

HYDROMED

Quatrième rapport d'avancement
Hydromed
ERBIC 18 CT 960091



Tunis, Janvier 1999



I.A.V HASSAN II



Institute of
Hydrology

Fonds Documentaire ORSTOM



010016858



ACSAD



CSIC

Fonds Doc

Cote : A x 16858

1

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
ACTION 1 : SYNTHÈSE PRÉLIMINAIRE ET CHOIX DES SITES PILOTES	3
ACTION 2 : EAU - SOL - ENVIRONNEMENT	4
ACTION 3 : AGRO-ÉCONOMIE - GESTION SOCIALE DE L'EAU ET DE L'ÉROSION	7
ACTION 4 : PÉRENNITÉ ET INTÉGRATION DU LAC COLLINAIRE	8
ACTION DE COORDINATION	8
ACTION DE FORMATION	8
PRODUCTION SCIENTIFIQUE (DEPUIS LE DÉBUT DU PROGRAMME)	8
CONCLUSION	16
ANNEXE 1 : RAPPORT D'AVANCEMENT IRD - INGRES HYDROMED EN TUNISIE	18
GESTION CONSERVATOIRE DES EAUX ET DES SOLS (COLLINET JEAN, ZANTE PATRICK, MANSOURI TAOUFIK)	18
RELATIONS NAPPES SOUTERRAINES / LAC COLLINAIRE ET IMPACTS DES AMENAGEMENTS CES À EL GOUAZINE (SLAH NASRI).....	41
MISSION : CARACTÉRISATION GÉOCHIMIQUE DES LACS COLLINAIRES ET DE LEURS BASSINS VERSANTS . (J.P. MONTOROI, O. GRUNBERGER ET C. PERNIN)	44
LES RECHERCHES EN AGRO-CLIMATOLOGIE DANS LE PROGRAMME HYDROMED. (R. MOUGOU ET J.J. VACHER).....	50
USAGE DE LA RESSOURCE (SALAH SELMI).....	53
ANNEXE 2 : RAPPORT D'AVANCEMENT IAV HYDROMED AU MAROC PROJET HYDROMED-MAROC (ABDÉLAZIZ MERZOUK & MOHAMED MEJJATI ALAMI)	57
ANNEXE 3 : RAPPORT D'AVANCEMENT ACSAD HYDROMED EN SYRIE ET AU LIBAN (JEAN KHOURI, ABDALAH DROUBI)	62
ANNEXE 4 : RAPPORT D'AVANCEMENT LUND (RONNY BERNDTSSON)	65
MACROPORES AND PREFERENTIAL FLOW (PERNILLA ÖHRSTRÖM).....	68
SOLUTE TRANSPORT AND WATER CONTENT MEASUREMENTS IN ARID SOILS USING TIME DOMAIN REFLECTOMETRY (MAGNUS PERSSON)	74
INTERNATIONAL SEMINAR ON RAIN WATER HARVESTING AND MANAGEMENT OF SMALL RESERVOIRS IN ARID AND SEMIARID AREAS....	83
ANNEXE 5 : RAPPORT D'AVANCEMENT IH (R. RAGAB, R. ALEXANDER AND D. MOIDINIS)	87
ANNEXE 6 : RAPPORT D'AVANCEMENT IRNASE (F. MORENO)	94

Photo page couverture (Patrick Zante) : L'atelier expert de Lund " Water Harvesting and Management of small reservoirs in arid and semi-arid areas).

IRD : Nouveau sigle de l'ORSTOM devenu Institut de Recherche pour le Développement

INTRODUCTION

Ce quatrième rapport, rédigé 24 mois après la signature du contrat, présente l'état d'avancement du projet. Il fait suite aux trois rapports contractuels publiés chaque 6 mois du projet. Il récapitule les principales actions réalisées au cours des deux derniers trimestres 1998.

Ce rapport a pris un léger retard par rapport au chronogramme du projet qui le prévoyait en Novembre 1998. Il en est de même du second rapport financier qui est publié concomitamment.

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, Tunisie et Syrie depuis un an se sont poursuivies. La première action : Synthèse préliminaire, choix des sites pilotes est totalement achevée. La quatrième action : Pérennité et intégration du lac collinaire a débuté en Tunisie avec une étude sur le risque sanitaire lié aux lacs collinaires.

Le quatrième semestre du projet a été marqué :

- par l'atelier d'expert qui s'est tenu à Lund du 29 Juin au 2 Juillet 1998 et qui a connu un grand succès.
- par de nombreuses missions de terrain et échanges de chercheurs entre sites pilotes.
- par la réalisation de plusieurs stages de formations et soutenances de mémoires de fin d'études.
- par la participation de plusieurs chercheurs aux journées scientifiques de l'INGREF à Hammamet 29-30 Octobre 1998 : "Gestion de l'eau en conditions de pénuries" 5 communications du programme Hydromed sur 25.
- par une collaboration accrue avec des programmes internationaux. Le programme de recherche "Wadi Hydrology" de l'IHP (International Hydrological Program) : ACSAD - UNESCO - Arab League Educational Cultural and Scientific Organization, utilise le site pilote "Hydromed" de Syndiané (Syrie). Le programme régional de l'ICARDA sur le bilan hydrique des cultures et l'irrigation d'appoint utilise le site pilote de Kamech (Tunisie).

Les difficultés administratives pour le premier remboursement, rencontrées au cours du troisième semestre ont été résolues fin juin. Les équipes ont pu retrouver les moyens nécessaires à la poursuite des travaux.

Chaque équipe a réalisé un rapport d'étape qui figure après une présentation générale des travaux durant ce quatrième trimestre.

ACTION 1 : SYNTHESE PRELIMINAIRE ET CHOIX DES SITES PILOTES

Pour mémoire, cette action est achevée depuis la fin du second semestre. 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.

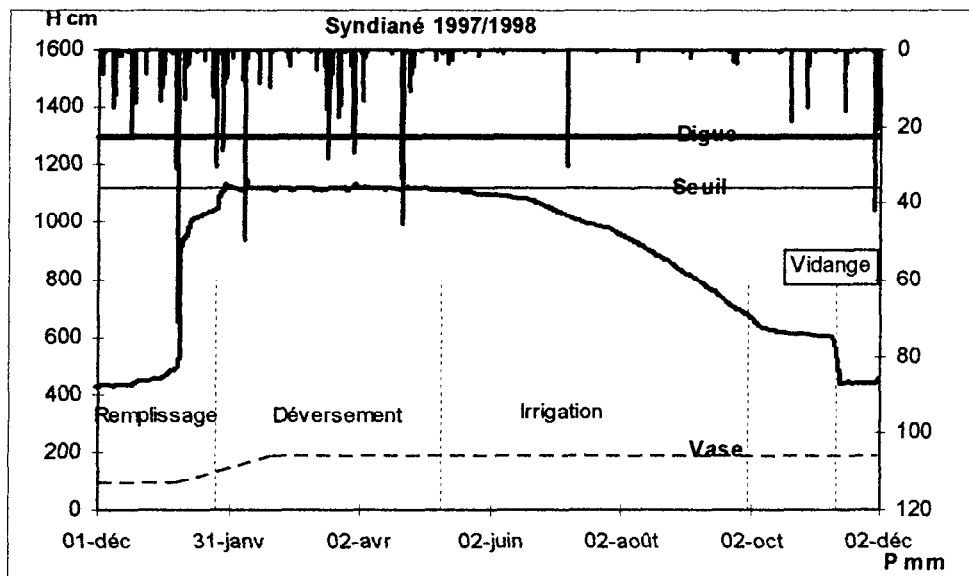
Les observations de terrain se sont poursuivies sur tous les sites pilotes. Les mesures de bilan hydrologiques et sédimentaires ont été assurées en continu et sans problème.

En Syrie, une mission de Y. Pépin et M.B.Y Louati (Pépin & Louati, 1998) a permis de récupérer une année complète de mesures hydro-pluviométriques et de préciser les courbes hauteur / surface et hauteur / volume des retenues pilotes en Syrie. La figure 1 montre la pluie et les variations du niveau d'eau pour la retenue de Syndiané. La figure 2 montre la bathymétrie réalisée en Novembre 1998 sur ce même lac par l'équipe ACSAD - Ministère de l'Irrigation, une mesure d'envasement du lac de Tel Kalakh est prévue. Cette mission a permis également de vérifier, compléter les banques de données et dispenser un complément de formation aux agents de l'ACSAD et du Ministère de l'Irrigation.

Au Maroc, les données hydrologiques recouvrent la même période sur le site pilote de Saboun, les mesures sont réalisées et exploitées sans problème particulier. Mohamed Chikhaoui qui a reçu une formation à Tunis assure l'essentiel de la gestion de la plate-forme d'acquisition des données (Chikhaoui, 1998).

En Tunisie, les mesures hydro-pluviométriques et sédimentologiques se poursuivent sur trente petites retenues avec un suivi particulier sur cinq sites pilotes. Les observations géochimiques et qualité de l'eau sont réalisées en routine avec un protocole simplifié depuis la soutenance de la thèse sur : "Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore" (Rahaingomanana, 1998). Des mesures d'envasement, par topographie et bathymétrie, ont été réalisées sur tous les sites pilotes de Tunisie durant l'année 1998. L'annuaire hydrologique des lacs collinaires année 1997-1998, en cours de publication, récapitule les données recueillies sur trente retenues artificielles.

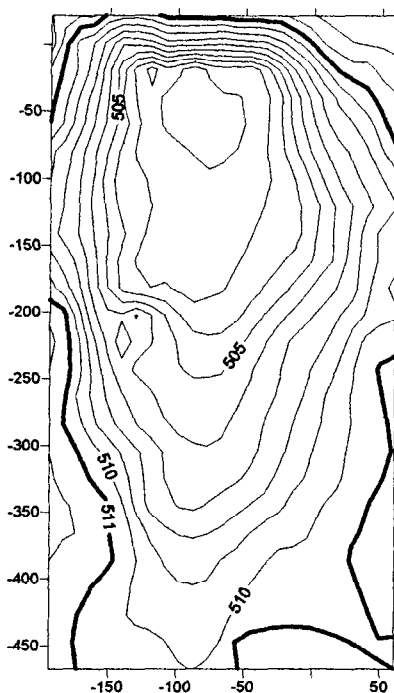
Fig. 1 : Données hydrologiques à Syndiané (Syrie)



Un suivi piézométrique avec acquisition automatique de données en deux points est engagé sur le site pilote d'El Gouazine depuis octobre 1997. Les premières interprétations en terme de recharge de la nappe à partir de la retenue ont été présentées par S. Nasri à Damas et à Lund.

Les données hydro-pluviométriques acquises sont d'excellente qualité comme le montre la figure 1 représentant la pluie et les variations du plan d'eau durant une année pour Syndiané. Les représentations des sites de Tunisie sont dans l'annuaire hydrologique des lacs collinaires.

Fig. 2 : Bathymétrie réalisée en novembre 1998 à Syndiané (Syrie)



Cartographie des bassins versants, caractérisation hydrodynamique des versants.

La cartographie des bassins versants est en cours pour tous les sites pilotes. Les cartes d'altitudes et les modèles numériques de terrain sont disponibles pour les sites pilotes de Tunisie, du Maroc et dernièrement de Syrie. Les cartes pédologiques et de l'occupation des sols sont disponibles pour quelques sites également (cf. les rapports sectoriels).

Les travaux de caractérisation de l'hydrodynamique de versants fournissent des premiers résultats. Une collaboration très étroite sur les mesures TDR est en cours en Tunisie entre l'INGREF, l'ORSTOM et l'université de Lund. Une autre collaboration est en cours sur les mesures TRIM au Maroc entre l'institut Agro Vétérinaire Hassan II et l'IRNASE de Séville (cf. les rapports des équipes).

Bilan hydrologique et modélisation hydrologique des lacs collinaires

L'IH met au point un modèle conceptuel de remplissage des réservoirs adaptés aux situations des lacs collinaires du semi-aride méditerranéen (Cf. annexe 5).

Un travail sur la définition de la fonction de transfert à partir du modèle numérique de terrain est en cours, ainsi que sur la fonction de production à partir de la spatialisation des données : sol et végétation (thèse de Mansouri), des premiers essais d'application du modèle Kinéros ont été réalisés.

Une étude fine sur la capacité de rétention de l'eau par les sols argileux fissurés est en cours sur le bassin versant de Kamech.

Une étude fine des bilans hydriques des sols et de leur modélisation est présentée dans le rapport de Lund avec une importante revue bibliographique (Appendix 1 ; SOMOGYI P)

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

Le modèle de ruissellement et d'érosion, mis au point sur le bassin marneux de l'Oued Mina en Algérie, a été transposé avec succès au bassin versant de Saboun au Maroc¹.

L'utilisation de l'équation universelle de l'érosion a été appliquée sous différentes formes pour modéliser l'envasement des retenues (MUSLE en Tunisie et en Syrie, RUSLE au Maroc). L'IAV Hassan II a réalisé dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude une comparaison de modèles distribués de l'érosion utilisant les techniques SIG et la télédétection.

Les résultats des opérations de terrain menées conjointement par l'INGREF, l'ORSTOM et l'Université de Lund sont présentés dans le rapport Collinet et Zante annexé :

1. Un versant aménagé en banquettes de rétention du ruissellement (tabias) a été équipé avec un dispositif de TDR sur le site pilote d'El Gouazine pour l'analyse fine du fonctionnement hydrique de ce type d'aménagement.
2. Sur le site de Kamech, sur une ravine dont les évolutions sont suivies très finement, un autre dispositif TDR avec acquisition automatique des données a été installé pour l'étude de l'érosion sur marne.

Un travail de recherche sur la genèse des ravines liées à la dissolution du gypse en terrain marneux a été défini et des protocoles expérimentaux mis au point sur le site pilote de Fidh Ali en Tunisie.

Une étude théorique sur l'infiltration et les mesures TDR est présentée dans le rapport de Lund (Appendix 2, Magnus).

Qualité des eaux et transferts des polluants dans les sols

Une mission conjointe INGREF - ORSTOM (Laboratoire des formations superficielles de Bondy) a réalisé un ensemble de prélèvements de tous les types d'eaux présentes dans le bassin versant d'El Gouazine avec pour objectifs :

- Spatialiser l'information géochimique à une époque donnée de l'année (après les pluies hivernales) et à l'échelle du système bassin versant - retenue (eaux d'écoulement, de retenue et souterraine).
- Identifier des traceurs géochimiques (majeurs & éléments traces) pour comprendre les modes de circulation des eaux dans les formations superficielles.
- Modéliser les changements de faciès chimique (eau d'écoulement - eau de retenue en amont et eau de retenue - eau souterraines en aval) en prenant en compte les interactions eaux - sols - roches.

Cette mission a été réalisée du 3 au 17 Mai 1998 (Cf. Annexe 1 : rapport de mission).

¹ Dieter Gomer (1996) Ecoulement et érosion dans des petits bassins à sols marneux sous climat semi aride méditerranéen. GTZ, 207 p + photo + annexe

Au Maroc, l'IAV s'est équipée du matériel de mesure nécessaire aux suivis et aux études sur la qualité des eaux .

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

Agronomie

Les recherches en agronomie se sont particulièrement développées en Tunisie lors du dernier semestre 98.

Une étude régionale de la consommation en eau des cultures et des besoins en eau d'irrigation a été effectuée à l'aide d'un modèle agro-météorologique simple et selon une approche fréquentielle à partir des données météorologiques quotidiennes sur 20 années et des caractéristiques agricoles des principales cultures de la zone d'étude.

L'étude de l'impact de l'irrigation sur la production agricole se fera avec le modèle de fonctionnement hydrique et trophique des cultures, le modèle STICS.

Afin de déterminer précisément les échanges hydriques dans le systèmes sol - végétation - atmosphère dans des régions semi-arides du Sud de la Méditerranée et afin de pouvoir caler les modèles utilisés une expérimentation comprenant des mesures météorologiques et des mesures d'évapotranspiration réelle très précises ainsi que des mesures sur le développement de la plante a été installée pour des cultures de blé dans des conditions paysannes sur les sites de Kamech et d'El Gouazine.

Les études sur les systèmes agraires du bassin versant de Kamech se sont poursuivies et la dynamique de l'occupation du sol a été déterminée. Ce travail est l'objet d'un mémoire de fin d'étude de l'INAT qui sera présenté en janvier 99.

Usage de l'eau

Les études agro-économiques sur l'usage de l'eau des lacs collinaires se sont poursuivies en Tunisie sur les sites pilotes. Des enquêtes approfondies ont été réalisées au niveau des usagers ainsi que des enquêtes d'opinion auprès des associations d'eau et des représentants des collectivités locales. Les données, collectées dans l'observatoire individuel des exploitations irriguées à partir des lacs collinaires, concernent les charges, les produits et les quantités d'eau consommée par culture. L'objectif est d'évaluer économiquement l'impact de l'irrigation autour des lacs collinaires sur les revenus agricoles. Ces informations recueillies depuis plusieurs années permettent une analyse diachronique de l'impact des lacs collinaires sur le fonctionnement des systèmes de production.

En appui à ces études agro-économiques, pour mieux comprendre les stratégies de gestion de l'eau par les agriculteurs des enquêtes agronomiques ont été effectuées chez plusieurs agriculteurs des sites pilotes. Les systèmes de culture, les itinéraires techniques et les techniques d'irrigation ont été analysées et des règles de décisions des agriculteurs ont pu être identifiées.

Les enjeux de la gestion collective et sociale de l'eau (conflits, arrangements, ententes et la mise en place d'organisations institutionnelles formelles ou informelles) sont également étudiés.

En Syrie, des enquêtes agro-économiques ont été initiées en collaboration étroite avec l'agro-économiste d'HYDROMED en Tunisie.

ACTION 4 : PERENNITE ET INTEGRATION DU LAC COLLINAIRE

Dans le cadre d'une approche globale de l'impact des lacs collinaires sur le milieu rural, une étude des risques sanitaires des lacs a été effectuée sur sept lacs de la région de Béja en Tunisie (A. Romdhane). Les résultats montrent que la majorité des ces ouvrages sont des gîtes positifs pour l'installation de la faune culcidiene.

ACTION DE COORDINATION

Au cours de ce second semestre 1998, les actions de la coordination ont consisté en :

Le séminaire expert de Lund : Il a été l'occasion de réunir un grand nombre de chercheurs du programme et de faire le point sur les états d'avancements des recherches.

Publication des bulletins Hydronews : La coordination a publié le numéro 4 d'Hydronews. Ce rapport fait le point à la rentrée universitaire 1998-1999. Il a préparé la rédaction de ce rapport d'avancement ainsi que le rapport financier.

Création d'un site WEB : Le programme "Petits Barrages" du département "Dynamique et usage des ressources en eaux et des milieux" a créé un site web qui présente Hydromed avec les autres recherches sur la même thématique mené par l'IRD ailleurs dans le monde : Petits barrages du Nord de la Côte d'Ivoire, Açudes du Nordeste Brésilien, Presones du nord Mexique.

<http://www.bondy.orstom.fr/gp623>

Fourniture et installation de logiciels : Au cours de la mission en Syrie de Y. Pépin et M. Ben Younes Louati, une formation complémentaire sur les outils informatiques de gestion des banques de données a été réalisée. L'IH prépare un logiciel de modélisation des écoulements qui sera disponible pour tous. L'IRD (ex ORSTOM) a développé un logiciel de bilan hydrique des cultures en cours de test et logiciel de gestion de l'irrigation à partir de lacs collinaires.

Les modèles d'érosion et de gestion des terres développés par l'IRNAS de Séville ont été installés au Maroc et testés avec succès (cf. Rapport de l'IAV et de l'IRNAS)

Organisation d'un Workshop Hydromed à Montpellier : Suite au Workshop de Lund, il a été demandé l'organisation d'un autre Workshop sur "Erosion dans les petits bassins versants et la sédimentation des barrages". Des contacts ont été pris avec le laboratoire d'hydrologie de Montpellier et le Réseau Erosion. Une demande de financement a été déposée auprès du département de l'information et de la valorisation scientifique de l'IRD (ex ORSTOM).

ACTION DE FORMATION

Tous les rapports d'avancement montrent la place prépondérante accordée à la formation dans le programme Hydromed.

PRODUCTION SCIENTIFIQUE (DEPUIS LE DEBUT DU PROGRAMME)

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

- Quinze articles soumis ou publiés dans des revues internationales de rang A.
- Une thèse de doctorat.
- Quarante et une communications dans des congrès, colloques et séminaires, dont quatorze seront publiées dans des actes avec comité de lecture et trois n'ont fait l'objet que de communications orales. Dans ces communications, douze ont été faites à Lund.
- Quatre notes techniques d'intérêt général (Equipe ORSTOM).
- Dix sept 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.
- 2 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.

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. (1997) : Soil solution electrical conductivity measurements under transient conditions using time domain reflectometry. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* (in press).

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. & BERNDTSSON R. (1997) : Soil texture and electrical conductivity effects on temperature dependency of TDR measurements. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* (submitted).

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1997) : Soil texture effects on temperature dependency for measurements with TDR, *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, (accepted).

PERSSON M. & BERNDTSSON R. (1997) : Solute transport in an undisturbed soil column using TDR and a convective transfer function model, *J. Hydrol.*, (revised).

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.*, (in press).

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., 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.

SELMI 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.

SELMI 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.

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.

Colloque de Lund, 29 juin - 4 juillet 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. & 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.

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.

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.

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.

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

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.

MORENO, F., FERNANDEZ-BOY, E., CABRERA, F., FERNANDEZ, J.E., PALOMO, M.J., GIRON, 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.

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., HABAIEB 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., 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'INRGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

ALBERGEL J., SMAOUI M., HABAIEB 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'AISH de Rabat.

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.

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

HABAIEB 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.

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. & 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).

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., 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.

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'INGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

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.

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'INGREF, Hammamet 29-30 octobre 1998.

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. (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.

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.

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.

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 :

BELMAMOUN M. : 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).

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

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

EL OUAZANI A. : 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).

HICHAM E. : 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).

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

MOUELHI I. : 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. : 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. : 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).

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

SIDQUI M. : 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).

Rapports :

BERNDTSSON R. (1997) : Progress report on activities carried out between November 1996 and April 1997. LUND.

BERNDTSSON R. (1997) : Progress report on activities carried out between May 1997 and December 1997. LUND.

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, 98) : Hydronews 1, Hydronews 2, Hydronews 3, Hydronews 4

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

HYDROMED (1998) : Troisième 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.

MERZOUK A., ABDELLAOUI B., RACHIDA H., MEJJATI A.M. (1997) : Hydromed Maroc. Site pilote n°1 : Barrage Saboun. IAV Hassan II, Rabat.

ORSTOM INGRES (1997) : Hydromed Tunisie. Rapport d'avancement. Mai 1997. ORSTOM-INGRES.

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.

RAGAB R. & AUSTIN B. (1997) : Hydrology of semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs. IH.

RAGAB R. & AUSTIN B. (1997) : Progress report on activities carried out between November 1996 and April 1997. IH.

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.

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

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

Posters :

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.

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.

CONCLUSION

Les échéances du contrat sont respectées malgré un léger retard dans la publication du présent rapport.

La formation à la recherche par la recherche est un point fort de ce programme avec 18 mémoires de fin d'étude et une thèse d'université soutenue 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 Commission a invité le programme Hydromed à présenter sa thématique et ses premiers résultats à la conférence de Essen, Février 1999 : Conference on the Fifth Framework Program

La production scientifique conserve un rythme honorable. Plusieurs projets de co-publication sont en cours.

Annexe 1 : Rapport d'avancement IRD - INGRES Hydromed en Tunisie

Annexe 2 : Rapport d'avancement IAV Hydromed au Maroc

Annexe 3 : Rapport d'avancement ACSAD Hydromed en Syrie et au Liban

Annexe 4 : Rapport d'avancement Lund

Annexe 5 : Rapport d'avancement IH

Annexe 6 : Rapport d'avancement IRNASE

Le coordinateur d'Hydromed

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jean ALBERGEL', written over the printed name.

Jean ALBERGEL

ANNEXE 1 : RAPPORT D'AVANCEMENT IRD - INGREF HYDROMED EN TUNISIE

Equipe IRD : ALBERGEL Jean
COLLINET Jean
LOUATI B.Y. Mohamed
MANSOURI Taoufik
PEPIN Yannick
SELMi Salah
VACHER Jean
ZANTE Patrick

Equipe INGREF : NASRI Slah
MOUGOU Raoudha
AMAMI Hassib

Gestion conservatoire des eaux et des sols (Collinet Jean, Zante Patrick, Mansouri Taoufik)

L'opération « Gestion conservatoire des hydro-systèmes et agro-systèmes en amont des retenues », s'est poursuivie normalement en 1998.

PROBLEMATIQUE

Rappelons qu'il s'agit de suivre les comportements hydrodynamiques et érosifs des versants de différentes retenues collinaires choisies pour leurs représentativités tant en ce qui concerne leurs caractéristiques physiques et climatiques qu'en ce qui concerne les utilisations agricoles des terres.

Sélection des retenues, caractéristiques résumées :

Kamech

Presqu'île du cap Bon, retenue installée en mars 1994. Pluies annuelles # 500mm, (1035mm en 1995-96). Intensités maximales : I 5mn = 52mm.h-1, I 30mn. = 19mm.h-1. Coefficient d'écoulement : Ke max. = 44%. Erosion spécifique de 25 t.ha-1.an-1. Bassin versant de 245ha, retenue de 140000m³. BV dissymétrique du fait du gisement monoclinale des roches, rive gauche plus pentue par érosion de front de cuesta, rive droite moins pentue en revers de côte. Bassin totalement en cultures maraichères et céréalières, 30ha irrigables. Sols limono-sableux sur calcaires gréseux en sommet, sols limono-argileux sur marnes en aval, ravinement localisé et assez souvent cicatrisé, fortes fissurations sur des versants à argiles gonflantes.

El Gouazine

Après Ksar Lamsa, affluent de l'Oued Maarouf, installé 10/93, P # 400mm, (576 en 1995-96), BV 1810ha, retenue 230000m³, I 5mn. = 53mm.h-1, I 30mn. = 27mm.h-1, Ke = 5% (Ke maxi. = 31%), érosion spécifique # 2,5 t.ha-1.an-1, 30 ha irrigable, irrigation d'oliviers. En amont : affleurements calcaires et encroûtements, aquifère vers -7m couvert assez foresté. En moyen amont : banquettes en croûtes calcaires disloquées et en roches, zone assez érodée. En moyen aval : tous les versants sont fortement aménagés en banquettes de terre meuble, efficacité hydraulique de ces banquettes très probante, voire excessive pour l'alimentation de la retenue, assez bonne tenue à l'érosion des terres de l'aval.

Fidh Ali

Avant Haffouz, installé 01/93, P# 300mm, (495mm en 1995-96), BV 412ha, retenue 135000m³, I 5mn.= 78mm.h-1, I 30mn.= 26mm.h-1, Ke maxi.= 25%. Erosion spécifique # 23t.ha-1.an-1. Faible utilisation de l'eau et surtout situation conflictuelle entre les paysans de l'amont et de l'aval, 30 ha sont irrigables. Système ravinant prédominant sur le BV, en rive gauche forte érosion régressive en ravins et ravines avec incisions verticales profondes commandées par les ruptures de pente et les alternances des calcaires et des marnes. En rive droite le stade « badland » est atteint. Processus de suffosion lié à la dissolution du gypse et préparant le ravinement des rives gauches.

M'Richet el Anze

Après Siliana, installé 09/95, P # 450mm (800mm en 1995-96), BV 158ha, retenue 42000m³, I 5mn.= 84mm.h-1, I 30mn.= 32mm.h-1, Ke max. de 64%. Erosion spécifique = 10t.ha-1.an-1. Association de sols bruns calcaires, de rendzines, de sols bruns vertiques voire de vertisols, fréquente fissuration des sols sur marnes. Essais infiltrométriques avec coloration des eaux de drainage réalisés par l'équipe HYDROMED de Lund, mise en évidence des différences de comportements hydriques des sols vertiques.

Objectifs

Différentes actions de recherches s'échelonnent dans le temps : les actions actuelles tentent de mettre en évidence des mécanismes, les actions à venir viseront plus la valorisation avec une cartographie dynamique.

Action en cours (avant fin 2000)

Sur ces petits bassins versants, les actions suivantes sont menées pour:

- 1- identifier et définir les composantes morphopédologiques des retenues choisies (Patrick Zante),
- 2- définir les usages des terres agricoles dans l'espace et dans le temps, (Patrick Zante, Jean Vacher, Mekki Insaf)
- 3- caractériser les comportements hydrodynamiques et érosifs des terres des versants (Jean Collinet, Patrick Zante, Jean Albergel Slah Nasri)

Le produit de ces actions vise une amélioration des connaissances sur:

- les causes de comblement des retenues collinaires,
- l'hydraulicité et l'érodibilité des versants cultivés, transformés, aménagés,
- la préconisation de méthodes de gestion et de conservation des terres et des eaux.

Action prévue (à partir de 2000)

- 4- gestion conservatoire des agrosystèmes périphériques et en aval des retenues,
- 5- identifications d'indicateurs comportementaux des terres cultivées en proximités de retenues collinaires pour une utilisation régionale des informations stationnelles.

Le produit final sera une valorisation des informations précédentes en réalisant, par zones témoins, des cartes dynamiques d'isohyques de dégradation et d'isopotentialités des terres.

RESULTATS

1 - Composantes morpho-pédologiques des retenues collinaires et utilisation des terres

Les travaux de cartographie ont été réalisés dans la perspective d'une intégration dans un SIG. Il s'agit de pouvoir croiser des renseignements concernant la topographie, les infrastructures, le réseau hydrologique, la géologie, la pédologie, l'occupation du sol.

Les travaux sont réalisés à partir des photos aériennes au 1/20 000 agrandies au 1/10 000. Afin de s'affranchir des problèmes de distorsion et faciliter le calage, les contours établis sur les photos sont reportés sur les fonds topographiques. Ils sont ensuite digitalisés avec les amers correspondants.

La chaîne complète de traitement a été réalisée à Kamech sous IDRISI et à El Gouazine sous ARC-VIEW. ARC-VIEW ayant été retenu pour le projet, les fichiers IDRISI seront convertis.

Les figures C1 et C2 montrent la carte pédologique et l'occupation du sol à El Gouazine. Sur ce bassin versant les cultures annuelles sont presque exclusivement des céréales. Un relevé du parcellaire, long et difficile, n'apporterait pas de précision supplémentaire à l'échelle où l'on travaille. Une connaissance du cycle végétatif et de la pluviométrie permet de déterminer les dates de labour et de semis et ainsi d'obtenir une variation de l'occupation du sol selon la saison. Par contre sur de plus petits bassins versants comme ceux de Kamech et M'Richet et Anze, situés dans des zones climatiques plus humides, les cultures sont plus variées. La connaissance du parcellaire et des rotations permet d'affiner l'occupation du sol. L'exemple de M'Richet et Anze montre que pratiquement tout le bassin versant est cultivé en céréales et que la plupart des parcelles laissées en jachère en octobre 1997 ont été labourées au printemps 1998. Deux parcelles, situées près d'un puits (54) et près du lac (3) ont été utilisées pour le maraîchage en hiver et cultivées en céréales au printemps. Cet aspect dynamique du suivi de l'occupation du sol, possible sur un petit bassin, doit permettre d'affiner le transfert pour des bassins plus importants situés dans des régions écologiquement proches (El Gouazine par ex.).

2 - Comportements hydrodynamiques et érosifs des terres agricoles des retenues collinaires

Pour essayer de déterminer l'origine et les causes du ruissellement et de l'érosion les renseignements issus des cartes pédologiques et d'occupation du sol sont insuffisants. Il est nécessaire d'employer des méthodes permettant l'accès aux paramètres explicatifs les plus significatifs : l'humidité préalable du sol, l'état de sa surface, sa pente et sa capacité d'infiltration. Dans le contexte des petits bassins versants cultivés en milieu méditerranéen et pour une analyse des effets d'événements rapides (pluies journalières), la caractérisation et l'évolution des états de surface sont aussi importantes que la connaissance des différenciations pédologiques profondes et des taxons figurant sur les cartes.

2.1 Dynamique des états de surface

a) *organisations porales superficielles liées au travail du sol*

La méthode utilisée est adaptée de celle préconisée par Eric Roose (IRD Montpellier): identification et quantification des surfaces ouvertes ou fermées, couvertes ou nues et mesure de la rugosité (cf. (c)).

Lors des simulations de pluie les états de surface sont mesurés dans les parcelles de 1 m², à raison d'un point tous les 2 cm sur 5 lignes soit 200 points de mesures. Nous avons adapté la méthode à l'échelle du champ cultivé en effectuant les mesures tous les 10 cm sur deux lignes de 20 m orientées selon la pente et perpendiculairement à la pente ou perpendiculairement au labour. Les surfaces fermées sont constituées par la pellicule de battance, les croûtes de sédimentation, les croûtes d'érosion et semelle de tassement, les cailloux pris dans la masse. Les surfaces ouvertes regroupent les fissures, les galeries, les pores et les mottes. La surface du sol peut être constituée de sol nu ou couvert. La couverture du sol est constituée par la

litière, les parties aériennes des cultures plantes adventices et plantes rampantes, la canopée des plantes pérennes, et par les cailloux posés sur le sol.

Les figures 1 à 6 illustrent une application de la méthode pour quelques sites du bassin versant d'El Gouazine. La figure 1 montre l'importance des surfaces fermées dans les zones occupées par les pins et l'alfa, par contre le recouvrement du sol y est important (pour les pins la canopée des arbres n'est pas incluse). Les états de surface 3 4 et 6, mesurés en été, sont sur des sols différents mais qui sont tous recouverts de chaumes. Les sites 3 et 4 sont pédologiquement proches, la forte différence entre ces deux sites est due au piétinement de la parcelle 3 par le bétail qui casse la pellicule de battance. Les parcelles du site 6 sont situées le long d'une pente (3%) de l'amont (6a) vers l'aval (6b).

L'exemple de la figure 2 montre l'importance des variations dues aux pratiques culturales et aux précipitations appliquées à un même sol. Le passage de la jachère au labour s'opère logiquement par l'ouverture de la surface et la diminution de la couverture. Dans les trois situations les surfaces fermées sont constituées à plus de 90% par de la pellicule de battance (fig.3). L'application d'une pluie de 90 mm avec une intensité de 120 mm/h sur ce labour se traduit par la fermeture de la surface; à la semelle de tassement et croûte d'érosion du labour succède alors la croûte de sédimentation due à la pluie. L'examen des surface ouvertes (fig.4) montre bien que la pluie provoque la fonte des plus gosses mottes et un enrichissement en mottes de 1 à 5 cm.

b) fissuration des sols à argile gonflante

La dynamique de fissuration des sols à argiles gonflante est suivie sur un versant marneux du bassin de Kamech.

Le but poursuivi est double:

- (i) procéder à une étude statistique sur les orientations du réseau de fissuration pour détecter tous éventuels mouvements de masse (creep ou autres),
- (ii) évaluer les possibilités de stockage des premières pluies drainant à l'intérieur de ce réseau avant sa fermeture.

Cette étude s'opère sur une pente moyenne de 30%, à partir d'une parcelle de 200m² contenant autant de placettes d'1m² sur lesquelles sont effectués des relevés codifiés de la fissuration (tracé, largeur, profondeur). Ceci permet d'évaluer la capacité du réservoir-sol à différentes époques et sa dynamique de fermeture en début de saison pluvieuse. Les premiers résultats font apparaître un possible stockage de 50 à 100mm d'eau avant la fermeture des fissures, ce qui est considérable et important pour la dynamique du versant. Ces hauteurs contribuent à retarder les ruissellements, donc les érosions. Elles sont du même ordre de grandeur que les détentions hydriques superficielles calculées sur des bassins versants marneux dans le nord de la Tunisie (H.Camus & al).

c) rugosité liée au travail du sol

On ne prend en compte ici que la seule composante « micromodelé superficiel » de cette rugosité, celle-ci interférant fortement sur la détention hydrique superficielle et sur la vitesse des écoulements. Nos mesures de rugosité sont effectuées en même temps que les mesures d'état de surface. Deux méthodes sont utilisées, la première est la méthode à la chaînette, la seconde utilise un distançomètre laser. La méthode à la chaînette est appliquée sur les quatre bassins versants de Kamech, El Gouazine, Fidh Ali et M'Richet el Anze. La méthode consiste à déposer une chaînette souple sur une longueur de 2 m le long des 20 m de mesure des états de surface. La mesure est effectuée entre 0-2, 9-11 et 18-20 m à raison de trois répétitions par segment. La chaîne épouse la rugosité du sol. La longueur nécessaire pour couvrir les 2 m,

ramenée à 100, nous donne un indice de rugosité. La figure 5 montre un exemple des variations de rugosité pour différents états de surface du bassin versant d'El Gouazine. La rugosité n'y dépasse pas les 5% sauf pour les labours. Le piétinement par les ovins et caprins (ES3) fournit une rugosité fine non détectée par cette méthode et nivelle la surface générale. Sur un sol non piétiné, les cailloux pris dans la masse ou posés sur le sol procurent une rugosité légèrement supérieure. Enfin, l'effet de la pente (ES6) est perceptible : la rugosité est plus faible en aval où il y a augmentation des mottes <1 cm et une diminution de celles comprises entre 1 et 5 cm (fig. 6).

La seconde méthode au rayon laser utilise un lasermètre portable qui coulisse le long d'une règle graduée horizontale posée sur deux trépieds. La plage de mesure peut varier de 0.3 à 30 m, la précision en conditions normales est de ± 1 mm. Les premiers essais effectués sur le bassin versant de Kamech ont donné des résultats fort satisfaisants. Contrairement à la méthode à la chaînette, comme on mesure une distance verticale, la rugosité est exprimée ici par l'écart-type : il est de 0.01 sur jachère et passe à 0.04-0.05 sur le même sol labouré (fig. 7).

2.2. L'infiltrométrie des surfaces par simulation de pluie

Des tests de simulation de pluie sont utilisés pour déterminer la sensibilité des différents types de sols et d'état de surface au ruissellement. La méthode classique consiste à simuler l'intensité et l'énergie cinétique de pluies réelles à l'aide du simulateur de pluie. Bien que nettement améliorée cela reste une méthode lourde à mettre en œuvre. E. Roose (IRD Montpellier) propose une version simplifiée à l'extrême du simulateur de pluie, l'irrigateur manuel à rampe. Le système d'aspersion est remplacé par un arrosoir muni d'une rampe d'épandage pour herbicide. Les trous de la rampe sont plus ou moins bouchés de façon à obtenir des intensités plus ou moins fortes. Au lieu d'utiliser une parcelle carrée de 1x1 m nous avons adopté une parcelle de 0.5 X 2 m, dont la largeur correspond à celle de la rampe. A l'aval une gouttière reçoit le ruissellement qui est récupéré dans un bidon pour être mesuré.

Cette méthode ne constitue pas une réelle simulation de pluie, aussi pour l'utiliser comme test nous avons choisi les mêmes conditions opératoires pour tous les sites : pluie par averses de 5 litres à 120 mm/h. Des intensités de 60 et 240 mm/h ont parfois été appliquées comme 2^{ème} ou 3^{ème} pluies. Une feuille de suivi permet de noter pour chaque averse: le volume d'arrosage, le volume ruisselé, les temps de début d'arrosage, apparition des flaques, début de ruissellement, fin d'arrosage et fin de ruissellement. Les averses s'enchaînent jusqu'à l'apparition du ruissellement, ensuite on attend la fin du ruissellement pour appliquer l'averse suivante. L'arrosage est arrêté lorsque l'infiltration est en régime permanent.

Ces tests ont été appliqués sur différentes situations de sols et d'états de surface dans les quatre bassins versants. Les figures 8 et 9 illustrent le détail de la mesure en montrant la variation de l'infiltration F en fonction de la pluie cumulée des averses successives, jusqu'à l'obtention d'une infiltration stabilisée (F_n en mm/h).

La figure 8 illustre un résultat obtenu à El Gouazine sur un sol brun calcaire modal sur alluvions-colluvions à texture fine supportant une jachère. Il n'a fallu que 30 à 40 mm de pluie à 120 mm/h pour obtenir une infiltration en régime constant d'environ 10 mm/h. Sur un sol labouré dans les argiles de Fidh Ali, il faut par contre 60 à 70 mm sous même intensité simulée pour obtenir une infiltration stabilisée de 50 mm/h (fig. 9). Si on regroupe sur un même graphique (fig. 10) les infiltrations en régime constant (F_n) en fonction de la pluie cumulée pour ces deux types de bassins versants.

Il apparaît clairement que la réaction à la pluie est davantage due à l'état de la surface du sol qu'à son type pédologique: les labours et les jachères forment deux groupes distincts indépendamment des bassins versants : des pluies de 20 à 50 mm suffisent pour atteindre la

valeur F_n sur les jachères alors que les labours ne fournissent ce régime constant qu'après 60 à 90 mm de pluies cumulées.

Les comportements diffèrent enfin selon les types de sol: sur les sols marneux de Fidh Ali, F_n oscille relativement peu entre 30 à 50 mm/h pour les labours et la jachère. Par contre, sur El Gouazine F_n varie de 10 à plus de 100 mm/h.

Les valeurs obtenues ne seront cependant validées qu'après essais simultanés de l'irrigateur et du simulateur de pluie; des premiers tests effectués par E. Roose il ressort que l'irrigateur à rampe donne une bonne estimation de la pluie d'imbibition (hauteur de pluie avant apparition du ruissellement) mais surestime fortement l'infiltration finale car l'énergie cinétique délivrée par l'arrosoir est trop faible.

2.3. Dynamique des stocks d'eau dans les bassins versants.

Les dynamiques de stockage, ressuyage ont été suivies sur deux bassins versants.

Sur le bassin versant de Kamech, les argiles gonflantes provoquent l'apparition de fentes de retrait importantes lorsque le sol se dessèche, même en hiver. En outre, ces sols, généralement utilisés comme parcours sur des pentes de 15 à 30%, présentent une discontinuité structurale importante entre leur partie évoluée, sur les 20 à 40 premiers cm, et la roche mère marneuse. C'est à ce niveau que peuvent se produire des décrochements qui se traduisent par des mouvements de masse (creep et coup de cuiller). Les stocks d'eau ont été suivis dans chacun de ces pour vérifier l'influence des humectations sur cette mécanique particulière des sols.

D'autres bassins versants possèdent des aménagement anti-érosif qui sont souvent des banquettes isohypses (BV d'El Gouazine). L'effet de ces aménagements peut être abordé par l'étude de leur impact sur les crues mais on ne dispose pas de suffisamment d'années d'observation aussi une autre approche consiste-t-elle à rechercher des effets éventuels sur l'infiltration de l'eau en suivant les variations d'humidité à l'amont et à l'aval d'une banquette. Ces mesures sont complétées par l'estimation des apports solides et éventuellement liquides dans le chenal des banquettes (cf.2.4.(a)).

Les deux sites de Kamech et d'El Gouazine sont équipés de sondes TDR, en station avec enregistrement à Kamech, en relèvement manuel à El Gouazine.

Les premiers résultats enregistrés à Kamech en 1998 montrent bien la non uniformité de la répartition de l'eau du sol, à la fois selon la pente et aussi selon la profondeur. Les résultats obtenus permettent une première interprétation de la dynamique de l'eau le long de la pente : les changements structuraux induits par le type d'argile créent des fentes qui sont connectées. Ceci crée un réseau souterrain qui permet les flux d'eau et un drainage le long de la pente. La partie aval peut ainsi recevoir davantage d'eau que celle correspondant à la pluie tombée ce qui permet de prolonger dans le temps la continuité du lien capillaire entre les deux couches de sol, les deux couches ont la même cinétique de ressuyage (fig. 11). Par contre, à l'amont, la partie supérieure s'assèche de plus en plus, les agrégats se divisent et agissent comme un mulch ce qui provoque la rupture des liens capillaires avec la couche inférieure (fig. 12).

Le dispositif mis en place à El Gouazine oblige à des relevés manuels des sondes TDR car la liaison par câble à travers des champs pouvant être labourés est difficile à mettre en place. L'utilisation d'un lecteur permanent recruté sur place ne fut pas possible. On a cependant pu évaluer les modifications d'humidité liées à l'effet banquette (fig. 13) :

- en amont de la banquette, le champ reste constamment plus humide sur environ 1m de profondeur (site de mesure U),

- en aval et à 5m l'effet banquette ne joue que pour les 50 premiers centimètres du sol (sites D1, D2),
- en aval et à 30m, cet effet n'est plus perceptible.

L'utilisation d'un dispositif permettant l'enregistrement autonome au niveau de chaque site serait sans doute mieux adapté pour suivre l'effet de la banquette sur de courts épisodes pluvieux (sondes capacitives, mesure de la constante diélectrique du sol).

2.4. Flux hydriques et mobilisation des terres dans les bassins versants

Différents aspects sont traités simultanément en relation avec les causes de dégradation les plus spécifiques à chaque bassin.

a) mobilisation des terres et hydrodynamique sur El Gouazine.

Deux sites de mesures ont été aménagés dans le BV de la retenue collinaire d'El Gouazine: El Gouazine I sur sols bruns calcaires relativement épais dans la zone moyen - aval, El Gouazine II sur sols peu évolués et rendzines sur calcaires en partie moyen - amont du bassin versant. Tous deux sont aménagés en banquettes de terre de quelque 1,5 m de hauteur, au tracé isohypse et à espacement variant avec la pente topographique.

Les premiers résultats proviennent du site El Gouazine I.

La méthode consiste à considérer la surface inter-banquette comme une vaste parcelle de ruissellement et d'érosion (**fig. 14**), la collecte des eaux et des terres mobilisées dans le champ s'opérant au niveau du chenal de la banquette aval (lettre « A » sur la figure 14). Un ensellement de versant et deux banquettes consécutives ont permis de sélectionner un champ de 0,845ha avec, en moyenne, 70m de longueur de versant.

On effectue à différentes périodes de l'année des nivellements précis (tachéomètre laser) dans différents profils en travers positionnés dans le chenal de la banquette (**fig. 15**).

La comparaison des profils nivelés génère des sections représentant des pertes (abrasion du chenal) ou des gains en terre (sédimentation de terres érodées), l'extension latérale de cette information fournit des volumes de terres mobilisées, on passe des volumes aux masses en déterminant les masses spécifiques des matériaux enlevés ou accumulés.

Après avoir pris en compte tous éventuels apports provenant de l'abrasion de la banquette et du chenal lui-même, on est en mesure d'évaluer les seules pertes en terre du champ.

Les **figures 16 et 17** montrent deux situations caractéristiques révélées par le nivellement de profils en travers: (i) sur le transect GH, on note de juillet à septembre 1998, plutôt une abrasion du chenal, les eaux provenant du champ étant probablement peu chargées et à forte capacité abrasive, (ii) sur le transect SR, situé en face d'un collecteur important du champ, le chenal reste intact mais se comble nettement de sédiments.

Le **tableau I** présente le détail des calculs permettant de passer d'informations sur la géométrie du système à des pertes en terre. La **figure 18** donne un aperçu du cumul des pertes en terres entre les mois de mai et septembre sur toute la longueur du chenal. Les quelque 6,0 T.ha-1 correspondent à seulement 5 mois de relevés soit à un champ de céréales en pleine croissance, à sa récolte, à la jachère nue qui suit, situation de fragilité maximum. On ne dispose pas encore des effets du labour et du semis. En année normale c'est l'époque des forts drainages dans des champs fraîchement labourés, donc des faibles érosions. En année humide tout va finalement dépendre de la tenue des structures superficielles et de la vitesse de diminution des conductibilités superficielles. Les orages tardifs de décembre sont les plus dangereux car les stocks de sédiments mobilisables dans les champs sont importants. Sur

l'année il est vraisemblable que les érosions en nappe mesurées au champ sur la partie moyen aval de El Gouazine I ne devraient pas dépasser les 7 à 8 T.ha-1.an-1.

Les sites d'El Gouazine I et II donneront une idée correcte des comportements des sols et couverts représentant plus de 75% du BV, ils illustreront aussi l'efficacité des aménagements CES dans cette région.

b) l'érosion ravinante sur Fidh Ali et sur Kamech

Alors que l'érosion en nappe à l'échelle des champs ne devrait pas dépasser les 10t.ha-1.an-1, il en va tout autrement des dégradations issues de la canalisation des écoulement et du ravinement qui en résulte, ces érosions dépassent fréquemment les centaines de t.ha-1.an-1. Il était donc primordial d'évaluer sur deux BV représentatifs ces autres types de risques érosifs.

Des sites d'observation ont été retenus sur le BV de Fidh Ali ainsi que sur le BV de Kamech.

Sur Fidh Ali, l'exacerbation du ravinement a développé en rive droite un paysage de bad-lands très caractéristique. Les dégâts se limitent encore à un réseau de ravins et ravines en rive gauche où deux sites sont observés.

Un système de ravine fonctionne classiquement selon différents modes: allongement par recul des têtes, élargissement par abrasion des parois, transmission ou non des sédiments dans les chenaux, c'est le problème du stockage-déstockage. Ces différents modes s'exercent soit simultanément soit séparément en relation avec la nature des sols, son utilisation et, évidemment, la pente topographique.

Ablation des terres sur les parois

Jusqu'alors on s'est uniquement préoccupé des problèmes d'ablation sur les parois des ravins et ravines. On traitera ultérieurement des problèmes de recul des têtes et de stockage-déstockage des sédiments de chenaux.

Concernant l'évolution des parois, le principe de la méthode rappelle celui utilisé sur El Gouazine: on mesure à différentes époque « intéressantes » des profils de parois de ravins, les différences font apparaître des départs (voire des apports) de matériaux qu'il s'agit de transformer en section puis en volume puis en masse de terres évacuées ou déposées dans le chenal.

Ces profils de parois sont mesurés à l'aide d'un distance-mètre laser utilisé de deux façons: (i) soit avec une seule mise en poste sur le fond du lit des ravins accessibles avec lecture des impacts sur les deux parois, (ii) soit avec deux mises en poste de part et d'autre des ravins dont le fond est inaccessible et avec lecture des parois opposées.

Les premières données sont en cours de dépouillement.

Stockage - déstockage

Il s'agit d'évaluer les masses de sédiments transitant par « à coup » dans les chenaux. Selon la littérature cette masse en transit ne représenterait guère plus que 25% de la mobilisation-érosion totale d'un petit bassin versant.

Ces stockages ou reprises de sédiments dépendent classiquement de la vitesse du courant de la masse transportée et de la rugosité (sensu lato) du profil mouillé, toutes choses donnant la compétence du flux. On conçoit dès lors que les meilleurs endroits pour mesurer ces stockages-déstockages sont les pentes les plus faibles. On conçoit également que sur les parties les plus marneuses de Fidh Ali la masse transportée en suspension domine du fait de la

nature très argileuse des sols. Le transit direct vers le lac devrait donc être important et les 25%, signalés précédemment, semblent excessifs, encore faut-il le vérifier.

Pour ce faire, on a déjà repéré un site de mesure de ce stockage-déstockage dans la partie chenal-cicatrisé d'un des deux sites.

Recul des têtes

Les têtes de ravine peuvent reculer de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres par an. Cette dynamique dépend de causes « mécanique » telles que les affouillements immédiatement en aval de la tête, des abrasions du flux de ruissellement provenant de l'amont, ou de causes « chimiques » telles qu'une dissolution du gypse contenu dans les ensemblés de versant collectant les drainages obliques en amont. Sur un des deux sites de Fidh Ali et sur Kamech on a effectivement trouvé des alignements de dépressions ou fosses effondrées en amont de certaines ravines traduisant la présence de galeries à faible profondeur et dont l'effondrement des « toits » prépare le ravinement.

Ce recul des têtes sera suivi dans le cadre d'un nivellement précis plus généralisé de l'évolution des contours du système ravinant.

Typologie des systèmes ravinants, description et codification

Les descriptions de ravines déjà faites prouvent que certains traits descriptifs se répètent suffisamment fréquemment pour que l'on puisse espérer en dresser une liste exhaustive mais relativement courte.

Cette typologie, doit permettre d'établir des liens entre la géométrie du système et le mode de fonctionnement des ravins et ravines. Cette typologie doit faciliter l'extrapolation des données stationnelles par application de l'adage « mêmes causes = mêmes effets » et inversement.

Elle doit être d'une utilisation facile pour pouvoir affecter rapidement une définition à toutes les portions du réseau lors d'un parcours rapide sur ses rives.

Les descriptifs tiennent compte et des travaux de F.W. Bergstrom, 1978; R.J. Crouch, 1987; M. Bufalo, 1989; J. Sirvent et al. 1997; I. Seginer, 1966; G. Benito et al. 1991, 1992, 1993 et K. Herweg, 1996 et des observations personnelles. Il faut y considérer:

- (i) des informations environnementales classiques (climat, sol, modelé, usage des terres etc..),
- (ii) l'aspect général du réseau de ravins et ravines,
- (iii) les profils en travers et notamment:

. la géométrie: largeur, profondeur de l'incision, parois en V en U, parois simples, complexes, symétriques, dissymétriques, replats, pentes et dimensions de chaque portion de parois, etc..

. la nature des parois et la dynamique visible: vives, cicatrisées enherbées, à pellicules de battance, avec rigoles (profondeurs, équidistances), bancs rocheux, autres éléments grossiers, efflorescences de sels, galeries, fissures (profondeurs, orientations, équidistances), hauteur de la dernière crue, etc...

. le chenal ou fond de lit: largeur, horizontalité, chenal simple, complexe, roche nue, sédiments (nature).

- (iv) afin il faut considérer l'intensité de la dégradation avec l'extension relatives des surfaces non ravinées et ravinées.

Toute l'information descriptive est codée pour permettre une saisie et un traitement plus rapide de l'information tant sur le terrain qu'en laboratoire.

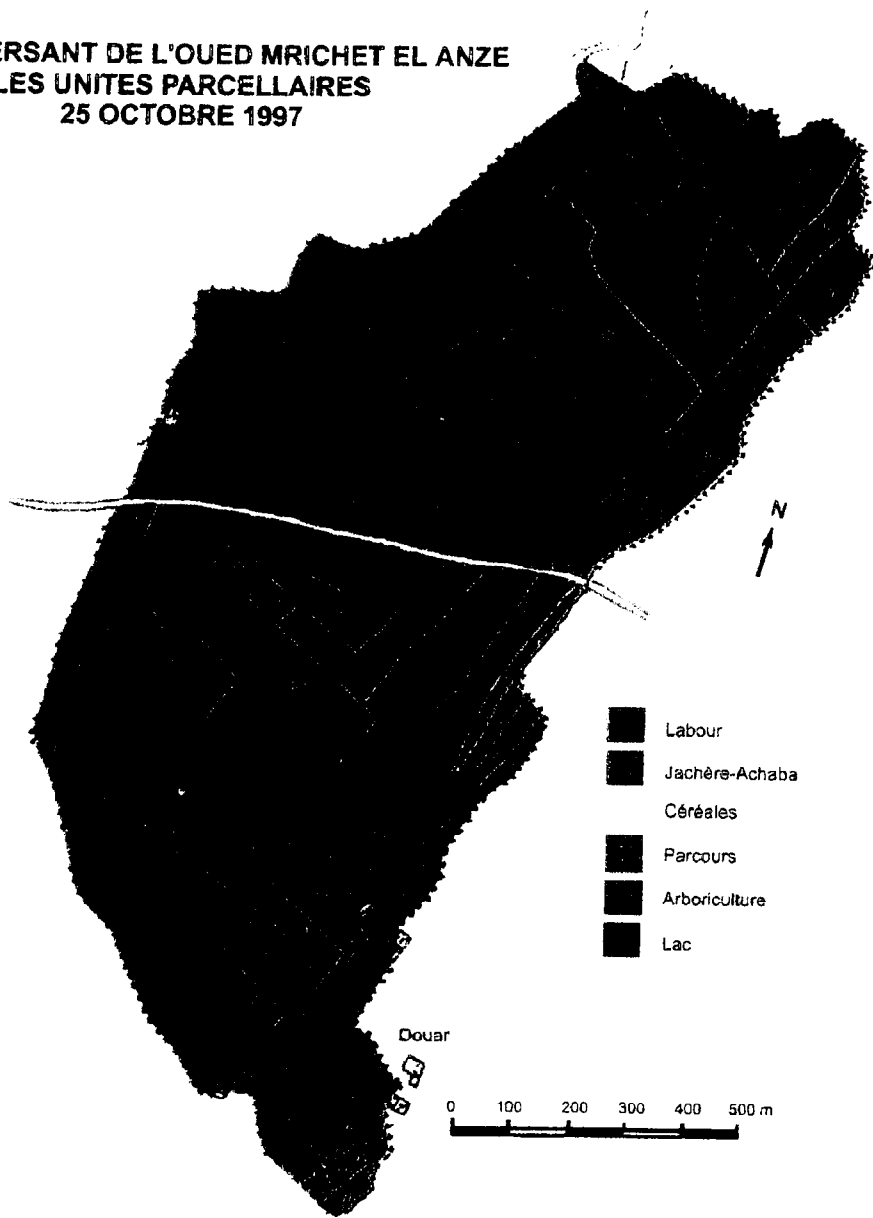
CONCLUSION

Les différentes actions de recherche entreprise dans cette opération « Gestion conservatoire des hydro-systèmes et agro-systèmes en amont des retenues » visent toutes l'obtention d'indicateurs comportementaux. Certains sont classiques (pente et longueur de versant, dynamique structurale des surfaces, caractéristiques énergétiques des précipitations, interception par le couvert végétal) et ne nécessitent pas un gros investissement scientifique. D'autres sont par contre moins « évidents » et nécessitent un effort en recherches plus fondamentales ou tout au plus focalisées sur certaines caractéristiques du milieu. Il s'agit, par exemple de révéler le rôle important des caractéristiques plus intrinsèquement pédologiques telles que:

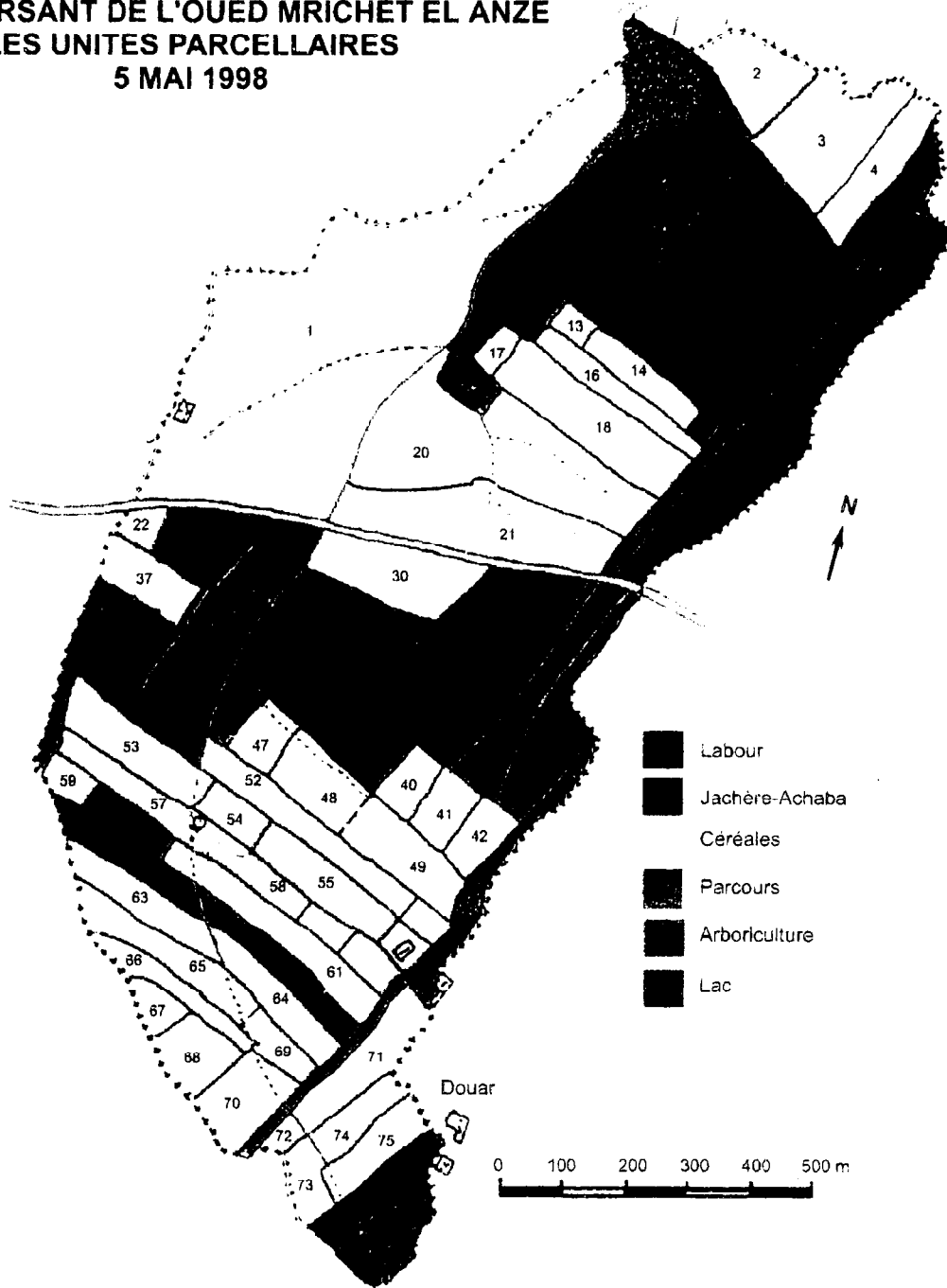
- le rôle des composés organiques, de leurs associations avec la phase minérale dans la résistance des labours et autres façonnages des terres,
- la minéralogie des argiles (Kamech et M'Richet) dans les détentions hydrique sub-superficielles fugaces liées aux fissurations,
- les teneurs en gypse (Fidh Ali) dans la « préparation » du ravinement.

Ces différentes actions permettent, en outre, de tester en vraie grandeur la fiabilité de toute une série de méthodes originales qui mènent à une nouvelle organisation du travail de terrain allant vers plus d'exhaustivité et plus de rapidité dans l'acquisition d'informations fiables.

**BASSIN VERSANT DE L'OUED MRICHET EL ANZE
LES UNITES PARCELLAIRES
25 OCTOBRE 1997**

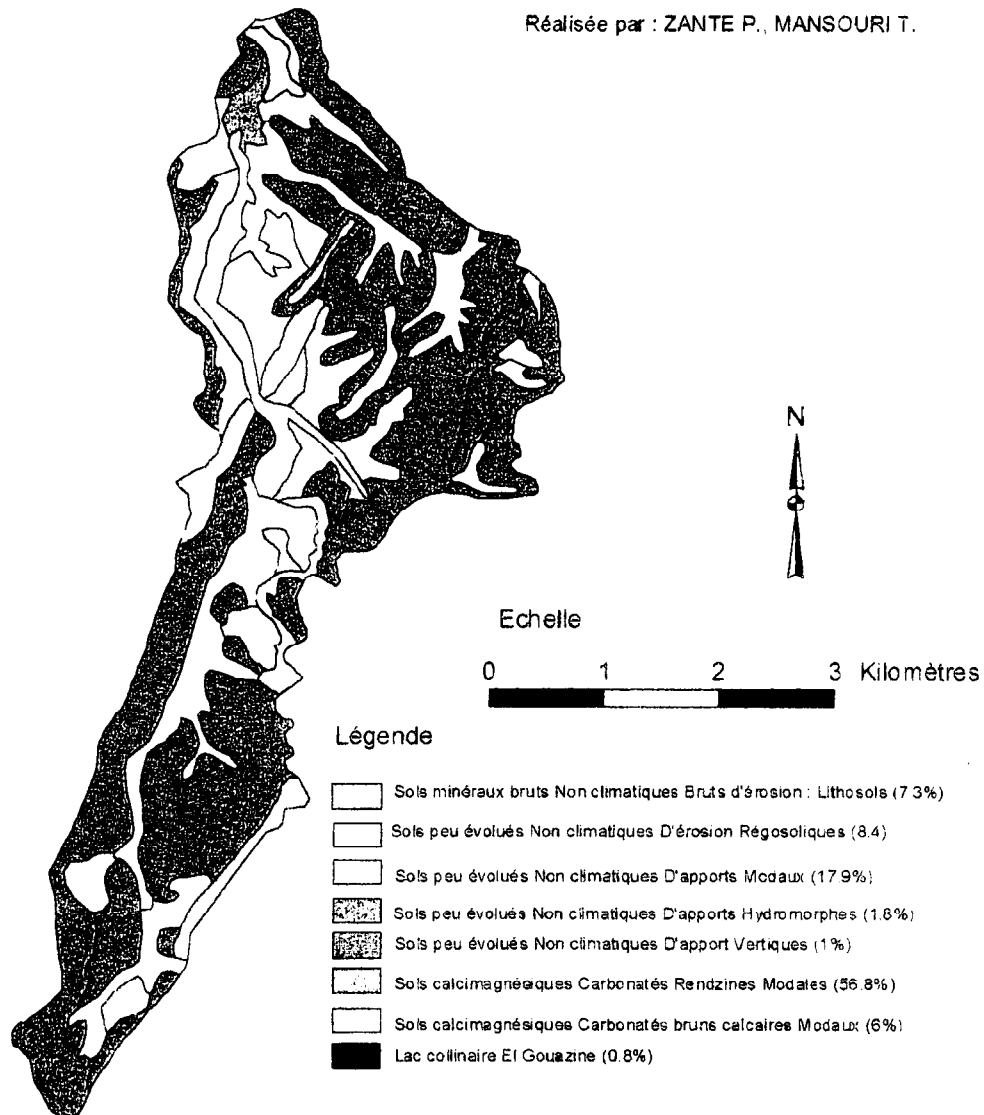


BASSIN VERSANT DE L'OUED MRICHET EL ANZE
LES UNITES PARCELLAIRES
5 MAI 1998



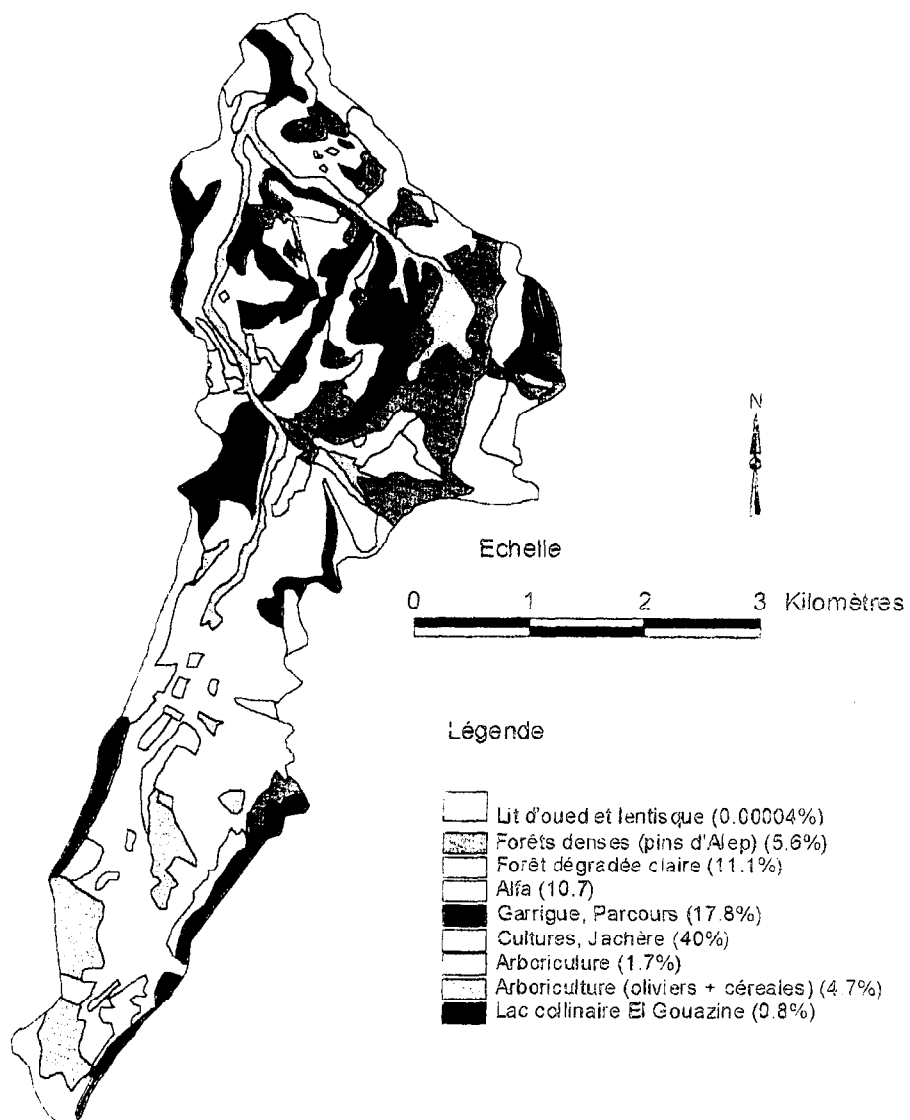
CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT EL GOUAZINE

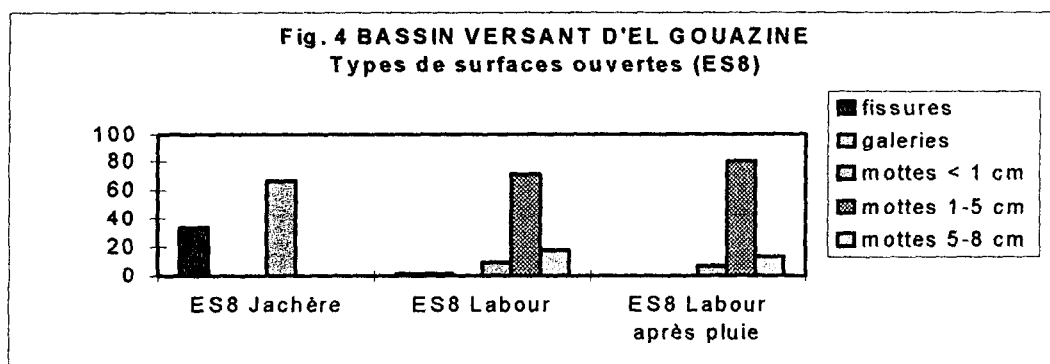
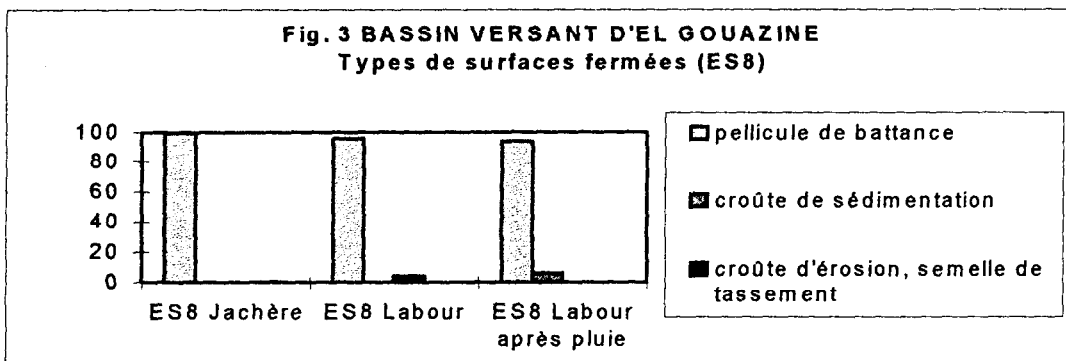
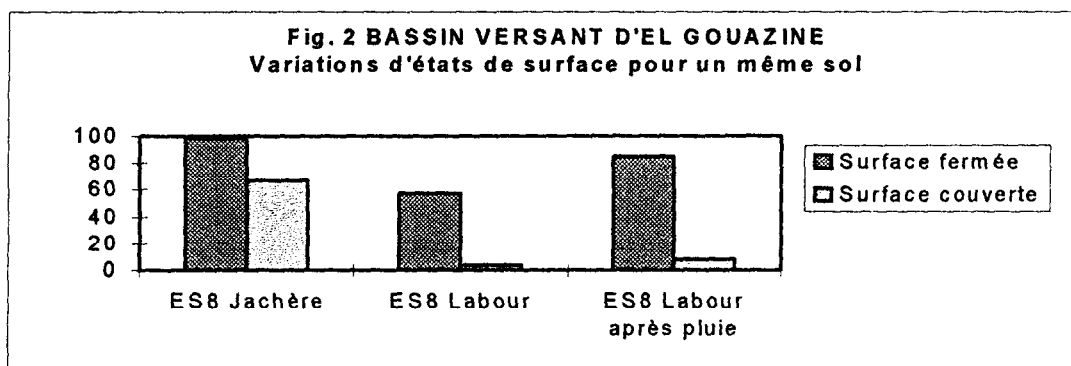
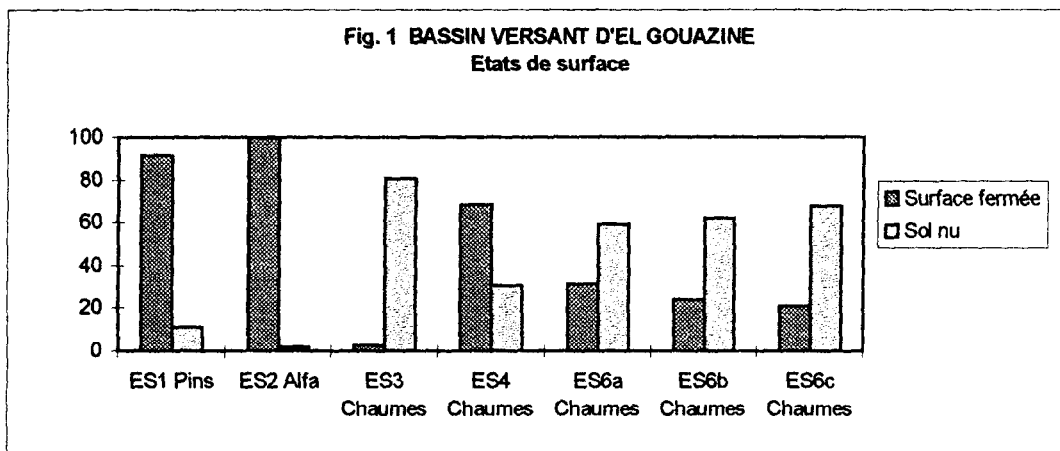
Réalisée par : ZANTE P., MANSOURI T.

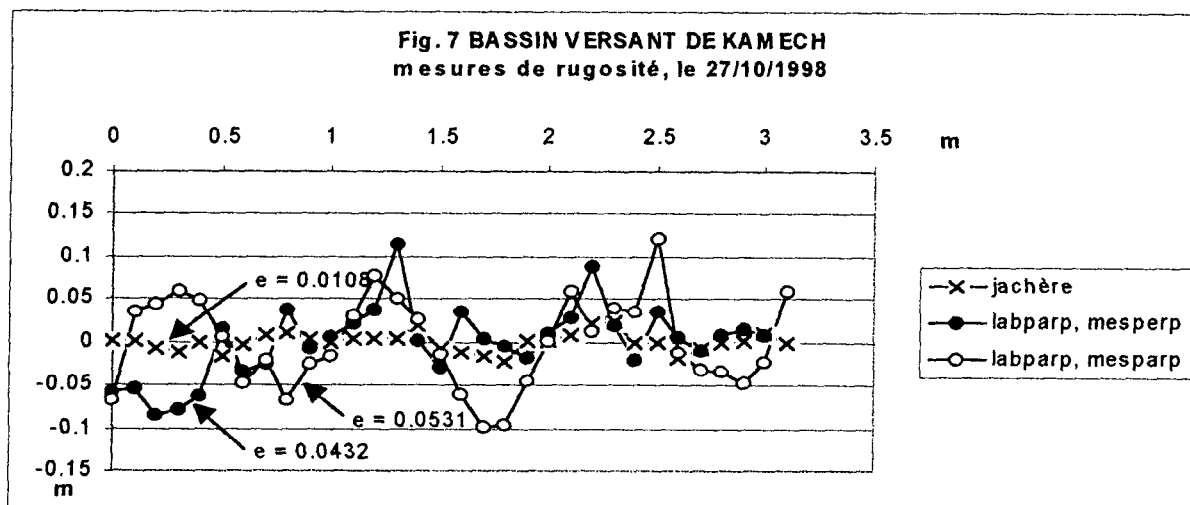
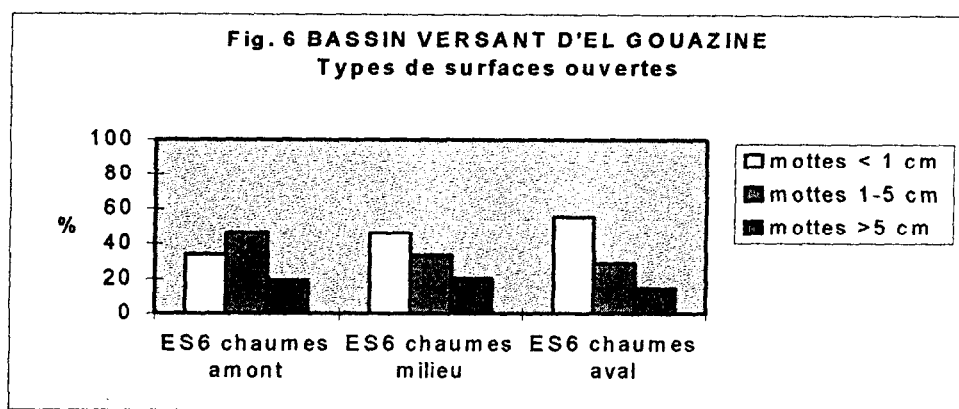
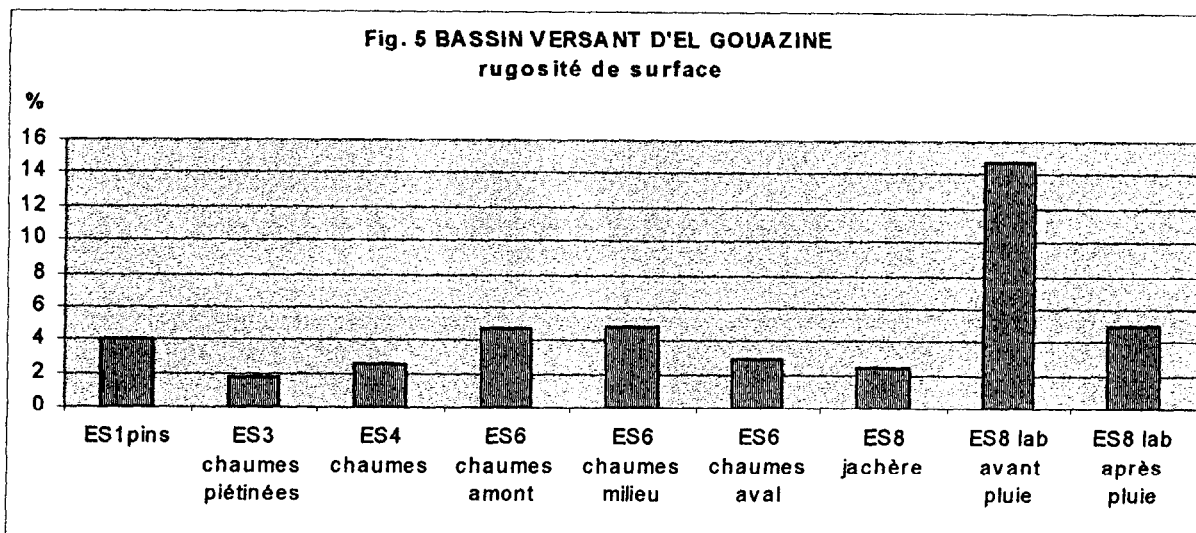


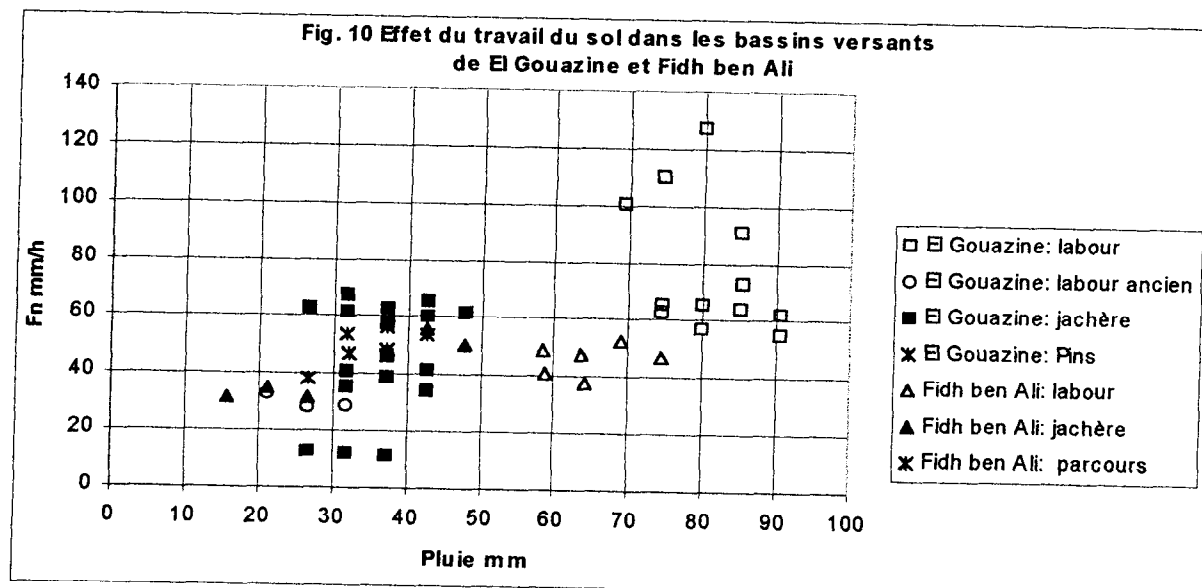
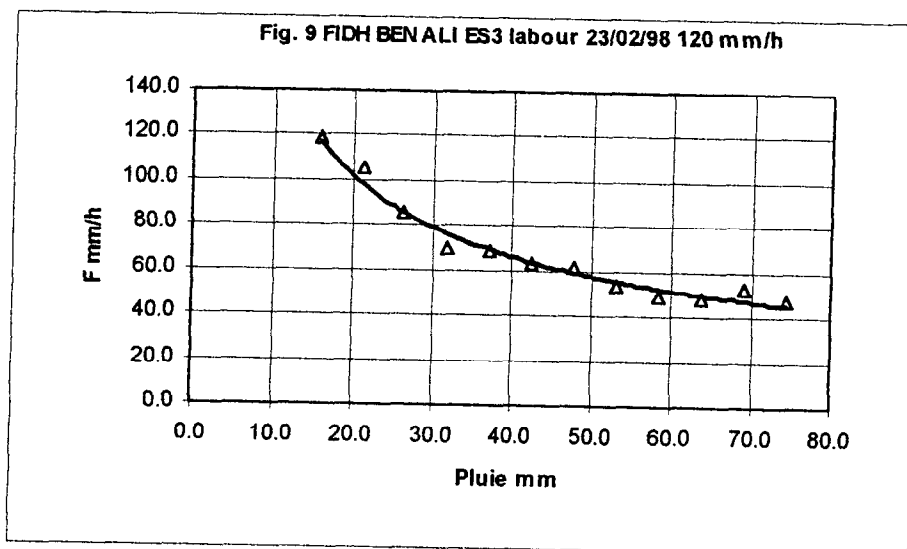
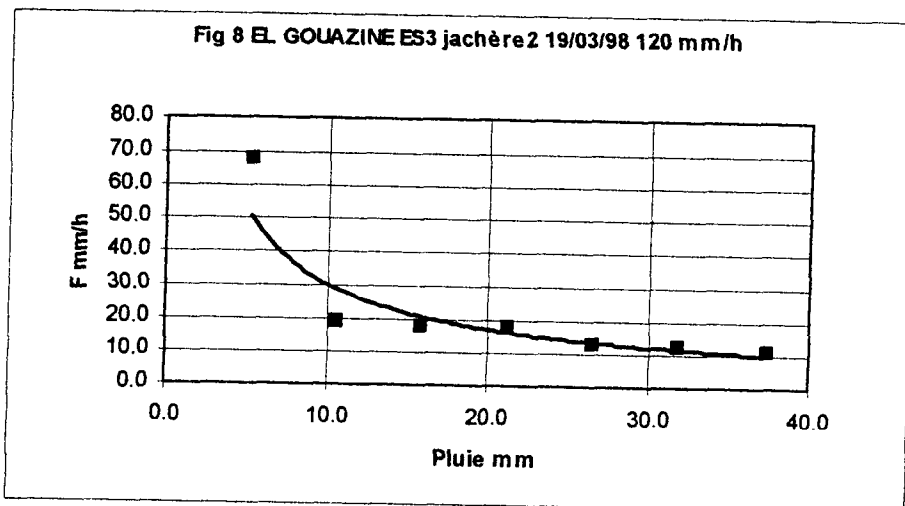
CARTE DE L'OCCUPATION DES SOLS DU BASSIN VERSANT EL GOUAZINE

Réalisée par : ZANTE P., MANSOURI T









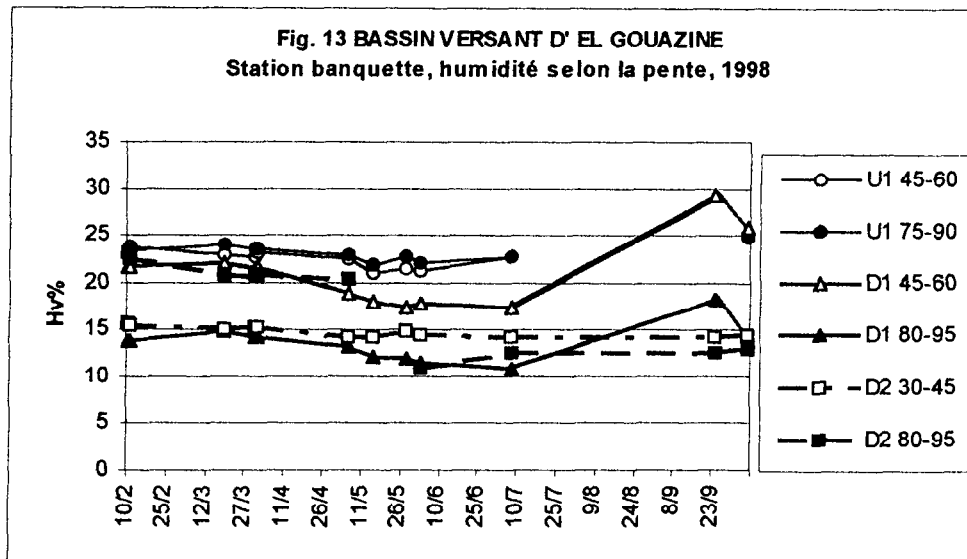
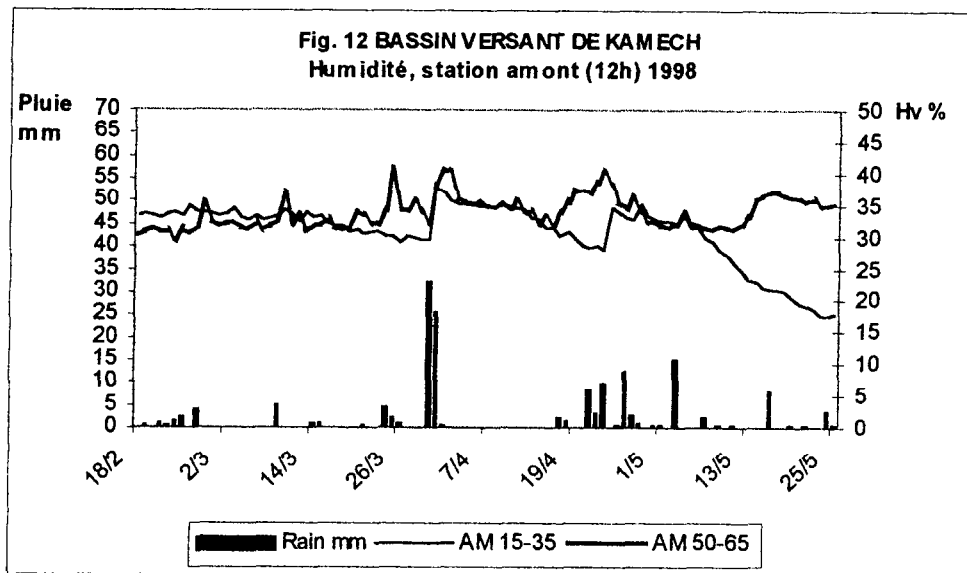
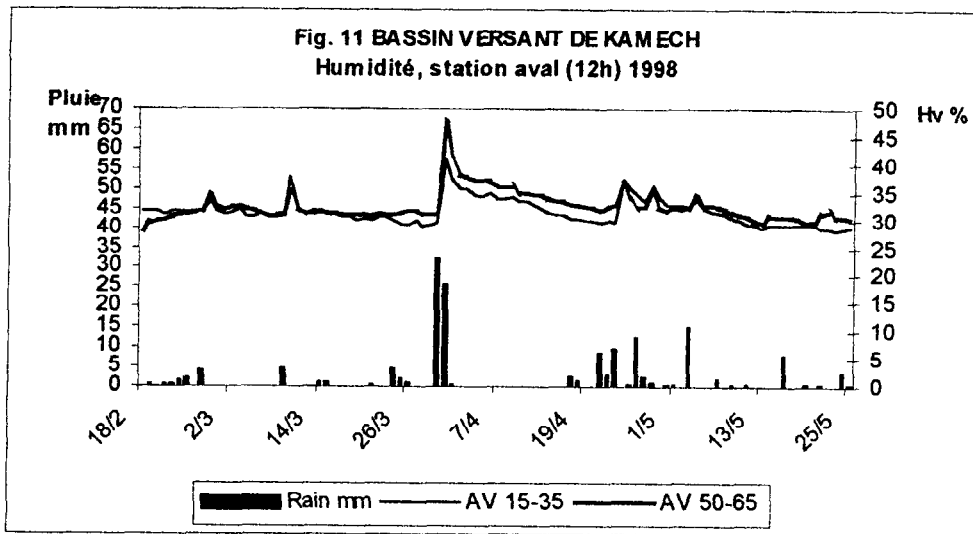


Fig.14 : Site EL GOUAZINE I de mesure des pertes en terre et des ruissellements.

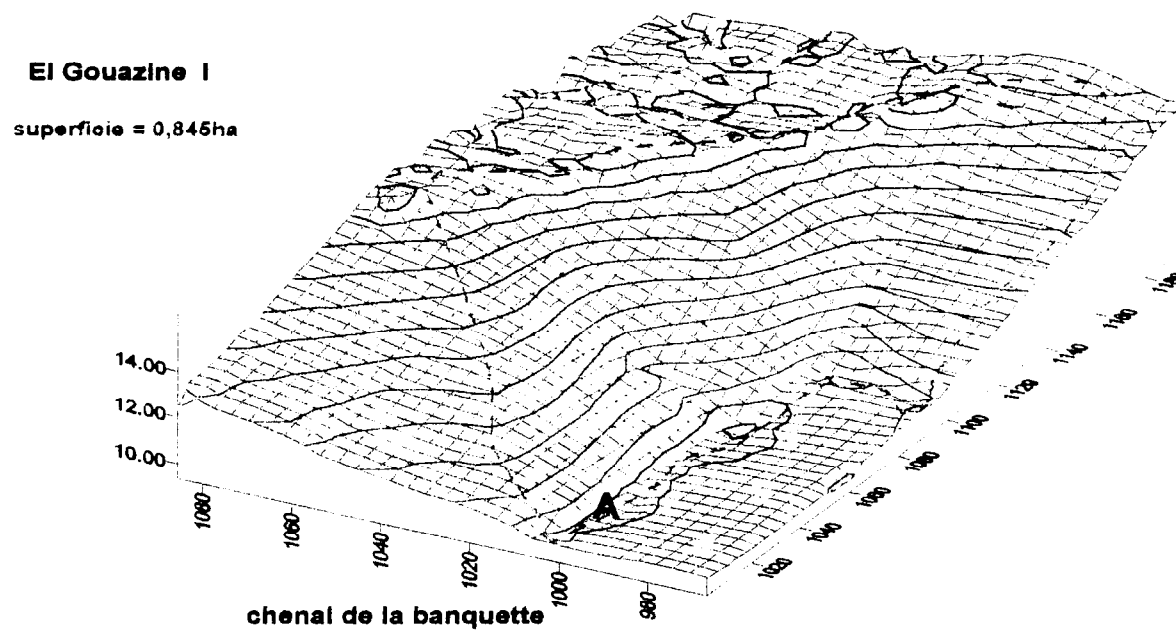


Fig 15: Site EL GOUAZINE I, détail de la banquette de terre

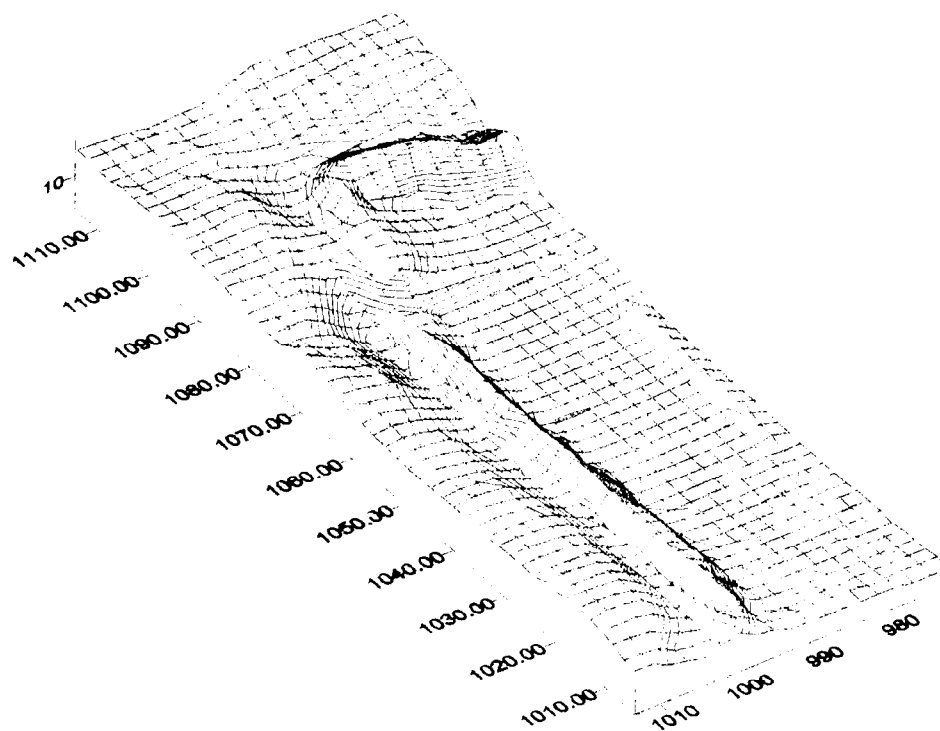


Fig.16 : EL GOUAZINE I, exemple de faible mobilisation des terres dans le chenal de la banquette

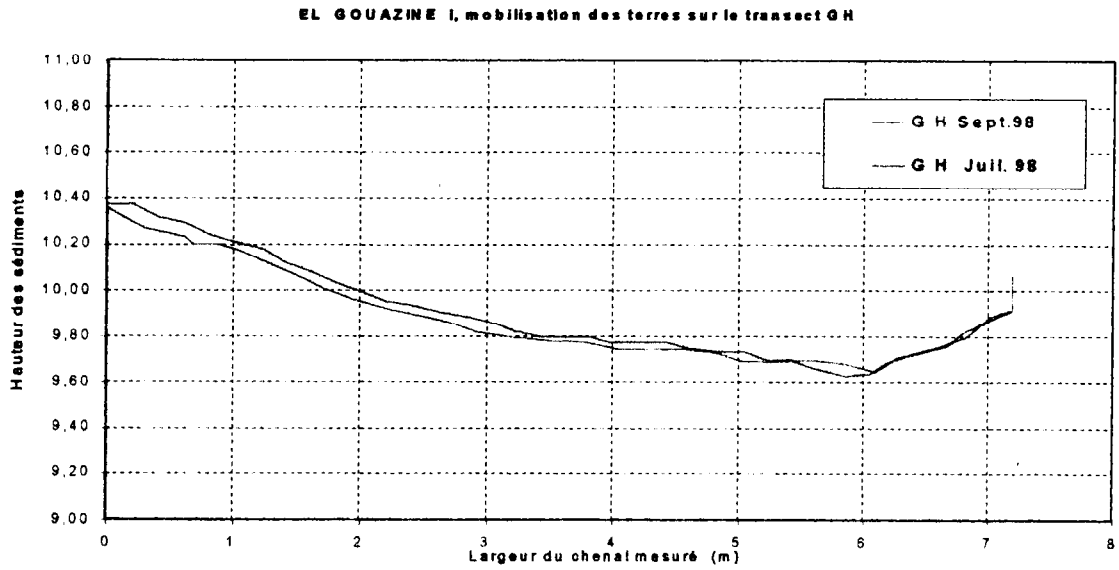


Fig. 17 : EL GOUAZINE I, exemple de forte mobilisation de terres dans le chenal de la banquette

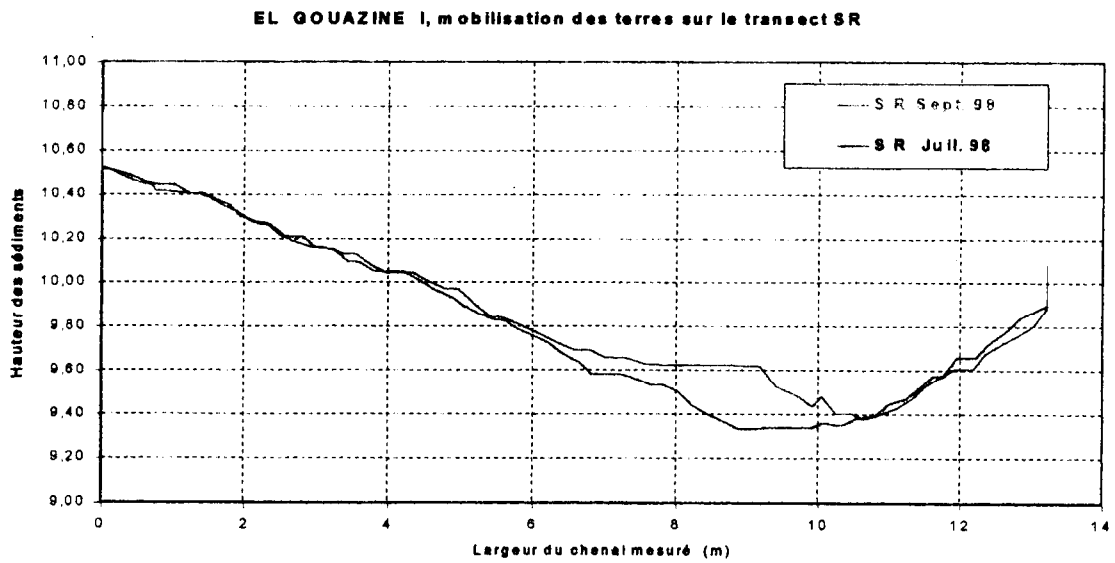


Fig.18 : EL GOUAZINE I, pondération entre abrasions et sédimentations dans le chenal d'une banquette collectant les eaux d'un champ de 0,845ha entre mai et septembre 1998

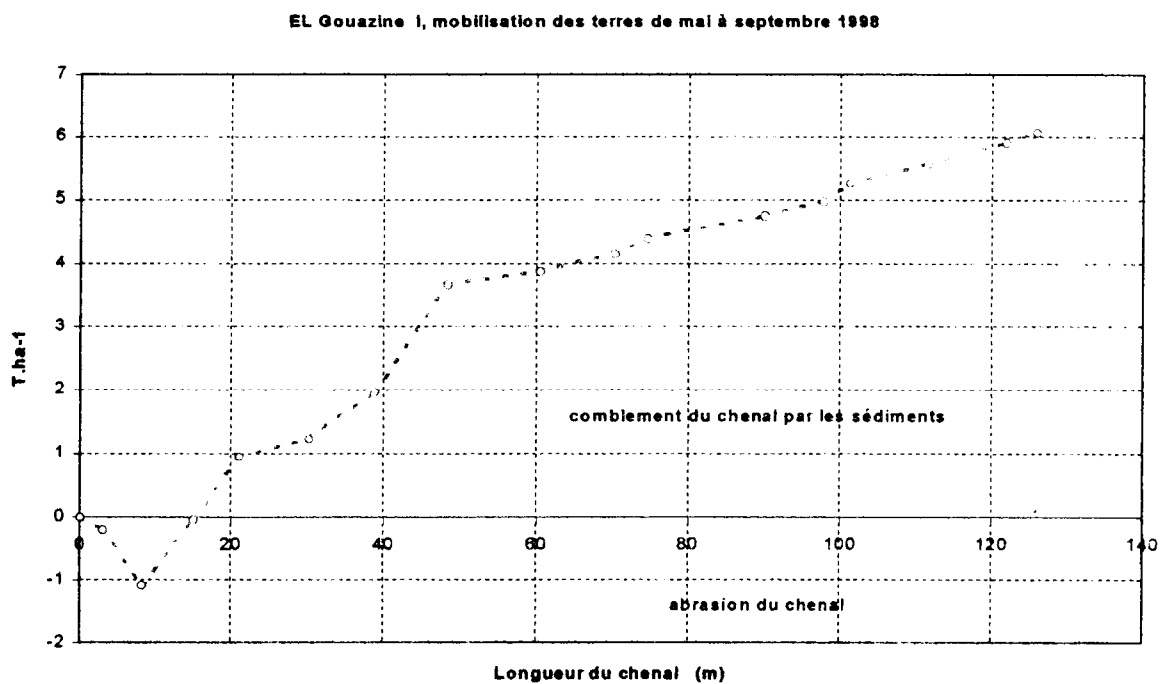


Tableau I: EI GOUAZINE I, mobilisation des terres, détail des calculs et récapitulatif

transects et dates	effet longueur chenal	effet largeur chenal	section chenal	da	mobil. terres div. périodes	chenal cum.	mobilisation terres toutes périodes
	m	m	m2	T.m3-1	T.	m	T. par mètre linéaire
début chenal						0.000	
AB mai à juillet	4.120	7.262	-0.035381	1.43	-0.208448	3.000	-0.050594
AB juillet à septembre	4.120	7.262	-0.000032	1.43	-0.000191	3.000	-0.000046
AB mai à septembre	4.120	7.262	-0.035413	1.43	-0.208639	3.000	-0.050641
CD mars à mai	6.024	7.776	0.048819	1.43	0.420568	8.240	0.069811
CD mai à juillet	6.024	7.776	-0.101109	1.43	-0.871045	8.240	-0.144586
CD juillet à septembre	6.024	7.776	-0.000555	1.43	-0.004785	8.240	-0.000794
CD mars à septembre	6.024	7.776	-0.052846	1.43	-0.455261	8.240	-0.075569
CD mai à septembre	6.024	7.776	-0.101664	1.43	-0.875830	8.240	-0.145380
EF mai à juillet	6.404	7.060	0.048471	1.52	0.471849	15.049	0.073677
EF juillet à septembre	6.404	7.060	0.059138	1.52	0.575688	15.049	0.089890
EF mai à septembre	6.404	7.060	0.107610	1.52	1.047537	15.049	0.163567
GH mars à mai	7.584	5.200	-0.137644	1.52	-1.087940	21.049	-0.143460
GH mai à juillet	7.584	5.200	-0.017631	1.52	-0.139356	21.049	-0.018376
GH mai à juillet	7.584	7.100	0.091604	1.52	0.988587	21.049	0.130359
GH juillet à septembre	7.584	5.200	0.000052	1.52	0.000408	21.049	0.000054
GH juillet à septembre	7.584	7.100	-0.000165	1.52	-0.001784	21.049	-0.000235
GH mars à septembre	7.584	5.200	-0.155224	1.52	-1.226888	21.049	-0.161782
GH mai à septembre	7.584	5.200	-0.017579	1.52	-0.138948	21.049	-0.018322
GH mai à septembre	7.584	7.100	0.091438	1.52	0.986803	21.049	0.130124
I J mai à juillet	8.966	6.491	0.020592	1.52	0.280622	30.216	0.031299
I J juillet à septembre	8.966	6.491	-0.000033	1.52	-0.000450	30.216	-0.000050
I J mai à septembre	8.966	6.491	0.020559	1.52	0.280171	30.216	0.031249
KL mars à mai	9.159	6.006	-0.095639	1.52	-1.331448	38.980	-0.145371
KL mai à juillet	9.159	6.006	0.018234	1.52	0.253850	38.980	0.027716
KL juillet à septembre	9.159	6.006	0.034445	1.52	0.479525	38.980	0.052356
KL mars à septembre	9.159	6.006	-0.042960	1.52	-0.598073	38.980	-0.065299
KL mai à septembre	9.159	6.006	0.052679	1.52	0.733375	38.980	0.080072
MN mai à juillet	10.816	6.252	0.115631	1.37	1.713412	48.534	0.158415
MN juillet à septembre	10.816	6.252	-0.000135	1.37	-0.002007	48.534	-0.000186
MN mai à septembre	10.816	6.252	0.115496	1.37	1.711405	48.534	0.158229
O P mars à mai	10.876	7.158	-0.028146	1.37	-0.419388	60.613	-0.038560
O P mai à juillet	10.876	7.158	0.013869	1.37	0.206651	60.613	0.019000
O P juillet à septembre	10.876	7.158	-0.000041	1.37	-0.000613	60.613	-0.000056
O P mars à septembre	10.876	7.158	-0.014318	1.37	-0.213350	60.613	-0.019616
O P mai à septembre	10.876	7.158	0.013828	1.37	0.206038	60.613	0.018944

Tableau 1 suite

<i>nouveaux profils en travers ajoutés en juillet 1998</i>							
Q R juillet à septembre	8.916	17.090	0.000710	1.04	0.006583	70.287	0.000738
S R juillet à septembre	7.696	13.229	0.000520	1.04	0.004164	74.627	0.000541
T U juillet à septembre	11.611	9.977	0.000040	1.22	0.000565	90.019	0.000049
V W juillet à septembre	7.199	13.094	0.000299	1.22	0.002623	97.849	0.000364
X W juillet à septembre	5.118	17.106	0.020842	1.22	0.130140	101.319	0.025428
Z Y juillet à septembre	10.297	9.945	-0.000271	1.22	-0.003399	111.555	-0.000330
AB-AA juillet à septembre	7.179	7.233	0.013126	1.22	0.114961	121.913	0.016014
fin chenal-A22	4.000		0.005000	1.22	0.024400	125.913	0.006100
RECAPITULATIF: Mobilisations totales des terres entre mai et septembre 1998							
		long.chena l	récap. mai à sept.	cumul mai à sept			
		m	T.ha-1	T.ha-1			
		0	0	0			
		3.000	-0.20864	-0.20864			
		8.240	-0.87583	-1.08447			
		15.049	1.04754	-0.03693			
		21.049	0.98680	0.94987			
		30.216	0.28017	1.23004			
		38.980	0.73337	1.96342			
		48.534	1.71141	3.67482			
		60.613	0.20604	3.88086			
		70.287	0.27988	4.16074			
		74.627	0.24006	4.40081			
		90.019	0.35656	4.75737			
		97.849	0.22332	4.98070			
		101.319	0.28704	5.26773			
		111.555	0.31230	5.58004			
		121.913	0.33506	5.91510			
		125.913	0.14700	6.06210			

Relations Nappes souterraines / Lac Collinaire et Impacts des aménagements CES à El Gouazine (Slah Nasri)

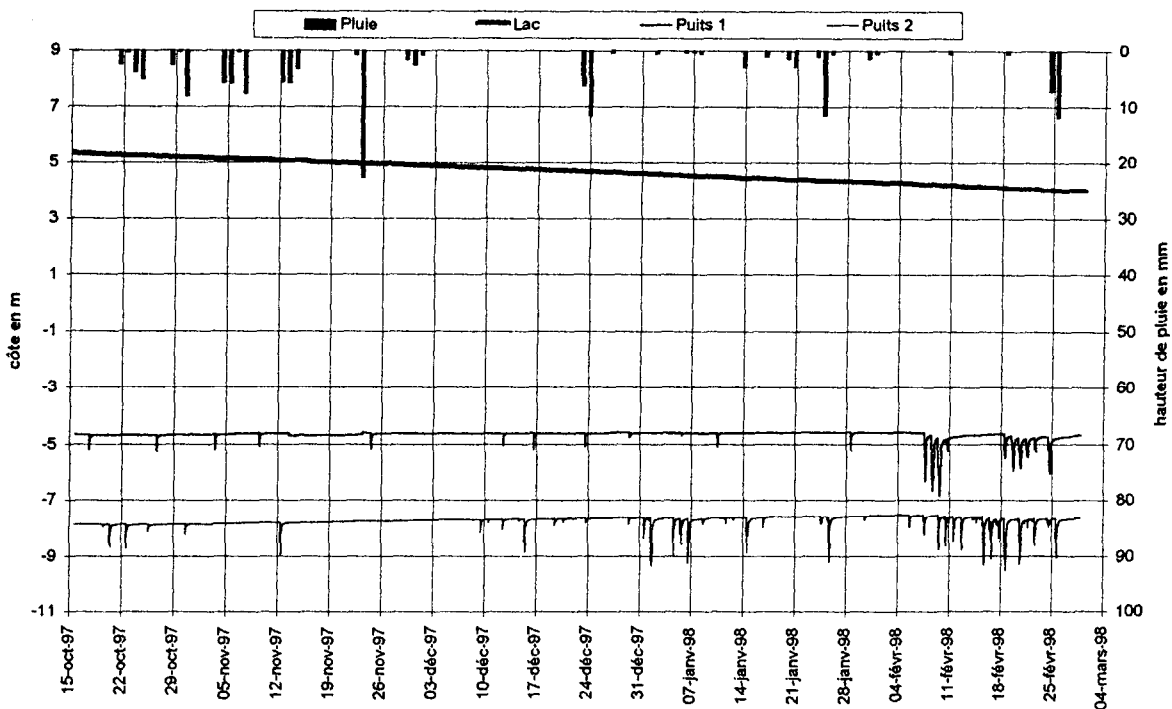
Relation Nappes souterraines / Lac collinaire

Après la construction du lac d'El Gouazine en 1990 les agriculteurs de la région ont remarqué que le niveau de l'eau dans le premier puits qui existe déjà à 400m à l'aval du lac, a remonté de plus de 10m, ce qui a encouragé un autre agriculteur à creuser un autre puits (n°2), distant environ 700m du lac, et atteindre la nappe seulement à quelques mètres de la surface du sol (3 à 4 m). Dès lors une agriculture arboricole et maraîchère s'est développée très vite autour des deux puits. On compte actuellement plus de 10 ha de parcelles irriguées.

Cette situation nous a encouragé à suivre le comportement de cette nappe à travers les enregistrements au niveaux des puits en vue de déterminer la relation entre le lac et la nappe phréatique.

Ainsi en octobre 97 nous avons équipé les deux puits chacun par un limnigraphe à enregistrement automatique qu'on a fixé le pas de temps à 5mn. Le deuxième puits a été équipé en plus d'un pluviographe automatique pour nous enregistrer la quantité de pluie qui s'abatte directement sur la surface de la nappe.

Les figures ci-joints nous montrent les enregistrements des pompages dans les deux puits ainsi que la côte de l'eau dans le lac ainsi que la hauteur de pluie journalière depuis le 14 octobre 97 jusqu'au mars 98.



Après une année de mesure, entre 14 octobre 1997 et 15 octobre 1998, nous avons démontré qu'il y a une relation directe entre les apports dans le lac et la remontée de la nappe phréatique

à travers les puits. Les résultats de cette recherche ont été présentés au workshop de Lund en Suède 29 juin –3 juillet 1998 et sont en cours de publication.

Impacts des aménagements CES

Une deuxième opération de recherche a été entreprise au cours de cette année dans le bassin versant d'El Gouazine concernant l'étude de l'impact des aménagements de CES sur le bilan hydrologique du lac, le retardement des écoulements et la recharge de la nappe .

Entre juillet 96 et juillet 97 le bassin versant d'El Gouazine a été aménagé en banquettes de rétention totale avec des dimensions importantes ; la longueur moyenne de la banquettes est environ 100m, la hauteur moyenne est de l'ordre de 1,50m et l'écartement moyen entre les banquettes est de 25 m.

Cet aménagement a intéressé principalement les terres de culture est une partie des parcours dégradés pour les récupérer et les transformer en terres de culture,

Dès lors les quantités de pluies qui tombent sur le bassin versant sont interceptées par ces barrages et les eaux de ruissellement n'atteignent l'oued principal qu'après avoir rempli les banquettes, Ainsi depuis la fin de cet aménagement le volume d'eau stocké dans le lac a tendance vers la baisse.

Ci-joint une comparaison entre deux crues enregistrées à El Gouazine Une avant l'aménagement du bassin versant et l'autre après l'aménagement .

Les résultats de cette recherche ont été présentés au workshop de Lund en Suède 29 juin – 3 juillet 1998 et sont en cours de publication.

Notes et rapports

S. NASRI, H. AMAMI : Tablias en zones arides : cas de la zone de Bou Hedma

NASRI S.; 1998 : Impacts des aménagements CES ; exemple des banquettes dans le bassin versant d'El Gouazine dans la région d'Ousseltia-Kairouan ; (présentés au workshop de lund du 28/06 au 03/07 1998)

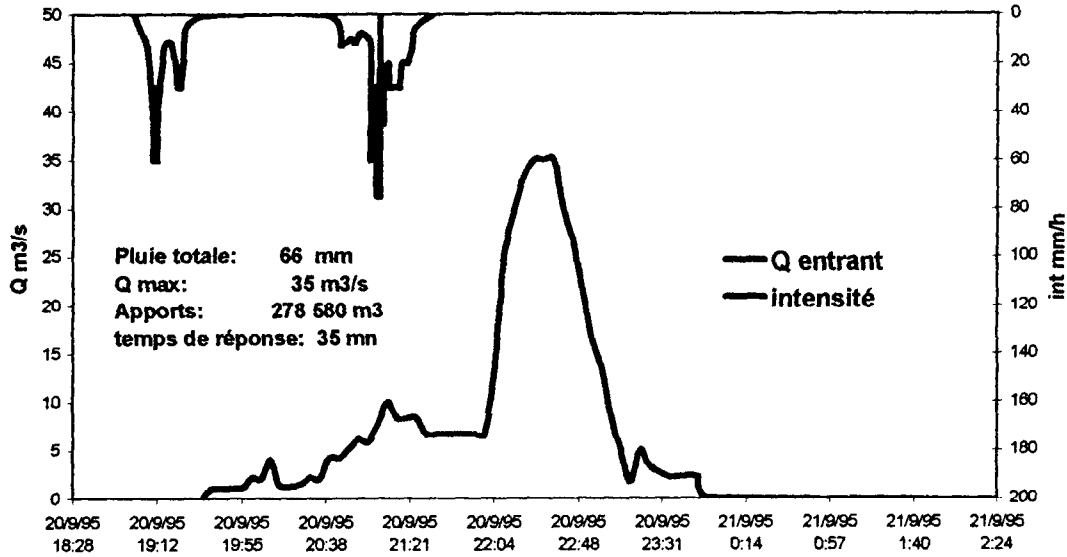
NASRI S.; 1998 : Interface lac collinaire nappe phréatique ; exemple du lac El Gouazine dans la région d'Ousseltia-Kairouan. a été présenté au workshop de lund du 28/06 au 03/07 1998)

NASRI S. et P. ZANTE; 1998 : The use of TDR for soil erosion and conservation practices in small watersheds in Tunisia. a été présenté au workshop de lund du 28/06 au 03/07 1998

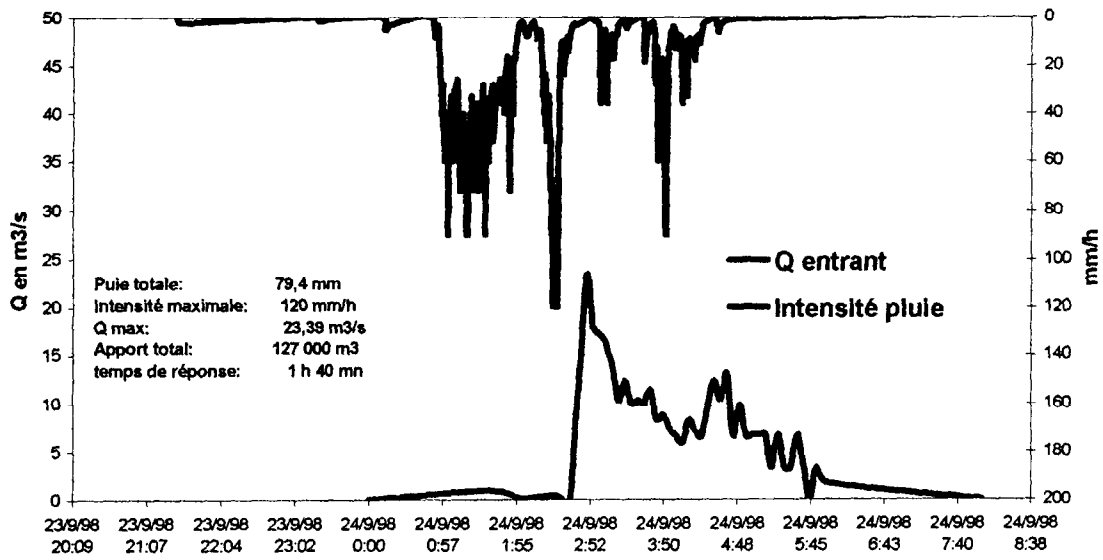
Stage :

cours sur l'hydrologie des bassins versants au Département d'Ingénierie et des Ressources en eaux de l'Université de Lund en Suède du 03 février jusqu'au 31 mars 1998.

El Gouazine : crues du 20-21/09/95



El Gouazine: Crues du 24/09/98



**Mission : caractérisation géochimique des lacs collinaires et de leurs bassins versants .
(J.P. Montoroi, O. Grunberger et C. Pemin)**

Objectifs

La présente mission s'inscrit dans la thématique sur l'étude du fonctionnement géochimique du bassin versant de lacs collinaires.

En termes de géochimie des eaux de lacs collinaires, seules une typologie et une étude de leur évolution au cours d'un processus d'évaporation sont acquis (RAHAINGOMANANA, 1998). Ce sont des informations obtenues dans le temps et localisées uniquement aux eaux de la retenue.

Les principaux objectifs de la mission sont :

- Spatialiser l'information géochimique à une époque donnée de l'année (après les pluies hivernales) et à l'échelle du système bassin versant-retendue (eaux d'écoulement, de retenue et souterraine).
- Identifier des traceurs géochimiques (majeurs, éléments traces) pour comprendre les modes de circulation des eaux dans les formations superficielles.
- In fine, modéliser les changements de faciès chimique (eau d'écoulement- eau de retenue en amont et eau de retenue-eau souterraines en aval) en prenant en compte les interactions eaux-sols-roches.

La mission a été possible grâce à l'appui financier du programme 623, dont le responsable est J. ALBERGEL.

Elle a donné l'occasion à un étudiant de 2ème année à l'INA Paris Grignon, Charles PERNIN, d'effectuer une partie de son stage en entreprise. Ce stage de 2 mois (avril et mai 1998) a débuté, à l'ORSTOM-Bondy, par une étude bibliographique sur "l'étude du fonctionnement hydrologique et géochimique des petits réservoirs artificiels". C. PERNIN a participé aux travaux de terrain et a pris des contacts avec les chercheurs de l'ORSTOM en Tunisie pour une éventuelle poursuite de ce stage en juillet et en août prochains. Ce nouveau stage aura une finalité agronomique et s'intéressera plus particulièrement à la gestion agricole des eaux de 2 retenues collinaires (El Gouazine et Kamech).

Les travaux de terrain sur le bassin versant d'El Gouazine

Choix du site

Le lac collinaire d'El Gouazine est un des 5 sites pilotes retenus dans le programme HYDROMED.

Le BV est déjà assez bien connu d'un point de vue géologique, géophysique, pédologique (BRUNISSO, 1967 ; ALBOUY et al., 1995 ; BELLIER et al., 1997 ; MONTOROI et al., 1997) et hydrologique (annuaires annuels CES/ORSTOM, 1996, 1996 et 1997). D'un point de vue géochimique, seules les eaux de la retenue ont été étudiées au cours d'un suivi plurimensuel, de 1994 à 1996 (RAHAINGOMANANA, 1998). Quelques analyses sur les eaux de surface et de nappe situées à proximité de la retenue ont été réalisées au cours d'une mission en 1996.

La retenue pose problème en termes hydrologiques : sur les 3 années hydrologiques entre 1994 et 1997, le bilan est négatif, sa valeur variant de -76 599 m³ en 1996-1997 à -273 435 m³ en 1995-1996. Pour mémoire, le volume de la retenue au déversement est de 233 370 m³.

Caractérisation chimique des échantillons d'eau

Echantillonnage sur le terrain :

- 4 échantillons d'eau de surface, dont deux dans la retenue presque à sec, ont été prélevés à l'aide d'une canne télescopique de 3 m.
- 17 prélèvements d'eau de nappe ont été réalisés dans 11 puits à l'aide d'une bouteille-préleveur de 1 L, que l'on a immergée à 1 m sous la surface et au fond du puits. La profondeur depuis la surface varie de 3 m à 15 m.
- 15 prélèvements selon un profil vertical de 15 m ont été faits, tous les mètres, dans le puits aval le plus proche de la retenue.
- 4 échantillons d'eau ont été prélevés dans 6 fosses creusées :
 - . 3 dans la retenue à sec (2 prélèvements) ;
 - . 1 en bordure de la retenue ;
 - . 2 en aval de la retenue (2 prélèvements).

Mesures avant filtration des échantillons :

Pour chaque échantillon d'eau, les mesures de la conductivité électrique (CE 25 °C), du pH, de la température et de la teneur en oxygène dissout ont été réalisées au moment du prélèvement. Les appareils utilisés sont de marque WTW (LF 330 pour le conductivimètre, pH 340 pour le pH-mètre et OXY 330 pour l'oxymètre), chacun possédant une sonde de température intégrée à l'électrode. Les mesures sont compensées automatiquement en température. Les calibrations des appareils sont effectuées au début de chaque journée de mesure.

Un volume de 1,5 L (eau de nappe et eau de surface) ou d'1 L (profil vertical) est prélevé à chaque fois et est réparti comme suit :

- 250 mL pour filtration à 0,2 μ m ;
- 50 mL pour la mesure du titre alcalimétrique complet (TAC) : on titre la solution par de l'HCl N/10 en présence de méthylorange. Le virage au rouge correspond à la neutralisation des bicarbonates à pH 4,3.
- environ 1 L (ou 0,7 L à chaque niveau du profil vertical) pour précipitation des carbonates et des sulfates de baryum en milieu basique. A pH 9, obtenu par ajout de soude N/10, on mélange l'échantillon avec du BaCl₂, la quantité ajoutée dépendant de la valeur du TAC mesurée préalablement. On laisse décanter le précipité obtenu, on siphonne le surnageant et on conserve la phase solide dans un flacon de 150 mL pour analyse ultérieure des isotopes ¹³C et ³⁴S au laboratoire.

Mesures après filtration des échantillons :

Seules les mesures de CE, de pH et de température ont été effectuées.

Echantillonnage pour le laboratoire :

- 100 mL pour l'analyse des ions majeurs ;
- 2 x 8 mL pour l'analyse des isotopes stables de l'eau ;
- prélèvement du filtre dans une boîte "pétrislide" initialement tarée, pour pesée des dépôts et éventuellement pour analyse minéralogique des sédiments se trouvant au contact des eaux.

Prélèvements d'échantillons de sol, de sédiment et de roche

Des échantillons ont été prélevés à différents endroits du BV au voisinage des lieux de prélèvements d'eau. Ces prélèvements sont destinés à être analysés au laboratoire pour connaître les caractéristiques chimiques (analyse totale triacide) et minéralogiques (diffractométrie RX) des phases minérales qui sont au contact des eaux percolant dans les différents compartiments structuraux du BV.

12 roches ont été échantillonnées (6 marnes, 4 calcaires, 1 encroûtement calcaire et 1 grès calcaire).

7 prélèvements de sol et de sédiment ont été réalisés : 3 dans 2 profils de la retenue à sec, 2 dans la tranchée creusée en bordure de la retenue et 1 dans chacun des 2 profils situés en aval de la retenue.

Conclusion

Les objectifs de la mission correspondent bien à la thématique affichée par le programme HYDROMED et la convention avec la DCES. Cependant, la retenue étant quasiment asséchée au moment de cette mission, il n'a pas été possible de bien caractériser les eaux de surface. Les mesures de CE montrent qu'il n'y a pratiquement pas de concentration des eaux du lac en fin de phase évaporatoire ce qui indiquerait une perte par infiltration d'eau peu évaporée.

Les premières observations faites au cours des opérations de terrain montrent que le lac d'El Gouazine contribue à la recharge d'un aquifère à l'aval : - les sédiments de la retenue sont constitués par des alternances de lits à texture fine (argile grise présentant des taches noires de réduction de la matière organique et du fer) et à texture grossière (sables à graviers). Ils reposent sur l'ancien lit graveleux de l'oued. Les niveaux grossiers sont propices à des écoulements latéraux souterrains.

- il y a un fort contraste dans les caractéristiques chimiques des eaux de surface et de nappe à l'échelle de la retenue et du bassin versant (annexes 1, 2 et 3). Les eaux de la retenue sont très basiques (pH \square 10), peu concentrées (CE < 1 dS m⁻¹), bien oxygénées (> 120 % ; entre 9 et 12 mg L⁻¹) et faiblement carbonatées (TAC < 2). En revanche, les eaux de nappe sont voisines de la neutralité, plus concentrées (2 < CE < 8,5 dS m⁻¹), peu oxygénées (< 80 % ; entre 3 et 8 mg L⁻¹) et fortement carbonatées (4 < TAC < 11).

Les caractéristiques chimiques des eaux de la retenue sont voisines de celles mesurées pour les autres lacs (annexe 3). Tous sont situés dans des formations géologiques datant de l'éocène. Seul le lac de Fidh Ali est très concentré, car les marnes du bassin versant sont riches en gypse.

Perspectives

Les observations précédentes devront être étayées par l'analyse des ions majeurs afin de définir les faciès chimiques des eaux du BV et par celle des isotopes stables de l'eau pour déterminer d'éventuels mélanges entre les eaux de la retenue et les eaux souterraines. Pour cela, nous souhaitons un financement de l'ordre de 28 KF qui comprend :

- l'analyse des ions majeurs sur les eaux de puits (17), les eaux de surface (4 à El Gouazine et 7 pour les autres lacs), les eaux du profil vertical (15) et les eaux des profils pédologiques (4), soit 47 x 150 FF \square 7 KF ;
- l'analyse des isotopes stables de l'eau et des isotopes ¹³C, uniquement pour 40 des 47 échantillons précédents, soit 40 x 375 = 15 KF ;
- l'analyse minéralogique par diffractométrie RX pour les échantillons de sol (7) et de roche (12), soit 19 x 100 \square 2 KF ;

- l'analyse chimique par dissolution triacide des 19 échantillons précédents, soit 19 x 200 □ 4 KF ;
- l'analyse des isotopes ³⁴S et de quelques éléments traces pour 10 échantillons (montant à définir dans un second temps).

Par ailleurs, des opérations futures devront être menées pour mieux connaître les relations entre cet aquifère et la retenue : mise en place de piézomètres dans la retenue à sec et avant l'entrée de l'oued dans la retenue.

Une mission du même type est à envisager durant la phase de remplissage de la retenue (période hivernale) pour caractériser, outre les eaux souterraines, les eaux de la retenue et les eaux d'écoulement dans les oueds.

Remerciements

Nous tenons à remercier J. CLAUDE, représentant de l'ORSTOM en Tunisie et son personnel local pour leur aide administrative.

Nous remercions particulièrement J. ALBERGEL, J. COLLINET et P. ZANTE pour leur accueil chaleureux, leur participation à la mission et leur soutien logistique efficace.

Nos remerciements vont également vers S. NASRI qui nous a fait le plaisir de nous accompagner sur le terrain durant 2 journées.

Bibliographie

ALBOUY Y., BELLIER G., JOB J.O., MONTOROI J.P., ARFAOUI M., GAALOUL N., GASMI M., GUIGUEN N., KHALIFA F., LAMY V., LARVY DELARIVIÈRE J., MILLOT G., 1995. Application des méthodes géophysiques à l'étude des formations superficielles du bassin versant du lac collinaire d'El Gouazine (Tunisie centrale). Rapport scientifique. Multigr., ORSTOM/CRGR, Bondy, 50 p. et annexes.

BELLIER G., GAALOUL N., JOB J.O., MONTOROI J.P., ZANTE P., 1997. Interprétation pédologique d'une prospection électromagnétique et électrique dans le bassin versant d'El Gouazine (Tunisie centrale). In Y. ALBOUY, J.P. MONTOROI, A. TABBAGH et N. ZERBIB : "Colloque GEOFCAN, Géophysique des Formations Superficielles, Abstracts et résumés étendus, Bondy, 11-12 septembre 1997", ORSTOM, Bondy, 17-22.

BRUNISSO J.G., 1967. Etude pédologique du périmètre de l'oued Maarouf. Multigr., DS, Tunis, EP 333. (Carte pédologique et d'aptitudes en sec au 1/50.000).

CES/ORSTOM, 1996. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1994-1995. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Multigr., 140 p.

CES/ORSTOM, 1996. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1995-1996. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Multigr.

CES/ORSTOM, 1997. Annuaire hydrologique des lacs collinaires 1996-1997. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Multigr., 200 p.

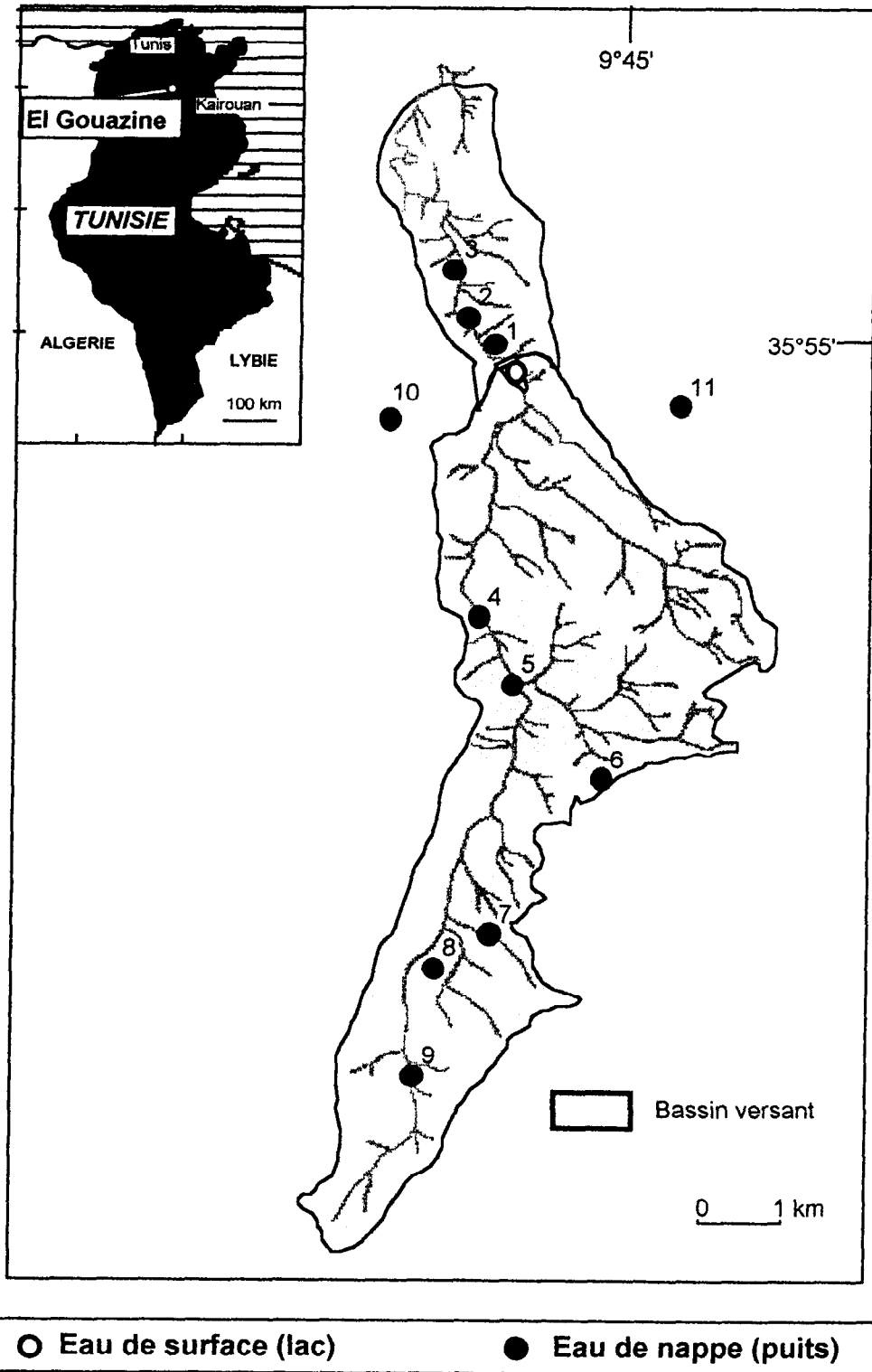
MONTOROI J.P., BELLIER G., LARVY DELARIVIÈRE J., 1997. Détermination de la relation résistivité électrique - teneur en eau au laboratoire. Application aux sols de Tunisie centrale. In Y. ALBOUY, J.P. MONTOROI, A. TABBAGH et N. ZERBIB : "Colloque GEOFCAN, Géophysique des Formations Superficielles, Abstracts et résumés étendus, Bondy, 11-12 septembre 1997", ORSTOM, Bondy, 153-159.

RAHAINGOMANANA N., 1998. Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore. Thèse Doctorat Univ. Montpellier I, multigr., 308 p.

Bondy, le 12 juin 1998

Annexes

1. Echantillonnage spatialisée des eaux de surface et de nappe (bassin versant d'El Gouazine)



3. Caractéristiques chimiques des eaux de puits du BV d'El Gouazine

(mesures sur échantillons non filtrés)

Date	Puits	Prof. (m)	CE _{25°C} (dS m ⁻¹)	pH	T (°C)	O ₂ dissout		TAC (mmol _c L ⁻¹)
						(mg L ⁻¹)	(%)	
<i>Aval retenue</i>								
17/05/98	1	- 1,0	2,220	7,06	19,5	4,40	56,4	5,2
		- 15,0	2,450	7,15	18,1	7,15	80,3	6,2
21/05/98	2	- 1,0	2,130	7,04	17,8	2,94	33,3	6,3
		- 2,5	2,130	7,08	17,3	2,54	27,4	6,6
21/05/98	3	- 1,0	2,990	7,10	17,7	4,57	42,9	6,8
		- 2,3	2,990	7,11	17,7	4,18	45,5	7,1
<i>Amont retenue</i>								
16/05/98	4 Marnes	- 1,0	8,300	7,02	17,0	6,45	66,5	10,65
		- 4,0	-	-	-	-	-	-
16/05/98	5 Barre calcaire	- 1,0	2,240	6,98	20,0	3,80	42,5	6,2
		- 4,5	-	-	-	-	-	-
16/05/98	6 El Aafou	- 1,0	1,212	7,34	16,1	2,60	26,7	4,5
23/05/98	7 Souk	- 1,0	3,240	7,13	19,3	7,48	84,8	5,3
		- 5,5	3,250	7,10	18,1	6,92	78,1	5,0
16/05/98	8 Fontaine	- 1,0	0,753	7,61	21,7	8,75	108,0	3,7
21/05/98	9 Tête BV	- 1,0	3,230	7,26	17,1	5,56	62,1	6,9
		- 8,3	3,230	7,30	17,2	7,54	83,2	6,0
<i>En dehors du BV</i>								
17/05/98	10 Bou Haleb	- 1,0	4,180	7,23	18,4	5,51	65,7	5,6
22/05/98	11 Larbi	- 1,0	0,833	7,26	17,0	3,30	37,2	6,5
		- 4,0	0,835	7,25	16,8	3,74	39,8	5,7

3. Caractéristiques chimiques des eaux de lacs collinaires en Tunisie centrale

(mesures sur échantillons non filtrés)

Date	Lac	CE _{25°C} (dS m ⁻¹)	pH	T (°C)	O ₂ dissout		TAC (mmol _c L ⁻¹)		
					(mg L ⁻¹)	(%)			
14/05/98	El Gouazine	1	0,859	10,13	28,7	12,28	161,8	2	
		2	0,878	9,93	29,2	9,05	122,8	1,9	
15/05/98	Fidh Ali	5,510	9,73	27,5	9,50	132,0	1		
19/05/98	Kamech	0,891	8,70	21,4	8,30	92,2	2		
		Sbahia	1,531	9,43	23,0	9,45	105,0	0,65	
20/05/98	M'Richet el Anze	0,296	10,16	23,8	11,59	155,2	1,3		
		M'Hrira	1	0,368	9,92	19,8	9,53	114,5	0,75
			2 (aval)	8,210	9,39	20,8	10,77	124,6	2,50
	Es Senega	0,636	9,42	23,1	10,82	132,9	0,95		

CE conductivité électrique

TAC titre alcalimétrique complet

Les recherches en Agro-climatologie dans le programme HYDROMED. (R. Mougou et J.J. Vacher)

Le programme d'agro-climatologie dans le programme Hydromed a pour principaux thèmes scientifiques la valorisation agricole de l'eau et le fonctionnement hydrique du bassin versant.

Pour répondre à ces objectifs notre travail consiste dans une première étape à déterminer les besoins en eau des cultures, à quantifier les ressources disponibles et à évaluer ainsi, selon les principaux systèmes de cultures adoptés par les agriculteurs, les périodes et les intensités des déficits hydriques. La stratégie suivie dans notre étude se base sur deux approches, à savoir, une approche régionale et une approche locale.

1 - Approche régionale - La caractérisation agro-climatique de la zone d'étude

La caractérisation agro-climatique régionale de la zone d'étude se base d'une part sur l'analyse fréquentielle des précipitations et de la demande climatique (ETP) et d'autre part sur l'élaboration d'un modèle simple de bilan hydrique.

Les stations qui seront à la base de cette étude climatique sont : Kélibia, Kairouan, Makthar, Thala, Kasserine, Siliana et Zaghouan. Elles sont gérées par l'Institut National de Météorologie. Les données quotidiennes de ces sept stations sur une période de plus de 20 ans sont actuellement disponibles sur support informatique. La détermination de l'évapotranspiration potentielle se base sur la formule de Penman-Monteith, reconnue comme étant la plus fiable mais nécessitant de nombreuses données d'entrées, à savoir le rayonnement global, l'humidité de l'air, la température de l'air, la vitesse du vent ; pour les stations ne disposant pas de toutes les données utilisées par la formule de Penman, nous opterons pour des formules plus simples, établies pour la Tunisie ou conçues pour d'autres régions similaires aux nôtres.

L'évaluation des périodes et des intensités des déficits hydriques des cultures dans la zone d'étude se fera à partir d'un modèle simple de simulation du bilan hydrique. Ce modèle que nous avons élaboré présente les caractéristiques générales suivantes :

- le modèle est basé sur le bilan hydrique d'un volume de sol dont les inputs sont la pluie et l'irrigation et les outputs sont l'évapotranspiration du couvert (sol et culture), le drainage et le ruissellement ;
- le modèle utilise des données météorologiques simples et facilement accessibles, elles existent pour les 7 stations sélectionnées;
- les paramètres relatifs aux sols et aux cultures sont simples et ne nécessitent pas de mesures lourdes ;
- le pas de temps utilisé est le jour.

Le modèle fonctionne sur la récurrence de la relation :

$$RH_j = RH_{j-1} + P_j - ET_j - D_j - R_{uj} + \Delta z_{hj}$$

RH_j = réserve hydrique du sol au jour j , RH_{j-1} = réserve $j-1$, P_j = précipitations du jour j ,

ET_j = évapotranspiration du jour j , D_j = drainage du jour j , R_{uj} = ruissellement du jour j

Les données d'entrée du modèle sont les données quotidiennes de précipitations et d'ETP, la réserve maximale et la réserve facilement utilisable du sol, les dates de semis, de récolte et des principales phases de développement de la culture, les coefficients culturaux (k_c) et la profondeur racinaire maximale.

Le modèle a été écrit en Visual Basic.

Le modèle est utilisé dans une première étape pour une culture de gazon pour l'ensemble des 7 stations afin de déterminer les différences dues au climat puis dans une deuxième étape il sera utilisé pour les principales cultures pluviales et irriguées de la zone d'étude.

Par une étude bibliographique des travaux de recherche menés en Tunisie et des documents techniques de vulgarisation, nous avons défini les caractéristiques de développement et de calendrier agricole des principales cultures de la région.

Ce modèle fonctionnera à partir des données quotidiennes relatives à 20 années de mesure, il nous permettra de déterminer au pas de temps choisi la fréquence et l'intensité des déficits hydriques.

2 - Approche locale

Les résultats obtenus par l'approche régionale sur les disponibilités hydriques et sur les besoins en eau des cultures sont notre point de départ de l'approche locale qui se fait suivant deux analyses, une analyse en terme de production et une analyse en terme de stratégie paysanne face à l'irrigation.

2.1 - Analyse en terme de production.

Il s'agit à ce niveau de considérer, dans notre analyse de la valorisation agricole de l'eau des lacs collinaires, la culture non seulement comme un élément déterminant du bilan hydrique mais aussi en terme de production agricole.

Comme nous l'avons indiqué dans le rapport précédent nous utilisons le modèle STICS développé par l'INRA. Ce modèle, résultat de la collaboration entre agronomes, pédologues, bio-climatologues et éco-physiologues, a été conçu sous la forme de 3 sous modules, un module de bilan hydrique, un module de bilan de carbone et un module de bilan d'azote, il permet de connaître entre autres le fonctionnement et le développement des cultures en conditions de déficit hydrique.

Le modèle devra être calibré pour les conditions tunisiennes. L'équipe de chercheurs de l'INRA qui l'a conçu souhaite qu'un calibrage se fasse dans des conditions hydriques très limitantes à partir d'expérimentations tunisiennes. Pour cela nous bénéficions de la collaboration de K. Latiri-Souki, maître de recherche agronome à l'INRGREF et spécialiste du développement et de la modélisation du blé, qui teste actuellement STICS pour les céréales.

Pour cette calibration, en complément des données existantes, nous avons dans le cas de l'analyse du bilan des bassins versants installé dans deux sites contrastés de la zone d'étude, le lac de Kamech (Cap Bon) et le lac d'El Gouazine (Ousseltia) deux expérimentations (sur des parcelles agriculteurs) avec des mesures précises de l'évapotranspiration et du développement du blé en conditions paysannes. Ces expérimentations comprennent principalement l'installation de stations micro-météorologiques complètes et la mesure de l'évapotranspiration des cultures par la méthode du rapport de Bowen. Ces stations acquises par l'ORSTOM - IRD comprennent des boîtes d'acquisition Campbell, des pyranomètres, des bilans-mètres, des thermocouples pour les mesures de l'air à différentes hauteurs et sur la plante, des sondes de température pour la mesure de la température du sol, des flux-mètres, des anémomètres, des girouettes, des pompes et des capteurs d'humidité de l'air pour des mesures de la pression de vapeur d'eau à différentes hauteurs au dessus de la culture.

Les mesures de ces variables sont effectuées toutes les 15 secondes avec des moyennes toutes les 30 minutes. Ces informations permettent de suivre de façon très précise les transferts hydriques dans le système sol - végétation - atmosphère.

2.2 - Une analyse en terme de stratégie de l'exploitation agricole.

L'analyse de la gestion actuelle de l'eau des lacs collinaires pour l'irrigation par les agriculteurs est absolument indispensable à toute étude sur la valorisation agricole des lacs collinaires. Pour cela, en complément des études globales réalisées par les chercheurs économistes, nous avons entrepris pour la saison estivale 98 une analyse des règles de gestion de l'eau par les agriculteurs. Ce travail a été réalisé par un étudiant agronome Charles Pernin de l'INA-PG de France. La gestion de l'eau par douze agriculteurs de 3 zones très différentes a été suivie par des enquêtes et des mesures directes d'apport d'eau à la parcelle. Les techniques d'irrigation, les apports d'eau et les règles de décision ont pu ainsi être analysées. Ces données nous ont permis en collaboration avec nos collègues hydrologues de coupler un modèle de remplissage de lacs selon différentes probabilités à un modèle de besoins en eau d'irrigation selon différents scénarios des paysans (cultures maraîchères industrielles, cultures traditionnelles,...) et dans différents contextes climatiques.

3 - Le fonctionnement hydrique du bassin versant

L'étude du fonctionnement hydrique du bassin versant se réalise en étroite collaboration avec les pédologues et les hydrologues de l'ORSTOM et de l'INRGREF. Les conditions climatiques très particulières des deux sites pilotes de Kamech (pluviométrie moyenne de 500 mm, avec un vent permanent et intense et une forte humidité de l'air) et d'El Gouazine (300 mm de pluviométrie moyenne, avec des pluies très irrégulières et un air sec) nous ont conduit à une nécessaire détermination de l'évapotranspiration des cultures dans ces deux bassins versants et donc à l'installation comme nous l'avons vu précédemment de deux stations micro-météorologiques. Ces mesures et le calage des modèles de bilan hydrique ainsi que les données d'occupation des terres et des caractéristiques pédologiques et topographiques des parcelles (avec des SIG) nous permettront une estimation sur l'ensemble du bassin versant des flux hydriques entre les cultures et l'atmosphère.

4 - Collaborations

Les recherches en agro-climatologie du programme Hydromed bénéficient de la collaboration étroite de l'unité de bioclimatologie de Grignon de l'INRA et en particulier de l'équipe de Pierre Cellier.

Au cours de la Mission qu'il a entrepris en Tunisie dans le cadre du projet, du 8 au 13 juin, les termes de la collaboration et la démarche méthodologique des travaux qui seront entrepris dans le cadre du programme ont été précisés.

Durant sa mission en Tunisie, du 7 au 12 décembre et dans le cadre du même programme, Brigitte Durand, de la même unité de Grignon, a participé à la mise en place de l'expérimentation et à l'installation des stations Campbell.

5 - Bibliographie

Pernin Charles, 1998. Règles de gestion de l'eau d'irrigation des lacs collinaires tunisiens. Rapport IRD/INAPG. 65 p.

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

Usage de la ressource (Salah SELMI)

1. Introduction

Rappelons que l'action 3 du programme Hydromed : Agro-économie - Gestion sociale de l'eau et de l'érosion a pour objectifs, à l'échelle régionale (Tunisie, Syrie, Liban et Maroc), d'analyser la très forte diversité des lacs collinaires, les différents modes d'utilisation et de gestion de l'eau et les problèmes de relations sociales qui en découlent.

A l'échelle des sites pilotes, trois activités sont développées :

- Aspects sociologiques de l'érosion / lutte anti-érosive. Identification de la position des paysans / éleveurs vis à vis de l'environnement, de l'érosion et des méthodes anti-érosives.
- Analyse des nouvelles pratiques économiques introduites dans les systèmes de production traditionnels. Etude des stratégies traditionnelles et modernes de la gestion de l'eau autour du lac collinaire. Analyse de l'évolution des systèmes de production avec l'introduction de l'irrigation, de la pisciculture ou d'autres activités économiques annexes.
- Rôle des différents acteurs économiques dans la conception, la réalisation et la gestion du lac collinaire et des aménagements annexes du bassin versant.

2. Méthodologie de recherche mise en œuvre

En Tunisie, les caractérisations socio-économiques reposent sur des données obtenues par enquête auprès des collectivités locales et des paysans riverains des lacs et irriguants potentiels.

Sur les sites pilotes, l'analyse du fonctionnement agro-économique des unités de production, plus ou moins directement concernées par l'aménagement, utilise les méthodes d'observations de l'agro-économie en milieu paysan. La mise en relation entre des informations agro-économiques et des informations hydrologiques autour du thème de la gestion de l'eau permet de coupler des modèles hydrologiques de lac avec des modèles agro-socio-économiques de gestion de l'eau (Selmi, 1998).

2.1. Enquête et choix des sites pilotes

Cette enquête, préalable au programme Hydromed, a été faite dans le cadre de la thèse de doctorat de Salah SELMI, soutenue en juillet 1996 (Cf. bibliographie). Elle a porté sur une cinquantaine de lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Les résultats de ce travail ont été les suivants :

- Etude typologique pour réduire la diversité des aménagements et des systèmes de production agricole,
- Analyse des systèmes de production et des comportements des acteurs autour des lacs.

Dans le cadre d'Hydromed, on a choisi cinq sites pilotes assez représentatifs de la zone semi-aride puisque chacun représente une classe des lacs préalablement étudiés.

2.2. Analyse de fonctionnement des unités de production agricole des sites pilotes

Un historique de la mise en valeur des ressources et des aménagements hydro-agricoles est réalisé. Les systèmes d'exploitation des ressources et leurs évolutions, et l'introduction de l'irrigation dans les systèmes de production ont été analysés pour les cinq sites pilotes (Selmi, 1998 et Trabelsi, Selmi et Ben Allaya, 1998). La caractérisation générale des ouvrages et des aménagements d'eau repose sur des données obtenues par enquête auprès des collectivités locales et des paysans.

2.3. Etude des stratégies et modèles de comportement des usagers de l'eau autour des sites pilotes

Cette phase d'étude s'est proposée de s'en tenir aux méthodes de recherche suivantes :

- Une enquête approfondie est menée au niveau des usagers des ressources. L'objectif est d'analyser les décisions des agriculteurs et éleveurs et le fonctionnement des unités de production (analyse des systèmes de production).
- Une enquête d'opinion au moyen de divers entretiens répétitifs avec les membres des associations d'eau et les représentants des collectivités locales vise une analyse au niveau institutionnel des formes de gestion des ressources disponibles : principes du partage des ressources et de gestion collective.
- L'entreprise d'un observatoire (un suivi quotidien et hebdomadaire) des activités des usagers des ressources pour les trois sites « pilotes » les plus exploités. Cet observatoire est fonctionnel depuis avril 1997 et porte sur 8 exploitations agricole à Es Sénéga, 5 exploitations agricoles à El Gouazine et 3 agriculteurs à Kamech.

3. Résultats et perspectives

Les résultats sont classés selon trois thématiques : Etude des environnements technique et politique et des milieux socio-économiques des lacs collinaires en Tunisie, Systèmes de production agricole et enfin usage de l'eau et aspects institutionnels liés au lac collinaire comme une composante intégrée d'un bassin versant aménagé en travaux CES.

3.1. Etude des environnements technique et politique des lacs collinaires

Deux communications, un article et un document collectif (présenté dans le rapport précédent) représentent les résultats de la recherche dans cette thématique

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 le 10-11-12 avril 1997.

Cette communication a pour objectif de retracer l'évolution de la politique de conservation des ressources naturelles et de lutte anti-érosive en Tunisie. Les lacs collinaires constituent une composante récemment introduite (1990) dans les plans d'action de CES. Deux principales conclusions ont été dégagées :

L'eau et le sol sont deux ressources précieuses dont dépend le développement économique et social du pays. A travers l'histoire, des techniques ont été inventées et des moyens humains et matériels ont été déployés pour lutter contre le phénomène de l'érosion principal agent de destruction des sols et mobiliser la plus grande quantité d'eau provenant de diverses origines.

Ces investissements ont été très fluctuants dans l'espace et dans le temps et on ne peut parler de politique volontariste de gestion du patrimoine eau et sols qu'après l'indépendance du pays. Actuellement, les efforts de l'Etat et des paysans sont considérables pour réduire les conséquences de l'érosion et collecter le maximum d'eau.

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

Résumé : Les zones collinaires semi-arides tunisiennes, allant de Bizerte, Béja et Nabeul au nord à Kasserine et Sfax au sud, couvrent environ la moitié de la surface du pays. Bien que la

variabilité des potentialités naturelles soit forte entre les régions, tous les endroits où sont localisés les lacs collinaires présentent relativement les mêmes caractéristiques d'état de développement : conditions naturelles contraignantes, économie pauvre et handicaps socio-institutionnels. L'intensification par l'irrigation à partir des retenues et lacs collinaires, seul moyen de stockage des eaux de ruissellement, peut constituer un levier important pour le développement de ces zones déshéritées. Cette étude basée sur une analyse des statistiques générales et des enquêtes de terrain fait d'une part le point sur les blocages au développement de ces zones, elle discute d'autre part les possibilités de valoriser au mieux les investissements étatiques coûteux en matière de mobilisation des ressources naturelles.

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, 26 et 27 mars 1997.

Résumé : Dans la zone semi-aride où l'eau est une ressource rare, les lacs collinaires constituent souvent un moyen presque unique de mobilisation et de conservation des ressources. La justification économique de cet aménagement de développement réside essentiellement dans les avantages sociaux offerts à un nombre relativement élevé de paysans pauvres : points d'eau de proximité et de grande accessibilité pour différents usages et amélioration des conditions de vie. Le problème de la faible rentabilité d'un lac se trouve alors déplacé vers la problématique du choix du site. La spécification et l'hierarchisation des objectifs et le ciblage des populations locales constituent - elles des garanties pour la rentabilisation économique des lacs collinaires?.

3.2. Usage et aspects institutionnels de l'eau des lacs collinaires :

Un article a été publié dans la revue SECHERESSE et porte sur une analyse comparative des associations de gestions collective de l'eau d'irrigation à partir des lacs collinaires, des oasis et des forages.

SELMI (S.), SAI (M.B.), 1998.- La gestion collective de l'eau d'irrigation en Tunisie : particularités des AIC des oasis. In. Sécheresse (Numéro spécial Oasis) 1998; 9 (2) : pp. 111-115.

Une communication à caractère général, publiée, présente la diversité et la problématique de la gestion collective des lacs collinaires tunisiens.

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.

Les deux communications suivantes ont été présentées dans le colloque de la SFER : Irrigation et gestion collective de l'eau en France et dans le Monde, Montpellier - Agropolis, 19-20 novembre 1998. Elles sont soumises pour publication, respectivement à la revue d'Economie Rurale (SFER) et la revue Terroir en Mutation.

SELMI (S.), ALBERGEL (J.), NASRI (S.), 1998.- Quelques outils de gestion pour une allocation optimale d'une ressource aléatoire. In. Colloque SFER / Irrigation et gestion collective de l'eau en France et dans le Monde, Montpellier - Agropolis, 19-20 novembre 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.

3.3. Systèmes de production agricole

L'étude des systèmes de production des exploitations autour des lacs collinaires choisis comme sites pilotes devrait être basée sur les données d'observation des unités de

production. L'objectif de cette recherche peut se résumer dans l'étude de l'impact des irrigations à partir des retenues collinaires sur les revenus agricoles. Il s'agit de calculer et évaluer les marges brutes et prix de revient des cultures irriguées introduites et leurs parts dans la formation du revenu agricole.

Une partie de l'information a été exploitée en commun dans le rapport de stage de Mlle. TRABELSI Yamina. Ce travail a, seulement, porté sur le diagnostic de quelques exploitations agricoles des trois sites pilotes les plus exploités.

L'analyse approfondie des systèmes de productions et des revenus agricoles nécessite au moins un suivi des résultats de deux campagnes agricoles. La campagne agricole en Tunisie est composée d'une saison estivale et une saison d'hiver. Les observations sur les sites pilotes ont commencé en avril 1997. Actuellement, nous disposons de l'information sur trois saisons c'est à dire la campagne agricole 1997/1998 et la moitié de la campagne 1998/1999.

Cette recherche sur l'étude de l'impact des usages de l'eau sur le développement agricole est une composante importante du programme Hydromed. Ses résultats sont bénéfiques, ils permettent de :

- conclure sur la rentabilité socio-économique des lacs collinaires,
- créer des outils d'aide à la décision des exploitations agricoles,
- comprendre les comportements et stratégies des différents acteurs agissant sur l'environnement lac collinaire,
- expliquer les voies d'évolution et de transformation des unités de production,
- constituer un réseau de sites de démonstration et de vulgarisation-information.

Les résultats scientifiques : articles, mémoires de fin d'études feront l'objet d'une diffusion sur tous les partenaires d'Hydromed. Une première conséquence de cette ouverture sur les autres pays membres a consisté à un essai de transposition des outils de suivi et d'enquêtes sur le lac Syndiana de la Syrie.

Les perspectives de cette recherche consiste à :

- un commencement de dépouillement des résultats d'enquêtes et d'observation,
- un engagement de l'étudiante Yamina TRABELSI de l'Ecole supérieure d'Agriculture de Mograne de continuer sur cette thématique en effectuant son mémoire d'ingénieur sur le sujet suivant : 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. Elle utilisera sous la supervision de l'équipe Hydromed quelques résultats des observations des unités de production agricoles des trois sites pilotes. Dr. Salah SELMI assurera son encadrement scientifique.

ANNEXE 2: RAPPORT D'AVANCEMENT IAV HYDROMED AU MAROC PROJET HYDROMED-MAROC (ABDELAZIZ MERZOUK & MOHAMED MEJJATI ALAMI)

RAPPORT SCIENTIFIQUE RESUMÉ 1998

Activités :

1. L'équipe de chercheurs poursuit la collecte et l'exploitation des données de la station SABOUN. Deux étudiants de 3^{ème}, Chikhaoui Mohammed et Benyounes Abdellaoui ont suivi le bilan hydrologique au niveau du barrage pour l'année hydrologique 1997-98. Deux études ont été menées en parallèle par des mémorisants de 3^{ème} cycle (ENFI) sur les aspects de caractérisation des états de surface et de suivi de l'humidité des sols du bassin versant Saboun.
2. Des campagnes de prospections de terrain ont été menées dans le bassin versant afin d'étudier et d'établir :
 - les caractères morphologiques (paramètres morphométriques, MNT, ...)
 - les caractères pédologiques (profils types, état de surface, test d'infiltration ...)
 - la carte d'occupation du sol (établie à partir des photos aériennes 96, Images Spot 97 et 98). Ce travail de télédétection vise l'évaluation de l'apport des images spatiales à très haute résolution (SPOT3 et SPOT4) et des orthophotographies à l'évaluation des états de surface en relation avec le potentiel de ruissellement et d'érosion au niveau des petits bassins versants.
 - les caractéristiques hydrodynamiques des sols (Infiltration, rétention, ...)
 - les données de terrain nécessaires à la modélisation du fonctionnement hydrologique et des processus érosifs en utilisant soit l'équation de pertes en sol révisée (MUSLE,) ou le modèle Mina (Gommer, 1998, édition sous Windows 95).
3. Le simulateur de pluie (1 m²) de l'IAV a été reconstruit et équipé d'une pompe avec groupe électrogène. Les premiers tests ont été réalisés lors de la visite de nos partenaires de l'IRD-ORSTOM- Montpellier (Dr Roose et Dr Denoni) en février 1998 qui ont fait des démonstrations sur le site avec leur mini-simulateur de pluie. Ce dernier se distingue par sa simplicité et son apport à la caractérisation des ouvertures du sol et des processus d'infiltration. L'équipe est actuellement sur le terrain afin de procéder au test d'infiltration et de déterminer le détachement du sol, afin d'aboutir à une caractérisation plus fine du comportement hydrodynamique de la surface du bassin versant.
4. La mission du Dr Félix Moreno (IRNAS, Espagne) a permis aux chercheurs marocains d'enrichir leur expérience en méthodologie de caractérisation physique des sols et ce par l'utilisation du disque-Infiltromètre pour étudier les propriétés hydrauliques des sols. Dr Moreno a bien voulu envoyer une copie de cet Infiltromètre à l'équipe marocaine.
5. Les activités du groupe Hydromed ont intéressé les applications des systèmes d'information à référence spatiale (SIRS ou SIG). Il s'agit de développement d'outils d'aide à la prise de décision en terme d'aménagement de l'Hydroystème (*Bassin versant - retenue du barrage collinaire et le périmètre en aval*). L'équipe a continué à compléter la base de données sur les lacs et barrages collinaires existants. Le SIG informatisé gère actuellement l'emplacement et la note de présentation de chaque ouvrage. Développé sur le Système canadien de SIG PAMAP, le SIG barrages et lacs collines (SIGBLC-Maroc) visualise la répartition du parc national de ces ouvrages .

6. En collaboration avec le Département du Génie rural de l'IAV, l'équipe Hydromed a encadré une étudiante de 3^{ème} cycle dans son travail de développement d'un prototype de SIG pour la gestion de la pollution agricole des eaux de la retenue du barrage Sahla (Rif, Maroc). Cet effort de développement d'outil de gestion de l'information sur les ressources et processus de dégradation continue cette année avec le travail d'Annick Jalade (Génie rural) sur la région du site Saboun (voir liste de publications et mémoires).
7. Le suivi de la qualité des eaux du barrage Saboun continue avec une amélioration des conditions de prélèvement et de conservation des échantillons d'eau avant leur analyse au Laboratoire. Pour plus de rapidité et afin de toucher plusieurs lacs et barrages collinaires dans des régions physiographiques différentes, le projet s'équipe cette année de sondes de terrain pour le suivi de la qualité des eaux (pH, CE, Oxygène dissout, etc.).
8. L'Equipe Hydromed a beaucoup investi cette année dans la modélisation des processus d'écoulement de surface et de production en sédiments au niveau de petits bassins versants. Le travail de thèses de Doctorat de Benyounes portant sur l'adaptation de modèles semi-physiques tel celui de Gommer développé en Algérie (Modèle Oued Mina) commence à donner des résultats. La visite de trois jours au Laboratoire du Dr Gommer (Allemagne F.) a permis à Benyounes de mieux raisonner l'adaptation de ce modèle aux conditions du petit bassin Saboun. Dr Gommer a livré au Laboratoire une version récente du modèle sous Windows 95.
9. L'étudiant Hicham Ezzine (6^{ème} année Sciences du sol) a travaillé sur l'adaptation des modèles ImpelEro et de l'Equation Universelle de pertes en sol révisée par Renard (RUSLE). Le Laboratoire a eu aussi la chance de recevoir en Novembre 1998, Dr Kent Renard (Université d'Arizona, USA) qui a pu animer une conférence sur son modèle et les chances de son adaptation pour les conditions marocaines. Dr RENARD a aussi, à HYDROMED, une version récente de son modèle et une documentation qui l'accompagne.
10. En fin, Hydromed a pu organiser quelques conférences pour la diffusion des résultats et l'échange d'expériences. La dernière a eu lieu en novembre sur l'Apport de l'information spatiale et du SIG dans l'étude des bassins versants, animée par Pr. Merzouk, Pr. Chevalier (invité de l'Université Laval, Canada et Pr. Caloz de l'EPFL, Suisse). Hydromed a pu tisser des liens de collaboration avec des universités marocaines. La Faculté des Sciences et Techniques (FST) de Tanger utilise déjà la Station Saboun comme site pédagogique pour la formation de ses étudiants en hydrologie.

Résultats :

11. Les premiers résultats montrent que les averses au Tangérois sont de faible durée et de forte intensité., ce qui leur donnent une forte agressivité. L'écoulement est principalement de surface donc en conformité avec la nature marneuse de la roche mère. Il est essentiellement lié aux précipitations. La dégradation spécifique des sols du bassin versant Saboun a été évaluée à 91 T/ha/an pour l'ensemble des averses observées durant la campagne 97/98. Le bassin versant a été assez bien étudié pour ses ressources en sols et en eau. En plus des résultats scientifiques, les activités d'Hydromed ont intéressé directement les gestionnaires des ressources en eaux du Tangérois, avec qui, il y a échange de données. La formation pratique des chercheurs et des ingénieurs pédologues et hydrologues représente un résultat très marqué du projet.

Activités programmées pour l'année 1999

12. L'équipe Hydromed a entamé son programme 1999 assez chargé et comprend les activités suivantes :

- Améliorer la connaissance des paramètres du bilan (utilisation, fuites).
- Comprendre l'origine du ruissellement et de l'érosion sur les fortes pentes.
- Augmenter la compréhension des processus liés à l'écoulement.
- Appréhender les problèmes liés à l'utilisation de l'eau du barrage. Faire des enquêtes et concevoir un système d'information géographique pour la gestion des eaux.
- Affiner l'étude de la qualité des eaux et risques de dégradation.
- Développer des outils d'aide à la prise de décision basé sur le SIG et les modèles empiriques.
- Organiser l'Atelier de RABAT vers juin 1999.
- Diffuser les résultats et l'expérience d'HYDROMED au cours des rencontres scientifiques au niveau national et international.

Rencontres et visites

13. Visite de nos collaborateurs de l'IRNAS Dr Moreno et Pr De la Rosa (13-18 mars 98) Présentation du programme d'évaluation des terres de la région méditerranéenne (MicroLeis), développé par les chercheurs espagnols pour le compte de la Communauté Européenne. Ce programme semble s'adapter aux conditions marocaines et donne des résultats assez probants (voir mémoire de Hicham Ezzine).

14. Visite de nos collaborateurs de l'ORSTOM Dr Roose et Mr Dononi. Ils ont participé à notre mission de collecte des données relatives à la caractérisation du bassin versant (Etats de surface, profils pédologiques, test des différents simulateurs, infiltration, spectroradiométrie des végétaux...).

15. Participation à la réunion de Lund (juin-juillet 98). Pr Merzouk a fait une présentation sur le thème : Impact des mutations de l'occupation du sol des bassins versants sur l'envasement des barrages: les besoins en outils.

16. Stage d'un mois avec les chercheurs de l'ORSTOM-Tunis de l'étudiant Chikhaoui Mohamed, pour améliorer sa connaissance sur l'exploitation des données de la station hydrométrique et sur l'étude de l'envasement.

Publications

1998. Abdelaziz Merzouk et Hassan Dhman. Shifting landuse and its implication on sediment yield in the Rif Mountains (Morocco). *Advances in Geoecology* N°31, , pp.333-340.

1998 : Abdelaziz Merzouk. Land use transformation impact on reservoir siltation in Morocco : the need for better assessment tools. Expert Meeting Hydromed on Rain Water Harvesting and Management of Small Reservoirs in arid and semi-arid areas. Lund university, 26 juin- 1^{er} juillet, Lund, Suède, 6 pages (Actes en préparation par l'Université de Lund).

1998: Rachida Houssa, Abdelaziz Merzouk, Benyounes Abdellaoui et M'hamed Aberkan. 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*: Edit. Jean-Marie M. Dubois, Monique Bernier, Jean-Pierre Fortin, Agence Universitaire de la Francophonie, Montréal, Québec, pp. 319-328.

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, 6 pages.

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. (soumis le 30/11/98 et accepté):

Abdelaziz Merzouk, Mohammed Cherkaoui 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. (soumis le 30/11/98).

Mémoires et thèses

BELMAMOUN, Mounia : 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, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 1997. 70 p.*

EL OUAZANI Amal : 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, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 1997 50 p.*

MOATAMID Zakariat : Modélisation de l'écoulement et de l'érosion dans le bassin versant mameux Khadra (Rif Occidental). *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc 1997 . 56p + Annexe*

KOURAIMI, Kacem : Cartographie et analyse de la production pastorale et ligneuse du matorral dans le Rif occidental . *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.1997. 104p+annexes.*

HICHAM Ezzine : Comparaison de trois modèles d'érosion en utilisant les techniques Géomatiques et SIG. *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc.1998. 65p.*

SIDQUI Myriam : 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'études d'ingénieur, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat,Maroc.1998. 148p.*

CHIKHAOUI, Mohamed : Fonctionnement hydrologique et risque d'envasement de barrage Saboun (Tangerois) *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat. 1998. 65p*

CHALRHAMI, Hmrad: 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'études d'ingénieur, Ecole nationale des ingénieurs forestiers, Rabat. 1998. 70p*

El HAMMOUDI, Azzédine (en cours) : Utilisation de SIG pour l'évaluation 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 (en cours) : 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, école polytechnique de Lausanne, Suisse.*

MOUSSADEK, Rachid (en cours) : Fonctionnement hydrologique et risque d'envasement de barrage Saboun (Tangerois) *Mémoire de fin d'études d'ingénieur, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat*

Rabat, le 05/01/199

Pr. Abdelaziz Merzouk et Pr. Mejjati Alami Mohammed

ANNEXE 3 : RAPPORT D'AVANCEMENT ACSAD HYDROMED EN SYRIE ET AU LIBAN (JEAN KHOURI, ABDALAH DROUBI)

1 - Introduction

Le projet de coopération EU-INCO, HYDROMED, programme de Recherche sur les Lacs Collinaires dans la zone semi-aride du Pourtour Méditerranéen a été lancé fin 1996. Quatre partenaires européens : Angleterre, Espagne, France et Suède, et quatre partenaires du sud : Liban, Maroc, Tunisie, Syrie sont impliqués dans ce programme. L'ORSTOM à Tunis, Joue le rôle de coordinateur général du projet.

L'objectif principal du projet est d'étudier la durabilité et l'efficacité des lacs collinaires face aux nombreuses conditions qui vont du choix du site à la participation des acteurs locaux aux projets.

L'ACSAD a comme mission de coordonner et superviser les actions du projet en Syrie et au Liban, en vue :

- d'approfondir la connaissance sur le calcul du bilan hydrologique des petits bassins versants,
- d'assurer une meilleure gestion des ressources en eau des petits bassins versants,
- d'introduire pour la première fois dans ces pays la notion d'étude socio-économique dans la gestion et l'utilisation des ressources en eau.

Pour se faire l'ACSAD a entamé plusieurs activités décrites ci-dessous.

2 - Les activités

2 - 1 Analyse des données hydrologiques et climatologiques collectées :

Les activités de cette deuxième année du projet se sont concentrées sur l'analyse des premières données collectées à partir de l'équipement automatique installé sur le lac Syndianeh en Syrie . Ces données concernent la pluviométrie, l'évaporation, l'apport au lac par l'eau du ruissellement. Sur le deuxième site, Tel Kalakh les données sont enregistrées manuellement.

Pour le traitement de ces données, les logiciels fournis par l'ORSTOM, HYDROM et PLUVIOM ont été installés sur les P.C., du Ministère de l'Irrigation. Direction des barrages en Syrie et à l'ACSAD. Ces logiciels aident au traitement des données pluviométriques et analyse des orages, un premier bilan des données acquises est réalisé sur le lac Syndianeh. Le résultat prouve que les données sont d'excellente qualité. A partir de cette analyse préliminaire, un taux de ruissellement a été estimé pour le bassin versant. Une relation entre la pluie, l'apport au lac et le déversoir pour un orage a été modelé. Le résultat a montré une excellente coïncidence entre le calcul et l'observation du terrain.

2 - 2 Cartographie des bassins versants :

Un essai de cartographie du bassin Syndianeh a été réalisé. Une carte d'altitude et un modèle numérique de terrain ont été produits pour ce bassin. Un autre essai sera réalisé pour le bassin Tell Kalakh en Syrie. Une carte d'occupation du sol a été produite pour le site Syndianeh.

L'ACSAD a exprimé le souhait à l'ORSTOM à Tunis de déléguer un expert de l'ORSTOM à Damas pour essayer d'utiliser la méthode TDR (Time Domain Reflectometry) pour la caractérisation

hydrodynamique des sols sur le site Syndianeh. L'application d'une telle technologie serait une première de ce genre en Syrie et au Liban. Nous souhaitons réaliser cette expérience début 1999.

2 - 3 Mesure d'envasement des lacs :

Un premier essai des mesures d'envasement par topographie et bathymétrie a été réalisé fin 1997. Or cet essai a été incomplet. Un deuxième essai plus complet a été réalisé dernièrement sur le lac Syndianeh. Nous procédons actuellement au calcul du volume de sédiments dans ce lac. La même opération sera répétée pour le lac Tell Kallak.

3 - Usage de l'eau

Une étude de la gestion de l'eau, du choix des cultures irriguées en fonction du développement économique de la région du site Syndianeh apparaît d'un grand intérêt. Cette approche n'a jamais été utilisée en Syrie. Pour cela, une pré-enquête a été menée par Dr. Selmi de ORSTOM - Tunis, lors de la tournée de terrain conduite à la fin de la deuxième réunion de coordination, tenue à Damas au mois d'avril dernier. Une mission spécifique à cet aspect a été demandée à l'ORSTOM. Pour cela Dr. Selmi a préparé les fiches d'enquêtes en langue Arabe. Une mission est prévue pour lui début 1999.

4 - Relation eaux de surface - eaux souterraines

Vue le type de terrain sur lequel le site Syndianeh a été construit, terrain basaltique, les eaux souterraines manquent dans la région. Aucun forage n'a été observé en amont ou en aval du lac. Ceci ne permettra pas d'étudier l'interférence entre l'eau du lac et les eaux souterraines.

Mais pour la qualité de l'eau dans le lac Syndianeh, l'eau est très bonne et n'est pas polluée. Au contraire du lac Tell Kalakh où des eaux d'assainissement de certaines maisons du village à côté sont jetées dans lac.

5 - Action de formation

En vue de familiariser les cadres de l'ACSAD et du Ministère de l'Irrigation syrien avec les mesures expérimentales de suivi hydrologique d'un petit barrage, la gestion des données, traitement et exploitation, un stage de formation pour trois ingénieurs M. Yasser Ibrahim, ACSAD, M. Al Souki, Mlle Al.Khayats, a été monté à l'ORSTOM à Tunis. Ceci a fait suite à la demande formulée par l'ACSAD à la direction générale de l'ORSTOM, qui a bien accepté de prendre en charge le financement de cette action. Ce stage s'est déroulé du 7 au 29 mars 1998.

Une mission d'expertise a été effectuée par Dr. Ragab Ragab de l'IH dont l'objectif a été de prendre contacts avec les partenaires de l'ACSAD et visiter les sites en Syrie et au Liban. Cette mission a permis aux cadres de l'ACSAD et des Syriens de prendre connaissance avec la modélisation hydrologique des lacs collinaires. Un exposé sur cette méthodologie a été donnée par Dr. Ragab .

Une mission d'expertise de l'ORSTOM menée par MM. Yannick Pépin et Ben Younes a été effectuée à Damas du 8 au 17 décembre. Cette mission a permis aux ingénieurs de l'ACSAD et du Ministère de l'Irrigation Syrien d'approfondir leurs connaissances sur les logiciels fournis par l'ORSTOM pour le calcul du bilan hydrologique et l'établissement d'une banque de données hydrologiques.

Le Professeur Berndtsson de l'Université de Lund a répondu positivement à la demande de l'ACSAD pour prendre son ingénieur M. Yasser IBRAHIM comme étudiant en doctorat. Il a aussi accepté d'aider l'ACSAD pour obtenir des services concernés une bourse d'étude, couvrant ses frais de séjour au Suède. Malheureusement c'est le seul cas de formation de doctorat que

l'ACSAD a réussi d'obtenir . Le volet de recherche sera le bilan et la modélisation hydrologique du barrage Syndianeh.

6 - Activité de Coordination

L'organisation de la deuxième réunion de coordination qui s'est tenue à Damas du 20 au 23 avril 1998.

Plusieurs missions de coordination ont été effectuées au Liban pour planifier les actions à mener dans le cadre du projet au Liban. Des contacts ont été menés avec Dr. Job et Dr. Wagdi Najem de l'université Saint Joseph à Beyrouth pour coordonner certaines actions, voir même déléguer quelques étudiants en DEA pour travailler sur les données des sites pilotes en Syrie et au Liban.

7 - Réunions Scientifiques

Des représentants de l'ACSAD, du Ministère de l'Irrigation Syrien, Ministère des Ressources Hydrauliques et Ministère de l'Agriculture au Liban ont assisté au workshop organisé à Lund au mois de juin 1998. Ce workshop a permis à ces participants de se familiariser avec l'aspect hydrologique des lacs collinaires. Le résultat a été très positif.

8 - Publications

Malheureusement la publication produite reste pour le moment limitée, du fait que c'est un nouveau domaine. A part, les présentations données au cours du workshop de Lund par l'ACSAD (deux présentations sur les premiers résultats obtenues sur le site Syndianeh et une présentation par le représentant du Liban). Ceci est dû essentiellement au manque de bourses pour les étudiants. Nous souhaitons pour l'année prochaine pouvoir surmonter cette difficulté et avoir plus de résultats pour publication.

Finalement un des premiers résultats du projet HYDROMED est l'accord entre les différents partenaires, en particulier : ACSAD, l'ORSTOM et l'Université de Lund de développer la coopération entre eux dans le futur dans le domaine de « wadi hydrology ». Plusieurs idées de coopération scientifique à ce sujet ont été développées. Elles font suite aux résultats et d'expériences acquises à partir d'HYDROMED.

ANNEXE 4 : RAPPORT D'AVANCEMENT LUND (RONNY BERNDTSSON)

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

HYDROMED

State of the art

October, 1998

Ronny Berndtsson

Contents

1. Objectives
2. Activities
3. Expected results
4. Follow up
5. Publications

Appendix

- 1) Literature summary on Macropores and preferential flow by Pernilla Öhrström.
- 2) Literature summary on Solute transport and water content measurements in arid soils using time domain reflectometry by Magnus Persson.
- 3) Program for the Lund seminar: Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas, Lund University, 29 June - 2 July, 1998.

1. 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 second year of the cooperation program (1998) and plans for the third year (1999).

2. Activities

Activities during the second year have to a main part 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 (Olof Tullberg and Ola Palmquist). 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). The purpose of the study was to investigate the effects of heavy rain storms on the clayey soils in the watershed of M'Richet el Anze, Tunisia. The study included an investigation and visualization of preferential flowpaths, different ways to determine the relationship between runoff and infiltration, an approximate measurement of erosion effects, and a discussion according to pollutant transport through the unsaturated zone to the groundwater.

The data of the above field investigation have been used to investigate statistical properties of a conservative tracer through the unsaturated zone. To make a maximum use of the data new researchers have been connected to the study. A new doctoral student (M. Sc. Yuki Umegaki) has been allocated to work with the dye patterns collected in the above field investigation. Also, Assoc. Prof. Hiroshi Yasuda from Tottori University will work with developing a fractal model for the transport of dye through the unsaturated zone.

The undisturbed soil samples (0.25 m in diameter and 0.30 m high) collected from the same places as where dye experiments have been used for tracer experiments of solute transport properties in the laboratory at Lund University. The laboratory experiments take advantage of the newly developed TDR (Time Domain Reflectometry) technique. The laboratory experiments will form the basis for further field experiments planned to be performed during the winter or spring 1999.

During the second year, a Tunisian doctoral student from Inrgref (M. Sc. Slah Nasri) spent approximately two months (February and March, 1998) at the Lund University for work on his doctoral study. As mentioned above, several new researchers have been connected to the Hydromed project. According to this, also a Syrian researcher from Acsad (M. Sc. Ibrahim Yasser) has been accepted as a doctoral student at Lund University. His work will involve hydrology and GIS applications. Finally, a researcher from Orstom (Dr. Nathalie Rahaingomanana) is planning to spend a postdoctoral period at Lund University during 1999.

During a 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 (see Appendix 3). The number of participants of the seminar was about 30 and a proceedings for the presentations are being completed.

3. Expected results

The project is now coming into a mature phase when results are being generated on a large scale. Parts of the Hydromed project results will be within a Swedish doctoral thesis by Magnus Persson during spring 1999. A second doctoral degree is expected by Mr. Slah Nasri from Inrgref. Doctoral degrees are also expected but more distant in the future by Pernilla Somogyi, Ibrahim Yasser, and Yuki Umegaki. Besides these important achievements other research results will be completed and published by senior scientists participating in the Hydromed. The later stages 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 is 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 work shops. 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, Orstom, and Lund University on wadi hydrology.

5. 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., 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), 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.

Planned:

Persson, M., (1999), Solute transport in clayey soils, D. Sc. Thesis, Dep. of Water Resour. Eng., Inst. of Techn., Lund Univ., Lund, (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.).

Somogyi, Berndtsson, Bahri, Albergel, Zante, (1998), Preferential flow as indicated by brilliant blue tracers, experiments in Tunisia, Soil Sci.

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

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.

Appendix 1

Macropores and Preferential Flow

By Pernilla Öhrström

Introduction

In semi-arid countries suffering from water shortage existing water resources must be used sparingly and must be protected against contamination. In these countries agricultural areas are frequently irrigated and fertilizers and pesticides are used widely. During dry periods, shrinkage can cause soils to crack forming large voids. Rainfall or irrigation may then cause rapid transport of solutes in the soil profile through these fissures, known as macropores. This may result in significant losses of water and nutrients for the crops (Kosmas et al., 1991).

Characteristics of macropores

Macropores are known to be important in the movement of water through the soil profile. They are readily visible and may extend without obstruction for several meters (Beven and Germann, 1982). Transport of solutes and pollutants through the macropores is subject only to gravital forces and may be very rapid, whereas movement through the soil matrix is due to both capillary and gravital forces (Germann, 1985). This rapid vertical flow along macropores is referred to as preferential or bypass flow. Two types of macropores can be distinguished: 1) voids that are hydrologically effective in allowing flow to be channeled through the soil and 2) those that are ineffective. The flow and storage of water in any particular void is related to its size and the often-irregular geometry. Macropores can be formed by soil fauna, plant roots, and natural soil pipes created by erosive action of subsurface flows. They can also develop from cracks and fissures caused by shrinkage of clay soils, chemical weathering, thaw cycles or cultivation techniques. In a summary of several authors' definitions of macropores, these voids have a diameter range of

30 to 5000 μm and a capillary potential of -10 to -0.1 kPa (Beven and Germann, 1982). Suggestions have been presented by Luxmoore (1981) that macropores should be defined as voids with a pore diameter of $>1,000 \mu\text{m}$, and a pressure of $>-0.3 \text{ kPa}$. He further suggests that micropores should be defined as voids with a pore diameter of $<10 \mu\text{m}$ and a pressure of $<-30 \text{ kPa}$. Other voids should be referred to as mesopores.

According to Beven and Germann (1982), three stages can be recognized in the process of rainwater infiltration into a soil with macropores. In the first stage, all the water arriving at the surface is absorbed by micropores connected to the surface. In the next stage, the intensity of precipitation overcomes infiltration and surface runoff on a small scale takes place. Water is absorbed into the surface openings of the macropores and micropores simultaneously. Flow down the walls of the voids will start as soon as there is significant flow into the macropores, thereafter lateral infiltration into the matrix begins. The lateral flow decreases the flux through the macropores temporarily. Overland flow on a large scale commences when the precipitation intensity is greater than the sum of the infiltration into the micropores and matrix and the flow into the macropores.

Swelling soils

Clayey soils containing large amounts of swelling minerals, such as montmorillonite, swell and shrink upon wetting and drying, respectively. So far reliable equations to describe the swelling/shrinking process have not been developed (Kutílek and Nielsen, 1994). Messing and Jarvis (1990) assume that vertical shrinkage may be neglected and that the total interaggregate (macro-) porosity, (e_t), comprises two components, see equation (1). The stable component (e_s) corresponds to the structural shrinkage phase, and is defined in equation (2), where φ is the total porosity and θ_s is the water content at a pressure head of -10 kPa . θ_s is the swelling limit, that is the boundary water content between structural and normal/residual shrinkage. The dynamic component (e_d) results from normal and/or residual shrinkage in the aggregates and is defined in equation (3), where p is the mean slope of the shrinkage characteristic over the water content range of interest and θ is the initial soil water content.

$$\square e_t = e_s + e_d \quad (1)$$

$$\square e_s = \varphi - \theta_s \quad (2)$$

$$\square e_d = p(\theta_s - \theta) \quad (3)$$

The total porosity is calculated by equation (4).

$$\square \varphi = 1 - \frac{\varphi_d}{\varphi_s} \quad (4)$$

where φ_d is the dry bulk density and φ_s is the density of solids.

Messing and Jarvis (1990) suggest that the relationship between the field-saturated hydraulic conductivity (K_{fs}) and the total interaggregate porosity (e_t) can be described by equation (5).

$$\square K_{fs} = B e_t^n \quad (5)$$

where B and n are empirical constants.

A study of crack reformation after wetting by irrigation was conducted in Greece (Kosmas et al., 1991). The investigation showed that cracks formed a network pattern of polygons upon shrinkage, which directed bypass flow, and that the size of the polygons increased with clay content. When wetted, some cracks filled completely with both soil material falling from the crack walls and material transported by irrigation water. Furthermore, these did not reform at the same location when the soil dried. Others, which were filled with soil material but left shallow U-shaped traces on the soil surface, reformed at the same place as before irrigation.

Preferential flow in semi-arid climates

The semi-arid and arid lands cover approximately one-third of the Earth's land surface. The climate is defined as one in which potential evapotranspiration greatly exceeds precipitation. It is important to consider transport through macropores in semi-arid clay soils with a high content of swelling minerals since the dry climate leads to large deep cracks in the soil.

Van de Pol et al. (1977) investigated solute movement in a clay soil and a silty clay soil in New Mexico. The study showed that it was not possible to estimate the flux in the soil by multiplying the flux of water by the solute concentration in the soil solution. The reason seemed to be that the average pore-water velocity, v , and the apparent diffusion coefficient, D , were log-normally distributed. In Arizona, experiments on a clay loam indicated that significant preferential flow can occur even in a soil that exhibits little structure. The flow through the soil was more than 60% greater compared to predicted in the absence of preferential flow (Bowman and Rice, 1986). Application of dye during flood irrigation on two fields in California, one alfalfa and one wheat, allowed the cracking depth and the lack of crack stability to be measured. The alfalfa field had macropore flow along living roots, while the wheat field had no such flow (Mitchell et al., 1991). In Greece, preferential flow was investigated at different initial soil moisture contents during the dry season (Kosmas et al., 1991). The experiment showed that the water movement through the macropores increased linearly with decreasing moisture content. In Tunisia, tracer experiments indicated bypass flow through macropores directly to the groundwater (Yasuda, 1996).

Dye experiments

Dye has been used widely to stain preferential paths in heterogeneous soils (e.g. Bouma and Dekker, 1978; Ghodrati and Jury, 1990). Several authors have used digital image analysis of dye tests to investigate, for instance, soil pore size distribution (Bouabid et al., 1992) and dye concentration calculations (Aeby et al., 1997). Experiments conducted on two dry clay soils from south-eastern Texas showed that stained areas were associated with slickenside fissures, interpedal fissures and root channels (Lin and McInnes, 1995). In Tunisia, solute transport in macropores was investigated with dye at the Cherfech research station (Yasuda et al., 1996). It was shown that the dye solute moved along ped faces and only very slowly diffused into the soil matrix. In the upper fine-textured soil, the dye moved along distinct cracks, whereas the patterns became more dispersed in the intermediate coarse-textured layer. These results have been verified by other experiments conducted in Tunisia (Somogyi et al., 1998).

Solute transport processes in unsaturated flow

To describe solute and water movement in unsaturated soil, flow in saturated conditions should first be considered. For this a few basic terms and equations are given below.

Saturated flow in a homogenous media is usually described by Darcy's law, equation (6) (Freeze and Cherry, 1979).

$$v = -K \frac{dh}{dl} \quad (6) \text{ Darcy's Law}$$

The hydraulic conductivity, K , of soil can vary spatially. *Homogeneity* means that the hydraulic conductivity can be different in x -, y - and z -direction at one point in the soil but the magnitudes in the different directions are the same at any other point in the soil. The opposite, the magnitudes differ with location, is known as *heterogeneity*. That is, for homogeneity $K(x, y, z) = c$, where c is a constant over space, and for heterogeneity $K(x, y, z) \neq c$. If the soil is isotropic, the hydraulic conductivity is equal in x -, y - and z -directions at any one point in the soil, the opposite is anisotropy. In either case, the soil may be homogeneous or heterogeneous. For isotropy $K_x = K_y = K_z$ and for anisotropy $K_x \neq K_y \neq K_z$. (Freeze and Cherry, 1979).

Flow can be classified in two ways. *Steady-state flow* occurs when the magnitude and direction of the flow velocity are constant with time at any point in a flow field. The opposite is *transient flow*, also called *unsteady flow*, which occurs when the magnitude or direction of the flow velocity changes with time at any point in a flow field (Freeze and Cherry, 1979).

The soil above the water table is referred to as the unsaturated or vadose zone. The water table can be defined as the surface on which the fluid pressure p in the pores of a porous medium is exactly atmospheric. Above the water table, capillary forces can lead to the formation of a zone of saturated soil, called the capillary fringe. Flow in the vadose zone is termed unsaturated or partially saturated flow. Pore space in the vadose zone is partially filled with water and the hydraulic conductivity (K) and the moisture content (θ) are both functions of the matric suction head (ψ). Transient flow through an unsaturated porous medium can be described by equation (7), the Richards equation (Freeze and Cherry, 1979).

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (7) \text{ Richards eq.}$$

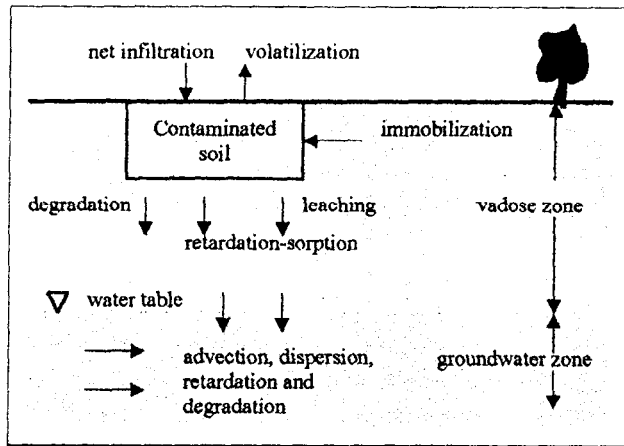
where C is the concentration of the solute. Richards equation and the convection-diffusion equation are often used in models for solute transport in the unsaturated zone (Kutilek and Nielsen, 1994). The later is expressed by equation (8).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} \quad (8) \text{ Convection-diffusion eq.}$$

where C is as above, D_a the diffusion coefficient and v the average pore water velocity. Equation (8) describes solute transport caused by molecular diffusion and the velocity of the fluid and is a simplification valid for steady state conditions in a homogeneous soil with constant water content. (Kutilek and Nielsen, 1994).

Processes affecting contaminant movement

Processes that affect transport of contaminants in the unsaturated zone are advection, diffusion and dispersion, residual saturation, and preferential flow. The amount of contaminants reaching the groundwater may be affected by volatilization and biological, chemical and photochemical degradation. Retardation is affected by immobilization, sorption and ion exchange (Maidment, 1987). These processes are shown in figure 1.



□ Figure 1 Contaminant transport processes (after Maidment, 1987).

Since different chemicals react to different processes in the soil, it is difficult to simulate the transport of a general contaminant with models. Hence, several models simulate only the transport of water through the vadose zone.

Modeling methods for investigating solute transport

Models are common tools used to simulate solute transport during saturated and unsaturated conditions. Models can be classified into three main groups; physical, analogue and mathematical models (Kutilek and Nielsen, 1994). Monitoring flow through a porous medium can be considered to be a physical model. Analogue models are based on transport phenomena similar to the flow of water in the soil. The most common used are mathematical models, which can be further divided into deterministic and stochastic models (Kutilek and Nielsen, 1994). Examples of deterministic models are conceptual, analytical and numerical models. Common equations in models considering matrix and macropore flow are Richards equation, and convection-dispersion equation (Kutilek and Nielsen, 1994). Another equation used in models, is the Brooks-Corey equation (eq. 9).

$$\square s_e = \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^\lambda \quad (9) \text{ Brooks-Corey eq.}$$

In equation (9) s_e is the effective saturation. ψ_b and λ are constants obtained by draining a soil in stages, s_e and ψ are measured at each stage.

Conceptual-mathematical models based on the assumption that soil can be divided into two distinct pore systems is called a dual-porosity model. Each system is simulated as a homogenous medium having its own water and solute transport properties (Dykhuisen, 1987), that is, each domain is characterized by its porosity, water pressure (or water content) and solute concentration (Jarvis, 1998). Both water and solute transport are described by two coupled equations linked by a term for the exchange of fluid or solutes between the two pore regions. Richards equation for transient water flow as well as the convection-dispersion equation for solute transport is assumed to be applicable to both pore systems (Gerke and van Genuchten, 1993). The problem with transient conditions is how to best define the fractional mobile water content in relation to the time-varying total water content (Jarvis, 1998). The use of the dual-porosity model, MACRO, has been validated against results from a soil infiltration test which showed that the conductivity in the macropores was 3.6 times greater than in the soil matrix

(Nachabe-Mahmood, 1995). The model uses Richards equation and the convection-dispersion equation to simulate soil water flow and solute transport in micropores (matrix). A numerical equivalent to the analytical kinematic wave model described by Germann (1985) calculates water and solute flow in the macropores (Jarvis, 1994). Another conceptual model called the DLA (diffusion-limited aggregation) model introduced by Witten and Sander in 1981 was modified by Flury and Flühler (1995) to describe leaching of conservative fluids in soils. The concept of the DLA model is to simulate the geometric pattern and in particular the spatial distribution of water and conservative solutes in a porous medium. The model was used to simulate fingering, a phenomena occurring when one solute is displaced by another solute with a different viscosity, causing an unstable fluid interface.

References

- Aeby, P., Forrer, J., Steinmeier, C. and Flühler, H. (1997) Image analysis for determination of dye tracer concentrations in sand columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:33-35.
- Beven, K. and Germann, P. (1982) Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.* 18:1311-1325.
- Bouabid, R., Nater, E.A. and Barak, P. (1992) Measurements of pore size distribution in a lamellar Bt horizon using epifluorescence microscopy and image analysis. *Geoderma* 53:309-328.
- Bouma, J. and Dekker, L.W. (1978) A case study on infiltration into dry clay soil. I. Morphological observations. *Geoderma* 20:27-40.
- Bowman, R.S. and Rice, R.C. (1986) Transport of conservative tracers in the field under intermittent flood irrigation. *Water Resour. Res.* 22:1531-1536.
- Dykhuizen, R.C. (1987) Transport of solutes through unsaturated fractured media. *Water Research* 21:1531-1539.
- Flury, M. and Flühler, H. (1995) Modeling solute leaching in soils by diffusion-limited aggregation: Basic concepts and application to conservative solutes. *Water Resour. Res.* 31:2443-2452.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A. (1979) *Groundwater*. Prentice Hall, Inc., New Jersey. ISBN 0-13-365312-9
- Gerke, H.H. and van Genuchten, M.Th. (1993) A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. *Water Resour. Res.* 29:305-319.
- Germann, P.F. (1985) Kinematic wave approach to infiltration and drainage into and from soil macropores. *Soil and Water Div. of ASAE*, 28:745-749.
- Ghodrati, M. and Jury, W.A. (1990) A field study using dyes to characterize preferential flow of water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1558-1563.
- Jarvis, N. (1994) The MACRO model (version 3.1) –Technical description and sample simulations. Reports and dissertations, 19, Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Jarvis, N. (1998) Modeling the impact of preferential flow on nonpoint source pollution. *Physical nonequilibrium in soils: modeling and approach*. Edited by H. Magdi Selim and Liwang Ma. Ann Arbor Press, Michigan, USA. ISBN 1-57504-049-2.
- Kosmas, C., Moustakas, N., Kallianou, C. and Yassoglou, N. (1991) Cracking patterns, bypass flow and nitrate leaching in Greek irrigated soils. *Geoderma* 49:139-152.
- Kutilek, M. and Nielsen, D.R. (1994) *Soil Hydrology*. Catena Verlag, Germany. ISBN 3-923381-26-3.

- Lin, H.S. and McInnes, K.J. (1995) Water flow in clay soil beneath a disc tension infiltrometer. *Soil Sci.* 159:375-382.
- Luxmoore, R.J. (1981) Micro-, meso-, and macroporosity of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45:671-672.
- Maidment, D.R. (1993) *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-039732-5.
- Messing, I. and Jarvis, N.J. (1990) Seasonal variation in field-saturated hydraulic conductivity in two swelling clay soils in Sweden. *J. Soil Sci.* 41:229-237.
- Mitchell, A.R., Ellsworth, T.R., and Meek, B.D. (1991) Plant root systems' effects on preferential flow in swelling soil. *Preferential flow, Proceedings of the National Symposium, 16-17 december, 1991, Chicago, Illinois. American Society of Agricultural Engineers.*
- Nachabe-Mahmood, H. (1995) Estimating hydraulic conductivity for models of soils with macropores. *J. of Irrigation and Drainage Engineering* 121:95-102.
- Somogyi, P., Berndtsson, R., Albergel, J., Nasri, S., Bahri, A. and Zante, P. (1998) Preferential flow as indicated by Brilliant Blue. *Annal. Geophys.*, 16, Suppl. II, p. C480.
- Van de Pol, R.M., Wierenga, P.J., and Nielsen, D.R. (1977) Solute movement in a field soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:10-13.
- Yasuda, H. (1996) Soil heterogeneity effects on water and solute transport. Doc. Th., Department of Water Resources Engineering, Lund University, Lund, Sweden. p. 26.
- Yasuda, H., Berndtsson, R., Persson, H., Bahri, A. and Takuma, K. (1996) Characterising preferential transport in a semi-arid heavy clay using dye. Paper VI in Yasuda, H. (1996) (see above).

Appendix 2

Solute Transport and Water Content Measurements in Arid Soils using Time Domain Reflectometry

Magnus Persson, Department of Water Resources Engineering, Lund University

Abstract Clayey and saline soils have been shown to be problematic for TDR measurements. However, if one is aware of the problems encountered, they can in most cases be solved. This study presents some of these problem and discusses solutions to them. The water content (θ) measurement in clayey soils is less accurate and precise than in sandy soils, soil specific calibration might be necessary. In very saline soils, coated probes or a remote shorting diode system should be used in order to make θ measurement. Another option is to use shorter probes. For solute transport experiments in heavy clay soils I recommend that the indirect calibration method is used. Both the σ_a and θ measurements are temperature dependent. The temperature dependency of σ_a can easily be accounted for. The temperature dependency on θ is, however, hard to take into account. Depending on soil texture and soil salinity, the θ measurement can increase or decrease with temperature. Using non-invasive TDR measurements, rapid non destructive measurements of near surface θ and σ_a can be made. Thus, it can provide a useful tool in erosion and evaporation studies.

Introduction

During recent years, the time domain reflectometry (TDR) technique has been proven to make reliable water content (θ) and bulk electrical conductivity (σ_a) measurements (Topp et al., 1980; Dalton et al., 1984). The fact that TDR measure both θ and σ_a in the same soil volume over a very short time makes the

method appealing for solute transport measurements. Furthermore, TDR has the ability of being automated for nearly continuous measurements.

The σ_a can be related to soil solution electrical conductivity (σ_w) or solute concentration. Due to the complicated σ_a - σ_w - θ relationship, most studies have been made under steady state conditions with constant water content (Kachanoski et al., 1992; Vanclooster et al., 1993). However, methods have also been developed for solute transport measurement under transient conditions with varying water content (Risler et al., 1996; Persson, 1997a, b; Hart and Lowery, 1998).

Clayey, saline, and dry soils have been shown to be problematic in the sense of measurement accuracy using TDR (e.g., Topp et al., 1980). These soil types are often found in arid and semi-arid regions. The purpose of the present study is to investigate these problems and present solutions to some of them. A non-invasive approach for water content and electrical conductivity measurements using TDR is also presented.

Theory

Water content measurements

In 1980, Topp and co-workers introduced TDR for the measurement of soil moisture (Topp et al., 1980). They based their method on the work of Fellner-Feldegg (1969) who used TDR for measuring the dielectric constant. Topp et al. (1980) introduced the apparent dielectric constant K_a , which they related to volumetric water content θ using an empirical third-order polynomial equation. In addition to the empirical relationship by Topp et al. (1980), various types of dielectric mixing model has been used. In these models, the wet soil is described as a multiple phase system. Typically three phases are used, solid, gaseous, and free water. The dielectric numbers of the different phases are known and if the volume fraction of each phase also is known, the water content can be calculated. A detailed description of these models can be found in Jacobsen and Schjønning (1995).

Electrical Conductivity Measurements

Dalton et al. (1984) were the first to show how the attenuation of the TDR trace can be used to calculate the soil bulk electrical conductivity. Following the thin sample approach by Giese and Tiemann (1975), the electrical conductivity σ can be described by (Giese and Tiemann, 1975; Topp et al., 1988; Nadler et al., 1991)

$$\sigma = K_p f_T / Z_L \quad (1)$$

where Z_L is the impedance load of the transmission line (in Ω) measured after a long time, f_T is a temperature correction coefficient, K_p is the cell constant of the TDR probe, a calibration constant that can be determined by immersing the probe in solutions with known conductivity. Heimovaara et al. (1995) showed that the temperature dependency of the σ_a is identical to the temperature dependence of the soil extract. The temperature correction coefficient of a standard 0.01 M KCl solution can be described by

$$f_T = 1/[1 + 0.019(T - 25)] \quad (2)$$

where T is the temperature ($^{\circ}\text{C}$) at which the electrical conductivity measurement was made (Franson, 1985).

Calibration Approaches for Solute Concentration Measurements

Two main calibration approaches have been developed for the relationship between the electrical conductivity and solute concentration, direct and indirect calibration. Using the indirect calibration approach, a separate calibration is not needed, the calibration is made simultaneously with the solute transport experiment. The soil is leached with water with a constant flux. When steady state conditions have been established, the solute free water is replaced by a salt solution with constant σ_w . After some time, all water in the soil has been replaced with the salt solution and the reference impedance can be determined (Kachanoski et al., 1992; Mallants et al., 1996). Since there is a linear relationship between the impedance and solute concentration at constant θ , the impedance measured with the TDR can easily be related to solute concentration. This method has been used in several laboratory studies and in some field studies (Kachanoski et al., 1992; Ward et al., 1994).

Steady-state conditions are not likely to persist for prolonged periods in nature. If TDR should replace traditionally measuring techniques, methods must also be developed for transient conditions with variable water content. If the indirect calibration method is to be used under these conditions, several leaching experiments with different water fluxes have to be made in order to relate the TDR measurements to solute concentration over a range of water contents. If instead the σ_a - σ_w - θ relationship is determined, solute concentration measurements can be made under transient conditions with variable water content (Heimovaara et al., 1995; Risler et al., 1996; Persson, 1997a, b). This approach has been called direct calibration due to that a separate calibration experiment have to be conducted.

In the σ_a - σ_w - θ models, the electrical conductivity of the soil depends mainly on three variables, (i) the effective volumetric water content $\theta - \theta_0$, where θ_0 is a correction factor accounting for water close to the solid particles which can be considered immobile, (ii) the electrical conductivity of the soil solution, and (iii) a geometry factor, accounting for the complex geometry of the soil matrix (Mualem and Friedman, 1991). The σ_a is also affected by the surface conductivity of the soil matrix σ_s . For unsaturated soils the simplified conductivity model of Rhoades et al. (1976) is often used and is given as

$$\sigma_a = \sigma_w \theta T(\theta) + \sigma_s \quad (3)$$

where $T(\theta)$ is the transmission coefficient accounting for the tortuosity of the current flow. Rhoades et al. (1976) proposed a linear relationship between $T(\theta)$ and θ , i.e. $T(\theta) = a\theta + b$, where a and b are soil specific parameters. Rhoades et al. (1989) re-interpreted $T(\theta)$ as simply the fraction of the total soil water that is mobile. Other σ_a - σ_w - θ relationships have also been developed (Mualem and Friedman, 1991; Heimovaara et al., 1995; Vogeler et al., 1996; Persson, 1997b; Kim et al., 1998). Risler et al. (1996) and Persson (1997a) showed how the TDR probes can be calibrated in situ using the direct calibration.

Materials and Methods

TDR system

All TDR measurements in this study were made with a Tektronix 1502C metallic TDR cable tester (Beaverton, OR). The cable tester was built into a system designed by Campbell Scientific Ltd., Shepshed, UK. The system consisted of a CR10 data-logger with a TDR PROM controlling the cable tester via a communication interface. An eight to one coaxial multiplexer was also included in the system. Two types of three-rod probes were used, which were 0.2 m long and had a wire spacing of 0.05 m, (Soilmoisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA). One of these was the standard type with stainless steel rods, the other was a coated three-rod probe. This probe has a hard dielectric polymer around the central rod which provides optimum energy retention for maximum TDR reflections, allowing moisture content measurement in saline soils. However, electrical conductivity measurements are not possible with this probe. All temperature measurements were made with type K thermocouples (Pentronic AB, Gunnebobruk, Sweden) connected to the data-logger. Reference electrical conductivity measurements were made with a digital conductivity meter (Shott-Geräte, Germany).

The TDR probes were calibrated as described by Heimovaara (1993) for water content measurements. Furthermore, the probes were immersed in water with different electrical conductivities to establish the relationship between the impedance load Z_L of the transmission line and the bulk electrical conductivity according to Heimovaara et al. (1995).

Solute Transport Experiment

A quasi steady state solute transport experiment was conducted in a column (0.23 m in diam and 0.30 m high) of undisturbed soil collected in the M'Richet el Anze catchment in Tunisia. The soil properties have been presented in Palmquist and Tullberg (1997). The soil column was placed over a sand column of 0.7 m height in order to establish unsaturated conditions at the bottom of the soil column. The column was then equipped with five TDR probes at depths of 0.05, 0.10, 0.15, 0.18, and 0.34 cm. Thus, four TDR probes were put in the soil and one in the sand. The outflow was collected and the electrical conductivity was measured once a day.

A constant flux was achieved by adding 0.012 m of tap water ($\sigma_w = 0.041 \text{ dSm}^{-1}$) a day in a single dose. The dose was applied over a several minutes to avoid ponded conditions at the soil surface. After one week, steady-state flow conditions were obtained and a step pulse of KBr solution ($\sigma_w = 3.33 \text{ dSm}^{-1}$) was added to the column. The KBr solution was added daily in the same way as the tap water until the σ_w of the outflow reached the input level. Time series of relative concentrations were fitted to the convective dispersive equation model (CDE) using the CXTFIT program.

Results and Discussion

This section shows the TDR performance in arid soils, based on experimental data presented in previous work (Persson, 1997a, b; Persson and Berndtsson, 1998a, b, c, d) as well as unpublished data.

Water Content Measurements

Many researchers have reported problems with the water content measurement in clayey soils (e.g., Topp et al., 1980). The major reason for this is that bound water have different dielectric properties than free water. Since bound water has a K_a close to the soil particles, it is difficult to measure with TDR. Hook

and Livingston (1996) suggested a model that gives the free water content in clayey soils. The bound water content can then be determined as the difference between the gravimetric and TDR measured water content. They also presented a model in which the total water content can be calibrated using a soil specific calibration. The water content has also been shown to be over estimated when the σ_w is larger than about 8 dSm⁻¹ (Dalton, 1992).

The accuracy of the water content measurement is also lower in clayey and saline soils. This was shown already by Topp et al. (1980). This can also be seen in Fig. 6 in Persson (1997a) and in Table 2 in Persson and Berndtsson (1998b). If the electrical conductivity is too high, the reflection of the end of the TDR probe disappears and no water content measurement can be made. This can be overcome, however, by using coated probes. The drawback is that electrical conductivity measurements cannot be made with this probe. Another option is to use shorter probes, since these are less influenced by electrical conductivity. Some TDR systems use remote shorting diodes to find the end reflection of the TDR probe (Hook et al., 1992). These probes are, thus, less sensitive to high electrical conductivity.

Solute transport measurements

Several studies have shown that TDR measurements of solute transport can be made during both steady-state and transient conditions. These studies have mostly been made in soil with relative low clay content. Risler et al. (1996) used the direct calibration method following an in situ calibration in different soils including a clay loam. However, in solute transport experiments in heavy clay soils I recommend that the indirect calibration method is used. This is based on (i) the water content is not changing as much or as rapid as in light textured soils, especially during solute transport experiments, (ii) the σ_a - σ_w - θ relationship is more complicated for clayey soils (see e.g., Nadler, 1982; Nadler et al., 1984), and (iii) the combination of clayey soils and high electrical conductivity in the tracer pulse often leads to that water content measurements not are possible due to the signal attenuation.

Solute Transport Experiment

In Figure 1, the relative solute concentration profile over time during the experiment is presented. It can be seen that the solute pulse reach some depths quicker than other. Especially in the sand layer the velocity v was much higher than for the other locations. This is also reflected in the fitted CDE parameters presented in Table 1. This can be explained by that the solutes were transported in preferential flow paths that was not detected by the TDR probes, indicating that the solute transport was heterogeneous at a scale smaller than the TDR measurement volume. In the sand layer, the solute pulse was mixed horizontally which explains why the TDR probe in the sand detected the solute pulse. The dispersion D is increasing linearly with depth indicating that the solute transport follows the stochastic-convective concept (see e.g., Jury and Roth, 1990; Persson and Berndtsson, 1998d). This was expected since the solute transport in clayey soils often follow this concept.

Depth	v	D
[cm]	[cm/day]	[cm ² /day]
5	2.13	5.06
10	1.46	6.52
14	2.33	11.36
18	2.04	9.50
34	12.33	930

Table 1 The fitted CDE parameters in the undisturbed soil column

It should be noted that as TDR is not ion selective, it is not clear what actually is being measured. Chemical reactions, ion exchange, and adsorption might change the electrical conductivity. Risler et al. (1996), however, did not find large differences in solute concentrations based on electrical conductivity or ion chromatograph measurements in the outflow from a column with clay loam. However, it is recommended that the solute concentration of the tracer also is measured with an independent method in water collected from e.g., solution samplers.

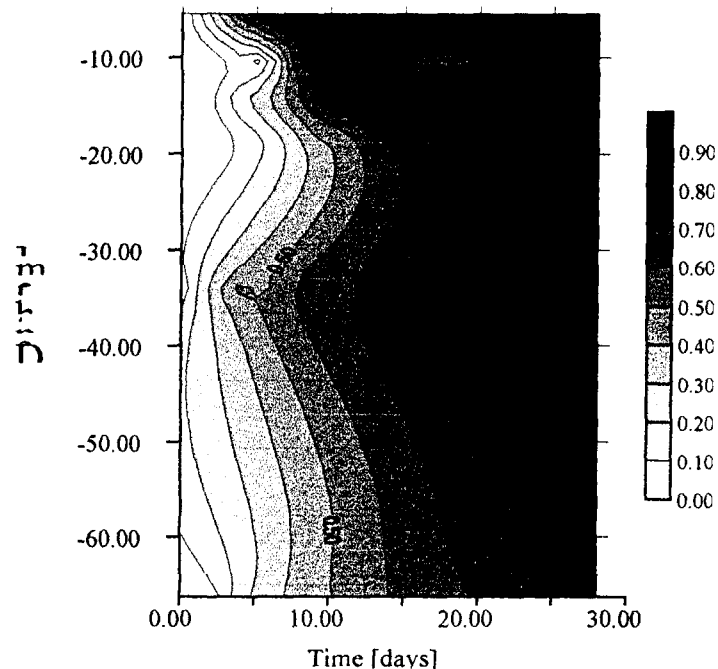


Figure 1 Solute concentration profile during the solute transport experiment.

Temperature dependency of TDR measurements

Both the σ_a and θ measurements are temperature dependent. The temperature dependency of σ_a measured in soil is similar to that of the soil solution (Heimovaara et al., 1995; Persson and Berndtsson, 1998b) and it can be accounted for by using Eq. (2). The temperature dependency on θ is however hard to take into account. Depending on soil texture and soil salinity, the θ measurement can increase or decrease with temperature (Persson and Berndtsson, 1998b). In sandy soils a temperature correction factor of $-0.028 \theta^{\circ\text{C}^{-1}}$ should be used (Pepin et al., 1995; Halbertsma et al., 1995; Persson and Berndtsson, 1998b). In soils with high clay or organic matter content the temperature effects on θ are not consistent and need to be examined in detail for a particular soil in order to achieve accurate measurements. It should be noted that the temperature effects on θ are small compared to other calibration errors. However, when the relative changes in soil moisture are measured with a single probe, the temperature effects might impose an apparent change in soil moisture, e.g., between day and night.

Non-invasive TDR measurements

One problem in arid climates is that the soil surface becomes very hard when it dries out. This makes insertion of a measurement instrument almost impossible without great soil disturbances. One way to overcome this problem is to use non-invasive measurement techniques. In Persson and Berndtsson (1998c) it was shown how a ordinary three-rod TDR probe could be used together with a PVC block for non-

invasive measurements of θ and σ_a . The method gave good results in the laboratory, but a field evaluation has not yet been done.

Conclusions

Clayey and saline soils have been shown to be problematic for TDR measurements. Thus, few studies have been made in these soil types. However, if one is aware of the problems encountered, they can in most cases be solved. This study presents some of these problems and discusses solutions to them.

The θ measurement in clayey soils is less accurate and precise than in sandy soils. The variability can be overcome by taking several θ measurements and calculate the average. The accuracy can be improved by using specific K_a - θ models such as the one presented by Hook and Livingston (1996). Water content measurement in saline soils can be impossible due to signal attenuation. The solution to this problem is to use coated probes or a remote shorting diode system. Another option is to use shorter probes. A guide for determine maximum probe length with respect to σ_a can be found in Dalton (1992).

Several studies have shown that TDR measurements of solute transport can be made during both steady-state and transient conditions. These studies have mostly been made in soil with relative low clay content. However, my results from an undisturbed soil column with a heavy clay soil from Tunisia (Typic Xerorthent) suggest that solute transport can be estimated by TDR even in soils containing as much as 60 % clay. For solute transport experiments in heavy clay soils I recommend that the indirect calibration method is used. This is based on (i) the water content is not changing as much or as rapid as in light textured soils, (ii) the σ_a - σ_w - θ relationship is more complicated for clayey soils (see e.g., Nadler, 1982; Nadler et al., 1984), and (iii) the combination of clayey soils and high electrical conductivity in the tracer pulse lead to that water content measurements not are possible due to the signal attenuation.

Both the σ_a and θ measurements are temperature dependent. The temperature dependency of σ_a can be accounted for by using Eq. (2). The temperature dependency on θ is, however, hard to take into account. Depending on soil texture and soil salinity, the θ measurement can increase or decrease with. In sandy soils a temperature correction factor of $-0.028 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ should be used. In soils with high clay or organic matter content the temperature effects on θ are not consistent and need to be examined in detail for a particular soil in order to achieve accurate measurements.

Using non-invasive TDR measurements, rapid non destructive measurements of near surface θ and σ_a can be made. Thus, it can provide a useful tool in erosion and evaporation studies.

Acknowledgements This study was funded by the Swedish Natural Science Research Council. Experimental equipment was purchased partly through grants from the Crafoord and Lundberg Foundations and partly through the EU funded HYDROMED research program on hill reservoirs in the semiarid Mediterranean zone. Their support is gratefully acknowledged.

References

- Dalton, F.N. 1992. Development of time-domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. In G.C. Topp and W.D. Reynolds (ed.) *Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice*. SSSA Special Publication no. 30 pp 143-167. SSSA, Inc. Madison, WI.
- Dalton, F.N., W.N. Herkelrath, D.S. Rawlins, and J.D. Rhoades. 1984. Time-domain reflectometry: Simultaneous measurements of soil water content and electrical conductivity with a single probe. *Science* 224:989-990.
- Fellner-Feldegg, J. 1969. The measurement of dielectrics in the time domain. *J. Phys. Chem.* 73:616-623.

- Franson, M.A.H. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16th ed. Am. Public Health Assoc. Washington DC.
- Gise, K., and R. Tiemann. 1975. Determination of the complex permittivity from thin-sample time domain reflectometry, improved analysis of the step response waveform. *Adv. Mol. Relax. Processes* 7:45-49.
- Halbertsma, J., E. van den Elsen, H. Bohl, and W. Skierucha. 1995. Temperature effects on TDR determined soil water content. In L.W. Petersen and O.H. Jacobsen (ed.) Proceedings of the symposium: Time-domain reflectometry applications in soil science. Research Centre Foulum, Denmark, Sep. 16. 1994. SP report no. 11 vol. 3 pp. 35-37. Danish Institute of Plant and Soil Sci., Lyngby, Denmark.
- Hart, G.L., and B. Lowery. 1998. Measuring instantaneous solute flux and loading with time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:23-35.
- Heimovaara, T.J. 1993. Design of triple-wire time domain reflectometry probes in practice and theory. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1410-1417.
- Heimovaara, T.J., A.G. Focke, W. Bouten, and J.M. Verstraten. 1995. Assessing temporal variations in soil water composition with time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:689-698.
- Hook, W.R., and N.J. Livingston. 1996. Errors in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:35-41.
- Hook, W.R., N.J. Livingston, Z.J. Sun, and P.B. Hook. 1992. Remote diode shorting improves measurement of soil water by time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1384-1391.
- Jacobsen, O.H., and P. Schjønning. 1995. Comparison of TDR calibration functions for soil water determination. In L.W. Petersen and O.H. Jacobsen (ed.) Proceedings of the symposium: Time-domain reflectometry applications in soil science. Research Centre Foulum, Denmark, Sep. 16. 1994. SP report no. 11 vol. 3 pp. 25-33. Danish Institute of Plant and Soil Sci., Lyngby, Denmark.
- Jury, W.A., and K. Roth. 1990. Transfer functions and solute movement through soil. Birkhäuser Verlag. Basel, Switzerland.
- Kachanoski, R.G., E. Pringle, and A. Ward. 1992. Field measurements of solute travel times using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:47-52.
- Kim, D.J., M. Vanclooster, J. Feyen, and H. Vereecken. 1998. Simple linear model for calibration of time domain reflectometry measurements on solute concentration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:83-89.
- Mallants, D., M. Vanclooster, N. Toride, J. Vanderborght, M. Th. van Genuchten, and J. Feyen. 1996. Comparison of three methods to calibrate TDR for monitoring solute movement in undisturbed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:747-754.
- Mualem, Y., and S.P. Friedman. 1991. Theoretical prediction of electrical conductivity in saturated and unsaturated soil. *Water Resour. Res.* 27:2771-2777.
- Nadler, A. 1982. Estimating the soil water dependency of the electrical conductivity soil solution/electrical conductivity bulk soil ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:722-726.
- Nadler, A., H. Frenkel, and A. Mantell. 1984. Applicability of the four-probe technique under extremely variable water contents and salinity distribution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48:1258-1261.
- Nadler, A., S. Dasberg, and I. Lapid. 1991. Time domain reflectometry measurements of water content and electrical conductivity of layered soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:938-943.

- Palmquist, O., and O. Tullberg. 1997. A rainfall simulation study with dye in the M'richet el anze catchment, Tunisia. M.S. Thesis. Dept of Water Resour. Eng. Lund Univ., Sweden.
- Pepin, S., N.J Livingston, and W.R. Hook. 1995. Temperature-dependent errors in time domain reflectometry determinations of soil water. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:38-43.
- Persson, M., 1997a. Non-destructive measurements of solute transport using time domain reflectometry. Techn. Lic. Thesis, Dept. Water Resour. Eng. Lund Univ. Lund, Sweden.
- Persson, M., 1997b. Soil solution electrical conductivity measurements under transient conditions using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:997-1003.
- Persson, M., and R. Berndtsson. 1998a. 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. 1998b. Texture and electrical conductivity effects on temperature dependency in time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (in press).
- Persson, M., and R. Berndtsson. 1998c. Non-invasive water content and electrical conductivity laboratory measurements using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (in press).
- Persson, M., and R. Berndtsson. 1998d. Water application frequency effects on solute transport. *Water Resour. Res.* (submitted).
- Rhoades, J.D., P.A. Raats, and R.J. Prather. 1976. Effects of liquid-phase electrical conductivity, water content, and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:651-655.
- Rhoades, J.D., Manteghi, N.A., Shouse, P.J. and Alves, W.J., 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: new formulations and calibration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52:433-439.
- Risler, P.D., J.M. Wraith, and H.M. Gaber. 1996. Solute transport under transient flow conditions estimated using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1297-1305.
- Topp, G.C., J.L. Davis, and A.P. Annan. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16:574-582.
- Topp, G.C., M. Yanuka, W.D. Zebchuk, and S. Zegelin. 1988. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: Soil and water experiments in coaxial lines. *Water Resour. Res.* 24:945-952.
- Vanclooster, M., D. Mallants, J. Diels, and J. Feyen. 1993. Determining local-scale solute transport parameters using time domain reflectometry (TDR). *J. Hydrol.* 148:93-107.
- Vogeler, I., Clothier, B.E., Green, S.R., Scotter, D.R. and Tillman, R.W., 1996. Characterizing water and solute movement by time domain reflectometry and disk permeametry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:5-12.
- Ward, A.L., R.G. Kachanoski, and D.E. Elrick. 1994. Laboratory measurements of solute transport using time domain reflectometry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1031-1039.

International seminar on

Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas

an expert meeting within the EU-INCO collaboration HYDROMED (Program for research on hill reservoirs in the semiarid zone of the Mediterranean periphery).

Lund University, 29 June - 2 July, 1998



Sponsoring organizations: ORSTOM/HYDROMED, Swedish International Development Cooperation Agency, Lund University.

Program

Sunday 28 June,

Arrival, small get-together at Hotel Concordia 18:00-19:00.

Monday 29 June;

09:00- - Gathering at Hotel Concordia for walking to Grand Hotel.

09:20-09:30 - Introduction (Dr. Ronny Berndtsson, LU, and Dr. Jean Albergel, ORSTOM).

Observation techniques; GIS/remote sensing; climatic, soil, agronomic, and socioeconomic data storage and processing for small watersheds; (chairman: Dr. Jean Albergel, ORSTOM).

09:30-10:00 - New developments in the Wadi Hydrology Network, Dr. Jean Khouri, ACSAD.

10:00-10:30 - The Syndiane Wadi Basin in Syria, Dr. Abdallah Droubi, Mr. Yasser Ibrahim, ACSAD and Dr. Jean Albergel, ORSTOM.

10:30-11:00 - Small dams' water balance: experimental conditions, data processing and modeling, Dr. Jean Albergel, ORSTOM, Mr. Slah Nasri, INRGREF, and Dr. Mohamed Boufaroua, MAT.

11:00-11:30 - Coffee and tea break.

11:30-12:00 - 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, IRNASE.

12:30-13:00 - Remote sensing applications for the management of small catchments in arid and semiarid area, Dr. Chuqun Chen, CAS.

13:00-14:00 - Lunch

Water quality and quantity; hydrological and transport modeling; (chairman: Dr. Jean Khouri, ACSAD).

14:00-14:30 - Water chemistry characteristics in small reservoirs of the semiarid Tunisia, Dr. Nathalie Rahaingomanana, ORSTOM.

14:30-15:00 - Water chemistry of small reservoir catchments in central Tunisia, Dr. O. Grunberger, Dr. Jean-Pierre Montoroi, ORSTOM, Mr. Slah Nasri, INRGREF, Dr. Jean Albergel, Mr. Yannick Pepin, and Dr. Nathalie Rahaingomanana, ORSTOM.

15:00-15:30 - Modelling effects of preferential flow and transport on non-point source pollution, Prof. Nicholas Jarvis, SLU.

15:30-16:00 - Coffee and tea break.

Program

Sunday 28 June,

Arrival, small get-together at Hotel Concordia 18:00-19:00.

Monday 29 June;

09:00- - Gathering at Hotel Concordia for walking to Grand Hotel.

09:20-09:30 - Introduction (Dr. Ronny Berndtsson, LU, and Dr. Jean Albergel, ORSTOM).

Observation techniques; GIS/remote sensing; climatic, soil, agronomic, and socioeconomic data storage and processing for small watersheds; (chairman: Dr. Jean Albergel, ORSTOM).

09:30-10:00 - New developments in the Wadi Hydrology Network, Dr. Jean Khouri, ACSAD.

10:00-10:30 - The Syndiane Wadi Basin in Syria, Dr. Abdallah Droubi, Mr. Yasser Ibrahim, ACSAD and Dr. Jean Albergel, ORSTOM.

10:30-11:00 - Small dams' water balance: experimental conditions, data processing and modeling, Dr. Jean Albergel, ORSTOM, Mr. Slah Nasri, INRGREF, and Dr. Mohamed Boufaroua, MAT.

11:00-11:30 - Coffee and tea break.

11:30-12:00 - 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, IRNASE.

12:30-13:00 - Remote sensing applications for the management of small catchments in arid and semiarid area, Dr. Chuqun Chen, CAS.

13:00-14:00 - Lunch

Water quality and quantity; hydrological and transport modeling; (chairman: Dr. Jean Khouri, ACSAD).

14:00-14:30 - Water chemistry characteristics in small reservoirs of the semiarid Tunisia, Dr. Nathalie Rahaingomanana, ORSTOM.

14:30-15:00 - Water chemistry of small reservoir catchments in central Tunisia, Dr. O. Grunberger, Dr. Jean-Pierre Montoroi, ORSTOM, Mr. Slah Nasri, INRGREF, Dr. Jean Albergel, Mr. Yannick Pepin, and Dr. Nathalie Rahaingomanana, ORSTOM.

15:00-15:30 - Modelling effects of preferential flow and transport on non-point source pollution, Prof. Nicholas Jarvis, SLU.

15:30-16:00 - Coffee and tea break.

- 16:00-16:30 - Solute transport and soil water content measurements in arid soils using time domain reflectometry, Dr. Magnus Persson, LU.
- 16:30-17:00 - The FLAPS system for data management and hydrological modeling, Dr. Linus Zhang, LU.
- 19:00- - Dinner
- 21:00- - Optional software demonstration (Hotel Concordia).

Tuesday 30 June;

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

- 09:00-09:30 - Microcatchment, macrocatchment, and flood water harvesting techniques applied in the Mediterranean, Prof. Dr. Dieter Prinz, KU.
- 09:30-10:00 - The use of TDR for wetness measurements in soil erosion and conservation practices in small watersheds, Dr. Patrick Zante, ORSTOM, and Mr. Slah Nasri, INRGREF.
- 10:00-10:30 - Coffee and tea break.
- 10:30-11:00 - Land use transformation impact on reservoir siltation in Morocco: the need for better assessment tools, Dr. Abdelaziz Merzouk, IAV.
- 11:00-11:30 - Modeling small dams' siltation with MUSLE, Dr. Jean Albergel and Mr. Yannick Pepin, ORSTOM.
- 11:30-12:00 - Small-scale cistern system for rainwater collection and storage in north-western China, Dr. Linus Zhang, LU and Prof. Kun Zhu, LRI,
- 12:00-12:30 - 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.
- 12:30-13:30 - Lunch
- 14:00-16:00 - Guided round trip in Lund on foot, meeting place: Cathedral entrance.
- 18:00- - Optional software demonstration (Hotel Concordia)

Wednesday 1 July;

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

- 09:00-09:30 - Lebanese hydrology and needs for water storage, Dr. Bassam Jaber and Dr. Fuad Saad, MHER.
- 09:30-10:00 - Hydrodynamics and related water quality in small reservoirs, Prof. Lars Bengtsson, LU.
- 10:00-10:30 - Coffee and tea break.

- 10:30-11:00 - Groundwater recharge and modeling in an experimental catchment, Mr. Slah Nasri, INRGREF.
- 11:00-11:30 - Deterministic versus stochastic hydrological modeling; uncertainties and decisions, Mr. Jan Hoybye, LU.
- 11:30-12:00 - Neural network methodology to simulate discharge, Dr. Cintia Uvo, LU.
- 12:00-12:30 - Water reservoir management in practice, Dr. Laszlo Iritz, LU.
- 12:30-13:30 - Lunch
- 14:00-17:00 - Study visit to the Vomb water works and the Scania region.
- 18:00- - Optional software demonstration (Hotel Concordia)

Thursday 2 July;

Study tour to Denmark and Copenhagen.

08:00- Departure Hotel Concordia

09:00- Short stop in Helsingborg and the Kärnan castle

09:30- Ferry to Denmark.

- 10:15- - The Cronborg Castle (the Hamlet and Shakespeare story)
- 12:45- - Danish typical lunch
- 14:30- - Free time in Copenhagen
- 16:00 - Departure for Malmö and Sweden

Abbreviations:

- ACSAD: Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands, Syria.
- CAS: South China Sea Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences, China
- IAV: Institute for Agronomy and Veterinary Hassan II, Morocco.
- INRGREF: National Institute for Research on Rural Engineering, Water, and Forestry, Tunisia.
- IRNASE: Institute for Natural Resources and Agrobiology, Spain.
- KU: Karlsruhe University, Germany.
- LRI: Lanzhou Railway Institute, China.
- LU: Lund University, Sweden.
- MAT: Ministry of Agriculture, Tunisia.
- MHER: Ministry of Hydraulic and Electric Resources, Beirut, Lebanon.
- ORSTOM: French Institute for Scientific Research and Cooperative Development, France/Tunisia.
- SLU: Swedish Agricultural University, Uppsala, Sweden.

ANNEXE 5 : RAPPORT D'AVANCEMENT IH (R. RAGAB, R. ALEXANDER AND D. MOIDINIS)

HYDROMED

Progress report

Hydrology of the surface reservoirs in the Mediterranean region

Institute of Hydrology

Wallingford, UK

R. Ragab, R. Alexander and D. Moidinis

November, 1998

Summary of the activities

The Institute of Hydrology activities over the last six months covered, acquiring hydrological data, reformatting the data and creating new data files for the modelling activities, conducting graphical presentation of the data as a quality control exercise, investigating the flows to and from the reservoirs and developing a new version of the "Patten" model for windows 95 and as a menu-driven version. Some more details are given here under:

Hydrological data of three reservoirs namely, at Sindyany (Syria), Es-senega

(Tunisia) and El Guazine (Tunisia) were acquired. The data of water depth, surface area, water volume, rainfall and spillway flow for the three reservoirs were reformatted and saved in files suitable for modelling activity. Graphical presentation of the data has been conducted as shown in the following part of this report. The graphical presentation can serve as a quality control of the data where unusual values can be spotted. These figures also can help in identifying the spillway flow events and the rate of change in the volume of the reservoir.

Developing a window version of the "Patten" model. The original Fortran program has been re-written in C++ as a menu-driven program runs with Windows 95. The model in its new version has additional features that make it easy and fast to run, friendly to use. It has parameters optimising technique, graphical as well as data files output facilities. The new version is still receiving some further improvement especially on the front end and on the optimisation method. A draft document about the Windows version can be seen in the second part of this report under "HYDROMED SOFTWARE SPECIFICATION".

The modelling work using the new version of the model and the recent data of the three reservoirs at Sindyany, Es-senega and El Guazine has started and the initial results were very encouraging. This task is expected to be complete by the time of the next annual reporting.

Hydrology of the hill reservoir at Syndiany, Syria

The hydrological measurement systems at the lake have been improved by new installations in winter 1998. At present IH have received data records of rainfall, volume of water, water depth, surface area and spillway flow. The data cover the period between November 30, 1997 and April 23, 1998. The depth of the water in the reservoir, the surface area of the lake, the volume of the water in the reservoir and the time series of rainfall together with the spillway flow are shown in figures, 1,2,3 and 4 respectively. It can be noticed from the figures that the volume of the reservoir has reached its maximum value in three occasions where spillway flow was observed.

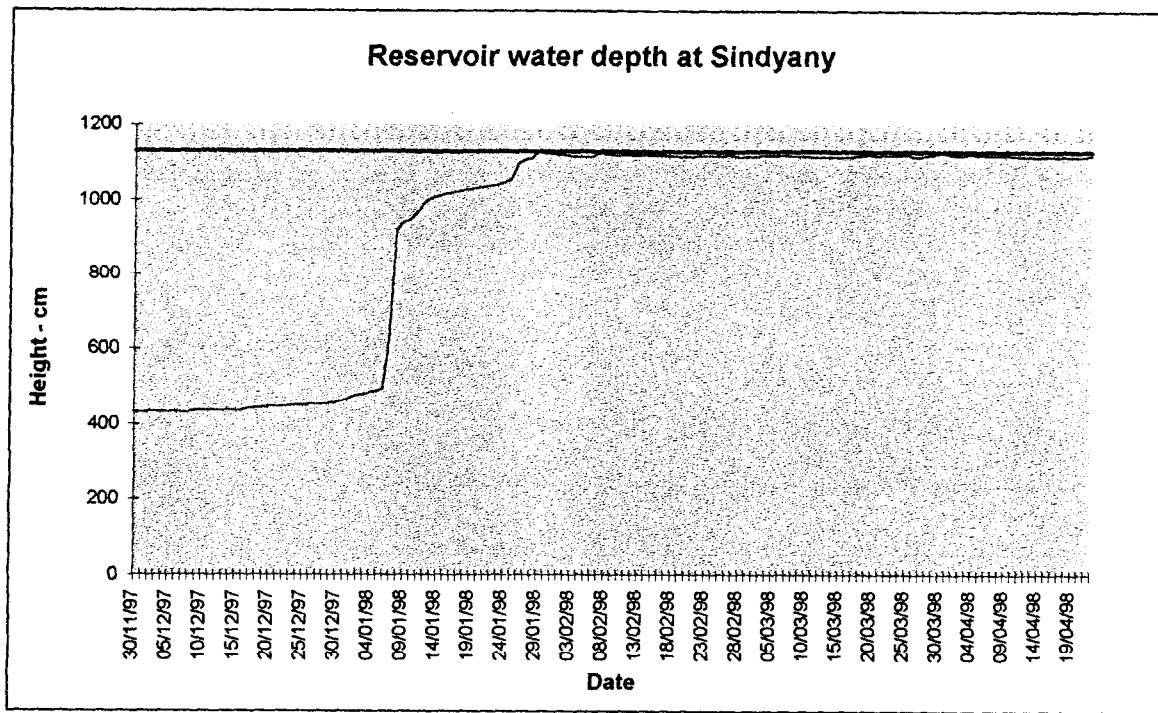


Figure 1. Reservoir water depths at Sindiany

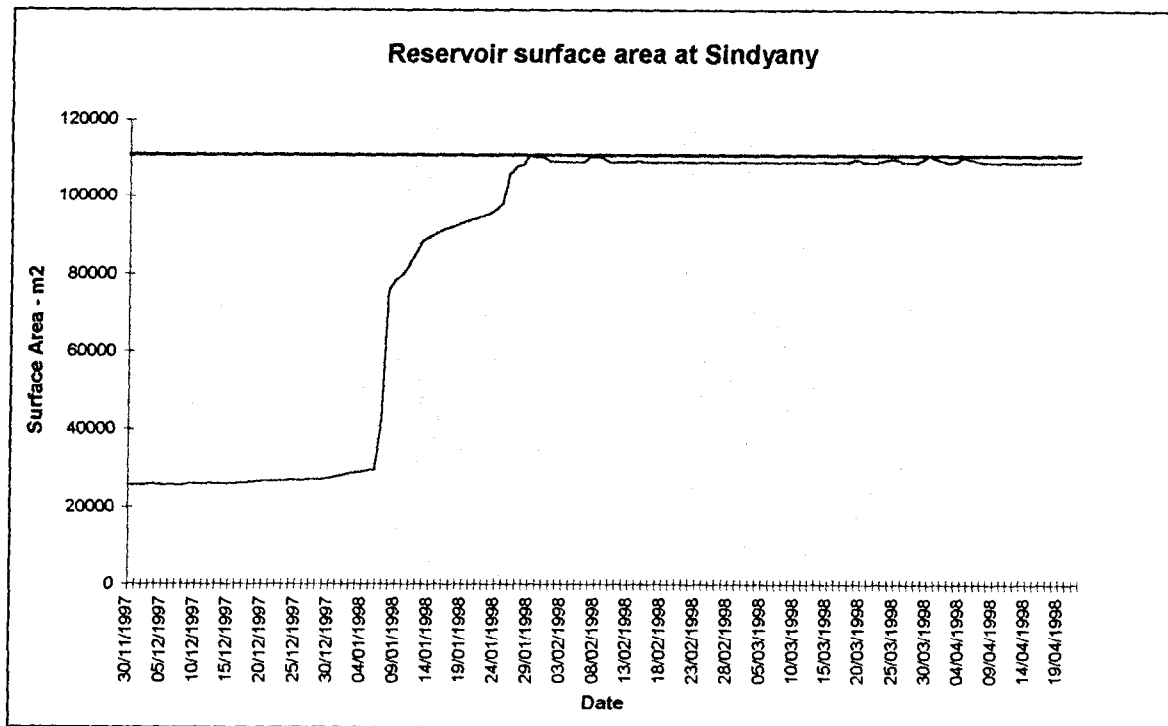


Figure 2. Reservoir surface area at Sindiany

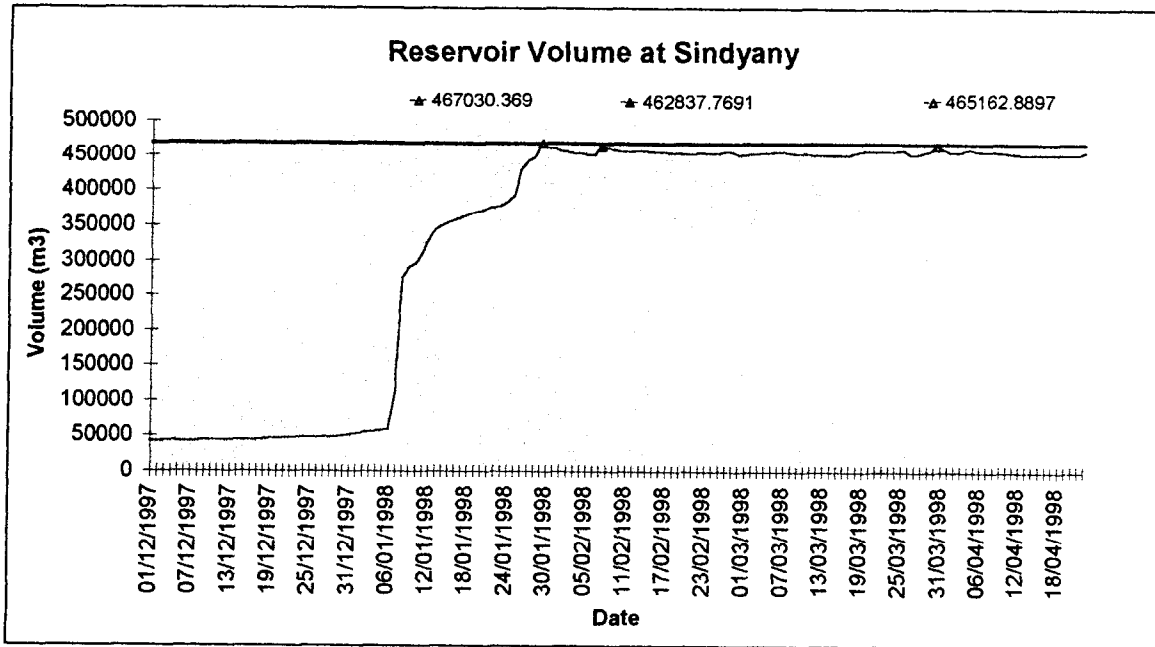
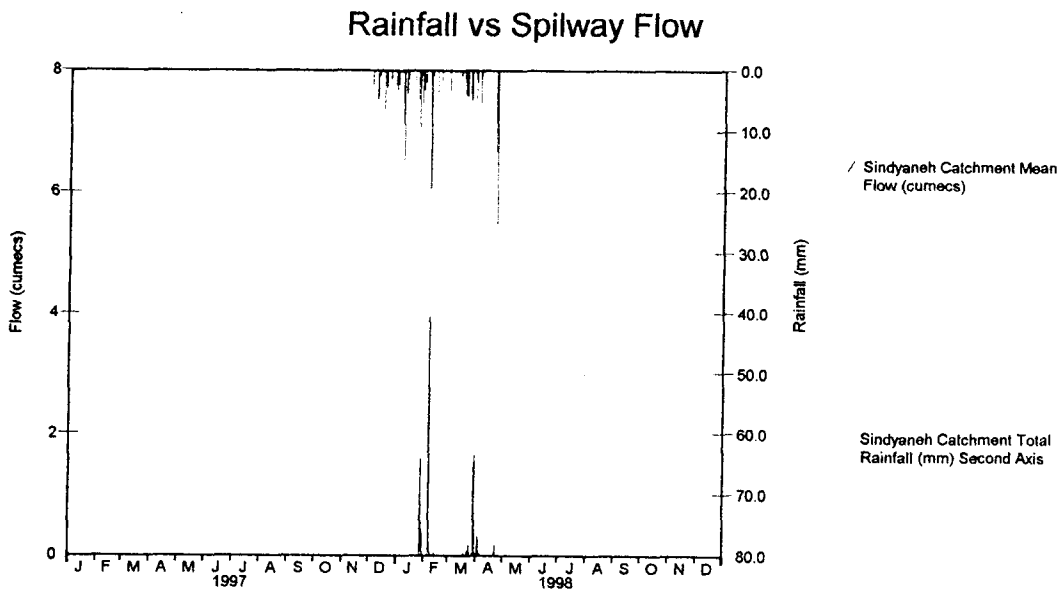


Figure 3. Reservoir volume at Sindyany



18-Nov-1998 Institute of Hydrology

Figure 4. Time series of rainfall distribution and spillway flow at Sindyany

Hydrology of the hill reservoir at Es-senega, Tunisia

The reservoir at Es-senega has a hydrological record extends from May 12, 1993 until December 5, 1998. The data acquired consisted of reservoir area, water depth, volume, rainfall and spillway flow. Figures 5, and 6 illustrate the water depth spillway flow (combined) respectively. The figures show that there have been two occasions where the reservoir reached its maximum volume and spillway flow took place.

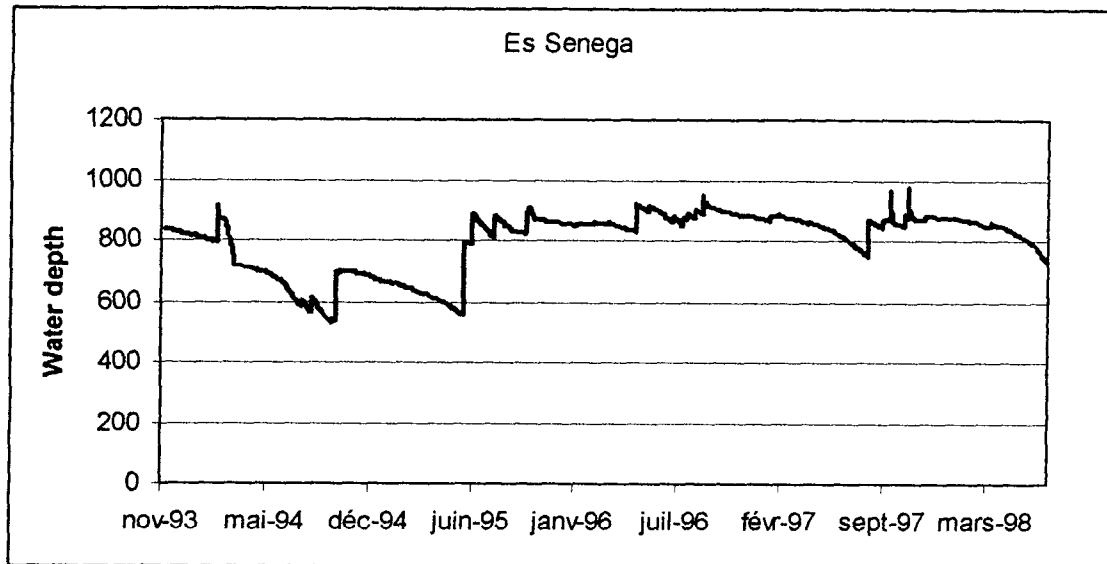
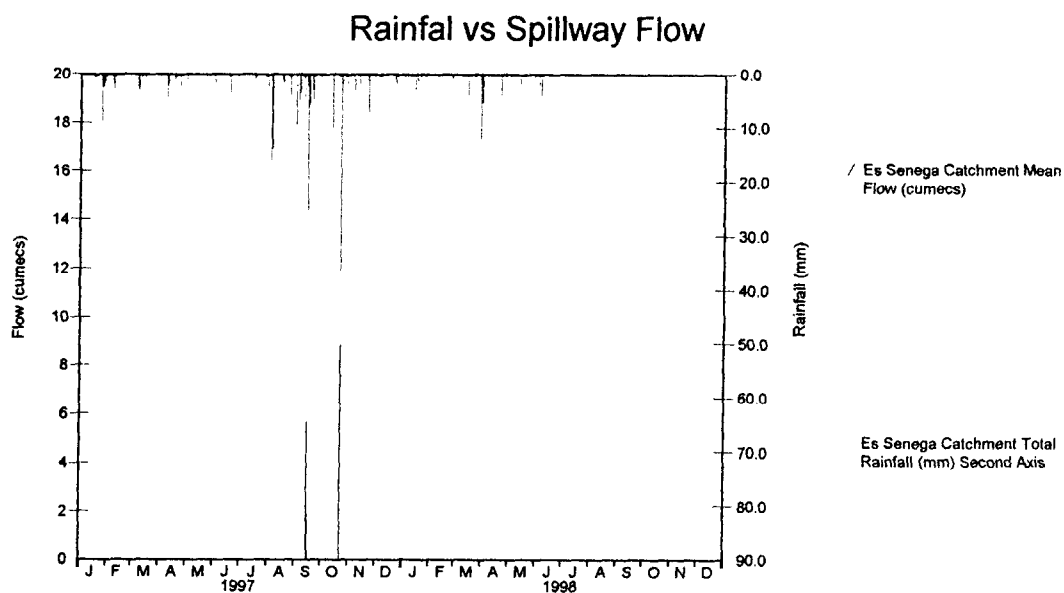


Figure 5. Reservoir water depth at Es senega



18-Nov-1998 Institute of Hydrology

Figure 6. Time series of rainfall distribution and spillway flow at Es senega

Hydrology of the hill reservoir at El-Guazine, Tunisia

The reservoir at El Guazine has a hydrological record extends from January 1, 1993 until April 12, 1998. However, the evaporation data covers the period between May 1995 and June 1998. The hydrological data acquired consisted of reservoir area, water depth, volume, rainfall and spillway flow. Figures 7, 8 and 9 illustrate the water depth, evaporation and rainfall and spillway flow (combined) respectively. The data suggest that there was only one occasion where the reservoir reached its maximum capacity and generated spillway flow (winter 1995). The evaporation data indicate that the daily evaporation in summer of 1995, 1997 and 1998 has reached values of 15, 16 and 18 mm/day respectively. These values are well above the expected rate of evaporation of the Mediterranean region and worth further investigation.

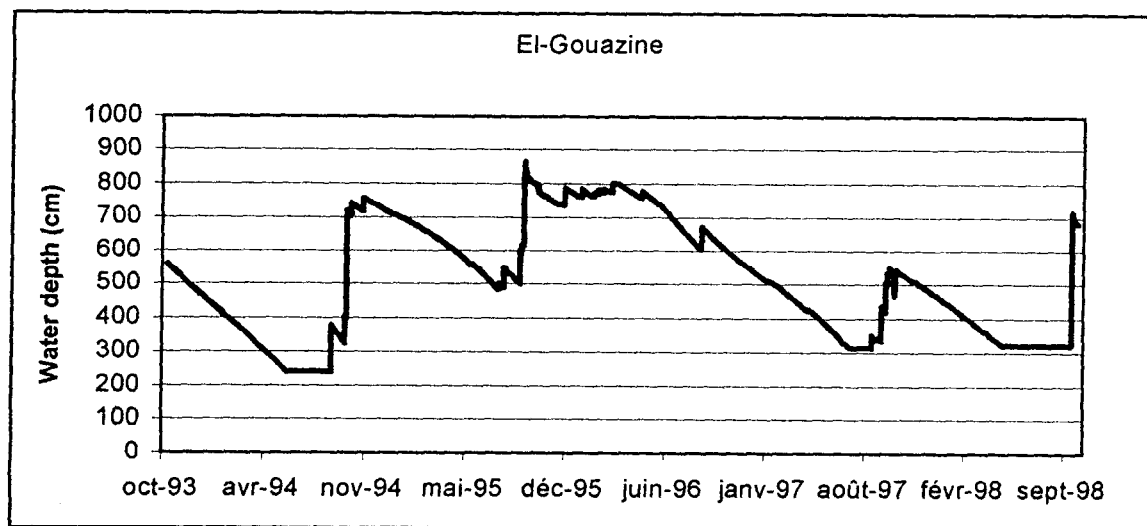


Figure 7. Reservoir water depth at El-Guazine

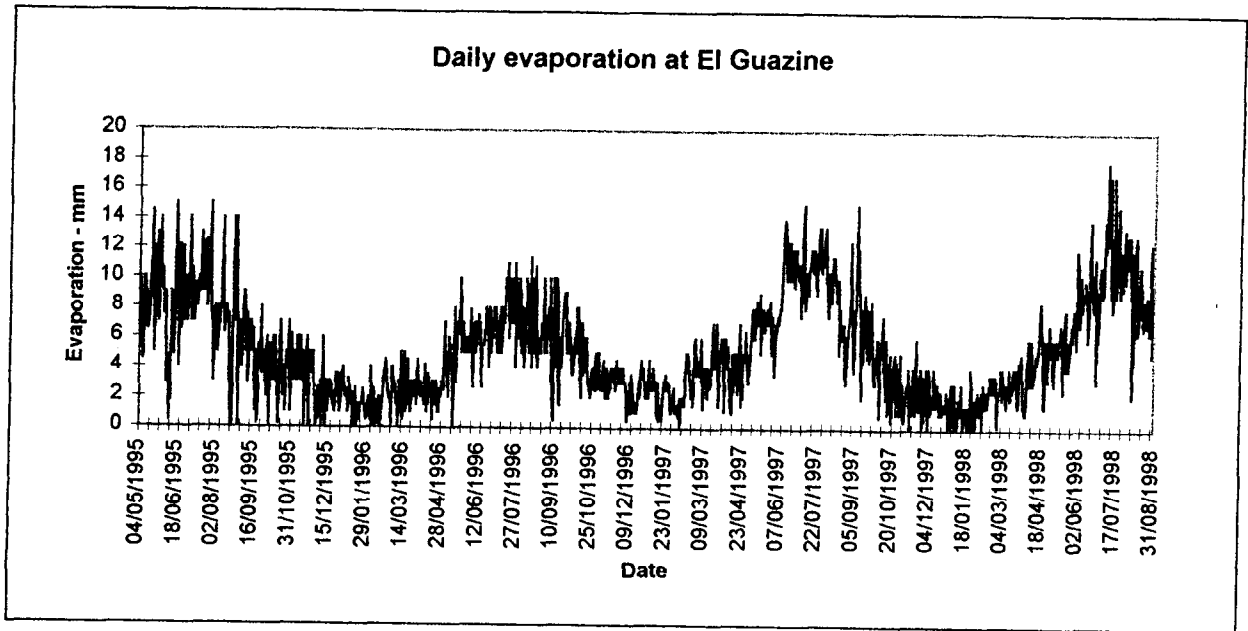
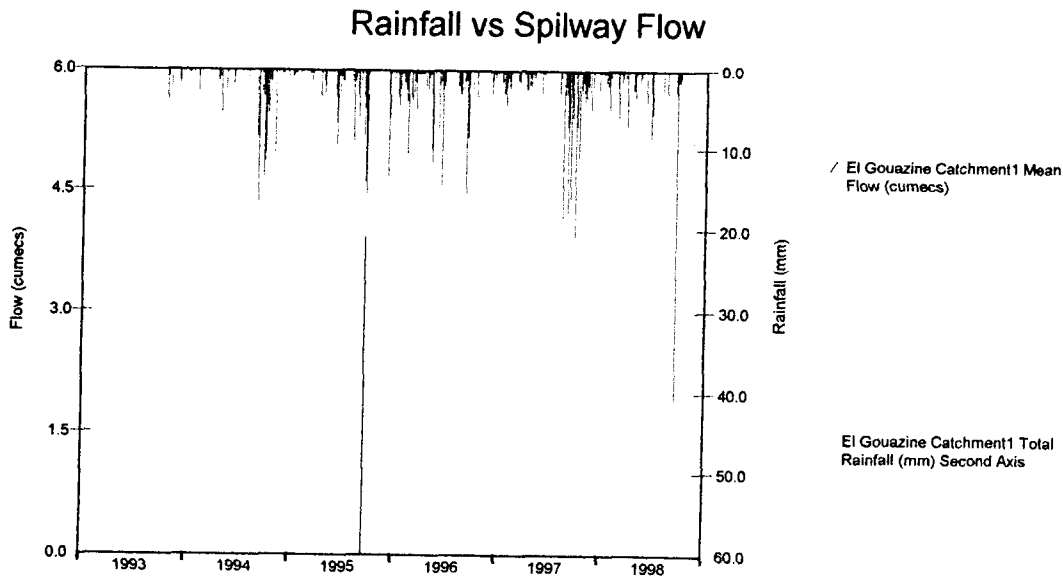


Figure 8. Evaporation rate at El-Guazine



18-Nov-1998 Institute of Hydrology

Figure 9. Time series of rainfall distribution and spillway flow at El-Guazine

ANNEXE 6 : RAPPORT D'AVANCEMENT IRNASE (F. MORENO)

HYDROMED - Project

Progress Report of the IRNAS (CSIC): 1998

During the reporting period the following activities have been carried out by the group of IRNAS (CSIC) of Seville (Spain):

Second working visit to the Department of Soil Science of the Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II. Rabat, Morocco, 13-18 March 1998.

This visit was carried out by Dr. F. Moreno and Prof. D. de la Rosa from the Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS - CSIC) during the period from 13 to 18 of March 1998. The main tasks carried out in the joint work with Prof. A. Merzouk and his group were the following:

1) Meeting at the Laboratory of Soil Physics and Soil Conservation, LCSE

- During this whole day meeting both groups presented the current work on their specific tasks in the HYDROMED Project and the joint experiments to be carried out in next working visits.
- Introduction to MicroLEIS 4.1 (Integrated System for Land Datatransfer & Agro-ecological Land Evaluation) developed by Prof. de la Rosa. It was also presented the site Web in Internet to make more effective and easy the joint work of both groups on the application of this system to the experimental area in Morocco.

2) Seminar on the current works of IRNAS Land Evaluation Unit

Through this seminar Prof. de la Rosa presented a summary of the current works developed by the IRNAS Land Evaluation team. Special interest was given to the MicroLEIS project: rural resources databases (Soil, Climate, Crop/Management), land quality prediction (land capability, land suitability and yield prediction models) and land vulnerability assessment (soil erosion and soil contamination risks prediction models).

The seminar participants asked mainly about the possibilities of using these databases and models in the Morocco environmental conditions. These possibilities are actually very high because MicroLEIS system has been developed for the Mediterranean conditions.

3) Software demonstration of MicroLEIS system

As a continuation of the previous seminar, a software demonstration was carried out in order to present directly on the computer all the facilities of MicroLEIS package.

SDBm soil database and CDBm climate database were viewed by using the soil profile descriptions and meteorological datasets facilitated as examples into the software.

Pro&Eco and Ero&Con land evaluation models were applied for some hypothetical situations.

Many concept and application questions were formulated during this first approximation to MicroLEIS system.

4) View of the working version of ImpelERO model

About the going on ImpelERO project, funded by the EU, a software working version was also presented. This expert-system/neural-network model to predict the agricultural soil erosion risk, can be also used to estimate the impact of soil loss on crop productivity, along with to accommodate the management practices to soil erosion.

Also, ImpelERO model presents high applicability to be used in the agricultural lands of Morocco, and with special reference to the Tangier experimental area.

5) Seminar for the presentation of measurement of soil hydraulic properties using the tension-disc infiltrometer

This seminar was carried out to introduce the tension-disc infiltrometer technique for the measurement in situ of the soil hydraulic properties that are needed to know and describe the processes of infiltration, water balance, solute transport and erosion in the experimental area. In this seminar, the theoretical principles and practical application of the technique were discussed. This is a robust technique easy to use with low time and labour requirements. Results that are obtained with this device provide with a high information content on soil hydraulic properties.

The second part of this seminar was dedicated to experimental measurements on the field using the tension-disc infiltrometer. During these experiments both practical and theoretical aspects were discussed with our colleagues of the group of Prof. Merzouk.

6) Training activities

Ph.D. and undergraduate students of the Soil Physics and Soil Conservation Laboratory were actively participating in the seminars and experimental demonstrations. This was to satisfy the training purpose of young scientists included in the objectives of HYDROMED Project. These activities provide the students, specially to Ph.D. students, with the most advanced methodology used by the colleagues of Morocco and by ourselves.

7) Visit to the selected experimental area: Saboun in the region of Tangier.

A detailed visit to the experimental area was carried out on March 17. Our colleagues from the LCSE showed us the experimental site at Saboun reservoir. During this visit we have known in detail the whole instrumentation installed to follow the systematic measurement of several parameters. We have also discussed about the soils of the experimental area and the land use, existing data and data needed to use MicroLEIS system and other models. The characterisation of the hydraulic properties of these soils and water status will be the object of next joint measurements using the tension-disc infiltrometer and TDR (time domain reflectometry).

With the existing data it is now possible to start the application of several modules of MicroLEIS and the ImpelERO model in order to evaluate the best use of the soils of the area and the erosion risks. The results of this application can be easily analysed by both groups using the version installed in Internet that allows a intense interaction between us.

8) Future development and joint experiments

Application process, including sensitivity and validation analysis of the shown computerised tools for land resource survey, evaluation and management in the Tangier experimental area. Measurement of soil hydraulic properties and water status in the experimental area. This activity started recently and will be completed during the next months.

After this mission a tension disc infiltrometer and a new version of the IMPEL model was provided to the Soil Physics and Soil Conservation Laboratory of the IAV.

Participation in the Second Coordination Meeting in Damascus

During the period from 20 to 23 April 1998 Dr. F. Moreno was participating in this coordination meeting. During the meeting Dr. Moreno presented the expert systems and models developed by the IRNAS, and the techniques to characterise the hydraulic properties of soils. We provide the software to the group of the ACSAD and to the group of the INGRES.

Participation in the International Seminar on "Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas". Lund University, Sweden (29 June - 2 July 1998)

The group of IRNAS was participating in this international seminar within the framework of the HYDROMED project. We presented a communication on the integration of soil profile and soil hydraulic properties data bases to be used in simulation models and land evaluation expert systems.

Publications

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.