

Fonds Documentaire IRD  
Cote : A \* 33558Ex : 2

Jean Albergel<sup>1</sup>  
Slah Nasri<sup>2</sup>  
Mohamed Boufaroua<sup>3</sup>  
Abdallah Droubi<sup>4</sup>  
Abdel Aziz Merzouk<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'étude des interactions  
entre sol, agrosystème et hydrosystème  
Unité mixte de recherche (LISAH),  
2, place Viala,  
34060 Montpellier  
<albergel@ensam.inra.fr>

<sup>2</sup> Institut national de recherche du génie  
rural, des eaux et forêts (INRGREF)  
BP 10,  
Ariana 2080,  
Tunisie

<sup>3</sup> Direction générale de l'aménagement  
et de la conservation des terres agricoles  
(Ministère de l'Agriculture, DG ACTA),  
Av. Charles Nicole,  
1002 Tunis,  
Tunisie

<sup>4</sup> Arab Centre for Studies on Arid Areas  
and Dry Lands (ACSAD)  
PO Box 2440,  
Damas,  
Syrie

<sup>5</sup> Institut agronomique et vétérinaire Hassan II  
Département de sciences du sol (DSS)  
BP 6202 Instituts,  
10101 Rabat,  
Maroc

## Petits barrages et lacs collinaires, aménagement originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemples des petits barrages en Afrique du Nord et au Proche-Orient

### Résumé

Après les pays du nord de la Méditerranée, ceux d'Afrique du Nord et du Proche-Orient se sont lancés dans une politique de construction de petits barrages. Les objectifs de ces aménagements sont essentiellement de deux ordres, parfois contradictoires. On distingue : des objectifs de gestion et conservation des eaux et des sols avec la protection des infrastructures en aval et, en particulier en Afrique du Nord, celles des grands barrages contre une sédimentation trop rapide ; et des objectifs de développement économique et social en offrant une ressource renouvelable rare mais vitale, l'eau, de manière disséminée dans le paysage, tout 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), cet article cherche à montrer la place des petits barrages dans la mobilisation et la gestion des ressources en eau et en sol dans les zones méditerranéennes semi-arides. Il trace d'abord le cadre de la construction de ces aménagements dans les pays étudiés. La culture de l'aménagement du territoire étant différente dans chaque pays, le développement des petits barrages a suivi des chemins et des objectifs différents. Le premier trait commun est une volonté politique de développer ce type d'aménagement dans les années à venir. L'évolution des capacités de stockage des petits barrages a été étudiée à travers un modèle d'estimation et de simulation des transports solides. Ces études ont permis de mieux comprendre les phénomènes d'envasement en relation avec l'érosion des sols sur les bassins-versants. 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. 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.

*Mots clés* : Barrage ; Lac collinaire ; Érosion ; Maghreb ; Proche-Orient.



## Summary

### *Small dams and hill reservoirs: Innovative management for water conservation and for protecting downstream infrastructures. The examples of small dams in Northern Africa and the Middle East*

Following the example of countries North of the Mediterranean, those of Northern Africa and the Middle East initiated a policy of small dam construction. The objectives of this type of water resources management are essentially twofold and sometimes contradictory. We can differentiate soil and water conservation and management objectives, as well as economic and social development objectives: Erosion control, protection of downstream infrastructures and particularly control of the rapid sedimentation of large dams; integrated rural development by offering a rare but vital and renewable resource: the fair distribution of water in the countryside while limiting disruptions in the social order such as massive expropriation, and displacement of infrastructures or houses. Based on the results of multi-disciplinary research carried out in two countries in Northern Africa (Morocco and Tunisia), and two countries in the Middle East (Lebanon and Syria), this article endeavors to show the position of small dams in the mobilization and management of water and soil resources in the semi-arid Mediterranean zones. It first draws up the framework of the multiplication of these projects implemented in the countries studied. As territorial management is carried out along different lines in each country, development of small dams has followed different directions and objectives. The first common trait is the political will to develop this type of conservation project in the years to come. The goal of large dam protection is more prevalent in Northern Africa than in the Middle East. The fishery aspect is completely absent in Tunisia. The prospect of protecting conservation works and structures has been studied using a model for estimating and simulating sediment transport and yields. These studies provide a better understanding of the erosion and siltation phenomena. The stakes of integrated development around hill reservoirs are strongly linked to the sustainability of the resource. The types of the crops and of the agricultural conservation projects must be adapted to the expected duration of the dam and to the rhythm it is drying up. The consequent recharge of the water table improves the potential of development downstream. The environmental impact of these projects are linked to the quality of the water and to its maintenance. They are positive, the main risk being the breaking of the dikes.

*Key words: Dams; Hill Reservoirs; Erosion; Northern Africa; Middle East.*

Lorsqu'on parle des barrages d'Afrique du Nord ou du Moyen-Orient, on pense aux grands barrages dont les digues peuvent atteindre 100 mètres de hauteur, en béton ou en terres compactées, sur les grandes rivières de l'Atlas, sur le Nil ou sur les fleuves du Levant : Tigre, Euphrate, Jourdain, Litani... Les pays de ces régions sont pourtant 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 eau de surface mais aussi à la lutte contre les fortes crues. Ces barrages ont des hauteurs de digue faibles (jusqu'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. Ils sont équipés de déversoirs latéraux de conception rustique, capables d'évacuer quelques dizaines de mètres cubes par seconde, parfois 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, voire 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 [1].

À partir d'exemples pris au Liban, au Maroc, en Syrie et en Tunisie, quatre pays qui ont participé au programme Hydro-med [2] de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen, cet article montre le rôle des petits barrages dans l'aménagement rural et la protection des infrastructures aval.

### **Cadre général de la construction des petits barrages**

En Tunisie, dans le cadre du programme « Aménagement des terres en pente, mobilisation des ressources en eau, entretien et

sauvegarde des aménagements », inscrit au VIII<sup>e</sup> plan de l'État, 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 (*photo 1*) sont devenus la pièce 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 [3] :

- réduire les pertes en terres agricoles (estimées à 10 000 hectares par an) par l'aménagement des versants ;
- réduire l'envasement des grands barrages (25 Mm<sup>3</sup> par an en 1990) ;
- augmenter la recharge des nappes ;
- mobiliser la plus grande partie possible des 500 Mm<sup>3</sup> d'eau perdus alors dans la mer ou dans les sebkhas ;
- créer des points de développement des cultures irriguées.

Au Maroc, la période de sécheresse du début des années 1980, considérée comme la plus longue jamais observée, a



Photo 1. Petit barrage de Kamech construit en 1994 au Cap-Bon (Tunisie) et périmètre irrigué en aval (printemps 1997).

été le point de départ d'une politique de construction de petits barrages et de lacs collinaires réalisés avec une pratique de chantiers à haute intensité de main-d'œuvre. 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 1970 et 1980, le Maroc s'est doté d'une importante infrastructure hydraulique or la quasi-totalité des grands barrages ainsi mis en place sont concernés par des apports importants en sédiments. De nombreux petits barrages ont donc été construits pour ralentir cet envasement. Ainsi, 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. 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> de capacité) est protégé par de nombreux petits barrages construits à 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 6 150 km<sup>2</sup>, ferait perdre annuellement au barrage un volume de 60 Mm<sup>3</sup> [4]. 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 [5].

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<sup>er</sup> (1 319-1 304 av. JC). Beaucoup ont été construits au début de l'ère chrétienne (barrage de Badieh 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 1960 dans la province de Swaida 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 empoisonnées 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<sup>1</sup> 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. 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 cha-

1. [www.greenplan.gov.lb](http://www.greenplan.gov.lb)

pelets de réservoirs disposés en cascade sur les versants. Leur eau est utilisée pour l'irrigation de vergers (photo 2).

## Les petits barrages : aménagements de protection des infrastructures aval

L'expérience mondiale évalue le taux de perte en volume des barrages par sédimentation à 1 % par an et à 130.10<sup>9</sup> euros le coût de récupération des volumes mobilisables d'eau ainsi perdus [6]. En Tunisie, où les grands barrages, représentent un volume mobilisable de 1 612 millions de m<sup>3</sup>, cette perte est estimée à 1,6 % [7]. 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 de petits barrages en cascade sur les oueds amortit l'onde de crue et diminue la dynamique érosive des écoulements, souvent brutaux en climat méditerranéen.

### Évaluation du transport solide

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 matières 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 multiplié par sa densité, la masse de terre exportée par les débits liquides déversés :

$$T = V_s \times d + \sum S_i C_i$$

T : transport solide total entre deux mesures bathymétriques (t) ;

V<sub>s</sub> : volume de vase mesurée (m<sup>3</sup>) ;

d : densité de la vase ;

n : nombre de crues ayant déversé entre deux mesures ;

S<sub>i</sub> : volume déversé pendant la crue i (m<sup>3</sup>) ;





Photo 2. Réservoirs de captage d'eau souterraine et de fonte des neiges dans les montagnes libanaises (décembre 2002).

$C_i$  : concentration moyenne en matière en suspension mesurée durant la crue  $i$  ( $t/m^3$ ).

Cette méthode, simple à mettre en œuvre, permet d'obtenir une bonne estimation des transports solides à l'exutoire d'un bassin-versant équipé d'une retenue. Elle globalise les pertes en terre dues aux trois formes d'érosion hydrique :

- l'érosion en nappe qui provient du ruissellement des pluies sur les versants ;
- le ravinement causé par les écoulements linéaires sur les versants à forte pente ;
- l'érosion des berges et du fond produite par les écoulements dans le réseau hydrographique principal.

La difficulté de cette méthode réside dans la transformation du volume des sédiments déposés dans la retenue en masse de terre transportée. En effet, la densité apparente des matériaux déposés dans le fond de la retenue varie avec le temps suivant la compaction des dépôts et leur teneur en eau. Dans un barrage bien envasé, les dépôts de fond ont une densité proche de 2 tandis que la densité des vases en surface varie entre 1 et 1,2. La mesure de densité lors de la bathymétrie n'est pas facile à réaliser. On profite des assèchements des retenues pour procéder à des prélèvements au cylindre pour mesurer ces densités. Sur les petits barrages tunisiens, on utilise une valeur moyenne de 1,6.

Un modèle permet de simuler les apports, crue par crue [8]. Il a été validé sur 8 sites

répartis dans les quatre pays du programme Hydromed et appliqué à 24 petits barrages de la dorsale tunisienne [9]. La figure 1.a montre la mesure de bathymétrie du petit barrage de Kamech (bassin versant de  $2,5 \text{ km}^2$ ) dans la péninsule du Cap-Bon au nord-est de la Tunisie et la figure 1.b, l'évolution de cet envasement depuis la construction du petit barrage en 1994.

### Envasement

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 Gouzine en Tunisie centrale), à  $31 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$  (soit  $50 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ ) sur un petit bassin très marneux des collines pré-rieffines au Maroc. Cet envasement est de  $2,4 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ , (soit  $3,8 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ ) 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'*United States Department of Agriculture* (USDA) considère, comme érosion « normale » en sol cultivé, une érosion comprise entre 1 et  $11 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$  [10].

Le même suivi sur 24 petits barrages de la dorsale tunisienne montre une perte totale de  $585\,200 \text{ m}^3$  à la fin de l'année 1999 sur une capacité initiale de stockage de

$2\,634\,000 \text{ m}^3$ , 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 [11]. Les transports solides captés par les petits barrages seraient d'environ  $16 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ . 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  $\text{m}^3$  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.

Le modèle de reconstitution du transport solide, crue par crue, a permis de mieux comprendre les phénomènes érosifs et leurs conséquences sur l'envasement des retenues. La figure 2 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 [9].

À partir des mesures du transport solide retenu par le petit barrage de Saboun (bassin versant de  $7 \text{ km}^2$ ), l'érosion spécifique du bassin a été estimée à  $50 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$  [12]. Ces valeurs d'érosion très fortes sont en contradiction avec les mesures de l'érosion sur parcelles dont les plus fortes ne dépassent pas  $10 \text{ t}/\text{ha}/\text{an}$ . 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 :

1. Le barrage a intégré tous les événements érosifs depuis sa création (1991), tandis que les parcelles ne sont étudiées que sur quelques années, les événements exceptionnels y étant mal observés en raison du débordement des dispositifs de mesure.

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

À partir d'expérimentations sous simulation de pluie et de l'application d'un modèle de production et de transfert des sédiments, Hamed et al. [13] ont fait la part des différents types d'érosion sur le bassin-versant du petit barrage de Mrichet

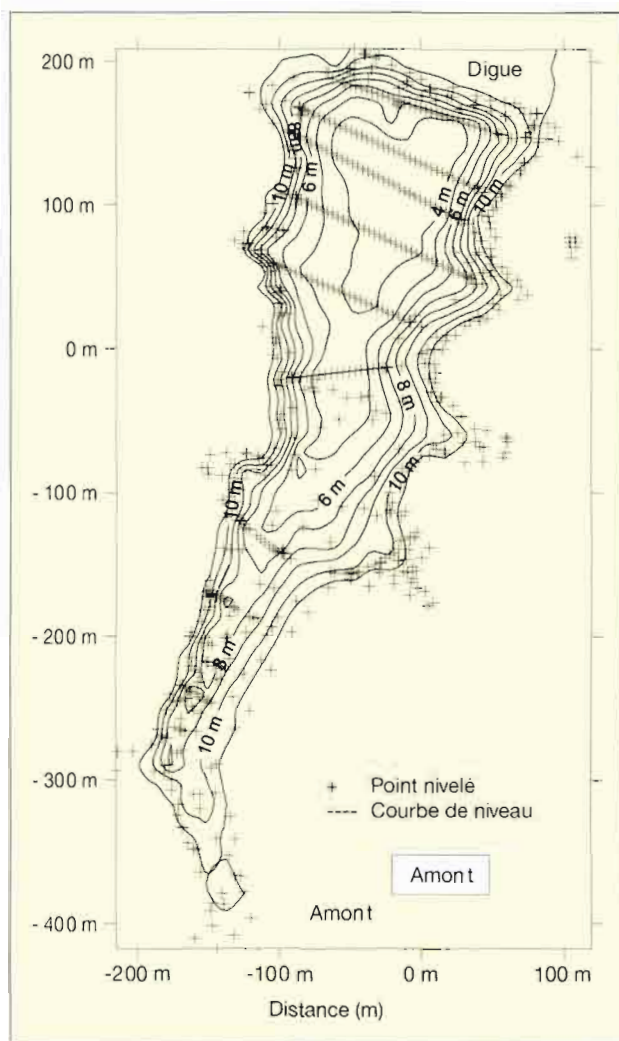


Figure 1.a. Mesure de l'envasement à Kamech (décembre 1999).  
Les courbes de niveau sont calculées à partir d'un zéro arbitraire correspondant au zéro de l'échelle de crue installée dans la retenue.

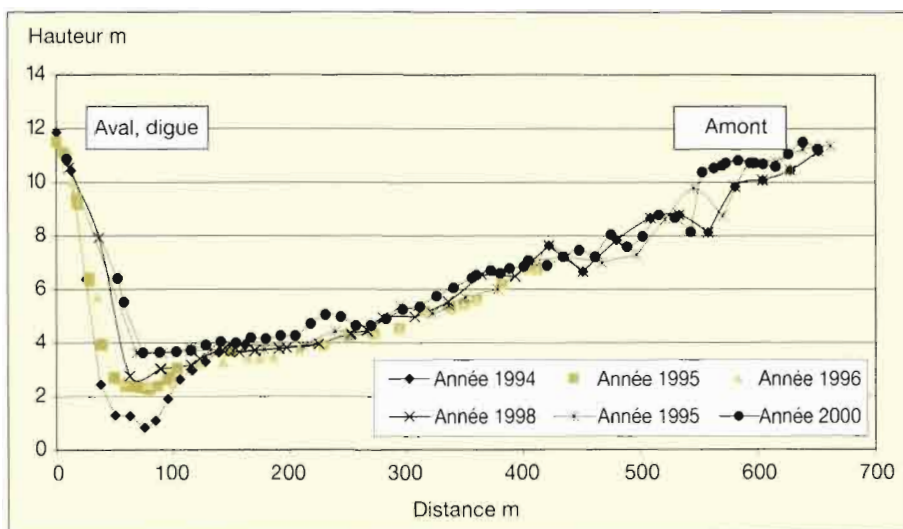


Figure 1.b. Évolution de l'envasement du barrage de Kamech depuis sa mise en eau en 1994.  
En 2000, il a perdu 20,7 % de sa capacité initiale, ce qui correspond à une érosion de 32 t/ha/an.

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 étant produit par le surcreusement des ravines et les effondrements de berge. La photo 3 montre une route plusieurs fois coupée par les crues d'un oued. La construction d'un barrage collinaire en amont peut avoir pour objectif de la protéger. Il n'existe pas encore d'étude générale sur le rôle protecteur des petits barrages sur les infrastructures aval, bien que, cas par cas, on note un rôle de protection du barrage dans les études d'impact.

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.

### Les petits barrages : aménagement de mobilisation et de conservation des eaux pour le développement local

Les écoulements qui remplissent les petits barrages sont générés par les pluies fortes. Il suffit souvent d'une seule pluie forte pour remplir la retenue. En climat méditerranéen, ces pluies arrivent le plus souvent en automne et en hiver, mais un fort orage d'été peut être générateur d'un écoulement suffisant pour provoquer un déversement. L'évaporation importante des plans d'eau et leur faible profondeur ne permettent pas de conserver l'eau longtemps. De plus, les infiltrations sont importantes lorsque les berges ennoyées sont perméables. La figure 3 montre pour le barrage de Sydniané en Syrie :

- les précipitations journalières ;
- les cotes de l'eau dans le barrage ;
- et le niveau de l'envasement au pied du barrage.

La cote du déversoir permet de mettre les déversements en évidence. On remarquera le faible remplissage de l'année 1999, qui a été très sèche dans tout le Proche-Orient [14].

Cette eau stockée temporairement peut avoir de nombreux usages : le tableau 1 montre le résultat d'une enquête réalisée



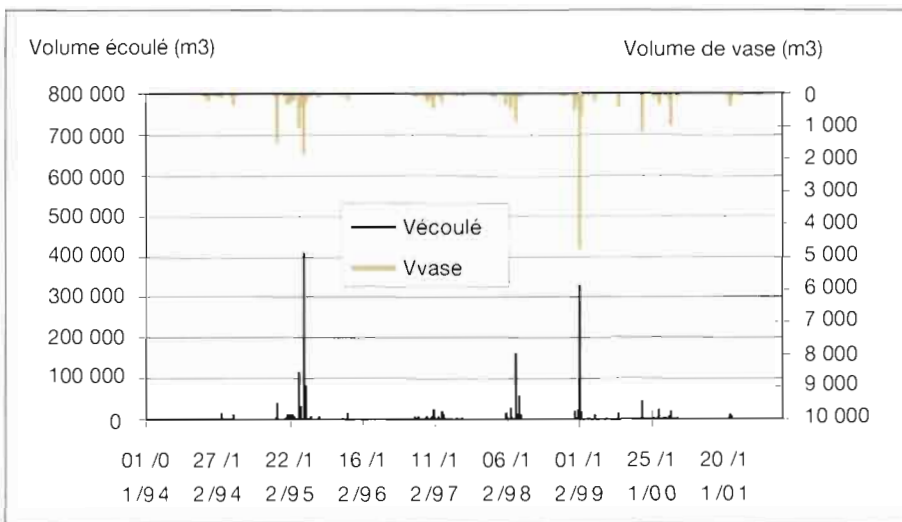


Figure 2. Écoulements et transports solides, reconstitués crue par crue, au barrage de Kamech sur une période de 9 années.

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 [15] :

- 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.

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 nombreuses pompes. 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 dix fois celle de la céréaliculture traditionnelle



Photo 3. Infrastructure routière endommagée par une crue en Tunisie centrale (septembre 1995).

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 est en effet comblée de sédiments à 90 % de sa capacité de stockage.

Vu la forte variabilité interannuelle 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 de deux puits distants de 300 et 1 000 mètres de la digue, représentés sur la figure 4, montre bien la dépendance de la recharge de la nappe au remplissage du barrage [16]. Montoroi *et al.* [17] ont apporté les preuves géochimiques d'une recharge efficace de la nappe alluviale par les infiltrations fortes lorsque, en période de crue, 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.

À partir de l'enquête réalisée sur un grand nombre de retenues 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 m<sup>3</sup> en 1999, dont 72 millions pour les plus petites unités de capacité inférieure à 300 000 m<sup>3</sup> [7] 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. Toutefois la valorisation de cette ressource dépend largement de la durée de vie de l'aménagement et la possibilité de recharger des nappes phréatiques à partir de ces ouvrages

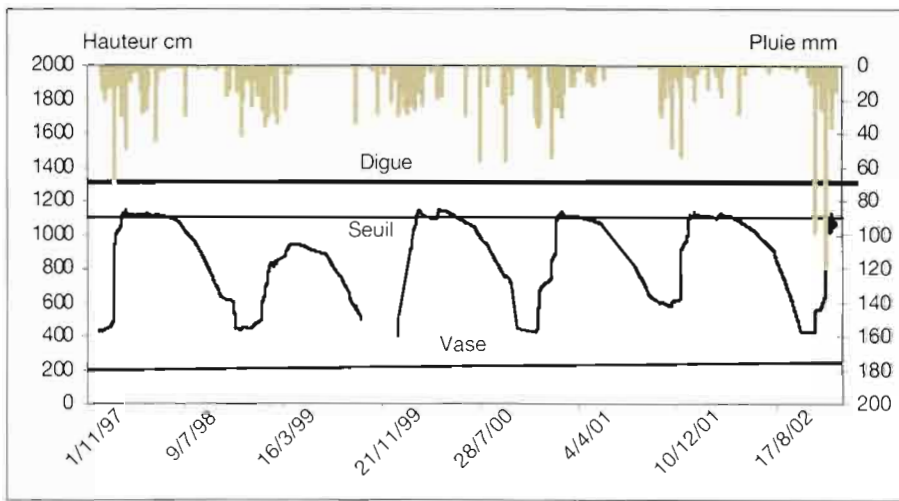


Figure 3. Observations hydrologiques à Syddiané (Syrie). Remarque la sécheresse de l'année 1999. Les descentes rapides du niveau d'eau correspondent à des ouvertures de la vanne de fond.

permet de sauvegarder une quantité d'eau non négligeable, utilisable en été lorsque la retenue s'est asséchée.

## Impacts des petits barrages sur l'environnement

Au cours du programme Hydromed, une étude sur la qualité de l'eau de 24 retenues a été menée en Tunisie [18]. 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.

Les eaux des petites retenues sont sous-saturées ou à l'équilibre par rapport à l'hydroxyapatite, mais la précipitation du phosphore dissous ajouté expérimentalement dans les eaux du lac de Fidh Ali (Tunisie centrale) semble dépendre de la formation du phosphate tricalcique amorphe. 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<sup>-1</sup> sec et la fraction P-CaCO<sub>3</sub> prédomine [250 à 800 µg P.g<sup>-1</sup> 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

Tableau 1. Usage de l'eau dans les pays concernés par Hydromed (source : enquête de 1997 [2]).

	Liban	Maroc	Syrie	Tunisie
Barrages réalisés	2 petites unités, mais de nombreuses microréalisations	50 unités moyennes, de nombreuses petites unités	43 unités moyennes, 100 petites unités	40 unités moyennes, 450 petites unités
Projets futurs	Une trentaine d'unités prévues	500 unités prévues, priorité aux unités de 0,5 à 5 Mm <sup>3</sup>	30 unités prévues	200 unités moyennes et 1 000 petites unités
<b>Objectifs</b>				
Alimentation en eau potable (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 et comités de gestion
Remembrement et redistribution des terres		Suivant les barrages	Oui	Non pour les petites unités ; oui pour les moyennes
Torification de l'eau, couverture des frais d'exploitation		Oui	Oui	Non
Études et suivis	Faibles	Importants	Moyens	Très importants



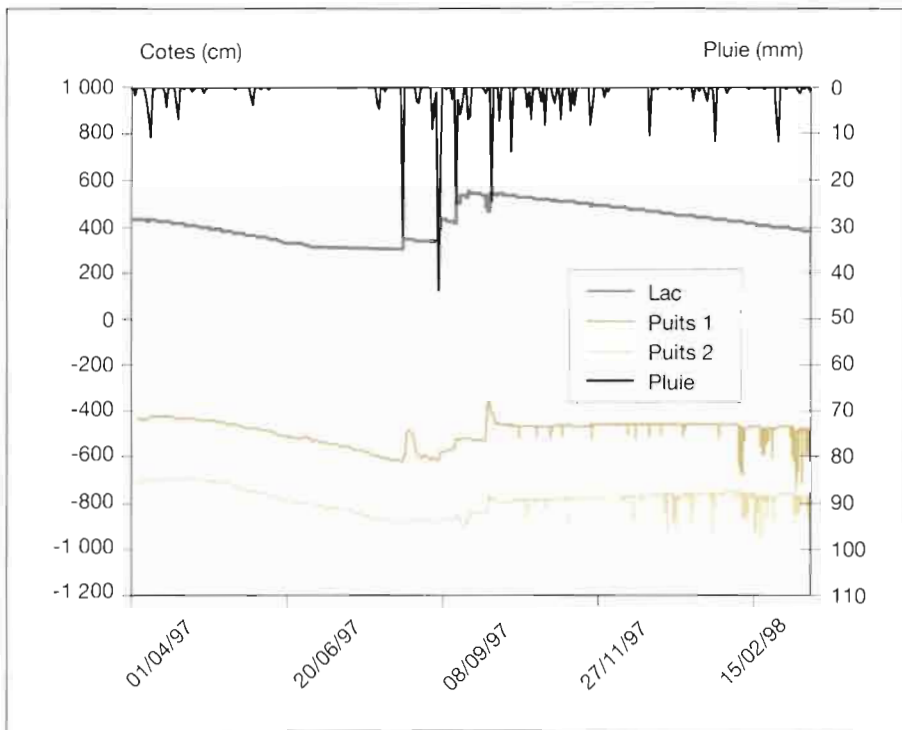


Figure 4. Variation des niveaux du lac et des niveaux piézométriques de deux puits en aval du petit barrage d'El Gouazine (centre de la Tunisie).

On remarque la remontée de l'eau d'abord dans le lac, ensuite dans les puits aval suivant leur distance à la retenue. Les prélèvements commencent dès la recharge. Lorsque les pluies cessent, le niveau d'eau dans les puits reste constant malgré les pompages.

bassin-versant du petit barrage de Kamach (Cap Bon, Tunisie) [19]. Aucune molécule des pesticides utilisés par les agriculteurs 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 loin d'effluents amont 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  $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , 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 *Fuligule 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 Azafaf et Hamrouni [20] ont recensé quatre couples.

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 barra-

ges, quelques dizaines de petits barrages sont détruits chaque année dans le monde [21]. Lorsqu'il s'agit d'un barrage de  $50\,000 \text{ m}^3$ , 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 cube 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.

## Conclusion

Cette rétrospective de résultats obtenus par le programme de recherche Hydromed 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 et constituent des points focaux pour un développement agricole local reposant sur l'irrigation ou l'élevage.

Les lacs de retenue sont de bons pièges à sédiments. Ils protègent les infrastructures aval et, en nombre suffisant, peuvent prolonger la durée de vie d'un grand barrage. Recharger la nappe alluviale est un objectif réaliste dans de nombreux cas, mais le site du barrage doit être choisi en conséquence et faciliter l'infiltration des eaux stockées dans la retenue.

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.

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. Nos travaux montrent que le choix des implantations doit être en rapport avec des objectifs précis, soit d'ordre conser-



vatoire 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 ensasées, elles serviront de petits deltas d'épandage des eaux et d'amortissement des ondes de crue. Durant la vie de l'ouvrage, on peut alors 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 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 et des aménagements de versants limitant les apports solides et l'érosion, tout en préservant les apports liquides, sont à prévoir dès la construction du petit barrage. La gestion de l'eau pose alors les problèmes de responsabilité et de partage des droits et des devoirs de maintenance d'une ressource naturelle renouvelable à statut collectif. ■

## Références

- Albergel J, Rejeb N. Les lacs collinaires en Tunisie : enjeux, contraintes et perspectives. *CR Acad Agri Fr* 1997 ; 19 mars 1997 : 77-88. (Discussion : 101-4).
- HYDROMED. *Rapport final du programme de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen*. Albergel J, Nasri S, eds. Contrat européen INCO DC ERBIC 18CT 960091 – STD4. Tunis : IRD ; INRGRF, 2001, 120 p + 6 annexes.
- Talineau JC, Selmi S, Alayo K. Lacs collinaires en Tunisie semi-aride. *Sécheresse* 1994 ; 5 : 251-6.
- Maroc Agri. Le Gharb, hier, aujourd'hui et demain. *Terre et Vie* 2001 ; (47) : 12 p.
- Mahmood K. *Reservoir sedimentation : Impact, extent, mitigation*. World Bank Technical Paper Number 71. Washington (DC) : World Bank, 1987 ; 17 p.
- El Mohamadi N. *Gestion et impact des petits barrages sur l'environnement – Cas du Maroc*. Journées nationales d'études : Petits barrages, AFEID CFGB, Bordeaux, France, février 1993 : 391-403.
- Haboïeb H, Albergel J. *Vers une gestion optimale des ressources en eau : exemple de la Tunisie*. Séminaire International « Hydrologie des Régions Méditerranéennes ». PHI-V/Documents Techniques en Hydrologie. Paris : Unesco, 2001 : 187-93.
- Albergel J, Pépin Y, Nasri S, Boufaroua M. *Modeling small dams siltation with MUSLE*. 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, 29/6 ou 3/7/98. Report 3222. LUND (Sweden) : Lund Institute of Technology, 1999 : 95-204.
- Albergel J, Pépin Y, Nasri S, Boufaroua M. *Érosion et transport solide dans des petits bassins-versants méditerranéens*. "Hydrology of the mediterranean and semi-arid regions". Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003, IASH Publ. n° 278, 2003 : 373-9.
- Roose É. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bull Pedol FAO* 1994 ; (70) : 420 p.
- Gazzala T, Bossi G. 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* 1969 ; (53) : 5 p.
- Abdelhooui B, Merzouk A, Aberkan M, Albergel J. Bilan hydrologique et envasement du barrage Sabaun (Moroc). *Rev Sciences de l'eau* 2002 ; 15 : 737-48.
- Hamed Y, Albergel J, Pépin Y, et al. Comparison between rainfall simulator erosion and observed reservoir sedimentation in an erosion sensitive semiarid catchment. *Catena* 2002 ; 50 : 1-16.
- Albergel J, Claude J. *Sécheresse et gestion des ressources en cas de pénurie dans les pays du sud et de l'est du bassin méditerranéen*. Séminaire International « Hydrologie des Régions Méditerranéennes ». PHI-V/Documents Techniques en Hydrologie. Paris : Unesco, 2001 : 19-32.
- Selmi S. *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 en économie du développement agricole, agro-alimentaire et rural, École nationale supérieure agronomique de Montpellier (Ensam), 1996, 342 p.
- Nasri S. *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, 2002, 104 p.
- Montoroi JP, Grunberger O, Nasri S. Ground water geochemistry of a small reservoir catchment in Central Tunisia. *Applied Geochemistry* 2002 ; 17 : 1047-60.
- Rahoingomanana N. *Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore*. Thèse de doctorat en hydrologie, université Montpellier 1, 1998, 311 p.
- Vateau C. *Diagnostic de pollution agricole sur le bassin-versant de Kamech (Cap Bon, Tunisie)*. DAA agro-environnement de l'Ensam, Montpellier, 2003, 53 p.
- Azafzaf H, Homraoui H. *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*. Association Amis des oiseaux/Groupe tunisien d'ornithologie (AAO/GTO), 2002 (Unpublished Report).
- Lemperière F. *Introduction de Monsieur François Lemperière, Président du Comité Français des Grands Barrages*. Journées nationales d'études : Petits barrages, AFEID CFGB, Bordeaux, France, février 1993 : 465-6.