

# POURQUOI LA BANQUETTE CES DIMINUE LES RENDEMENTS ET AUGMENTE L'ÉROSION

B. HEUSCH  
Saint Mury, La Tour, F 38240 Meylan

## Résumé

Au Niger, en culture traditionnelle, sur terrain à fort coefficient de ruissellement, la banquette de diversion diminue le rendement des récoltes et le temps de concentration de l'écoulement, elle augmente le ruissellement et l'érosion. Le calcul hydraulique justifiant ces résultats, permet de chiffrer l'augmentation de vitesse de circulation de l'eau et la réduction des volumes infiltrés.

Le calcul permet également de démontrer que les éléments de banquette ont une contenance insuffisante pour absorber le ruissellement des pluies érosives, et que la banquette isohypse déborde, les eaux s'écoulant trop lentement.

Sur terrain à fort coefficient d'infiltration, et à faible pouvoir de rétention, les éléments de banquette augmentent les rendements, mais de façon insuffisante pour rentabiliser les investissements.

L'aménagement en banquette (CES) semble provoquer une érosion technocratique et une réduction du niveau de vie des exploitants. Cette technique, préconisée par de nombreux manuels et exécutée, à grand frais, par de multiples organismes, devrait faire l'objet de recherches approfondies pour en vérifier le bien fondé. La méthode de recherche proposée est simple, économique et rapide. Elle utilise des asperseurs du commerce et des paires de parcelles.

La création routinière de périmètres CES dont on attribue l'échec à l'inexpérience des exécutants est une illustration des blocages psychologiques et de l'autocensure engendrée par les lacunes de la formation.

Mots – clés – Niger, banquette, écoulement à surface libre

## Introduction

A la demande de Louis Berger SARL nous avons étudié en 1992 un périmètre CES , aménagé suivant les règles de l'art (fossé de garde, bourrelet pavé de pierres plates, nivellement du fossé par un topographe professionnel, seuil de correction avec section du déversoir égal au tiers de la section du ravin) par GTZ à Kounkouzout (Niger).

Sur parcelle expérimentale, lorsqu'on diminue l'érosion, on constate une augmentation des rendements. C'est ainsi qu'en 1973 DELWAULLE signale à Allokoto, dans la même région, que la banquette isohypse, par rapport au témoin (culture traditionnelle) permet de multiplier la production par 2,3 tout en divisant le ruissellement par 37 et l'érosion par 150 (moyenne sur 2 ans et un couple de parcelle de 0,4 ha).

Or les rendements en grain (mil et sorgho) relevés à notre demande par l'agent de vulgarisation local auprès des exploitants sur des parcelles analogues sont les suivants :

### **INFLUENCE DE LA BANQUETTE SUR LES RENDEMENTS (Kg / Ha)**

<b>Site</b>	<b>Culture traditionnelle</b>	<b>Périmètre CES</b>
1	1490	779
2	870	784
moyenne	1180	781

La banquette diminue les rendements de 34%. En utilisant la méthode des appariements et le test de Student, le calcul statistique montre que la probabilité, pour que le traitement diminue les rendements, est de 78% ( $r = 0,78$ ).

Les bourrelets ne sont pas entretenus et plusieurs sont entaillés par des renards. Tous les seuils sont endommagés, comme le constate

aussi BOUZOU (1992). Pendant l'hivernage, le paysan doit impérativement exécuter un labour et deux sarclages sur sa parcelle, soit 100 jours de travail pour une exploitation de 2 ha. Il n'a matériellement pas le temps de réparer les brèches du réseau de banquettes (30 jours de travail) pendant la saison des pluies.

Le coût de l'aménagement est de F 3000 / ha. L'érosion, par entailles linéaires et sapements de berge a été augmentée de 30% d'après nos estimations. Le coût de remise en état des seuils est de l'ordre de F 5000 / ha, car, visiblement, l'aménagement a augmenté les débits de pointe. Il faut démonter les seuils et augmenter la capacité des déversoirs.

Il est d'usage d'admettre que le ruissellement des pluies d'intensité s'écoule en nappe à une vitesse croissante, tout en s'enrichissant en sédiment. Le fossé de la banquette intercepte ce ruissellement et l'évacue sur les exutoires à des vitesses non érosives. Nos constatations nous conduisent à préciser cette théorie à l'origine du traitement en banquettes.

## 1 - Calcul des vitesses d'écoulement à la parcelle.

Le sol absorbe X mm d'eau avant saturation de la surface, et déclenchement du ruissellement ce qui prend un temps  $T_0 = X : I$  (I = intensité pluviométrique en m/s). Si X = 3 mm et I =  $1.10^{-5}$  m/s (36 mm / heure),  $T_0 = 3.10^{-3} : 1.10^{-5} = 300$  secondes, soit 5 minutes. A Kounkouzout VUILLAUME (1968) observe que X = 2 à 10 mm.

Le calcul hydraulique permet d'évaluer le temps  $T_1$  que met l'eau à ruisseler du haut en bas d'une parcelle par un écoulement laminaire perturbé par les gouttes de pluie, que nous assimilons à un écoulement torrentiel.

Soit  $Q = R.U$  (1)

$Q = I.l$  (2)

$U = K.R^{2/3} . J^{1/2}$  (3) (formule de Manning)

avec  $Q =$  débit par m. de large de plan incliné ( $m^3/s$ )

R = rayon hydraulique (m)

U = vitesse de la lame d'eau (m/s)

I = intensité pluviométrique (m/s)

l = longueur de la parcelle (m)

K = coefficient de Manning

J = pente de la parcelle

T<sub>1</sub> = temps de concentration (s)

En portant (1) et (2) dans (3) nous éliminons R. Le temps d'écoulement t en s/m est l'inverse de la vitesse U en m/s, donc

$$U^{-1} = t = K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot l^{-2/5} \text{ (s/m)}$$

La somme des temps t de 0 à la longueur maximum L s'écrit:

$$\begin{aligned} T_1 &= \int_0^L t \cdot dl = K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot \int_0^L l^{-2/5} \cdot dl \\ &= 5/3 \cdot K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot I^{-2/5} \cdot L^{3/5} \end{aligned}$$

Soit K = 5 (culture), J = 0,05 (5%), I = 1.10<sup>-5</sup> m/s, L = 45 m,

T<sub>1</sub> = 1530 secondes soit 25 minutes et 30 secondes. La vitesse moyenne du ruissellement sur une parcelle de 45 m de long est de 0,03m/s.

Admettons que la pluie s'arrête au bout de 30 minutes, le ruissellement se concentre alors dans des rigoles de dimension uniforme, calibrées en fonction du débit à évacuer. Dans le cas étudié, ces griffes d'érosion sont de section trapézoïdale, avec un fond large de 0,2 m et une profondeur de 0,1 m. Le rayon hydraulique est de 0,0625 m. Avec K = 10 et J = 0,05 la vitesse de l'eau U = 10. 0,0625<sup>2/3</sup> . 0,05<sup>1/2</sup> = 0,35 m/s (équation 3). KALMAN (1976) avait mesuré une vitesse moyenne de 0,4 m/s. Si la longueur du versant est de 400 m, le temps mis par l'eau à descendre est de

$$T_2 = 400 : 0,35 = 1143 \text{ secondes soit } 19 \text{ minutes et } 3 \text{ secondes.}$$

Le ruissellement a donc mis un temps total

$$T = T_0 + T_1 + T_2 = 5' + 25'30'' + 19'3'' = 49 \text{ minutes } 33$$

secondes, après le début de la pluie, pour atteindre le pied du versant.

VUILLAUME (1968) a mesuré à Kounkouzout un temps de montée de crue de 55 minutes sur un bassin versant de 1372 ha. Nous constatons que la vitesse de l'écoulement dans les griffes d'érosion est dix fois plus forte que la vitesse de l'écoulement en nappe.

## 2 - Calcul des vitesses d'écoulement dans la banquette.

La banquette a pour objet d'intercepter l'écoulement en nappe. Rappelons que, pour être étanche, le centre du bourrelet compacté à 95% de l'optimum Proctor, doit rester constamment humide, puisque les argiles se rétractent en séchant. Il faut donc que le noyau étanche soit à

une distance d'au moins 1 m des parois, pour tenir compte de la vitesse des remontées capillaires. Ce n'est généralement pas le cas et les renards, dans le bourrelet, sont inévitables.

Le fossé collecteur de la banquette a une largeur moyenne A (m) et une longueur b (m). Nous écrivons:

$$Q = R \cdot A \cdot U \quad (5)$$

$$Q = L \cdot b \cdot I \quad (6)$$

$$U = K \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (7) \text{ et nous déduisons, comme précédemment}$$

$$T_3 = 5/3 \cdot K^{-3/5} \cdot J^{-3/10} \cdot L^{-2/5} \cdot I^{-2/5} \cdot A^{2/5} \cdot B^{3/5}$$

Soit  $K = 45$ ,  $J = 0,005$  (0,5%),  $L = 45$ ,  $I = 1,10^{-5}$  m/s,  $A = 1$  m,  
 $B = 200$  m,

$$T_3 = 436 \text{ secondes soit } 7 \text{ minutes et } 16 \text{ secondes.}$$

A partir des équations (5) (6) et (7) nous calculons le rayon hydraulique R à l'exutoire, qui est de 0,12 m, soit un tirant d'eau de 0,3 m environ. Le fossé de la banquette déverse dans un chenal rectangulaire, large de 2 m et profond de 1 m, calibré en fonction du volume des crues.

Pour  $K = 10$ ,  $R = 0,5$  et  $J = 0,05$ , d'après (7)

$$U = 10 \cdot 0,5^{2/3} \cdot 0,05^{1/2} = 1,4 \text{ m/s.}$$

Pour parcourir les 400 m du ravin creusé dans le versant, l'eau va mettre  $T_4 = 400 : 1,4 = 286$  s soit 4 minutes 46 secondes, à une vitesse 4 fois plus forte que dans les griffes d'érosion.

Avant intervention le temps de circulation de l'eau est de  $T_1 + T_2 = 44$  minutes 33 secondes. Après aménagement ce temps est réduit à  $T_3 + T_4 = 12$  minutes 2 secondes soit 4 fois moins.

### 3 - Conséquences sur l'infiltration et l'érosion.

Nous estimons que l'infiltration sous écoulement boueux en nappe est de 1 mm, car les pores sont colmatés. Par contre, dans les griffes d'érosion, la force tractrice est suffisante pour remettre les boues en suspension. Le coefficient de ruissellement est de l'ordre de 60%. Dans le fossé collecteur de la banquette les boues colmatent et l'infiltration est voisine de 5 mm / h. Enfin le chenal de la ravine, au fond tapissé de sable et de graviers, a une perméabilité forte, de l'ordre de 60 mm / h. Avec ces hypothèses, pour une pluie de 18 mm, durée 30 minutes, dressons le bilan de l'infiltration pour une parcelle de 45. 200 = 9 000 m<sup>2</sup>:

Infiltration avant ruissellement ( $T_0$ ) .....  $3 \cdot 10^{-3} \cdot 9\,000 \text{ m}^3$

Infiltration pendant l'écoulement en nappe (T<sub>1</sub>) .....1.10<sup>-3</sup> . 9 000 m<sup>3</sup>  
 Infiltration dans les grilles d'érosion en contrebas (T<sub>2</sub>) 18.04 . 9 000 m<sup>3</sup>  
 Infiltration dans le fossé de la banquette (T<sub>3</sub>) ..... (30' + 7'16") : 60 m<sup>3</sup>  
 Infiltration dans le ravin exutoire, dont 1/25 provient de la parcelle  
 (T<sub>4</sub>) ..... 400 . 2 (30' + 7'16" + 4'46") : 25 000 m<sup>3</sup>  
 ou, si l'on préfère raisonner en mm:

T<sub>0</sub> = 3 mm, T<sub>1</sub> = 1 mm, T<sub>2</sub> = 7,2 mm, T<sub>3</sub> = 0,1 mm, T<sub>4</sub> = 0,1 mm

Au total, sans aménagement, pour les périodes T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, l'infiltration est de 11,2 mm, soit un coefficient de ruissellement de (18 - 11,2) : 18 = 38%. Pour une pluie de 42,5 mm (crue annuelle) VUILLAUME (1969) observe un coefficient de ruissellement moyen de 35%. Après aménagement, l'infiltration tombe pour les périodes T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub>, à 4,2 mm, soit un coefficient de ruissellement (18 - 4,3) : 18 = 77%. Le coefficient de ruissellement double, car peu d'eau s'infiltré dans le fossé de la banquette, et l'eau s'écoule très rapidement dans le ravin. Le réseau de banquettes draine rapidement le versant, réduisant l'infiltration, ce qui explique:

- la chute des rendements de 34%
- l'augmentation des érosions de 30%.

#### 4 - Considérations sur les banquettes isohypses.

A juste titre, le périmètre étudié ne comporte ni élément de banquette (fossé aveugle), ni banquette en courbe de niveau (canal à fond horizontal et à écoulement libre).

Etudions le cas du fossé aveugle. Soit D la lame ruisselée et H la profondeur du fossé. L'interception exige:

$$D \cdot L = A \cdot H$$

Soit H = 0,4 m et comme précédemment L = 45 m et A = 1 m, on en déduit D = 0,009 m ou 9 mm. En admettant un coefficient de ruissellement de 78% (18 - (3 + 1) : 18) cela correspond à une lame précipitée et interceptée égale au maximum à 9 : 0,78 = 12 mm. Ce calcul conduit au résultat cocasse que seul sont interceptées les pluies non érosives, inférieures à 12 mm.

Etudions le cas du canal isohypse. En l'absence de pente du fond, nous utilisons la méthode de PORCHET (1932) en considérant que le débit réel est égal à 0,36 fois le débit calculé par la formule (7). La pente

de la ligne d'énergie se déduit du débit collecté dans le canal. Avec les mêmes hypothèses que précédemment, le débit au déversoir est de  $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$ , ce qui correspond à une hauteur d'eau, calculée par la formule de BAZIN, de  $0,14 \text{ m}$ . Le tirant d'eau passe  $25 \text{ m}$  en amont à  $0,3 \text{ m}$ , puis  $0,6 \text{ m}$  à  $100 \text{ m}$  et enfin à  $0,65 \text{ m}$  sur les  $50$  premiers mètres du canal. L'eau s'écoule avec une accélération constante, et la vitesse croit progressivement. Il faut  $10$  minutes pour parcourir les premiers  $50$  mètres et  $2$  minutes pour les derniers  $50$  mètres, soit un temps total d'écoulement de  $19$  minutes. C'est donc paradoxalement à l'endroit (figure) où l'apport du versant en eau est nul, que le niveau dans le fossé est le plus élevé. Dans la pratique la banquette déborde ou renarde, transformant un ruissellement en nappe peu agressive en entailles linéaires concentrées, très agressives. S'il n'y a pas de débordement, la durée de l'écoulement augmente de  $10\%$ , mais le coefficient de ruissellement est doublé.

Et pourtant l'observation montre qu'en général les périmètres CES sont réussis, c'est à dire que les banquettes ne sont pas immédiatement détruites par l'érosion. En fait, dans la plupart des bassins versants de montagne les mesures de débit solide montrent (HEUSCH 1980) que  $10\%$  du bassin versant fournit  $90\%$  du transport solide, c'est à dire que l'érosion spécifique est, en valeur relative, de  $1$  sur  $90\%$  du bassin, et de  $81$  sur  $10\%$  du bassin, avec peu de valeurs intermédiaires.

Soit  $S$  la surface du bassin, dont  $10\%$  couvert par la forme d'érosion  $a$  et  $90\%$  par la forme d'érosion  $b$ . Le débit solide de  $a$ ,  $Q_a = 90$ , le débit solide de  $b$ ,  $Q_b = 10$ ;  $S = a + b$ .

Le rapport des érosions spécifiques  $Q_a / a : Q_b / b$  s'écrit:

$$90 / 10 : 10 / 90 = 81.$$

L'érosion spécifique de valeur  $1$ , avec peu de ruissellement et des pertes en terre compensées par les apports éoliens, est localisée sur des versants stables. La plupart des périmètres CES sont réalisés sans aucune enquête géomorphologique préalable et sont donc,  $9$  fois sur  $10$ , localisés sur versant stable et leur comportement est bon, car il y a peu de ruissellement. Par exemple, à Kounkouzout, GTZ a réalisé des réseaux d'éléments de banquette sur un plateau à carapace ferrallitique du Continental terminal, qualifié d'endoréique par VUILLAUME (1969). La vitesse d'infiltration est de  $5 \text{ mm} / \text{h}$ , les eaux circulent lentement et mettent une journée à s'évacuer. Elles ont largement le temps de s'infiltrer en quasi-totalité. L'observation des laisses montre que les crues issues du

plateau sont négligeables. Les rendements en zone non aménagée, mesurés par GTZ, sont de l'ordre de 50 Kg de mil par ha; avec aménagement, le rendement est de 100 Kg / ha (15 parcelles sur deux ans). La rentabilité est de l'ordre de 1%.

### Conclusions

1) le calcul hydraulique permet de visualiser le comportement de l'eau tel qu'il est (et non tel qu'il devrait être) à partir de mesures de vitesse d'infiltration.

2) Les considérations "aquatiques" qui précèdent vont laisser perplexe mais sceptique, le lecteur peu familiarisé avec ce genre de calcul.

3) Rien ne l'empêche de refaire un sondage sur un plus grand nombre de parcelles, pour améliorer la précision du calcul statistique.

4) Si l'on admet qu'un coefficient de couvert végétal de 0,3 suffit pour annuler l'énergie cinétique des pluies érosives, il est possible de simuler l'effet des pluies intenses sur une culture avec un système d'irrigation par aspersion du commerce. Pour une parcelle de 100 m<sup>2</sup>, et à condition de disposer d'une source d'eau à proximité le coût d'achat du matériel est de F 20 000. (devis détaillé disponible).

5) Il est difficile d'admettre que l'argent du contribuable a été dépensé pour un résultat contraire au but recherché, mais il est encore plus compliqué, si l'on rejette nos calculs, d'expliquer pourquoi l'agriculteur ne construit de banquettes que s'il est payé pour le faire, ne les entretient pas, et se dépêche de les détruire dès qu'il en a la possibilité.

### Références

BOUZOU (I) 1992. *Défense et restauration des sols dans l'Adar (Niger)*. Bulletin érosion n° 12, pp 275 – 291, ORSTOM.

DELWAULLE (JC) 1973. *Résultats de six ans d'observation sur l'érosion au Niger. Bois et forêts des tropiques*, n° 150, pp 15 – 37.



HEUSCH (B) 1980. *Erosion in the Ader Dutchi massif (Niger)*. *Assessment of erosion*, ed. De Boedt and Gabriels, pp 521 – 529, J. Wiley and sons, Chichester, UK.

KALMAN (R) 1976. *Etude expérimentale de l'érosion par griffes*. *Revue de géographie physique et géologie dynamique* (2) vol. 18, fasc. 5, pp 395 – 406.

PORCHET (L) 1932. *Calcul des débits des petits canaux en terre de section transversale trapézoïdale et à fond horizontal*. *Annales du Ministère de l'Agriculture*, fasc. 61.

VUILLAUME (G) 1968. *Premiers résultats d'une étude analytique de ruissellement et de l'érosion en zone sahélienne: bassin représentatif de Kountkouzout (Niger)*. *Cah. ORSTOM, sér. hydrol*, vol. 5, n° 2, pp 33 – 47.

VUILLAUME (G) 1969. *Analyse quantitative du rôle du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne (Bassin de Kountkouzout, Niger)*. *Cah. ORSTOM, sér. hydrol*, vol. 6, n° 4, pp 87 – 132.

#### ORIGINE DES DÉSORDRES OBSERVÉS SUR BANQUETTE ISOHYPSE

