

L'APPLICATION D'UNE METHODE PEDOGEOMORPHIQUE POUR LA CONSERVATION DES SOLS DANS LES MONTAGNES DU HAUT-ATLAS, MAROC.

J.P. Newell Price, H.R. Fox & H.M. Moore

Department of Geography, University of Derby, Kedleston Road, Derby DE22 1GB, R.U.

Résumé

L'analyse du petit bassin versant d'Askaouen, dans les montagnes du Haut Atlas, montre que l'application d'une méthode pédogéomorphique peut aider à la compréhension de la variation spatio-temporelle des processus d'érosion. La méthode fournit des informations sur les unités pédogéomorphiques qui déterminent les débits liquides et solides en tout point du bassin versant et à une échelle adaptée à la mise en œuvre des mesures d'intervention pour la conservation des sols. Les débits solides ont été mesurés à l'aide d'auges de Gerlach sur deux sites. Le premier site se trouve près du village d'Abane sur un socle granitique altéré et raviné tandis que le deuxième site est localisé à Izguern sur un versant dominé par des tufs andésitiques et des andésites. Les auges de Gerlach étaient placées par paire à la base de chaque unité de terrain. De plus, à l'embouchure du microbassin d'Abane, un seuil a été construit afin de collecter les sédiments d'écoulement du réseau hydrographique. La mesure de la quantité de sédiments a permis de constater que les débits solides provenant des ravins sont beaucoup plus importants que ceux provenant des versants. Les résultats ont montré qu'à Abane, la sensibilité à l'érosion de la pente colluviale est le facteur dominant qui détermine la perte en sol pendant chaque événement. Cependant à Izguern, les débits solides s'expliquent plutôt par l'état de saturation des sols au sommet du versant.

Mots clés - sol, érosion, conservation, ravins, toposéquence, Maroc.

Abstract

In a study of the Askaouen sub-basin in the High Atlas mountains it is shown that a pedogeomorphic approach based on soil toposequences can provide a framework for understanding the spatial and temporal character of erosion processes. It provides information on the land units which are dominant in determining sediment yields at each point in the basin and at a scale suited to the formulation of soil conservation strategies. Sediment yields were measured using Gerlach troughs at two sites. The first site, near the village of Abane, is located in a gully microcatchment on weathered granite. The second site at Izguern is underlain by andesitic tuff and andesite. Troughs were arranged in pairs at the base of each principal land surface. In addition, at Abane, at the mouth of the gully micro-catchment, a granite and concrete dam was constructed, in order to capture sediment derived from the gully network. Measurement of the amount of sediment captured at the dam revealed that gully sediment yields were significantly greater than hillslope sediment yields. The results also revealed that at Abane the colluvial footslope is the dominant land unit in determining hillslope sediment yield. However, at Izguern it is the soils of the interfluvium which are most important in determining sediment yields.

Key words - soil, erosion, conservation, gullies, toposequence, Morocco.

INTRODUCTION

Depuis la mise en place de la politique des barrages en 1967, le contrôle de l'envasement des retenues a été une priorité environnementale pour le gouvernement marocain. Bien que la dégradation spécifique des bassins versants dans la région du Haut Atlas est moins importante que celle du Maroc septentrional (Heusch et Milles-Lacroix, 1971, Probst et Amiotte Suchet, 1992), elle demeure un processus à surveiller à cause de la perte en capacité des barrages ainsi que la perte en productivité des terres situées en amont.

Cet article se concentre sur le projet d'aménagement du bassin versant d'Aoulouz où un barrage de 103 millions de m³ a été construit en 1991 à l'embouchure d'un bassin versant de 4446 km² à l'extrême Est de la vallée du Souss (cf Figure 1). La Direction Régionale de l'Hydraulique d'Agadir a estimé le taux de comblement dans le bassin d'Aoulouz à 1,4 Mm³ par an. Cependant, jusqu'en 1994, il n'existait pas de données sur les taux d'érosion des versants et des ravins pour ce bassin versant.

Deux sites dans le petit bassin versant d'Askaouen (cf Figure 2) ont été choisis afin de mesurer le transport des matériaux solides et d'analyser l'efficacité d'une méthode pédogéomorphique par rapport à la définition de moyens d'intervention pour la conservation des sols.

PEDOGEOMORPHOLOGIE

La pédogéomorphologie est l'étude de l'action réciproque des propriétés et des processus pédologiques et géomorphologiques. Elle traite des processus actualisés du mouvement des matériaux solides et liquides qui se rapportent à l'érosion des sols et qui se manifestent dans le sol ou à la surface par des traits caractéristiques (Conacher et Dalrymple 1977).

Si la séquence typique des unités pédogéomorphiques peut être établie en tout point d'un bassin versant, il est possible d'évaluer la propension d'un versant à générer un ruissellement pluvial superficiel et alimenter des cours d'eau en sédiment (Newell Price 1996). Une relation peut être établie entre certaines lithologies et les toposéquences qu'elles génèrent de part et d'autre des ruisseaux d'ordre varié, sous certaines conditions bioclimatiques (Watson 19764, Mapa et Pathmaraja 1995).

De même, les caractéristiques d'un bassin versant peuvent être définies à partir de la séquence des unités de terrain qui se trouvent dans la zone de capture des eaux. Cependant, pour expliquer la quantité de ruissellement généré et les mécanismes d'érosion sur chaque versant, il faut considérer non seulement la variation des propriétés pédologiques sur ce versant mais aussi la dominance relative et la fonction hydrologique de certaines unités de terrain. Cet article montre comment dans le contexte du petit bassin versant d'Askaouen le contrôle efficace de telles unités est indispensable pour la réussite des stratégies de conservation des sols.

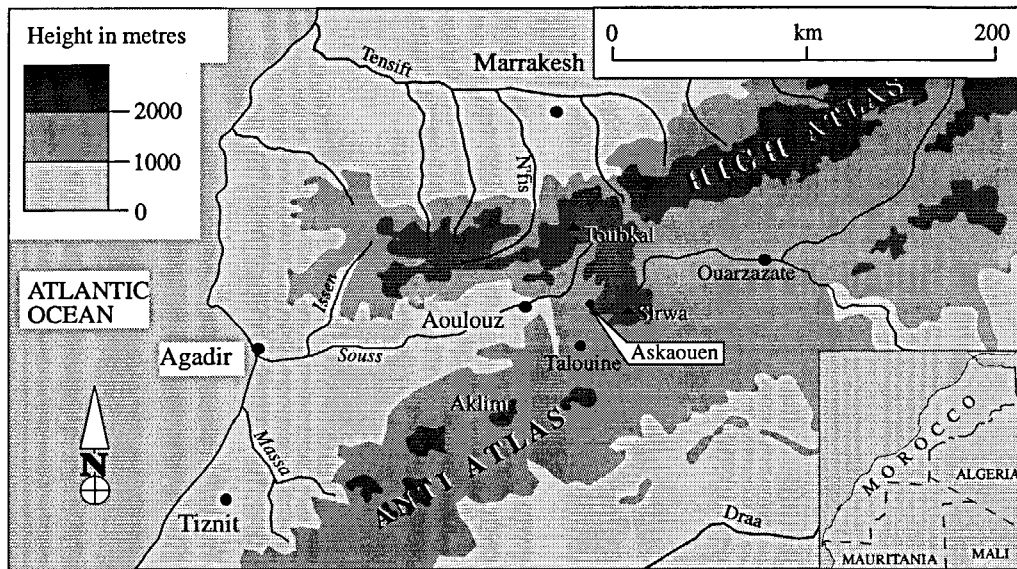


Fig. 1. Situation géographique d'Aoulouz et d'Askaouen au Maroc du Sud.

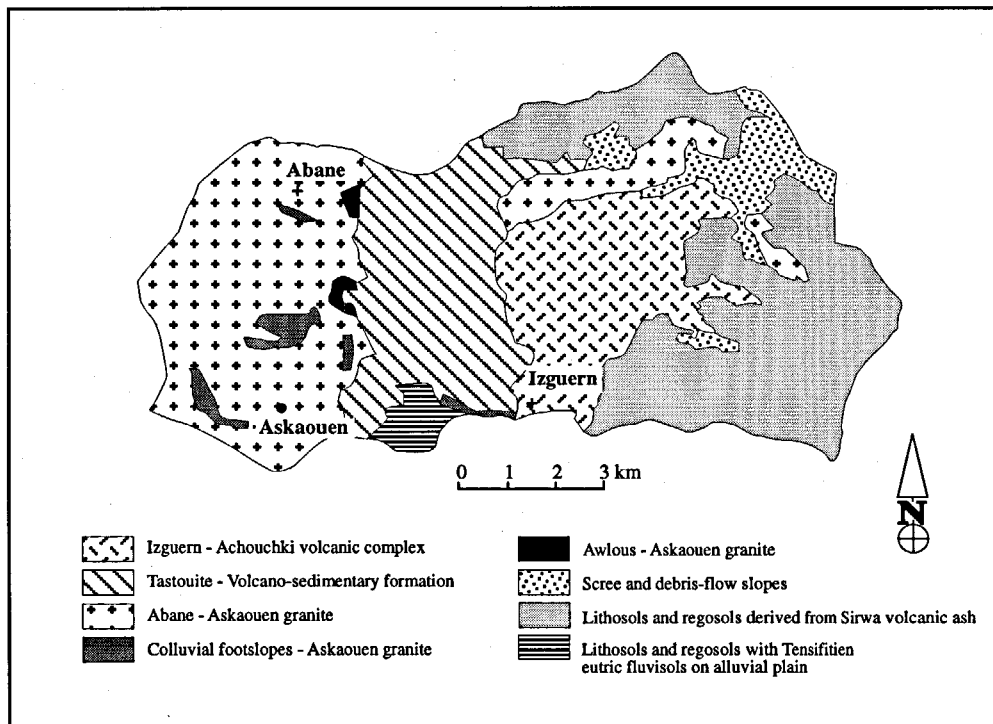


Fig. 2. Types de terrain et localisation des cites de suivi expérimental de bassin versant d'Askaouen.

LE BASSIN VERSANT D'ASKAOUEN

Le petit bassin versant d'Askaouen est situé dans une région montagneuse entre 1600 et 2800 m. d'altitude. Son climat sub-humide à semi-aride se caractérise par des étés chauds et secs peu orageux et des hivers doux et humides. Entre 1972 et 1994, la pluviométrie totale annuelle a été de 281 mm (Berkaoui, communication écrite, 1995). La partie orientale du bassin versant est dominée par des cendres micacées et des tufs trachytiques du socle volcanique de Sirwa. Vers l'Ouest, un autre complexe volcano-sédimentaire cède à des grandes superficies de granite gris d'Askaouen.

Les pentes raides de la moitié orientale du bassin associées à des sols peu profonds et squelettiques limitent l'occupation des sols à des parcours dégradés. Les sols du bassin se caractérisent par des teneurs en cailloux élevées, des croûtes de battance, des teneurs en matière organique basses et une structure anguleuse à agrégats polyédriques de dimension décimétrique. L'agriculture se concentre sur des terres irriguées à côté des ruisseaux principaux. L'orge et le blé sont cultivés de façon intercalaire avec navets, pommes de terre, fèves, carottes et luzerne. Pommiers, noyers et amandiers se développent sur des banquettes et des parcelles cultivées dans un système agro-forestier. L'orge est aussi semée sur des terrains non irrigués, dont la plupart se trouvent sur des sols sableux et sur des pentes douces granitiques.

METHODOLOGIE

Dans le cadre de cet article, ont été retenus deux sites d'étude, soient les parcours d'Abane et d'Izguern, où des contrastes dans les séquences des unités de terrain ont produit des différences de réaction aux épisodes d'érosion. Les moyens mis en œuvre pour l'aménagement et la conservation des sols devront nécessairement tenir compte de ces variations.

Le site d'Abane est caractérisé par la présence d'un microbassin raviné d'une superficie de 4,43 ha, situé sur un socle granitique altéré, à une altitude de 1950 m. En revanche, Izguern, situé à 2200 m. d'élévation, est un versant non raviné, dominé par des tufs andésitiques et des andésites. Les caractères physiques de ces deux sites sont résumés dans le tableau 1. Les figures 3 et 4 illustrent l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques respectives.

Les débits solides ont été mesurés à l'aide d'auges de Gerlach. Ces dernières étaient placées par paire à la base de chaque unité de terrain, au point représentatif des sites de convergence des écoulements. De plus, à l'embouchure du microbassin d'Abane, un seuil en ciment et granite a été construit le 04 Décembre 1993 afin de collecter les sédiments d'écoulement du réseau hydrographique et des pentes. La mesure de la quantité de sédiments collectés au seuil a permis d'établir des comparaisons entre les débits solides provenant des versants et ceux provenant des ravins.

Tableau 1 Caractéristiques des unités de terrain à Abane et à Izguern.

Site	Roche mère	Unité de terrain	Types de sol*	Couverture de cailloux moyenne (%)	Couverture végétale moyenne (%)	Densité des rigoles moyennes (rigoles m ⁻¹) x 10 ²
Abane	Granite altéré	penne en haut de 25%	eutric anthrosols eutric cambisols	37,2	6,7	22 (93-94) 8 (94-95)
Abane	Granite altéré	penne en bas de 22%	eutric cambisols eutric leptosols	26,9	4,0	8
Izguern	Tuf andésitique	penne en haut de 16%	eutric leptosols eutric cambisols	77,0	6,0	16
Izguern	Tuf andésitique	penne en bas de 20%	eutric leptosols eutric cambisols	75,5	5,4	18

* système de classification FAO

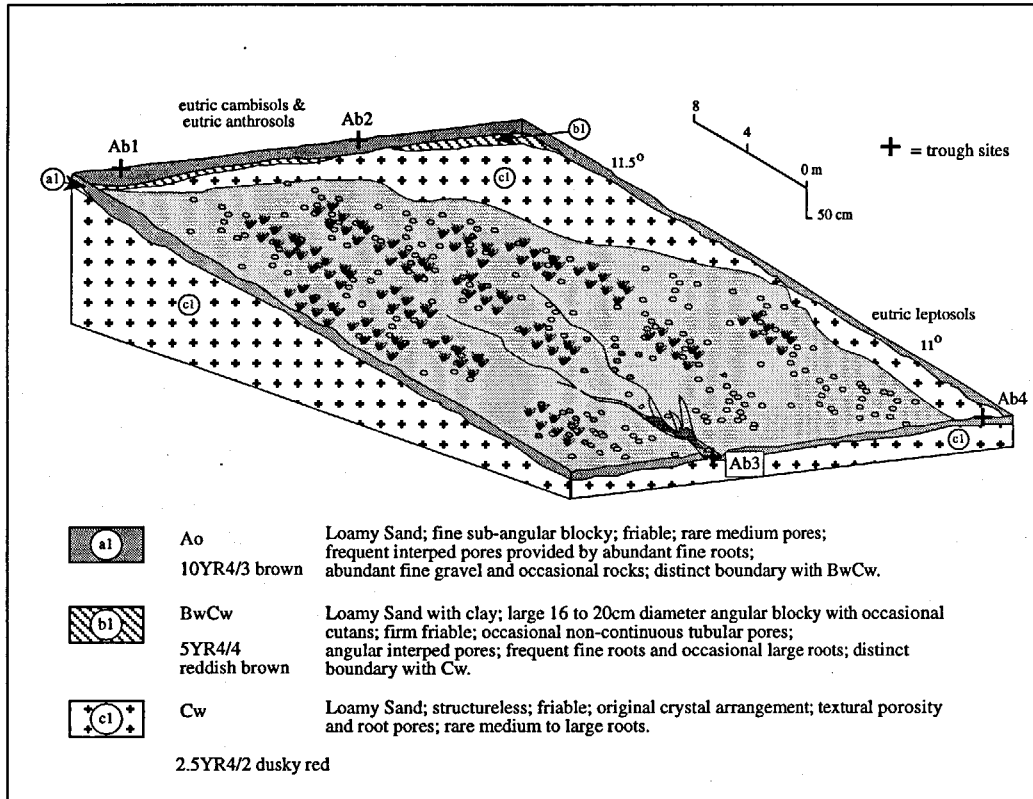


Fig. 3. Organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques et configuration de la surface à Abane.

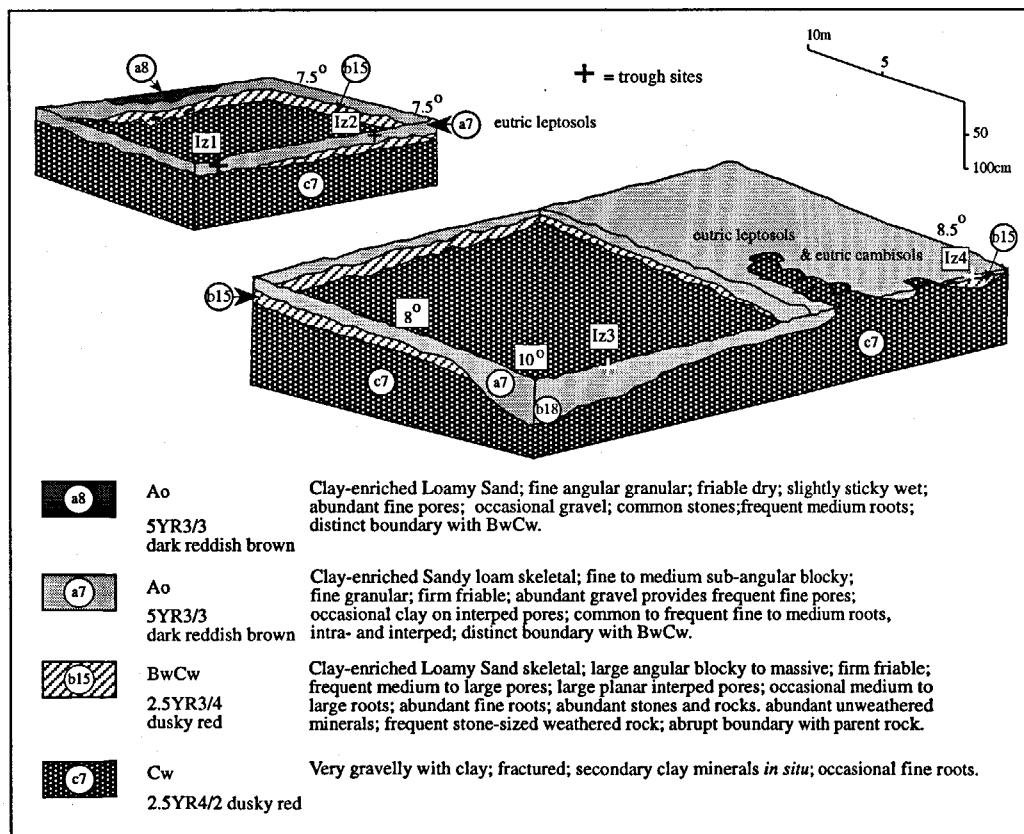


Fig. 4. Organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques et configuration de la surface à Izguern.

METHODES D'INTERVENTION

Comme cela a été expliqué précédemment, les propriétés du sol et la position sur la pente de certaines unités pédogéomorphiques peuvent avoir un effet dominant sur le transport des matériaux solides à travers toute la pente. La méthode permet d'identifier de telles unités ainsi que les mesures de conservation appropriées aux sites prioritaires.

A Abane, la toposéquence s'est développée en fonction de la pédogénèse qui s'est imposée et a conditionné les modalités de l'évolution du relief sur le granite altéré et l'effet de l'occupation du sol.

Sur les pentes de 20% en aval, des cônes de gros matériaux sableux et non cohésifs se sont déposés à la suite de l'érosion aréolaire, l'érosion par rigole et l'effet « winnowing » de l'écoulement (Figure 3).

La teneur en sable est une composante positive de la susceptibilité des sols à l'érosion par rigoles, particulièrement quand la teneur en matière organique est basse (Poesen et Govers 1990). Cela est démontré par la présence de rigoles de 8 à 12 cm de profondeur qui se sont développées en bas de pente. Une fois que l'incision des rigoles a été entamée, la faible cohésion des côtes des rigoles facilite des mouvements en masse et l'augmentation de la superficie du profil en travers des rigoles.

Les pentes colluviales en bas de pente sur le granite altéré sont donc sensibles à l'érosion par rigoles à cause de leur position sur la pente, de la pente elle-même et du matériau dont elles proviennent par pédogénèse. La profondeur limitée des sols en bas de pente est un facteur supplémentaire d'augmentation de leur sensibilité à l'érosion. Compte-tenu du fait que le granite altéré se situe à 15 cm de la surface, les taux d'infiltration sont limités par la faible conductivité hydraulique du granite altéré, même pendant des épisodes d'érosion relativement peu importants. En conséquence, le ruissellement du surplus d'infiltration (« infiltration excess overland flow ») ainsi que le ruissellement de saturation (« saturation overland flow ») sont activés et transmis plus rapidement à l'aval que sur les pentes où les sols sont plus profonds et les taux rapides d'infiltration initiaux se maintiennent plus longtemps.

Une telle zone, où les sols sont plus profonds, est typiquement la pente en amont de 25 % d'Abane (cf Figure 3). La sensibilité à l'érosion de cette pente est une fonction des matériaux du sol et de la forte pente, mais aussi de la position sur la pente des banquettes et leur mauvais entretien. Comme en aval, la teneur en sable de ces sols est élevée et la teneur en matière organique est basse (moyenne de 0,53 %). La sensibilité à l'érosion par rigoles de cette surface est donc inhérente au matériau altéré. Cependant, cette sensibilité a été exacerbée par un manque d'entretien des banquettes. Les terrasses abandonnées se situent à 30-45 m en aval d'un dyke exposé qui forme la ligne de partage des eaux. Cette distance est suffisante pour la génération et la transmission du ruissellement sur les terrasses abandonnées. L'effondrement des murettes a permis une concentration des écoulements entre les cailloux de granite de dimension centimétrique à décimétrique et a augmenté la probabilité d'érosion à tourbillon ("vortex erosion") et l'incision des rigoles (Bunte et Poesen 1994). Par conséquent, des rigoles se sont développées sur la pente en amont et ont ainsi provoqué la concentration du ruissellement en aval.

La micro-topographie en amont de la pente ne s'est transformée de manière significative que pendant un orage intense de 36 mm, survenu le 1er septembre 1994. Des rigoles d'une largeur de 20 cm et d'une profondeur de 4 cm se sont transformées en rigoles d'une largeur de 45 cm et une profondeur de 8 cm. Par la suite, ce changement de forme a produit une augmentation significative en débit de matériaux solides depuis un intervalle de valeurs de 1,2 à 6,5 kg km⁻² mm⁻¹ en 1993/94 à un intervalle de 10,8 à 457,3 kg km⁻² mm⁻¹ en 1994/95. Cet épisode confirme l'importance de l'entretien des structures de conservation des sols sur les parcelles sensibles à l'érosion. Sur le granite altéré, de telles unités se trouvent sur les pentes colluviales en aval à cause de leur position sur la pente. La répartition spatiale de l'érosion des sols à Abane montre que l'efficacité des banquettes en mi-pente ou en bas de pente peut être compromise si le ruissellement en amont n'est pas contrôlé.

La sensibilité à l'érosion par rigoles de la pente colluviale d'Abane comparable à celle d'Izguern a eu pour résultat des débits solides plus élevés à Abane qu'à Izguern pour les épisodes d'érosion pendant la saison sèche. Par contre, pendant et après la fonte des neiges, il n'y avait pas de différence significative en ce qui concerne le transport des sédiments entre les deux sites. Cette distribution spatio-temporelle s'explique par le contraste entre les sites provenant de deux types d'unité pédogéomorphique.

A Abane, c'est le dyke rhyolitique qui forme la ligne de partage des eaux tandis qu'à Izguern, l'interfluve est plus étalé. Ce sommet répandu permet aux sols de retenir et de déverser les eaux de fonte de neige. En conséquence, tandis qu'à Abane les caractéristiques de la pente colluviale dominent la détermination des quantités de sédiments transportés, à Izguern les sommets d'interfluve et les pentes en amont sont les unités déterminantes. Les sols d'Izguern en haut de pente sont souvent couverts de neige pendant les mois d'hiver. La neige maintient donc les sols près de la saturation et par la suite réduit la quantité et l'intensité de pluie requise pour activer le ruissellement et causer l'érosion des sols. Ces observations ont des implications pour le type d'intervention à mettre en place sur chaque site.

Ainsi, à Izguern, l'érosion des sols peut être réduite par le contrôle du ruissellement. Lorsque le ruissellement de saturation est activé, il n'est pas possible d'augmenter le taux d'infiltration. Donc l'écoulement érosif ne peut être réduit que par le détournement et la dissipation du ruissellement jusqu'à des aires stables sur les pentes colluviales et alluviales. Ce détournement pourrait s'effectuer par la construction de sillons de diversion graduels ("graded diversion furrows") au-dessus de la rupture de pente, soit entre 15% en haut et 20% en bas. Les sillons pourraient être remplis par des pierres d'andésite ou avec une graminée rustique de couverture (par exemple une espèce d'*Agropyron* ou *Elymus* résistante au gel) afin d'augmenter la rugosité hydraulique et de protéger la surface du sol au flux d'impulsion de l'écoulement.

En ce qui concerne le site d'Abane, les mesures d'intervention devraient se concentrer sur l'augmentation du taux d'infiltration, la divergence de l'écoulement et la prévention de l'incision des rigoles. En Tunisie méridionale, Floret et Floch (1984) ont observé que la technique de mulch avec de la paille d'orge et des brindilles d'*Artemisia campestris* et *Artemisia pungens* permet réduire l'érosion de manière significative. Les espèces d'*Agropyron* et *Artemeria* résistantes au gel et à la sécheresse pourraient être aussi plantées selon les courbes de niveau avec des barrières de pierres perméables et des résidus de végétation, dans le but de réduire la vitesse d'écoulement et de piéger les sédiments (United States Research Council 1993). Cependant, il faut éviter que des cônes de sédiment se forment au niveau des barrières puisqu'un tel développement peut aboutir à la concentration de l'écoulement et à la

propagation d'une érosion par rigoles catastrophiques (Loch, communication électronique, 1996). Cela a déjà été observé à Abane.

Bien que le contrôle de l'érosion sur les versants est indispensable pour la gestion conservatoire de l'eau et des sols, la mesure du transport des matériaux solides à Abane a montré que les débits solides dans les ravins étaient plus élevés que sur les versants, de deux ordres de magnitude. La priorité à Abane est donc la stabilisation des ravins. Leur fixation pourrait suivre une stratégie développée en Algérie par l'INRF (Roose 1991) et le PRODAP au Cap-Vert (Barry et al. 1995) en incorporant des spécifications précisées par Hudson (1995). En particulier, la construction de seuils vifs ("live dams") qui s'agrandissent au fur et à mesure de l'accumulation des sédiments pourrait bénéficier aux communautés rurales locales. Ces seuils peuvent accumuler plus de 10 m³ de sédiments pouvant contenir jusqu'à 40% d'eau (Barry et al. 1995). Un tel système n'a pas été valorisé jusqu'à présent. Des piquets de peuplier (*Populus alba x glandulosa*) qui poussent à la manière de coupes de régénération pourraient être utilisés pour renforcer les seuils. Sous de bonnes conditions, ces peupliers produisent un bois d'oeuvre de valeur au bout de cinq à dix ans. De même, des arbres fruitiers pourraient être aussi plantés sur ces seuils.

Il faut toujours s'assurer que les ravins et les berges sont stabilisés avant l'installation de diguettes ou de terrasses. Les mesures d'intervention devraient donc commencer dans les ravins, en procédant des confluent jusqu'à l'embouchure du réseau hydrographique, pour progresser finalement vers la gestion de tout le bassin. Il faudrait toujours gérer les pentes en amont, sources de ruissellement, avant les interventions sur les unités en aval. Une telle méthode est appropriée sur des pentes stables où l'érosion hypodermique n'est pas active.

Cependant il faut éviter l'augmentation du taux d'infiltration sur des pentes avec des sols vertiques ou avec un horizon d'accumulation d'argile puisque telle mesure peut aussi simultanément augmenter le risque de mouvements en masse ou le développement de l'érosion interne par tunnel. Ce n'est qu'en utilisant une méthode pédogéomorphique incluant la totalité du paysage, qu'il sera possible de prendre compte de telles possibilités, ainsi que de cibler les unités prioritaires d'intervention et d'assortir les plantes aux propriétés de chaque unité de terrain.

Remerciements

Les auteurs remercient les ingénieurs et les fonctionnaires de l'Administration des Eaux et Forêts à Rabat et Agadir pour avoir contribué au bon déroulement du projet. En particulier, nous adressons toute notre considération à M. El Kasri Mohammed, Chef du Centre Régional d'Etudes et d'Aménagement des Bassins Versants à Agadir et les habitants et fonctionnaires de la commune rurale d'Askaouen.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRY O., SMOLIKOWSKI B., ROOSE E., 1995 - Un projet de développement innovant au Cap-Vert : le PRODAP. *Agriculture et développement*, 34 : 57-68.
- BUNTE K., POESEN J., 1994 - Effects of rock fragment size and cover on overland flow hydraulics, local turbulence and sediment yield on an erodible soil surface. *Earth Surface Processes and Landforms*, 19 : 115-135.
- CONACHER A. J., DALRYMPLE J. B., 1977 - The nine unit landsurface model : an approach to pedogeomorphic research. *Geoderma*, 18 : 1-154.
- HEUSCH B., MILLIES-LACROIX A., 1971 - Une méthode pour estimer l'écoulement et l'érosion dans un bassin. Application au Maghreb. *Mines et Géologie (Rabat)* 33 : 21-39.
- HUDSON, N. W., 1995 - Soil conservation. London, Batsford.
- MAPA R. B., PATHMARAJA S., - 1995 Contrasts in the physical properties of three soils of an Alfisol catena in Sri Lanka. *Soil Use and Management*, 11 : 90-93.
- NEWELL PRICE, J. P., 1996 - The application of a pedogeomorphic approach to the assessment of soil erosion in the Askaouen sub-basin of the High Atlas mountains, southern Morocco. Ph.D. thesis, University of Derby, Derby (nonpubl.).
- POESEN, J., GOVERS, G., 1990 - Gully erosion in the Loam Belt of Belgium : typology and control measures. In « Soil erosion on agricultural land », J Boardman, I D L Foster, J A Dearing (eds), Wiley, London :513-530.
- PROBST, J. L., AMIOTTE SUCHET, P., 1992 - Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrol. Sci. J.* 37,(6) : 621-637.
- ROOSE, E. J., (1991) - Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive: la GCES. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* 26 : 145-181.
- UNITED STATES NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1993 - Vetiver grass: a thin green line against erosion. Board on Science and Technology for International Development, National Academy Press, Washington DC.
- WATSON, J. P., 1964 - A soil catena on granite in southern Rhodesia. *J. Soil Sci* 15, 2 : 238-257.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Newell Price, J. P.; Fox, H. R.; Moore, H. M. - L'application d'une méthode pédogéomorphique pour la conservation des sols dans les montagnes du Haut-Atlas, Maroc, pp. 304-313, Bulletin du RESEAU EROSION n° 17, 1997.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr