

LES PETITS BARRAGES DANS LA ZONE SEMI-ARIDE MEDITERRANEENNE.

Albergel J., Selmi S. & Balieu O.
Mission IRD de Tunis, B.P. 434 1004 Tunis El Menzah

RESUME

Cette communication présente les petits barrages en zone semi-aride méditerranéenne et étudie leurs impacts, a posteriori, sur les populations riveraines et l'environnement. Un rappel historique permet de montrer l'importance de ces ouvrages dans les politiques d'aménagement du territoire et leurs objectifs. Le développement de ces ouvrages hydrauliques est étudié dans cinq pays du Maghreb et du Moyen Orient et comparé.

L'impact sur les populations est présenté en distinguant deux phases : la phase d'investissement au cours de laquelle les ouvrages sont réalisés et la phase de fonctionnement, plus ou moins longue suivant le taux d'envasement des retenues.

L'impact sur l'environnement a été étudié à travers trois thèmes principaux : la recharge des nappes phréatiques à partir de la retenue d'eau en surface, la protection des infrastructures en aval de la retenue et la qualité des eaux retenues. A partir du bilan hydrologique d'une retenue, la communication discute de la gestion des volumes d'eau.

INTRODUCTION

Au début des années 90 la construction de petits barrages semble prendre le pas sur la politique des grands travaux hydrauliques des années soixante-dix et quatre-vingt au Maghreb et au Machrek. En Tunisie, près de 500 petits barrages ont été construits dans la décennie 1991-2000.

Les lacs ou barrages collinaires sont des retenues créées par une digue en terre. Leur capacité va de quelques dizaines de milliers à un million de mètres cubes d'eau recueillis sur des bassins versants d'une superficie variant de quelques hectares à quelques dizaines de kilomètres carrés. Ils s'intègrent de façon naturelle dans le paysage sans créer de nuisance particulière. Ils sont aptes à réguler les flux hydriques susceptibles de maintenir les populations en place en leur assurant de réelles possibilités de développement. Leur construction vise les objectifs suivants : protection des infrastructures en aval (ville, barrage, périmètre agricole) contre les crues et contre l'érosion ; mise à disposition d'une ressource en eau de manière disséminée dans le paysage pouvant servir à l'alimentation humaine, à l'abreuvement du bétail, à la micro-irrigation, etc. ; amélioration de l'environnement : création d'oasis, reboisement, captage du ruissellement et recharge des nappes phréatiques.

A partir des données recueillies par un réseau de suivi du fonctionnement hydrologique de petits barrages en Tunisie (Albergel & Rejeb, 1997), d'enquêtes socio économiques menées sur les mêmes barrages (Talineau et al, 1994) et des premiers résultats du programme de recherche pluridisciplinaire sur les lacs collinaires dans le pourtour semi-aride du bassin méditerranéen : HYDROMED (Albergel & Claude 1998) au Liban, au Maroc et en Syrie, ce papier montre les avantages et les faiblesses de ce type d'aménagement et cherche à tirer quelques leçons pour leur gestion.

APERÇU HISTORIQUE ET GEOGRAPHIQUE DES LACS COLLINAIRES

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

Au Maroc : de petites unités pour l'abreuvement du bétail et des plus grandes pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation

L'utilisation de la technique de lacs collinaires au Maroc est fort ancienne. Bien avant l'entreprise italienne (Benyounes, 1985), les associations d'éleveurs d'ovins et de caprins ont aménagé de petites retenues collinaires dites "Rdirs" dans les collines situées à la limite de l'aridité (100 à 400 mm). Puis, fascinés par la réussite italienne et en fonction des possibilités techniques nouvelles que donnaient les machines de terrassement, les responsables marocains ont réétudié le concept de l'aménagement collinaire et un plan d'équipement de tout le territoire collinaire au moyen d'un ouvrage tous les 10 km a été mis en œuvre. En 1953, on a avancé le chiffre de 200 aménagements ainsi réalisés (Benyounes, 1985).

Suite aux années de sécheresse du début de la décennie 80; les nouveaux lacs collinaires "modernes" sont de plus grande taille: la capacité des réservoirs s'étend de 120 000 à 200 000 mètres cubes. Les bassins versants des retenues varient de 5 à 10 km². Construits avec la participation des populations locales, ces ouvrages ont été appréciés des éleveurs des hauts plateaux en raison surtout de leur bonne efficacité technique. En 1985, suite à une période de sécheresse importante, l'Etat marocain élabore un vaste programme visant à couvrir tout le territoire national marocain par 500 lacs et barrages collinaires avec une priorité pour des unités de 0.5 à 5 millions de mètres cubes. Les ministères des travaux publics, de l'agriculture et de l'intérieur sont impliqués par le projet. Actuellement 50 unités moyennes et quelques dizaines de petites retenues sont fonctionnelles.

Les lacs en Tunisie : un court historique plein d'enseignements

En Tunisie, la technique des lacs et retenues collinaires a été introduite au début de ce siècle dans la région de Bizerte au nord du pays. Au départ la rentabilité de ce type d'aménagement a été jugée meilleure dans les bioclimats humides et subhumides (El Amami, 1983). El Amami estimait le nombre souhaitable d'implantation de ces ouvrages à une centaine d'unités. Comme tout aménagement traditionnel construit avec l'emploi de matériaux rudimentaires (terre) et des moyens techniques sommaires, les retenues collinaires de cette époque étaient de petite taille.

Après une assez longue période d'abandon du choix de ces infrastructures, c'est à la fin des années soixante que l'on s'intéresse de nouveau aux lacs collinaires. On imaginait déjà pouvoir maîtriser les flux hydriques de surface en agissant directement à l'amont comme sur le Haut Merguellil où une quarantaine de lacs collinaires, conçus et réalisés au cours d'un programme tuniso-américain, ont vu le jour entre 1968 et le milieu des années 1980.

Toujours dans une optique de protection des zones aval et de lutte générale contre l'érosion, ont été construits une quarantaine de lacs collinaires éparpillés sur toute la zone semi-aride du pays allant de Nabeul au Nord-Est jusqu'au sud de Siliana et Kairouan. En 1990 le nombre de lacs collinaires réalisés grâce aux investissements de l'Etat était estimé à 87, permettant de retenir théoriquement et annuellement quelques 5 millions de mètres cubes d'eau utilisée pour différentes fins (recharge de nappe, abreuvement du cheptel et irrigation de complément).

Au début des années 1990 le projet de construction de 1000 lacs collinaires de petite taille (autour de 100 000 m³) et de 200 unités plus grandes (1 000 000 m³) devient une priorité de la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol (CES) du Ministère de l'Agriculture tunisien. Des objectifs de conservation des eaux et des sols mais aussi de développement agricole et de sont dévolus à ces aménagements.

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

	Liban	Maroc	Syrie	Tunisie
Nombre de petits barrages réalisés (1997)	2 petits réservoirs nombreux micro	50 moyens + nombreux petits	43 moyens 100 petits	450 petits 40 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
Objectifs				
AEP	Oui	Oui	Oui	Non
Protection aval	Crues	Crues et envasement gds barrages	Crues	Crues et envasement gds barrages
Recharge nappes	Oui	Oui	Oui	Oui
Pisciculture	Oui	Oui	Oui	Oui
Environnement	Oui	Oui	Oui	Non
Loisir	Oui	Oui	Oui	Oui
Décideur de la réalisation	Min. de l'irrigation Plan Vert Privé	Min. des TP Min Agriculture Min Intérieur	Min de l'irrigation	Min. Agriculture DCES 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
Tarification 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) DCES : Direction de la Conservation des Eaux et des sols (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>				

En Syrie : des petits barrages de différentes tailles

Le petit barrage est connu en Syrie depuis le début de notre ère. De nombreuses ruines attestent de leur présence dans les steppes sèches. Actuellement, les barrages ayant moins de 25 mètres de hauteur de digue sont gérés par le Ministère de l'irrigation. Cent soixante lacs sont actuellement répertoriés, ils s'étendent de la région humide avec 1500 mm de pluie annuelle à la région sèche inférieure à 100 mm (Kara Damour & Miski, 1997).

Outre leurs objectifs traditionnels de recharge des nappes, de protection des infrastructures aval et d'utilisation des eaux mobilisées pour des fins domestiques et agricoles, les petits barrages en Syrie sont exploités par les pisciculteurs et les usagers de la nature (tourisme, loisir, etc.).

Les petits barrages du Liban : un nombre réduit

Au Liban, on dénombre seulement 2 petits barrages et de nombreuses micro-réalisations. La création de ces ouvrages relève de la responsabilité du ministère de l'irrigation et du Plan vert. Une trentaine de petits barrages ont été prévus.

Comme en Syrie, les lacs et barrages collinaires sont réalisés en régie. Leurs objectifs sont nombreux (recharge, protection, développement, environnement, etc.).

IMPACTS DES PETITS BARRAGES SUR LES POPULATIONS

Bien que la variabilité des potentialités naturelles soit forte entre les régions, les petits barrages du semi aride méditerranéen sont généralement situés à l'amont des plaines à fort développement agricole, dans des paysages de petites montagnes aux conditions naturelles contraignantes, économiquement pauvres et connaissant d'importants handicaps socio-institutionnels. Dans une majorité de cas, le stockage des eaux de ruissellement et leur mise à disposition pour des usages variés constituent un levier important pour le développement de ces zones (Selmi, 1996).

Les études récentes d'évaluation, a posteriori, des programmes de construction de petits barrages mettent l'accent sur deux types d'impacts sur les populations : les impacts pendant les phases d'investissement et de construction des ouvrages et ceux pendant la durée de fonctionnement de l'ouvrage hydraulique.

Impacts des programmes de construction de petits barrages sur les populations pendant la phase d'investissement.

Durant les deux dernières décennies les programmes de construction de petits barrages et d'aménagement hydraulique des petits bassins versants ont mobilisé d'importants investissements. Le tableau n°2 donne les investissements prévus par le VIII^{ème} plan de l'Etat Tunisien (1996) pour la mobilisation des eaux. On remarquera que les petits barrages et barrages collinaires mobilisent avec 500 millions de dinars, 25 % des investissements pour l'équipement hydraulique du pays.

TABLEAU n°2 : Investissements pour la mobilisation des ressources en eau en Tunisie (VIII^{ème} plan)

Type d'ouvrage	Nombre	Volume mobilisé Millions de m ³	Investissement prévu. Millions de Dinars ¹	Coût du m ³ mobilisé en Dinars
Grands barrages	21	739	623	1.2
Barrages collinaires	203	110	400	3.6
Lacs collinaires	1000	50	100	2
Ouvrages d'épandage	4000	43	38	0.9
Forages d'exploitation	610	288	55	
Forages de reconnaissance	1150 98	- 200	170 285	0.8 1.4
Station d'épuration				
Total		1430	1958	

(¹) 1 dinars ≈ 0.87 US \$

Que la construction de l'ouvrage soit réalisée en régie ou par des entreprises privées (cas de la Tunisie), celle-ci utilise de manière intensive la main d'œuvre locale. La construction de barrage s'accompagne souvent d'un aménagement du bassin versant pour diminuer les risques d'envasement (plantations, rectification de ravins, édification de banquettes...). Celui ci est souvent réalisé avec des chantiers utilisant des personnes au chômage. Les chantiers d'aménagement de bassins versants et de protection de périmètres irrigués liés à la construction de trois petits barrages dans la province d'Errachidia au Maroc a procuré 687 400 journées de travail à des chômeurs. Les salaires perçus par la même main d'œuvre dans cette province du Royaume du Maroc a été 2.5 Millions de Dirhams (1 DH ≈ 0.12 US\$) (El Mohamadi, 1994) par petit barrage construit.

A cette création d'emploi directe il faut ajouter un certain nombre d'activités induites comme les commerces, restaurants et services autour des chantiers. L'encadrement des ouvriers non qualifiés durant les travaux de réalisation permet la formation et l'acquisition de compétences dans les domaines de la construction en général et celui des ouvrages hydrauliques en particulier.

L'expérience tunisienne a fait émerger des compétences dans le secteur privé en technologie appropriée à la construction d'ouvrages hydrauliques. La création de bureaux d'études et d'entreprises de travaux publics privés a été encouragée par l'état (aides financières, aide à la reconversion de fonctionnaires dans le privé...). Ces bureaux d'études et entreprises qui ont démarré sur les marchés publics du programme de mobilisation des eaux ont très vite diversifié leur activité. Ce programme a créé aussi un marché nouveau pour les industries hydromécaniques nationales et développé celui des matériaux de construction, tuyaux... Il a amélioré l'activité de nombreuses entreprises locales (location de camions, fourniture de matériel d'irrigation...).

Impacts des petits barrages sur les populations pendant la phase de fonctionnement.

Boufaroua et Albergel (2000) ont montré la très forte hétérogénéité dans la durée de vie de ces petits barrages. Une modélisation de l'envasement de ces ouvrages réalisés sur une trentaine d'ouvrages en Tunisie au Maroc et en Syrie montre que la durée de vie moyenne est de 30 ans, mais que pour 13% d'entre eux cette durée de vie est inférieure à 10 ans et que pour 30 % elle dépasse 50 ans. Les barrages les plus rapidement envasés sont ceux des zones de montagnes marneuses à la couverture végétale peu dense. On a mesuré des érosions spécifiques à l'échelle du bassin versant de la retenue allant jusqu'à 90 t/ha/an sur le bassin du barrage de Saboune dans les collines marneuses du Rif au Maroc et de très faibles érosions sur les plateaux basaltique de la région de Homs (2.5 t/ha/an) Les mesures réalisées dans les petits barrages de l'Atlas tunisien sont intermédiaires et tournent en moyenne autour de 20 t/ha/an.

Seuls les barrages dont la durée de vie dépasse 30 ans 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.

Usage domestique et alimentation en eau potable (AEP)

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

En Syrie et au Maroc la croissance démographique dans les provinces à fort déficit hydrique a rendu insuffisantes les ressources en eau fournies par les sources. Ainsi les petits barrages sont équipés de pompes et de systèmes de distribution d'eau par tuyaux permettant aux camions citernes de venir s'y approvisionner pour les habitations les plus éloignées.

Dans les provinces syriennes de Swaïda, Badia et de Kalamoun, 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 à partir des petits barrages

En Tunisie, sur près de 500 lacs collinaires réalisés et mobilisant près de 50 millions de mètres cubes d'eau, 400 présentent un potentiel d'irrigation. La situation de mars 1999 montre l'existence de 232 lacs collinaires équipés en groupes motopompes individuels ou collectifs et contribuant, de ce fait, au développement local. Cette situation 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 livres syriennes par dhounim¹ soit l'équivalent de 61\$ US par hectare.

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

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 noyer dans les région fraîches d'altitude, les écorces de racines sont utilisées à la fois dans la cosmétique traditionnelle et dans l'industrie pharmaceutique moderne (Souakine)

Abreuvement du bétail

Dans tous les pays, la majorité des petits barrages servent de réservoirs d'abreuvement pour les troupeaux d'ovins sédentaires ou de transhumance, pour les bovins et équidés des communautés locales.

La pisciculture

La pisciculture, absente en Tunisie, est développée surtout en Syrie. Les petits barrages sont empoisonnés en différentes espèces. La majorité des lacs de la région de HOMS ne s'assèchent pas. Pour au moins cette raison les retenues collinaires sont utilisées comme des sites d'élevage des poissons d'eau douce servant à l'approvisionnement de la population. La pêche au filet avec bateau est très pratiquée dans cette région. La productivité est en moyenne de 0.1 kg de poisson par mètre cube.

IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT

Le fait de barrer un oued et de créer un point d'eau pérenne sur plusieurs mois, là où les crues ne passaient que pendant quelques heures, modifie fortement le milieu. Le paysage acquiert un nouveau segment : le lac collinaire qui occupe une superficie variable suivant l'importance de l'ouvrage et suivant la saison. Certains lacs vont avoir un remplissage pluriannuel, d'autres vont s'assécher pendant une période plus ou moins longue. On pourra passer d'une vue sur un plan d'eau bordé de végétation aquatique à un fond argileux sec et craquelé, jonché de végétation aquatique morte. Avec l'envasement progressif de la retenue, la période en eau se raccourcit. A un moment, le lac est remplacé par un marais temporaire.

La présence d'une quantité d'eau sur une période plus ou moins longue bouleverse l'écosystème et permet à de nouvelles flores et faunes de s'installer. Si l'on a pu constater le développement spectaculaire de batraciens, serpents, oiseau d'eau et l'apparition d'espèces de poissons (naturellement ou par introduction volontaire), aucune étude quantitative n'a été faite. En ce qui concerne la végétation, en plus des plantes aquatiques apparaissant en bordure de la retenue, il faut noter la disparition des plantes ne supportant pas l'inondation au profit de plantes hydrophiles. De nombreuses plantations forestières sont réalisées à l'occasion de la construction du barrage, pour en fixer les berges ou en aval au profit des fuites de la digue. L'espèce la plus répandue est l'acacia fourrager qui est aussi utilisé comme plante mellifère.

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

Près des grandes métropoles du Moyen Orient, les alentours de ces barrages en altitude sont des zones de résidence secondaire très fréquentées l'été. Les plans d'eau sont utilisés pour de nombreux loisirs : sports nautiques et plages récréatives. C'est le cas du barrage collinaire El Coran près de Damas.

Parmi les objectifs environnementaux assignés à ses petites retenues, trois ont été particulièrement étudiés par le programme HYDROMED : stocker une eau de qualité évitant les risques d'eutrophisation, protéger les infrastructures aval des crues et des sédiments qu'elles transportent, recharger les niveaux phréatiques.

Qualité des eaux des retenues et risque d'eutrophisation

On a réalisé sur un échantillon de 25 lacs des mesures physico-chimiques des eaux (O₂ dissous, température, pH, conductivité électrique) et des prélèvements pour l'analyse des ions majeurs et du phosphore par campagne trimestrielle. Ponctuellement, pour quelques lacs, la structure verticale de la colonne d'eau (transparence, conductivité, température, O₂ dissous) est déterminée et des sédiments sont prélevés au milieu du lac pour l'analyse des formes du phosphore (Rahaingomanana, 1998).

Les différentes mesures sur le terrain et analyses au laboratoire montrent une importante variabilité de la salinité des lacs tant dans l'espace que dans le temps. En hautes eaux, la conductivité électrique varie sur les 26 lacs de 0.23 ms.cm⁻¹ à 3.58 ms.cm⁻¹ et en basses eaux de 0.31 ms.cm⁻¹ à 4.65 ms.cm⁻¹. On observe 5 faciès géochimiques différents : sulfaté calcique, calcique sodique, bicarbonaté calcique, chloruré sodique et mixte. En règle générale, les eaux de surfaces dans ces lacs sont moins chargées que les eaux de nappe. Elles sont de bonne qualité pour l'irrigation, le tableau 3 donne les principales caractéristiques des eaux de lac collinaire en fonction de leur faciès géochimique (suivi sur 24 lacs de 1994 à 1997) :

TABLEAU 3 : Qualité des eaux de lacs collinaires en période de hautes eaux

	EC (dsm-1)	SAR	pH
Sulfate dominant	0.62 - 3.10	0.3 - 2.9	7.4 - 9.4
Bicarbonate dominant	0.16 - 0.45	0.3 - 1.0	7.6 - 8.4
Chlorure dominant	0.51 - 0.78	2.7 - 3.3	7.8

Aucun lac de construction récente ne montre de signes d'eutrophisation pour l'instant. Les études de la dynamique des ions phosphores entre le bassin, les sédiments et les eaux de lacs ne font pas apparaître d'importantes pollutions.

Des analyses biologiques ont montré une bonne qualité de ces eaux quasi potables en l'état. Les lacs proches d'agglomérations n'ont pas été échantillonnés.

Protection des infrastructures aval

La figure 1 montre la reconstitution des pertes en sols crues par crue du 08/10/1992 au 15/08/1996 pour un barrage construit en 1989 dans une zone très sensible à l'érosion (barrage de Sadinel). Son bassin versant a une superficie de 384 ha dans une zone montagneuse sur marne et calcaire. Le poids total des sédiments exportés par le bassin versant est de 48 500 t (32 t.ha⁻¹.an⁻¹). 56% de ces pertes en sol sont dues aux deux seuls orages du 23/08/1995 (7 700 t, soit 20 t.ha⁻¹) et du 04/09/1995 (18 300, soit 48 t.ha⁻¹). Le lac collinaire a piégé 90% du transport solide total et est aujourd'hui pratiquement complètement colmaté.

A la fin de l'année hydrologique 1998-1999, les 24 unités "lacs collinaires", bien suivies par des mesures d'envasement depuis 1993, qui avaient une capacité initiale totale de stockage de 2 634 000 m³, ont perdu 580 200 m³, soit 22%. Avec une durée d'existence moyenne de 7.7 années la perte moyenne de la capacité de stockage est de 4.6 % de par an. Suivant les sites, l'importance de l'envasement est très variable. Pour comparer l'envasement des différentes retenues, on a rapporté sa perte de volume à l'unité de surface de son bassin et à l'année. Cette grandeur exprimée en m³.ha⁻¹.an⁻¹ varie de 1.2 à 24, sa moyenne est de 10 et son écart-type de 6.

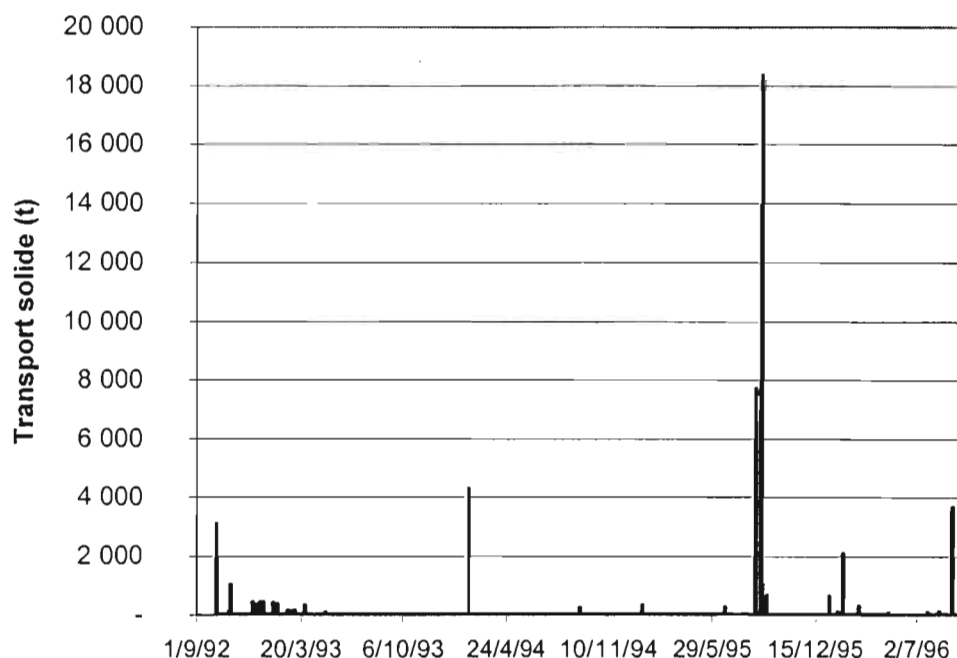


Fig. 1 : Transport solide crue par crue sur le bassin de Sadine 1

En extrapolant le volume moyen de vase piégée par ces 27 unités aux 1000 prévues, on obtiendrait un volume de vase piégée de $3.8 \text{ M m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$. Ce chiffre est à comparer aux sédiments apportés aux grands barrages de Tunisie qui est de $25 \text{ M m}^3 \cdot \text{an}^{-1}$.

Recharge des nappes superficielles

L'étude des quantités d'eau apportées à la nappe combine des observations de géochimie (isotopes et éléments trace) à des observations hydrodynamiques comprenant un suivi fin de la bathymétrie du lac, de la piézométrie en aval et une bonne caractérisation de la nappe alluviale (géométrie et paramètres hydrologiques par pompages d'essai). Ces études sont en cours sur trois retenues tunisiennes; elles attestent d'une recharge non négligeable à partir des zones de marnage des barrages (Grunberger et al, 1998, Nasri et Albergel 1997).

Des suivis à partir d'installations plus légères (limnigraphe, pluviographe et bac à évaporation) sont réalisés sur 30 lacs de barrages où il est possible de faire un bilan hydrologique à l'échelle journalière bouclé sur les échanges d'eau avec le souterrain (volume positif = un apport de la nappe vers lac, volume négatif = une infiltration)

Le calcul des volumes infiltrés au courant de cette même année montre une recharge effective des nappes alluviales pour 14 unités sur 26. Des puits de surface, en aval de la retenue ont vu leur niveau d'eau s'élever de plus de 20 m. C'est le cas du lac d'El Gouazine, au pied du Jebel Serj en Tunisie où le niveau de l'eau dans deux puits, en aval de la retenue, a remonté d'environ 10 m depuis la construction du barrage en 1990. Le calcul du volume infiltré pour l'année 1995-1996 a donné une valeur de $275\,000 \text{ m}^3$ (125 % du volume de la retenue) et pour une année plus faible 1998 - 1999 : $135\,000 \text{ m}^3$. La remontée de la nappe a été de 2m pour la période automnale 1995.

Ces remontées d'eau s'accompagnent parfois d'une détérioration de la qualité chimique de l'eau. Dans le cas d'El Gouazine, la concentration en substances dissoutes est de $2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans le lac et de $3.5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans les puits.

DISPONIBILITE DE L'EAU ET GESTION D'UNE RETENUE

La figure 2 montre le bilan hydrologique mensuelle de la retenue de Syndiané en Syrie durant l'année calendaire 1998. On remarque de fortes crues en Janvier, Février et Mars qui ont bien rempli le réservoir. Les apports par crue ont été de 500.000 m^3 en Janvier. Ces fortes crues ont rempli le barrage qui a déversé quatre mois durant. Les apports directs par les précipitation (hauteur de la pluie x surface de la retenue) sont faibles.

Les utilisations de l'eau (volume prélevé par la vanne de fonds) sont plus faibles que les pertes par évaporation, sauf en juillet, août septembre où ils sont du même ordre de grandeur.

Le bilan hydrologique est bouclé positivement en Mars et Avril et négativement les autres mois de l'année. On interprète ce résultat de la manière suivante. Après les grandes pluies de Janvier et Février, la nappe d'eau détenue dans les sols, a un niveau piézométrique supérieur à la cote du lac et vient l'alimenter. Après la baisse de ce niveau de nappe, les pertes par infiltration du lac vers les nappes superficielles sont fonctions de la charge hydraulique et de la perméabilité du fond du lac. Le fond du lac est plus perméable dans la zone de marnage que dans le fond qui récupère des sédiments fins de colmatage.

En fonction du volume d'eau stocké en fin de saison pluvieuse il serait intéressant de faire des lâchers pour recharger la nappe en fonction de ses capacités de stockage et des besoins en eau pendant la saison sèche.

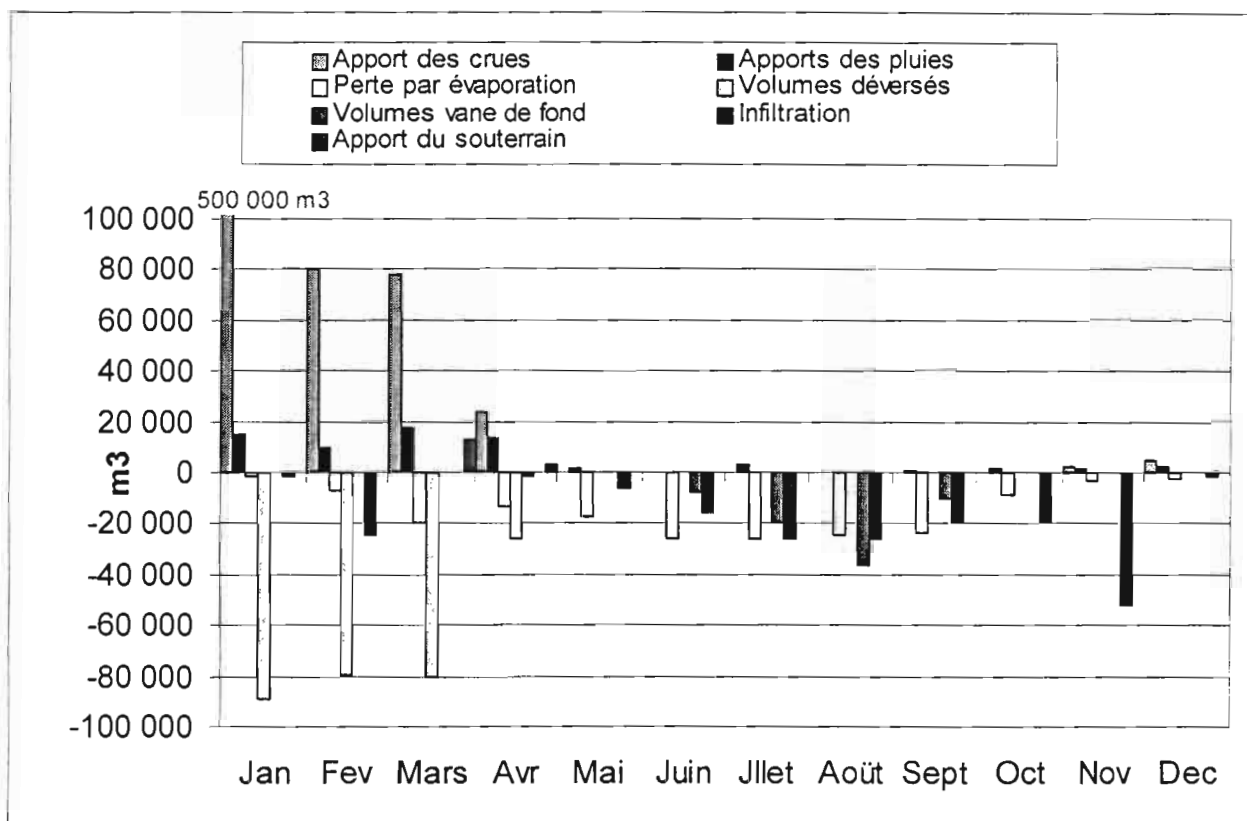


Fig. 2 : Bilan hydrologique mensuel du barrage collinaire de Syddiané (Syrie)

CONCLUSION

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, risques naturels d'ordre physique peu maîtrisables par la seule population locale et surtout peu susceptibles, une fois contrôlée, de modifier rapidement l'état économique local. Ces ouvrages ne peuvent relever que de la responsabilité pleine et entière d'un service de l'État.

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.

Les retenues d'eau peuvent être gérées de manière rationnelle avec un suivi hydrologique simple. L'objectif de cette gestion doit être de minimiser les pertes par évaporation.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBERGEL J. & CLAUDE J. (1997) : Small dams in the dry Mediterranean area : Stakes, constraints and prospects. In Water in the Mediterranean. Collaborative Euro-Mediterranean Research : State of the art, results and future priorities. Istanbul, 25-29 Nov. 1997.
- ALBERGEL J. & JOB J.L (1996):. HYDROMED : Programme de recherche sur les lacs collinaires du pourtour méditerranéen. Proposition. 4^{ème} PCRD INCO DC
- 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.
- 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
- BOUFAROUA M., ALBERGEL J., PEPIN Y. (2000) Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale Tunisienne. Vth International Conference on the Geology of the Arab World (GAW - 5) Le Caire 21 - 24 Février 2000
- DARVES-BORNOZ R & CLEMENT, (1957) Les barrages collinaires en Italie. Rapport de mission BTGR n°36.
- EL AMAMI S. (1983) Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie. Centre de Recherche de Génie Rural, Tunis.
- 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
- GRUNBERGER O., MONTOROI J. P., NASRI S., ALBERGEL J., PEPIN Y., RAHAINGOMANA N. (1998) : Water chemistry of a small reservoir catchments in Central Tunisia. In Séminaire International : Rain Water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas. Lund, 29 June - 4 July 1998.
- KARA DAMOUR S. & MISKI A. F. (1997) : Small dams and hill reservoirs in Syria. ACSAD.
- NASRI S., ALBERGEL J. (1997) : Hydrological Survey on hill reservoirs in the semi-arid Tunisia. In Water in the Mediterranean. Collaborative Euro-Mediterranean Research : State of the art, results and future priorities. Istanbul, 25-29 Nov. 1997.
- 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.
- SELMY 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.
- SELMY S., SAI M.B., HAMMAMI M. (en preparation) Le développement de l'olivier autour des lacs collinaires : une valorisation d'une ressource aléatoire et non pérenne
- TALINEAU JC, SELMY S. & ALAYA K. (1994) Lacs collinaires en Tunisie Semi Aride. Sécheresse. Note Originale N°4, Vol 5 pp 251-256