

# IMPACT DES AMENAGEMENTS SUR LA RESSOURCE EN EAU DANS LE BASSIN DU MERGUELLIL (TUNISIE)

Dridi B.\*, Bourges J.\*\*\*, Auzet A. V.\*, Collinet J.\*\*\*, Kallel R.\*\*\*, Garreta Ph.\*

\* CEREG, UMR 7007 CNRS-ULP-ENGES, Strasbourg

\*\* Mission IRD B P 434, 1004 – El Menzah (Tunisie)

\*\*\* Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE), 43 rue de la Manoubia, Tunis)

## RESUME

En milieu semi aride, la question de la ressource en eau est cruciale. Les précipitations sont faibles et irrégulières, l'évaporation est forte et les nappes souterraines sont souvent surexploitées. L'irrégularité des précipitations se répercute sur le régime de l'écoulement alimenté à plus de 80 % par des crues souvent violentes. La Tunisie développe, depuis quelques dizaines d'années, des programmes dont les objectifs sont : (i) la mobilisation et l'utilisation optimale des eaux de surface, (ii) la lutte contre l'érosion (conservation des sols et limitation de l'envasement des retenues)

Dans ce contexte, les aménagements des versants et des cours d'eau ont été largement développés depuis plusieurs décennies avec leur conséquences sur les apports aux zones aval. Le travail présenté ici propose une méthode et expose les résultats obtenus sur un bassin moyen ( $\cong 1200 \text{ km}^2$ ), le bassin de l'oued Merguellil, situé en Tunisie centrale. Il évalue la capacité de rétention des différents types de banquettes recensées dans ce bassin principalement en fonction de leur vétusté et de la pente du terrain ; il analyse l'efficacité de ces ouvrages, mis en place pour certains depuis plus de trente ans, sur l'interception du ruissellement en fonction des précipitations et de l'occupation du sol et aborde les conditions de leur destruction.

## INTRODUCTION

La Tunisie est un pays en grande partie semi-aride dont les potentialités hydrauliques constituent un facteur limitant au développement économique. Confronté actuellement à la dégradation continue d'une partie de ses ressources naturelles, l'Etat pose le problème de l'eau en termes nouveaux, ceux d'une politique d'investissements lourds pour la mobilisation de toutes les ressources disponibles (CES, 1992). Mais les ressources potentielles restant limitées par la nature, il importe de mettre l'accent sur les méthodes et les techniques qui peuvent assurer une valorisation optimale des ressources disponibles ainsi que sur la mise au point de techniques susceptibles de générer des économies d'eau.

Parmi les aménagements les banquettes à rétention totale constituent l'une des réponses les mieux adaptées au climat semi-aride qui permette de faire face au déficit pluviométrique et d'améliorer les réserves en eau de surface. Dans le bassin versant du Merguellil les banquettes sont réparties de façon inégale : elles sont rares à l'amont et concentrées dans les parties à relief plus modéré, au centre et à l'aval du bassin. Dans le but de disposer d'une ressource en eau plus ou moins pérenne dans un milieu frappé par la rareté des précipitations, l'Etat a adopté aussi une politique de lacs collinaires qui a pour effet secondaire de retenir un maximum de sédiments et lutter contre l'envasement des grands barrages.

Le but de ce travail est d'étudier l'efficacité des banquettes dans la rétention de l'eau en comparant leur capacité hydraulique aux apports par ruissellement de l'impluvium amont. Ces apports ont été évalués à partir de mesures d'aptitude au ruissellement des différentes unités d'espaces en fonction des types de sols, de leurs états de surface et sur la base d'une analyse des caractéristiques des pluies sur le bassin.

Le bassin choisi comme zone d'étude peut être considéré comme représentatif de la Tunisie centrale ; il dispose d'un bon suivi hydrologique et a bénéficié de plusieurs expériences d'aménagement au cours des dernières décennies.

D'une superficie de  $1170 \text{ km}^2$ , ce bassin est caractérisé par un relief peu accidenté : la topographie présente une large gamme de pentes. Les terrains pratiquement plats ( $0-5^\circ$ ) situés dans le centre sont largement prédominants, représentant près de 80 % de la superficie. Dans ce bassin, les conditions édaphiques défavorables, l'agressivité du climat, la forte pression démographique sur le milieu rural, la surexploitation des parcours et les pratiques culturales inappropriées ont fait que la zone d'étude est l'une des plus affectées par l'érosion hydrique de cette région.

La pluviométrie annuelle oscille entre 200 et 500 mm avec une moyenne annuelle de 306 mm sur la période de référence 1970/97. Dans l'année, les mois les plus pluvieux sont septembre, octobre et mars. Les orages peuvent survenir à n'importe quel moment de l'année mais les averses les plus violentes et

dangereuses pour les sols se produisent en fin d'été ou début d'automne. Par suite de l'irrégularité des pluies, le régime hydrologique est extrêmement variable d'une année à l'autre. Les crues contribuent pour 80 % à l'écoulement annuel. Elles apparaissent plus fréquemment en fin d'été-début d'automne (août, septembre, octobre). La lame ruisselée moyenne annuelle est de l'ordre de 25 mm à 30 mm.

## LES AMENAGEMENTS

Les banquettes à rétention totale sont des levées de terre aménagées dressées suivant les courbes de niveau, ayant pour objectif de stocker les eaux de ruissellement et de faciliter leur infiltration ; elles contribuent de cette manière à augmenter les réserves en eau du sol et à protéger les retenues contre un engorgement rapide (Achour et Viertman, 1984, CES et al., 1995).

La carte des aménagements de conservation des eaux et des sols( CES) dressée en 1995 par les services techniques a été complétée et actualisée par des levés de terrain. La localisation et la délimitation des 112 sites aménagés en banquettes à rétention totale sur le bassin a été effectuée avec un GPS et introduite dans une base de données sous SIG. Depuis 1970 les superficies aménagées en banquettes ont fortement augmenté passant de 16 km<sup>2</sup> à 196 km<sup>2</sup> en 1998 (tableau 1) dont 70 % se trouve dans les sous bassins de Haffouz et Zebbes et seulement 2 %, en amont, dans le sous bassin de Skhira principalement occupé par la forêt (figure 1).

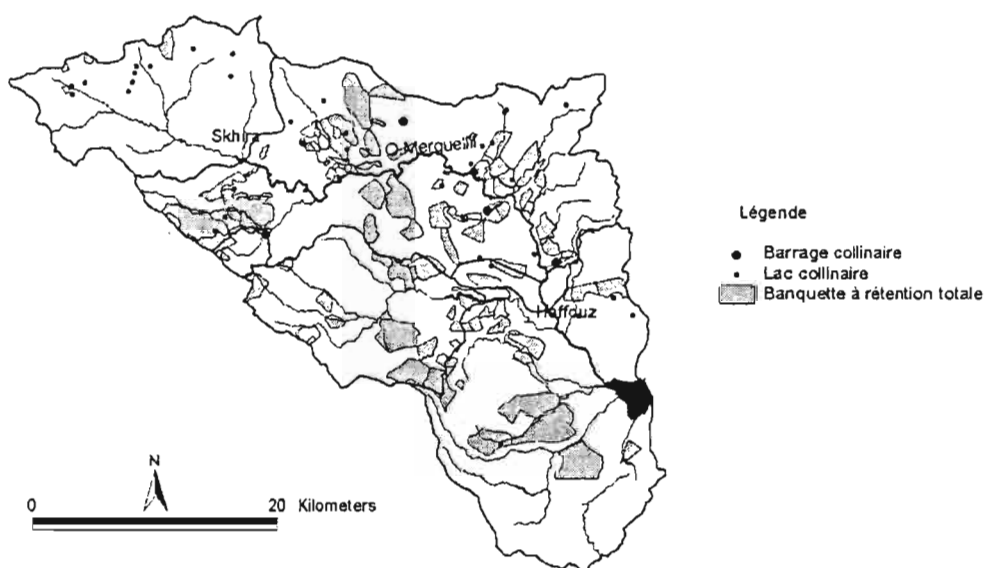


Fig 1 : Situation des zones aménagées en banquettes et des retenues collinaires dans le bassin du Merguellil

TABLEAU 1 : Surfaces aménagées en banquettes à rétention totale sur le bassin du Merguellil, de 1970 à 1998

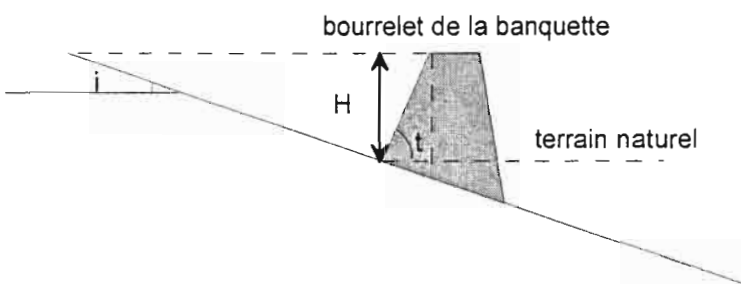
Années	Surfaces aménagées (ha)
1970	1600
1980	2310
1990	9743
1998	19600

Aux aménagements extensifs que représentent les banquettes viennent s'ajouter des aménagements ponctuels que sont les retenues collinaires pour lesquelles on distingue, en Tunisie, les lacs et les barrages, les premiers étant plus petits tant par la dimension de l'ouvrage que par la capacité de la retenue. Sur le bassin ont été recensés en 1998 38 lacs collinaires et 5 barrages collinaires.

## CAPACITE HYDRAULIQUE DES BANQUETTES

La capacité de stockage "géométrique" des cordons de banquettes dépend de leurs dimensions et de la topographie, facteurs qui sont variables d'un aménagement à l'autre en fonction du site, de l'ancienneté de l'ouvrage ou de son entretien, du type de banquette, manuelle ou mécanique, etc... Il est certain que le volume réel d'eau que peut retenir une banquette est supérieur au volume géométrique de sa retenue puisque dans la réalité, à moins d'une averse extrêmement brève et intense, l'eau s'infiltré progressivement libérant ainsi un volume supplémentaire pour les apports ultérieurs. Le volume géométrique qui est évalué ci-après est donc un volume par défaut, favorable à la sécurité. Pour définir la géométrie des banquettes et évaluer correctement leurs capacités hydrauliques, nous avons relevé sur le terrain, lors d'un inventaire détaillé, les caractéristiques suivantes :

- *données relatives à la banquette* : dimensions (hauteur mesurée à l'amont, du pied de la banquette jusqu'à la crête du talus), distance interbanquette mesurée entre l'aval d'une banquette et l'amont de la banquette suivante, état d'entretien, ancienneté (année de construction),
- *données relatives au milieu* : pente du terrain naturel, type de sol et épaisseur, occupation de l'espace, forme d'érosion, densité de pierres en surface (pierrosité).



### Méthodologie

La capacité de stockage maximale d'une banquette est assimilable au volume d'un prisme limité par le terrain naturel et la banquette (fig 2).

Fig 2 : Profil en travers d'une banquette à rétention totale

La capacité de retenue par mètre linéaire, V, peut se calculer aisément par :

$$V = \frac{H^2}{2} \left( \frac{1}{\text{tgi}} + \frac{1}{\text{tgt}} \right)$$

H étant la hauteur mesurée en amont de la banquette, i la pente du terrain et t la pente du talus amont de la banquette

La mesure sur le terrain des distances entre banquettes permet de calculer le nombre de banquettes construites sur une surface donnée et d'en déduire la "densité" de banquettes exprimée en mètres linéaires par hectare ( $\text{m} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Le volume stockable à l'hectare est le produit de cette densité par un V moyen sur la parcelle. Il est exprimé, pour faciliter la comparaison avec les précipitations, en lame équivalente (mm).

## Typologie des banquettes

Les dimensions des banquettes varient selon les sites de sorte qu'il y a pratiquement autant de capacités de stockage différentes que des sites. Etant donné l'importance des sites aménagés (112) nous les avons répartis par classes de hauteur de banquette et de pente sachant que la capacité de stockage dépend essentiellement de ces deux facteurs :

- **la pente du terrain naturel** : nous avons calculé pour chaque classe de pente la surface totale aménagée ainsi que le nombre de sites. La pente de 8 % est la plus fréquemment observée tant par la proportion des surface aménagée que du nombre de sites (figure 3). Les banquettes se trouvant sur des pentes supérieures à 15 % concernent 11 % de la superficie totale aménagée.

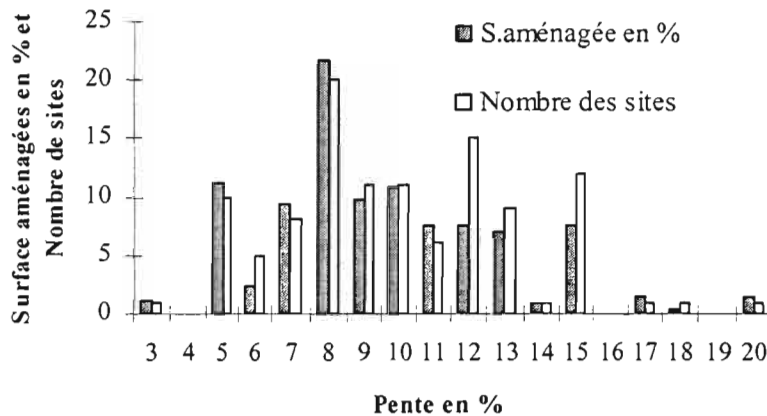


Fig 3 : Proportion de surface aménagée et nombre de sites sur le bassin du Merguellil en fonction de la pente

- **la hauteur de la banquette** : partant du principe que la hauteur se réduit avec le temps, nous les avons réparties en deux classes d'ancienneté avec un seuil flottant de 2 à 4 ans. (tableau 2) ; sur la totalité de l'échantillon, le seuil de 4 ans semble être le moins pertinent. Pour améliorer la discrimination et vérifier aussi qu'il n'y a pas d'influence de la pente, nous avons réparti dans chaque classe les aménagements selon les pentes supérieures ou non à 8 %. Bien que la différence ne soit pas très marquée, le seuil de 3 ans semble plus pertinent pour séparer aménagements récents et anciens et mettre ainsi en évidence l'influence de l'ancienneté sur la hauteur de crête. On remarque au passage que l'influence de la pente n'intervient guère sur la hauteur de ces aménagements.

Il est important de souligner que la hauteur prise en compte pour la détermination du volume de retenue par mètre linéaire de banquette est la hauteur mesurée sur le terrain diminuée d'une décote de 0,20 m pour tenir compte de l'irrégularité de la crête.

TABLEAU 2 : Hauteurs moyennes des banquettes en fonction de leur ancienneté

Nbre de sites	Classes	H moy (m)	Surface (%)	Hmoy (m) p≤8%	Surface (%)	Hmoy (m) p> 8%	Surface (%)
24	≤ 2 ans	1,07	29	1,11	15	1,05	14
88	> 2 ans	0,88	71	0,87	31	0,89	40
<b>26</b>	<b>≤ 3 ans</b>	<b>1,05</b>	<b>30</b>	<b>1,04</b>	<b>16</b>	<b>1,05</b>	<b>14</b>
<b>86</b>	<b>&gt; 3ans</b>	<b>0,88</b>	<b>70</b>	<b>0,87</b>	<b>30</b>	<b>0,89</b>	<b>40</b>
44	≤ 4 ans	0,99	45	0,98	25	0,99	20
68	> 4 ans	0,88	55	0,86	21	0,90	34

Les capacités de stockage obtenues à partir de ces mesures sont comprises à 80% entre 60 et 140 mm avec une médiane de l'ordre de 85 mm. Elles diminuent généralement avec l'âge des ouvrages, mais semblent se stabiliser au bout d'une dizaine d'années particulièrement si les aménagements sont bien

entretenus. Dans le haut bassin la capacité de stockage varie de 70 à 150 mm mais peut atteindre jusqu'à 250 mm dans le bassin de Zebbes (figure 4).

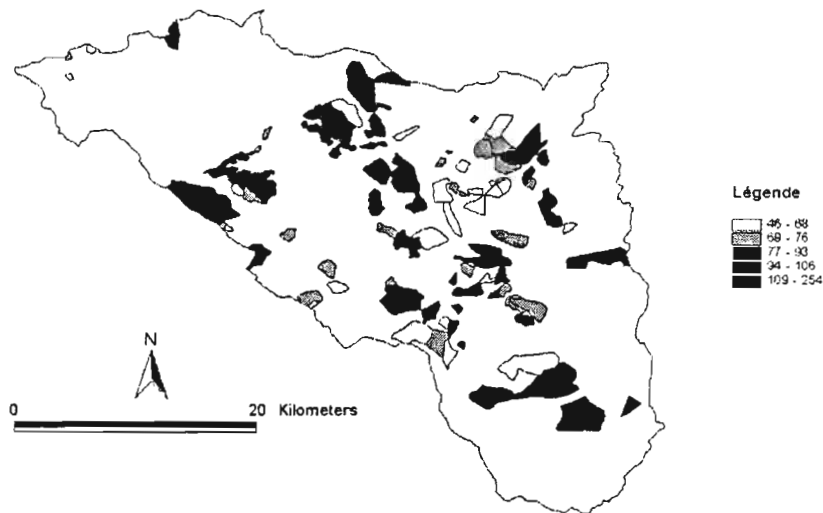


Fig 4 : Répartition des capacités de stockage des banquettes (mm) dans le bassin du Merguellil

Près de la moitié des sites aménagés sont situés sur des zones de culture dont la production bénéficie de cet apport d'eau supplémentaire. Comme nous l'avons déjà souligné il est bon de rappeler que les valeurs avancées précédemment sont des valeurs minimales, sous estimées, puisque la capacité réelle de rétention du système banquette-sol ne peut être que supérieure au volume géométrique de retenue de ces ouvrages.

## RUISSELLEMENT ET STOCKAGE

L'objectif est d'évaluer sur les périmètres aménagés les volumes de ruissellement pour les comparer aux capacités de stockage ce qui implique l'utilisation d'une méthode d'évaluation du ruissellement simple et applicable à grande échelle. Cette évaluation passe par la reconnaissance des états de surface qui est un outil permettant d'identifier les parties du bassin versant potentiellement aptes à ruisseler (Auzet et al., 1993). La reconnaissance des états de surface permet d'identifier aussi les surfaces « fermées » dont l'état structural limite l'infiltration vers les couches profondes. Ont été considérées comme « surfaces fermées » les croûtes, les pellicules de battance, les pellicules monocouches et multicouches, les cailloux inclus et les affleurements. La densité du couvert végétal a aussi été mesurée dans la mesure où elle freine et restreint le ruissellement.

Pour évaluer le ruissellement, nous avons procédé à des mesures directes de ruissellement au moyen de la simulation par aspersion manuelle qui utilise un irrigateur manuel à rampe modifié (Roose, 1995). Méthode facile à mettre en œuvre, elle fournit une bonne première approche du ruissellement bien qu'elle ne puisse être comparée au mini simulateur d'abord à cause de l'absence d'énergie cinétique des gouttes et donc d'effet mécanique sur le sol mais aussi de l'influence « humaine » due au tour de main de l'opérateur. L'intensité de la pluie est obtenue par obturation partielle d'une rampe qui est ainsi "étalonnée" pour fournir les intensités de l'ordre de 60 mm.h<sup>-1</sup>, 120 mm.h<sup>-1</sup> ou 240 mm.h<sup>-1</sup>.

Deux campagnes de mesures ont eu lieu sur 27 sites sélectionnés de façon à constituer un échantillon le plus représentatif possible des caractéristiques pédologiques, du couvert végétal, des états de surface et des types d'usage du sol rencontrés sur le bassin.

Nous avons démontré que la granulométrie, l'état hydrique initial et la pluie d'imbibition ne peuvent expliquer à eux seuls le ruissellement. Le sol ne joue pas uniquement le rôle d'un réservoir, mais constitue également un facteur déterminant dans le contrôle du ruissellement. Pour une intensité de 120 mm.h<sup>-1</sup> et pour

deux occupations du sol distinctes, jachère et parcours d'une part et labours d'autre part, nous avons obtenu une relation acceptable entre Kr et Sf selon le taux d'argile dans le sol.

- **Pour les jachères et parcours**

Nous constatons une dissociation des comportements du fait des textures : les textures fines, en particulier sur les sols argileux sur marnes gonflantes (présence de fissures) infiltrent mieux car elles ne ruissellent qu'au-delà de 45 % de Sf avec des Kr qui croissent très vite jusqu'à plus de 60% ; les textures grossières (sols limono-sableux sur calcaires gréseux) ruissellent dès 30 % de Sf mais avec des Kr qui montent moins vite et ne dépassent guère 40 %. Cette différence est liée à la stabilité structurale des surfaces, plus forte pour les textures fines, et relativement faible pour les textures grossières qui donnent rapidement des pellicules de battance.

- **Pour les labours**

Dans le cas des labours, la rugosité est élevée et les sols relativement profonds sont plus aérés (grande porosité). Sur les marnes et argilites, la fissuration permet une certaine infiltration, mais l'imperméabilité reste forte.

TABLEAU 3: Coefficients de ruissellement à la parcelle (%) pour différents états de sol

Texture/scénarios	Labour frais	Labour ayant subi une pluie	Labour ancien	Jachère + parcours
Forêt sur marno calcaire				32
Argileux	0	10	35	40
Sable fin argileux	2	25	35	30
Sable grossier	0	19	21	20
Epandage de pierres	25	30	35	55
Affleurement rocheux, steppe d'alfa				70

Etant donné la dispersion relative des points représentatifs ( $R^2 \# 0,70$ ), probablement due à un échantillonnage trop restreint de sites et de phases culturales, il est certain que ces valeurs ne doivent être considérées que comme une première approximation du coefficient de ruissellement, suffisante toutefois pour les besoins de cette étude.

Enfin on remarque que le tableau 3 met bien en évidence la variation au cours de l'année des coefficients de ruissellement en fonction des types de sol, des façons culturales ainsi que d'autres facteurs qui modifient les états de surface et notamment la proportion des surfaces fermées Sf.

L'objectif de cette étude n'est pas simplement d'évaluer le ruissellement mais d'évaluer la capacité des banquettes de CES à retenir ce ruissellement afin de mesurer leur influence sur l'écoulement à l'exutoire. Si tout le ruissellement produit peut être stocké, l'impact des banquettes est total. Si le ruissellement est supérieur à la capacité des banquettes, il peut y avoir destruction des ouvrages et risque de rupture en cascade. Compte tenu des valeurs des coefficients de ruissellement à la parcelle évalués précédemment qu'on estimera proche des Kr affectant l'espace inter banquettes sur les sites aménagés, on peut calculer pour chacun des périmètres le coefficient d'écoulement en fonction de l'occupation du sol, du type de sol (%Ag, Sf) et de la phase culturale le cas échéant.

L'application de ces divers coefficients aux précipitations susceptibles de ruisseler durant une année moyenne d'abord, puis une décennale humide, fournit une lame maximale de l'ordre de 70 mm donc inférieure à la capacité (sous estimée) des banquettes à rétention totale. Ainsi, sauf en cas de pluies exceptionnelles, le ruissellement produit sur les sites aménagés est inférieur à la capacité de stockage des ouvrages.

## IMPACT SUR L'ÉCOULEMENT

La capacité de rétention des zones aménagées en banquettes étant supérieure aux apports de leur impluvium, à condition bien entendu que les banquettes de terre soient construites selon les normes et bien entretenues, l'impact sur l'écoulement moyen peut être considéré comme proportionnel à la surface aménagée ; il varie de 2 % pour un sous bassin quasiment à l'état naturel comme celui de Skhira à 20 % pour celui de Zebbes (tableau 4).

TABLEAU 4 : Surface aménagée en banquettes par sous bassins

Nom du bassin	Surface des bassins (ha)	Surface aménagée (ha)	% surface aménagée	Capacité moyenne des banquettes (mm)	Nombre de sites
Skhira	19000	292	2	180	4
El Morra	1150	135	12	95	3
Zebbes	18000	3511	20	190	27
Haffouz	66700	10819	16	170	81
<b>El Haouareb</b>	<b>117300</b>	<b>19566</b>	<b>17</b>	<b>170</b>	<b>112</b>

Les retenues collinaires, lacs et barrages confondus, contrôlent une superficie totale de 158 km<sup>2</sup> avec une capacité initiale de 5,8 millions de m<sup>3</sup> soit une lame de 36 mm tout à fait comparable à l'apport annuel. Réparti sur l'ensemble du bassin de Haffouz (670 km<sup>2</sup>) le volume total initial des retenues représenterait une lame de 9 mm. Mais cette capacité est fortement affectée par l'érosion avec un taux d'envasement moyen des réservoirs de 4,6 %.an<sup>-1</sup> (Albergel et Rejeb, 1997). Ce "piégeage" des sédiments par les aménagements à l'amont du bassin réduit l'envasement des grands barrages situés à l'aval qui n'en reste pas moins conséquent puisqu'on évalue la perte de capacité pour le barrage d'El Haouareb à 2 % par an (Kingumbi, 1999). Il est certain qu'au fil du temps l'impact des retenues ira en s'amenuisant mais en l'état actuel du dispositif la plupart des bassins contrôlés par des retenues ne participent pas en année moyenne à l'écoulement.

Les apports parvenant au barrage d'El Haouareb proviennent donc essentiellement des 860 km<sup>2</sup> non aménagés du bassin, certains périmètres ayant été aménagés simultanément en banquettes et en retenue.

## CONCLUSION

L'impact global de ces divers aménagements, retenues et banquettes dans les conditions optimales de remplissage (conditions initiales) serait une réduction de près de 35 % de l'écoulement moyen sur un bassin comme celui de Haffouz, principalement sous l'effet des retenues et de 28% sur le bassin entier principalement à cause des banquettes

En 1998, compte tenu de la diminution de la capacité réelle des retenues due à leur envasement, l'impact sur l'ensemble du bassin du Merguellil peut être évalué à 25 % dont 17 % dus aux banquettes et 8 % aux retenues. Ce chiffre est à comparer au taux de réduction des apports moyens à l'exutoire du bassin entre deux périodes, climatiquement comparables, 1926/82 et 1989/99 qui est de 35 à 40 %.

Il est intéressant de noter que c'est au cours des années 80 que se sont produits les plus importants changements du milieu dus à l'anthropisation, aménagement mais aussi occupation du sol. Pour compléter cette analyse il serait donc utile d'étudier la dynamique de l'occupation du sol sur ce bassin au cours des dernières décennies afin de voir si elle ne serait pas le facteur réducteur de ruissellement complémentaire qui pourrait justifier cette baisse des apports.

## BIBLIOGRAPHIE

- ACHOUR M., VIERTMANN W., 1984 – Les aménagements anti-érosifs recommandés par le projet TU.81/14, leurs caractéristiques et les possibilités de leur application. Kairouan, 65 p.
- ALBERGEL J. et REJEB, 1997 – Communication à l'Académie des sciences
- AUZET A.V., BOIFFIN J., PAPPY F., LUDWING B., MAUCORP J., 1993- Rill erosion as a fonction of the characteristics of cultivated catchment in the north of France. Cetan. (20)(1/2), pp : 41-62
- CES., 1990 – Protection du barrage El Haouareb et alimentation de la nappe de Bouhafna. Tunis, 8 p.
- CES., 1992 – Etude d'un programme de développement agricole intégré dans la délégation de Ousslétiya, El Ala, Hajeb, Sbikha et Haffouz. Tunis, 92 p.
- CES., 1995 : Guide de conservation des eaux et des sols. Tunis, 273 p
- GHOLA H., 1993 – Gestion des lacs collinaires. Tunis, 105 p.
- ROOSE E, 1995 – Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en zone méditerranéenne. Paris, 146-178.