil samples from Tunisia.

1. Background and objectives

The EU-INCO cooperation project Hydromed (Research Program on Hill Reservoirs in the Semiarid Zone in the Mediterranean Periphery) was started in 1997 with Tunisia, France, England, Spain, Morocco, Syria, Lebanon, and Sweden as partners. The ORSTOM in Tunisia acts as coordinator for the project. The main objective of the program is to study the sustainability of small-scale dam use for improvement of infrastructure and socioeconomy in the Mediterranean landscape. The function of the Swedish cooperative partner (Lund University) is partly to provide expertise from and distribute results to other Scandinavian countries (access to Scandinavian universities), and partly to:

- provide expertise on rainfall analyses and modeling,
- provide expertise on modeling techniques of solute transport in the unsaturated zone,
- provide expertise on multi-objective use of dams and reservoirs (rainfall-runoff modeling and multi-purpose use).

Below follows a description of achieved results during the first half of the third year of the cooperation program (January to June, 1999) and plans for the final half of the third project year (July to December, 1999).

2. Activities

Activities during the first half of the third and final third project year have mainly been oriented towards analyses of previously collected data and developing models for these data. Much data have been gathered from the diploma work of two Swedish M.Sc. students (Palmquist and Tullberg, (1997). The study was financed by the ORSTOM, INRGREF, and the Swedish SIDA (Swedish International Development Agency) through a Minor Field Study grant. This work included field studies in one of the HYDROMED experimental catchment (M'Richet el Anze catchment). Undisturbed samples from the catchment were used for tracer experiments and model testing (Persson et al., 1999). The results from these studies will be published in a joint publication (see Appendix 3). The study showed that TDR is somewhat problematic for clayey and saline soils. Thirteen solute transport experiments were carried out in the three undisturbed soil columns. Water fluxes ranged from 1.2 to 7.2 cm d⁻¹. The solute transport heterogeneity and large tailing indicated that preferential flow is most pronounced in areas downstream in the catchment. Preferential flow took place in voids between structural elements and in wormholes. Preferential flow was also evident, but not as pronounced, for areas situated at nose areas (upstream areas in the catchment). In sloping areas, solute transport was more uniform with little preferential flow. The heterogeneity of the solute transport increased with the water flux especially for the soil sample taken in the downstream areas. It increased to a lesser degree for the areas corresponding to nose areas and remained constant in slope areas. The dye experiments confirm these results. The solute experiments will be further used to model and analyze transport properties for the unsaturated zone.

Dye data from the same experimental plots in Tunisia are used to investigate statistical properties of a conservative tracer through the unsaturated zone. Analysis are made using fractal theory. A doctoral student (M. Sc. Yuki Umegaki) is working with the dye patterns collected in the above field investigation and Assoc. Prof. Hiroshi Yasuda from Tottori University that works with developing a fractal model for the transport of dye through the unsaturated zone.

During the recent 6-month period a Swedish doctoral student (Magnus Prsson; see Appendix 2) completed his studies and successfully defended his thesis (Persson, 1999). In total four other doctoral students have been appointed to work with the Hydromed; another Swedish doctoral student (M. Sc. Pernilla Somogyi), a Japanese doctoral student (M. Sc. Yuki Umegaki), a Tunisian doctoral student (M. Sc. Slah Nasri), and a doctoral student from Syria (M. Sc. Ibrahim Yasser). The theses defence of these doctoral studies lie beyond year 2000.

During one week in June-July, 1998, a specialized seminar within Hydromed was organized: Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas, Lund University, 29 June - 2 July, 1998. The number of participants of the seminar was about 30 scientists from Sweden, Germany and associated Hydromed collaborator countries. The finalized proceedings is at present printed (see Appendix 1).

During a week in June, 1999, (14 - 20 June), two Swedish Hydromed collaborators (Ronny Berndtsson and Lars Bengtsson) visited Lebanon and Syria for continuing studies. In Syria the visitors met with scientists from the ACSAD and in Lebanon with scientists from the St. Joseph University. Experimental catchments in both Lebanon and Syria were visited and possible exchange and further cooperation were discussed. At present, joint studies on precipitation and groundwater recharge are planned in the near future.

During autumn 1999 activities will be concentrated on joint analyses of soil moisture observations in Tunisia and publishing. The large amount of data that the Hydromed has generated are the base for joint publications during the latter stage of Hydromed.

3. Expected results

The project is coming into a mature phase when results are being generated on a large scale. It is expected that major parts of the Hydromed project results will be within doctoral theses presentations. The educational value of the project is therefore substantial. Doctoral degrees are expected by Mr. Slah Nasri from INRGREF and also by Ms. Pernilla Somogyi, Mr. Ibrahim Yasser, and Ms. Yuki Umegaki. Besides these important achievements other research results will be completed and published by senior scientists participating in the Hydromed. This latter stage of Hydromed will be focussed on developing useful simulation tools and performing complementary field experiments.

4. Follow up

As seen from the above, results of the Hydromed project are besides scientific also highly educational. This is seen from the great number of expected doctoral dissertations in the near future. This is maybe the most important output of the project and the best way to build sustainable knowledge on small dams in the landscape. Besides these results, there are a number of important spin-off results. The Hydromed project has already generated more funds for doctoral studies, seminars, and workshops through national funding. These complementary funds have been supplied by the Swedish International Development Authority (Sarec) and the Lund University. Besides these new resources, funds are likely to be complemented by the Swedish Institute for new doctoral studies. Even more important is the fact that new cooperation projects are being generated from the Hydromed. A possible now planned cooperation is a joint study between ACSAD, the St. Joseph University and Lund University on precipitation and groundwater recharge. A possible funder for this cooperation may be the Swedish SIDA.

Contents	Page
1. Observation techniques; GIS/remote sensing; climatic, soil, agronomic, and socioeconomic data storage and processing for small watersheds; (chairman: Dr. Jean Albergel, ORSTOM).	9
Hydrology of Sindyaneh Wadi Basin in Syria, Dr. Abdallah Droubi, ACSAD, Dr. Salah Kara Damour, MIDS, Dr. Jean Albergel, ORSTOM, and Yasser Ibrahim, ACSAD.	11
Small dams' water balance: experimental conditions, data processing and modeling, Dr. Jean Albergel, ORSTOM, Mr. Slah Nasri, INRGREF, and Dr. Mohamed Boufaroua, MAT.	45
Integrating soil profile and soil hydraulic properties data bases to be used in simulation models and land evaluation expert systems, Prof. Felix Moreno, Dr. D. de la Rosa, and Dr. J. E. Fernandez, IRNAS.	59
Lebanese hydrology and needs for water storage, Dr. Bassam Jaber and Dr. Fuad Saad, MHER.	71
Remote sensing applications for the management of small catchments in arid and semi-arid areas, Dr. Chuqun Chen, CAS.	85
2. Water quality and quantity; hydrological and transport modeling; (chairman: Dr. Jean Khouri, ACSAD).	93
Water chemistry characteristics in small reservoirs of semiarid Tunisia, Dr. Nathalie Rahaingomanana, ORSTOM.	95
Water chemistry of a small reservoir catchment in central Tunisia, Dr. Jean-Pierre Montoroi, Dr. O. Grunberger, ORSTOM, and Mr. Slah Nasri, INRGREF.	107
Solute transport and soil water content measurements in arid soils using time domain reflectometry, Dr. Magnus Persson, LU.	123
Decision support system in hydrological modeling, a case study in China, Dr. Linus Zhang, LU.	135

3. Rainwater harvesting; infiltration techniques and modeling; infiltration and erosion (chairman: Dr. Nejib Rejeb, INRGREF). 149

Water harvesting techniques in the Mediterranean, Prof. Dr. Dieter Prinz, KU. 151

The use of TDR for wetness measurements in soil erosion and conservation practices in small watersheds, Mr. Slah Nasri, INRGREF, and Dr. Patrick Zante, ORSTOM. 165

Land use transformation impact on reservoir siltation in Morocco: the need for better assessment tools, Dr. Abdelaziz Merzouk, IAV. 191

Modeling small dams' siltation with MUSLE, Dr. Jean Albergel and Mr. Yannick Pepin, ORSTOM. 195

Small-scale cistern system for rainwater collection and storage in north-western China, Dr. Linus Zhang, LU and Prof. Kun Zhu, LRI, and Dr. Ronny Berndtsson, LU. 205

Disinfection and fresh-keeping of rainwater in small scale cisterns, Prof. Kun Zhu and Dr. Chen Hui, LRI, Dr. Linus Zhang and Dr. Ronny Berndtsson, LU. 215

Strategy of soil and water conservation in Tunisia, Dr. Habib Farhat and Dr. Mohamed Boufaroua, MAT. 231

4. Reservoir planning, operation and management; Rainfall-inflow relationships; Dam design and operation; Surface-groundwater interactions (chairman: Dr. Abdelaziz Merzouk, IAV). 255

Groundwater recharge and modeling in an experimental catchment, Mr. Slah Nasri, INRGREF. 257

Deterministic versus stochastic hydrological modeling; uncertainties and decisions, Mr. Jan Hoybye, LU. 275

Neural network methodology to simulate discharge, Dr. Cintia Uvo, LU.

Summary and Conclusion

Solute transport in the unsaturated zone is a complex process. One of the two objectives for this thesis was to examine how solute transport could be conceptualized under different flow conditions. Experimental data with high spatial and temporal resolution can improve the understanding of the processes involved. This is essential in order to be able to develop new and better predictive models of solute transport. Traditional measuring techniques, however, are not able to give such data. The second objective was to investigate how TDR can be used to obtain high quality data in the soils studied. This thesis demonstrates that TDR can be used to obtain reliable data suitable for modeling and revealing possible modeling concepts. TDR is an accurate instrument for water content and electrical conductivity measurement. The highest degree of precision and accuracy of the q measurement is found in soils with low organic matter and clay content combined with low electrical conductivity. Temperature dependent errors exist in TDR measurements. The temperature effects on q measurement in sandy soils are close to both those calculated from the dielectric mixing model described by Birchak et al. (1974) with a -values of 0.5 and 0.6 and the temperature correction suggested by Ledieu et al. (1986) for an automated TDR system suitable for field measurements. The change in K_a with temperature is least in fine-textured soils. The temperature dependence of s_a was found to be very close to the temperature dependence of the soil extract. The temperature effect s_a was independent of soil texture. By using the direct calibration approach and relating s_a to s_w with the equations suggested by Rhoades et al. (1976); Mualem and Friedman (1991); and Heimovaara et al. (1995), s_w measurements can be made for transient conditions with varying water content in sandy soils. Three calibration methods for deriving the parameters of these models were presented. In homogeneous sand, there was no need for site specific calibration and a single calibration curve could be used to estimate the s_w at different locations in the soil profile. In the undisturbed loamy sand column, three different calibration curves could be used, however, the highest accuracy was achieved by calibrating the probes separately. In the loamy sand, there was also a difference in the parameters of the s_w - s_a - q relationship derived using the three calibration methods. This was probably due to the difference in soil structure between the undisturbed and disturbed soil samples. In clay soils only the indirect calibration approach should be used due to the complications discussed in the previous chapter. When using the indirect calibration approach as part of a step pulse solute transport experiment, the BTCs for the outflow calculated using s_{rel} or bromide concentration were similar. In the loamy sand soil used in this study, the solute was transported in preferential flow paths or fingers. This was shown both in dye experiments and in solute transport experiments in the laboratory and the field. Most of the preferential flow paths were consistent in the two experiments, similar results were presented by DiCarlo et al. (1999). There was a fairly high correlation between the q and mass balance patterns in the field experiments and the constant mass recovery in the column experiments. The overall heterogeneity in the field experiments was larger during low flow compared to high flow, probably due to the fact that the finger width increases with flow. This was also reflected in a higher relative velocity for the low flow experiment. Both the CDE and CLT model concepts could be used to model most individual BTCs in all the experiments reported here. Global solute transport was, however, difficult to model using these fairly simple one-dimensional models. The results from the column and field studies show that the magnitude of the flux determines how the solute transport can be conceptualized. During high fluxes, solute transport was a stochastic-convective process. Transport parameters also showed

significant trends with water application frequency. Furthermore, different locations in the same soil can follow different concepts under the same flow conditions. The results presented in this thesis show that TDR measurements of solute concentrations can be made for both steady-state and transient conditions. Temperature dependent errors exist in TDR measurements, but they can be accounted for. Thus, TDR can be a particularly useful tool for understanding water and solute transport in the unsaturated zone. Finally, solute transport conceptualization depends not only on soil type, but also on the nature of water application (magnitude of the water flux and whether the flow is transient or steady-state) and the location in the soil.

Summary of joint paper on experiments in undisturbed soil samples from Tunisia.

Solute transport and water content measurements in clay soils using time domain reflectometry, paper, (in prep.).

By

Persson, M., R. Berndtsson, Y. Umegaki, S. Nasri, J. Albergel, P. Zante, and A. Bahri, (1999),

Undisturbed samples from the catchment were used for tracer experiments and model testing. The study showed that TDR is somewhat problematic for clayey and saline soils. Thirteen solute transport experiments were carried out in three undisturbed clay soil columns. Water fluxes ranged from 1.2 to 7.2 cm d⁻¹. The solute transport heterogeneity and large tailing indicated that preferential flow is most pronounced in areas downstream in the catchment. Preferential flow took place in voids between structural elements and in wormholes. Preferential flow was also evident, but not as pronounced, for areas situated at nose areas (upstream areas in the catchment). In sloping areas, solute transport was more uniform with little preferential flow. The heterogeneity of the solute transport increased with the water flux especially for the soil sample taken in the downstream areas. It increased to a lesser degree for the areas corresponding to nose areas and remained constant in slope areas. The dye experiments confirm these results.

5. List of accumulated publications

Published:

Palmquist, O., and O. Tullberg, (1997), An experimental study of pollutant transport and erosion susceptibility in Tunisia, a study with rainfall simulation and dye in the M Richet el Anze catchment, M. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Univ. of Lund, Lund, pp. 1-56.

Persson, M., (1997), Non-destructive measurements of solute transport in the unsaturated zone using time domain reflectometry, Lic. Sc. Thesis, Rep. No. 3212, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, pp. 1-129.

Persson, M., (1999), Conceptualization of solute transport using time domain reflectometry, a combined laboratory and field study, D. Sc. Thesis, Rep. No. 1025, Dep. of Water Resour. Eng., Lund Univ., Lund, pp. 1-60 + 8 append.

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Estimating transport parameters in an undisturbed soil column using time domain reflectometry and transfer function theory, *J. Hydrol.*, 205, 232-247.

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Estimating transport parameters in an undisturbed soil column using time domain reflectometry and transfer function theory, *J. Hydrol.*, 205, 232-247.

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Texture and electrical conductivity effects on temperature dependency in time domain reflectometry, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 887-898.

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Noninvasive water content and electrical conductivity laboratory measurements using time domain reflectometry, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 62, 1471-1476.

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Soil texture effects on temperature dependency for measurements with TDR, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, (in press).

Persson, M., and R. Berndtsson, (1998), Noninvasive water content and electrical conductivity laboratory measurements using time domain reflectometry, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, (in press).

Persson, M., R. Berndtsson, J. Albergel, S. Nasri, A. Bahri, P. Zante, (1998), A non-invasive approach for measurements of near-surface water content, *Annal. Geophys.*, 16, Suppl. II, C483.

Somogyi, P., R. Berndtsson, J. Albergel, S. Nasri, A. Bahri, P. Zante, (1998), Preferential flow as indicated by brilliant blue, *Annal. Geophys.*, 16, Suppl. II, C480..

In preparation:

Persson, M., R. Berndtsson, Y. Umegaki, S. Nasri, J. Albergel, P. Zante, and A. Bahri, (1999), Solute transport and water content measurements in clay soils using time domain reflectometry, paper, (in prep.).

Nasri, S., (2001), Soil management of arid watersheds for sustainable crop growth, D. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Univ. of Lund, Lund, (in prep.).

Somogyi, P., (2001), Solute transport in semi-arid soils, D. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, (in prep.).

Umegaki, Y., (2002), Transport of metals in heterogeneous soils, D. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, (in prep.).

Yasser, I., (2002), Use of GIS to model wadi runoff, D. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, (in prep.).

Planned:

Somogyi, Berndtsson, Bahri, Albergel, Zante, (1999), Preferential flow as indicated by brilliant blue tracers, experiments in Tunisia, Soil Sci. (in prep.).

Somogyi, Olsson, Berndtsson, Bahri, Albergel, Zante, (1999), Fractal transport patterns of solutes in a semi-arid soil, Soil Sci. Soc. Amer. J. (in prep.).

Nasri, S. et al (1998), Erosion and soil water characteristics in a semiarid catchment in Tunisia. In prep.

Nasri, S. et al (1998), Infiltration modeling and derivation of geomorphic instantaneous unit hydrograph.

Nasri, S. et al (1999), Prediction of runoff in semiarid climate based on geomorphic instantaneous unit hydrograph.

Annexe 5 : Rapport d'avancement IH



Hydromed

Program of research on Hill Reservoirs in the Semi-Arid zone of the
Mediterranean Periphery

Progress Report

Ragab Ragab and Dimitrios Moidinis

Institute of Hydrology

Wallingford, UK

July, 1999

During the past period a progress has been made in different areas. On the modelling side, the calibration and parameter fitting procedure has been benefiting from the adoption of the Genetic Algorithm which has been developed by the Massachusetts Institute of Technology, MIT. The algorithm helps to minimise the objective function as given by the user. This method has an advantage when compared with other methods. Moreover, the increase in the water volume of the reservoir due to the rainfall has been accounted for either from the rain gauge over the dam or the upstream gauge if the former was not available. Another development to allow the user to import input files in various formats (HYDROM, Pluvium, etc.) has been built in. A subroutine to quantify the contribution of the base flow to the reservoir's storage has been developed. It is based on the analysis of the total flow at the spillway and separating the total flow into peak flow generated by the storm and base flow due to sub-surface flow. The ratio of the base flow to the total flow has been taken into account. This subroutine has been implemented. A facility to produce the output in graphical form and as ASCII files has been built in. The programming has been conducted using Visual C++ and the model runs via windows with manues and sub- manues. The model is now running and preliminary calibrations and simulation runs were carried out. The data available were from: I) El-Guazine, Tunisia for three events in 1994-1995. II) Es Senega, Tunisia, for three events in 1994-1997, III) Sindiany in Syria for one big event and 8 small ones in 1998-1999 and IV) Kamech, Tunisia, for 4 events in 1996-1999.

The calibration procedure has been carried out and the event that has generated spillway flow and a minimum error (expressed as root mean square, RMS value) during the calibration has been selected. The value of the parameters obtained from this calibration were then applied to other events and the model has been run in a simulation mode. The results which just have been obtained are under investigation. Plans for further work or improvements will depend on the analysis of the newly obtained results.

El Guazine

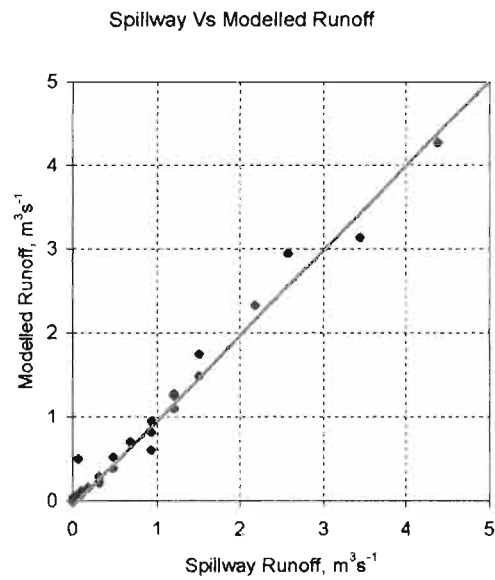
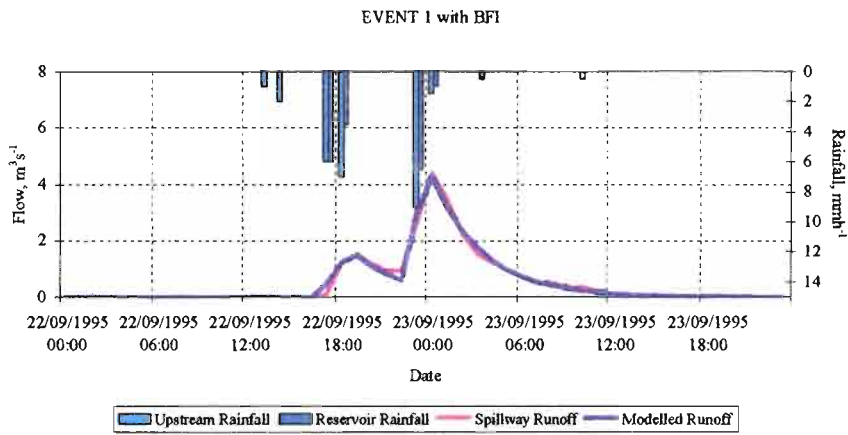
CALIBRATION

Data: EVENT 1

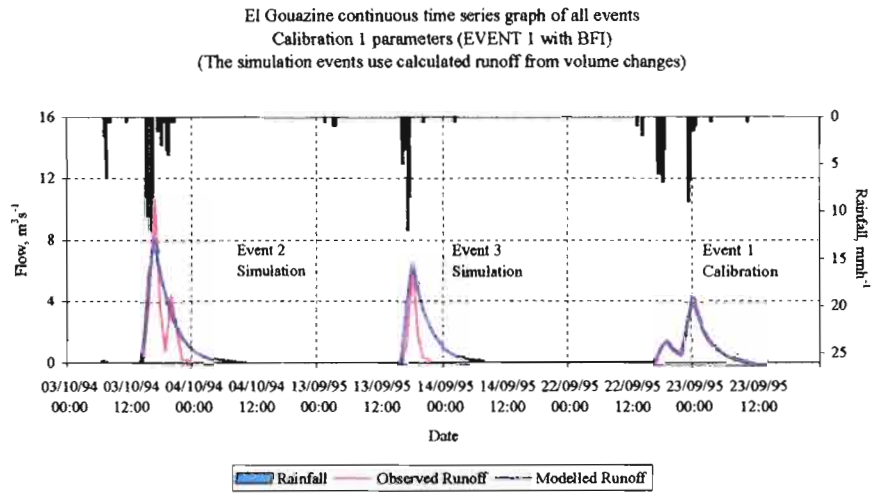
Base flow index: 0.492211

Results: Z min: 3.265361
Z max: 11.08807

K lag: 3.365532
Root Mean Square: 0.117705

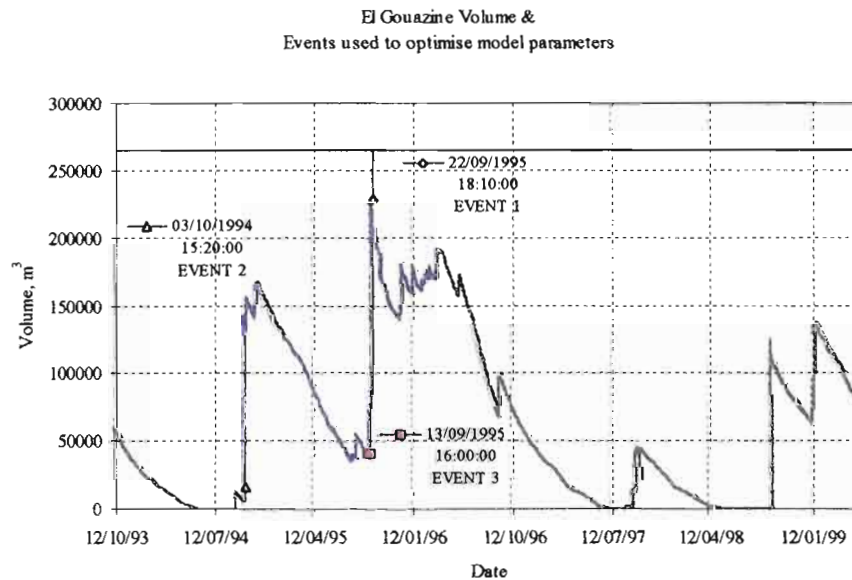


Time series graph of all events and observed vs. modelled graphs



Root Mean Square = 0.901569459

Reservoir volume graph with all events



Es Senega

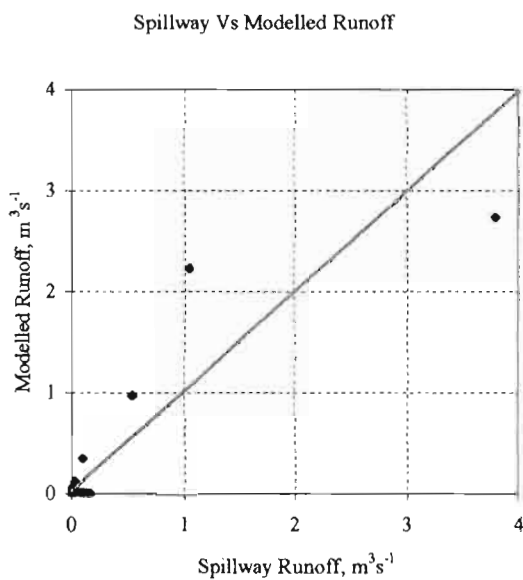
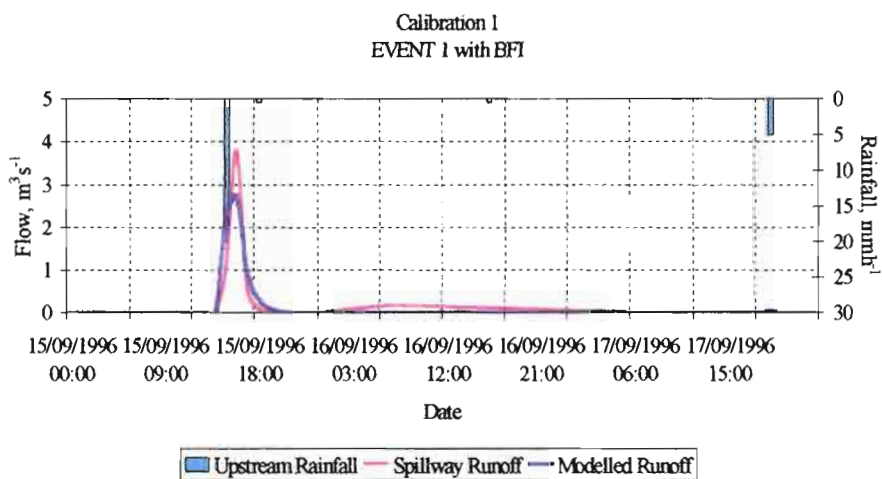
CALIBRATION

Data: EVENT 1

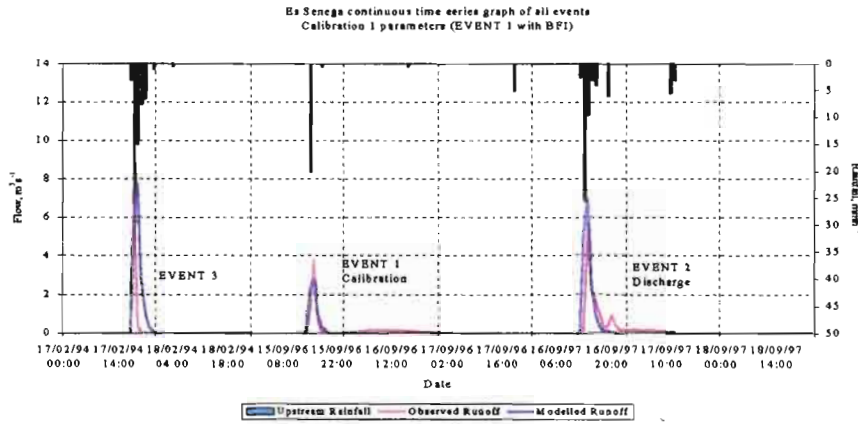
Base flow index: 0.088653

Results: Z min: 9.044412
Z max: 26.401547

K lag: 1.047416
Root Mean Square: 0.206973

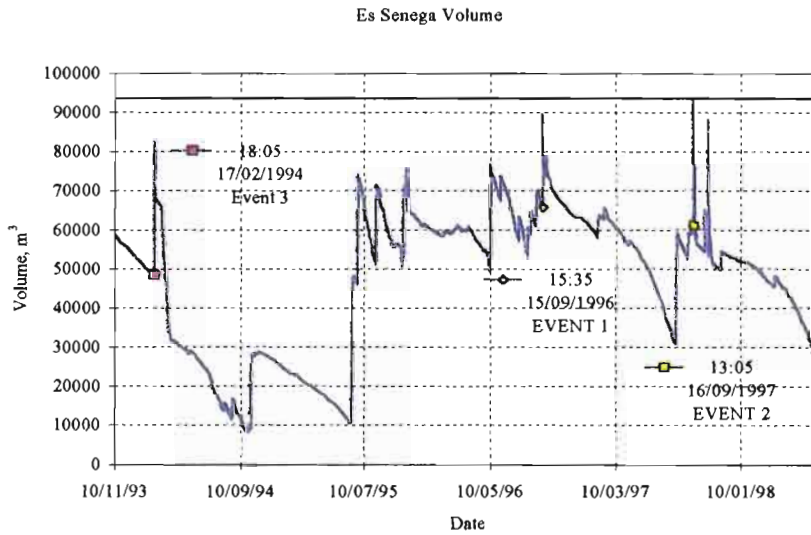


Time series graph of all events and observed vs. modelled graphs



Root Mean Square = 0.767799085

Reservoir volume graph with all events



El Sindiany

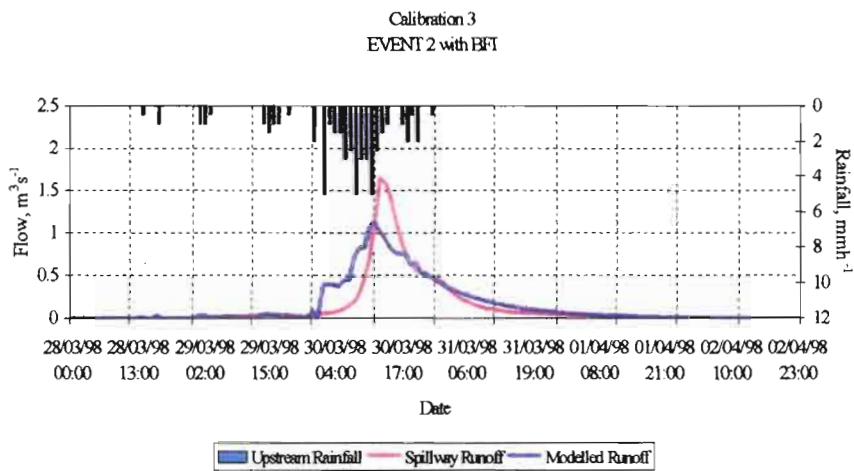
CALIBRATION

Data: EVENT 2

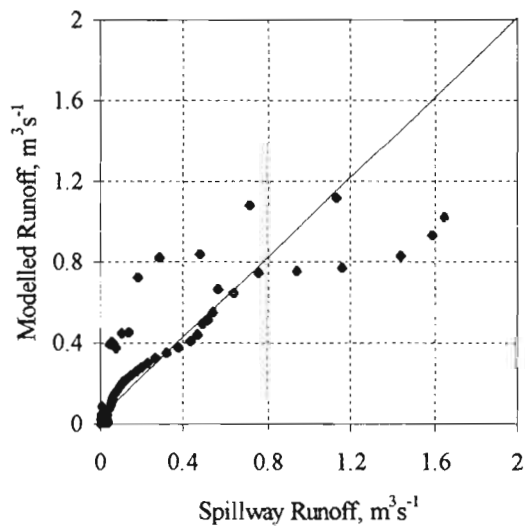
Base flow index: 0.300085

Results: Z min: 0.778646
Z max: 5.316981

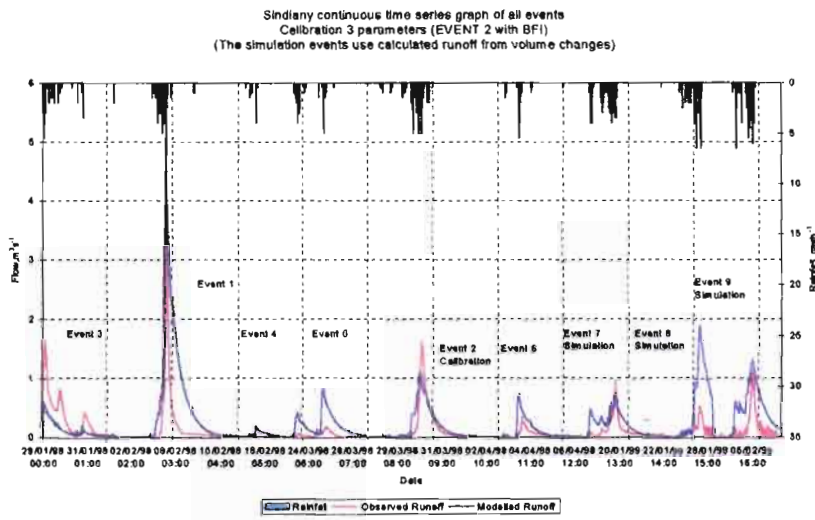
K lag: 13.369429
Root Mean Square: 0.144431



Spillway Vs Modelled Runoff

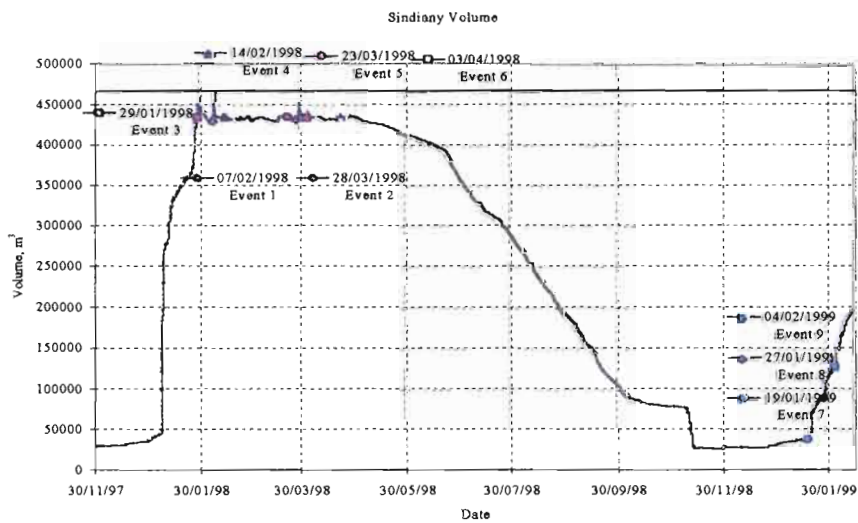


Time series graphs of all events and observed vs. modelled graphs



Root Mean Square = 0.366169092174102

Reservoir volume graph with all events



Kamech

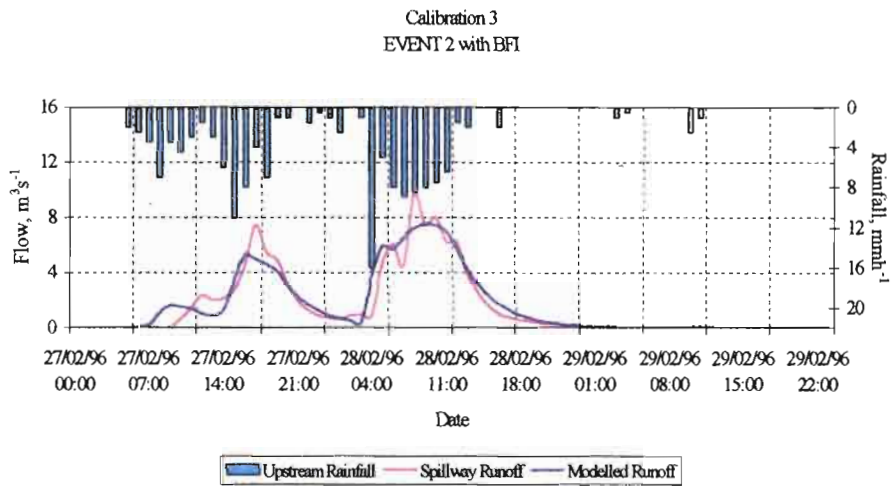
CALIBRATION

Data: EVENT 2

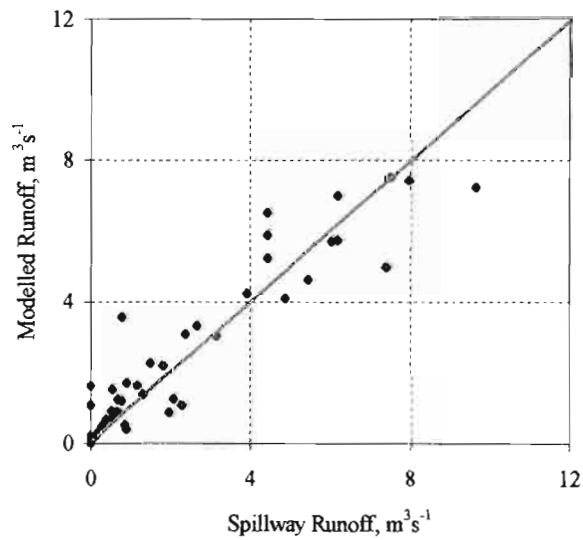
Base flow index: 0.136755

Results: Z min: 0.495704
Z max: 7.502473

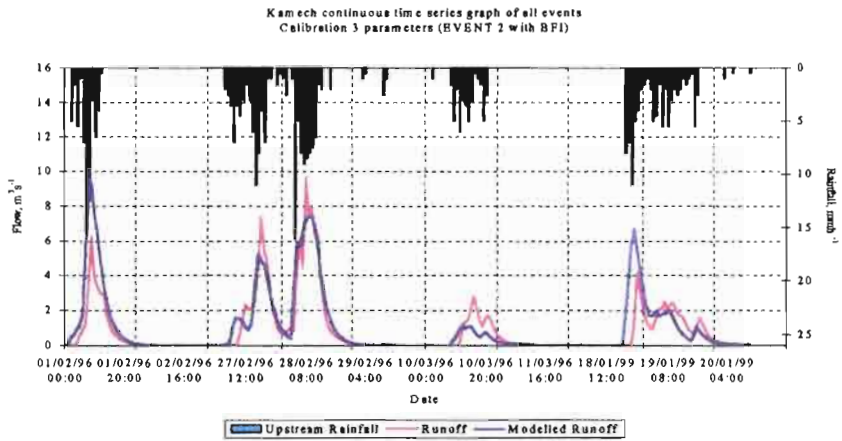
K lag: 3.256461
Root Mean Square: 0.755452



Spillway Vs Modelled Runoff



Time series graphs of all events and observed vs. modelled graphs



Root Mean Square = 1.012762534

Reservoir volume graph with all events

