

Conférence de l'ISCO
Marrakech 14 au 19 Mai 2006

Place des petits barrages dans la mobilisation des eaux de surface et dans la lutte contre l'érosion au Maghreb et au Moyen Orient.

Part of small dams in runoff water management and in erosion control. A study in the Middle East and North Africa Region (NEMA)

Jean Albergel*

*Directeur de recherche IRD, UMR LISAH, 2 place Viala 34060 Montpellier France,
albergel@ensam.inra.fr

Abdel Aziz Merzouk**

** Professeur à l'IAV, BP 6202, 10000 Rabat Instituts, Maroc
a.merzouk@iav.ac.ma

Résumé

Après l'effort important d'équipement hydraulique initié dans la seconde moitié du vingtième siècle, les pays d'Afrique du Nord et du Proche Orient se sont lancés plus récemment dans une politique de construction de petits barrages. Ces nouveaux aménagements visent des objectifs de conservation des eaux et des sols et de développement agricole. Ils permettent de lutter contre l'érosion en protégeant des infrastructures en aval et particulièrement les lacs de grands barrages d'une sédimentation trop rapide. Ils peuvent être à l'origine d'un développement rural local en offrant une ressource en eau renouvelable de manière disséminée dans le paysage et en limitant les bouleversements d'ordre social (expropriation massive, déplacement d'infrastructures ou de logements).

A partir des résultats d'une recherche pluridisciplinaire menée dans deux pays d'Afrique du Nord (Maroc et Tunisie) et deux pays du Proche Orient (Liban et Syrie), cette communication cherche à montrer : la place des petits barrages dans la gestion des flux de ruissellement et de sédiments dans les zones Méditerranéennes semi arides. Elle montre comment la construction de petits barrages s'est développée dans chacun de ces quatre pays avec des objectifs parfois différents. Les objectifs de protection des grands barrages sont plus présents en Afrique du Nord qu'au Moyen Orient.

La place de ces infrastructures hydrauliques dans la lutte contre l'érosion et la sauvegarde des aménagements aval est étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux comprendre les phénomènes d'érosion et d'envasement.

Les enjeux de développement autour des lacs de petits barrages sont présentés à partir de l'analyse sur les impacts

Mots clés : Méditerranée, zone semi-aride, petits barrages, conservation des eaux et des sols.

Abstract

In the beginning of the 1990s, the construction of small dams seemed to take precedence over the policy of large hydraulic works that was popular in the Middle East and North Africa Region (NEMA) during the second part of the 20th century.

Nowadays, all countries of NEMA region are involved in a policy of constructing small and middle size dams. These dams appear as very specific structures designed not only to mobilize the surface water resources but also to control runoff and sediment fluxes. They are built for protecting downstream infrastructures and particularly rapid sedimentation of large dams. They integrated rural development by offering a fair distribution of water in the countryside, limiting disruptions in the social order like massive expropriation, and displacement of infrastructure or lodging.

Using the results of multi-disciplinary research carried out in two countries in northern Africa (Morocco and Tunisia), and two countries in the Near East (Lebanon and Syria), this paper endeavours to show the position of small dams in the mobilization and management of water and soil resources in the semi-arid Mediterranean zones. It describes how the development of small dams has followed different directions and objectives in each country.

For example, the goal of large dam protection is more prevalent in northern Africa than in the Middle East.

The prospect of protecting the conservation works and structures are studied using a model of estimation and simulation of sediment transport and yields. These studies allowed the better understanding of the erosion phenomena of and siltation.

The stakes of integrated development around hill reservoirs are presented through the progress of irrigation and through environmental impacts as the recharge of the water table.

Key words: Mediterranean, semi-arid zone, small dams, soil and water conservation.

Introduction

Prenant le pas sur l'équipement hydraulique des grands systèmes fluviaux d'Afrique du Nord et du Moyen Orient : rivières de l'Atlas, Nil, Tigre, Euphrate, Jourdain, Litani..., la petite et moyenne hydrauliques se développent dans ces régions. Les pays sont engagés depuis plus ou moins longtemps dans une politique de construction de petits barrages qui apparaissent comme des

aménagements très spécifiques destinés non seulement à la mobilisation des ressources en eaux de surface mais aussi à la maîtrise des flux de sédiments. Ces barrages ont des digues de 5 à 15 m de hauteur (limite inférieure des grands ouvrages pour la Commission Internationale des Grands Barrages). Ils sont constitués en remblai, sur de petits bassins versants ruraux dans des zones de relief moyen. Ils sont équipés de déversoirs latéraux de conception rustique, capable d'évacuer quelques dizaines de mètres cubes par secondes, quelquefois un peu plus de 100 mètres cubes par seconde. Ils possèdent ou non une vanne de fond et leur coût unitaire est de l'ordre du demi million d'Euros et quelquefois nettement moins. D'extension modérée (quelques hectares) les lacs de ces barrages ont une capacité de rétention qui varie de quelques dizaines de milliers à 1 million de mètres cubes (Albergel et Rejeb, 1997). Leurs surfaces inondées représentent quelques hectares à la cote de déversement des retenues.

En partant de l'expérience tunisienne qui a mis en place dès 1995 un réseau pilote de surveillance hydrologique, environnementale et économique de ces nouvelles structures, le programme européen HYDROMED (Albergel et al, 2004), a conduit une recherche expérimentale pour mettre en évidence à posteriori la place des petits barrages dans l'aménagement du territoire.

Origine et dissémination des petits barrages dans le bassin méditerranéen

Les retenues collinaires actuellement, très fréquentes dans plusieurs régions, sont inspirées de principes précurseurs vieux de plusieurs millénaires. Dès le premier siècle après J. C., les Yéménites avaient construit un grand nombre de petits ouvrages dans les vallées et en avaient même creusé le long des pentes. De nombreux barrages, aujourd'hui complètement envasés ont été construits au début de l'aire chrétienne dans tout l'empire romain. Un des plus spectaculaires de ces barrages est celui de Badieh dans les steppes syriennes, sur la route de Palmyre. Ce barrage construit en pierre et d'une capacité d'environ 100 000 m³ a été réhabilité dans les années 80 puis à nouveau envasé (Kara Damour & Miski; 1997).

En Europe, de telles infrastructures sont très répandues en Italie et en France, dans les coteaux de Gascogne les marges pyrénéennes et le Massif Central. Le principe moderne de la construction des lacs collinaires est né en Italie du Nord vers l'année 1951 (Darves-Bornoz et Clement, 1957). Au Maghreb, le développement de cette technique de collecte des eaux et de protection des grandes infrastructures s'est instruit de la réussite de l'expérience italienne. Les lacs collinaires constituent aujourd'hui dans les pays du Maghreb et du Moyen Orient une technique de collecte des ressources en eau de surface utilisée pour plusieurs usages :

la protection des infrastructures en aval contre les crues, et la limitation de l'érosion et du transport solide vers l'aval,

la mise à disposition d'une ressource en eau de manière disséminée dans le paysage et le captage du ruissellement pour la recharge des nappes phréatiques,

le développement local d'activités agricoles ou récréatives et l'amélioration de l'environnement par la création d'oasis ou le reboisement.

Le Tableau 1 montre l'importance de ces ouvrages dans quatre pays du sud et de l'est du bassin Méditerranéen.

Tableau 1 : Les petits barrages dans le semi aride du pourtour méditerranéen

	Liban	Maroc	Syrie	Tunisie
Nombre de petits barrages réalisés (2000)	2 petits réservoirs nombreux micro	50 moyens + nombreux petits	43 moyens 100 petits	600 petits 50 moyens
Projets en cours	Trente petits	Objectifs 500 avec une priorité por des unités de 0.5 à 5 M m3	Trente petits ou moyens	1000 petits et 200 moyens
<u>Objectifs</u>				
AEP	Oui	Oui	Oui	Non
Protection aval	Oui Crues	Oui Crues et envasement gds barrages	Oui Crues	Non Crues et envasement gds barrages
Recharge nappes	Oui	Oui	Oui	Oui
Pisciculture	Oui	Oui	Oui	Oui
Environnement	Oui	Oui	Oui	Non
Loisir	Oui	Oui Non	Oui	Oui Non
Décideur de la réalisation	Min. de l'irrigation Plan Vert Privé	Min. des TP Min Agriculture Min Intérieur	Min de l'irrigation	Min. Agriculture DGA ² et DGTH ³
Mode de réalisation	En régie Centralisé	En régie et utilisation intensive de main d'œuvre Centralisé	En régie Centralisé	Entreprise privée après appel d'offres Décentralisé
Remembrement, redistribution des terres		Suivant les barrages	Oui	Non pour les lacs collinaires, oui pour les barrages
Responsable de l'exploitation	Ministère de l'irrigation	Min. de l'intérieur Cercle	Min. de l'irrigation. Direction de bassin	Min. de l'agriculture (CRDA ⁴)
Organisation des utilisateurs		Si AEP, société de distribution des eaux. Privée ou collective AUEA ⁵ .	Centralisée, gestion par la direction de bassin	Encouragement à la création d'AIC ⁶ et de comités de gestion
Tarifification de l'eau		Oui : couverture des frais d'exploitation	Oui : couverture des frais d'exploitation	Non pour les lacs. Oui pour certains barrages par Groupement de producteurs
Etudes et suivis	Faibles	Importantes	Moyennes	Importantes
<p>(¹)La Commission Internationale des Grands Barrages fixe comme limite inférieure une hauteur d'ouvrage de 15 m. Nous considérons comme petits barrages des ouvrages d'une hauteur inférieure à 15m et d'une capacité inférieure à 5 millions de m3 en distinguant les micro réservoirs (<50 000 m3), les petits réservoirs ou lacs collinaires (50 000 à 500 000 m3) et les moyens réservoirs ou barrages collinaires (500 000 à 5 000 000 m3). (²) DGA² : Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des terres agricoles (³) DGTH : Direction des Grands Travaux Agricoles (⁴) CRDA : Commissariat Régional de développement Agricole (⁵) AUEA : Association d'Usagers des Eaux Agricoles. (⁶) AIC Association d'Intérêt collective</p>				

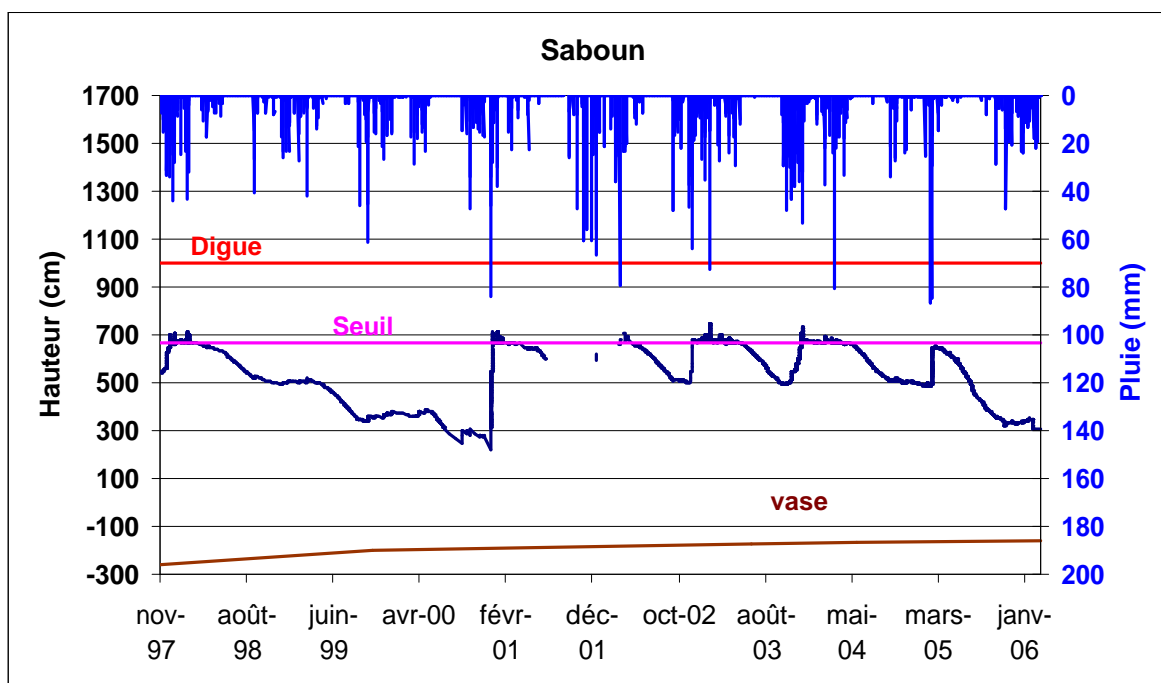
Place des petits barrages dans la mobilisation des eaux de surface

Pour quantifier les apports liquides et solides des petits bassins versants situés en amont des lacs collinaires, le projet HYDROMED a réalisé l'équipement de sept sites pilotes: cinq en Tunisie, un en Syrie et un au Maroc. Sur chacun de ces sites, le lac collinaire est équipé d'une échelle

limnimétrique, d'un pluviomètre journalier, d'un bac à évaporation et de deux centrales d'acquisition automatique de données : la première est reliée à un capteur pluviométrique et la seconde à une sonde immergée mesurant le niveau de l'eau au cm près et sa température. La température de l'air est également mesurée. L'évacuateur de crue est aménagé pour disposer d'un seuil déversant permettant l'estimation des débits. Des mesures de conductivité électrique et de pH sont effectuées à chaque visite de contrôle et de collecte des données enregistrées (en moyenne une visite tous les trois mois). Des mesures de bathymétrie et de nivellement sont réalisées périodiquement (en moyenne tous les deux ans) dans les retenues.

Ces données ont permis l'analyse du bilan hydrologique des retenues. Les débits entrant dans le lac ont été reconstitués sur des petits pas de temps (5 minutes). Les pertes par déversement, évaporation, infiltration ou utilisation de l'eau ont été calculées sur un pas de temps journalier. La figure 1 montre sur un même graphique les précipitations journalières, les variations du niveau du plan d'eau et celui des dépôts de sédiments au fond de la retenue, mesurées au barrage du site Marocain de Saboun de 1997 à 2006. On remarquera l'effet de la sécheresse importante des années 1999-2000 qui a frappé le pays.

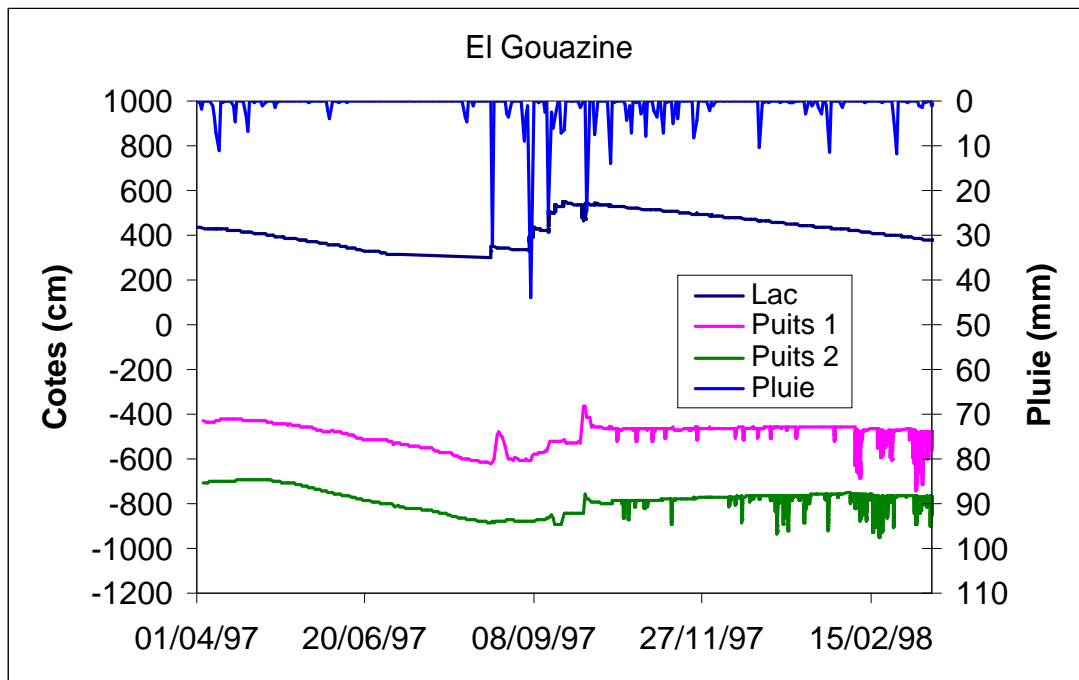
Figure 1 : Observations hydrologiques sur le lac de Saboun



Les données de pluie et d'écoulement recueillies sur ces sept sites ont servi à la mise au point d'un modèle hydrologique permettant la simulation de crues entrant et sortant de la retenue et le calcul de la probabilité de défaillance du barrage pour un mois donné en fonction d'une capacité initiale, d'un taux d'envasement et d'un objectif d'irrigation (Ragab *et al*, 2001, a, b,c).

Un site pilote où la construction du barrage avait pour premier objectif le soutien de la nappe phréatique (El Gouazine en Tunisie Centrale) a été équipé de piézographes automatiques afin de calibrer et valider un modèle hydrodynamique de recharge de la nappe (Nasri, 2002). La figure 2 montre la recharge de la nappe alluviale en aval du lac d'El Gouazine sous une pluviométrie inter-annuelle de 400 mm.

Figure 2 : Recharge de la nappe alluviale en aval du barrage d'El Gouazine



Les volumes mobilisés par ces ouvrages sont petits mais disséminés sur d'importants territoires. En Tunisie, par exemple, les 600 petites unités (lacs collinaires) et les 40 un peu plus importantes (barrages collinaires) mobilisaient en 2000, 150 millions de m³ contre 1610 millions de m³ pour les grands barrages. Les eaux stockées dans les petits barrages ou dans les nappes alluviales adjacentes et aval permettent différents usages.

Seuls les ouvrages dont la durée de vie dépasse 30 ans et dont la capacité est supérieure à 100 000 m³ peuvent être utilisés à des fins d'alimentation en eau potable ou à des valorisations par des périmètres irrigués. Les autres peuvent être utilisés pour des reboisements ou la mise en place d'oliveraies; les oliviers ne réclamant une irrigation que les trois premières années de plantation (Selmi & al 2000) ou comme point d'eau provisoire pour les troupeaux comme les petites retenues collinaires dites "Rdirs" dans les collines situées à la limite de l'aridité (100 à 400 mm) aménagées par les associations d'éleveurs d'ovins et de caprins ont aménagé. (Benyounes, 1985),

En Tunisie, un faible volume d'eau des lacs situés auprès des habitations est prélevé pour des fins domestiques.

Dans les provinces syriennes de Swaïda, Badia et de Kalamoun, ou dans la Bekaa libanaise la forte croissance démographique et le coût élevé du transport de l'eau par camions citernes a conduit à construire des ouvrages de rétention d'eau sur les oueds, dès que le coefficient annuel de ruissellement atteint 5%. Ces barrages sont équipés de pompes et de systèmes de distribution d'eau par tuyaux. Des abreuvoirs sont construits pour protéger les réserves d'eau d'une pollution fécale. Bien que tous les barrages de la province aride de Swaïda aient été construits dans un objectif d'AEP, il n'en reste pas moins que le déficit en eau potable atteint encore 75% des besoins en année sèche dans cette région.

Au Maroc, dans les régions où les eaux souterraines sont inexistantes (régions de grés, ou zones de schistes dans le moyen Atlas), des petits barrages sont complètement équipés pour la fourniture d'eau potable de qualité. Ils sont alors interdits à l'exploitation agricole et aux animaux, leurs impluviums font l'objet de mesures de protection. La présence d'eau potable stimule l'activité économique. Elle stabilise les populations.

L'irrigation est l'usage le plus recherché pour les ouvrages collinaires. En Tunisie, la situation en 2000 montre l'existence de quelques 235 lacs collinaires équipés en groupes motopompes individuels ou collectifs et d'une quarantaine de barrages collinaires avec un périmètre irrigué (source DG ACTA et DGTH). Ces ouvrages contribuent, de ce fait, au développement local. Cette situation sur les 235 lacs collinaires profite à un total de plus de 1500 bénéficiaires qui exploitent l'eau soit dans un cadre individuel pour la majorité des lacs ou dans le cadre d'un comité de gestion ou d'associations d'intérêts collectifs.

Au Maroc, une cinquantaine de petits ouvrages sont mis en exploitation depuis 1985. Les conclusions d'une étude d'évaluation a posteriori du programme des petits barrages par la méthode des effets ont montré que la part de la valeur ajoutée directe agricole et de l'élevage et qui revient aux comptes des ménages, est estimée à une moyenne de 10200 Dh/an et par ménage (El Mohamadi, 1994).

L'irrigation à partir des petits barrages est pratique courante en Syrie. L'usage de l'eau pour l'irrigation à partir de ces ouvrages est taxé par l'Etat. La taxe annuelle sur l'irrigation a été fixée en 1997 à 276 liras syriennes par dhounim¹ soit l'équivalent de 61\$ US par hectare.

¹ 1 Dhounim, unité locale de mesure de la superficie, correspond à 1000 mètres carrés soit 0.1 ha.

Les périmètres irrigués autour de ce type d'ouvrages varient de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares.

Dans les montagnes du Liban, une multitude de petits réservoirs sont utilisés pour capter les eaux souterraines et les eaux de fonte des neiges. Ces réservoirs sont disposés en cascade sur les versants. Leur eau est utilisée pour l'irrigation de vergers .

L'analyse de la diversité de fonctionnement des systèmes de production agricole autour des lacs de petits barrages tunisiens montre que (Selmi 1996) :

50% des exploitants n'ont pas introduit l'irrigation et conservent leur système de production traditionnel ;

28% commencent à intégrer le facteur eau dans leur fonction de production agricole ;

Seulement 22%, pouvant être appelés pionniers, pratiquent la petite irrigation.

Ce taux d'exploitation des lacs collinaires est faible mais très variable d'un site à l'autre. Il tend à croître de manière importante ces dernières années. Sur le site de Kamech, dans le Cap-Bon, la retenue est équipée de 8 motopompes et fait cohabiter des périmètres de cultures industrielles (12 ha de tomates, avec un rendement moyen de 35 t.ha-1, et piments) et des jardins maraîchers traditionnels.

L'usage de l'eau permet d'introduire de nouvelles spéculations (notamment le maraîchage et l'arboriculture) très rentables dont la marge brute peut atteindre 10 fois celle de la céréaliculture traditionnelle extensive. Cette exploitation optimale de l'eau des lacs collinaires est à l'origine de la création d'un supplément de revenu annuel important qui se traduit par l'amélioration de l'habitat et une spéculation foncière sur les terres jouxtant les lacs. Apparaissent des spéculations à forte valeur ajoutée comme les pépinières de noyers dans les régions fraîches d'altitude, les écorces de racines sont utilisées à la fois dans la cosmétique traditionnelle et dans l'industrie pharmaceutique moderne.

Place des petits barrages dans la régulation des flux de sédiments

L'expérience mondiale évalue le taux de perte en volume des barrages par sédimentation à 1% par an et à 130 10⁹ Euros le coût de récupération des volumes mobilisables d'eau ainsi perdus (Mahmood, 1987). En Tunisie où les grands barrages représentent un volume mobilisable de 1 612 millions de m³, cette perte est estimée à 1,6% (Habaïeb et Albergel, 2001). L'idée est donc de stopper les sédiments, essentiellement produits par les zones amont montagneuses, dans de petites retenues au coût de construction modéré. La construction des petits barrages en cascade sur les

oueds amortit l'onde de crue et diminue la dynamique érosive des écoulements souvent brutaux en climat méditerranéen.

La quasi totalité des grands barrages marocains sont concernés par des apports importants en sédiments. De nombreux petits barrages ont été construits pour ralentir leur envasement. Par exemple, le plus grand barrage du Royaume, barrage d'Al Wahda sur l'oued Ouergha, dans la province de Sidi Kacem (88 m de hauteur et $3,4 \cdot 10^9$ m³ de capacité) est protégé par de nombreux petits barrages construits ou en projet dans l'amont de son bassin pour retenir les produits de l'érosion provenant des fortes pentes marneuses du Rif. L'érosion du bassin versant Ouergha estimée à 98 T/ha/an sur une superficie de 6150 km² ferait perdre annuellement au barrage un volume de 60 Mm³ (Maroc Agri, 2001).

Une méthode d'évaluation du transport solide à l'exutoire des petits bassins a été mise au point à partir de mesures régulières de la bathymétrie des lacs collinaires et d'un suivi du bilan hydrologique de la retenue. La bathymétrie de la retenue se fait par sondages ponctuels du fond de la retenue suivant des transversales entre les deux rives du barrage. Les extrémités de chaque transversale sont nivelées et positionnées sur le plan de recollement de la retenue. Un modèle numérique de terrain est réalisé. La comparaison entre les volumes du réservoir à la cote de déversement, d'une mesure à l'autre, permet d'estimer la quantité de matériaux retenus. On attribue aux volumes déversés une concentration moyenne de matière en suspension, obtenue par échantillonnage. Le transport solide entre deux mesures de bathymétrie est donc obtenu en ajoutant au volume de vase retenu dans le barrage et multiplié par sa densité, la masse de terre exportée par les débits liquides déversés.

$$T = V_s \cdot d + \sum_{i=1}^n S_i C_i \quad (1)$$

T Transport solide total entre deux mesures bathymétriques (t) ; Vs Volume de vase mesurée (m³), d Densité de la vase, n nombre de crues ayant déversées entre deux mesures, Si Volume déversé pendant la crue i (m³), Ci concentration moyenne en matière en suspension mesurée durant la crue i (t/m³).

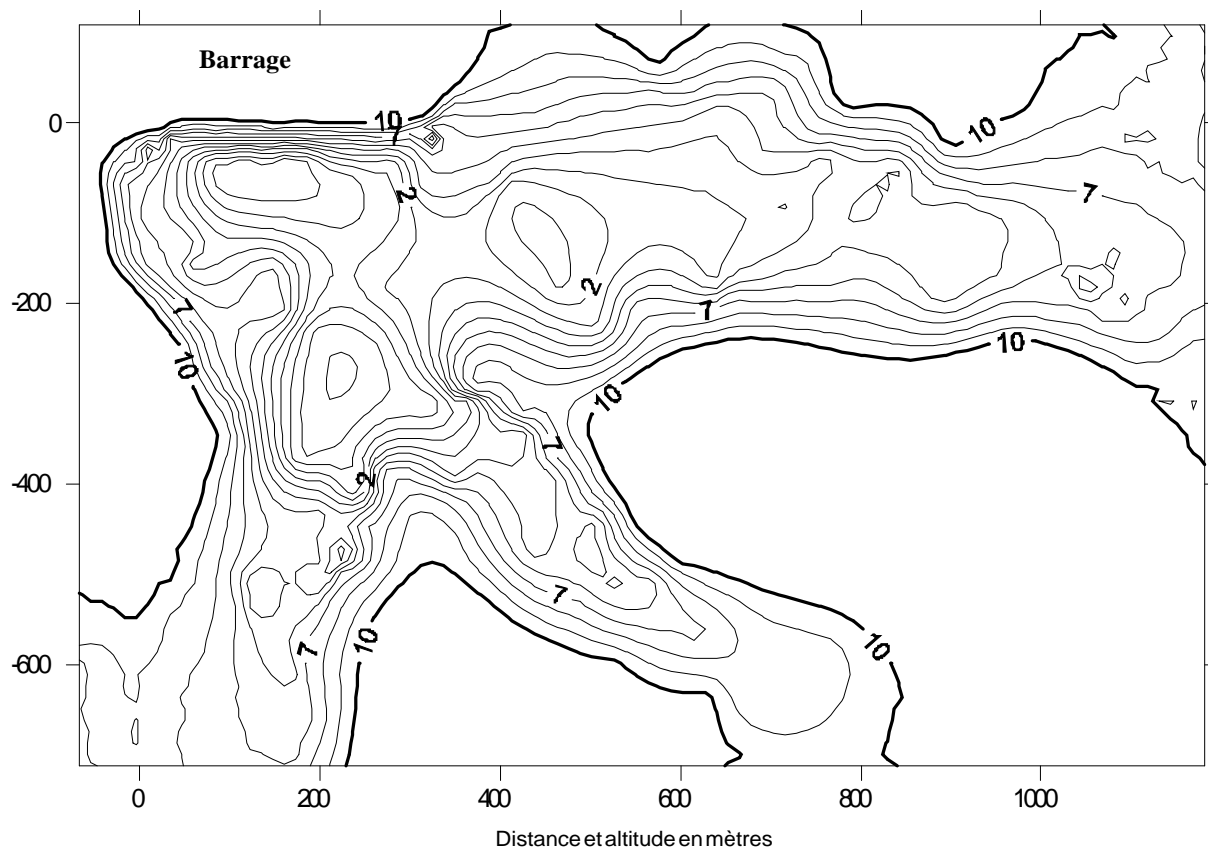
Cette méthode simple à mettre en oeuvre permet d'obtenir une bonne estimation des transports solides à l'exutoire d'un bassin versant de retenue. Elle globalise les pertes en terre dues aux trois formes d'érosion hydrique : (i) l'érosion en nappe qui provient du ruissellement des pluies sur les parcelles en pente des versants, (ii) l'érosion ravinaire causée par les écoulements concentrés à

l'échelle de portions de versants, (iii) l'érosion de berge produite par les variations de régimes d'écoulement dans le réseau hydrographique.

Un modèle permet de simuler les apports crue par crue (Albergel et al, 1999). Il a été validé sur huit sites répartis dans les quatre pays du programme HYDROMED et appliqué à vingt quatre petits barrages de la dorsale tunisienne (Albergel et al, 2003).

La figure 3 montre la mesure de bathymétrie du petit barrage de Saboun (bassin versant de 7 km²) dans le Rif occidental du Maroc

Figure 3 : Bathymétrie du barrage de Saboun en Juin 2004 (distances et altitudes en m)

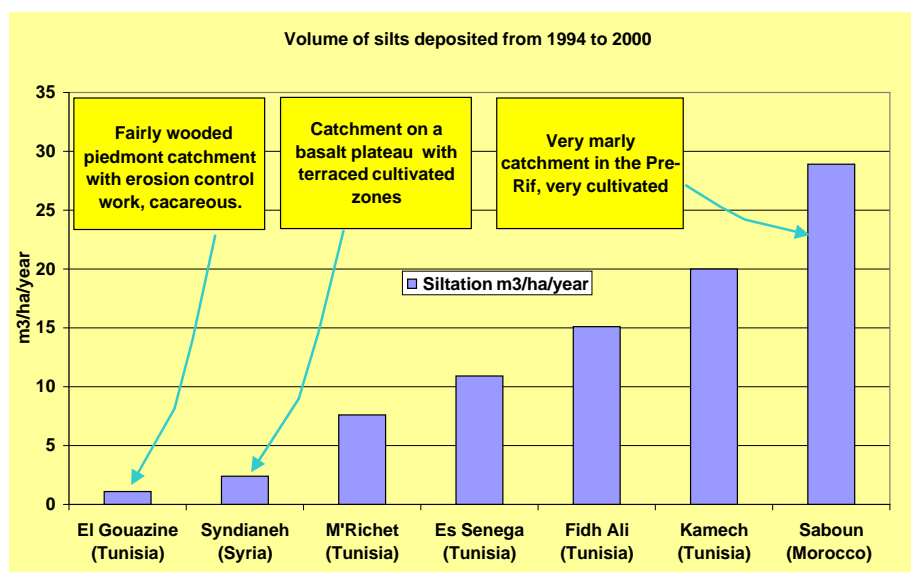


Sur le dispositif du programme Hydromed, l'envasement, rapporté à la surface du bassin versant, varie de 1,1 m³/ha/an (soit 1,8 t/ha/an), sur un bassin de piémont bien aménagé en dispositifs anti-érosifs et assez boisé (El Gouazine en Tunisie Centrale), à 31 m³/ha/an (soit 50 t/ha/an) sur un petit bassin très marneux des collines pré-rifaines au Maroc : barrage de Saboun (Figure 4). Cet envasement est de 2,4 m³/ha/an, (soit 3,8 t/ha/an) pour le barrage de Syndiané suivi sur le plateau basaltique de Homs en Syrie. Les zones cultivées sur les versants de ce bassin sont aménagées en talus et murettes de pierre délimitant les champs. Rappelons que l'USDA considère, comme érosion « normale » en sol cultivé, une érosion comprise entre 1 et 11 t/ha/an (Roose, 1994).

Le même suivi sur 24 petits barrages dans la dorsale tunisienne montre une perte totale de volume de 585 200 m³ à la fin de l'année 1999 sur une capacité initiale de stockage de 2 634 000 m³, soit une perte de 22% pour une durée d'existence moyenne de 7,7 années. La perte moyenne de la capacité de stockage est donc de 4,6% par an (ordre de grandeur cité en Italie pour les petits barrages par Gazzalo & Bassi, 1969).

L'érosion moyenne captée dans les petits barrages serait d'environ 16 t/ha/an. En extrapolant ce résultat aux mille lacs collinaires prévus par la stratégie nationale et en leur donnant les caractéristiques moyennes des 24 étudiés, on obtiendrait un stockage de 3,2 millions de m³ par an soit 13% de l'envasement actuel des grands barrages tunisiens, ce qui n'est pas négligeable. Bien sûr, ce résultat ne tient pas compte des barrages qui seraient totalement envasés ou ceux qui seraient emportés par de grosses crues et libèreraient les sédiments stockés.

Figure 4 : Envasement dans les retenues collinaire du programme HYDROMED (Albergel et al, 2005)



Le modèle de reconstitution du transport solide crue par crue a permis de mieux comprendre l'érosion et ses conséquences sur l'envasement des retenues de petits barrages. La figure 5 montre cette reconstitution pour le barrage de Saboun au Maroc. On voit bien que le phénomène d'envasement est lié à des événements paroxysmiques. Dans cette chronique de 9 années, trois crues ont apporté 20 % du transport solide (22 décembre 2000, 21 janvier 2003, 8 décembre 2003). La seule crue du 22 décembre 2000 a apporté près de 20 000 m³ de vase et a contribué à elle seule à près de 10% du transport observé en 9 ans.

Les mesures du transport solide retenu par le petit barrage de Saboun dans le Rif occidental (bassin versant de 7 km²) Abdelhaoui et al, (2002) montrent une érosion de 50 t/ha/an. Ces valeurs d'érosion très fortes sont en contradiction avec les mesures de l'érosion sur parcelle connues dans la

région et dont les plus fortes ne dépassent pas 10 t/ha/an. Deux raisons peuvent expliquer la différence importante entre les données d'érosion spécifique modélisée à partir des données d'envasement du barrage et celles estimées à partir des mesures sur parcelles d'érosion :

Le barrage a intégré tous les événements érosifs depuis sa création (1991) tandis que les parcelles sont observées que quelques années et souvent les événements exceptionnels sont mal observés en raison du débordement du dispositif de mesure.

Il existe sur le bassin versant de Saboun un ravinement très actif qui apporte une quantité importante de sédiment au barrage.

A partir d'expérimentations sous simulation de pluie et de l'application d'un modèle de production et de transfert des sédiments, Hamed et al, 2002 font la part des différents types d'érosion sur le bassin versant du petit barrage de Mrichet El Anse en Tunisie Centrale (érosion estimée à 12,5 t/ha/an). Ils montrent qu'en année sèche, l'érosion aréolaire produit 90% des sédiments arrivant au barrage alors qu'en année pluvieuse, seulement 65% de l'érosion provient des versants ; le reste est produit par le surcreusement des ravines et les effondrements de berge.

Conclusion

Cette rétrospective de résultats obtenus par le programme de recherche HYDROMED montre l'impact significatif des aménagements de petite et moyenne hydraulique sur les flux de ruissellement et de transport solide en milieu semi-aride méditerranéen. Implantés dans des environnements fragiles et à faible activité économique, ces petits barrages sont perçus comme une ressource supplémentaire, vitale mais incertaine. Le choix des sites d'implantation et la gestion des retenues doivent être en rapport avec des objectifs précis d'ordre conservatoire ou délibérément orientés vers le développement rural.

Ainsi on voit se profiler les deux grands types de lacs collinaires :

Ceux qui répondent à la présence de risques particuliers dans le milieu, et notamment l'envasement de barrages en aval. Les lacs de retenue sont de bons pièges à sédiments. Ils protègent les infrastructures à l'aval et peuvent prolonger la durée de vie d'un barrage plus grand.

Ceux qui sont en situation de potentialité évidente avec bonne garantie de ressources en eau et en terres et surtout potentiel humain, motivé, innovateur, compétent même si un apprentissage est nécessaire et en définitive apte à assumer très vite un transfert de

responsabilité à son profit. L'objectif de recharger la nappe alluviale est réaliste dans de nombreux cas et doit être pris en compte.

Les retenues d'eau peuvent être gérées de manière rationnelle avec un suivi hydrologique simple basé sur le suivi des hauteurs d'eau dans le lac de retenue et une bathymétrie régulière.

Bibliographie

ABDELHAOUI, B.; MERZOUK, A.; ABERKAN, M.; ALBERGEL, J. ; 2002 : Bilan hydrologique et envasement du barrage Saboun (Maroc), *Revue des sciences de l'eau*, Vol. 15. pp. 737-748

ALBERGEL, J. ; PEPIN, Y. ; NASRI, S. ; BOUFAROUA, M. ; 2003 : Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens. *In Hydrology of the mediterranean and semi-arid regions (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003 IASH Publ. n° 278, 2003 pp. 373-379.*

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

ALBERGEL, J., COLLINET, J., PEPIN, Y., NASRI, S., BOUFAROUA, M., DROUBI, A., MERZOUK, A. 2005. Sediment budgets on hill reservoirs of small catchments in North Africa and the Middle East. *International Association of Hydrological Science*, 291, 323-331

ALBERGEL, J., S. NASRI, AND J.M. LAMACHERE, 2004 : HYDROMED - Programme de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2004. 17/2: p. 133-151

ALBERGEL, J.; PEPIN, Y.; NASRI, S.; BOUFAROUA, M.; 1999 : Modeling small dams siltation with MUSLE. *In Proceedings of the International Seminar Rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas, an expert meeting within the EU-INCO collaboration HYDROMED. Department of water resources engineering, Lund Institute of Technology, 29/6 au 3/7/98. Report 3222, LUND, Suede. pp. 195-204.*

BEN YOUNES O.C. 1985 : La gestion des retenues : les lacs collinaires au Maroc. *Ouvrage d'irrigation. Retenues collinaires (Sophia Antipolis)*. 13 Fev. 5 Mars 1985

DARVES-BORNOZ R & CLEMENT, 1957 : Les barrages collinaires en Italie. *Rapport de mission BTGR n°36.*

EL. MOHAMADI N 1994: Gestion et impact des petits barrages sur l'environnement. Cas du Maroc. In Petits Barrages. Actes des Journées nationales d'Etudes. AFEID et CFGB, Bordeaux 2-3 Février 1993. pp 391-403

GAZZALO T. & G.BASSI (1969) Contribution à l'étude du degré d'érosion des sols constituants les bassins versants des cours d'eau italiens. *Extraits de publications de l'Agence Italienne d'Hydraulique*, n° 53.

HABAÏEB, H. et ALBERGEL, J. ; 2001 : Vers une gestion optimale des ressources en eau : exemple de la Tunisie. In *Séminaire Int. "Hydrologie des Régions Méditerranéennes"* ; PHI-V / *Documents Techniques en Hydrologie*. UNESCO Paris France, pp187-193.

HAMED, Y.; ALBERGEL, J.; PEPIN, Y.; ASSELINE, J.; NASRI, S.; ZANTE, P.; BERNDTSSON, R.; EL NIAZY, M.; BALAH, M.; 2002 : Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion sensitive semiarid catchment. *Catena* 50 (2002) pp1-16

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

MAHMOOD, K.;1987 : Reservoir sedimentation: Impact, extent, mitigation. *World Bank Technical Paper* Number 71. Washington DC: World Bank.

MAROC AGRI ; 2001 : Le Gharb, hier, aujourd'hui et demain. *Terre et Vie* n° 47, Février 2001. 12p.

NASRI, S 2002: Hydrological effects of water harvesting Techniques : a study of tabias, soil contour ridges, and hill reservoirs in Tunisia. *Phd thesis Department of Water Resources Engineering, Lund University, n° 1030*, pp 104

RAGAB, R., B. AUSTIN, D. MOIDINIS 2001, a: The HYDROMED model and its application to semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs The rainfall-runoff model using a genetic algorithm for optimisation. *Hydrology and Earth System Sciences* 5:543-553.

RAGAB, R., B. AUSTIN, D. MOIDINIS 2001, c: The HYDROMED model and its applications to semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs. Reservoirs storage capacity and probability of failure model. *Hydrology and Earth System Sciences* 5:563-568.

RAGAB, R., D. MOIDINIS, J. ALBERGEL, J. KHOURI, A. DROUBI, S. NASRI. 2001, b: The HYDROMED model and its applications to semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs. Rainfall - runoff model applications to three Mediterranean hill reservoirs. *Hydrology and Earth System Sciences* 5:554-562.

ROOSE E. ; 1994 : Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO n°70*. 420p

SELMI S. 1996 : Interventions de l'état en milieu rural et réactions des collectivités locales face à la gestion d'une ressource rare. Les lacs collinaires dans le semi-aride tunisien. Thèse de doctorat. Montpellier. ENSAM., 400p

SELMI S., SAI M.B., HAMMAMI M. 2000 : Le développement de l'olivier autour des lacs collinaires : une valorisation d'une ressource aléatoire et non pérenne.