

LE PIÉGEAGE DES SÉDIMENTS MARNEUX PAR DES BARRIÈRES VÉGÉTALES (ALPES DU SUD, FRANCE)

Rey F.¹, Chauvin C.¹, Richard D.¹, Mathys N.¹,
Rovéra G.², Morel A.²

RÉSUMÉ

Dans les bassins versants torrentiels marneux des Alpes du Sud, la végétation permet de lutter efficacement contre l'érosion. Les processus de piégeage des sédiments par des barrières végétales étaient cependant mal connus. L'étude, dont les sites sont situés dans le département des Alpes-de-Haute-Provence, avait donc pour objectif de mieux comprendre ces processus. Nous avons cherché à mettre en évidence l'existence de processus de piégeage des sédiments marneux par des barrières végétales, et à étudier quantitativement l'efficacité de barrières végétales à piéger les sédiments issus d'une zone en érosion donnée. Les observations montrent que le piégeage de sédiments marneux peut avoir lieu à l'amont de barrières végétales constituées d'herbacées et de sous-arbustes, essentiellement dans le lit des ravines. Une relation linéaire moyenne a été établie entre la surface d'une zone en érosion et la surface de la barrière végétale à l'aval efficace pour piéger tous les sédiments issus de cette zone érodée. On montre également que sur une zone marneuse en érosion de surface inférieure à 500 m², une barrière végétale recouvrant 20 % de cette zone et située entièrement à son aval peut permettre de maîtriser complètement la sortie de sédiments de celle-ci.

ABSTRACT

In marly torrential catchments in the French southern Alps, vegetation can play a very efficient role against erosion. Thus, little knowledge existed on sediment trapping processes by vegetation barriers. The study, with sites located in the Alpes-de-Haute-Provence department, was aimed to better understand these processes. We tried to highlight the existence of marly sediment trapping processes by vegetation barriers, and to carry out a quantitative study on the effectiveness of vegetation barriers to trap the sediments coming from an eroded zone. The observations showed that sediment trapping processes can occur upslope of vegetation barriers made of herbaceous and under-shrubby vegetation, mainly in gully floor. The results showed that there is a linear relationship between the surface area of an eroded zone and the surface area of the vegetation barrier localised downslope and sufficient to stop all the sediments eroded above. Moreover, we observed that to trap all the sediments coming from a surface area of eroded zone less than 500 m², a surface area of vegetation barrier covering only 20 % of the eroded zone is sufficient.

1 - INTRODUCTION

La végétation peut intervenir contre l'érosion de deux manières principales (Viles, 1990) : d'une part elle peut empêcher l'érosion de se produire, jouant ainsi un rôle de protection « active » contre l'érosion, d'autre part elle peut piéger et retenir les sédiments érodés à l'amont, jouant alors un rôle « passif » ou « à distance » contre l'érosion (Poncet, 1995).

¹ Cemagref Grenoble - UR EPM - 2 rue de la Papeterie - BP 76 - F-38402 St-Martin-d'Hères
freddy.rey@cemagref.fr

² Université Joseph Fourier, Institut de Géographie Alpine - 14 bis avenue Marie Reynoard - F-38000 Grenoble

Van Dijk *et al.* (1996) et Lee *et al.* (1999, 2000) ont ainsi montré qu'il existe un effet de filtration des écoulements au travers de la végétation. Ces écoulements déposent les sédiments suite à la réduction de leur énergie de transport. Bien que Dabney *et al.* (1995) et Beuselinck *et al.* (2000) aient montré que la végétation est plus susceptible de piéger les sédiments fins, d'autres études (Meyer *et al.*, 1995 ; Cammeraat et Imeson, 1999) ont montré que les sédiments grossiers pouvaient également être piégés par des barrières végétales. Des dépôts ont ainsi été observés à l'amont de barrières végétales (Sanchez et Puigdefabregas, 1994), sur des pentes plus fortes que celles sans végétation (Takken *et al.*, 1999 ; Bochet *et al.*, 2000). L'utilisation de haies végétales sur terrasses pour lutter contre l'érosion a souvent été testée avec succès (Poudel *et al.*, 1999). Les haies végétales de vétiver (*Vetiveria sp.*) ont notamment souvent montré leur efficacité pour le piégeage des sédiments (Dalton *et al.*, 1996). Biot (1990) a quant à lui émis l'hypothèse selon laquelle les troncs d'arbres pouvaient être efficaces pour le piégeage des sédiments. Ces processus ont également été observés sur les berges des cours d'eau. Les accumulations de sédiments permettent alors de renforcer la stabilité des berges (Thorne, 1990).

La continuité de la barrière végétale apparaît comme un facteur important pour l'efficacité du piégeage, comme cela a été établi par Meyer *et al.* (1995) et Bochet *et al.* (2000) qui ont montré que la morphologie du plant est importante, c'est-à-dire que l'espèce végétale joue un rôle prépondérant, Van Dijk *et al.* (1996) et Lee *et al.* (1999) qui ont mis en évidence que l'efficacité du piégeage augmente avec la largeur – perpendiculairement à l'écoulement – de la barrière, ou encore Pethick *et al.* (1990), Abu-Zreig (2001) et Abu-Zreig *et al.* (2001), qui ont montré l'influence de la longueur – dans le sens de l'écoulement – de la barrière pour l'efficacité du piégeage.

Kikuchi et Miura (1993) expliquent que les atterrissements créés par les barrières végétales sont favorables à l'installation d'une végétation colonisatrice, qui d'ailleurs ne parvient souvent à s'installer que sur ce type de dépôts dans les bassins versants dégradés (Hidalgo *et al.*, 1990 ; Guerrero-Campo et Montserrat-Marti, 2000). Les végétaux constituant la barrière végétale peuvent également se développer au contact des sédiments atterris arrivant au niveau de la barrière à chaque orage (Sanchez et Puigdefabregas, 1994 ; Dabney *et al.*, 1995), colonisant ainsi les sédiments piégés (Valentin *et al.*, 1999 ; Chappell *et al.*, 1999). La plus grande profondeur du sol (Kosmas *et al.*, 2000) et sa plus grande infiltrabilité (Guerrero-Campo *et al.*, 1999 ; Bryan et Brun, 1999) sont généralement évoqués.

En conséquence, à l'intérieur des bassins versants, de grandes quantités de sédiments érodés sont piégées et ne rejoignent pas l'exutoire des bassins (Beuselinck *et al.*, 2000).

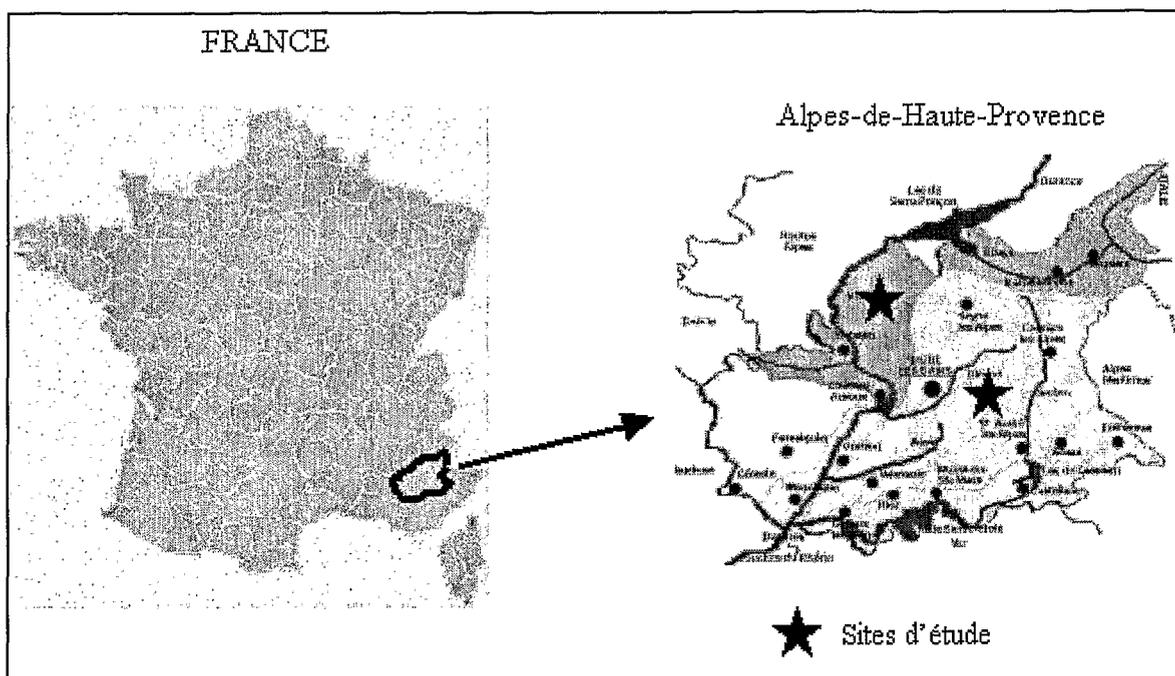
Sur marnes, Rovéra *et al.* (1999a) ont pu observer le rôle de touffes d'herbacées. Ils ont ainsi observé un piégeage à l'amont des touffes, fonction de la grosseur et de la densité des touffes. Le piégeage s'observe dès que les petites touffes sont serrées sur une distance moyenne de 0,5 m. Il s'observe également dès que la couverture végétale, composée d'herbacées et de ligneux bas, dépasse 50 % de recouvrement au sol, jusqu'à des pentes de 30-35°. Sur des talus de 25 à 35°, les jeunes pins isolés ne s'opposent pas à l'érosion malgré de petites accumulations périodiques à l'amont des troncs. Par contre, des pins adultes groupés par deux avec litière d'aiguilles permettent déjà un piégeage efficace. Avec une couverture encore plus dense, le piégeage est plus pérenne (au-delà de 3 ans).

Dans les marnes des Alpes du Sud, les processus de piégeage des sédiments par des barrières végétales restaient cependant peu étudiés et mal connus. La présente étude a donc pour objectif de mieux comprendre les interactions végétation-érosion, ceci à l'échelle métrique à pluri-métrique et dans un contexte particulier de bassins versants marneux restaurés par génie écologique (Rey, 2002).

D'une part, il s'agit de mettre en évidence de manière qualitative les processus de piégeage des sédiments par des barrières végétales. D'autre part, il apparaît intéressant de quantifier ces processus de piégeage et notamment de déterminer l'efficacité de différentes barrières végétales à piéger une quantité de sédiments donnée, à l'échelle précitée.

Les observations et mesures ont été effectuées sur différents sites des Alpes du Sud françaises, dans le département des Alpes de Haute Provence : les bassins versants du Saignon sur la commune de La Motte du Caire, dans la forêt domaniale du Grand Vallon, et le bassin versant du Brusquet sur la commune du même nom, dans la forêt domaniale de la Haute-Bléone (figure 1).

Figure 1 : Sites d'étude



Ces bassins appartiennent au grand bassin versant de la Durance. Ils ont fait l'objet d'une restauration écologique ; ainsi, l'érosion régressive a été généralement stoppée à la base de la plupart des ravines. La végétation a été introduite grâce à des ouvrages de génie biologique, permettant son installation aussi bien sur les versants que dans les lits des ravines. Cependant, des colonisations végétales spontanées ont parfois eu lieu. Ainsi la végétation présente est composée de pin noir d'Autriche (*Pinus nigra ssp. nigra*) et de pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) pour la strate arborée, d'alisier blanc (*Sorbus aria*) et d'érable à feuille d'obier (*Acer opalus*) pour la strate arbustive, de bugrane (*Ononis fruticosa*) et d'argousier (*Hippophae rhamnoides*) pour la strate sous-arbustive, enfin de bauche (*Calamagrostis argentea*) pour la strate herbacée.

2 - MATÉRIELS ET MÉTHODES

2-1 - Mise en évidence qualitative du piégeage des sédiments par des barrières végétales

Les observations ont été réalisées au cours de l'année 2000 dans le bassin versant du Saignon. Des placettes expérimentales ont été installées à l'amont d'écrans végétaux ; deux types de dispositif d'étude ont été utilisés :

- des dispositifs d'étude de la dynamique du piégeage, avec le suivi de sédiments marneux peints et de l'enfouissement de clous sur les versants et dans les lits de ravines ; les observations ont été réalisées après des épisodes pluvieux intenses ;

- des dispositifs d'étude des effets du piégeage avec la description de profils dans des accumulations de sédiments.

2-1-1 - La dynamique du piégeage

2-1-1-1 - *Suivi de sédiments marneux peints*

Le marquage de sédiments marneux à la peinture avait pour but d'esquisser leur suivi sur des versants et dans des lits de ravines partiellement végétalisées. Les sédiments marqués étaient situés à l'amont d'un écran végétal. Il était alors possible d'observer, après des pluies, le cheminement et l'éventuel arrêt des sédiments grâce à la végétation, sur des pentes supérieures à 20° dans les lits de ravines et supérieures à 35° sur les versants de ravines. Ces sédiments ont été positionnés de façon à constituer un carré de 30 cm de côté, correspondant ainsi à environ 1 kg de sédiments déposés. A l'aval de la végétation, une fosse a été creusée afin de recueillir les sédiments ayant pu filtrer à travers l'écran végétal après certaines pluies. Les écrans végétaux étudiés étaient des troncs de pin noir, des plants de broussailles (bugrane, argousier), des touffes herbacées (bauche, aphyllanthe) et une embâcle. 10 dispositifs ont ainsi été étudiés. Après chaque pluie de l'année 2000, on a pu observer qualitativement le cheminement et l'éventuel piégeage des sédiments peints à travers les écrans végétaux.

2-1-1-2 - *L'enfouissement de clous*

Toujours afin d'étudier de manière dynamique les effets de piégeage des sédiments par la végétation, des clous d'une dizaine de centimètres ont été disposés à l'amont d'écrans végétaux, sur des pentes supérieures à 11° dans les lits de ravines et supérieures à 45° sur les versants de ravines. Après enfouissement dans le sol, la partie aérienne du clou a été recouverte de peinture rouge, marquant ainsi un niveau de base topographique. 13 clous ont été installés. Il a alors été possible de suivre l'évolution de la micro-topographie à l'amont de la touffe végétale et ainsi d'analyser le piégeage des sédiments par la végétation après chaque pluie, en évaluant l'épaisseur des accumulations de sédiments.

2-1-2 - Description de profils dans des accumulations de sédiments

4 tranchées et profils ont été réalisés dans les bassins versants du Saignon et du Brusquet. Le but était de mettre en évidence l'existence d'accumulations de sédiments meubles à l'amont de barrières végétales, permettant ainsi d'observer les effets des processus de piégeage et en particulier la pérennité de ce piégeage. Les accumulations de sédiments ont été caractérisées par la réalisation de micro-profils topographiques. Les tranchées ont été réalisées à l'amont de différentes barrières végétales, sur des versants de pente supérieure à

45° et dans des lits de ravine de pente supérieure à 10°. Elles ont été réalisées soit transversalement à la pente le long d'une barrière végétale, pour montrer l'accumulation de sédiments directement à l'amont de la barrière, soit dans le sens de la pente, pour montrer les variations d'accumulation de sédiments d'une zone amont dénudée vers une zone aval végétalisée. Pour chaque tranchée, les épaisseurs de sédiments ont alors été mesurées. La fixation des sédiments piégés a également pu être observée selon la présence de racines développées par les végétaux dans les dépôts.

2-2 - Efficacité des barrières végétales pour le piégeage des sédiments marneux

L'objectif est de préciser l'efficacité d'une barrière végétale donnée – dite barrière végétale « efficace » – à piéger tous les sédiments issus d'une zone érodée donnée – dite zone érodée « piégée » – située à l'amont, en étudiant notamment la relation qui existe entre l'importance de la surface au sol de la barrière végétale et la surface de la zone dénudée, située en amont, émettrice de colluvions. Les observations ont été réalisées dans le bassin versant du Brusquet.

2-2-1 - Matériels

Pour juger de l'efficacité « totale » d'une barrière vis-à-vis du piégeage des sédiments érodés à l'amont, nous nous sommes fondés sur l'observation des traces d'écoulement de sédiments à travers et à l'aval de la barrière végétale. Ces traces sont très visibles après de fortes pluies et restent apparentes plusieurs années après les événements pluvieux, tant que la dynamique végétale n'a pas permis leur recouvrement par des végétaux. Une absence de trace d'écoulement de sédiments à l'aval d'une barrière végétale située elle-même à l'aval d'une zone en érosion permettait alors de diagnostiquer l'efficacité de piégeage de cette barrière. Des atterrissements de sédiments étaient alors généralement visibles à l'amont immédiat de ce type de barrière. Les barrières étudiées étaient situées sur des pentes et non au bas des pentes ; la valeur de pente était donc régulière sur toute la placette. Les barrières étaient continues le long de leur interface amont avec la zone en érosion.

40 placettes ont ainsi été étudiées, chacune d'elle permettant d'analyser les interactions entre une surface érodée et une barrière végétale à l'aval jugée efficace pour le piégeage de l'ensemble des sédiments érodés à l'amont (Navette, 2001). Les caractéristiques des placettes apparaissent sur le tableau 1. En ce qui concerne la lithologie, nous avons veillé à ce que les terrains étudiés soient entièrement situés sur des marnes, sans présence de niveaux calcaires. La surface totale des placettes était comprise entre 12 et 507 m².

L'efficacité d'une barrière végétale pour le piégeage de sédiments peut s'exprimer par une surface végétale « au sol » nécessaire pour piéger un volume potentiel de sédiments. Les barrières végétales ont ainsi été caractérisées par leur surface végétale au sol – végétation herbacée et arbustive – située directement à l'aval de la zone en érosion considérée. Cette couverture au sol constituait la végétation susceptible de piéger les sédiments. Il n'y a pas eu de distinction au niveau des espèces ; les plus présentes étaient cependant la bouche et la bugrane. Les surfaces des barrières étaient comprises entre 4 et 239 m².

Tableau 1 : Caractéristiques des placettes d'étude de l'efficacité des barrières végétales

Points d'observation	Placettes	Zones érodées	Barrières végétales			Pente (°)	Géomorphologie
	Surface (m ²)	Surface (m ²)	Profondeur (m)	Largeur (m)	Surface (m ²)		
1	19	12	2	5	7	20	versant
2	116	86	5	7	30	28	lit
3	102	50	8	7	53	32	lit
4	112	90	4	6	22	38	lit
5	507	269	15	16	239	40	lit
6	17	3	4	4	14	17	versant
7	13	9	1	4	4	32	versant
8	105	39	11	6	67	29	lit
9	216	130	11	8	86	36	lit
10	55	27	6	5	28	39	lit
11	12	8	2	3	4	47	versant
12	229	128	10	10	101	38	lit
13	154	88	10	7	66	30	lit
14	26	17	2	4	9	42	versant
15	31	5	7	4	27	42	versant
16	20	14	2	3	6	41	lit
17	52	40	2	6	13	32	versant
18	59	32	5	6	28	36	lit
19	150	122	4	8	29	36	lit
20	19	9	3	3	10	30	versant
21	44	19	5	6	25	41	versant
22	71	48	5	5	23	25	lit
23	102	62	4	9	40	30	lit
24	26	21	3	2	5	30	lit
25	33	12	4	5	22	15	versant
26	198	122	7	11	76	44	lit
27	137	84	7	8	53	28	lit
28	48	31	3	6	17	24	versant
29	233	142	8	12	91	36	lit
30	355	224	7	20	131	39	lit
31	52	36	4	4	16	33	lit
32	55	20	8	5	35	29	lit
33	95	38	8	7	58	49	versant
34	136	66	6	12	69	33	lit
35	296	122	9	20	173	33	lit
36	54	30	4	6	24	46	lit
37	44	27	4	5	18	33	versant
38	235	94	10	14	141	33	lit
39	238	138	12	9	99	20	versant
40	219	170	7	7	49	21	lit

La variable prise en compte pour caractériser le volume potentiel de sédiments a été la surface des zones en érosion. En effet, le volume de sédiments mobilisables dépend directement de la surface de marne dénudée, considérant que le taux d'ablation moyen de la marne, établi à l'échelle pluri-métrique (Lecompte *et al.*, 1998 ; Rovéra *et al.*, 1999) ou à l'échelle de la ravine (Richard et Mathys, 1999), est compris entre 0,5 et 1 cm/an. Ces surfaces variaient pour l'échantillon étudié entre 3 et 269 m².

2-2-2 - Méthodes

2-2-2-1 - Détermination d'une surface moyenne de barrière végétale « efficace »

On cherche à mettre en évidence une valeur moyenne de dimension d'une barrière végétale « efficace » en fonction de la taille de la zone érodée « piégée ». Cette information pourrait servir plus tard à dimensionner des barrières végétales anti-érosives. Pour cela, on a utilisé la régression linéaire et représenté par un graphe les relations entre la surface d'une zone érodée « piégée » et la surface de la barrière végétale « efficace » à l'aval.

2-2-2-2 - Détermination d'une surface optimale de barrière végétale « efficace »

Nous avons cherché à déterminer la surface optimale de barrière végétale « efficace » suffisante pour bloquer tous les sédiments provenant d'une zone érodée donnée à l'amont.

Pour cela, on repère, sur le graphe représentant la relation entre la surface d'une zone érodée « piégée » et la surface d'une barrière végétale « efficace », un droite de « surface minimale » prenant en compte les barrières végétales optimales, c'est-à-dire les placettes pour lesquelles le ratio « surface de la barrière végétale / surface de la zone érodée » est le plus bas. On détermine alors l'équation de cette droite.

2-2-2-3 - Détermination d'une surface maximale de zone érodée « piégée »

On a cherché ici à mettre en évidence une surface maximale de zone érodée pour laquelle les sédiments peuvent être entièrement piégés par une barrière végétale.

3 - RÉSULTATS ET DISCUSSION

3-1 - Mise en évidence qualitative du piégeage des sédiments par des barrières végétales

3-1-1 - La dynamique du piégeage

3-1-1-1 - Les pluies

La pluviosité totale durant l'année 2000 dans le bassin versant du Saignon a été de 998 mm. Les caractéristiques de la pluie la plus intense (20-21 Septembre) ont été de 85 mm en 24 h, avec 35 mm/h pendant 30 minutes. En fait, l'année 2000 a été assez particulière, dans le sens où seul cet orage du 20-21 Septembre a permis d'observer des déplacements de sédiments sur les dispositifs d'étude. Cet orage a toutefois été très intense ; il a été évalué comme une pluie de durée de retour de 5 ans, en référence à une étude de Haddouche (1999) qui a analysé, à partir des données pluviométriques des bassins expérimentaux de Draix (Alpes de Haute Provence), les valeurs des pluies extrêmes calculées pour différentes durées de retour.

3-1-1-2 - Le suivi des sédiments marneux peints

Deux comportements très différents des sédiments marneux peints ont pu être observés, selon que ces sédiments étaient placés sur les versants ou dans les lits des ravines.

Sur les versants, le déplacement des sédiments s'opère généralement soit par gravité, soit suite à l'apparition de rigoles lors des pluies. Toutes les placettes situées sur versant ont montré qu'une part importante de sédiments peints restait en place sur le versant, même après de fortes pluies et en tout état de cause toute l'année. En fait, sur les versants, les plus importants déplacements de sédiments vers le lit des ravines ont lieu lors du creusement de rigoles au cours des fortes pluies. Aucune des 7 placettes situées sur versant n'a été traversée par des rigoles apparaissant après des pluies. Ainsi, le régolite peut rester en place, sauf immédiatement de part et d'autre des rigoles où l'érosion par micro-sapement intervient pluie après pluie. Une partie des sédiments s'est tout de même déplacée par gravité dans toutes les placettes. Lorsque ces sédiments glissent ou roulent sur les versants et qu'ils rencontrent les parties aériennes des plantes, leur piégeage peut en partie avoir lieu. Cela a pu être observé essentiellement pour des écrans végétaux constitués de bugrane ou d'aphyllanthe. Les placettes placées respectivement à l'amont d'un pin noir et d'une touffe d'aphyllanthe ont montré qu'une partie des sédiments parvenait à contourner les écrans végétaux.

La continuité de l'écran végétal semble donc être un critère important pour l'efficacité du piégeage des sédiments. En particulier, la simple base d'un tronc d'arbre vivant ne joue qu'un très faible rôle, malgré les hypothèses émises par Biot (1990) sur la possible efficacité des arbres pour le piégeage des sédiments. Sur marnes, les processus de piégeage concernent davantage les couvertures végétales au sol, c'est-à-dire les couvertures herbacées et sous-arbustives. Les placettes situées à l'amont de touffes de bugrane ont quant à elles montré qu'une partie des sédiments pouvait traverser l'obstacle végétal. Cela met en avant l'importance de la densité de l'écran végétal pour l'efficacité du piégeage, ou plus exactement de la dimension de la barrière dans le sens de l'écoulement, comme cela a été spécifié par Pethick *et al.*, (1990), Abu-Zreig (2001) et Abu-Zreig *et al.* (2001).

Les placettes situées dans les lits ont toutes été complètement érodées, en même temps que les barrières végétales à l'aval ont été emportées partiellement ou en totalité. Elles n'ont pas permis d'observer le piégeage des sédiments dans des lits de ravine. Il a tout de même été possible d'observer, aux endroits où les sédiments peints avaient été déposés, que des accumulations de sédiments, bien visibles avant l'orage à l'amont des barrières végétales, avaient été emportées par les forts écoulements dans le lit des ravines. Cette observation pose le problème de la pérennité du piégeage, et peut même nous amener à nous interroger sur l'existence d'un effet « pervers » du piégeage : les barrières végétales pourraient en effet avoir pour effet d'accumuler les sédiments pour les relarguer en masse ensuite. Cela incite également à envisager l'existence d'effets de seuil concernant la pérennité du piégeage.

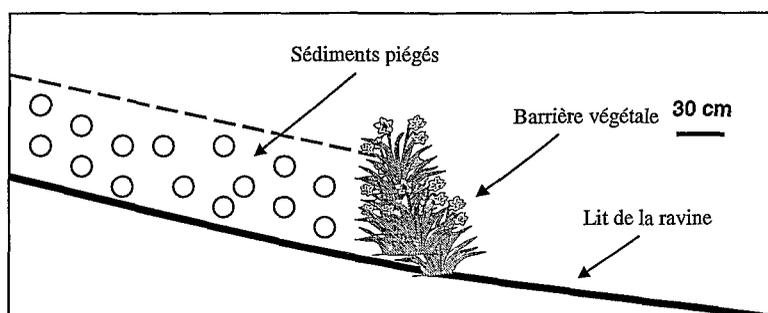
3-1-1-3 - L'enfouissement des clous

Sur les versants, les clous n'ont pas du tout été enfouis. Les versants étaient au départ réglés puis ont été parcourus de rigoles après les pluies intenses, mais aucun clou ne s'est retrouvé à l'aval d'une rigole. On rejoint donc ici les observations réalisées sur versant avec les sédiments marneux peints, qui montrent que l'entraînement de sédiments et le piégeage ne sont pas systématiques sur versant. Par contre, dans les lits de ravines, d'importantes accumulations de sédiments ont été observées à l'amont de barrières végétales. En particulier, la pluie la plus intense a entraîné une forte érosion sur les zones dénudées des ravines et certains clous ont été enfouis sous des épaisseurs de sédiments allant jusqu'à 7 cm. Les espèces herbacées (bauche) et sous-arbustives (genêt, bugrane) ont montré leur efficacité pour piéger les sédiments. Les observations ont montré que si l'écran végétal constitue une véritable barrière et va d'une berge à l'autre du lit de la ravine, le piégeage est efficace et les sédiments sont bien retenus. Sinon, les sédiments peuvent en partie contourner l'écran végétal.

3-1-1-4 - Conclusion sur la dynamique du piégeage

Les suivis du cheminement de sédiments marneux peints et de l'enfouissement de clous ont permis d'observer des processus de piégeage de sédiments à l'amont de barrières végétales sur de fortes pentes, supérieures à 10°. Ce piégeage a surtout été observé dans les lits des ravines (figure 2).

Figure 2 : Piégeage de sédiments par une barrière végétale dans un lit de ravine



Le piégeage sur versant a également été observé, mais toutes les barrières végétales présentes sur versant ne jouent pas un rôle de piégeage, celui-ci ne pouvant bien évidemment avoir lieu que s'il existe un déplacement de sédiments, lui-même conditionné par le creusement de rigoles lors des pluies intenses.

Les processus de piégeage ont pu être observés pour des strates végétales au sol, à savoir les strates herbacées et sous-arbustives. La bauche semble particulièrement efficace. L'emprise au sol du végétal est capitale et détermine sa capacité à piéger les matériaux marneux en transit.

Le piégeage a été observé même lors d'un événement pluvieux intense. Mais on a également assisté à des relargages des sédiments précédemment piégés lors de forts événements pluvieux. Ceci nous porte à nous interroger sur la pérennité de la rétention des matériaux. Il existe certainement des seuils de blocage, de part et d'autre desquels il peut y avoir soit relargage, soit fixation durable des matériaux bloqués. Ces seuils pourraient notamment dépendre d'une part de l'intensité de la pluie, d'autre part de la densité, la hauteur ou encore la continuité de l'obstacle.

Il apparaît donc que la continuité de l'obstacle végétal est un paramètre prépondérant pour l'efficacité du piégeage, mais aussi que la végétation doit nécessairement constituer une barrière ne pouvant être ni traversée ni contournée par les écoulements. Ces constats confirment ainsi les dires de plusieurs auteurs cités dans l'introduction (Meyer *et al.*, 1995 ; Van Dijk *et al.*, 1996 ; Lee *et al.*, 1999 ; Bochet *et al.*, 2000).

3-1-2 - Les profils topographiques

De manière générale, les tranchées réalisées sur des versants de ravines ont révélé des accumulations de sédiments meubles à l'amont de barrières végétales, avec des dépôts de sédiments de plusieurs dizaines de centimètres d'épaisseur sur une roche marneuse parfois fortement inclinée.

On peut ici écarter l'hypothèse selon laquelle la végétation se serait installée sur des sédiments naturellement atterris. En effet, des éléments indiquent que les sédiments meubles ont été stoppés par des écrans végétaux durant leur transit sur versant :

- les pentes sont très fortes, proches de 45° ; un atterrissement naturel des sédiments n'est pas envisageable, la pente d'équilibre du régolite se situant plutôt autour de 33° (Robert, 2000) ;
- la végétation est souvent présente sur le versant et non en bas de versant.

Les tranchées ont également permis d'observer que les matériaux piégés pouvaient être recouverts d'une végétation colonisatrice ayant développé son système racinaire ; cette abondance de racines doit assurer la fixation des sédiments piégés.

Les étapes de la dynamique menant à la formation de ces accumulations de sédiments meubles sous une couverture végétale semblent être les suivantes.

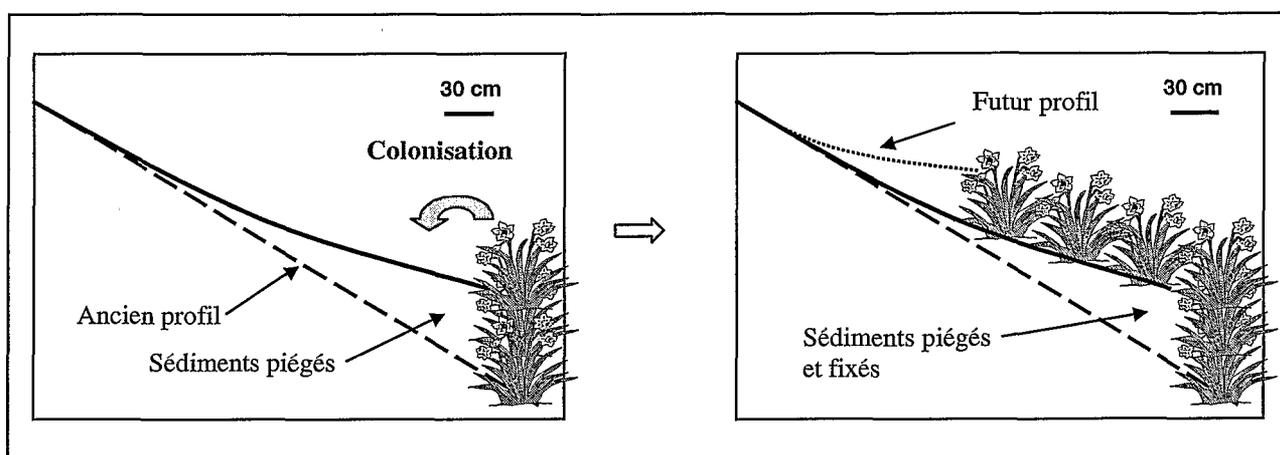
Le développement des parties aériennes des broussailles et des herbacées, avec des plantes à dissémination et installation faciles telles que la bauche ou la bugrane, permet de stopper le transit de sédiments érodés en amont : la végétation joue son rôle de protection « passive » contre l'érosion en piégeant les sédiments, provoquant ainsi un atterrissement de matériaux meubles à l'amont.

Ensuite, une dynamique végétale se met en place (figure 3). Si ces matériaux sont retenus quelques années, les plants de la barrière végétale, recouverts de sédiments lors des pluies intenses mais résistant à l'ensevelissement, vont croître sur les sédiments accumulés, comme l'expliquent Valentin *et al.* (1999) et Chappell *et al.* (1999).

De plus, les atterrissements constituent des terrains suffisamment stables pour permettre une installation d'espèces buissonnantes telles que la bugrane ou l'argousier. Cette installation de plants est également favorisée par l'augmentation de la profondeur et de la capacité d'infiltration des sols.

Tous ces végétaux vont alors développer rapidement un système racinaire important permettant une fixation des sédiments meubles bloqués : la végétation joue alors son rôle de protection « active » contre l'érosion. On retrouve ainsi la roche marneuse enfouie sous plusieurs dizaines de centimètres de matériaux meubles et avec une pente de plus de 40 ° ; à la surface de cette accumulation, la pente est beaucoup plus faible. Ainsi, l'efficacité du piégeage augmente avec le développement des végétaux.

Figure 3 : Dynamique végétale après piégeage de sédiments par une barrière végétale



Bien sûr, la réussite de la fixation des sédiments sur le versant ou dans le lit n'est assurée que si un certain seuil de résistance de l'écran végétal – qui reste à déterminer – n'est pas dépassé lors d'orages ou de crues majeures. A moyen terme, la rupture de pente créée par l'atterrissement entraînera par elle-même l'arrêt des matériaux en transit, la dynamique végétale continuant à jouer son rôle dans la fixation de ces matériaux.

3-2 - Efficacité des barrières végétales pour le piégeage des sédiments marneux

3-2-1 - Détermination d'une surface moyenne et d'une surface optimale de barrière végétale « efficace »

La relation entre la surface d'une zone érodée « piégée » et la surface d'une barrière végétale « efficace » pour les 40 placettes est présentée sur la figure 4. En appliquant une régression linéaire, on obtient la relation suivante :

$$y = 0,71x \text{ (} R^2 = 0,67 \text{ et } r = 0,82 \text{)}$$

Les coefficients de détermination (R^2) et de Bravais-Pearson (R) sont élevés, ce qui traduit, d'une part, la bonne qualité du modèle proposé (information résiduelle de 33 % seulement) et, d'autre part, une forte corrélation entre les deux variables.

Pour se replacer dans le contexte du terrain, la relation établie peut être formulée de la manière suivante :

$$\text{Surface moyenne barrière végétale (m}^2\text{)} = 0,71 \times \text{Surface zone érodée (m}^2\text{)}$$

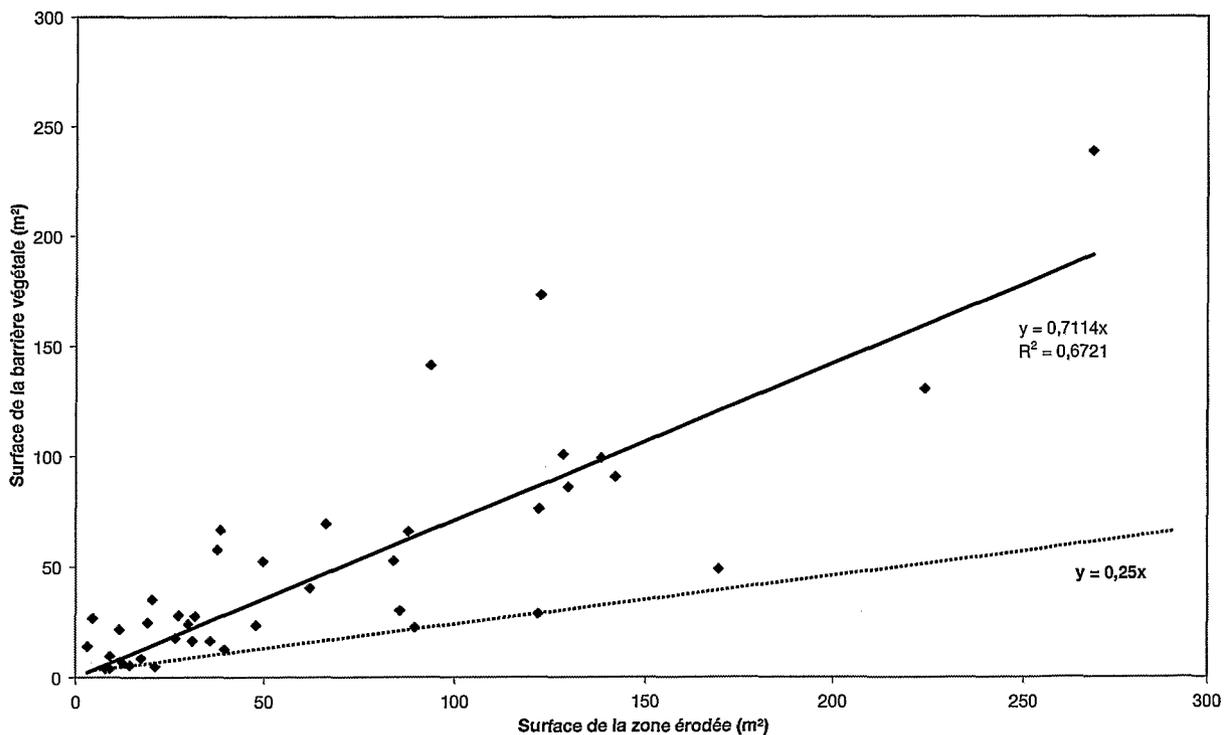
Sur la figure 4, on trace une droite de « surface minimale » prenant en compte les barrières végétales optimales. L'équation de la droite est la suivante : $y = 0,25x$.

Elle pourrait également s'écrire de la manière suivante :

$$\text{Surface optimale barrière végétale (m}^2\text{)} = 0,25 \times \text{Surface zone érodée (m}^2\text{)}$$

En d'autres termes, on peut dire que sur une placette marneuse S, une barrière végétale à l'aval recouvrant 20 % seulement de cette placette peut être suffisante pour en empêcher toute sortie de sédiments. Ce résultat correspond à une efficacité optimale des barrières végétales pour l'échantillon de 40 placettes étudiées.

Figure 4 : Relation entre la surface d'une zone érodée « piégée » et la surface d'une barrière végétale « efficace » : mise en évidence d'une surface moyenne (trait plein) et optimale (pointillés) de barrière végétale



3-2-2 - Détermination d'une surface maximale de zone érodée « piégée »

L'échantillonnage de l'étude a surtout permis d'étudier des zones en érosion dont la taille allait jusqu'à 320 m². Dans le bassin versant du Brusquet, nous n'avons pas identifié de

zone érodée « piégée » de plus grande taille. Il est alors possible qu'une taille maximale de zone érodée potentiellement « piégée » par une barrière végétale ait été mise en évidence ; des études de terrain plus poussées doivent cependant être menées avant de tirer une telle conclusion.

3-2-3 - Discussion sur la qualité du modèle régressif

3-2-3-1 - Influence de la pente

L'érosion varie selon la pente, si bien que pour une même surface de zone érodée, un volume de sédiments plus important est produit sur fortes pentes (Rovéra *et al.*, 1999). En conséquence, les barrières végétales « efficaces » devraient être plus développées sur fortes pentes. Il était très difficile de trouver sur le terrain des pentes identiques d'un point d'observation à un autre. Sur l'échantillon de 40 placettes d'observation, les pentes s'échelonnaient entre 15 et 49°, avec une moyenne située à 33°. L'influence de la pente a donc été étudiée plus particulièrement. Pour cela, nous avons séparé les placettes en deux groupes, en prenant comme limite de séparation la valeur moyenne des pentes étudiées : on a ainsi distingué les placettes avec une pente inférieure à 33° et celles avec une pente égale ou supérieure à 33°. Les relations entre la surface des zones érodées « piégées » et la surface des barrières végétales « efficaces » ont alors été étudiées pour chacun des groupes.

Les relations sont : $y = 0,55x$ ($R^2 = 0,41$) pour les pentes inférieures à 33°, et $y = 0,77x$ ($R^2 = 0,71$) pour les pentes égales ou supérieures à 33°. Les résultats montrent que la relation est très peu différente pour les placettes de pente supérieure à 33° et pour l'ensemble des placettes. En-dessous de 33°, une moindre surface de barrière végétale est suffisante pour piéger tous les sédiments issus d'une zone en érosion de surface constante. Cependant, ces résultats montrent que les relations ne sont pas très différentes de celle établie quelle que soit la pente. La pente ne semble donc pas intervenir de manière importante dans les relations établies entre la surface d'une zone érodée et la surface de la barrière végétale « efficace » à l'aval pour piéger tous les sédiments. Il est possible qu'en réalité la pente intervienne dans la quantité de sédiments produite. Mais nous avons ici étudié des placettes pour lesquelles les barrières végétales étaient totalement efficaces. Pour ces placettes, un équilibre s'est instauré entre dynamique érosive et dynamique végétale, où cette dernière a pris le dessus. Dans cette situation, la barrière végétale peut être sur-dimensionnée en raison de la dynamique végétale. Si elle est jugée efficace pour une forte pente, alors elle l'est nécessairement pour une pente plus faible.

3-2-3-2 - Sur-dimensionnement des barrières végétales prises en compte

Il peut exister un problème de sur-dimensionnement des barrières végétales prises en compte dans l'étude, en fonction de la géomorphologie des placettes étudiées et de la dynamique végétale.

En effet, la micro-topographie peut jouer un rôle important dans la détermination de l'efficacité des barrières végétales à piéger les sédiments érodés. Lorsqu'on a affaire à une forme incisée comme un lit de ravine, les sédiments érodés se concentrent à l'aval de la zone en érosion avant de rencontrer la barrière végétale, si bien que toute la surface de la barrière végétale à l'aval de la zone érodée n'intervient pas forcément dans le piégeage des sédiments. En conséquence, il peut y avoir sur-dimensionnement de la barrière végétale prise en compte. Ainsi, la surface de la barrière végétale, si elle représente une surface efficace suffisante pour

le piégeage, n'est pas forcément une surface efficace nécessaire. La géomorphologie des placettes a donc été notée et étudiée. On a différencié les formes « versant », où des rigoles pouvaient être plus ou moins présentes, des formes « lit ». On peut remarquer ici que nous avons étudié l'effet des barrières végétales aussi bien sur versant que dans les lits de ravines. Or, nous avons vu précédemment que le piégeage n'était pas très évident sur versant. Cependant, le piégeage peut être efficace sur versant si la barrière végétale est continue à l'aval d'une zone en érosion. En l'occurrence, c'est toujours le cas dans les placettes étudiées ici.

Concernant les formes « versant », il n'apparaît pas de relation entre la surface de la zone érodée et la surface de la barrière végétale efficace à l'aval. De plus, les parcelles étudiées sont dans ce cas très petites, la surface des zones en érosion étant inférieure à 40 m². Il n'est donc pas possible de tirer des conclusions sur l'efficacité des barrières végétales pour le piégeage des sédiments sur de plus grandes placettes de forme « versant ». Par contre, pour les formes « lit », une relation existe entre la surface de la zone érodée et la surface de la barrière végétale efficace à l'aval ; cette relation est la suivante : $y = 0,71x$ ($R^2 = 0,60$). Cette relation est très peu différente de celle établie quelle que soit la géomorphologie de la placette. Ainsi, nous pouvons en déduire que la géomorphologie des terrains n'est pas à mettre en cause dans un éventuel sur-dimensionnement des barrières végétales.

Il est possible que certaines barrières végétales prises en compte dans l'étude soient sur-dimensionnées pour le piégeage de la surface érodée à l'amont. En effet, les barrières végétales ne sont pas figées dans le temps ; elles se développent sur les matériaux piégés par le jeu de la dynamique végétale. L'efficacité de la barrière végétale augmente donc avec cette dynamique, et la barrière peut alors se développer en surface au-delà de ce qui est suffisant pour une efficacité de piégeage complète. La surface de barrière végétale, nécessaire au piégeage complet des sédiments, telle qu'elle a été prise en compte dans cette étude a ainsi peut-être été sur-estimée : ce sont donc des barrières suffisantes mais pas forcément nécessaires.

4 - CONCLUSION GÉNÉRALE

Les observations montrent, de manière qualitative et « semi-quantitative », que le piégeage de sédiments marneux en transit dans une ravine peut avoir lieu à l'amont de barrières végétales et que la rétention de sédiments peut être durable grâce aux racines des végétaux colonisant les atterrissements. En particulier, la végétation située dans les lits de ravines joue un rôle significatif. Sur versants, les accumulations de sédiments dues à des barrières végétales apparaissent moins importantes, en particulier à cause du morcellement de la végétation : les sédiments peuvent alors contourner les écrans végétaux. La présence d'une végétation au sol, c'est-à-dire des strates herbacée et sous-arbustives, ainsi que la continuité des barrières végétales, apparaissent comme des facteurs prépondérants pour l'efficacité du piégeage.

L'étude sur l'efficacité des barrières végétales pour le piégeage des sédiments marneux a permis de mettre en évidence une relation linéaire moyenne entre la surface d'une zone en érosion et la surface de la barrière végétale à l'aval efficace pour piéger tous les sédiments issus de cette zone érodée ; cette relation est la suivante :

$$\text{Surface moyenne barrière végétale (m}^2\text{)} = 0,71 \times \text{Surface zone érodée (m}^2\text{)}.$$

Elle a également permis de mettre en évidence une surface optimale de barrière végétale efficace pour piéger tous les sédiments issus d'une zone érodée ; cette relation est la suivante :

$$\text{Surface optimale barrière végétale (m}^2\text{)} = 0,25 \times \text{Surface zone érodée (m}^2\text{)}.$$

Ce résultat indique que sur une zone marneuse en érosion de surface inférieure à 500 m², une barrière végétale recouvrant 20 % de cette zone et située entièrement à l'aval de celle-ci peut permettre de maîtriser complètement la sortie de sédiments de celle-ci. Les relations établies ne dépendent pas des variations de pente, sauf légèrement pour les pentes inférieures à 33°, pour lesquelles une moindre surface de barrière végétale est suffisante. Les résultats laissent penser que le morcellement des zones en érosion, et donc la distribution spatiale de la végétation au sein d'une ravine, doivent être importants pour la détermination de la production sédimentaire à son exutoire.

5 - BIBLIOGRAPHIE

- Abu-Zreig M. 2001. Factors affecting sediment trapping in vegetated filter strips: simulation study using VFSSMOD. *Hydrological Processes*, vol. 15, pp. 1477-1488.
- Abu-Zreig M., Rudra R.P., Whiteley H.R. 2001. Validation of a vegetated filter strip model (VFSSMOD). *Hydrological Processes*, vol. 15, pp. 729-742.
- Beuselincx L., Steegen A., Govers G., Nachtergaele J., Takken I. Poesen J. 2000. Characteristics of sediment deposits formed by intense rainfall events in small catchments in the Belgian Loam Belt. *Geomorphology*, vol. 32, pp. 69-82.
- Biot Y. 1990. The use of tree mounds as benchmarks of previous land surfaces in a semi-arid tree savanna, Botswana. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 437-450.
- Bochet E., Poesen J., Rubio J.L. 2000. Mound development as an interaction of individual plants with soil, water erosion and sedimentation processes on slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 25, pp. 847-867.
- Bryan R.B., Brun S.E. 1999. Laboratory experiments on sequential scour/deposition and their application to the development of banded vegetation. *Catena*, vol. 37, pp. 147-163.
- Cammeraat L.H., Imeson A.C. 1999. The evolution and significance of soil-vegetation patterns following land abandonment and fire in Spain. *Catena*, vol. 37, pp. 107-127.
- Chappell A., Valentin C., Warren A., Noon P., Charlton M., d'Herbès J.M. 1999. Testing the validity of upslope migration in banded vegetation from south-west Niger. *Catena*, vol. 37, pp. 217-229.
- Dabney S.M., Meyer L.D., Harmon W.C., Alonso C.V., Foster G.R. 1995. Depositional patterns of sediment trapped by grass hedges. *Transactions of the ASAE*, vol. 38, pp. 1719-1729.
- Dalton P.A., Smith R.J., Truong P.N.V. 1996. Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics. *Agricultural Water Management*, vol. 31, pp. 91-104.
- Guerrero-Campo J., Alberto F., Hodgson J., GarciaRuiz JM, MontserratMarti G. 1999. Plant community patterns in a gypsum area of NE Spain. I. Interactions with topographic factors and soil erosion. *Journal of Arid Environments*, vol. 41 (4), pp. 401-410.
- Guerrero-Campo J., Montserrat-Marti G. 2000. Effects of soil erosion on the floristic composition of plant communities on marl in northeast Spain. *Journal of Vegetation Science*, vol. 11, pp. 329-336.
- Haddouche M. 1999. *Traitement statistique des données hydrologiques des bassins versants de Draix*. Grenoble : Cemagref, 31 p. (Rapport de stage IUT).
- Hidalgo J.C.G., Pellicer F., Sierralta L, Lopez M.V. 1990. Spatial distribution patterns of morphogenetic processes in a semi-arid region. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 399-417.

- Kikuchi T., Miura O. 1993. Vegetation patterns in relation to micro-scale landforms in hilly land regions. *Vegetatio*, vol. 106, pp. 147-154.
- Kosmas C., Danalatos N.G., Gerontidis S. 2000. The effect of land parameters on vegetation performance and degree of erosion under Mediterranean conditions. *Catena*, vol. 40, pp. 3-17.
- Lecompte M., Lhenaff R., Marre A. 1998. Huit ans de mesures du ravinement des marnes dans les Baronnies méridionales (Préalpes françaises du sud). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°4, pp. 351-374.
- Lee K.H., Isenhardt T.M., Schultz R.C., Mickelson S.K. 1999. Nutrient and sediment removal by switchgrass and cool-season grass filter strips in Central Iowa, USA. *Agroforestry systems*, vol. 44, pp. 121-132.
- Lee K.H., Isenhardt T.M., Schultz R.C., Mickelson S.K. 2000. Multispecies riparian buffers trap sediment and nutrients during rainfall simulations. *Journal of environmental quality*, vol. 29, pp. 1200-1205.
- Meyer L.D., Dabney S.M., Harmon W.C., 1995. Sediment-trapping effectiveness of stiff-grass hedges. *Transactions of the ASAE*, vol. 38, pp. 809-815.
- Navette B. 2001. *Etude des relations entre zones érodées marneuses et barrières végétales*. Grenoble : Cemagref, 42 p. (Mémoire d'IUT).
- Pethick J., Leggett D., Husain L. 1990. Boundary layers under salt marsh vegetation developed in tidal currents. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 113-124.
- Poncet A. 1995. *Restauration et conservation des terrains en montagne*. Office national des forêts, Paris, 1000 p.
- Poudel D.D., Midmore D.J., West L.T. 1999. Erosion and productivity of vegetable systems on sloping volcanic ash-derived Philippine soils. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 63, pp. 1366-1376.
- Rey F. 2002. *Influence de la distribution spatiale de la végétation sur la production sédimentaire de ravines marneuses dans les Alpes du Sud*. Grenoble : Université Joseph Fourier / Cemagref, 183 p. (Thèse de doctorat).
- Richard D., Mathys N. 1999. Historique, contexte technique et scientifique des BVRE de Draix. Caractéristiques, données disponibles et principaux résultats acquis au cours de dix ans de suivi. *Actes du colloque « Les bassins versants expérimentaux de Draix, laboratoire d'étude de l'érosion en montagne », Draix, Le Brusquet, Digne, France, 22-24 October 1997*. Cemagref, Grenoble, France, pp. 11-28.
- Robert Y. 2000. *Modélisation et techniques de mesures de l'érosion dans les bad-lands marneux des Alpes du Sud. Approche expérimentale à l'échelle de la ravine sur les bassins de Draix*. Grenoble : Institut de Géographie Alpine - Université Joseph Fourier, 173 p. (Mémoire de DEA).
- Rovéra G., Robert Y., Coubat M., Nedjaï R. 1999a. Erosion et stades biorhexistasiques dans les ravines du Saignon (Alpes de Provence) ; essai de modélisation statistique des vitesses d'érosion sur marnes. *Etudes de Géographie Physique, travaux 1999*, vol. 28, pp. 109-115.
- Sanchez G., Puigdefabregas J. 1994. Interactions of plant growth and sediment movement on slopes in a semi-arid environment. *Geomorphology*, vol. 9, pp. 243-260.
- Takken I., Beuselinck L., Nachtergaele J., Govers G., Poesen J., Degraer G. 1999. Spatial evaluation of a physically-based distributed erosion model (LISEM). *Catena*, vol. 37, pp. 431-447.
- Thorne C.R. 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 125-144.
- Valentin C., d'Herbès J.M., Poesen J. 1999. Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena*, vol. 37, pp. 1-24.
- Van Dijk P.M., Kwaad F.J.P.M., Klapwijk M. 1996. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes*, vol. 10, pp. 1069-1080.
- Viles H.A. 1990. 'The agency of organic beings': a selective review of recent work in biogeomorphology. In *Vegetation and erosion: processes and environments*. Ed. J.B. Thornes. Chichester, John Wiley & Sons Ltd, pp. 5-24.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Rey, F.; Chauvin, C.; Richard, D.; Mathys, N.; Rovéra, G.; Morel, A. - Le piégeage des sédiments marneux par des barrières végétales (Alpes du sud, France), pp. 331-345, Bulletin du RESEAU EROSION n° 21, 2002.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr