

Division Protection contre les érosions

**Onzièmes journées du Réseau Erosion  
Centre ORSTOM de Bondy / Septembre 1994**

**Le matériel végétal :  
un outil pour la protection des sols <sup>(1)</sup>**

Yves CROSAZ

CEMAGREF, 2 rue de la papeterie, B.P. 76, 38402 St Martin d'Hères Cedex

**1. Contexte général et objectifs de l'étude**

Le bassin méditerranéen regroupe un ensemble de **milieux écologiques sensibles aux perturbations**. Les multiples dégradations, qu'elles soient d'origine naturelle (vent, eau), ou anthropique (feu, terrassements, déforestation, etc...), sont à l'origine de graves dégâts dus à **l'érosion, l'appauvrissement des sols, et l'extension de la désertification**. Les sols ne remplissent alors plus leur rôle dans l'équilibre écologique des milieux. Depuis très longtemps, de multiples moyens sont mis en oeuvre pour tenter de restaurer ces terrains dégradés, notamment par les Services RTM (Services de Restauration des Terrains en Montagne) dès leur création au siècle dernier. Néanmoins, on a pu constater depuis quelques années une diminution des interventions de ce secteur, et aujourd'hui, il faut repenser les opérations du génie biologique en fonction de nouvelles contraintes, notamment des contraintes économiques.

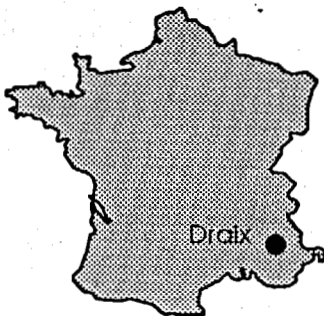
Sur le domaine méditerranéen le cas le plus couramment rencontré est celui particulièrement **sensible et difficile des marnes**. Compte tenu de l'ampleur des surfaces dégradées, la correction dite "de versant" paraît être coûteuse, mais elle s'avère néanmoins nécessaire lorsque les enjeux économiques sont trop importants (envasement des lacs et retenues des barrages). Nous voulons montrer que l'installation d'une végétation est **une solution envisageable** pour la correction de versant. Notre recherche s'articule ainsi autour de trois thèmes forts :

- **connaître les végétaux les plus efficaces** : ce travail consiste en une **sélection** des plantes les mieux adaptées à la colonisation rapide des marnes. Cette sélection est basée sur de multiples critères, en particulier les caractéristiques adaptatives des espèces aux conditions de milieux ;
- **savoir planter ces végétaux sur les sols en érosion** : l'instabilité du substrat rencontré oblige à concevoir l'utilisation de matériaux provisoires favorisant l'accrochage des plantes et la fixation momentanée des premiers centimètres instables du substrat. Une

recherche particulière est entreprise sur l'efficacité des différents matériaux permettant l'installation du matériel végétal ;

- mesurer l'influence des végétaux sur l'érosion superficielle du sol : nous savons aujourd'hui que la végétation stabilise le sol en le protégeant notamment de l'énergie cinétique des pluies. Elle exerce aussi une action sur la perméabilité du sol, sur l'écoulement des eaux de ruissellement... En modifiant ces différents paramètres, la végétation a un impact direct sur le fonctionnement général des bassins. Nous voulons quantifier cet impact qui se traduit par une modification des taux d'érosion.

Le site de Draix, près de Digne dans les Alpes du sud (Figure n°1), a été retenu en raison du fait qu'il est instrumenté et que des recherches et des mesures de l'érosion sont effectuées depuis une dizaine d'années sur plusieurs bassins versants expérimentaux (B.V.E.).



*Figure n°1 : localisation géographique du site d'étude*

## 2. Le matériel végétal

La couverture végétale qui protège et stabilise le sol ne doit pas être considérée comme une couche inerte, mais bien au contraire comme un milieu vivant, dynamique, et en constante évolution sous l'influence de multiples paramètres tels que le climat, les conditions édaphiques, topographiques, les compétitions intra et extra-spécifiques... Ainsi, l'implantation artificielle d'une végétation dans un milieu donné n'est pas sans conséquences sur son environnement. Bien que ponctuelle, une opération de végétalisation doit donc, dès le départ, prendre en compte l'évolution future des plantes mises en place. Pour des questions de gestion et d'entretien, nous avons écarté d'emblée de notre recherche les végétaux ligneux pour nous intéresser principalement aux végétaux de la strate herbacée.

### 2-1. Définition des plantes à utiliser pour la végétalisation

Dans le but de pérenniser les interventions de végétalisation, nous avons centré nos efforts sur les végétaux présents naturellement sur le site, et la sélection est effectuée sur la base de documents cartographiques existants, d'observations consignées dans la bibliographie, et de relevés de terrain.

La végétation climacique de la zone de Draix est composée d'espèces appartenant à deux séries végétales : la forêt de Chêne pubescent et Buis (Querceto-buxetum) (Ozenda, 1966) et la forêt de Pin sylvestre (Pinetum silvestris submediterraneum), (Schmid E., 1936). Des groupements supplémentaires sont observés en relation avec les conditions

spécifiques de milieu : le groupement d'éboulis (*calamagrostidetum*), le groupement de roubines.

Quelques ouvrages (Barouillet, 1982) répertorient les espèces végétales susceptibles d'être retenues ou déjà utilisées dans la lutte contre l'érosion des sols par les services RTM, et classées suivant des caractéristiques édaphiques et bioclimatiques.

Nous avons mené plusieurs campagnes d'observations in situ et défini un certain nombre de critères biologiques, anatomiques et écologiques pour déterminer précisément les espèces susceptibles d'être intéressantes pour notre problématique. Les principaux critères sur lesquels nous nous sommes appuyés ont conduit à sélectionner :

- des plantes vivaces, assurant une bonne couverture du sol ;
- des plantes héliophiles ;
- des plantes qui se développent bien sur des sols pauvres, à pH basique, constitués de matériaux grossiers et caillouteux ;
- des plantes résistantes à la sécheresse et au gel ;

Dans le règne végétal, il y a deux grandes familles qui regroupent des espèces possédant plusieurs des caractéristiques énoncées ci-dessus.

### Les Graminées

C'est un groupe très intéressant car les espèces sont toujours très résistantes aux conditions extrêmes dans lesquelles elles vivent. Le système racinaire dense et ramifié, développé dans les premiers décimètres, est très efficace quant à l'accrochage des plantes sur le sol, et constitue un réseau qui fixe fortement le sol. Les parties aériennes assurent une bonne couverture du sol et donc une bonne protection contre l'énergie cinétique de la pluie. La multiplication végétative par tallage développe rapidement sur le terrain des touffes efficaces contre le ruissellement. Il est facile de récolter les graines et la production grainière est en générale importante.

A Draix, dans les pelouses denses, on trouve en abondance le Brome érigé (*Bromus erectus*) et la Fétuque ovine (*Festuca ovina*) ; en bordure de ces pelouses, sur les zones plus ouvertes de transition avec les terrains dénudés, se développent la Koelerie du Valais (*Koeleria valesiaca*), la Fétuque ovine, et sur les sols plus riches en azote le Dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*).

D'autres plantes forment des touffes denses, monospécifiques plus ou moins éparses, mais pouvant aussi couvrir le sol de manière continue, c'est le cas de la Mélisque ciliée (*Melica ciliata*), de la Stipe pennée (*Stipa pennata*) et de la Calamagrostide argentée (*Achnatherum calamagrostis*).

### Les Légumineuses

Les espèces de cette famille ont une caractéristique commune importante : au niveau de leurs racines, en symbiose avec des bactéries contenues dans des nodosités, elles peuvent absorber l'azote atmosphérique du sol ; cette source supplémentaire d'azote, élément nutritif important, permet à de nombreuses Légumineuses de se développer sur les terrains pauvres, et certaines espèces sont particulièrement intéressantes :

Le Sainfoin des rochers (*Onobrychis saxatilis*), l'Astragale de Montpellier (*Astragalus monspessulanus*), la Coronille minime (*Coronilla minima*), l'Ononis ligneux, ou Bugrane (*Ononis fruticosa*), l'Ononis natrix, ou Coqsigrue (*Ononis natrix*), l'Anthyllide vulnéraire (*Anthyllis vulneraria*) et l'Anthyllide des montagnes (*Anthyllis montana*).

A partir de l'analyse bibliographique et grâce aux observations de terrain, nous avons établi une première sélection en ne retenant qu'une quinzaine d'espèces (tableau n°1).

Graminées	Légumineuses	Autres familles
Achnatherum calamagrostis	Anthyllis montana	Aphyllanthes monspeliensis
Bromus erectus	Anthyllis vulneraria	Hippophae rhamnoides
Dactylis glomerata	Astragalus monspessulanus	Laserpitium gallicum
Festuca ovina	Coronilla minima	Paronychia capitata
Koeleria valesiaca	Onobrychis saxatilis	
Melica ciliata	Ononis fruticosa	
Stipa pennata	Ononis natrix	

*Tableau n°1 : liste des espèces sélectionnées*

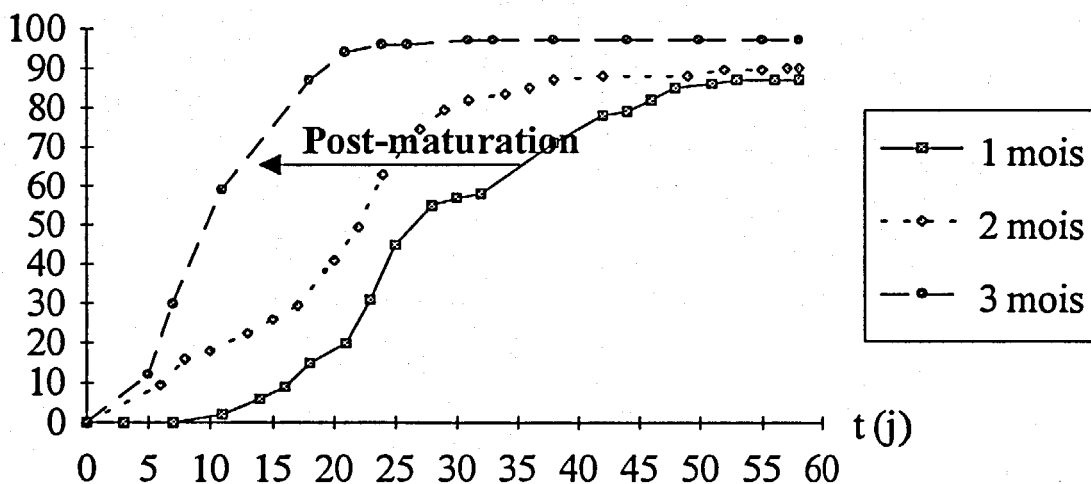
## 2-2. La connaissance des espèces végétales

L'originalité de cette partie réside dans le fait que très peu d'observations ont été réalisées sur les plantes de ce milieu quant à leurs **caractéristiques adaptatives** (morphologiques, écologiques...) et nos recherches portent sur certaines de ces caractéristiques.

### La germination

Après récolte, nettoyage et tris des semences, des essais de germination sont effectués pour déterminer les capacités germinatives de chaque espèce. Les graines sont placées dans des boîtes de Pétri transparentes, à la surface d'un substrat de papier filtre composé de 100 % de fibres de cellulose blanchie et imbibé de six millilitres d'eau déminéralisée. Les boîtes sont hermétiquement fermées et placées dans un germinateur, enceinte spécialement adaptée pour contrôler certains paramètres importants de la germination, notamment la température et l'éclairément.

### Germination à 20°C (%)



*Graphé n°1 : effet du stockage à 20°C sur la germination de Bromus erectus*

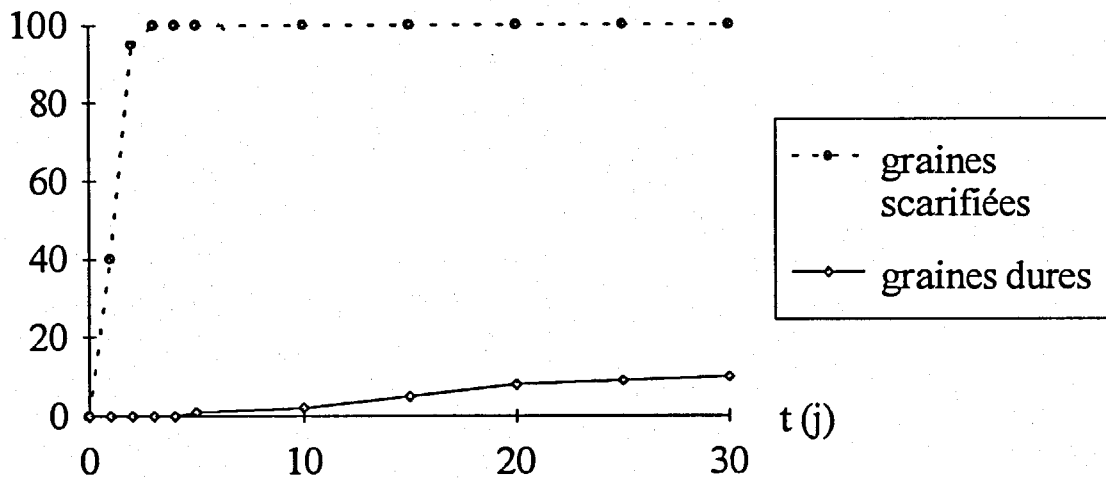
Les espèces de la famille des Graminées, notamment les céréales, ont fait l'objet de recherches approfondies et il est aujourd'hui admis qu'il existe pour ces espèces une inaptitude à germer à des températures élevées (20-25°C) lorsque les semences sont

fraîchement récoltées. Cette **dormance** est éliminée si les semences sont conservées au sec à 20-25°C pendant quelques mois (Côme et Corbinau, 1984).

Nos résultats provisoires concordent avec ce principe et montrent clairement que la **post-maturation** est un phénomène important pour la germination des graminées que nous étudions (graphe n°1).

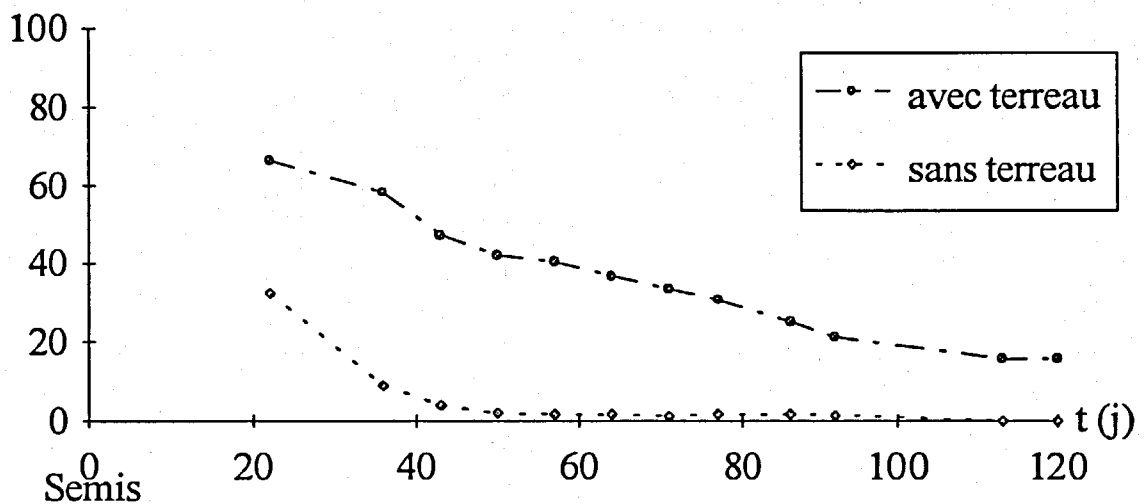
Les semences des Légumineuses fonctionnent différemment, et sont dites "**graines dures**" : il y a une forte inhibition à la germination exercée par les téguments qui entourent l'embryon. Si l'on casse ces enveloppes protectrices (par scarification chimique ou mécanique), la germination a lieu (Crocker et Barton, 1953). Les différentes opérations de scarification que nous avons mené sur les semences des Légumineuses sélectionnées confirment ce mécanisme (graphe n°2).

Germination à 20°C (%)



Grappe n°2 : effet de la scarification mécanique sur la germination d'*Onobrychis saxatilis*

Installation (%)

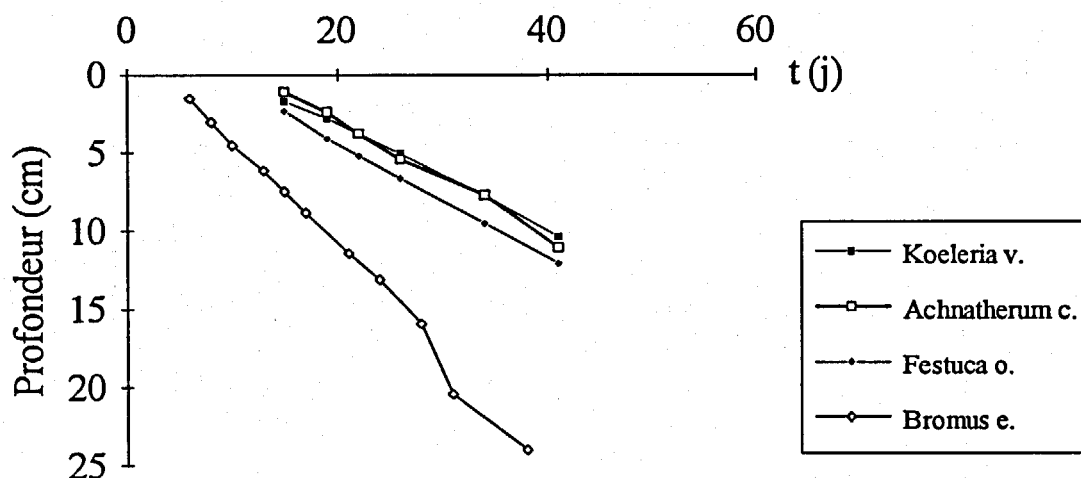


Grappe n°3 : effet d'une couche protectrice sur l'installation de jeunes plantules

Les premiers essais menés sur site afin de mieux comprendre l'influence des conditions du milieu sur la germination des espèces indiquent que l'apport d'une couche protectrice (terreau) favorise la germination des semences et augmente les chances de survie des jeunes plantules (graphe n°3).

### Le système racinaire

La connaissance du développement du système racinaire, notamment sa vitesse et son amplitude est très importante. Elle permet de sélectionner efficacement les espèces rapidement capables de s'ancrer sur le substrat instable et de fixer sur place la couche d'altération sensible à l'érosion. C'est pourquoi nous avons entrepris une étude biométrique de la croissance racinaire, en chambre de culture, grâce à l'utilisation d'un dispositif simple et adapté : le **mini-rhizotron**. Les premiers résultats obtenus sont intéressants (graphe n°4). Les croissances racinaires de la Koelérie de Valais, de la Calamagrostide argentée et de la Fétuque ovine sont du même ordre de grandeur (3,6 mm par jour), alors que celle du Brome érigé est nettement plus rapide (7,1 mm par jour).



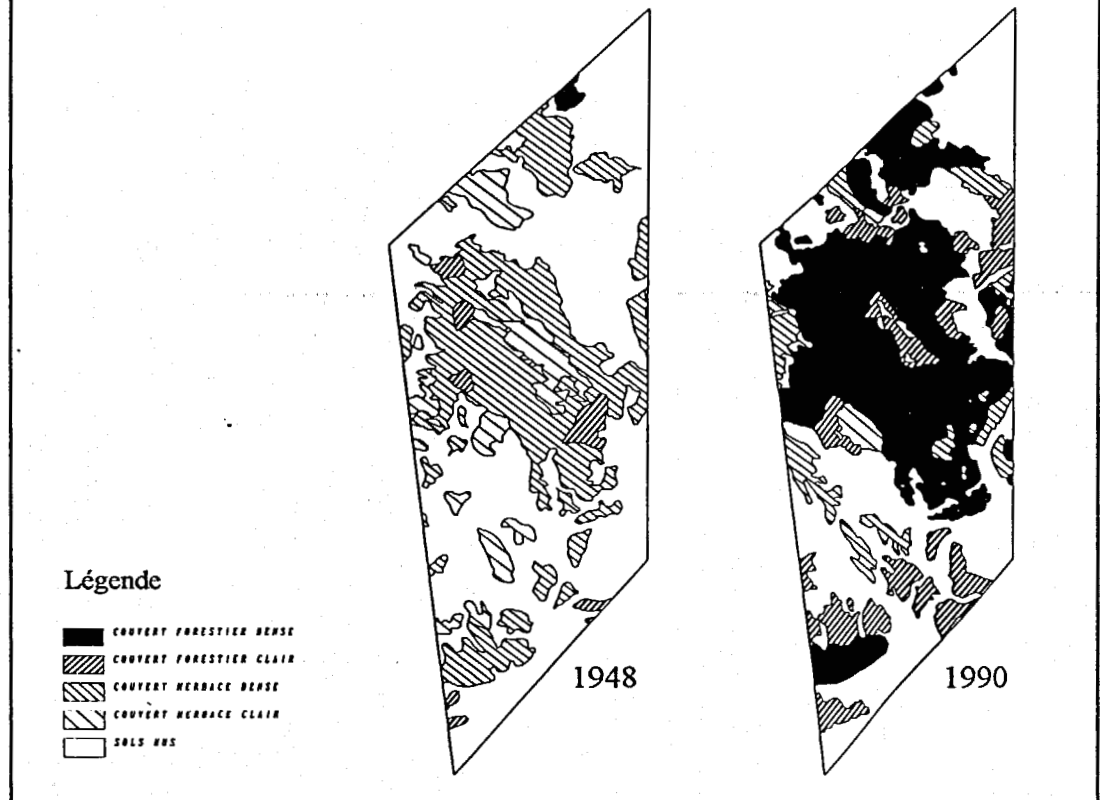
Grappe n°4 : profondeur de sol explorée par les racines de 4 Graminées en fonction du temps

Des essais sont actuellement en cours afin de montrer quelle est l'influence de la granulométrie du substrat sur la vitesse de croissance des racines ainsi que sur la biomasse du système souterrain.

### Dynamique naturelle de la végétation

Ce travail a pour but d'étudier l'évolution de la couverture végétale des bad-lands. Nous avons réalisé cette étude grâce à une analyse diachronique basée sur deux photographies aériennes, l'une de 1948 (1/25000), l'autre de 1990 (1/30000). Nous avons défini **cinq classes de discrimination** : couvert forestier dense, couvert forestier clair, couvert herbacé dense, couvert herbacé clair et sols nus. Les quatre premières classes constituent la couverture végétale. Les cartes réalisées manuellement ont ensuite été informatisées par digitalisation des contours sur le logiciel ARC-INFO. Nous avons travaillé sur deux zones, la première d'une superficie d'environ 20 ha, l'autre d'environ 8 ha (figure n°2).

Figure n°2 : Evolution de la couverture végétale entre 1948 et 1990 (zone 2)



L'analyse du tableau n°2 indique que la **couverture végétale est en progression** : elle augmente de 10 % sur la zone 1 et de 20 % sur la zone 2 en un peu plus de quarante ans. Il semble donc qu'une partie importante des secteurs en érosion il y a quarante ans sont aujourd'hui couverts et protégés par la végétation. Ainsi **l'évolution des bad-lands s'effectue dans le sens de la conquête des terrains par la végétation.**

	Zone 1		Zone 2	
	1948	1990	1948	1990
Couverture végétale	36.9	46.6	40.6	60.0
Sols nus	63.1	53.4	59.4	40.0

Tableau n°2 : évolution du couvert végétal exprimée en pour cent de la surface totale

L'augmentation globale du couvert végétal peut être détaillée en suivant l'évolution de points répartis uniformément sur les zones étudiées. Il s'avère que 60 % pour la zone 1 et 85 % pour la zone 2 de l'augmentation globale correspondent au couvert forestier, principalement représentés par le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*). Cette espèce s'est développée sur des zones initialement herbacées (35 % pour la zone 1, 60 % pour la zone 2) et sur des terrains totalement dénudés (20 % pour la zone 1 et 30 % pour la zone 2). Sur les marnes du bathonien-oxfordien de Draix le Pin sylvestre s'est donc développé avec une grande rapidité, sur des sols nus ou partiellement colonisés et nos

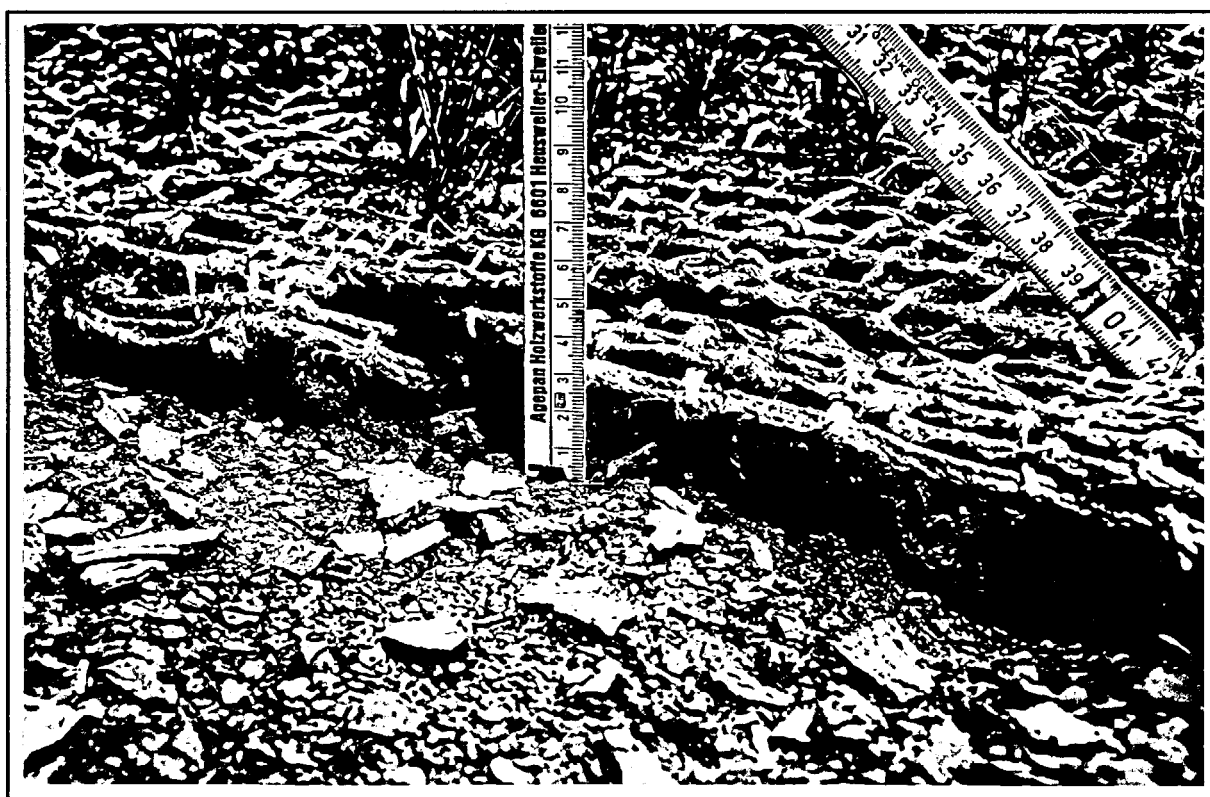
résultats vont dans le même sens que d'autres travaux qui ont montré le grand dynamisme de cette espèce dans le sud-est de la France (Gabouriaux, 1984 ; Barbero et col., 1990).

Il apparaît aussi tout à fait intéressant de souligner que l'augmentation de la couverture végétale n'est pas la résultante entre des secteurs où la végétation progresse et des secteurs où la végétation régresse. En effet, nous n'avons trouvé aucune zone couverte en 1948 et qui ne l'était plus en 1990. Autrement dit les végétaux qui arrivent à se fixer sur ces terrains, se maintiennent en place et sont capables de partir à la conquête des espaces nus dégradés.

Il reste néanmoins à définir quelles sont les influences de la topographie et de l'exposition sur cette dynamique végétale.

### 3. Technique d'installation du matériel végétal

C'est le semis qui est envisagé pour la végétalisation des marnes noires, en raison de sa rapidité de mise en oeuvre (semis hydraulique), de l'utilisation aisée du matériel végétal sous forme de graines, et de la possibilité d'obtenir une couverture rapide et dense du sol. L'utilisation des semences nécessite alors de trouver une technique qui permette d'une part de fixer momentanément sur les versants la couche superficielle d'altération en constante érosion, et d'autre part de retenir les semences le temps de la germination, en favorisant notamment les zones d'accrochage. De nombreux produits existent (géotextiles synthétiques, matériaux naturels) et sont utilisés dans les travaux de réhabilitation ou de protection de sites. Des études comparatives (Cancelli et col., 1990 ; Crosaz, 1993) permettent de mieux sélectionner les produits à utiliser en fonction des besoins.

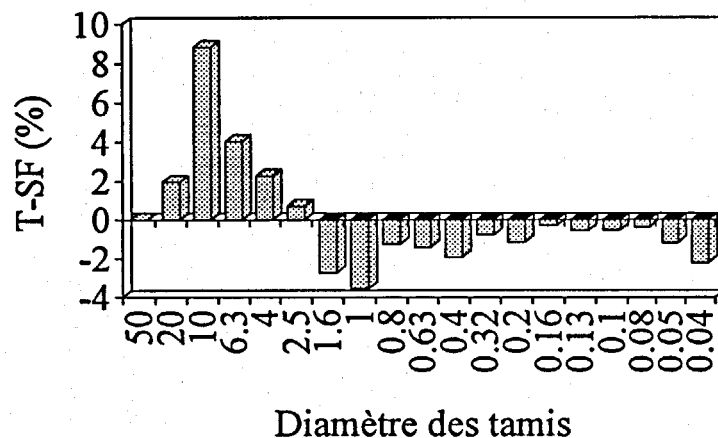


*Photo n°1 : le filet fixe la couche superficielle d'altération*



Notre objectif est ici de comparer au moyen de parcelles de quelques mètres carrés certains produits qui, à priori, semblent pouvoir être efficaces sur le substrat marneux. Nous étudions principalement deux matériaux naturels et biodégradables. Un filet en fibres de jute filées et tissées formant une structure maillée et ouverte d'environ 15 mm par 15 mm, et un matelas constitué de fibres végétales cardées (fibres de coton et de bois), contenant un mélange d'espèces autochtones (matelas pré-ensemencé).

Le recul nécessaire à une analyse comparée sérieuse n'est pas suffisant, néanmoins nous pouvons dès maintenant mettre en évidence l'influence qu'exerce le filet en fibre de jute sur le substrat. Il est en effet incontestable que le filet retient sur place des matériaux (photo n°1). L'épaisseur de la couche ainsi fixée en 14 mois varie de 10 à plus de 30 mm suivant les secteurs. Ce résultat est à mettre en relation avec l'ablation moyenne annuelle de l'ordre de 11 à 12 mm, calculée à partir de la production de sédiments (t/an) mesurée aux exutoires des différents B.V.R.E. (Brochot et Meunier, 1994). L'impact du filet sur la quantité de matériaux retenus est donc considérable.



Graph n°5 : Différence de proportion entre le témoin (T) et la parcelle sous filet (SF)

En outre, ce produit a aussi une influence sur la qualité des matériaux fixés : toutes les courbes granulométriques sont décalées vers les classes de plus petits diamètres. Sur le graphe n°5, nous pouvons constater qu'il existe un "diamètre seuil" au dessous duquel les proportions de matériaux sont systématiquement plus grandes pour l'échantillon prélevé sous le filet (SF) que l'échantillon témoin (T). Sur les parcelles témoins, les produits de désagrégation des plaquettes, de plus en plus fins et sensibles au ruissellement, sont régulièrement emportés alors qu'ils sont maintenus sur place, protégés par le filet.

Pente	24%	72%	92%
Diamètre seuil (mm)	[0.8-1]	[1.6-2.5]	[2.5-4]
Différences maximales (%)	1.7	9	28

Tableau n°2 : influence de la pente sur les caractéristiques granulométriques

Ce résultat est le même pour les différentes valeurs de pente étudiées. Par contre, les différences maximales entre les classes (T-SF), ainsi que le "diamètre seuil" augmente lorsque la pente augmente (tableau n°2). Ainsi, les différences maximales peuvent atteindre presque 30 % lorsque la pente est de 92 % alors qu'elles ne dépassent pas 2 % lorsque la pente est de 24 %.

#### 4. Mesure de l'efficacité de la végétalisation

Sur des terrains difficiles et particuliers tels que les marnes noires, les mesures sont difficiles et l'incertitude est grande ; il est alors judicieux de s'en tenir à des ordres de grandeur, plus facilement généralisables à de grands domaines tel qu'un bassin versant. Nous avons donc opté pour un dispositif simple qui permette d'étudier le fonctionnement des ravines élémentaires. Il est constitué d'un ouvrage en béton disposé à l'aval de la ravine et forme une mini-plage de dépôt qui retient les matériaux grossiers grâce à une grille métallique, escamotable pour faciliter le curage du piège. Les matériaux retenus sont mesurés à l'aide de seaux jaugés.

Deux ravines ont été équipées : la première d'une superficie de 300 m<sup>2</sup> environ et une pente moyenne de 38 %, la deuxième d'une superficie de 750 m<sup>2</sup> environ et une pente moyenne de 18 %. Les deux ravines étudiées ont été laissées en l'état naturel dénudé pendant un an puis ont été végétalisées (décembre 1993). Nous avons traité environ 30 % de la surface totale de chacune des ravines en disposant des bandes de filet perpendiculairement aux lignes de pente. Les bandes ont été plaquées sur des inflorescences de Calamagrostide argenteée préalablement récoltées.

La modélisation du fonctionnement des ravines est en cours et les paramètres explicatifs avec lesquels nous travaillons sont essentiellement pluviométriques : la hauteur totale d'eau tombée (h tot), l'intensité de la pluie (Int), l'énergie cinétique (Ec) et le coefficient d'érosivité (R) (Wischmeier et Smith, 1958).

Il s'avère que la capacité maximale d'infiltration du substrat (CEMAGREF-ONF/RTM, 1987 ; Bufalo et Nahon, 1992), est un élément important à prendre en compte dans notre modèle. En effet, pour les pluies dont l'intensité est inférieure à la capacité d'infiltration, il ne se produit généralement pas de ruissellement et donc pas de transport de sédiments. Nos premiers résultats vont dans ce sens et les meilleures corrélations sont obtenues pour des seuils d'intensité supérieure à 10 mm/h (tableau n°3).

Seuil (mm/h)	0	5	10	15
h tot	0.36	0.77	0.84	0.89
Σ h tot	0.17	0.56	0.93	-
Ec	0.59	0.81	0.86	0.89
Σ Ec	0.29	0.68	0.94	-

Tableau n°3 : effet de l'introduction d'un seuil d'intensité de pluie sur les corrélations entre les volumes de sédiments mesurés dans la plage et quelques paramètres explicatifs (calculs sur 12 événements de l'année 1993)

La mesure de l'érosion correspondant à l'état végétalisé est en cours. La comparaison de l'érosion des bassins entre les deux états nous permettra d'analyser l'impact de la couverture végétale sur le fonctionnement des ravines et sur les taux d'érosion.

Des expériences sont en préparation à l'échelle de la parcelle (un mètre carré) dans le but de comparer in situ l'érosion superficielle, en particulier les quantités de matériaux transportés et les matières en suspension, entre une surface témoin entièrement dénudée et une surface entièrement recouverte par un tapis herbacé dense mis en place par végétalisation (filet et semis). Nous utiliserons un simulateur de pluie du type ORSTOM, et un dispositif de recueil des eaux de ruissellement et des matériaux spécialement mis au point pour ces essais.

## 5. Conclusion et perspectives

Cette recherche est menée dans le cadre d'une thèse, et l'objectif que nous nous sommes fixé est ambitieux, notamment en regard du peu de temps dont nous disposons. En effet, l'utilisation du matériel végétal pour la protection des sols et la lutte contre l'érosion nécessite une connaissance préalable et approfondie des espèces quant à leurs potentialités de développement et de fixation des terrains rencontrés. Les études que nous avons entreprises dans ce domaine nous permettront bientôt de proposer une solution végétale efficace basée sur la sélection pertinente des plantes les plus adaptées, et sur la quantification de leur impact sur la réduction des taux d'érosion. Néanmoins, dans le but d'améliorer et d'optimiser la méthode de végétalisation des badlands, d'autres recherches devront être menées, en particulier sur le développement de nouveaux géotextiles (structures tridimensionnelles), la connaissance de la pente limite d'intervention, l'étude de la dynamique de conquête des espaces dénudés à partir des zones végétalisées, la recherche d'autres espèces végétales efficaces (arbustes, arbres, plantes exotiques).

(1) Ce texte a fait l'objet d'une présentation orale lors de la dix neuvième session du Groupe de travail sur l'aménagement des bassins versants de montagne, organisée par la F.A.O. à Jaca (Espagne) en juillet 1994.

## Références bibliographiques

- CANCELLI A., MONTI R., RIMOLDI P., 1990, *Comparative study of geosynthetics for erosion control*, in Geotextiles, Geomembranes and Related Products, ed. Den Hoedt, Balkema, Rotterdam, pp 403-408.
- BARBERO M., BONIN G., LOISEL R., QUEZEL P., 1990, *Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the mediterranean basin*, Vegetatio, n°87, pp 151-173.
- BAROUILLET J., 1982, *La revégétalisation dans les Alpes du Sud - Choix et emploi des espèces herbacées ou arbustives*, document technique CEMAGREF, 148 p.
- BAROUILLET J., 1982, *Guide des espèces d'embroussaillage et d'enherbement dans les Alpes du Sud - Annexes*.
- BROCHOT S. et MEUNIER M., 1994, *Erosion de badlands dans les Alpes du Sud - Synthèse*, rapport d'étude CEMAGREF-Ministère de la recherche et de l'espace, 44 p.
- BUFALO M. et NAHON D., 1992, *Erosional processes of Mediterranean badlands : a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion*, Geoderma, n°52, pp 133-147.

- CEMAGREF-ONF/RTM**, 1987, *Bassins versants expérimentaux de Draix-Compte rendu de recherche n°1 en érosion et hydraulique torrentielle*, rapport, 128 p.
- CÔME D. et CORBINEAU F.**, 1984, *La dormance des semences des céréales et son élimination - Principales caractéristiques*, C.R. de l'Académie d'Agriculture de France, 70, n°5, pp 709-715.
- CROCKER W. et BARTON L. V.**, 1953, *Physiology of seeds - An introduction to the experimental study of seed and germination problems*, Chronica Botanica Company, Waltham, Mass, USA, 267 p.
- CROSAZ Y.**, 1993, *Recherche sur la fixation des sols et essais de comportements des fixateurs et matériaux composites pour la revégétalisation en zones extrêmes*, rapport d'étude CEMAGREF-SIRAS, 44 p.
- GABOURIAUT C.**, 1984, *Etudes diachroniques (1900-1980) et cartographie par photo-interprétation de l'évolution des végétations forestières suite à la déprise rurale - Application à un secteur des Alpes Maritimes (06) : Isola, St-Martin-Vésubie*, thèse, Aix-Marseille III, 82 p.
- OZENDA P.**, 1966, *Perspectives nouvelles pour l'étude phytogéographique des Alpes du Sud*, Documents pour la carte de la végétation des Alpes, IV, pp 71-108.
- SCHMID E.**, 1936, *Die reliktföhrenwälder der Alpen*, Beitr. zur geobot., Landesaufnahme des Schweiz, Bern, 190 P.
- WISCHMEIER W.H. and SMITH D.D.**, 1958, *Rainfall energy and its relationship to soil loss*, Trans.-American Geophysical Union, n°39, pp 285-291.

**RESEAU  
EROSION**



**Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION**

**Pour citer cet article / How to cite this article**

Crosaz, Y. - Le matériel végétal : un outil pour la protection des sols, pp. 449-460, Bulletin du RESEAU EROSION n° 15, 1995.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : [beep@ird.fr](mailto:beep@ird.fr)