

Les lacs et barrages collinaires : infrastructures hydrauliques d'aménagement et de conservation des terres agricoles en zone semi aride méditerranéenne.

Hommage des équipes « Lacs collinaires » en Tunisie
à feu Roger Pontanier et à feu Habib Missaoui.

Jean Albergel*, Slah Nasri**, Jean Marie Lamachère***,

* IRD, UMR LISAH – 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex

** INRGREF, Unité de CES, BP n° 10, 2080 Ariana, Tunisie

*** IRD, UMR LISAH – BP 434, 1004 Tunis

Résumé :

Les barrages et lacs collinaires sont des aménagements de moyenne et petite hydraulique sur les cours d'eau secondaires dans les parties amont de grands bassins versants. Il s'agit de digues en terre compactée avec un déversoir latéral donnant lieu à des retenues d'eau de quelques dizaines de milliers de m³ à quelques millions de m³, inondant des surfaces de taille modérée (quelques hectares à quelques dizaines d'hectares). Leur construction vise des objectifs à la fois de conservation des eaux et des sols, de protection d'aménagements plus importants à l'aval et de développement local.

Au début de la décennie 90, à l'instar des pays méditerranéens d'Europe quelques années plutôt, la Tunisie a lancé un programme ambitieux de réalisation de ces aménagements dans toutes les régions semi-arides du pays. Ce programme fut à l'origine d'un important effort de recherche pluridisciplinaire sur le fonctionnement hydrologique des bassins versants concernés et sur l'impact des petits barrages sur l'environnement et sur les sociétés riveraines. Il a concerné la Tunisie et le Maroc en Afrique du Nord, le Liban et la Syrie au Proche Orient (HYDROMED, 2001).

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

Introduction

Cet article se veut, être un hommage à Feu Roger Pontanier, directeur de Recherche de l'IRD et à Feu Habib Missaoui, Directeur de la CES. Cet hommage leur est rendu par les équipes de chercheurs, ingénieurs, étudiants, techniciens et observateurs qui ont travaillé et travaillent en Tunisie et dans les autres pays du Maghreb et du Proche Orient depuis le début des années 90 sur les lacs et barrages collinaires.

Si les lacs et barrages collinaires sont devenus les objets et sujets de recherche aussi connus (326 références Web trouvées par Google pour Lac & Collinaire & Tunisie en 0,33 secondes), c'est que quelques hommes se sont retrouvés ensemble en Tunisie vers la fin des années 80 pour penser qu'il était possible aux Sciences de l'Environnement de tirer profit de l'important effort d'aménagement entrepris par l'Etat Tunisien dans les zones semi-arides pour créer des observatoires de recherche sur le milieu et les sociétés. Parmi les pionniers du sujet, il y avait bien sûr Feu Roger Pontanier et Feu Habib Missaoui mais il faut également citer, Si Amor Horchani, Secrétaire d'Etat pour l'aménagement hydraulique qui s'est personnellement impliqué dans ces projets de recherche, Bernard Dalmayrac, représentant de l'IRD en Tunisie, Si Habib Farhat, Directeur Général de la DG ACTA qui a succédé à Feu Habib Missaoui, Henri Camus, directeur de recherche à l'IRD, Slahédine Bouzaïane, ingénieur à la DGRE, Ahmed Rajah, CRDA de Kasserine où les premiers observatoires ont été installés, Jean Claude Talineau, Directeur de Recherche à l'IRD, Jallel El Falleh, Ahmed Smaoui de la CES, Noël Guiguen et Mohamed Ben Younes hydrologues à l'IRD...

Depuis plus de vingt années se succèdent, sur cet observatoire environnemental que constituent les lacs et barrages collinaires du réseau pilote tunisien de surveillance hydrologique, des chercheurs, ingénieurs, étudiants qui font référence à Feu Roger Pontanier dans leurs travaux scientifiques.

Lacs et barrages collinaires : définition

Les petits barrages sont connus depuis la haute antiquité, tel le barrage construit sur l'oued Nahr El Asi près de Homs sous le règne de Sethi 1er (1 319 -1 304 av JC). Beaucoup ont été construits au début de l'ère chrétienne (barrage de Badieh sur la route de Palmyre en Syrie). De nombreuses ruines attestent de leur présence dans les steppes et montagnes sèches des pays méditerranéens et du Moyen Orient. Certains existent toujours mais sont complètement remplis de sédiments. Les premiers petits barrages, construits selon des techniques modernes, ont été réalisés en Italie dans les monts Apennins après la seconde guerre mondiale par les services du Génie Rural auxquels il avait été confié le recyclage des nombreux engins de terrassement abandonnés par les armées américaines et canadiennes après les débarquements de la campagne d'Italie en 1944.

Ces petits barrages (photo 1) sont des aménagements très spécifiques destinés non seulement à la mobilisation des ressources en eau de surface mais aussi à la lutte contre les fortes crues. Ces barrages ont des hauteurs de digues faibles (5 à 15 m, 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 modéré (collines). Ils sont équipés de déversoirs latéraux de conception rustique, capables d'évacuer quelques dizaines de mètres cubes par seconde, 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 quelques million de mètres cubes (Albergel et Rejeb, 1997). Parmi les objectifs assignés à ces structures on note :

- la capture des sédiments pour protéger de plus grands barrages en aval,
- la régulation des crues torrentielles de montagne,
- la recharge des nappes alluviales des oueds,
- la mobilisation locale d'un volume d'eau qui peut servir suivant la dimension du barrage et sa pérennité, (i) à la mise en place d'un reboisement ou d'une oliveraie, (ii) à l'abreuvement des animaux, (iii) de réserve pour de la micro-irrigation, ou encore pour (iv) une exploitation piscicole...

On note donc des objectifs essentiellement de deux ordres et parfois contradictoires :

- des objectifs de gestion et conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval et particulièrement, en Afrique du Nord, celle des grands barrages d'une sédimentation trop rapide



Figure 1 : Lac collinaire de Kamech au nord du Cap Bon en Tunisie (© Albergel).
Hauteur du barrage 10m ; volume du réservoir 142 560m³, surface maximale du lac 44 500m²

- et des objectifs de développement économique et social en offrant une ressource renouvelable, rare mais vitale : l'eau, de manière disséminée dans le paysage, en limitant les bouleversements d'ordre social (expropriation, déplacement d'infrastructures ou de logements).

Développement des barrages et lacs collinaires

La culture de l'aménagement du territoire étant différente dans chaque pays, le développement des petits barrages a suivi des chemins différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir dans l'ensemble des pays d'Afrique du Nord et du Moyen Orient (Albergel et *al.*, 2004).

En Tunisie, dans le cadre du programme « Aménagement des terres en pente, mobilisation des ressources en eau, entretien et sauvegarde des aménagements », inscrit au 8^{ème} plan de l'Etat, était prévue, au cours de la décennie 1990-2000, la construction de plus d'un millier de petits barrages dans la partie septentrionale du pays. Ces ouvrages sont devenus la pierre maîtresse de la stratégie nationale en matière de conservation des eaux et des sols (sources : Ministère de l'agriculture, Direction de la Conservation des Eaux et des Sols). Les objectifs de cette stratégie étaient les suivants (Talineau et *al.*, 1994) :

- réduire les pertes en terres agricoles (estimées couvrir 10 000 ha par an) par l'aménagement des versants ;
- réduire l'envasement des grands barrages (25 Mm³ par an en 1990) ;
- augmenter la recharge des nappes ;
- mobiliser la plus grande partie possible des 500 Mm³ d'eau perdue alors dans la mer ou dans les Sebkhass ;
- créer des points de développement des cultures irriguées.

La figure 2 montre l'état d'avancement du programme « barrages et lacs collinaires en Tunisie » au cours de l'année 2000. Dans ce pays, on distingue les aménagements dont les réserves d'eau sont

inférieures à 300 000 m³ (lacs collinaires) de ceux dont la réserve est supérieure (barrages collinaires). Ainsi la Tunisie a réalisé, en une décennie, environ 700 unités de la première catégorie et une quarantaine de la seconde.



Figure 2 : Lacs et barrages collinaires tunisiens construits avant l'année 2000

Au Maroc, la période de sécheresse du début des années quatre-vingts, considérée comme la plus longue jamais observée, a été le point de départ d'une politique de construction de petits barrages et de lacs collinaires réalisés avec une pratique à haute intensité d'utilisation de la main d'œuvre (Albergel et Claude, 2001). Ces ouvrages sont destinés principalement à l'irrigation, à l'abreuvement du bétail, à la protection contre les crues ou à l'alimentation en eau potable des zones rurales dépourvues de ressources en eaux souterraines facilement exploitables. Quelques essais de pisciculture dans des bassins, en aval des barrages, ont été réalisés. Au cours des années 70 et 80, le Maroc s'est doté d'une importante infrastructure hydraulique or la quasi totalité des grands barrages sont concernés par des apports importants en sédiments et de nombreux petits barrages ont donc été construits pour ralentir leur envasement. Par exemple, le plus grand barrage du Royaume, le barrage d'Al Wahda sur l'oued Ouergha, dans la province de Sidi Kacem (88 m de hauteur et 3,4 10⁹ m³ de capacité) est protégé par de nombreux petits barrages construits 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 de l'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). Au lancement du projet HYDROMED, une cinquantaine de petits barrages d'une hauteur supérieure à 10 m étaient en exploitation et un grand nombre de lacs collinaires, dont les barrages ont une hauteur comprise entre 5 et 10 m, avaient été créés (El Mohamadi, 1993).

En Syrie, les petits barrages sont connus depuis la haute antiquité, tel le barrage construit sur l'oued Nahr El Asi près de Homs sous le règne de Sethi 1^{er} (1 319 -1 304 av JC). Beaucoup ont été construits au début de l'ère chrétienne (barrage de Badiéh sur la route de Palmyre). De nombreuses ruines attestent de leur présence dans les steppes sèches. Certains existent toujours mais sont complètement remplis de sédiments. Les premiers petits barrages construits selon des techniques modernes ont été réalisés au cours des années 60 dans la province de Swaïda pour l'alimentation en eau potable de villages situés sur un plateau basaltique sans aucune ressource en eau souterraine. Ces retenues sont le plus souvent empoissonnées et la pêche y est pratiquée. Proches de grandes villes, les sites de ces aménagements sont des lieux de résidences secondaires et les plans d'eau sont exploités pour les loisirs. C'est le cas du petit barrage d'Al Corane, non loin de Damas, dans une petite vallée d'altitude. Au Proche Orient, la notion de lac collinaire n'est pas aussi bien définie qu'au Maghreb, mais de nombreux aménagements de très petite taille ont été construits pour créer des réserves d'eau destinées au bétail des tribus nomades bédouines. Une cinquantaine de petits barrages d'une hauteur supérieure à dix mètres, construits après 1960, étaient en exploitation en Syrie au début du projet HYDROMED ainsi qu'un grand nombre de micro-aménagements.

Au Liban, dans le cadre du programme de reconstruction du Pays, le Plan Vert a lancé une étude pour la construction d'une centaine de petits barrages, essentiellement dans les zones de piémont des chaînes de montagnes jouxtant la plaine de la Bekaa (www.greenplan.gov.lb). Dans cette zone semi-aride, dominée par les chaînes montagneuses du Mont Liban et de l'Anti Liban, il s'agit de barrages de régulation de crues qui peuvent être très violentes. Il existe aussi, dans les montagnes du Liban, une multitude de petits réservoirs utilisés pour capter les eaux souterraines et les eaux de fonte des neiges. Ces captages alimentent des chapelets de réservoirs disposés en cascade sur les versants. Leur eau est utilisée pour l'irrigation de vergers.

Bilan hydro sédimentaire des barrages et lacs collinaires

Un réservoir alimenté par un seul tributaire, ou au moins un tributaire principal, peut donner autant de renseignements sur les bilans en eau et en sédiments qu'une station hydrologique de bassin versant expérimental et cela à moindre coût. Quelques conditions doivent être cependant remplies (Nouvelot, 1994) :

- Les hauteurs d'eau dans le lac, les précipitations et l'évaporation journalière doivent être contrôlées,
- Le déversoir doit être équipé de manière à connaître les débits évacués,
- La bathymétrie de la retenue doit être réalisée périodiquement afin de définir les relations entre les hauteurs du plan d'eau et les surfaces du plan d'eau d'une part $\{S=f(h)\}$, les hauteurs du plan d'eau et les volumes d'eau stockés dans la retenue d'autre part $\{V=g(h)\}$; elle doit permettre également de suivre leur évolution dans le temps.

Dans les quatre pays du programme de recherche sur les lacs collinaires (HYDROMED 2001), plusieurs lacs collinaires ont été équipés pour un tel suivi. La figure 3 montre ce suivi pour le lac collinaire Kamech présenté en photo 1 :

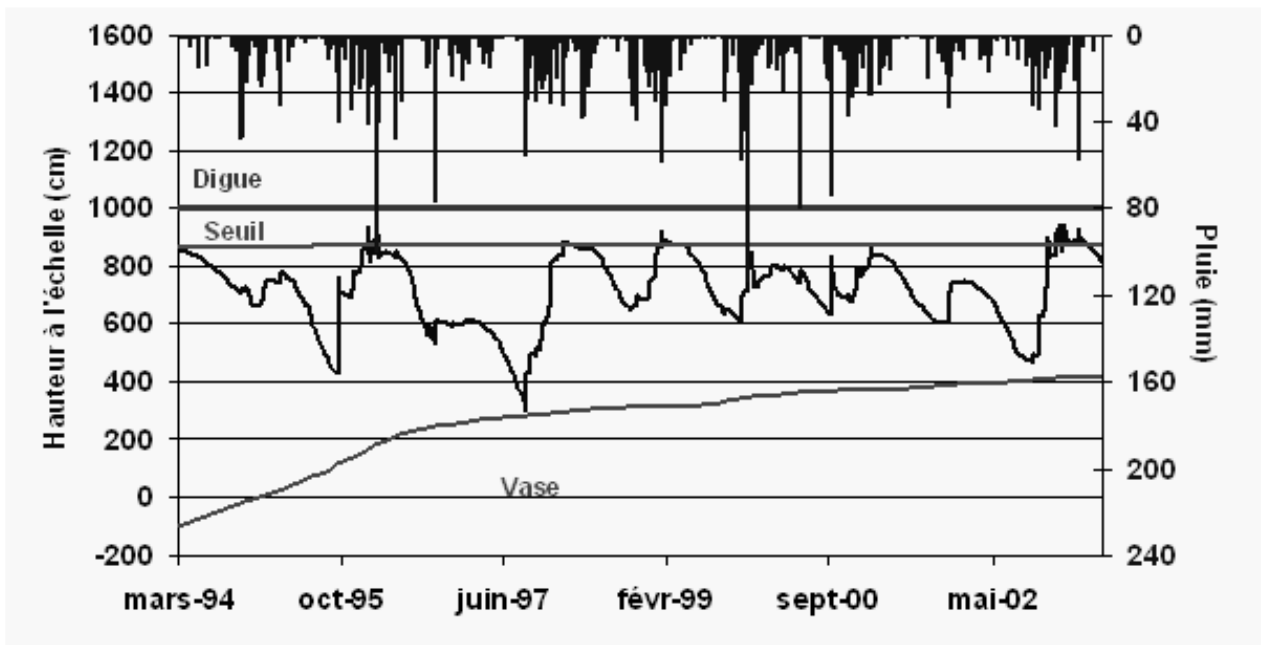


Figure 3 : Données de base pour l'étude des bilans hydro-sédimentaires du lac collinaire de Kamech (1994 – 2004).

A partir de ces données, un modèle basé sur l'équation de la conservation des volumes d'eau a été mis au point pour reconstituer les crues, entrant dans les retenues (Albergel et Rejeb, 1997). La figure 4 montre cette reconstitution sur une suite d'évènements pluvieux survenus sur le bassin du barrage collinaire d'El Gouazine en septembre 1995. Une base de données sur tous les évènements averses-crues a pu être constituée pour les bassins versants situés en amont des barrages concernés par le projet HYDROMED (Maroc, Syrie, Tunisie). Ces données ont été à l'origine de plusieurs travaux sur la modélisation hydrologique et la caractérisation de la défaillance des barrages (Ragab *et al.*, 2001)

L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à partir des mesures de bathymétrie des réservoirs et à travers un modèle de reconstitution des transports solides, évènement par évènement. Ces études ont permis de mieux comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins versants.

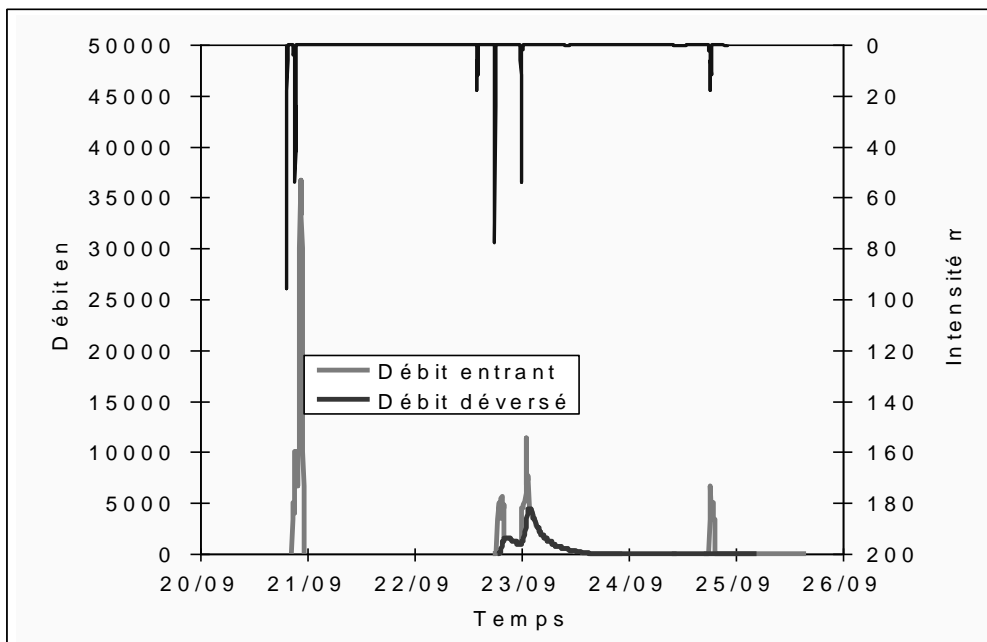


Figure 4 : Crues entrant et sortant de la retenue d'El Gouazine en septembre 1995.

Le modèle permettant de reconstituer les apports solides aux barrages, crue par crue a été validé sur huit sites répartis dans les quatre pays du programme HYDROMED (Albergel et al., 2003) et appliqué à vingt quatre petits barrages de la dorsale tunisienne (Albergel et al., 2005). La figure 5 montre cette reconstitution pour le barrage de Kamech en Tunisie. On voit, sur cette figure, que le phénomène d'envasement est lié à des événements paroxysmiques. Dans cette chronique de 9 années, trois crues ont apporté 50 % du transport solide (27 février 1996, 18 janvier 1999 et 29 novembre 1999). La dernière a contribué à elle seule à 20% du transport observé en 9 ans.

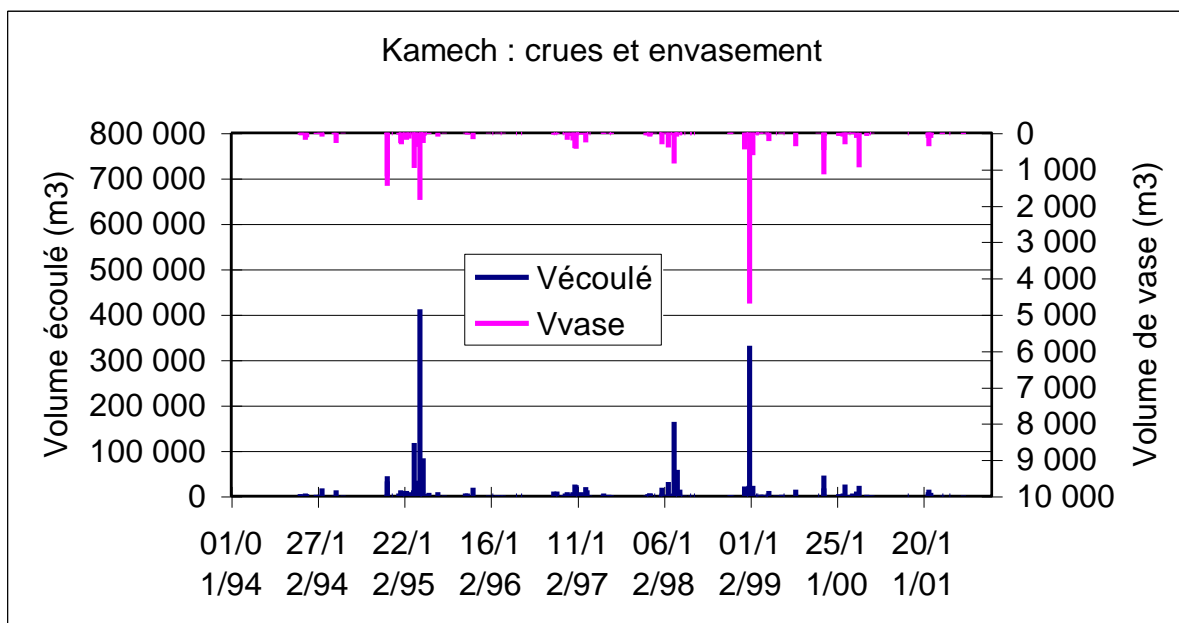


Figure 5 : Ecoulements et transports solides reconstitués crue par crue au barrage de Kamech sur une période de 9 années.

L'envasement des petits barrages, rapporté à la surface du bassin versant, varie de $1,1 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ (soit $1,8 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$), 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. Cet envasement est de 2,4 m³/ha/an, (soit 3,8 t/ha/an) pour le barrage de Syndiané, 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 de la Dorsale tunisienne montre une perte totale 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, du même ordre de grandeur que celle des petits barrages italiens (Gazzalo et Bassi, 1969). Les transports solides captés par les petits barrages seraient d'environ 16 t/ha/an. En extrapolant ce résultat aux mille lacs collinaires prévus par la stratégie nationale tunisienne et en leur donnant les caractéristiques moyennes des 24 lacs étudiés, on obtiendrait un stockage en sédiments de 3,2 millions de m³ par an, soit 13% de l'envasement actuel des grands barrages, ce qui n'est pas négligeable. Bien sûr, ce résultat ne tient pas compte des barrages qui seraient totalement envasés ou de ceux qui seraient emportés par de grosses crues et libèreraient les sédiments stockés.

En conclusion, on peut dire qu'une retenue artificielle de petite dimension est un lieu privilégié pour l'observation du bilan des matières solides transportées par le réseau hydrographique à l'exutoire d'un bassin versant. Les produits de l'érosion collectés par l'écoulement superficiel sont piégés dans le réservoir, à l'exception de ceux déversés lors de rares débordements. Il est facile d'estimer ces transports solides en faisant des mesures régulières de bathymétrie, des prélèvements lors des déversements et un suivi hydrologique de la retenue. Pour une majorité des petits barrages méditerranéens, la quantité de sédiments déversés ou évacués lors de l'ouverture de la vanne de fond est faible par rapport à celle stockée dans le barrage.

Enjeux de développement autour des barrages collinaires

L'eau stockée temporairement en amont des petits barrages peut avoir de nombreux usages : le tableau 1 montre le résultat d'une enquête réalisée en 1997 sur l'usage des eaux des petits barrages dans les pays du programme HYDROMED.

L'analyse des systèmes de production agricole autour de 26 lacs collinaires en Tunisie, réalisée de 1993 à 1996, a permis de comprendre la dynamique de développement agricole. Elle montre que (Selmi, 1996) :

- 50% des exploitants n'ont pas introduit l'irrigation et conservent leur système de production traditionnel ;
- 28% commencent à intégrer l'irrigation dans leur système de production agricole ;
- 22% des exploitants pratiquent couramment la petite irrigation.

	Liban	Maroc	Syrie	Tunisie
Barrages réalisés	2 petites unités, mais de nombreuses micro-réalisations	50 unités moyennes, de nombreuses petites unités	43 unités moyennes, 100 petites unités	40 unités moyennes, 450 petites unités
Projets futurs	Une trentaine prévue	500 prévues, priorité aux unités de 0,5 à 5 Mm ³	30 prévues	200 moyennes et 1000 petites unités
Objectifs				
AEP	Oui	Oui	Oui	Non
Protection aval	Oui (crues)	Oui (crues, sédiments)	Oui (crues)	Oui (crues, sédiments)
Recharge nappes	Oui	Oui	Oui	Oui
Agriculture	Oui	Oui	Oui	Oui
Pisciculture	Oui	Oui	Oui	Non
Environnement	Oui	Oui	Oui	Oui
Tourisme, loisir	Oui	Non	Oui	Non
Types d'ouvrages	Barrages en terre ou en béton armé	Barrages en terre, en béton compacté. Recherche sur les différents types d'étanchéité	Barrages en terre	Barrages en terre Rares en béton
Ministères (Organisme resp.)	Irrigation	Intérieur (Cercle)	Irrigation (Direction de bassins)	Agriculture (Centres régionaux du développement agricole)
Organisation des utilisateurs		AEP : société de distribution des eaux. Privée ou collective	Centralisée, direction de bassins	Encouragement à la création d'associations & comités de gestion
Remembrement et redistribution des terres		Suivant les barrages	Oui	Non pour les petites unités. Oui pour les moyennes.
Tarification de l'eau, couverture des frais d'exploitation		Oui	Oui	Non
Etudes et suivis	Faibles	Importants	Moyens	Très importants

Six ans après le début de leur construction, le taux d'exploitation des lacs collinaires est encore faible mais en augmentation constante et très variable d'un site à l'autre. Sur le site de Kamech, dans le Cap-Bon, au nord-est de la Tunisie, la retenue est équipée de trois à quatre motopompes. Des périmètres de cultures industrielles y cohabitent avec des jardins maraîchers traditionnels et l'irrigation au goutte à goutte s'y généralise. D'autres sites, plus isolés des marchés, ou dont les retenues s'assèchent souvent et longtemps, restent peu ou pas exploités.

L'usage de l'eau permet d'introduire de nouvelles spéculations très rentables (notamment le maraîchage et l'arboriculture) dont la marge brute peut atteindre 10 fois celle de la céréaliculture traditionnelle extensive. Cette exploitation 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.

Cependant, l'envasement rapide de certaines retenues a déçu les agriculteurs. Ainsi, huit hectares de pommiers plantés dans les trois premières années d'existence du lac de Sadine 1 (haut bassin du Zéroud en Tunisie) souffrent aujourd'hui du manque d'eau et sont actuellement très peu productifs. La retenue a été en effet comblée de sédiments à 90% de sa capacité de stockage.

A partir de l'enquête réalisée sur un grand nombre de retenues créées par de petits barrages, on voit bien comment cet aménagement de petite ou moyenne hydraulique complète une politique de mobilisation des eaux de surface jusqu'alors centrée sur la construction de grands barrages. La part de la ressource ainsi mobilisée reste modeste : en Tunisie, elle représentait 149,5 millions de m³ en 1999 dont 72 millions pour les plus petites unités de capacité inférieure à 300 000 m³ (Habaïeb et Albergel, 2001) contre 1 612 millions pour les grands barrages. Mais cette part représente 30% des eaux de surface non mobilisables par les grands barrages (500 millions de mètres cubes par an). Disséminée dans le paysage, cette ressource touche souvent des régions où il n'y a ni grand barrage, ni ressource en eau souterraine importante.

Les enjeux de développement autour des lacs collinaires sont très liés à la pérennité de la ressource en eau. Les types de cultures et d'aménagements agricoles doivent être adaptés à la durée de vie du barrage et aux fréquences de son assèchement. La recharge de la nappe phréatique dans la vallée améliore les potentialités de développement rural en aval du barrage.

Impacts environnementaux des lacs et barrages collinaires

Les petits barrages sont souvent présentés comme ayant un très faible impact sur les écosystèmes environnants en raison de leur petite taille.

Les premiers impacts environnementaux auxquels on peut penser sont ceux liés à la qualité des eaux stockées.

Au cours du programme HYDROMED, une étude sur la qualité de l'eau de 24 retenues a été menée en Tunisie (Rahaingomanana, 1998). Elle a permis d'apprécier la variabilité de la salinité des eaux stockées en relation avec la nature géologique des bassins versants et sous différentes chutes de pluies. Les salinités mesurées satisfont généralement aux divers usages. Trois groupes géochimiques ont été identifiés. Les eaux sulfatées-calciques caractérisent les retenues situées dans les bassins versants du Zéroud et du Merguellil (Tunisie Centrale) où affleurent d'importantes formations gypseuses. Ces eaux sont les plus chargées en sels et l'augmentation de la salinité par évaporation peut limiter les usages en irrigation. Les eaux à dominante bicarbonatée-calcique ont été collectées dans les sous-bassins versants de la Medjerdah (Centre et Nord du pays) où les formations géologiques dominantes sont des alternances de calcaires et de marnes. Bien plus diluées que les eaux sulfatées-calciques, elles présentent moins de contraintes. Deux retenues situées au Cap Bon (Nord-Est de la Tunisie) se singularisent par des eaux peu chargées mais à dominante chlorurée-sodique.

Le rôle des sédiments dans la régulation du phosphore a été étudié dans trois retenues. Les teneurs en phosphore total des sédiments analysés vont de 0,4 à 1,9 mg P.g⁻¹ sec et la fraction P~CaCO₃ prédomine (250 à 800 µg P.g⁻¹ sec). La fraction P~FeOOH est globalement plus importante dans les sédiments les plus riches en FeOOH. La capacité d'adsorption des sédiments n'est toutefois pas directement liée à la quantité de FeOOH, elle pourrait dépendre du degré de cristallisation de ces composés.

Une analyse des risques de pollution par les effluents agricoles a été menée dans le bassin versant du petit barrage de Kamech (Cap Bon, Tunisie) (Vateau, 2003). Aucune molécule de pesticides n'a été retrouvée en quantité significative dans les eaux analysées en début d'été. Les contaminations par les engrais azotés restent dans des proportions acceptables. Ces résultats peuvent être extrapolés à l'ensemble des retenues en milieu rural, excepté celles où des élevages intensifs de volaille ont été installés près des berges ou en amont des retenues. Du point de vue de la qualité des eaux, les impacts environnementaux des petits barrages semblent donc plutôt positifs lorsque les retenues se situent suffisamment loin en aval d'effluents importants : gros villages, élevages avicoles industriels ou élevages bovins en stabulation.

Les enquêtes de santé publique ne montrent pas, à cette date, de recrudescence ou d'apparition de maladies nouvelles liées à la mise en fonction de ces barrages. La Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles du ministère de l'agriculture tunisien a cependant pour projet de mener une étude sur le risque de transmission des maladies liées aux eaux stagnantes avec la collaboration de l'Institut Pasteur de Tunis. Les maladies transmises par les moustiques sont plus particulièrement visées par ce projet.

L'étude de la structure verticale des lacs montre l'existence de stratifications thermiques estivales dans les retenues les plus profondes, et, dans ce cas, d'une transparence réduite. Les teneurs en

chlorophylle *a* sont souvent inférieures à 10 µg.l⁻¹ mais les macrophytes se développent dans les eaux limpides et ces réservoirs favorisent le développement d'une végétation et d'une faune aquatiques (batraciens, serpents d'eau, tortues, mollusques). Les principales espèces végétales rencontrées sont *Juncus spp* et *Potamogetum pectinatus* sur la zone de marnage, *Typha angustifolia* et *Phragmite communis* dans les zones inondées.

Les lacs et leur rives, souvent reboisées, sont des lieux de nidification et de conservation des oiseaux. Le Fulicule nyroca, espèce rare en Afrique du Nord, inclus dans la liste des espèces protégées en Tunisie, nidifie sur le site du lac collinaire Cherichira (Tunisie Centrale) où Azafzaf et Hamrouni (2002) ont recensé 4 couples.

Vu la forte variabilité inter annuelle des stocks d'eau disponibles dans ces réserves, l'idée a été de les exploiter comme des ouvrages de recharge de nappes phréatiques. A la mise en eau de certains lacs, on a remarqué une recharge rapide de la nappe alluviale en aval de l'ouvrage. Les variations quasi concomitantes des niveaux d'eau dans le barrage d'El Gouazine (Tunisie Centrale) et sur deux puits distants de 300 et 1000 mètres de la digue représentés sur la figure 4 montre bien la dépendance de la recharge de la nappe au remplissage du barrage (Nasri, 2002). Montoroi et *al.* (2002) ont apporté les preuves géochimiques d'une recharge efficace de la nappe alluviale par les infiltrations fortes lorsque, après des crues suffisamment importantes, les eaux du lac atteignent les terrasses alluviales perméables. En zone semi-aride, un barrage peut ainsi forcer le système naturel de recharge des nappes alluviales. Cette recharge se fait majoritairement par les inondations des lits majeurs des oueds lorsque ces lits sont suffisamment perméables.

Les risques environnementaux les plus souvent cités pour les barrages sont les conséquences de leur rupture. Malgré leur faible charge, les petits barrages ont un taux de rupture moyen qui est du même ordre de grandeur que pour les grands barrages. Comme il y a au moins cinquante fois plus de petits barrages que de grands barrages, quelques dizaines de petits barrages sont détruits chaque année (Lemperière, 1993). Lorsqu'il s'agit d'un barrage de 50 000 m³, sa destruction passe inaperçue. Elle n'engendre que peu de catastrophes à l'aval, mais les sédiments stockés dans la retenue sont libérés dans le réseau hydrographique et le cours d'eau reprend son régime hydrologique naturel. Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de 10 à 15 m de haut avec un stockage de quelques centaines de milliers de mètres cubes, sa rupture peut créer des crues dangereuses de plusieurs centaines de mètres cubes par seconde dans un fond d'oued qui n'a pratiquement plus vu passer d'eau depuis la construction du barrage et dans lequel des populations ont pu s'installer.

En conclusion de ce chapitre, on peut dire que les impacts environnementaux de ces ouvrages sont liés à la qualité de l'eau et à son maintien. Ils sont plutôt positifs tant que l'ouvrage conserve sa fonction de stockage des eaux et des sédiments, le risque majeur étant la rupture de la digue.

Conclusion

Cette rétrospective des résultats obtenus par les équipes de recherche travaillant sur les lacs et barrages collinaires en zone méditerranéenne semi-aride a été réalisée en mémoire de Roger Pontanier et Habib Missaoui à partir de résultats déjà publiés et d'autres résultats originaux. Elle montre que les petits barrages sont des aménagements qui complètent une politique de mobilisation de la ressource en eau. Ils jouent un rôle important dans l'aménagement rural des zones semi-arides où ils constituent des points focaux pour un développement agricole local basé sur l'irrigation ou l'élevage.

Les lacs de retenue sont de bons pièges à sédiments. Ils protègent les infrastructures aval. En nombre suffisant, ils peuvent prolonger la durée de vie d'un grand barrage.

L'objectif de recharge d'une nappe alluviale est réaliste dans de nombreux cas, mais le site du barrage doit être choisi en conséquence, sur des terrains suffisamment perméables. Une gestion des lâchers d'eaux stockées dans la retenue et la création d'infrastructures annexes en aval peuvent faciliter l'infiltration des eaux dans le lit de l'oued en aval du barrage.

Le colmatage rapide des réservoirs va cependant à l'encontre d'un développement agricole durable. Dans les pays méditerranéens, les petits lacs collinaires sont perçus comme une ressource en eau à utiliser et l'aménagement anti-érosif des versants permet d'accroître leur durée de vie.

Le choix des implantations doit être en rapport avec des objectifs précis soit d'ordre conservatoire d'infrastructures aval, soit orientés vers le développement rural. Dans le premier cas, l'objectif de conservation doit être clairement défini. Ainsi, pour protéger un grand barrage il faut un certain nombre de retenues en amont de l'ouvrage. Celles-ci ont une durée de vie limitée, mais, lorsqu'elles seront complètement envasées, elles serviront de petits deltas d'épandage des eaux et d'amortissement des ondes de crue. Durant la vie de l'ouvrage, on peut réaliser des reboisements ou des plantations d'oliviers, qui n'ont besoin d'être irrigués que les trois premières années, et le coût de l'ouvrage peut être alors comparé à celui du transport de l'eau en citerne.

Dans le cas d'un objectif de développement rural, la pérennité de la ressource en eau devient prioritaire. Des aménagements de versant limitant les apports solides et l'érosion des versants, mais préservant les apports liquides, sont alors à prévoir dès la construction du petit barrage.

Du point de vue environnemental, tant que la digue ne s'est pas rompue, les impacts sont plutôt positifs si l'on préserve la qualité de l'eau en faisant attention aux effluents possibles générés par une agglomération ou un élevage industriel. Généralement implantés dans des milieux ruraux à faible concentration humaine, les petits barrages sont de petites zones humides qui contribuent à la diversité biologique et plus particulièrement à la protection des oiseaux et au développement d'espèces aquaphiles. Le risque environnemental majeur est celui de la rupture de digue.

Bibliographie

Albergel, J. ; Claude, J.; 2001 : Sécheresse et gestion des ressources en cas de pénurie dans les pays du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen. *In Séminaire Int. "Hydrologie des Régions Méditerranéennes"* ; PHI-V / Documents Techniques en Hydrologie. UNESCO Paris France, pp 19-32.

Albergel J., Nasri S., Boufaroua M., Droubi A., Merzouk A. 2004. Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient. *Sciences Planétaires /Sécheresse, John Libbey Eurotext ed. , Volume 15, Numéro 1, Janv. Fev. Mars 2004 pp.78-86*

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., Zante P., Nasri S., Boufaroua M., Droubi A., Merzouk A. 2005 The sediment budgets of hill reservoirs in small catchments in North Africa and the Middle East. *Sediment Budgets 1 (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005)*. IAHS Publ. 291, 2005, pp. 323-331
- Azafzaf H., Hamrouni H., 2002. Observations ornithologiques effectuées dans les zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) et dans la région de Douz du 13 au 15 juillet 2001. *AAO/GTO. Unpublished Report*.
- El Mohamadi N., 1993. Gestion et impact des petits barrages sur l'environnement – Cas du Maroc. *In journées nationales d'études : Petits barrages. AFEID CFGB, Bordeaux, France. Février, 1993*. pp. 391-403
- Gazzalo T., Bassi G., 1969. Contribution à l'étude du degré d'érosion des sols constituant 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.
- HYDROMED, 2001. Rapport final du programme de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen. Ed. J. Albergel & S. Nasri. Contrat européen INCO DC ERBIC 18CT 960091 – STD4. IRD / INRGREF Tunis, 120p + 6 annexes.
- Lemperiere F., 1993. Introduction de Monsieur François Lemperière, Président du Comité Français des Grands Barrages. *In journées nationales d'études : Petits barrages. AFEID CFGB, Bordeaux, France. Février, 1993*. pp. 465-466
- 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.
- Montoroi J.P., Grunberger O., NASRI S., 2002. Ground water geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. *Applied Geochemistry 17:1047-1060*.
- Nasri S., 2002. Hydrological effects of water harvesting techniques. A study of Tabias, soil contour ridges and hill reservoirs in Tunisia. *PhD, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund*. 104 p.
- Nouvelot J.F., 1994. Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins versants ruraux en Afrique tropicale et équatoriale. *CIEH, Orstom, Montpellier*. pp. 539.
- Ragab R., Moidinis D., Albergel J., Khouri J., Droubi A., Nasri S. 2001. The HYDROMED model and its applications to semi-arid Mediterranean catchments with hill reservoirs. (2). Rainfall - runoff model applications to three Mediterranean hill reservoirs. *Hydrology and Earth System Sciences 5:554-562*.
- 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.

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 a la gestion d'une ressource rare les lacs coolinaires dans le semi-aride Tunisien. *Thèse de doctorat en économie du Développement Agricole, Agro-alimentaire et Rural, Ecole nationale Supérieure Agronomique de Montpellier*.342 p.

Talineau J.C., Selmi S., Alaya K., 1994. Lacs collinaires en Tunisie semi-aride. *Sécheresse (FRA), 1994, Vol. 5, No 4*, pp. 251-256

Vateau C., 2003. Diagnostic de pollution agricole sur le bassin versant de Kamech (Cap Bon, Tunisie). *DAA Agro Environnement de l'ENSAM, Montpellier*.53p.