

Les lacs collinaires en Tunisie: technique de conservation des eaux et du sol

HAMADI HABAIEB¹, TAOUFIK HERMASSI², SLAHEDDINE GHEDAOU³ & ISSAM ANATAR³

1 Institut National Agronomique de Tunisie
habaieb.hamadi@yahoo.fr

2 Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts

3 Direction Générale des Aménagements et de Conservation des Terres Agricoles

Résumé En Tunisie, l'expérience de la construction des lacs collinaires a débuté vers la fin des années soixante. Les lacs collinaires sont des retenues qui contiennent quelques dizaines de milliers à 1 million de m³ d'eau recueillis sur des bassins versants d'une superficie de quelques hectares à quelques km². Ces lacs, qui sont situés dans des régions de pluviométrie moyenne annuelle supérieure à 250 mm, sont aptes à réguler les flux hydriques et donc susceptibles de maintenir les populations en place en leur assurant des réelles possibilités de développement. Cette étude présente les résultats de suivi de 26 lacs collinaires pendant une quinzaine d'années. Plusieurs points sont traités: les apports liquides et solides à l'échelle annuelle et à l'échelle des crues, l'envasement et la durée de vie des retenues.

Mots clés lac collinaire; conservation des eaux et du sol; ruissellement; envasement; durée de vie; climat semi aride; Tunisie

Small lakes in Tunisia: water and soil conservation technique

Abstract In Tunisia, the experience of building small lakes began in the late 1960s. The hill reservoirs constructed contain tens of thousands to 1 million m³ of water collected from small catchment areas of a few hectares to a few km². These lakes, which are located in regions of average annual rainfall greater than 250 mm, are able to regulate water supply and therefore likely to provide consumers with opportunities for development flows. This study presents the results of monitoring of 26 hill reservoirs for 15 years. Several issues are addressed: water and sediment discharges on the annual and event scale, siltation and life duration of the reservoirs.

Key words hill reservoirs; water and soil conservation; runoff contribution; siltation; life duration; semi-arid climate; Tunisia

INTRODUCTION

En raison de sa position géographique, la Tunisie est située dans une zone caractérisée par un climat particulièrement variable, et par une pluviométrie très aléatoire, ce qui entraîne une ressource en eau renouvelable à la fois rare et mal répartie dans l'espace et dans le temps. La mobilisation des eaux de surface par la construction des ouvrages hydrauliques constitue un moyen efficace pour satisfaire les besoins en eau domestique et d'irrigation.

Face à cette situation qui apparaît contraignante et alarmante une stratégie pour le développement des ressources en eau et la conservation des eaux et du sol en Tunisie, a été élaborée au sein du Ministère de l'Agriculture. Les méthodes et approches de conservation des eaux et du sol ont connu trois phases allant de la protection des grands ouvrages hydrauliques (1970–1980) à la phase des projets intégrés de développement rural (1980–1990) pour arriver à la phase de partenariat et d'implication des acteurs concernés depuis 1990. A partir des années 1990, deux stratégies nationales de la conservation des eaux et du sol ont été élaborées (1990–2001 et 2002–2011). La première a été concentrée essentiellement sur les réalisations physiques et la construction des lacs collinaires. Pour la seconde décennie, l'activité a été orientée vers l'aménagement participatif des versants.

Ces lacs ont été implantés dans des environnements fragiles et à faibles activités économiques. Ils apparaissent comme des techniques innovantes facilement maîtrisables, socialement acceptables et économiquement rentables. Ils sont susceptibles de transformer profondément les rapports entre les facteurs traditionnels de la production agricole et les comportements sociaux face à la disponibilité supplémentaire d'une ressource rare et vitale: l'eau. Ces lacs collinaires restent un moyen adéquat pour mettre à la disposition des paysans des quantités supplémentaires

en eau nécessaires pour l'augmentation des productions agricoles des parcelles et par conséquent des revenus des bénéficiaires. Ces aménagements s'intègrent parfaitement dans le paysage naturel rural tunisien. En jouant le rôle de régulateur des flux de ruissellement, ces retenues collinaires créent une dynamique de développement agricole local, améliorent les revenus des riverains, conservent et développent la ressource naturelle en eau, protègent contre les inondations et l'envasement des grands barrages (Albergel *et al.*, 1999, 2004).

STRATEGIES NATIONALES DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL

Consciente de la menace qui pèse sur ses ressources naturelles (eau, sol), la Tunisie s'est attelée depuis son indépendance à la mise en œuvre d'une stratégie de conservation, de développement et d'utilisation rationnelle et durable de ses richesses naturelles. Cette stratégie est basée essentiellement sur la conservation des eaux et du sol en agissant sur les aménagements des versants (banquettes à rétention totale) et du réseau du hydrographique (lacs collinaires) pour la mobilisation et l'utilisation optimale des eaux de surface et la lutte contre l'érosion (Boufaroua *et al.*, 2006).

A partir des années 1990, deux stratégies de conservation des eaux et du sol ont été élaborées. La première stratégie, réalisée entre 1990 et 2001, a permis d'assurer la protection de près de 500 000 hectares à travers les aménagements des terres en pente et des ouvrages de mobilisation des eaux de surface. Diverses techniques d'aménagements ont été utilisées selon les caractéristiques de chaque région (lacs collinaires, terrassements, épandage des eaux, recharge des nappes, techniques douces, correction des voies d'eau,...). La deuxième stratégie, réalisée entre 2002 et 2011, a permis l'aménagement et l'entretien d'un million d'hectares. Cette deuxième phase a été basée sur la prise en considération des facteurs naturels, économiques et sociaux spécifiques au milieu rural à savoir la participation effective des exploitants et leur organisation et l'intensification de la mise en œuvre agricole autour des lacs collinaires (Anatar, 2013).

Avant le lancement de la première stratégie (1990–2000), le nombre des lacs était estimé à 100 unités. A la veille de l'année 2000, suite à la stratégie décennale de conservation des eaux et des sols (1990–2000), ce nombre a atteint 700 unités. Le volume est passé de 10 à 60 millions de m³ de 1990 à 2000 pour atteindre plus de 110 millions de m³ en 2011 ce qui correspond à une lame ruisselée de 0,7 mm sur la superficie de la Tunisie de 164 000 km² (Fig. 1).

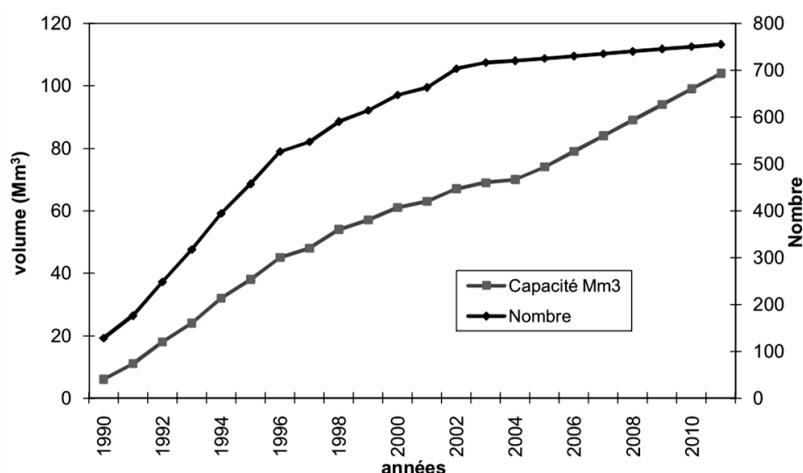


Fig. 1 Evolution de la capacité et du nombre des lacs collinaires en Tunisie (Boufaroua, 2011).

LE RESEAU PILOTE DE SURVEILLANCE DES LACS COLLINAIRES

Depuis 1994, un réseau pilote de surveillance hydrologique des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne a été mis en place et suivi par la Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres et l'Institut de Recherche pour le Développement afin d'étudier les comportements hydrologiques et érosifs de petits bassins versants aménagés et non aménagés. Ce

réseau appartient en grande partie à la Dorsale tunisienne caractérisée par un climat semi-aride. Ces retenues ont des impluviums très diversifiés allant d'un milieu semi-forestier plus ou moins anthropisé à un milieu totalement consacré à l'activité agricole. Ces petits bassins versants ont des superficies qui varient de 1.6 km² à 18 km². Ils sont représentatifs du gradient pluviométrique de la zone semi-aride variant de 250 mm à 600 mm de précipitation interannuelle. De longues séries d'observations hydrologiques et bathymétriques sont disponibles sur ces retenues (DG ACTA & IRD, 2001, 2002, 2003, 2006, 2009). Des cartes sur la pédologie, l'occupation des sols et l'aménagement des bassins versants ont été établies (Hermassi & Habaieb, 2013).

ETUDE DES APPORTS

Le coefficient de ruissellement est fortement influencé par l'imperméabilisation des surfaces après les labours par l'effet et la fréquence de la pluie mais aussi par la pente, le cloisonnement des surfaces de ruissellement (murs, remblais). La végétation joue aussi un rôle important puisque la présence de la végétation augmente la porosité et la rugosité des sols.

Pour mettre en relation les lames ruisselées entrant dans les lacs collinaires et les pluies annuelles tombées sur les bassins versants, nous avons supposé que cette relation était linéaire (Hermassi, 2010):

$$Lr = A(P - PO) \quad (1)$$

Où Lr est la lame d'eau ruisselée annuellement sur le bassin versant, A est un coefficient de croissance de la lame ruisselée en fonction de la pluie, P est la pluie annuelle tombée sur le bassin versant et PO un paramètre de position que l'on peut assimiler à une pluie annuelle limite du ruissellement. Dans cette relation, A exprime l'aptitude annuelle moyenne des sols au ruissellement et PO l'aptitude du bassin versant à la rétention, soit en raison d'une aptitude particulière des sols au stockage (fentes de retrait, labours, végétation) soit en raison d'un aménagement anti-érosif permettant de stocker les ruissellements superficiels (banquettes, réservoirs superficiels...).

PO peut être calculé à partir de la relation entre la pluviométrie et l'indice d'humidité (IK):

$$PO = \gamma e^{-\beta IK} \quad \text{et} \quad IL = IL0 e^{-\alpha IK} \quad (2)$$

où IK est l'indice d'intériorité des pluies, γ est la pluie limite de ruissellement pour $IK = 0$, β est le coefficient de décroissance exponentielle de la pluie limite de ruissellement, $IL0$ est l'intensité de pluie limite de ruissellement pour $IK = 0$ et α est le coefficient de décroissance exponentielle de l'intensité de pluie limite de ruissellement. L'indice d'antériorité des pluies peut être calculé de la façon suivante:

$$IKn = (IKn1 + Pln - 1)e^{-\omega T} \quad (3)$$

où IKn est l'indice d'antériorité des pluies pour l'averse n , $Pln-1$ est la pluie de l'averse $n-1$ et ω est le coefficient de décroissance exponentielle de l'indice d'antériorité des pluies en fonction du temps ($n-1$)

L'analyse hydrologique des 26 lacs a montré que le comportement du bassin versant comportait différentes phases caractéristiques de la saison. Après plus de quinze ans de suivi hydrologique de ces retenues, on peut avancer quelques conclusions sur leurs fonctionnements hydrologique afin d'améliorer les possibilités d'utilisation de l'eau des lacs collinaires pour l'irrigation, de choisir les emplacements des lacs en fonction de la susceptibilité à l'érosion des bassins versants situés en amont.

A l'échelle annuelle, l'analyse hydrologique tenant compte des caractéristiques physiques et anthropiques des bassins montre que ces bassins versants ont des coefficients de ruissellement annuels moyen, compris entre 1 et 20% (Hermassi & Habaieb, 2013). Le croisement des classifications selon la pente, la lithologie, la mise en culture et l'aménagement du bassin-versant, avec celle du coefficient de ruissellement du bassin versant montre l'existence de trois classes (Fig. 2):

- Classe 1: correspond à des bassins versants aménagés ou des bassins versant avec une prépondérance de l'occupation forestière ou aussi des sols bien filtrants,

- Classe 2: correspond à des bassins versants de pentes moyennes et des sols argileux ou marneux affectés par les phénomènes de retrait et de gonflement,
- Classe 3: correspond à des bassins versants cultivés à plus de 75% sur sols à argiles gonflantes (plus de 40% de la superficie du bassin versant).

Pour l'étude des crues, on a tenu compte dans l'élaboration de la relation entre la pluie et le ruissellement à la fois des événements qui produisent un ruissellement ainsi que des événements ne produisant pas un ruissellement. L'utilisation des averses non ruisselantes, peut nous informer non seulement sur l'aptitude des bassins à l'infiltration à travers les intensités limites du ruissellement mais elle permet aussi d'avoir une idée sur l'aptitude des bassins versants à la rétention des eaux superficielles (Fig. 3).

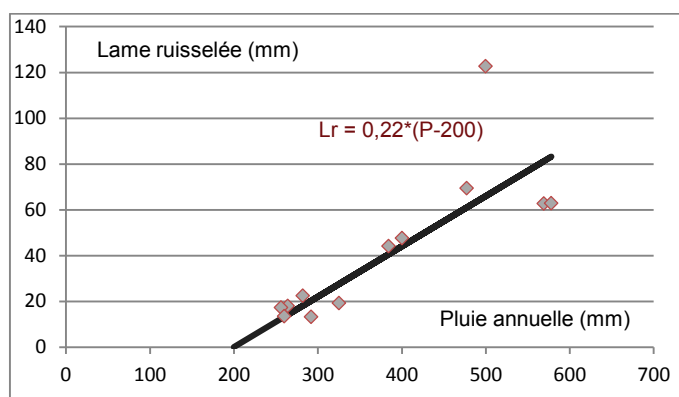


Fig. 2 Lames ruisselées en fonction des pluies annuelles au niveau du lac Dekekira.

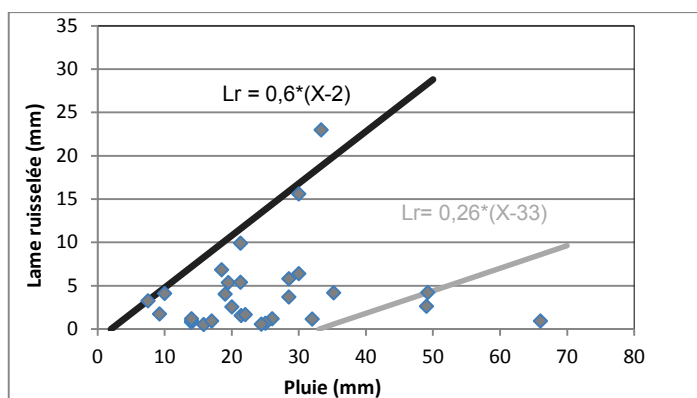


Fig. 3 Lames ruisselées en fonction des pluies à l'échelle de la crue du lac Mrichet El Anze.

Plusieurs relations ont été définies sur les bassins versants étudiés entre la lame ruisselée et la pluie à l'échelle de l'averse, entre la pluie limite de ruissellement (PI) et l'indice d'antériorité des pluies I_k ainsi que entre l'intensité de la pluie limite de ruissellement (IL) et l'indice d'antériorité des pluies I_k (Fig. 4).

Une comparaison entre les valeurs maximales et minimales de l'indice d'infiltration, des capacités à la rétention et des capacités au ruissellement a été réalisée pour chaque bassin versant. Cette comparaison a permis de classer les bassins versants:

- La première classe est formée par les bassins versants ruisselants, à fortes pentes avec des La deuxième classe est caractérisée par une forme de bassin allongée, une pente moyenne et des sols moyennement perméables.
- La troisième classe a été réservée aux bassins versants aménagés ou avec une occupation des sols dominée par les forêts.
- Sols peu perméables et fortement cultivés.

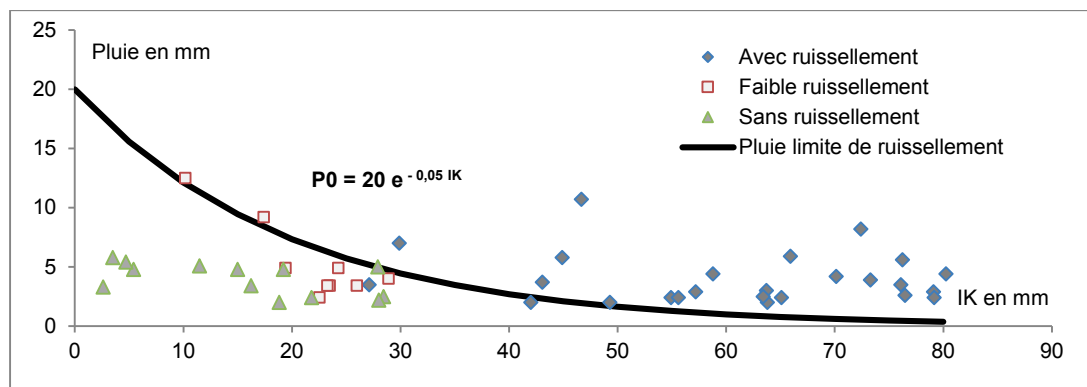


Fig. 4 Définition de la pluie limite du ruissellement (P_0) en fonction de l'indice des pluies antérieures (IK).

Cette étude a pu démontrer le rôle de l'intensité de la pluie sur le ruissellement. Elle peut être la base d'une étude plus fine des relations pluie-débit avec des simulations de pluie sur différents types de sols de la Dorsale tunisienne afin d'apporter des informations nouvelles sur le comportement des sols à la rétention.

FONCTIONNEMENT SEDIMENTAIRE DES LACS COLLINAIRES

L'envasement dépend essentiellement de la pente, de la lithologie, de la mise en culture et des aménagements antiérosifs (Boufaroua *et al.*, 2000). Le croisement de ces paramètres avec l'envasement des lacs collinaires a permis d'aboutir au classement des bassins versants en quatre classes (Boufaroua, 2011):

- Bassins versants où l'ablation est la plus forte (supérieure à 20 t/ha/an), ce sont des bassins à pente moyenne à forte, couverts à plus de 80% par des marnes ou des argiles, cultivés à 50% et non aménagés en banquettes ou en reboisements.
- Bassins versants où l'ablation est moyenne (comprise entre 13 et 20 t/ha/an), ce sont des bassins versants à pente moyenne à très forte, couverts à plus de 60% par des marnes ou des argiles, sans aménagements antiérosifs ou avec des aménagements en banquettes ou des forêts sur fortes pentes.
- Bassins versants où l'ablation est faible (comprise entre 6,5 et 13 t/ha/an), ce sont des bassins versants à pente moyenne à forte, couverts de roches dures, peu aménagés ou avec des aménagements en banquettes ou des forêts sur fortes pentes et terrains argileux où ils perdent beaucoup de leur efficacité.
- Bassins versants où l'ablation est très faible (inférieure à 6.5 t/ha/an), ce sont des bassins à pente moyenne à faible, couverts de roches dures et aménagés.

La durée de vie d'un lac collinaire dépend principalement de l'érosion des sols et de son bassin versant mais aussi de la capacité de stockage du barrage. Une étude détaillée sur l'envasement a montré qu'après dix ans de fonctionnement:

- les lacs collinaires ont perdu 30% de leur capacité totale de stockage (Boufaroua, 2011),
- 25% des retenues se sont complètement envasées, la capacité de stockage en eau de la retenue étant devenue inférieure à 25% de la capacité initiale,
- une retenue sur trois s'est envasée à plus de 60%,
- 40% des retenues sont envasées à plus de 40%.

L'effet des aménagements diffère d'un groupe de bassins versants à d'autres (Hermassi *et al.*, 2011 et 2012):

- Pour le premier, la durée de vie des lacs collinaires est comprise entre 2 et 35 ans, inférieure à la durée de vie à la conception des retenues (50 ans).
- Pour le deuxième groupe, la durée de vie des lacs collinaires est comprise entre 50 et 65 ans.
- Pour le troisième groupe, la durée de vie est comprise entre 65 et 80 ans, dont le

comportement peut être expliqué, beaucoup plus, par l'occupation des sols et l'itinéraire culturel et le travail du sol.

- Le quatrième groupe, est caractérisé par l'existence des banquettes mécaniques et par l'aménagement forestier.

CONCLUSION

Le lac collinaire, ouvrage hydraulique innovant en Tunisie, a été considéré comme étant la pièce maîtresse des stratégies de conservation des eaux et des sols puisqu'il permet d'assurer divers objectifs de protection et de développement. Les retenues collinaires édifiées ont eu un impact certain sur la population concernée en mettant à leur disposition de l'eau pour l'exploitation. Ces lacs ont participé aussi à l'amélioration de l'environnement de la Dorsale tunisienne, à la recharge de la nappe et à la protection des infrastructures à l'aval contre les inondations et l'envasement. Cette nouvelle démarche de collecte des eaux de ruissellement par des petits barrages pose des problématiques nouvelles de dimensionnement auxquelles nous avons apporté des réponses dans ce travail.

En dehors de cette évaluation de transport solide, la mesure de l'envasement des lacs collinaires présente un intérêt certain pour l'exploitation de ceux-ci et permet de fournir des réponses à la problématique de la durée de vie de tels ouvrages: 20% des lacs ont une durée de vie inférieure à 20 ans et environ 32% une durée de vie supérieure à 50 ans. La durée de vie moyenne face à l'envasement de l'ensemble des lacs de la dorsale tunisienne et du Cap Bon est de l'ordre de 47 ans. De telles conclusions sont d'un intérêt capital pour prouver que les petites retenues collinaires constituent une solution durable pour le développement de zones déshéritées dans la région du semi aride de la Tunisie.

REFERENCES

- Albergel, J., Nasri, S. & Boufarou, A. M. (1999) Small dams' water balance: experimental conditions, data processing, and modeling. In *Proceedings of the International Seminar Rain Water Harvesting and Management of Small Reservoirs in Arid and Semiarid Areas* (ed. by R. Berndtsson), 29 June–2 July 1998, Lund (Sweden). ORSTOM/HYDROMED-SAREC-NFR-Lund University, Lund, Report 3222, p 45–58.
- Albergel, J., Nasri, S. & Lamachère, J. M. (2004) Hydromed: programme de recherche sur les lacs collinaires dans les zones semi-arides du pourtour méditerranéen. *Revue des Sciences de l'Eau*. pp. 133-151
- Anatar, I. (2013) Stratégie nationale de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Communication orale présentée dans le cadre du projet Tuniso-algérien sur la gestion durable de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols au Maghreb. 4–6 mars 2013. Institut National Agronomique de Tunisie
- Boufaroua, M. (2011) Estimation des variables hydrologiques et proposition de nouvelles formules empiriques de dimensionnement des lacs collinaires dans la dorsale tunisienne. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, spécialité GREF. Présenté à l'Institut national agronomique de Tunisie. 63p.
- Boufaroua, M., Albergel, J. & Pépin, Y.,(2000) Bilan de l'érosion sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale tunisienne. *Annuaire des publications de l'association internationale des géologues* pp 1209–1216
- Boufaroua, M., Lamachère, J-M., Débabria, A. & Ksibi, F. (2006) Prédétermination de l'envasement des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne. In: *14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi Arid Environments*. Marrakech Morocco. ISCO publications. 13 p.
- DG ACTA-IRD (2001, 2002, 2003, 2006, 2009) Annuaire hydrologiques des lacs collinaires. Réseau pilote de surveillance hydrologique. Année 1999-2000, mars 2001, 201 p.; Année 2000-2001, avril 2002, 175 p.; Année 2001-2002, Année 2002-2003, 2003-2004 (2006), 2004-2005, 2005-2006, 2006-2007 (2009).
- El Khalili, A., Raclot, D., Habaieb, H. & Lamachère, J. M. (2013) Factors and processes of permanent gully evolution in a Mediterranean marly environment (Cape Bon, Tunisia). *Hydrological Sciences Journal* 58(7), 1–13.
- Hermassi, T. (2010) Paramétrisation des modèles hydrologiques à base physique sur les petits bassins versants des lacs collinaires de la dorsale tunisienne. Thèse de doctorat en sciences agronomique, I.N.A.T., Tunis, 263 p.
- Hermassi, T., Lamachère, J. M., Nasri, S., Touma, J. & Habaieb, H. (2011) Fonctionnement Hydrologique D'un Aménagement En Banquettes Anti-Erosives En Zone Semi-Aride (El Gouazine – Tunisie). In: *Proceedings Colloque international sur les ressources en eau et le développement durable*; 4ème colloque international. CIREDD'11. 22 et 23 février 2011 Alger. pp. 342–346.
- Hermassi, T., Habaieb H, Debabria, A., Boufaroua, M. & Lamachère, J. M. (2012) Impact des aménagements hydro-forestiers sur l'envasement des lacs collinaires. Communication orale, conférence Internationale MEDFRIEND *Modélisation du transport de sédiments dans les bassins-versants et dans les rivières* 14–16 Novembre 2012 Istanbul / Turquie.
- Hermassi, T. & Habaieb, H., (2013) Modélisation globale à l'échelle des crues sur les petits bassins versants des lacs collinaires. Communication orale au 5ème colloque international sur les ressources en eau et le développement durable. 24 et 25 février 2013 ; Alger, Algérie. Proceedings pp. 147–148.