

## **Cinquante ans de banquettes de D.R.S. — C.E.S. en Afrique du Nord : un bilan**

Dr. Bernard HEUSCH

SOGREAH, B.P. 172, 38042 Grenoble Cédex

### RÉSUMÉ

*Les échecs persistants sur le plan technique, une meilleure appréciation du coût économique et social de ces travaux, et aussi la crise économique ont progressivement ralenti puis pratiquement arrêté tous travaux de banquettes dans les trois pays d'Afrique du Nord. Si les premiers essais paraissent remonter à 1925, les travaux à grande échelle n'ont débuté que vers 1950, pour couvrir finalement près d'un million d'hectares, avec un prix de revient de l'ordre de 5000 à 10 000 FF/ha (1980). Afin de réorienter l'action de l'Administration, et après avoir enquêté dans l'ensemble du Maghreb, il nous a paru utile de dresser le bilan de cette expérience. Bien entendu, les idées exprimées n'engagent que l'auteur.*

*Une banquette est une bande de terre de largeur réduite et constante, avec fossé très évasé et bourrelet, installée sur le versant et délimitant une bande de culture. Elle a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et de les empêcher d'éroder. Ces objectifs sont atteints dans le cas de sols limoneux et d'orages d'été, violents et brefs.*

*Malheureusement, au cours des longues pluies d'hiver qui forment le gros des précipitations, les sols argileux, qui sont les plus répandus, sont rapidement saturés en eau. La banquette se comporte alors comme un barrage en terre sans déversoir aménagé et déclenche une série de désordres regrettables : concentration des eaux sauvages, dépassement de la force tractrice critique et création d'entailles linéaires actives après débordement ou franchissement des limites d'Atterberg et apparition de glissement en planches.*

*Une expansion démographique sans précédent a entraîné un défrichement généralisé des versants et déclenché une érosion anthropique, au moins 50 fois plus forte que l'érosion géologique normale. Afin de remédier à cette évolution qui détruit progressivement les terres arables des versants, il importe d'intervenir efficacement par le reboisement et l'accroissement des rendements agricoles, par une modification de la législation et la subvention des techniques anti-érosives autochtones traditionnelles, éventuellement après modernisation. L'introduction de techniques étrangères sans expérimentation préalable est une erreur qui ne devrait pas être renouvelée.*

**MOTS-CLÉS :** Banquette — Déversoir — Erosion en nappe — Glissement de terrain — Intensité pluviale — Ruissellement hypodermique — Conservation des sols — Algérie — Maroc — Tunisie.

### ABSTRACT

#### AN EVALUATION OF THE D.R.S.-C.E.S. BUNDS IN NORTH AFRICA OVER FIFTY YEARS

*Persistent technical failures, a more realistic evaluation of the economic and sociological cost of soil conservation terraces and also the world economic crisis have progressively slowed down, then practically stopped all works in Algeria, Morocco and Tunisia. While the first trials seem to date back to 1925, conservation works on a large scale started only about 1950, to cover finally nearly 1 million hectares with a construction cost of between 5000 and 10 000 FF/ha (1980). To redirect public action, after having surveyed existing works in North Africa, we felt*

it would be useful to make an evaluation of that experience. Of course, the ideas expressed involve only the author.

A channel terrace (or bund) features an excavated channel and a bank formed on the downhill side with the spoil from the excavation. This earthwork intercepts the surface run-off and prevents scouring action. Terraces stretch along the contour in cultivated fields to check erosion. This target is reached in the case of loamy soils and summer thunderstorms, of short duration and high intensity.

Unfortunately, through the long spells of winter rains, which make up the bulk of the Mediterranean precipitations, clay-soils, which are the most widely spread, are quickly saturated. The terrace then behaves as an earth dam without any built-in spill way, and launches a succession of regrettable events: collection of overland flow, overtopping and drilling of active rills and gullies after critical tractive force has been exceeded or crossing Atterberg limits and starting planar landslides.

An unprecedented population growth has led to generalized clearing of the mountain slopes, starting accelerated erosion, at least 50 times greater than normal geological degradation. To control those events which progressively destroy the cultivated slopes, it is necessary to halt the soil loss by afforestation and increasing harvest yields, through an improvement of legislation, and subsidizing the traditional anti-erosive works. The introduction of foreign methods, without preliminary trials, is a mistake which should not be repeated.

KEY WORDS : Terrace (US) Bund (UK) — Spillway — Sheet erosion — Landslide — Rainfall intensity — Through flow, subsurface flow — Soil conservation — Algeria — Morocco — Tunisia.

## INTRODUCTION

Dans les pays industrialisés, on a tendance à concevoir les techniques et ouvrages de lutte contre l'érosion en recherchant l'efficacité maximum, sans trop se préoccuper du prix de revient, ni du rapport entre le coût et les bénéfices. Inversement, dans les pays en voie de développement, on recherche souvent le spectaculaire à bas prix, en négligeant l'efficacité. L'histoire de la banquette de DRS (1) (Défense et Restauration des Sols) ou CES (2) (Conservation des Eaux et du Sol) en est un bon exemple.

Une banquette peut être définie comme une bande de terre de largeur réduite et constante, avec fossé très évasé et bourrelet, installée sur le versant et délimitant une bande de culture (PUTOD). Elle a pour but d'intercepter les eaux de ruissellement et de les empêcher d'éroder.

Les traitements de DRS-CES ont intéressé plus de 375 000 ha en Algérie, près de 100 000 en Tunisie, environ 300 000 ha au Maroc, pour un prix de revient de l'ordre de 5 à 10 000 FF/ha. Ces sommes sont considérables. Nous allons voir que les résultats sont loin de répondre aux espérances placées dans cette technique.

## HISTORIQUE

L'origine en est obscure ; toutefois, nous avons souvent observé en Afrique de l'Est des fossés antiérosifs

creusés par les paysans suivant les courbes de niveau et l'on peut penser que grâce aux négriers du sultan de Zanzibar, vassal de celui d'Oman, cette technique a été introduite dans les plantations des USA, puis vulgarisée dans le monde entier.

Mais, par ailleurs, dès 1781 BOLOTOV préconisait de creuser des fossés isohypses pour lutter contre l'érosion par entailles linéaires, et en France, en 1858, MONESTIER-SAVIGNAT étudiait la possibilité de confectionner des banquettes sur sol perméable avec les dimensions suivantes : espacement 40 à 100 m, pente en long du fond de la banquette 0 à 0,5 %, profil en travers avec une largeur au sommet de 1,5 à 2 m, une profondeur de 0,3 à 0,5 m, et des talus de pente de 1/1. L'auteur envisageait différentes hypothèses d'intensité et de durée de pluie, avec un coefficient de ruissellement de 33 %, pour finalement conclure que c'était un système peu efficace et très coûteux (pp.150-159).

En Afrique du Nord, la technique des banquettes a été appliquée beaucoup plus tôt qu'on ne le pense généralement puisque dès 1863 DEMONTZEY, en poste à El Asnam (Orléansville) de 1850 à 1860 préconise, avec réserves, la banquette de reboisement et que BRIVES en 1925 la recommande en terrain agricole et donne comme exemple les travaux exécutés sur les terrains de la ferme du Moulin Gautier, à Beni Bou Mileuk, commune des Braz. Les premiers travaux menés par l'Administration, toujours en Algérie, et par PUTOD remontent à 1938. L'impulsion définitive viendra de LOWDERMILK qui fera une série de tournées dans les trois pays, immédiatement avant, pendant et juste après la guerre de 1939-45.

(1) Terme utilisé en Algérie, puis au Maroc.

(2) Terme utilisé en Tunisie.

## LES JUSTIFICATIONS THÉORIQUES DE LA BANQUETTE

DAVIS et HORTON ont fourni le cadre conceptuel de cette technique. Le premier estime que l'érosion pluviale agit par rabotage progressif des reliefs, de façon à aboutir à une pénéplaine, tandis que le second postule que les eaux, ruisselant en nappe, commencent à creuser des rigoles (rills) dès que le tirant d'eau devient suffisant pour dépasser la force tractrice critique. Ces théories sont à la base de la formule de Saccardy et de la formule de Wischmeier dont le caractère mathématique et l'intitulé — *Universal soil loss equation* — a séduit plus d'un ingénieur peu au courant des complexités du phénomène érosif. La discussion de ces théories sort du domaine de cet article.

La théorie de la banquette (OSMAN-AKAN) suppose donc que l'érosion est causée par des pluies dont l'intensité est supérieure à la vitesse d'infiltration des sols. Les gouttes de pluie détachent des agrégats terreux que le ruissellement en nappe entraîne vers les exutoires. Dès que les eaux sauvages se concentrent, l'épaisseur de la lame ruisselée augmente et la force tractrice dépasse un seuil critique, l'érosion par entailles linéaires apparaît, les griffes d'érosion se matérialisent. La banquette intercepte le ruissellement, oblige les eaux à se décanter et à s'infiltrer et ramène la longueur de pente au-dessous du seuil d'apparition des griffes.

En 1943, QUENEY et CUNY font une première évaluation de l'intensité maxima des pluies en Algérie. A l'époque, les pluviographes n'existaient pas et cette étude, par force peu précise, aboutit à la conclusion que l'intensité maxima observée est de l'ordre de 3 mm par minute pour des durées de l'ordre de la demi-heure. Ce chiffre va être utilisé par Saccardy pour évaluer la lame d'eau ruisselée maximum et définir en conséquence l'espacement et la capacité de retenue du fossé des banquettes. Sa note, qui date de 1950, servira de base aux travaux de DRS en Algérie et au Maroc, tandis qu'en Tunisie on utilisera la formule de Bugeat, assez analogue et avec les mêmes hypothèses de base.

### LA FORMULE DE SACCARDY

Elle s'écrit (définitions, figures et résultat de calculs en annexe) :  $H^3 = 260 P(1)$  pour les pentes inférieures à 25 % et  $H^2 = 64 P(2)$  pour les pentes plus fortes, H étant la différence d'altitude en mètres, entre deux banquettes et P la pente en % (25 % = 0,25).

Il n'existe à notre connaissance aucune justification théorique ou expérimentale de ces formules (1) et (2). Nous constatons en particulier que le facteur pente et longueur de pente (LS) calculé par la formule Wischmeier pour la distance Saccardy d'interbanquettes n'est

absolument pas constant, puisque ce facteur croît progressivement de 0,40 pour une pente (P) de 3 % et un écartement (L) de 66 mètres à 11 pour une pente de 50 % et un écartement de 12,7 mètres. Toutefois, nous remarquons que le libellé de la formule (1) est équivalent à  $H^2$ .  $L = 260$  ce qui revient à écrire que l'érosion est proportionnelle à la longueur de pente et au carré de la dénivelée ; quant à la formule (2), elle peut aussi s'écrire  $H.L = 64$ , ce qui revient à admettre que l'érosion est proportionnelle à l'énergie de l'eau de ruissellement.

En fait, et sans l'écrire, il est vraisemblable que l'auteur a simplement cherché une formule (2) espaçant régulièrement les banquettes sur le versant lorsque la pente dépasse 25 % et une formule (1) de raccord, pour les pentes faibles. Quant à la formule de Bugeat  $H = 2,2 + 8 P$  (3) elle donne pratiquement les mêmes résultats que les formules de Saccardy entre 5 % et 30 % de pente et n'a d'autre justification que de simplifier les calculs.

L'espacement interbanquette (L) va définir les volumes d'eau à prendre en compte dans le dimensionnement des banquettes. Les fossés, de section trapézoïdale, avec des talus à 1/1, ont en général un fond large de 2,8 m et une contrepente de 10 % sur les pentes inférieures à 35 % (travail par angledozer) ou un fond plat large de 1 m sur les pentes plus fortes (travail manuel). La longueur des banquettes ne dépasse pas 400 m et le tirant d'eau maximum admis ne doit pas dépasser 0,30 m, entièrement en déblai (figures en annexe).

Dans ces conditions, une banquette de rétention, fermée aux extrémités, dont le bassin versant résulte de l'application de la formule de Saccardy, sous une pluie d'intensité 3 mm/minute et un coefficient de ruissellement de 100 % dépasse le tirant d'eau critique en un temps (T1) croissant de 2 minutes sur un versant de pente 3 %, à 10 minutes sur une pente de 30 % ou plus.

Le rapport du volume d'eau stockée au volume de terre remuée est très faible : sur une pente à 30 %, il varie de 39 % (fossé trapézoïdal) à 15 % (fossé triangulaire à contre-pente de 10 %). Si l'on donne à cette contre-pente une inclinaison de 50 %, ce rapport remonte à 30 %, mais la circulation devient malaisée dans le fossé.

Si les extrémités de la banquette de niveau sont conçues pour déverser, nous pouvons évaluer le débit à l'exutoire par les formules usuelles pour les déversoirs — formules de Kindsvater pour un déversoir triangulaire et formule de Bazin pour un déversoir à seuil épais — nous constatons que ce débit sera de 105 l/s (chenal triangulaire) ou de 142 l/s (chenal trapézoïdal). Dans ces conditions, le tirant d'eau critique sera dépassé en un temps (T2) de 15 minutes sur un versant de pente 3 % si la longueur de banquette dépasse 100 mètres,

ainsi que sur tout versant dont la pente dépasse 25 %, dès que la longueur de banquette dépasse 400 mètres.

Pour accélérer l'évacuation de l'eau, Saccardy préconise donc de donner au profil en long du lit du fossé une légère pente, de l'ordre de 0,5 %. Si l'on admet un chenal enherbé, le calcul de la vitesse de l'eau par la formule de Manning-Strickler conduit aux valeurs suivantes pour  $K = 5$  :  $U = 0,137$  m/s (chenal triangulaire) et  $U = 0,205$  m/s (chenal trapézoïdal) ; les débits d'écoulements sont du même ordre de grandeur que précédemment : 63 l/s dans le premier cas, 80 l/s dans le deuxième cas. Les hauteurs d'eau critiques sont atteintes avec autant de rapidité (temps T3 de l'annexe). Si l'on admet que le fossé ne s'enherbe pas, c'est-à-dire  $K = 44$ , les vitesses deviennent :  $U = 0,90$  m/s (chenal triangulaire) et  $U = 1,34$  m/s (chenal trapézoïdal). La force tractrice est alors suffisante pour éroder les limons et les sables, par contre les hauteurs d'eau critiques ne sont atteintes que sur les versants dont la pente est inférieure à 15 % pour une longueur de banquette de 400 mètres (temps T4 de l'annexe).

En réalité, comme on le verra plus loin, les intensités pluviométriques à prendre en compte sont de l'ordre de 1 mm/minute pendant 30 minutes. Dans ce cas, et en admettant un coefficient de ruissellement de 0,8 et un chenal enherbé de 400 m de long, la hauteur critique sera atteinte pour un versant de pente 3 % en un temps T5 de 11 minutes, et pour un versant de pente 10 %, au bout de 32 minutes. Sur les pentes plus fortes, entre 10 et 35 %, un autre mécanisme va intervenir : les pluies de longue durée vont remplir le fossé de la banquette qui ne pourra plus laminer les pointes pluviométriques. Le tirant d'eau critique sera dépassé dès que l'intensité des pluies de longue durée T5 dépassera 0,5 mm/mn sur une pente de 15 %, ou 0,8 mm/mn sur une pente de 30 %. Enfin, les pentes très raides, au-delà de 35 %, sont souvent des versants réglés, à la limite de la rupture d'équilibre. La surcharge due au poids de l'eau augmente les contraintes. Les terres foisonnées du talus, mal armées par un chevelu racinaire embryonnaire, ont tendance à glisser vers le bas. Ces calculs, dont les résultats détaillés figurent en annexe, démontrent que les limites de sécurité de la banquette Saccardy peuvent être franchies relativement souvent. Dans ce cas, les responsables des travaux préfèrent généralement parler de défauts dans l'exécution des ouvrages.

#### ANALYSE DU RÉSULTAT DES EXPÉRIMENTATIONS ET DES TRAVAUX

L'Administration s'est rarement souciée de connaître avec précision l'efficacité de ses travaux et les données

quantitatives sont réduites. Au Maroc, SOGETIM expérimente en 1959 l'action des banquettes de rétention sur l'accroissement des rendements en milieu semi-aride. Sur une pente de 0,85 %, un sol profond de 0,5 m et sous une pluie de 211,8 mm/an, le rendement d'une culture d'orge est de 7 q/ha en interbanquette, alors que le rendement du témoin n'est que de 2,75 q/ha. En Algérie, HEUSCH montre qu'au cours de la période 1947-1968 les banquettes n'ont eu aucune influence sur la vitesse d'envasement de la retenue du barrage de l'oued Fodda. Alors que les superficies traitées en DRS finissent par couvrir 20 % de la superficie du bassin versant, le rythme de comblement de la retenue reste malheureusement toujours aussi soutenu. Enfin, en Tunisie, MASSON n'arrive pas à mettre en évidence une influence de la longueur de pente sur l'intensité de l'érosion tandis que CORMARY, étudiant l'effet d'un réseau de banquettes avec exutoire sur le ruissellement, écrit (V-133) : « Le ruissellement est nul pour les pluies de 24 heures de période de retour inférieure à 1 an, le ruissellement global est réduit de 15 % pour les pluies de période de retour jusqu'à 10 ans ; pour les pluies de retour supérieures à 10 ans le ruissellement est réduit de manière négligeable. »

BREULEUX, procédant à un inventaire de l'état des travaux de CES en Tunisie constate que de 1962 à 1975, 911 732 ha ont été traités (1). Toute trace de travaux a disparu sur 16,8 % des surfaces ; 15,8 % des périmètres sont endommagés à plus de 50 % ; 44,1 % des périmètres présentent des dégâts compris entre 25 et 50 % ; enfin 23,3 % des surfaces traitées sont en bon état. Une bonne partie des périmètres de banquettes en bon état a vraisemblablement été implantée dans des zones non érodées. Par ailleurs, les terrains gérés par des coopératives ou des agrocombinats sont particulièrement dégradés. Au Maroc, ROBERT constate que 60 à 75 % des réseaux de banquettes sont détruits dans les marnes du Pré-Rif dès que la pente dépasse 40 %.

#### INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE PENTE SUR LES PERTES EN SOL

En dehors des tentatives infructueuses de MASSON, il n'existe aucun résultat d'expérimentation en Afrique du Nord permettant de justifier la construction de banquettes. Aux USA les anciens travaux de ZINGG conduisent à des résultats incertains et contradictoires. Au Nigeria, LEWIS constate l'absence de relation entre la longueur de pente et l'érosion tandis que LAL observe une perte maximum pour une longueur de pente de 12,5 mètres sur une pente de 10 % et à 20 mètres sur une pente de 15 %. La conclusion de ce dernier est que

(1) Surtout par mise en défense, mais aussi reboisement, plantation de cactus et banquettes.

la banquette est efficace parce qu'elle intercepte le sol charrié par le ruissellement, mais qu'elle n'empêche pas l'érosion, sauf si le réseau de banquette est très serré. Il est vraisemblable que le glaçage de terrain observé sur sols battants est décapé lorsque la longueur de pente est suffisante pour que la force tractrice devienne efficace. A ce moment, les pores du sol ne sont plus obstrués et absorbent les écoulements, ce qui stabilise le transport solide et réduit l'érosion spécifique.

#### ACTION DES BANQUETTES SUR LES PERTES EN SOL

Il n'existe malheureusement pas de données quantitatives sur ce point précis, les études entreprises, en particulier en Tunisie, n'ayant jamais fait l'objet de publications. De façon générale, les géomorphologues concluent plutôt à l'inefficacité ou à la nocivité des banquettes, tandis que les avis des forestiers sont beaucoup plus divergents.

En fait, la banquette n'est efficace que dans un cadre très précis : les pluies doivent être brèves, très intenses mais peu fréquentes, et survenir en été uniquement de façon à ruisseler sur un sol sec et peu perméable. Dans ces conditions, les sols sableux et les sols fissurés à argiles gonflantes absorbent sans peine les précipitations. On n'observe de ruissellement important que sur les sols limoneux. Seuls ceux-ci conviennent à l'établissement de banquettes, à condition que la pente ne dépasse pas 7 à 8 %, de façon à conserver un rapport raisonnable entre les volumes de terre remuée et d'eau stockée derrière le bourrelet. Entre deux orages, l'eau s'infiltré lentement puis est reprise par la végétation de façon à ce qu'à l'orage suivant les sols soient de nouveau secs. Dans ces conditions, compte tenu des surfaces de bourrelet rendues incultes, l'opération n'est rentable pour l'exploitant agricole qu'avec des taux de subvention des travaux voisins de 80 %, ce qui est le cas du centre-ouest des Etats-Unis (HELD).

En fait, ces conditions n'existent pas en Afrique du Nord. Les premiers travaux à grande échelle ont débuté en 1940 dans le bassin de l'Oued Mellah, en Oranie, de façon à donner du travail aux officiers et aux soldats démobilisés sur place. Dès l'année suivante KARST en fait une première synthèse. Il constate l'inefficacité du traitement dans les zones érodées et observe que le coût des travaux de DRS dépasse largement les bénéfices à en attendre.

Il propose donc de limiter les travaux aux zones non érodées, dites « menacées par l'érosion » et d'ajourner le traitement des zones où l'érosion est trop avancée. La doctrine était fixée et n'a depuis jamais évoluée. Elle s'inspire donc fortement de l'expérience R.T.M. (Res-

tauration des Terres en Montagne) française d'avant 1914 qui préconise de ne reboiser que les terrains pas trop dégradés.

Si l'existence d'orages estivaux violents n'est pas niable, en particulier dans la dorsale tunisienne (KASSAB et HENIA) la majorité des pluies tombe en hiver et sature le sol avant de ruisseler. Le dépouillement des pluviogrammes en Algérie (GUIMET, JUHASZ), au Maroc (AMAR, DEBAZAC) et en Tunisie (THIRRIOT, SASSI) montre que les intensités maxima observées, pour une durée de 30 minutes et une période de retour de 10 ans, sont toujours de l'ordre de 1 mm/minute, donc très inférieures aux hypothèses de SACCARDY. Toutefois, CORMARY, en Tunisie calcule des intensités souvent plus fortes. Par contre ces pluies peuvent durer des jours ou des semaines, saturant complètement les sols. Le ruissellement hypodermique affleure au fond du fossé de la banquette et stagne.

Dans ces conditions, la banquette de rétention se comporte comme un barrage en terre non compactée sans déversoir aménagé : il y a rupture au point de faiblesse.

On observe soit un soutirage dans les formations gypso-salines, soit un débordement au point le plus bas, soit encore des renards exploitant les galeries d'animaux fouisseurs (gerboises, mulots, taupes) qui affectionnent les terres fraîchement remuées du bourrelet. Ensuite la banquette collecte les eaux du ruissellement diffus, généralement inoffensif, et les concentre en provoquant des entailles linéaires. Les dégâts sont particulièrement marqués lorsque les terrassements ont détruit la végétation ou les encroûtements calcaires qui stabilisent le versant. En sols argileux ou marneux, la sursaturation en eau des terrains entraîne parfois un franchissement des limites d'Atterberg et le déclenchement de glissements en planche.

Les banquettes de diversion évitent en principe ces inconvénients. Elles exigent des topographes compétents qui sont rarement disponibles. De plus, en terrain mouvant ou en cas de rupture accidentelle, ce type de banquette concentre immédiatement un maximum d'eau dans la zone du désordre. Ce type de banquette n'est donc pratiquement jamais réalisé.

A l'inconvénient d'accélérer l'érosion dans certains cas, la banquette ajoute encore d'autres défauts. Découpant les montagnes en rondelles de saucisson, elle ne tient aucun compte du parcellaire agraire, ni des aménagements antiérosifs préexistants. Le pâturage des chaumes est interdit pour éviter le piétinement du bourrelet par le bétail, et le chiendent pullule rapidement. Les arbres fruitiers, plantés sur la banquette, sont difficiles à traiter et à récolter lorsqu'il n'y a pas de plateforme de circulation suffisamment large pour permettre le passage des machines agricoles.

Résumant différentes études sur le sujet, KADIK conclut : « les techniques lancées en 1941, inspirées des travaux effectués par les Américains (USA) et sans aucune expérimentation préalable ont abouti à un gaspillage de moyens et à un déséquilibre du milieu écologique ». De tels inconvénients auraient dû logiquement conduire le milieu paysan à un rejet rapide de cette technique. S'il n'en a rien été, c'est que la banquette présente aussi de solides avantages, fort différents de ceux envisagés par les protagonistes de l'opération.

### LES AVANTAGES DE LA BANQUETTE

Toute une législation particulière a été élaborée dans les trois pays d'Afrique du nord (ALHERITIERE, MARA, SIDA), de façon à servir de support à l'action de l'administration. Les textes présentent de très nombreux points communs.

Jusque vers 1950, les particuliers procèdent aux travaux d'aménagement à leur frais et l'administration ne peut intervenir qu'après acquisition ou expropriation du terrain pour cause d'utilité publique. Les surfaces traitées sont donc peu importantes, d'autant plus que l'Etat, s'il veut bien reboiser les terrains à vocation forestière, ne désire pas devenir exploitant agricole. Un certain nombre de lois sont alors promulguées, subventionnant la construction de banquettes. Le taux des subventions est plus élevé dans les périmètres d'utilité publique et l'administration s'organise pour exécuter les travaux de banquettes sur une grande échelle. Des incitations fiscales encouragent les propriétaires à se grouper, ce qui permet d'intervenir sur de plus grandes surfaces d'un seul tenant.

Le plus souvent, le choix des périmètres d'utilité publique se fait en fonction de l'existence d'un barrage d'irrigation, non équipé de vidanges de fond pour l'évacuation du sédiment, et qui s'envase plus vite que prévu (pour des raisons de rentabilité financière, les prévisions d'envasement et d'amortissement comptable sont toujours très optimistes dans la phase d'avant-projet de construction de barrage).

En aucun cas, ces lois ne prévoient l'intervention d'un géomorphologue pour juger de l'opportunité de l'exécution des travaux de construction de banquettes en fonction des critères tels que la présence d'érosion hydraulique sous une forme ou une autre ou de l'existence de contre-indications telles que la présence de terrains mouvants. Nulle part non plus les géographes n'ont cherché à faire partie des commissions de délimitation de périmètres. Mais dès 1955 BENCHETRIT avertit : « Une action de Défense et Restauration des Sols entreprise à l'aveuglette et ignorant les conditions et les facteurs du développement du phénomène qu'elle cherche à enrayer, ignorant les conditions de réussite

et d'efficacité des procédés qu'elle met en œuvre, est vouée à l'échec. »

Dans ces conditions, quelles sont donc les motivations des uns et des autres ? Les paysans voient d'abord dans ces aménagements l'avantage d'un salaire d'appoint au moment des travaux de construction ; d'autre part, dans ces pays où il n'y a pas de cadastre, en droit coutumier, l'usufruit de la terre appartient seul à l'exploitant, Dieu restant le nu-propiétaire, et l'introduction du droit romain finit souvent par se traduire par l'expulsion de l'occupant sans titre (SARI).

Or la signature d'un contrat de DRS est l'occasion pour l'usufruitier de se procurer l'équivalent d'un titre de propriété. Les travaux se font donc souvent sur des terrains dont les droits d'exploitation sont contestés par les voisins. Par ailleurs, toujours en droit coutumier, le propriétaire d'un arbre fruitier et donc du terrain est celui qui l'a planté. Lorsque l'administration propose de planter des arbres fruitiers sur le bourrelet des banquettes, on observe deux réactions : soit le refus, par crainte que l'Etat ne s'approprie le terrain, soit l'acceptation, car en plus de l'avantage de disposer ultérieurement de fruits sélectionnés, on renforce son titre de propriété en plantant des arbres.

L'Administration des Eaux et Forêts y voit l'avantage d'étendre une activité qu'elle connaît bien, le reboisement, à un nouveau domaine, la plantation de vergers agricoles, sans trop se préoccuper de savoir si les terrains et les climats conviennent à de telles spéculations (FAY). Pour augmenter les chances de succès, elle interviendra de préférence sur les versants non érodés. Impressionné par la sécheresse d'été, le forestier a tendance à privilégier la conservation des eaux et la banquette de rétention.

Enfin, l'Etat observe partout avec inquiétude les signes d'une agitation sociale qui va croissant à partir de 1945, car la misère pousse le fellah à la rébellion armée. Les travaux de DRS paraissent à beaucoup un bon moyen d'injecter un peu d'argent dans ces économies marginales. En Algérie, en particulier, les taux de subvention croissent rapidement pour finalement atteindre 100 %, à mesure que la lutte armée pour la libération s'étend. Un maximum de 36 500 ha/an sera traité en 1959 à la veille de l'indépendance (KADIK). Mais les travaux reprennent de 1962 à 1977 pour récompenser les populations montagnardes à la pointe du combat pour la libération, et couvrent encore 140 000 ha supplémentaires.

Au Maroc, les superficies traitées couvrent 65 000 ha en 1955 au moment de l'indépendance, pour atteindre 300 000 ha, vingt ans plus tard (PLATEAU). A la suite de troubles brefs mais violents et aussi parce que la région était fortement érodée, les travaux ont été particulièrement actifs dans la région du Rif. Ils ont été

très fortement subventionnés par l'aide bilatérale ou internationale.

Les échecs persistants sur le plan technique, une meilleure appréciation du coût économique et social de ces travaux et aussi la crise mondiale ont progressivement ralenti à partir de 1975, puis pratiquement arrêté tous travaux de banquettes dans les trois pays du Maghreb. Les investissements dans le domaine de la foresterie et de la conservation des sols, exprimés en % du total des investissements agricoles, diminuent ainsi (CLEAVER) :

- Algérie 1970/73 : 9,8 ; 1980/84 : 7,6 soit une chute de 23 %,
- Maroc 1968/72 : 11,8 ; 1978/80 : 5,6 soit une chute de 53 %
- Tunisie 1962/71 : 24,1 ; 1977/80 : 5,4 soit une chute de 78 %

Il est maintenant partout admis que la banquette n'est pas la solution miracle pour remédier à l'érosion accélérée déclenchée par le défrichement et la surpopulation des montagnes.

## CONCLUSION : UN PROGRAMME D'ACTION

Le propriétaire exploitant qui a pour souci de transmettre intact son patrimoine à ses enfants a tout particulièrement intérêt à lutter contre l'érosion agricole ; le métayer, le grand propriétaire absentéiste ou non, le gérant de bien vacant ou de coopérative de production auront tendance à privilégier la rentabilité immédiate sur la conservation des sols.

Jusqu'à présent, sous l'influence de la pression démographique, on a eu toujours tendance à étendre les surfaces cultivées sans agir sur les rendements, et la recherche agronomique s'est surtout intéressée aux cultures de plaine. La sélection de variétés adéquates, la mise à disposition d'engrais, d'insecticides, de semences et d'outils aratoires adaptés permettraient au montagnard d'augmenter ses rendements et de reboiser ses plus mauvaises terres, lorsque la pluviométrie le permet.

L'organisation de l'exode rural, par la diffusion de l'instruction et grâce au désenclavement par le développement du réseau de voies de communication, est en bonne voie et doit être poursuivie.

Dans les trois pays, le lit des cours d'eau permanents ou temporaires fait partie du domaine public. Il n'y a donc aucun problème légal en ce qui concerne la correction torrentielle et le traitement des entailles linéaires. Or, ces formes d'érosion sont bien souvent à la source de la majorité des pertes en terre. Mais l'administration ne dispose pas d'un corps compétent d'ingénieurs, spécialisé dans le génie civil et biologique applicable aux cours d'eau.

FAY a mis en évidence l'incapacité de l'administration à planifier correctement un aménagement de bassin versant. La variabilité du milieu écologique montagnard, les réactions imprévues entraînées par tout essai de traitement, font que la plupart des tentatives d'aménagement intégré sont des échecs.

Les techniques d'aménagement traditionnelles par drainage en terrains mouvants (MARTHELOT) clairement indiqués par *Inula viscosa* devraient être encouragées au lieu d'être ignorées. Ce devrait aussi être le cas pour les méthodes ancestrales de conservation des eaux et du sol à l'aide de terrasses de niveau (DESPOIS), de barrages de sédimentation dans les thalwegs (HIZEM), d'ouvrages de collecte des eaux de ruissellement (CHAABOUNI, SAKISS) ou d'épandage des eaux de crue (BONVALLOT). Toutes ces techniques, souvent introduites au moment des invasions arabes (1) (SOLIGNAC) devraient être subventionnées afin de ralentir le rythme de perte en terre agricole. Elles sont souvent modernisables comme l'ont montré TROUILLET et SHENG.

On estime généralement qu'il faut à l'érosion géologique normale entre 20 et 200 millions d'années pour raboter une chaîne de montagne. Les mesures de transport solide en Afrique du Nord montrent que les taux d'abrasion sont de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/ha/an, c'est-à-dire qu'au rythme actuel, 50 fois plus forts que la normale, l'érosion accélérée aura besoin de moins d'un million d'années pour raboter une tranche de terre de 1000 m, faire disparaître la plupart des sols agricoles qui sont des sols hérités du dernier pluvial, et réduire le Maghreb à l'état de pénéplaine (HEUSCH).

Au cours du dernier siècle, l'érosion anthropique a probablement multiplié par cinq le débit solide moyen annuel, ruinant progressivement les terres des bassins versants. Ces terrains n'auront jamais qu'une valeur économique marginale qui ne justifie donc pas de grosses dépenses de restauration. Les conséquences de dégâts se font essentiellement sentir à l'aval : accentuation de l'irrégularité du débit des rivières, pollution des eaux potables, ensablement accéléré de retenues de barrages et des ports d'estuaires, colmatage anarchique des plaines inondables, coupures du réseau des voies de communication.

Ce sont ces dégâts qui justifient le contrôle de l'érosion et l'aménagement des bassins versants. Les paysans de l'amont n'ont pas à supporter le coût des travaux de protection, ils devraient au contraire être dédommagés pour les pertes de rendement subies et subventionnés pour les aménagements qu'ils effectuent.

(1) Beaucoup plus que Rome, qui n'a pris que la suite de Carthage, ce sont les Arabes qui ont proposé des solutions pratiques pour remédier aux conséquences de l'aridification progressive du nord de l'Afrique.

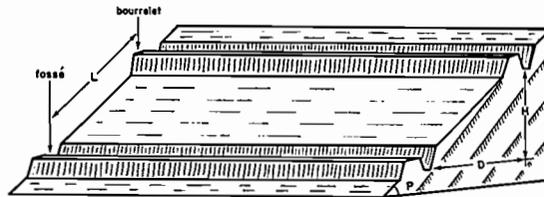
## BIBLIOGRAPHIE

- ALHERITIERE (D), DOWNES (RG), 1981. — Aspects institutionnels de la conservation des sols et de la lutte contre l'érosion dans le royaume du Maroc ; FAO/WP 4457 *multigr.* 32 p.
- AMAR (B.), BELLION (F.), CHADI (M.), 1965. — Pluviométrie : courbes intensité/durée ; Météorologie Nationale, Casablanca, *multigr.* 5 pages, annexes.
- BENCHETRIT (M.), 1955. — Le problème de l'érosion des sols en montagne et le cas du Tell algérien ; *Rev. Geog. Alpine* 3 : 605-640.
- BOLOTOV (AT.), 1781. — La considération des ravines dues au ruissellement (en russe) ; *Ekonomicheskii magazin* n° 6, Moscou.
- BONVALLOT (J.), 1979. — Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médénine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de mars 1979 ; *cah. ORSTOM, Sér. Sc. Hum.* 16(3) : 233-249.
- BREULEUX (F.), 1976. — Inventaire des travaux de conservation des eaux et du sol en Tunisie ; SIDA/TUN 5-13, *multigr.* 24 p., cartes, annexes.
- BRIVES (A.), 1925. — Considérations hydrologiques sur l'Algérie ; Ed. Fac. Sc. Alger, 58 p.
- BUGEAT (L.), 1957. — Conservation des eaux et du sol ; Ecole d'Agriculture Sidi-Naceur à Moghrane, Tunisie ; *multigr.* 57 p.
- CAYLA (O.), 1982. — Pré-étude pluviographique de quelques stations algériennes, *multigr.* 16 p., annexes ; in « Etablissement d'une méthodologie d'études adaptée à l'hydrologie en Algérie ; SOGREAH R 36 0972.
- CHAABOUNI (Z), 1978. — La pédologie, l'érosion et l'économie de l'eau dans les conditions arides et semi-arides de la Tunisie ; Centre Rech. Exp. Gen. Rural, Tunis, *multigr.* 25 p., carte.
- CLEAVER (KM), 1982. — The agricultural development experience of Algeria, Morocco and Tunisia ; World Bank Staff Working Paper n° 552, 20 p.
- CORMARY (Y.), 1972. — Prédétermination des crues dans le cadre des mesures de conservation des eaux et du sol en Tunisie ; Thèse Doct-Ing. Montpellier ; *multigr.* 681 p., annexes.
- DAVIS (WM), 1899. — The geographical cycle ; *Jour. Geog.* 14 : 481-504.
- DEBAZAC (EF), ROBERT (P.), 1973. — Situation des études et recherches relatives à la quantification de l'érosion au Maroc. FAO/MOR 71/536, *multigr.* 35 p.
- DEMONTZEY (P.), 1863. — De quelques essences propres au roisement des climats chauds ; *Revue des Eaux et Forêts* (2 articles).
- DESPOIS (J.), 1956. — La culture en terrasses en Afrique du Nord ; *Annales Economie, Société, Civilisation* 1 : 42-50.
- FAY (G.), 1976. — Les conditions d'un véritable développement rural ; *Bull. Eco. Soc. du Maroc* 131/132 : 121-132.
- GUILMET (B.), 1961. — Intensité des fortes précipitations en fonction de leur durée (en Algérie) ; *La Météorologie* 64 : 393-404.
- HELD (R.B.), CLAWSON (M.), 1965. — Soil conservation in perspective ; Johns Hopkins Press, Baltimore.
- HENIA (L.), 1980. — Les précipitations pluvieuses dans la Tunisie tellienne ; Ed. Fac. Lettres Tunis, 2° série : *Géog.* n° 14 ; 262 p.
- HEUSCH (B.), 1970. — L'érosion du Pré-Rif ; *Annales Rech. For. Rabat*, 12 : 9-176.
- HIZEM (H.), 1976. — Construction des « jessours », in : Séminaire sur la recherche scientifique et le développement des zones arides de Tunisie, Tozeur, novembre ; *multigr.* 5 p.
- HORTON (RE), 1945. — Erosional development of streams and their drainage basins ; *Bull. Geol. Soc. Am.* 56 : 275-370.
- JUHASZ (I.), 1981. — Evaluation de l'intensité des pluies des espaces à données manquantes (en Algérie) ; *la Houille Blanche* 7/8 : 577-580.
- KADIK (B.), 1982. — L'érosion, la conservation et la restauration des sols en Algérie ; *Bull. INRF* n° 10, à paraître.
- KARST (J.), 1942. — Une expérience de lutte contre l'érosion et de travaux de protection de pentes en Oranie (Bassin de l'Oued Mellah) ; *Bull. Soc. Géog. et Arch. d'Oran* 63 : 108-130.
- KASSAB (F.), 1979. — Les très fortes pluies en Tunisie ; Ed. Fac. Lettres Tunis, 2° série : *Géog.*, n° 11, 234 p.
- LAL (R.), 1982. — Effects of slope length and terracing on runoff and erosion on a tropical soil ; *JAS* n° 137 : 23-31.
- LEWIS (LA), 1981. — The movement of soil materials during a rainy season in western Nigeria ; *Geoderma* 25 (1/2) : 13-25.
- LOWDERMILK (WC), 1939. — Le problème de la conservation du sol dans l'agriculture tunisienne ; *la Tunisie Agricole* 6 : 126-129.
- LOWDERMILK (WC), 1947/48. — Soil erosion and irrigation storage in North Africa ; *C.R. Conf. Pédol. Méditerran. Alger — Montpellier 1947*, 405-406, Ed. Ass. Franc. Et. Sol, Paris.
- LOWDERMILK (WC), 1948. — L'eau et la conservation du sol au Maroc ; *multigr.* 56 p., GETIM (SOMET).
- LOWDERMILK (WC), 1949. — Erosion et conservation du sol en Algérie ; Service de la DRS, *multigr.* 38 p.
- MARA (Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire) 1961. — Recueil des textes législatifs et réglementaires relatifs aux Forêts et à la DRS en Algérie ; Ed. Administration des Forêts et de la DRS, 68 p.
- MARTELLOT (P.), 1957. — L'érosion dans la montagne Kroumire ; *Rev. Géog. Alpine*, 45(2) : 273-288.
- MASSON (JM), 1971. — L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen : méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ ; Thèse Doct. Ing. Montpellier, *multigr.* 213 p., annexes, n° CNRS AD 5445.
- MONESTIER-SAVIGNAT (A.), 1858. — Etude sur les phénomènes, l'aménagement et la législation des eaux au point

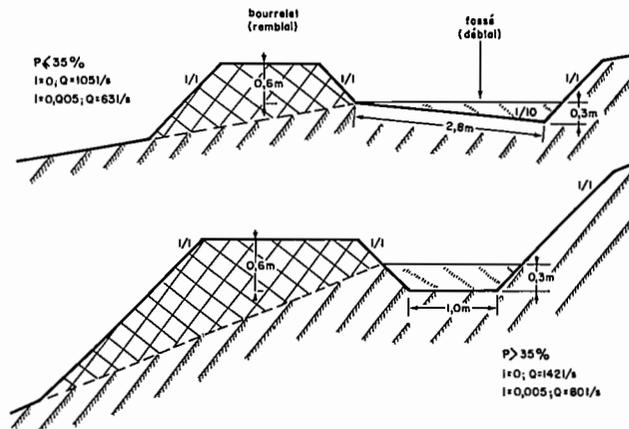
- de vue des inondations avec applications au bassin de l'Allier ; Dalmont, Paris, 544 p.
- OSMAN-AKAN (A.), CAGLAR-EZEN (S.), 1982. — Mathematical simulation of erosion on graded terraces : *IAHS* n°137 : 221-228.
- PLANTIE (L.), 1960. — Technique franco-algérienne de banquettes de Défense et Restauration des Sols ; *Agr. Alg.* 5/6 (1961) 24 p. ; Brochure *Dir. Agr. For.* 24 p. ; Colloque de Téhéran, *Dir. Agr. Forêts* : 237-266.
- PLATEAU (H.), 1976. — La défense et la restauration des sols depuis l'indépendance du Maroc : novembre 1955-novembre 1976 ; *Rev. For. Fr.* 28(3) : 231-238.
- PUTOD (R.), 1956. — La protection des vignes contre l'érosion ; *Rev. Agr. Afr. Nord.*, 1992 : 567-576.
- QUENEY (P.), CUNY (M.), 1943. — Etude sur les pluies torrentielles ; *Trav. Inst. Met. Phys. Globe* Algérie, fasc.2.
- ROBERT (P.), 1970. — Comportement des systèmes anti-érosifs de l'administration des Eaux et Forêts dans le Pré-Rif ; *Bull. Liaison Ing. For. Maroc* 2 : 33-46.
- SACCARDY (L.), 1950. — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols ; *Terres et Eaux*, Alger, 11 : 3-19.
- SAKISS (N.), JATON (JF), 1980. — Etude du système hydrologique « Meskat » : analyse du ruissellement ; *Inst. Gén. Rur.* Lausanne, 19 p. annexes.
- SARI (D.), 1977. — L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie) ; *SNED*, Alger, 624 p.
- SASSI (MN), 1977/81. — Intensité des précipitations à Tunis — Carthage, 62 p. (1977) ; à Jendouba, 63 p. (1978) ; à Kairouan, 63 p. (1980) ; à Sfax, sous presse ; *multigr.* Institut National Météorologique.
- SHENG (TC), 1977. — Protection of cultivated slopes : terracing steep slopes in humid regions ; *in* : Guidelines for watershed Management, FAO Conservation Guide n° 1 : 147-179.
- SIDA, 1977. — Propositions pour le renforcement de la législation sur la conservation des eaux et du sol ; *SIDA-TUN* 5/13, AD 59, *multigr.* 19 p.
- SOGETIM, 1959. — Mise en valeur des zones semi-arides : aménagement des sols dans la Bahira ; digues et terrasses d'Anakir ; *Min. Agric. Rabat*, *multigr.* 80 p., annexes.
- SOLIGNAC (M.), 1953. — Recherches sur les installations hydrauliques de Kairouan et des steppes tunisiennes du 7° au 11° siècle ; *Annales Inst. Et. Orient.*, Fac. Lettres, Alger, n° 13, 395 p.
- THIRRIOT (C.), MAALLEL (K.), TRIKI (M.), 1981. — Fonction de répartition des averses en Tunisie ; *La Houille Blanche* 7/8 : 541-548.
- TROUILLET (A.), 1926. — Barrages de colmatage et utilisation des eaux de ruissellement ; *La Tunisie Agricole* 3 : 46-52.
- WISCHMEIER (WH), SMITH (DD), 1978. — Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning ; *USDA Agriculture Handbook* n° 537, 58 p.
- ZINGG (RW), 1940. — Degree and length of slope as it affects soil loss in runoff ; *Agri. Eng.* 21 : 59-64.

## Annexe 1 Banquette de DRS-CES

Vue perspective d'un réseau de banquette



Profil en travers d'une banquette



## Annexe 2 Normes de la formule de Saccardy

Formule de SACCARDY :  $P < 0,25; H^3 = 260P; P > 0,25; H^2 = 64P$

P	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
H	1,98	2,35	2,96	3,39	3,73	4,01	4,38	4,73	5,06	5,37	5,66
D	66,00	47,00	29,60	22,60	18,60	16,00	14,60	13,50	12,60	11,90	11,30
L	66,00	47,10	29,80	22,90	19,00	16,50	15,20	14,30	13,60	13,10	12,70
R	0,330	0,235	0,148	0,115	0,095	0,083	0,077	0,072	0,068	0,065	0,063
LS	0,40	0,60	1,30	2,80	3,20	4,20	5,50	5,80	8,20	9,60	11,00
T1	2,33	3,28	5,19	6,70	8,11	9,25	10,03	10,73	9,51	10,00	10,26
T2	2,53	3,69	6,32	8,68	11,20	13,50	15,20	16,80	2,00	22,00	23,60
T3	2,45	3,51	5,82	7,76	9,72	11,50	12,60	13,70	13,50	14,40	15,10
T4	3,41	5,88	17,50	70,00	-	-	-	-	-	-	-
R5	0,088	0,063	0,040	0,031	0,025	0,022	0,020	0,019	0,018	0,017	0,017
T5	10,70	16,30	31,80	-	-	-	-	-	-	-	-
I5	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	1,20	1,30

- P = Pente du versant : 3 ‰ = 0,03  
H = Distance verticale entre deux banquettes, en mètres  
D = Distance horizontale entre deux banquettes, en mètres  
L = Longueur de pente entre deux banquettes, en mètres  
R = lame ruisselée par l'interbanquette, pour une intensité pluviale de 3 mm/minute et un coefficient de ruissellement de 100 %, en  $dm^2/s$   
LS = Facteur topographique WISCHMEIER  
T1 = Temps de remplissage du fossé d'un élément de banquette, sans exutoire, en minutes  
T2 = Temps de remplissage du fossé d'une banquette avec  $i = 0$ , longue de 400m " "  
T3 = Temps de remplissage du fossé enherbé d'une banquette avec  $i = 0,005$ , " " "  
T4 = Temps de remplissage du fossé en terre " " " "  
R5 = lame ruisselée par l'interbanquette, pour une intensité pluviale de 1mm/minute et un coefficient de ruissellement de 80 %, en  $dm^2/s$   
T5 = Temps de remplissage du fossé enherbé d'une banquette avec  $i = 0,005$  longue de 400 mètres, en minutes, pour une lame R5  
I5 = Intensité pluviale maxima d'une pluie de longue durée que peut évacuer le chenal enherbé d'une banquette avec  $i = 0,0005$ , en mm/minute  
i = Pente du profil en long du fossé de la banquette  
Q = Débit du fossé de la banquette, en l/s  
U = Vitesse de circulation de l'eau dans le fossé de la banquette, en m/s