

**CONTRIBUTION DES ORTHOPHOTOS ET DU SYSTEME
D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (SIG) POUR LA DEFINITION DES
INDICATEURS DES RISQUES DE RUPTURES DES BANQUETTES ANTI-
EROSIVES EN SEMI-ARIDE TUNISIEN
CONTRIBUTION OF THE ORTHOPHOTOS AND THE GEOGRAPHICAL
INFORMATIONS SYSTEM (GIS) FOR THE DEFINITION OF BREACHES
RISKS INDICATORS OF THE ANTI-EROSIVE CONTOURS BENCHES IN
TUNISIAN SEMI-ARID REGION**

BACCARI Nouamen. Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Informations à Référence Spatiale, école Nationale d'Ingénieurs de Tunis, BP 37, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie.
Tél : 2161874700, Fax: 2161872729, noamene_b@yahoo.fr

NASRI S. Chargé de recherche à l'INRGREF, Tunisie

LAMACHERE J. M. IRD Tunis. Tunisie

BOUSSEMA M., R. Laboratoire de Télédétection et Systèmes d'Informations à Référence Spatiale, école Nationale d'Ingénieurs de Tunis, BP 37, 1002 Tunis-Belvédère, Tunisie

BENMAMOU A. Faculté des sciences de Tunis

Résumé : La caractérisation de la variabilité spatio-temporelle des indicateurs de rupture des banquettes anti-érosives avec l'aide des données de orthophotos et du SIG favorise une gestion plus durable et plus précise des eaux et du sol. Une étude a été menée sur le petit bassin versant d'El Gouazine situé en Tunisie centrale afin d'évaluer le potentiel de ce type de données et l'utilité de ces outils pour déterminer les principales causes de rupture des banquettes anti-érosives. En effet, pour analyser les principales causes de ruptures des banquettes anti-érosives construites entre 1996 et 1997 sur le bassin versant d'El Gouazine on a utilisé des orthophotos de haute résolution (10m) prises en 2001, et un GPS pour la localisation des points de ruptures. Lors d'une campagne réalisée en août 2005, on a localisé 109 ruptures sur les 439 banquettes implantées sur 45% de la superficie du bassin versant, soit une banquette endommagée sur quatre. Les orthophotos, intégrées dans un SIG nous ont permis l'élaboration de la carte des aménagements en banquettes anti-érosifs, carte des impluviums des banquettes, de l'occupation du sol et du réseau hydrographiques. Le croisement de la carte de dysfonctionnement des banquettes (carte de localisation des points de rupture sur les banquettes) aux différentes cartes élaborées et aux cartes lithologique et des pentes aux échelles 1/50000 nous a permis de définir trois groupes d'indicateurs de risques de rupture de banquettes pour expliquer les causes principales de ces ruptures. i) La conformité des banquettes par rapport au terrain (pente, lithologie), ii) la conformité des banquettes par rapport aux normes de construction (longueur des éléments de banquettes et écartement), iii) le rapport de la capacité de rétention de la banquette à la superficie de son impluvium.

Ainsi on a pu montrer qu'il existe quatre causes principales pour les risques de ruptures banquettes avec, dans l'ordre d'importance :

- l'existence d'argiles gypseuses ; on a compté 22 ruptures sur 16 banquettes,
- la présence d'un ancien réseau hydrographique ; on a calculé 33% des cas de ruptures,
- l'inclinaison du canal amont vers une des extrémités de la banquette dans 20% des cas de ruptures,

- et le surdimensionnement des impluviums ; qui représente 10% des cas de ruptures banquettes. Il est à noter que la plupart des surdimensionnements sont effectués aux sommets des versants, ce qui entraîne fréquemment la rupture d'une cascade de banquettes.

Une telle étude est indispensable à la définition d'une politique de développement durable ayant pour ambition de concilier la protection des zones vulnérable à l'érosion et le maintien d'un certain équilibre sur la répartition des eau de ruissellement entre l'amont et l'aval à l'échelle du bassin versant agricole.

Mots clés : rupture des banquettes, SIG, orthophotos.

Abstract : The characterization of the space-time variability of the breach indicators of the anti-erosive contours benches with the assistance of the orthophotos data and the GIS supports a more durable and more precise management of water and ground. A study was undertaken on the El Gouazine catchment area, located in central Tunisia in order to evaluate the potential of this type of data and the utility of these tools to determine the principal causes of the anti-erosive contours benches breach.

Indeed, to analyze the principal causes of the anti-erosive contours benches breaches, built between 1996 and 1997 on the El Gouazine catchment area, we have used orthophotos of high resolution (10m) snuff into 2001, and a GPS for the localization of the frangible joints. At a campaign carried out in August 2005, 109 breaches were located out of the 439 contours benches established out of 45% of the catchment's area, that is to say a bench damaged on four. The orthophotos, integrated in a GIS allowed us the elaboration of maps of the anti-erosive benching, collecting runoff areas, the land use and the hydrographic network. The crossing of the map of dysfunction of the contours benches (map of localization of the frangible joints on the contours benches) to the various elaborate maps and the lithological maps and of the slopes on scales 1/50000 enabled us to define three groups of indicators of breaches contours benches risks to explain the principal causes of these breaches. I) contours benches conformity compared to land characteristics (slope, lithology), the II) contours benches conformity with the standards dimension of construction (contours benches length and spacing), the III) the ratio between holding capacity of each bench and the area of its collect runoff.

Thus we could show that there are four principal causes for the breaches contours benches risks with, in the order of importance:

- The existence of gypsy clays; we counted 22 breaches out of 16 contours benches,
- The presence of an old hydrographic network; we calculated 33% of the breaches cases,
- The channel upstream slope towards on the bench ends in 20% of the breaches cases,
- The oversizing of collecting runoff areas; who accounts for 10% of the breaches contours benches cases.

It should be noted that the majority of oversizings are carried out at the tops of the slopes, which frequently involves a cascade contours benches breaches.

Such a study is essential to the definition of a durable policy of development having for ambition to reconcile the protection of the zones vulnerable to erosion and the maintenance of a certain balance on the distribution of surface water between the upstream and the catchment downstream on the scale of catchment's area

Key words: breach of the contours benches, SIG, orthophotos.

INTRODUCTION

Au cours des trois dernières décennies, environ un million d'hectares de terres agricoles ont été aménagées en banquettes mécaniques anti-érosives en milieu semi-aride tunisien (C.E.S, 1999). Ces aménagements permettent la lutte contre l'érosion hydrique des terres et favorisent l'infiltration des eaux de ruissellement sur les versants aménagés. Cependant, l'efficacité de ces aménagements à l'échelle élémentaire et à l'échelle du bassin versant, ainsi que leur impact sur la réduction des apports d'eau vers un barrage ou une retenue collinaire existant à l'aval de ces aménagements, restent mal connus.

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'apport des orthophotos et du système d'informations géographiques (SIG) pour la définition des indicateurs des risques de ruptures des banquettes anti-érosives en semi-aride tunisien. Les différents indicateurs ont été déterminés à partir des orthophotos de haute résolution complétées par des observations sur le terrain.

MATERIEL ET METHODE

Le bassin versant d'El Gouazine (18,1 km²) est localisé en Tunisie centrale semi-aride (Fig. 1) avec une pluviométrie annuelle moyenne de 350 mm. Il se situe 12 km à l'est d'Oueslatia, entre les jbel Es Serj au nord-ouest et Er Rihana au sud-est. L'altitude du bassin est comprise entre 575 m au sud et 375 m au nord, à son exutoire. La pente longitudinale du bassin est de 1,8%. Du point de vue topographique, 28% de la superficie du bassin présente une pente faible, inférieure à 5% et 60% de la superficie du bassin présente une pente comprise entre 5% et 35%. Rappelons ici que 5 et 35% constituent les limites inférieure et supérieure d'un aménagement anti-érosif en banquettes.

Au niveau de l'exutoire du bassin versant, une retenue collinaire a été construite en 1993. Dès lors, des enregistrements hydrologiques continus de la pluie et des apports d'eau ont été réalisés. De même, des mesures bathymétriques périodiques ont permis de connaître la sédimentation du lac entre 1993 et 2005. Ces séries de mesures hydrologiques et bathymétriques permettent de dégager l'impact des banquettes à l'échelle du bassin versant sur la réduction du ruissellement et l'envasement de la retenue.

Les banquettes anti-érosives réalisées sur le bassin versant d'El Gouazine sont des levées de terre construites parallèlement aux courbes de niveau.

La banquette a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et d'empêcher leur concentration (Heusch, 1986). Ces aménagements sont généralement dimensionnés pour une période de retour de 10 ans. Les banquettes réalisées depuis une quinzaine d'années peuvent donc être assujetties soit à un comblement partiel ou total, par les sédiments, de leurs canaux de stockage, soit à des brèches dans leurs talus, témoins d'un dysfonctionnement hydrologique qui réduit le rôle anti-érosif de ces aménagements.

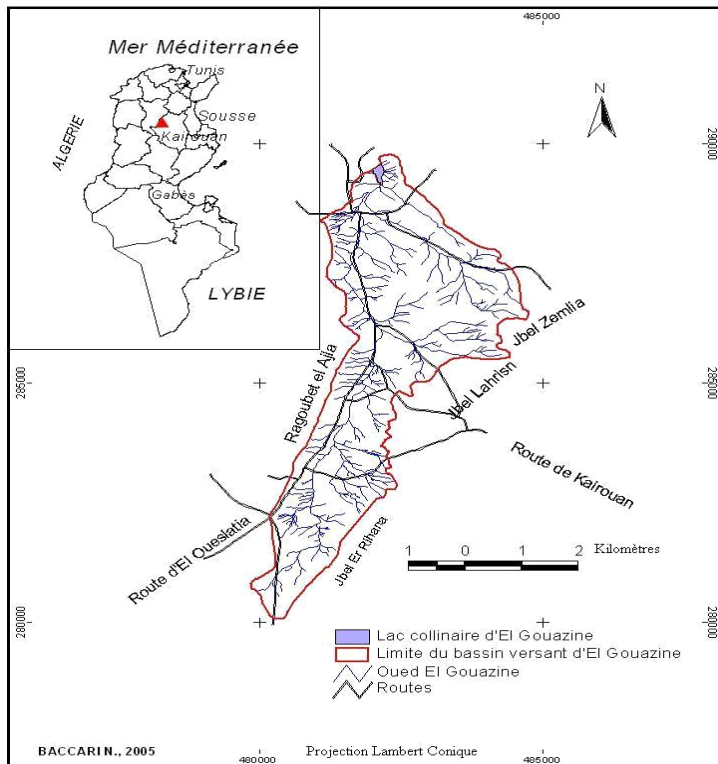


Fig. 1 Carte de localisation du bassin versant d'El Gouazine

Trois groupes d'indicateurs d'efficience des banquettes ont été définis pour analyser les causes de leurs dysfonctionnements.

i) deux indicateurs sont relatifs au milieu biophysique :

- la pente du terrain
- la lithologie.

ii) deux indicateurs sont relatifs à la réalisation des aménagements :

- longueur des éléments en banquettes
- écartement interbanquettes

iii) indicateurs qui relatif à la l'hydrologie

- le rapport de la capacité de rétention de la banquette à la surface de l'impluvium.

Pour élaborer la carte du réseau hydrographique, des alignements de banquettes et des ravines, on a utilisé des orthophotos de haute résolution de l'année 2001. Elles correspondent à une durée d'existence de quatre ans pour l'aménagement en banquettes du bassin versant d'El Gouazine. L'ensemble des orthophotos qui couvrent le bassin versant d'El Gouazine et qui sont au nombre huit ont été assemblé en une seule orthophotos à l'aide du logiciel ERDAS Imagine. L'orthomosaique obtenue est intégré dans un SIG et a servi comme source principale pour la cartographie des différentes cartes thématiques notamment celles des aménagements de conservation des eaux et du sol. Les banquettes et leurs impluviums ont été digitalisés à partir de cette orthomosaique. Les cartes ainsi élaborées reproduisent fidèlement la répartition spatiale

des banquettes et permettent de mesurer les superficies de leurs impluviums mais elles ne permettent pas de préciser leurs extrémités, leurs ruptures ou leurs affaissements locaux, signes des dysfonctionnements actuels ou futurs de ces aménagements.

Au cours de la digitalisation de ces structures nous avons rencontré des difficultés au niveau de la détermination des extrémités des banquettes ainsi que pour la localisation des points de ruptures (ou brèches), ceux-ci n'apparaissant sur les photographies que lorsqu'ils produisent une ravine suffisamment importante pour modifier le niveau de gris de la photographie. Les enquêtes de terrain nous ont permis de localiser avec précision, au GPS, les extrémités des éléments des banquettes, les affaissements et les ruptures des talus. L'utilisation de la carte topographique sur laquelle sont reportés les éléments de banquettes permet de déterminer les indicateurs de pente du terrain et de conformité aux courbes de niveau ainsi que la surface de l'impluvium de chaque élément de banquette. Pour établir la carte lithologique du bassin versant, nous avons combiné l'utilisation de la carte géologique, la réalisation de levés lithologiques de terrain et l'interprétation des photographies aériennes. L'interprétation des observations hydrologiques et bathymétriques a permis de suivre l'évolution des apports liquides et solides au lac collinaire avant et après aménagement. Le SIG a permis la création d'une base de données contenant toutes les caractéristiques hydro-biophysiques relatives au bassin versant d'El Gouazine.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Sur le bassin versant d'El Gouazine, nous avons remarqué sur le terrain qu'en absence de réhabilitation et d'entretien, les aménagements en banquettes mécaniques peuvent être endommagées par des ruptures sous forme de brèches sous l'action des eaux de ruissellement par débordement ou par dissolution du gypse dans les talus et la création de renards. L'apparition d'une brèche au niveau d'une banquette peut rapidement provoquer l'apparition d'une autre brèche au niveau de la banquette qui lui succède en aval. La succession de ces ruptures accentue la concentration des eaux de ruissellement au niveau de ces nouveaux axes d'écoulement qui se transforment alors rapidement en ravines. Cette érosion ravinante peut entraîner à son tour l'accroissement de la dégradation des terres agricoles et l'envasement des retenues collinaires.

Les travaux de terrain effectués pendant l'été 2005 ont permis d'identifier 109 brèches sur les 439 banquettes réalisées sur le bassin versant.

Le croisement de la carte de dysfonctionnement des aménagements en banquettes avec la carte des pentes a montré que 96% des aménagements en banquettes sont implantées sur une pente comprise entre 5% et 35%. On peut donc considérer que, sur le bassin versant d'El Gouazine, la pente ne constitue pas une cause de dysfonctionnement des banquettes.

Le croisement de la carte des dysfonctionnements des aménagements en banquettes avec la carte lithologique nous a permis de compter 22 brèches sur les 16 banquettes installées sur la formation lithologique à dominance argilo-gypseuse à intercalations marno-gréseuses et silteuses. On a localisé 11 brèches sur 40 banquettes installées sur la formation à dominance silto-marneuse et intercalations argileuses. De même on a pu identifier 64 brèches sur 359 banquettes implantées sur une formation lithologique à dominance marno-calcaire avec intercalations gypseuses. Les 12 brèches restantes

affectent les 24 banquettes implantées sur les formations lithologiques dures de type conglomératique ou calcaires qui occupent les sommets et qui dessinent les limites du bassin versant. La formation argilo-gypseuse semble donc poser de sérieux problèmes de stabilité des banquettes. Il semble également que les banquettes soient sujettes aux ruptures sur les formations conglomératiques et calcaires des sommets de versant, mais ces ruptures sont dues à des capacités de stockage des ces banquettes inférieures aux volumes ruisselés sur les sommets des versants.

En considérant que la capacité de stockage théorique de chaque banquette est de $2,03 \text{ m}^3$ par mètre linéaire (Nasri, 2004), que la pluie décennale est égale à 80 mm avec un coefficient moyen de ruissellement égale à 0,3, nous avons calculé pour chaque élément de banquette le rapport entre le volume ruisselé de fréquence décennale et la capacité théorique de stockage de chaque élément. Pour 65% des banquettes, ce rapport est très inférieur à 1, montrant que leurs impluviums sont nettement sous dimensionnés. Pour 24% des banquettes, ce rapport est voisin de 1, montrant que les impluviums sont correctement dimensionnés. Pour 10% des banquettes, les volumes décennaux ruisselés dépassent nettement les capacités de stockages provoquant alors un risque de rupture.

Le croisement de la carte des dysfonctionnements des aménagements en banquettes avec celle du réseau hydrographique a montré que 33% des brèches sont localisées sur d'anciens cours d'eau, 47% des brèches sont localisées au milieu des éléments de banquettes et 20% sur leurs extrémités.

Le tableau 2 présente les résultats du calcul des bilans d'eau de la retenue d'El Gouazine par année hydrologique de septembre 1994 à août 2005. L'examen de ce tableau montre que pour des années à faible pluviométrie (300 mm) l'écoulement du bassin versant est 7 à 8 fois plus faible après aménagement. Il montre aussi que des crues de même volume sont obtenues pour des averses de 30 mm avant aménagement (année 1994-1995) et 80 mm après aménagement (1998-1999), le coefficient de ruissellement maximal étant trois fois plus faible après aménagement. Cependant, quatre années après l'aménagement du bassin, on note, pour des pluies annuelles presque identiques, une augmentation du coefficient de ruissellement annuel de 0,8% (96-97) à 1,6% (00-01) et de 2,7% (98-99) à 5,1% en (02-03).

La figure 2 présente les relations entre la pluie annuelle moyenne tombée sur le bassin versant d'El Gouazine et la lame ruisselée à l'exutoire. Elle montre que l'aménagement en banquettes se traduit par une modification de la capacité annuelle de rétention du bassin versant, celle-ci étant de 100 mm avant aménagement et de 240 mm après aménagement. Cet écart entre ces deux valeurs correspond à un volume annuel de rétention égal à $2\,534\,000 \text{ m}^3$.

Pour les apports solides, le taux spécifique de l'envasement du lac, d'après Nasri et al. (2004) est passé de 1,55 (1996) à $1,1 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ (1998).

Toutefois, à partir d'octobre 2000, les apports d'eaux et de sédiments dans le lac ont à nouveau augmenté. Les coefficients de ruissellement ont atteint la valeur de 33% en 2003 et le taux d'envasement a été évalué à $1,46 \text{ m}^3/\text{ha/an}$ en juin 2005.

Le croisement de la carte des dysfonctionnements des aménagements en banquettes du bassin versant d'El Gouazine avec celle du réseau hydrographique montre que 33% des brèches sont localisées sur d'anciens cours d'eau et 47% des brèches sont localisées à

côté du réseau. On peut donc en conclure que 80% des brèches observées sur le bassin versant d'El Gouazine sont associées au tracé du réseau hydrographique.

Tableau 2. Les apports d'eau par ruissellement avant et après aménagement en banquettes du bassin versant d'El Gouazine.

Année	Pluie annuelle mm	Ruissellement annuel			Pluie maximale mm	Ruissellement maximal		
		Volume m ³	Lame mm	Coef. %		volume m ³	Lame mm	Coef. %
94-95	299	236310	13	4,37	30	128 800	7,12	23,7
95-96	576	478316	26	4,59	27	150 000	8,29	30,7
96-97	245	35438	2	0,80	51	30 634	1,69	3,3
97-98	339	75778	4	1,23	25	22 219	1,23	4,9
98-99	408	200496	11	2,71	80	128 000	7,07	8,8
99-00	304	11680	1	0,21	56	6 422	0,35	0,6
00-01	262	77132	4	1,63	64	21 122	1,17	1,8
01-02	222	62895	3	1,57	33	29 806	1,65	5,0
02-03	421	389098	21	5,11	54	137 496	7,60	14,1

Les ruptures en cascades accentuent la concentration des eaux de ruissellement au niveau de ces nouveaux axes d'écoulement qui se transforment alors rapidement en ravines. Nous avons noté au cours des visites de prospection sur le terrain l'évolution des brèches, notamment celles qui sont sur le réseau hydrographique, en ravins en forme de « V ». Dans d'autres endroits on note au contraire la disparition de certains ravineaux suite à l'aménagement en banquettes avec une correction des têtes de ravins, notamment sur les formations calcaires.

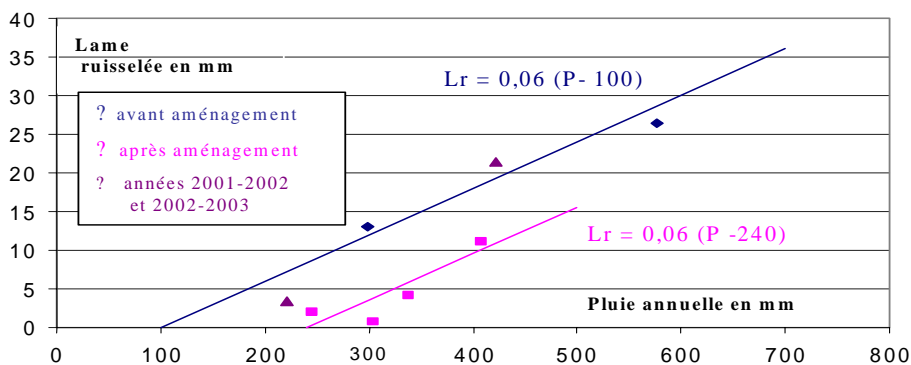


Fig. 2. Relations entre la lame ruisselée annuelle sur le bassin versant d'El Gouazine et la pluie annuelle.

CONCLUSION

L'utilisation des orthophotos et des cartes thématiques (lithologie, pente, hydrographie, occupation du sol) associée à l'analyse du dysfonctionnement des aménagements anti-érosifs (rupture des talus ou des extrémités) permet d'aboutir à l'analyse des principales causes de ces dysfonctionnements. Pour ce faire, cinq indicateurs ont été définis et relatifs pour le premier groupe à la réalisation des aménagements, au milieu biophysique pour le second et à l'hydrologie ou l'hydrographie pour le troisième.

Il apparaît, En premier lieu, qu'il est inutile d'envisager la construction de banquettes sur les formations argilo-gypseuses car leur probabilité de rupture est extrêmement forte. Ces ruptures sont dues essentiellement à la dissolution du gypse qui conduit à la formation de tunnels de suffosion « piping ». En second lieu, des risques de rupture des banquettes apparaissent nettement associés au croisement des banquettes avec le réseau hydrographique (33% des brèches), à l'inclinaison du canal amont créant une rupture de l'extrémité des banquettes (20% des brèches) ou au surdimensionnement des impluviums au sommet des versants (10% des banquettes). Dans le premier cas, il est possible d'éviter l'installation des banquettes sur le réseau hydrographique en les fermant de part et d'autre des petits thalwegs. Dans le second cas, on peut conseiller, là où c'est possible, de renforcer les extrémités des banquettes par des petits murs en pierres sèches. Dans le dernier cas, il paraît indispensable de dimensionner correctement les impluviums des banquettes amont en tenant compte à la fois de leur capacité de stockage et de la capacité au ruissellement des impluviums. La rupture d'une banquette amont peut en effet entraîner la rupture des autres banquettes situées en aval.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Heusch, B., 1986 Cinquante ans de banquettes de D.R.S.-C.E.S. en Afrique du Nord : un bilan. Cahiers Orstom série pédologie, 22.2 : 153-165.
- Nasri, S., Lamachère, J.-M., Albergel, J., 2004 Impact des banquettes sur le ruissellement d'un petit bassin versant. Revue des sciences de l'eau. Paris. Vol. 17/2, 265-289.