

Impact des aménagements sur la ressource en eaux dans le bassin du Merguellil (Tunisie centrale)

Dridi B(1), J. Bourges (2), J. Collinet (2), A V. Auzet(1), Ph. Garreta (2)

(1) : CEREG, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg, fax : (33)03 88 41 13 59

(2) : Mission IRD B P 434, 1004 - El Menzah (Tunisie)

Résumé :

En milieu semi aride, 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 :

- la mobilisation et l'utilisation optimale des eaux de surface,
- la lutte contre l'érosion (conservation des sols et limitation de l'envasement des retenues).

Dans ce contexte, des aménagements de versants et des cours d'eau ont été largement développés depuis plusieurs décennies (banquettes à rétention totale, lacs et barrages collinaires) (CES, 1992). Si tous ces ouvrages ont vocation à retenir l'eau et les sols, ce qui réduit d'autant les écoulements à l'exutoire des bassins concernés, la répartition et la disponibilité ultérieure des ressources en eau s'en trouvent complètement modifiée. Dans le cadre d'une étude plus vaste qui s'intéresse à l'efficacité et à l'impact de ces aménagements sur les écoulements, à l'échelle d'un bassin moyen, il convenait de dresser un état de la capacité de stockage des ouvrages créés en utilisant une méthodologie adaptée à cette échelle.

Le travail présenté ici propose une méthode et expose les résultats obtenus sur un bassin moyen ($\cong 1200 \text{ km}^2$) de la Tunisie centrale, le bassin de l'oued Merguellil situé en semi-aride. Il évalue la capacité de rétention des différents types de banquettes recensées dans ce bassin principalement en fonction de la topographie et de leur vétusté ; 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.

1 Objectif et méthode

Ce présent travail entre dans le cadre de recherche MERGUSIE (MERGuellil USages Intégrés de l'Eau) développé entre l'Institut français de Recherche pour le Développement (IRD) et des institutions tunisiennes (Direction Générale des Ressources en Eaux (DGRE), Direction de Conservation des Eaux et des Sols (CES)...). L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact des aménagements, essentiellement des banquettes à rétention totale, sur l'écoulement à l'échelle d'un bassin versant de taille moyenne ($\cong 1200 \text{ km}^2$). Notre problématique repose sur l'analyse de la nouvelle

répartition spatio-temporelle de la ressource en eau sur le bassin aménagé en fonction du type d'ouvrages réalisés. Cette nouvelle répartition de la ressource en eau de surface est accompagnée d'une étude de modifications du bilan hydrologique. Pour cela, nous avons adopté une approche globale adaptée à la taille du bassin et qui consiste à

- relevé exhaustif des sites aménagés et de leurs caractéristiques physiques
- constitution d'une typologie des banquettes
- évaluation des capacités de stockage des banquettes
- étude des pluies-hauteur-intensité-fréquence
- classement des sols, selon leur aptitude à générer du ruissellement
- confronter les évaluations du ruissellement pour des averses types à la capacité de stockage des banquettes.

2 Milieu et aménagements

Le bassin du Merguellil s'inscrit dans le réseau de drainage de la Tunisie centrale. Il appartient au climat semi-aride. Le relief est peu accidenté. Les terrains relativement plats (0-5°) situés dans le centre du bassin sont prédominant, représentant près de 80 % de la superficie. Les sols sont généralement peu évolués et constamment soumis à l'érosion.

Le bassin est équipé de 20 postes pluviométriques et pluviographiques. Les précipitations décroissent de l'amont (450 mm) vers l'aval (300 mm). L'étude de la pluviométrie annuelle montre la prédominance des périodes sèches surtout sur la période 1970/90. A l'échelle saisonnière, l'automne et le printemps contribuent à plus de 60 % du total annuel précipité, l'été ne contribue qu'à 10 %. A l'échelle mensuelle, le mois d'octobre marque le premier pic, suivis de septembre et mars. La pluie est presque nulle en juillet. L'étude des intensités en 5 minutes montre la prédominance des faibles intensités (< 10 mm/h), les pluies de plus de 50 mm/h survenant en fin d'été et début automne, sont celles qui génèrent un fort ruissellement surtout sur un sol sec et peu couvert.

Par suite de l'irrégularité des pluies, le régime hydrologique est extrêmement varié, les crues contribuent pour 80 % de l'écoulement annuel (Bourges et al., 1977; Bouzaine et Lafforgue, 1986). Pour contrôler le régime hydrologique dans le bassin, 8 stations hydrométriques ont été implantées dont deux qui sont bien suivies: Skhira (27 ans) qui contrôle l'écoulement amont provenant de 190 km² (65 % du sous bassin est occupé par la forêt sur sol marno-calcaire) et Haffouz (35 ans) qui contrôle 670 km² occupé par la céréaliculture et l'arboriculture sur sols peu évolués). La lame ruisselée moyenne annuelle est de l'ordre de 25 mm à 30 mm (Rbahi 1998; Tchatagba, 1998).

Pour faire face au déficit pluviométrique et améliorer les réserves d'eau de surface, la Tunisie développe depuis quelques dizaines d'années des programmes pour la mobilisation et l'utilisation optimale des eaux de surface et la lutte contre l'érosion. Des aménagements des versants (banquettes à rétention totale) et des cours d'eau (lacs et barrages collinaires) sont largement répandus ces dernières décennies. Les banquettes, couvrant 17 % du total de la superficie du bassin, sont des levés de terre dressés suivant

les courbes de niveau ayant pour objectif de stocker les eaux de ruissellement et de permettre leur infiltration (Achour et Viertman, 1984; CES et al., 1995). Les lacs collinaires sont des petits barrages en terre compacté dont la digue fait 5 à 8 m de hauteur et jusqu'à 50 milles m³ de capacité. Les barrages collinaires font 8 à 12 m de hauteur et de 50 milles à 1 millions de m³. Dans le bassin, nous comptons 43 retenues dont 5 barrages collinaires (figure 1). Le barrage d'El Haouareb dispose d'une capacité de 50 millions de m³, soumis à une infiltration importante qui recharge la nappe (63%) et une forte évaporation (25 %).

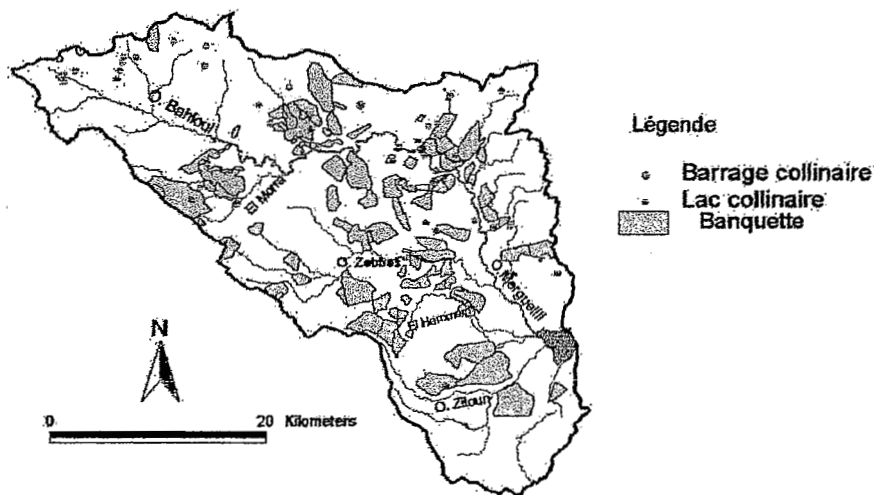


Figure 1 : Surfaces aménagées en banquettes et les retenues collinaires dans le bassin du Merguellil en 1998

3 Capacité de stockage des banquettes

Pour évaluer la capacité de stockage des banquettes, le volume de la retenue est a été assimilée à un prisme limité par le sol et la banquette (figure 2).

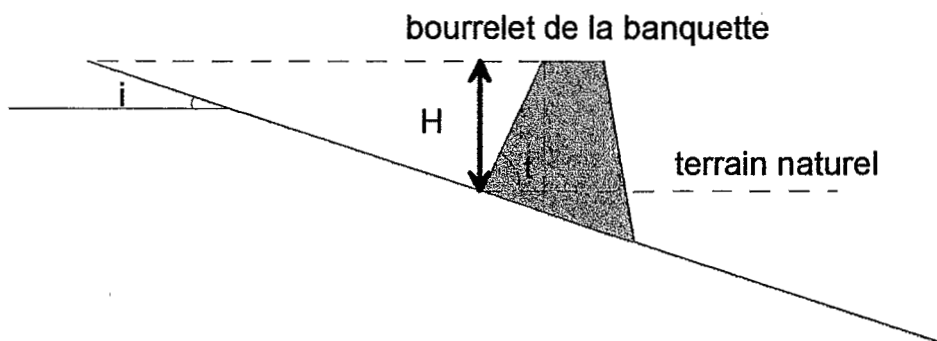


Figure 2 : Profil en travers d'une banquette à rétention totale

La capacité de retenue d'eau par mètre linéaire V peut s'exprimer 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 différente de sa hauteur réelle qui est supérieur

i: angle du terrain en %

t: pente du talus amont de la banquette (généralement 1/3)

La mesure sur le terrain des distances interbanquettes, permet de calculer la densité des banquettes L' (m/ha) en un site aménagé. Le volume stockable à l'hectare est évalué à partir de ces deux paramètres (V' et L').

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 classe de hauteur et de pente sachant que la capacité de stockage dépend de *la pente du terrain naturel* et de *la hauteur de la banquette*. Pour cela nous avons dressé la figure 3 :

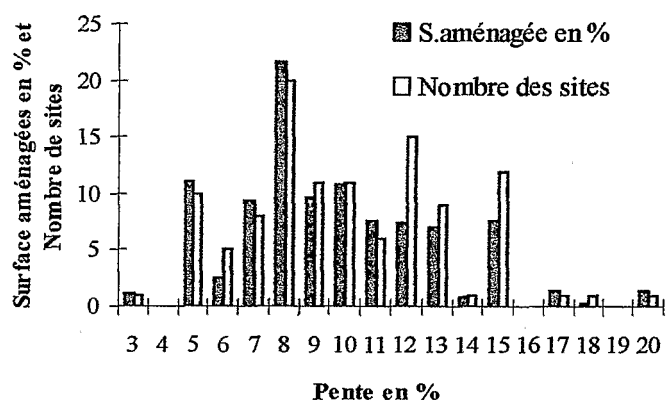


Figure 3 : Proportion de surfaces aménagées et nombre de sites aménagés sur le bassin du Merguellil en fonction de la pente

Nous constatons qu'entre les pentes 5 et 10 %, la proportion de la surface aménagée est forte. La plus importante contribution est attribuée à la pente 8 %, alors que la pente adoptée par les services des CES varie de 4 à 6 %. Pour les pentes supérieures à 10 %, c'est le nombre des sites qui devient le plus important.

D'autre part et partant du principe que la hauteur de la banquette se réduit avec le temps sous l'action des événements pluvieux et/ou sous l'action anthropique (surpâturage), nous l'avons répartie en deux classes d'ancienneté (tableau 1). Le seuil de 3 ans est le plus discriminant pour séparer aménagement récent et ancien et leur conséquence sur la hauteur de crête (la banquette ne devienne fonctionnelle qu'à partir de l'âge de 2 ans, peu de différence entre les deux classes de 4 ans).

Tableau 1 : 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
26	≤ 3 ans	1,05	30	1,04	16	1,05	14
86	> 3 ans	0,88	70	0,87	30	0,89	40
44	≤ 4 ans	0,99	45	0,98	25	0,99	20
68	> 4 ans	0,88	55	0,86	21	0,90	34

Pour chaque âge de banquette et valeur de pente du terrain naturel, nous déduisons la hauteur de banquette correspondante et par suite la capacité V de la banquette. Les différentes capacités sont ensuite spatialisées dans le bassin (figure 4). Les capacités oscillent entre 45 et 250 mm, les plus fortes sont localisées sur sites récemment aménagés occupés exclusivement par la céréaliculture.

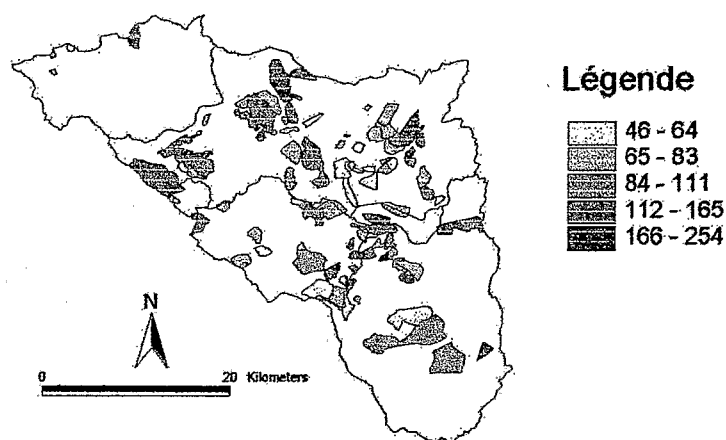


Figure 4 : Répartition des capacités de stockage des banquettes (mm) dans le bassin du Merguellil

4 Etude du ruissellement

Pour évaluer le ruissellement, nous avons procédé à des mesures directes de ruissellement au moyen de la simulation par aspersion manuelle proposée par Mr Eric Roose (figure 5) (Roose, 1995). Méthode facile à mettre en œuvre, elle donne des indications pertinentes sur le ruissellement. Cependant c'est une méthode dont la fiabilité dépend fortement de l'opérateur. La simulation de pluie a été effectuée sur 27 sites pour avoir une gamme de variation des caractéristiques pédologiques, de couvert végétal, d'états de surface et de type d'usage du sol. Les intensités des pluies sont de 60 mm/h, 120 mm/h et 240 mm/h en cas de non atteinte du régime permanent.

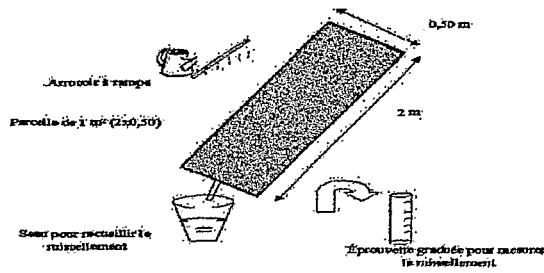


Figure 5 : Dispositif de mesure du ruissellement par aspersion manuelle

A la lumière des résultats obtenus, nous avons adopté des classements hydrologiques des sols compte tenu du type du sol, de son travail, et de son aptitude au ruissellement. Les sols à faible aptitude au ruissellement sont généralement sur labour et sur texture grossière. La forte aptitude au ruissellement est attribuée aux parcours sur sols marno-calcaires et sur sol sableux dont les couches sous jacentes sont fortement compactées.

Nous avons tenté ensuite de trouver des relations entre le coefficient du ruissellement K_r (rapport de la lame ruisselée et de la lame totale précipitée) et quelques facteurs du milieu tels que l'humidité initiale du sol θ_i (figure 6) et la pluie d'imbibition P_i (pluie absorbée par le sol avant l'apparition du ruissellement) (figure 7).

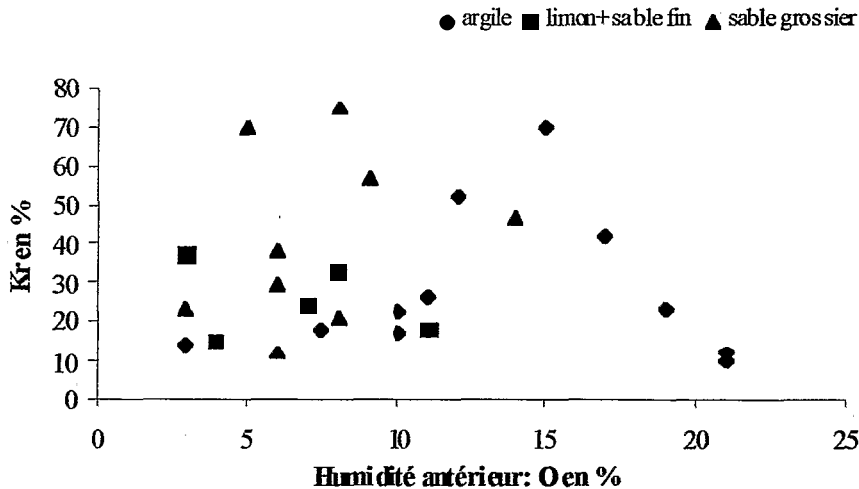


Figure 6 : Variation de K_r avec θ_i

Sur la figure 6, il n'existe pas de relation entre K_r et θ_i , ce qui est en opposition avec la théorie qui suppose une augmentation de K_r avec θ_i . En effet, en zone semi-aride, les couches superficielles du sol sont incapables de garder longtemps leur humidité à cause de la température très élevée.

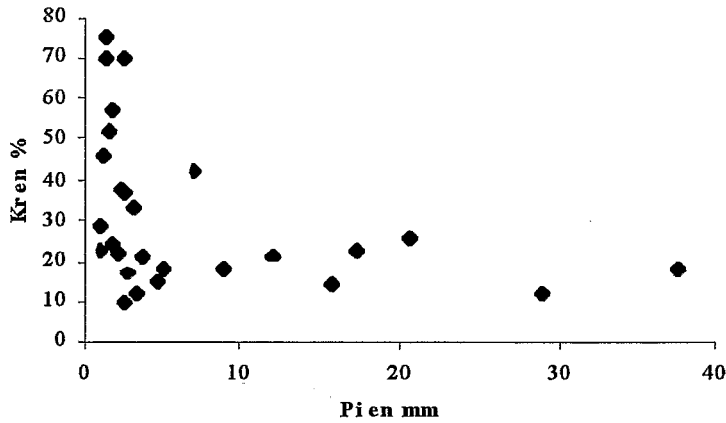


Figure 7 : Variation de la pluie de Kr avec la pluie d'imbibition

Sur la figure 7, nous distinguons deux groupes de sols :

- des sols à coefficients Kr très variables (de 10 à 80 %) mais ruisselant rapidement (Pi de 1 à 4 mm). Cette classe regroupe des sols non filtrants (forts Kr) ou saturés mais filtrants (faibles Kr).
- des sols perméables à coefficients Kr quasi constant (Kr oscille de 15 à 20 %) et une pluie d'imbibition extrêmement variable. Elle concerne les sols filtrants jamais saturés. Le coefficient de ruissellement Kr est presque constant quelque soit la hauteur de pluie d'imbibition.

Dans le premier groupe des sols, la situation peut être expliquée par l'influence de la conductivité hydraulique saturée (perméabilité) et donc des caractéristiques de surface du sol, exprimé dans notre cas par le pourcentage des surfaces fermées Sf (constituées des croûtes de battance, des pellicules, des cailloux inclus et des affleurements rocheux). Dans le second groupe, c'est le déficit de saturation du réservoir sol qui intervient : plus le sol est en déficit de saturation plus la pluie d'imbibition doit être grande mais sans engendrer un fort ruissellement.

Les organisations superficielles du sol jouent donc un rôle important dans le contrôle du ruissellement (Collinet et Valentin, 1984; Collinet, 1988; Auzet et al., 1993). Nous avons retenu la relation de Kr avec Sf en discriminant à partir du taux d'argile dans le sol, sous une même intensité de pluie de 120 mm/h et pour deux situations distinctes labour et jachère+parcours regroupés puisque nous avons constaté une similitude des points de vue état de surface (figure 8).

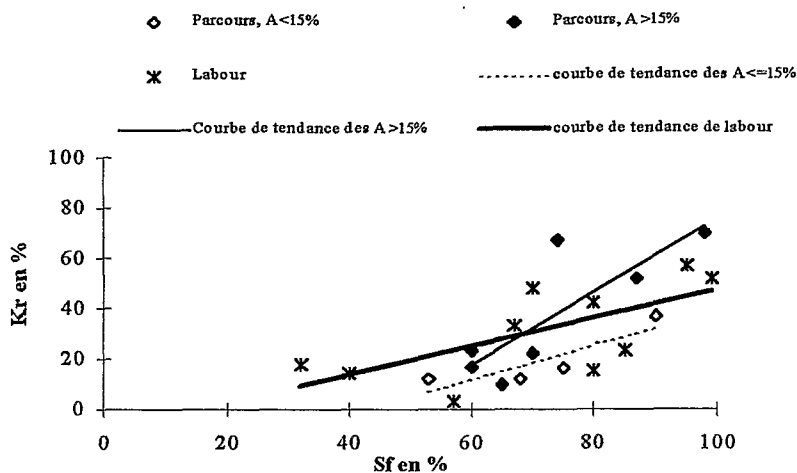


Figure 8 : Variation du coefficient du ruissellement global en fonction de la surface fermée Sf

- Pour les jachères et parcours

Nous constatons une dissociation des comportements du fait des textures (figure 8): 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 montent très vite et sont élevés (80 %), 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, stabilité plus forte pour les textures fines, stabilité faible pour les textures grossières qui donnent rapidement des pellicules de battance.

- Pour le labour

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

Parcours+Jachère

$$A \leq 15 \%, K_r = 0,0007S_f - 0,29$$

$$A > 15 \%, K_r = 0,0143 S_f - 0,68$$

Labour

$$K_r = 0,556 S_f - 8,718$$

Au cours de l'année, les coefficients de ruissellement ne sont pas constants et varient en fonction du type du sol, du travail du sol et de l'importance des surfaces fermées Sf (tableau 2)(les Kr sont calculés en appliquant les formules précédentes aux Sf moyennes relevées sur les 27 sites et d'autres sites dans des bassins limitrophes présentant des conditions de milieu très voisines).

Tableau 2: Coefficients de ruissellement Kr (x100) pour les 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
Épandage de pierres	25	30	35	55
Affleurement rocheux				70

5 Impact des aménagements

- Impact des banquettes

- A l'échelle de l'épisode pluvieux

En année moyenne 12 % du nombre total des épisodes pluvieux ayant une hauteur de pluie supérieure ou égale à 15 mm sont susceptibles de produire du ruissellement. Pour une pluie décennale de 80 mm, et avec un Kr de 30 à 40 %, la lame d'eau ruisselée est de 30 mm qui est inférieure à la capacité de rétention des banquettes (capacité moyenne = 85 mm).

- A l'échelle de l'année

Dans l'année les différents scénarios de travail de sol sont répartis comme suit (tableau 3) :

Tableau 3 : Périodes des différents scénarios dans l'année

Scénarios/ Périodes	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	juil ^{et}	Août
Labour frais	■											
Labour+1 pluie		■										
Labour ancien			■	■	■	■	■	■	■			
Jachère									■	■	■	■

L'application de ces divers coefficients aux pluies ruisselantes durant une année moyenne en tenant compte qu'il y a deux pluies d'au moins 20 mm pendant le mois de septembre, 25 mm pendant le mois d'octobre et pour la période de novembre à mai. Ainsi, la lame retenue annuellement par les divers aménagements peut être estimée à 70 mm qui est inférieur à la capacité moyenne des banquettes (85 mm).

- Répartition et densité d'aménagement en banquettes sur le bassin

La capacité des banquettes est suffisante pour retenir le ruissellement produit, dans ce cas l'impact sur l'écoulement moyen peut être considéré comme proportionnel à

la surface aménagée et varie de 2 % au bassin de Skhira et 22 % au bassin 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	90	4
El Morra	1150	135	12	95	3
Zebbes	16028	3511	22	160	27
Haffouz	66700	10819	16	95	81
El Haouareb	117300	19566	17	85	112

- Impact des retenues collinaires

Le volume stockable dans les lacs représente une lame de 9 mm sur la totalité du bassin de Haffouz (670 km²) alors qu'il est de 56 mm sur le bassin d'El Morra (11,5 km²) (tableau 5).

Tableau 5 : Capacité de stockage théorique des retenues collinaires par sous bassin dans le bassin du Merguellil

Bassins	Nombre de lacs	Nombre de barrages	Superficie contrôlée par les retenues (ha)	Capacité des retenues (10 ³ m ³)	Lame amont par sous bassins (m ³ /ha)
Skhira	11	0	2259	929	49
Morra	0	1	1250	650	563
Zebbes					
Haffouz	35	5	15070	5660	85
El Haouareb	38	5	15752	5785	50

Avec un taux de perte annuel de capacité de 4,6 % (Ayadi, 1986; Albergel et Rejeb, 1997), les retenues collinaires s'ensavaient de 266 milles m³ annuellement soit 2660 milles m³ depuis la construction du barrage d'El Haouareb en 1989. La lame d'eau stockée par les retenues diminue avec le temps suite à leur ensablement et est de l'ordre de 11 mm en 1998 (tableau 6).

Ce "piégeage" des sédiments par les aménagements à l'amont du bassin réduit l'ensablement 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).

Tableau 6 : Lames théoriques et réelles stockées par les retenues

Retenues	Surface contrôlée (km ²)	Lame équivalente théorique stockée (mm)	Lame équivalente réelle stockée en 1998 (mm)
Lacs	100	27,4	12
Barrages	58	53	10
Retenues	158	36,7	11

6 Conclusion

Les banquettes ont des capacités de stockage suffisantes pour retenir l'essentiel du ruissellement en années courantes. Les banquettes et les retenues collinaires réduisent l'écoulement à l'exutoire d'El Haouareb de près de 30 % (17 % par les banquettes et 13 % par les retenues). Les apports moyens à El Haouareb de 1989 à 1999 présentent un déficit de 40 % par rapport aux apports antérieurs (1926/82). Ces deux périodes étant comparables de point de vue de la pluie, ce déficit ne peut être attribué qu'à l'anthropisation : aménagements et changement d'occupation du sol.

Le choix de l'aménagement dépend des usages qu'on leur destine : les banquettes sont conseillées sur des terrains présentant peu de relief, des cultures secs (céréales, arboricultures, cactus) et en présence d'habitat dispersée. Cependant les retenues nécessitent un relief relativement important, des terres fertiles à proximité en vue de créer des périmètres irrigués (arboricultures). Si l'on veut favoriser les infiltrations aux échelles de petits bassins versants, stocker de l'eau derrière des banquettes est plus efficace que de le stocker dans les lacs ou retenues car la surface infiltrante des banquettes est nettement supérieure à celle du lac (surtout au fond des lacs). Les banquettes agissent aussi et surtout pour limiter l'érosion ravinante par atténuation de la vitesse des flux d'écoulement, donc limitent considérablement les risques de sédimentation du lac, s'il existe. Ces divers aménagements ont des conséquences socio-économiques puisqu'ils contribuent au développement régional et à la fixation de la population sur place.

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., Ludwig 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
- Ayadi M., 1986 - Etude du ruissellement dans les bassins versants des oueds Zéroud et Merguellil. Mémoire de fin d'études approfondies (DEA). Faculté des sciences de Tunis.
- Bourges J., Floret C., Pontannier R., 1977 – Etude d'un milieu représentatif du sud tunisien (type Ségui) : la citerne Telman (1972-1974). IRD Tunis, 147 p.
- Bouzaine S., Lafforgue A., 1986 - Monographie des oueds Zéroud et Merguellil. Tunis, 1037 p.
- 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 Oussléti, El Ala, Hajeb, Sbikha et Haffouz. Tunis, 92 p.
- CES., 1995 : Guide de conservation des eaux et des sols. Tunis, 273 p
- Collinet J., Valentin C., 1984 – Evaluation of factors influencing water erosion in West Africa using rainfall simulation. IAHS Publication n°. 144, pp : 451-461.
- Collinet J., 1988 – Comportement hydrodynamique et érosif de sols de l'Afrique de l'Ouest- Evolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies- Thèse Strasbourg, 513p +annexes.
- Ghola H., 1993 – Gestion des lacs collinaires. Tunis, 105 p.
- Kingumbi A., 1999 – Bilan et modélisation de la retenue d'El Haouareb. Mémoire de DEA. Ecole nationale des ingénieurs de Tunis (ENIT), 105 p+ annexes.
- Rabhi J., 1998 - Etude hydrologique et aménagement du haut du bassin versant du Merguellil. Mémoire de fin d'études. Institut national d'agronomie de Tunis (INAT), 63 p +annexes,
- Roose E., 1995 – Une nouvelle stratégie de lutte antiérosive en zone méditerranéenne. Paris, pp: 146-178
- Tchatagba A., 1998 - Bilan des apports du Merguellil à Haffouz et sédimentation de la retenue d'El Haouereb. Mémoire de fin d'études. Ecole supérieure des ingénieurs d'équipement rural de Medjez El Bab, 66 p+annexes.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Dridi, B.; Bourges, J.; Collinet, J.; Auzet, A. V.; Garreta, P. - Impact des aménagements sur la ressource en eaux dans le bassin du Merguellil (Tunisie centrale), pp. 192-203, Bulletin du RESEAU EROSION n° 20, 2000.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr