

METHODES DE MESURE DE L'ÉROSION ACTUELLE : APPLICATIONS DANS LES PRÉALPES DU SUD (FRANCE), ET LA SIERRA MADRE OCCIDENTALE (MEXIQUE)

Luc DESCROIX*, Pierre-Yves GUEDEZ**, Jérôme POULENARD**

*hydrologue, ORSTOM, Gomez Palacio, DGO, Mexique ;

** stagiaires de l'ISTOM, Institut des Sciences et Techniques d'Outre-Mer

Résumé

Dans deux contextes montagnards, les Préalpes du Sud en France et la Sierra Madre Occidentale au Nord Mexique, très contrastés, on a réalisé des séries de mesures de l'érosion suivant des procédés différents et des échelles diverses.

Les valeurs d'érosion sont bien plus fortes dans les Préalpes du Sud, où l'érosion est linéaire et où elle a pu être mesurée, dans les secteurs les plus productifs (bad-lands des marnes noires en particulier), que dans la Sierra Madre Occidentale, où le ravinement est rare, mais où le surpâturage et le déboisement conduisent à une dégradation du milieu.

La combinaison de mesures sur parcelles de taille diverses (du demi-mètre carré à 50 m²), à la règle topographique, sur BV (transports solides et charriage) de superficies variées (de 450 m² à 50 km²), a permis :

* de chiffrer de manière assez précise l'ablation de ces zones de montagne, qu'on peut estimer comme allant de 85 à 170 T/ha/an dans les bad-lands des Préalpes du Sud, à 0,5 à 45 T/ha /an dans les espaces dégradés par le surpâturage et le déboisement, dans la Sierra Madre Occidentale ;

* de connaître les variables explicatives, tant spatiales que temporelles, de l'érosion et du ruissellement dans ces milieux de montagne.

Mots clés : Erosion actuelle, méthodes de mesure, parcelles, règle topographique, Préalpes du Sud, Sierra Madre Occidentale.

Abstract

In two contrasted mountains, Southern Pre-Alps (Southern France) and the Western Sierra Madre (Northern Mexico), it has been realised measures of the erosion with different methods and scales.

The erosion values are higher in the Southern Pre-Alps, where erosion is linear with very damaged areas (bad lands in black marls, particularly), than in the Western Sierra Madre, where gully erosion is scarce, but where overgrazing and deforestation are degrading the environment.

The measures in different plotting areas (from half square meter to 50 m²), with a topographical ruler, in watersheds from 450 m² to 50 km², allows :

* to calculate the erosion in these mountainous areas : from 85 to 170 T/ha/year in the French Pre-Alps bad-lands, and from 0.5 to 45 T/ha/year in the degraded areas of the Western Sierra Madre.

* to know the explanatory variables, in space and time, of erosion and runoff in mountains.

Key words: Actual erosion, methods of measurement, plots, topographical ruler, Southern Pre-Alps, Western Sierra Madre.

LOCALISATION DES DISPOSITIFS DE MESURE

Les méthodes de mesure du ruissellement et de l'érosion actuelle sont pour la plupart classiques et très accessibles. On a utilisé ici, dans deux milieux de montagnes très différents, l'un sub-méditerranéen, l'autre sub-tropical semi-aride, un ensemble de procédés de mesures complémentaires qui ont permis de quantifier les phénomènes et le poids des variables explicatives de ces phénomènes.

Les conditions de l'érosion actuelle sont très différentes dans les deux exemples cités ici.

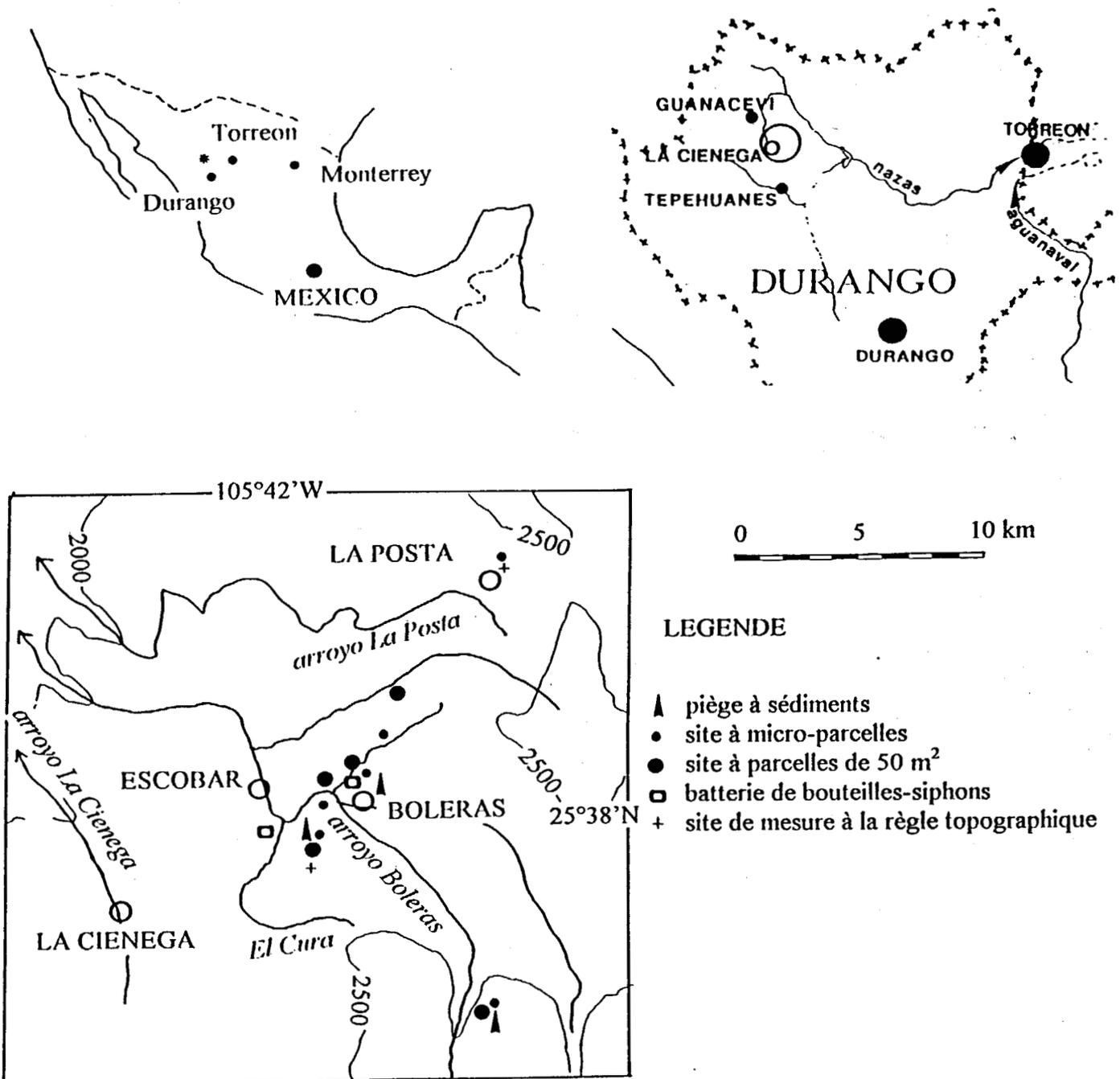


Figure 1 : Localisation et dispositifs de recherche dans la Sierra Madre Occidentale.

Dans le cas des Préalpes du Sud, étudiées de 1980 à 1992 (Descroix 1985 et Descroix 1994), on a affaire à un milieu sub-méditerranéen de moyenne montagne (800 à 2000 mètres) dans lequel plus de 80% de la surface est constituée d'affleurements de roches tendres. L'érosion linéaire y est forte et ses traces, héritées ou actuelles, occupent une proportion élevée de l'espace.

La Sierra Madre Occidentale est plus élevée (1600 à 3300 mètres dans l'Etat de Durango qui nous intéresse ici), mais elle est constituée en grande partie de plateaux rhyolitiques résistants à l'érosion (Descroix et Poulenard 1996 ; Poulenard, Descroix et Janeau 1996 ; Guedez 1996), en climat semi-aride à sub-humide. Le ravinement actuel existe, mais on a bien plus affaire ici à des processus d'érosion aréolaire que linéaire.

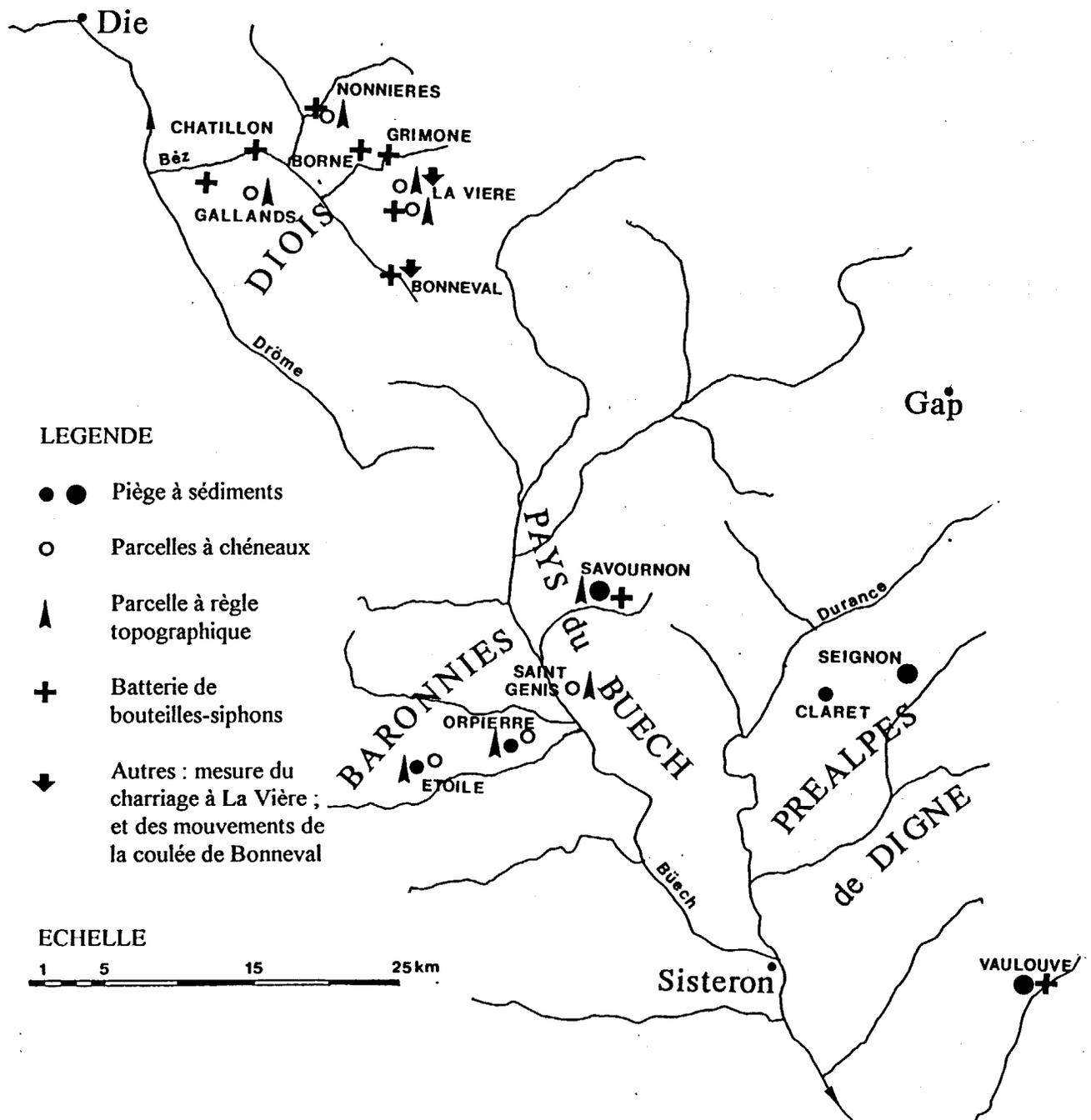


Figure 2 : Localisation et dispositifs de mesure dans les Préalpes du Sud.

PROCEDES DE MESURE DE L'EROSION ACTUELLE

Il ne sera question ici que des méthodes utilisées pour mesurer le départ et les transports de particules solides, à l'exclusion des transports dissous et des méthodes de mesure de la solifluxion. Ce dernier volet est primordial dans les Alpes du Sud mais demanderait des développements particuliers (Descroix, 1994).

Les parcelles à chéneaux

Il s'agit d'une parcelle bien délimitée, dont les eaux de ruissellement et leurs charges solides sont recueillies par un chéneau puis un tuyau jusqu'à un récipient de capacité suffisante pour fonctionner en retenue totale. Deux types de parcelles seront évoquées ici :

- la parcelle de $0,5 \text{ m}^2$ à 3 m^2 , qui est multipliable facilement ; à défaut de permettre des mesures représentatives de l'érosion à l'échelle du bassin ou du versant, elle permet, quand elle est développée en assez grand nombre, de connaître le poids relatif des facteurs d'érosion dans l'arrachement et le transport des particules : ainsi, pente, exposition, taux de couverture végétale, taux de pierrosité, perméabilité, existence ou non de litière, etc.. sont analysables à chaque fois en valeur relative. Ce type a été utilisé dans les Préalpes du Sud et dans la Sierra Madre mexicaine.

- la parcelle de 40 à 50 m^2 : c'est à peu près la limite supérieure des surfaces sur lesquelles on peut étudier ruissellement et érosion en retenue totale : une précipitation de 25 mm avec 100% de ruissellement produira 1 m^3 d'eau et de sédiments ; jusqu'à 2 m^3 , on peut installer pour recueillir le tout soit des bidons de 200 litres manipulables et disposés en série, si le terrain est bien préparé, par une seule personne, ou des fosses étanches facilement vidangeables. Là, le but n'est pas de faire varier les paramètres érosifs pour en connaître la contribution relative à l'arrachement, mais d'avoir des valeurs absolues sur la plus petite parcelle (5 m de large sur 10 m de long, dans le sens de la pente) sur laquelle commence à s'organiser le ruissellement. Au-dessus de cette surface, il faut installer des partiteurs ou des stations de mesure du ruissellement avec préleveurs d'échantillons. On n'a pas cherché à établir des parcelles de type Wischmeier, celles-ci étant prévues à l'origine comme parcelles-étalons pour des terrains agricoles de pente inférieures à 9° . Il a été impossible, autant dans les Alpes que dans la Sierra Madre Occidentale, d'installer ce type de parcelles ; ne s'agissant pas de terrains agricoles et les pentes inférieures à 9° étant rares, on a plutôt voulu installer la plus grande parcelle possible dont le maniement reste réalisable par une seule personne.

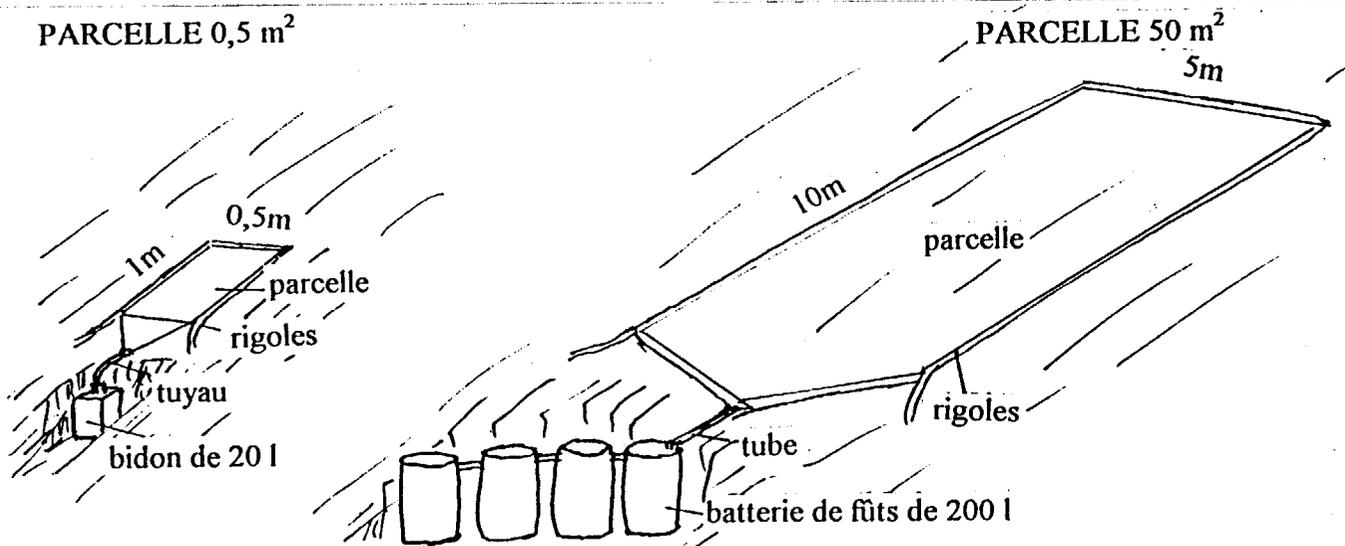


Figure 3 : Les parcelles à chéneaux.

La règle topographique

Il s'agit d'assurer un suivi topographique de portions de versants sans perturber le manteau d'altérites, grâce à une règle que l'on pose pour chaque mesure sur des supports fixes ancrés hors de la section à mesurer (fig. 4) ; l'ancrage des supports fixes doit être profond et très solide dans les pays de montagne, pour éviter que les installations ne soient déchaussées par "cryo-expulsion" (au moins 60 cm dans les Préalpes du Sud, à 700 mètres d'altitude) ; ce dispositif a été complété par une série de "plaquettes de reptation" destinées à mesurer le déplacement du manteau d'altération. Il s'agit de plaquettes de bois de 20 cm de haut, 4 de large et 5 mm d'épaisseur, taillées en biseau sur leur côté inférieur de manière à entrer plus facilement dans le manteau d'altérites, et ancrées à la roche mère ou à la roche peu dégradée, au-dessous du manteau d'altérites, par un pivot leur permettant de s'incliner avec l'avancée de ces altérites par reptation et solifluxion. On mesure régulièrement l'inclinaison de ces plaquettes pour calculer la vitesse de déplacement des altérites superficielles.

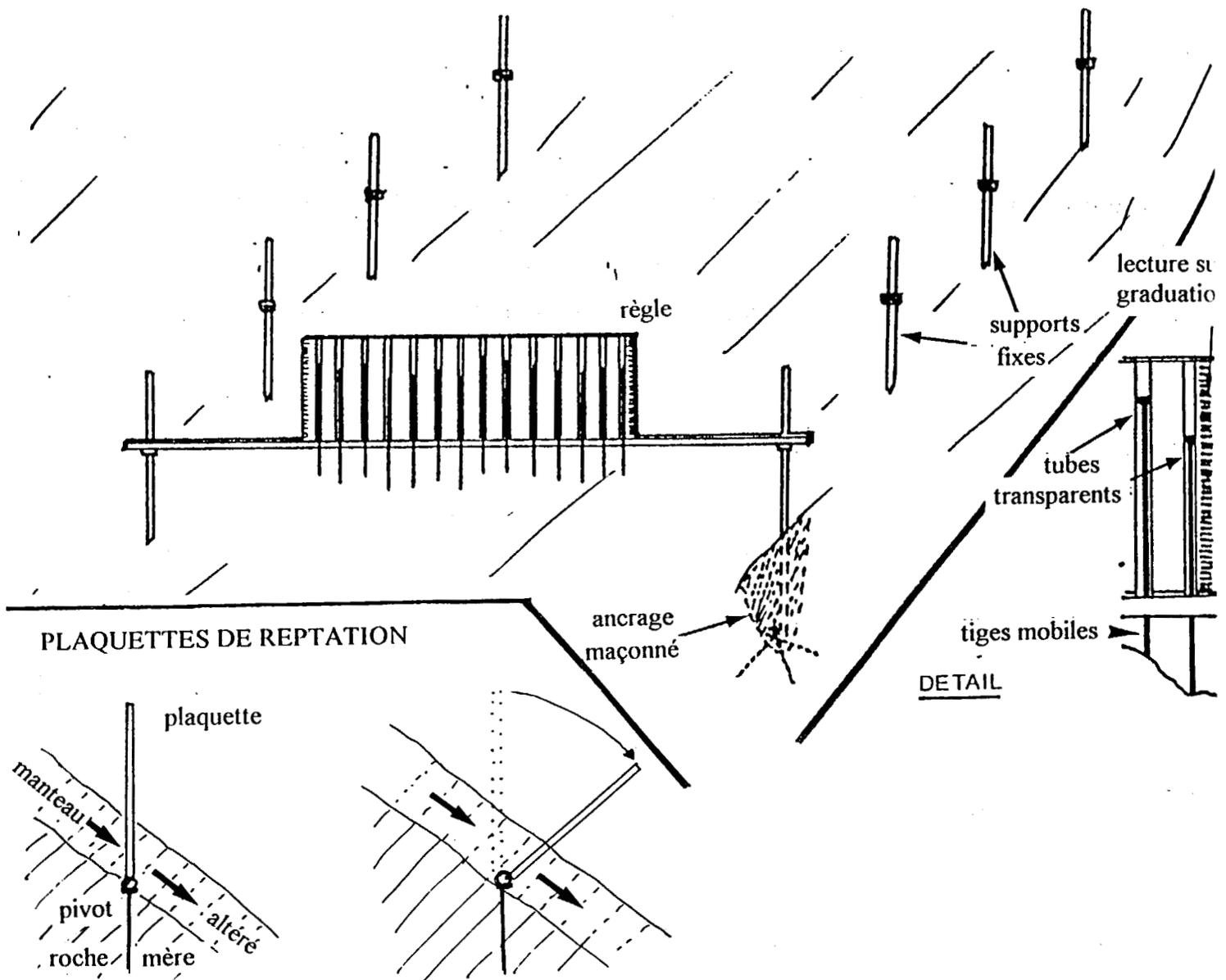


Figure 4 : Les parcelles de mesure à la règle topographique et les plaquettes de reptation

Les pièges à sédiments

Ce sont des petits barrages construits en travers des talwegs pour y intercepter l'écoulement et en arrêter les transports solides (fig. 5). A défaut de pouvoir y installer un limnigraphe (comme cela avait été fait à Mapimi, dans le désert Nord-Mexicain -Delhoume, 1996), il faut être là au moment de l'événement pour connaître l'hydrogramme et l'évolution des transports solides.

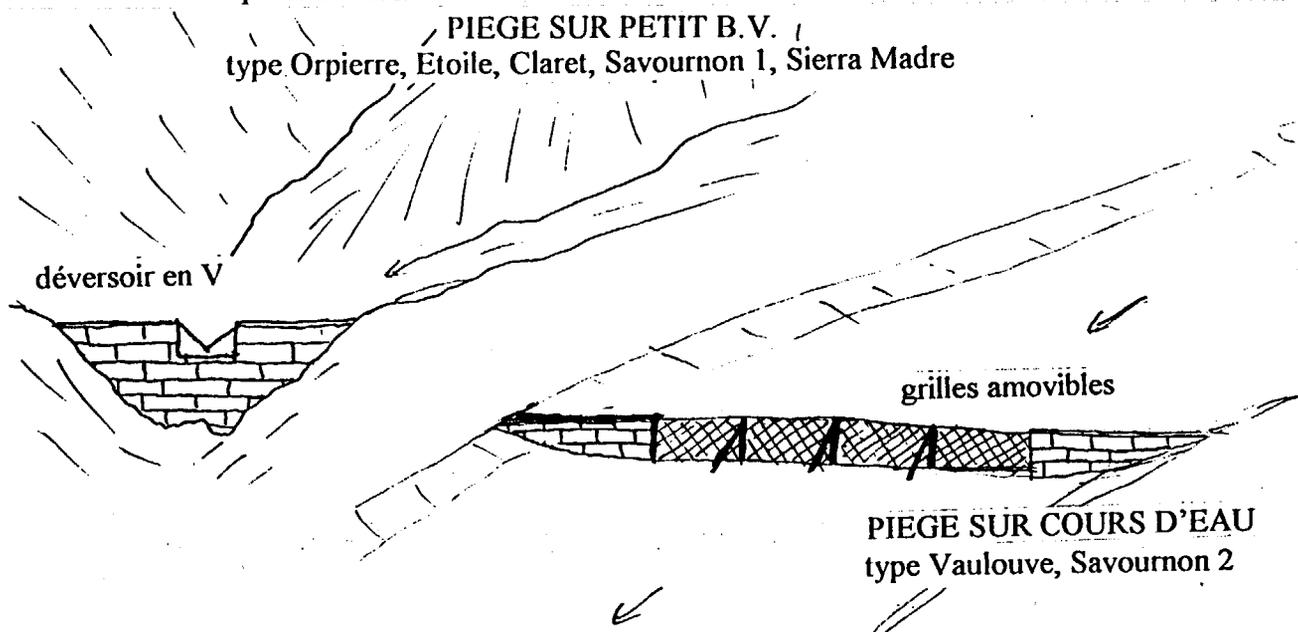


Figure 5 : Les pièges à sédiments.

Les bouteilles-siphons

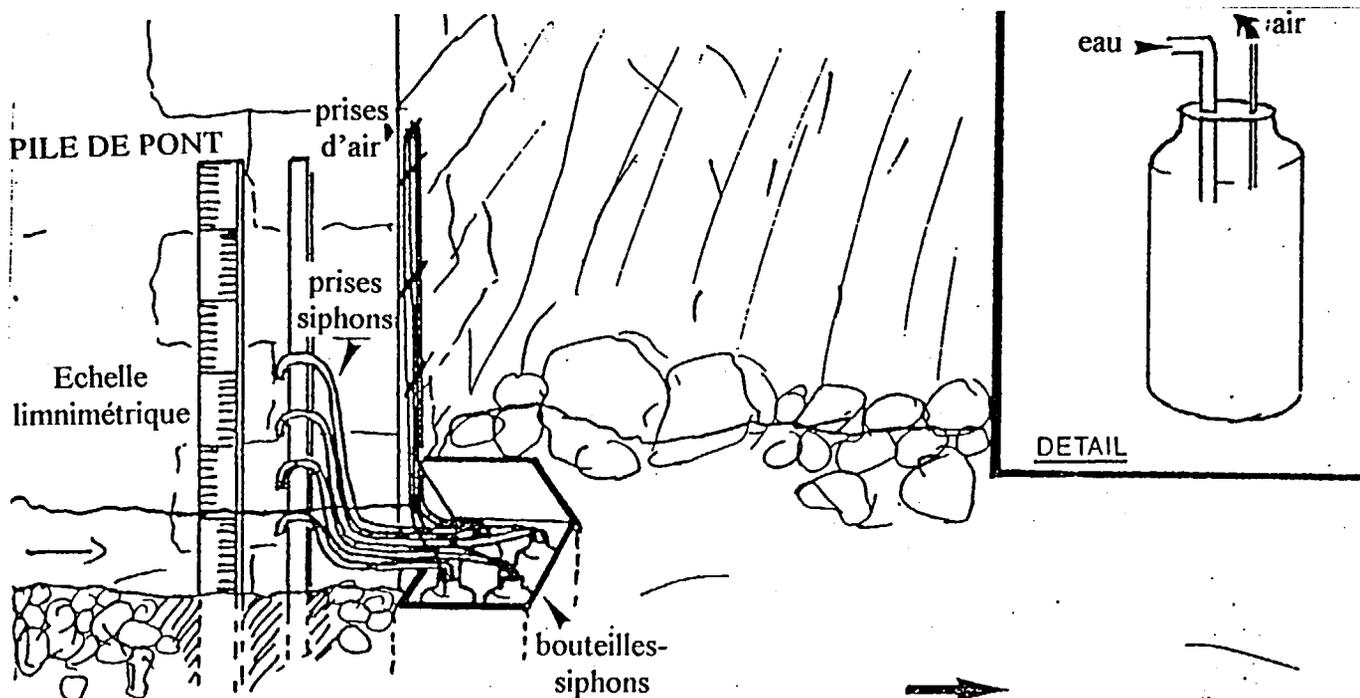


Figure 6. : Une installation de bouteilles-siphons.

Procédé adapté par Hoorelbeck (1988) c'est un système de prélèvement d'échantillons d'eau (fig.6) d'un cours d'eau qui fonctionne sur le principe du siphon, à la montée de l'eau, sans intervention de l'observateur. Le problème dans les zones semi-arides et méditerranéennes provient du fait que l'étiage étant en général total et prolongé sauf sur les cours d'eau principaux, les bouteilles les plus basses doivent être enterrées sous le lit, ce qui pose des problèmes de manipulation lors des prélèvements (stations enfouies sous les alluvions) (fig.6). La localisation des dispositifs installés a été représentée sur les figures 1 et 2. Tous ont été au minimum testés sur les deux terrains.

VITESSE DE L'EROSION SUR LES TERRAINS TENDRES DES PREALPES DU SUD

Présentation du milieu

La région dans laquelle ont été mesurés ruissellement et érosion correspond aux massifs du Diois, des Baronnies, aux Pays du Buëch et à une partie des Préalpes de Digne. Cette région s'oppose à celles qui l'encadrent au Nord (Vercors) et au Sud (Ventoux-Lure) par la grande extension des terrains tendres : 80% de la surface y est constituée d'affleurements de roches tendres, en particulier des marnes de l'Oxfordo-Callovien-Bathonien Supérieur.

Tableau 1 : Ablation sur les principaux terrains tendres des Préalpes du Sud.

Lithologie	Sites	Ablation en cm/an
Marnes noires	Baronnies, Diois, Pays du Buëch	0,85
Marnes bleues	Baronnies, Diois	0,95
Mollasses	Préalpes de Digne	0,14
Terrains glaciaires	Préalpes de Digne	1,71
Marno calcaires	Baronnies, Diois	0,32
Argiles oligocènes	Diois	3,00

Ces données ont été mesurés sur les seuls terrains nus et érodés, par règle topographique et par piégeage. Sur l'ensemble des marnes noires, on note une grosse différence entre l'ablation sur adret (versant exposé au Sud) avec 0,45 cm/an et ubac (1,25 cm/an en moyenne). Ces résultats montrent l'importance de l'ablation sur les terrains dénudés (déjà érodés) des Préalpes du Sud : ce sont ces secteurs déjà dégradés qui fournissent la majeure partie des matériaux arrachés aux versants et transportés dans les cours d'eau. Les pentes de ces bad-lands sont toujours comprises entre 20 et 45°, la végétation pratiquement inexistante.

Résultats sur l'ensemble des dispositifs

Les résultats (voir tableaux) permettent de faire les constatations suivantes :

- les valeurs d'ablation obtenues sur les marnes noires oxfordo-calloviennes (tableau 3) sont relativement proches, même pour des secteurs éloignés les uns des autres ;

- la dégradation spécifique, comme la turbidité, sont relativement faibles dans les mollasses miocènes bordières des plis alpins : 1,4 mm/an dans le B.V. du ravin de Vaulouve (Préalpes de Digne, tableau 1), où la turbidité n'a jamais dépassé 5 g/l pour un B.V. de 3 km².

- par ailleurs, la turbidité atteint des valeurs extrêmement élevées à l'exutoire des bassins-versants constitués de marnes noires (400g/l à Savourmon II - BV de 75 ha, par bouteille-siphon, fin octobre 1988 ; et même 600 g/l de MES à Savourmon I - Bv de 8 ha, en 1987) ou d'argiles oligocènes (300 g/l sur le cours d'eau drainant la coulée de Bonneval en mars 1991) ; cette turbidité est par contre, bien plus faible pour les grands bassins-versants: si le Céans (80 km²) a pu connaître une charge en suspension de 63 g/l en 1983 (Descroix, 1985), nous n'avons relevé aucune turbidité supérieure à 16 g/l sur le Bèz (230 km²) en un an de mesures et à 0,05 g/l sur le torrent d'Archiane (45 km², karstique à 66%).

- enfin, plus globalement, plus l'on s'éloigne des combes anticlinales creusées dans les terres noires (Die, Aspres, Laragne..), et plus la dégradation spécifique s'abaisse : ainsi sur le Bèz, la différence est grande en amont et en aval de Châtillon-en-Diois.

Ablations mesurées à la règle topographique

Tableau 2 : Ablation sur les différents sites de mesure à la règle topographique.

Parcelle	Région	Pente en. degrés	Exposition	Pendage en deg.+exp.	Relation pente/pendage	Durée en années	Ablations totale en cm	moy. cm/an
MARNES NOIRES								
Savourmon	P.Buëch	45	NNE	35 SE	O	6	6,95	1,16
Savourmon	P.Buëch	35	SSE	35 SE	P	3,25	2,09	0,65
Saint-Genis	P.Buëch	26	S	35 SSW	P	6	1,49	0,20
Saint-Genis	P.Buëch	19	N	35 SSW	O	6	7,27	1,21
Saint-Genis	P.Buëch	37	NW	50 SSW	O	3,25	3,68	1,14
Saint-Genis	P.Buëch	46	SSW	50 SSW	P	3,75	-1,47	-0,38
Courriau	Baronnies	42	SSE	30 NNW	O	2,5	1,04	0,38
Les Gallands	Diois	36	W	25 ENE	O	1	1,62*	1,62
MARNES BLEUES								
Etoile	Baronnies	28	SE	60 E	P	2	1,70	0,85
La Vière	Diois	33	SE	30 W	O	1	1,03	1,03
EBOULIS								
Les Nonnières	Diois	32	N	/	/	1	0,69	0,69
MARNO-CALCAIRES								
La Vière	Diois	20	NNE	50 ESE	O	1	-0,32	-0,32

*Relation pente/pendage : O = opposition; P = parallélisme ;
Les valeurs négatives traduisent un remblaiement supérieur à l'ablation.
* événement exceptionnel*

Les résultats sont présentés dans le tableau 2, et ont été ordonnés par lithologie. Il s'agit de mesures réalisées sur les terrains dénudés donc sans végétation. On remarque :

- que les valeurs mesurées sur marnes (noires ou bleues) sont assez semblables (d'ordre centimétrique) ;

- qu'il y a une nette opposition entre les versants exposés au Nord (11 mm/an) et ceux exposés au Sud (5 mm/an) : ce contraste démontre l'importance des phénomènes de solifluxion, bien plus prononcés sur les ubacs ;

- les très fortes valeurs obtenues (en seulement un an de mesure) sur le site des Gallands, situé sur le bassin aval du Bèz (combe de Die), en marnes noires, et en exposition Ouest sont dues à un épisode pluvio-érosif (100 mm en 6 heures) très productif qui s'est produit le 31 juillet 1990 (Descroix, 1994) ;

- à noter aussi les assez fortes valeurs mesurées sur éboulis (constitués d'éléments marno-calcaires surtout), et les valeurs négatives (signifiant en fait un remblaiement et non une ablation) observées sur 2 sites placés en bas de versant ;

- enfin, les données du tableau 2 montrent qu'il n'y a, a priori, aucune relation entre l'ablation et la valeur de la pente, ce qui est surprenant ;

- par contre, le pendage semble jouer un rôle dans cette dégradation : l'ablation est plus importante là où le pendage est à contre-pente (O), que là où la pente et le pendage sont parallèles (P) : on peut supposer que le toit des strates marneuses résiste plus longtemps au creusement que la tranche des couches, bien plus ouvertes à l'infiltration de l'eau.

Comparaison des résultats acquis par des procédés différents

Tableau 3 : Comparaison des ablations et dégradations spécifiques entre sites et procédés sur marnes noires.

Sites	Départements	Auteurs	Expos-Adret Ubac	Procédés	Durée des mesures en années	Dégradation spécifique T/ha/an	Ablation en cm/an
Courriau	05	Descroix	A	piège	8	76,5	(0,45)
Courriau	05	Descroix	A	parcelle	5	25*	(0,15)
Courriau	05	Descroix	A	règle	2,5	(64,6)	0,38
Savournon	05	ORSTOM	A	règle	3,25	(111)	0,65
Savournon	05	ORSTOM	U	règle	6	(197)	1,16
Savournon	05	ORSTOM	AU	piège+BS	3	111	(0,65)
St Genis	05	ORSTOM	A	règle	6	(42)	0,25
St Genis	05	ORSTOM	U	règle	6	(192)	1,17
St Genis	05	ORSTOM	AU	piège+BS	3	87	(0,51)
St Genis	05	Bufalo	AU	piège	2	207	(1,22)
Gallands	26	Descroix	AU	règle	1	(275)	1,62**
Gallands	26	Descroix	AU	parcelle	1	246	(1,45)**
Vers S/M	26	Paris VII	AU	topométrie	8	(255)	1,5
Seignon	04	Combes	A	colm.ret.	(17)	116	(0,68)
Draix	04	CEMAGREF	AU	piège+BS	3	110	(0,65)

* données manquantes, valeur par défaut ; ** événement exceptionnel ; Dans les deux dernières colonnes, la valeur entre parenthèse est une valeur estimée à partir de l'autre suivant le rapport : $D.S. = 1,7.10^2 \text{ ablat. ;}$

Procédés : colm.ret. : colmatage de retenue ; B.S. : bouteilles-siphons prélevant des échantillons d'eau ; piège : piège à sédiment ; parcelle : parcelle à chéneau.

Auteurs : ORSTOM : équipe du programme PACA : J.C.Olivry, J.Hoorelbeck, , L.Descroix ; pour Combes F., Bufalo M., CEMAGREF, Paris VII (Lecompte), voir biblio.

Les résultats qui ont été rassemblés confirment une valeur d'ablation d'ordre centimétrique sur les marnes noires (avec toujours cette opposition adret/ubac) ; les données obtenues par les parcelles à chéneaux sont inférieures (sauf aux Gallands, voir ci-dessus) du fait que certaines données sont manquantes (elles ont surtout servi à l'étude des paramètres événementiels) ; ce sont donc des valeurs par défaut.

Dans le cas des mesures de transports solides (par bouteilles siphons), on a mesuré le total des transports solides (les grands pièges installés dans les talwegs permettant de connaître le charriage) aux stations hydrométriques et on en a attribué arbitrairement l'origine aux seules zones érodées, obtenant ainsi une dégradation spécifique par unité de surface. Les BV sont ici suffisamment petits, et les ablations suffisamment élevées pour que les stockages intermédiaires, existants, deviennent négligeable par rapport aux exportations.

Dans l'ensemble les valeurs sont sinon proches du moins situées dans un même ordre de grandeur : on peut affirmer sans trop de risque d'erreur que l'ablation dans les terrains érodés des Alpes du Sud est située en moyenne entre 0,5 et 1 cm par an (avec quelques valeurs supérieures ou inférieures bien sûr, mais qui restent dans cet ordre de grandeur), ce qui représente, si l'on accepte une densité moyenne du manteau d'altérites de 1,7 (valeur utilisée par EDF, voir Descroix 1994), une érosion de 85 à 170 T/ha/an.

UNE EROSION ACTUELLE BIEN PLUS MODEREE SUR LES TERRAINS RHYOLITIQUES DE LA SIERRA MADRE OCCIDENTALE

Une érosion modérée

Les conditions prévalant dans la Sierra Madre Occidentale sont très différentes de l'environnement évoqué précédemment. Il s'agit de grands plateaux rhyolitiques entaillés de vallées profondes, mais où les terrains tendres sont peu nombreux. Le climat y est somme toute moins agressif que dans les Alpes du Sud, et la surexploitation du milieu encore très récente. Aussi n'y rencontre-t-on pas de secteurs de ravinement généralisé, et même peu de ravinements élémentaires. La lithologie ne se prête pas au creusement de grandes ravines : on ne les trouve que dans les dépressions où les colluvions sont plus épaisses et où le surpâturage a pu entraîner une dégradation des sols. Les résultats exposés ici ont été mesurés sur parcelles à chéneaux de 0,5 m² et 50 m², et ont pu être corroborés par d'autres mesures sur BV, bouteilles-siphons et pièges à sédiments.

Sur des terrains de savane d'altitude, l'impact du surpâturage a été mesuré sur le ruissellement et l'érosion (Descroix et Poulénard 1995 ; Poulénard, Descroix et Janeau 1996). Les valeurs maximales d'ablation mesurées sur des terrains non ravinés, mais où l'affleurement de nombreux cailloux évoque une érosion aréolaire importante, ont été de l'ordre de 0,5 à 9 T/ha/an sur micro parcelles (tableau 4), sur les secteurs surpâturés et sur des pentes de 3 à 40°, soit une ablation très faible, inférieure à 0,5 mm/an. Sur les parcelles de 50 m², l'érosion mesurée est plus importante, de 12 à 45 T/ha/an (tableau 5).

La différence de valeur d'érosion entre parcelles de 0,5 m² et de 50 m² est aussi due au fait que les premières ont été réalisées en année sèche (230 mm de pluie en 1994) et les secondes en année normale (435 mm de pluie en 1996). Les premières, facilement installables, déplaçables et multipliables, servent surtout à montrer l'importance des variables du milieu. Les secondes sont plus intéressantes pour les mesures d'érosion en valeur absolue.

Tableau 4 : Erosion en milieu de savane d'altitude, sur parcelle de 0,5 m².

Parcelle	Rhyolite	Conglomérat	Pente < 11°	Pente 11- 20°	Pente > 20°
Nombre parcelles	7	9	6	5	5
Erosion en T/ha	4,434	2,564	4,643	0,893	4,228
Parcelle	Couv. Vég. < 15%	Couv. Vég. > 15%	Piétinée	Non piétinée	
Nombre parcelles	8	8	5	11	
Erosion en T/ha	4,903	0,548	8,978	0,719	

Tableau 5 : Erosion en milieu de savane d'altitude, sur parcelles de 50 m².

Parcelle	Rhyolite	Conglo- mérat	Arbres	Sans arbres	Non pâturée	Pente 9°	Pente 20°
Nombre parcelles	5	5	4	4	2	5	5
Erosion en T/ha	37	25	26	45	12	42	29
Écoulement en %	25,3	24,3	19	34	19	31	21

Sur des terrains forestiers, et en terrain rhyolitique, on a mesuré des valeurs bien plus faibles, presque toujours inférieures à 1 tonne/hectare (Guedez, 1996 ; Henry, 1997) :

- sur 14 micro-parcelles (0,5 m²) : de 20 kg à 4T/ha/an (soit une ablation inférieure à 0,3 mm/an), d'une parcelle peu pentue (6°), placée sous un chêne, avec de la litière, à une autre située sur pente plus forte (32°), en dehors de la zone couverte par la couronne des arbres, et non recouverte de litière (tableau 4) ; le tableau 6 montre l'influence du type d'arbre, de la pente et de la position de la parcelle, sous l'arbre ou entre deux arbres.

Tableau 6 : Erosion sur micro-parcelles.

Parcelle	Pinède	Chênaie	Pente < 9°	Pente 9-25°	Pente > 25°	Arbres	Sans arbres
Nombre de parcelles	7	7	6	4	4	6	6
Erosion en Kg/ha	740	445	305	1100	535	155	1050
Écoulement en %	9,2	3,7	5,9	9,1	4,5	4,2	9,7

Sur 3 parcelles de 40 m² (pente 13°, couverture herbacée 10%), on obtient les pertes suivantes:

Tableau 7 : Erosion sur parcelles de 40 m² (pluie annuelle : 320 mm en 95, 590 en 1996).

Parcelles	Erosion en kg/ha			Écoulement annuel en %		
	1995	1996	moyenne	1995	1996	moyenne
Sans arbre ni litière	1173	1492	1332	3,34	5,93	5,05
Sans arbre avec litière	164	448	306	1,13	2,27	1,87
Avec arbre et litière	11,7	10,5	11,1	0,66	0,61	0,63

On constate que pour deux années de pluviométrie très différentes, l'érosion est pratiquement la même ; on peut supposer que le fait d'une meilleure pluviométrie a favorisé la couverture végétale et que le sol en a été mieux protégé. La seule parcelle ayant vu croître sensiblement ses pertes en sol est celle qui a été déboisée pour les besoins de cette étude en 1995 (parcelle sans arbre mais avec litière). La première année, la litière a continué à jouer son rôle protecteur, la deuxième année, n'étant plus alimentée par les arbres, elle a commencé à se dégrader. par contre, on note que les coefficients d'écoulement ont sensiblement augmenté entre 1995 et 1996, sauf sur la parcelle boisée.

Sur deux micro-BV de 450 m² (pente moyenne 23°) chacun, des pertes de l'ordre de 15 à 30 g/m²/an ont été mesurées, aussi bien sous forêt que dans un secteur récemment déboisé, soit une ablation de l'ordre de 10⁻² mm/an; la parcelle boisée a connu une érosion supérieure (254 kg/ha) à celle qui a été déboisée, en 1995, pour en étudier l'impact (140 kg/ha), ceci est probablement dû au fait que le sol a été passablement remué par les bûcherons et qu'une partie des branchages est restée sur place. Par contre, dès la première année, l'écoulement a été supérieur sur le bassin déboisé (2,8 % au lieu de 1,6%)..

Les variables explicatives

Les variables mises en relation avec ruissellement (RUI) et érosion (ERO) tiennent aux facteurs de sites (milieux) et aux caractéristiques des événements pluvieux ; pour les premières, ont été retenues :

- la pente (PEN)
- la couverture végétale en % (VEG)
- existence ou non de porosité vésiculaire (POR)
- existence ou non de piétinement marqué par le bétail (PIE)
- la pierrosité (GRO, taux de recouvrement)
- le pourcentage d'argile du sol (ARG)
- le pourcentage de matière organique (MOR)
- le coefficient d'infiltration déterminé par Casenave et Valentin (1989) (INF)
- le rapport MO*100/ARG (MOA)
- l'épaisseur de la litière (EPL)
- le taux de couverture par la litière (TXL)
- la perméabilité (PER) en temps d'infiltration de l'eau

Les caractéristiques suivantes ont été retenues quant aux événements pluvieux :

- la pluviométrie (PLU) hauteur tombée en mm
- l'indice des précipitations antérieures avec $\alpha = 0,5 ; 0,7$ et $0,9$ (IK5, IK7 et IK9) (Chevallier 1983 ; Nouvelot 1993) ;
- l'intensité maximale en 1, 5, 10, 15 et 30 minutes (IN1, IN5, I10, I15 et I30)
- l'énergie cinétique totale,
- l'énergie cinétique des précipitations tombées avec $I > 5$ mm/h et $I > 10$ mm/h (ECT, EC5, E10), calculée suivant la formule de Wischmeier $E_c = 1214 + 890 \log(I)$.

De ce fait, on a pu dresser les 2 matrices de corrélation suivantes (tableaux 8 et 9). La première, afférente aux caractéristiques de la parcelle, a été réalisée avec les données (érosion et ruissellement) de 30 micro-parcelles, sur deux années de mesure. La deuxième a été réalisée sur 2 micro-bassins versants de 450 m² à partir d'une trentaine événements pluviométriques. Le BV1 est resté boisé pendant toute la période de mesure; le BV2 était boisé et a été déboisé au premier tiers de la période de mesure ; on s'intéresse ici au ruissellement (RU1 et RU2) et à l'érosion (ER1 et ER2);

On remarque que les corrélations les plus significatives sont celles qui lient ruissellement et érosion d'une part à la présence du piétinement et à la perméabilité des sols ; la porosité vésiculaire et la présence de végétation ont un coefficient encore important contrairement à la pente et aux autres variables.

On peut remarquer aussi qu'en fonction du milieu (savane d'altitude ou forêt), l'influence de certaines variables n'est pas du tout la même sur la formation du ruissellement et de l'érosion : ainsi, si la pente joue peu dans un cas comme dans l'autre, le rôle de la couverture végétale est bien plus déterminant comme protecteur en milieu de savane qu'en milieu forestier ; cela est compensé par le rôle de la litière, bien plus déterminante sous forêt que le fait d'être sous le couvert des arbres.

Tableau 8 : Matrice des variables du milieu.

(en milieu de savane d'altitude -cf. Poulenard)												
	PEN	VEG	POR	PIE	GRO	ARG	MOR	INF	MOA			
RUI	0,45	-0,75	0,77	0,97	0,17	-0,03	-0,02	-0,02	0,31			
ERO	0,07	-0,70	0,66	0,86	0,02	-0,12	-0,24	-0,10	-0,60			
(en milieu forestier -cf. Guedez)												
	PEN	VEG								EPL	TXL	PER
RUI	-0,13	-0,35								-0,25	-0,60	-0,86
ERO	0,08	-0,47								-0,26	-0,63	-0,80

Le tableau 9 met en évidence le rôle de l'énergie cinétique et de l'intensité des précipitations (deux variables du reste assez corrélées entre elles) dans la formation du ruissellement comme de l'érosion ; sur les 2 BV, l'érosion se corrèle le mieux avec l'intensité maximale en 15 et 30 minutes, alors que le ruissellement se corrèle mieux avec le volume de la précipitation et avec l'énergie cinétique totale de celle-ci. Les indices de Kolher ne sont pas corrélés au premier abord, mais on verra plus bas qu'ils entrent dans les corrélations multiples.

Tableau 9 : Matrice des variables de précipitations.

	PLU	IK5	IK7	IK9	IN1	IN5	I10	I15	I30	EC5	ECT	E10
RUI	0,77	-0,28	-0,28	-0,28	0,47	0,63	0,67	0,74	0,78	0,76	0,81	0,68
ER1	0,41	-0,09	-0,13	-0,15	0,45	0,64	0,76	0,82	0,84	0,75	0,52	0,78
RU2	0,76	-0,04	-0,02	-0,01	0,50	0,59	0,60	0,70	0,70	0,74	0,78	0,66
ER2	0,44	-0,17	-0,20	-0,10	0,57	0,73	0,82	0,81	0,83	0,82	0,57	0,85

(RU1 et ER1 pour le BV1, RU2 et ER2 pour le BV2)

En travaillant avec des corrélations multiples, on a trouvé comme principales variables explicatives :

* en milieu forestier, pour l'érosion, intensité maximale en 20 minutes (I20) ; pour l'écoulement, I20, mais multipliée par l'indice de Kolher en prenant $\alpha = 0,3$ (IK3), et en

second rang les pluies utiles (au-dessus de 4 mm/h pour la parcelle déboisée, 16 mm/h pour la parcelle avec litière, et la précipitation totale pour la parcelle non déboisée).

* en milieu de savane, on peut opérer une distinction entre les deux types de lithologie rencontrées dans la Sierra Madre, rhyolite et conglomérats (ceux-ci, piégés dans les grabens, étant eux-mêmes essentiellement conglomératiques, ont néanmoins un comportement hydriques sensiblement différent) :

- sur les sites conglomératiques, l'érosion a été corrélée avec l'intensité maximale en 5 minutes (I5) élevée au cube ; quant à l'écoulement, il a été corrélé en premier lieu avec les pluies utiles au-dessus de 18 mm/h (PU18) et en second ;

- sur site rhyolitique, la première variable explicative de l'érosion est la pluie utile au dessus de 14 mm/h (PU14), et celles de l'écoulement sont la précipitation totale multipliée par l'indice de Kolher (avec $\alpha = 0,3$), et en seconde variable revient la précipitation totale.

Les valeurs mesurées sont donc bien plus faibles dans l'ensemble, que dans les Alpes du Sud. Mais il n'y a pas, ici, d'érosion linéaire accélérée (roubines) comme dans les massifs jeunes du pourtour méditerranéen, mais plutôt un « rabotage » général des versants dus au surpâturage. Les valeurs d'érosion varient de 0,5 à 45 T/ha/an en milieu de savane d'altitude, et de 0,1 à 1,5 T/ha/an en milieu forestier. La comparaison entre les parcelles (50 m²) et le BV (3 km²) sur lequel elles sont situées a pu être faite pour les seules parcelles de savane, et pour les 9 plus importants événements de la saison (dont on peut supposer, faute d'écoulement de base conséquent, qu'ils ont représenté la très grande majorité du total). Le BV a connu une ablation totale pour ces 9 événements de 0,63 T/ha, soit une valeur très proche de la valeur plancher obtenue sur parcelle. Sur les 9 événements, et en prenant la moyenne d'érosion de toutes les parcelles de savane, on obtient une érosion sept fois supérieure sur parcelle que sur BV. Ici ces valeurs ne sont pas rapportées aux seules zones érodées, puisque faute d'érosion linéaire marquée, c'est l'ensemble des versants qui semble concerné par cette ablation.

CONCLUSION

Les moyens décrits ici sont classiques et connus. Leur combinaison a néanmoins permis, dans deux contextes bien différents, quoique tous deux montagnards, de mesurer les érosions et de les confirmer par d'autres procédés. Se pose bien sûr le problème du transfert d'échelle :

- dans les Alpes du Sud, ayant rapporté à chaque fois les ablations aux seuls espaces érodés (qui fournissent effectivement une écrasante proportion de cette érosion), on obtient à chaque fois des valeurs proches, d'un procédé à l'autre.

- dans la Sierra Madre Occidentale, où l'érosion est bien plus faible (les maxima sont encore largement inférieurs aux valeurs obtenus sur roubines dans les Alpes), et bien plus aréolaire que linéaire, on se heurte bien sûr aux problèmes d'échelle, et que ce soit en milieu forestier ou de savane, les valeurs d'érosion par unité de surface sont sensiblement différentes quand on change de taille de parcelle ou de taille de bassin versant.

Dans les deux cas, il a bien sûr été impossible d'utiliser des parcelles « standard » type Wischmeier (on est loin du contexte de Mapimi où Delhoume et Asseline ont pu, sur les immenses glacis du Cerro san Ignacio, installer de telles parcelles), d'ailleurs plutôt destinées aux terrains cultivés : dans les Alpes, les parcelles ne peuvent mesurer plus d'une dizaine de mètres carrés, et dans la Sierra Madre Occidentale, dépasser 10 mètres de long pour une parcelle reviendrait à sélectionner les rarissimes (donc forcément peu représentatifs) endroits où la topographie, plus plane, le permettrait.

Dans les deux cas aussi, on s'est donc adapté aux contraintes du milieu, mais la multiplication des parcelles et des types de mesure ont permis de pallier l'impossibilité de travailler sur des parcelles analogues. Mais, dans un cas comme dans l'autre, la multiplication des procédés de mesure permet :

- d'envisager de travailler sur le transfert d'échelle, tant en érosion qu'en ruissellement, ce qui permet de mieux comprendre le comportement des bassins versants et d'aborder plus sereinement la modélisation des deux phénomènes ;

- de quantifier le poids de chaque variable, autant au niveau spatial (pente, lithologie, couverture végétale, états de surface, existence du surpâturage, du déboisement, etc.), qu'au niveau temporel (pluies utiles, intensités, énergie cinétique, indice des précipitations antérieures, hauteur des précipitations, etc.).

BIBLIOGRAPHIE

BUFALO M., 1989 - "L'érosion des terres noires dans la région du Buëch"; thèse de Géologie, Université Aix-Marseille III, 210 p.

CASENAVE A. et VALENTIN C., 1989 - « Les états de surface de la zone sahéenne : influence sur l'infiltration »; Ed. de l'ORSTOM, coll. Didactiques, Paris 140 p.

CEMAGREF, 1987 - « Les bassins expérimentaux de Draix : compte-rendu n°1 en érosion et hydraulique torrentielle »; Grenoble, Aix-en-Provence, 17 p.

CHEVALLIER P., 1983 - "L'indice des précipitations antérieures: évaluation de l'humectation des sols des bassins-versants représentatifs"; cahiers ORSTOM-Hydrologie, vol. XX, n°3-4, pp. 179-189.

COMBES F., 1982 - « Réflexions sur les problèmes d'érosion dans les Alpes de Haute Provence », R.F.F., t. XXXIV, 1-1982, 21 p.

DELHOUME J.P., 1995 - « Fonctionnement hydro-pédologique d'une toposéquence de sols en milieu aride (réserve de la biosphère de Mapimi, Nord-Mexique) » Thèse de pédologie, Université de Poitiers, 295 p.

DESCROIX L., 1985 - "Contribution à l'étude de la dynamique érosive dans les Baronnies Orientales et les Pays du Buëch Moyen: problèmes d'aménagement"; thèse III ème cycle de Géographie, Université Lyon II, 260 p.

DESCROIX L., 1994 - "L'érosion actuelle dans la partie occidentale des Alpes du Sud"; nouvelle thèse de Géographie, Université Lumière Lyon II, 290 p.

DESCROIX L. et POULENARD J., 1996 - « Les formes d'érosion actuelle dans la Sierra Madre Occidentale : vers une cartographie de l'érosion » in bull. du labo. rhôd. de géomorphologie, n°35-36, Lyon, pp. 1-19 .

DESCROIX L., 1997 - « Impacto de la deforestación y del sobrepastoreo sobre la erosión y el escurrimiento en la Sierra Madre Occidental », comm. au séminaire Cénid-Raspa/Orstom sur l'irrigation, Gomez Palacio, 12-14 juin .

GUEDEZ P.Y., 1996 - "L'impact du déboisement sur le ruissellement et l'érosion dans la Sierra Madre Occidentale Mexicaine" ; rapport de stage ISTOM, Cergy, 60 p.

HENRY O., 1997 - « Mesure de l'érosion sur parcelles dans la Sierra Madre Occidentale », rapport de stage ISTOM, Cergy, 55 p.

- LECOMPTE M., LHENAFF R., MARRE A., 1996 - « Premier bilan de six années de mesures sur l'ablation dans des roubines des Baronnies méridionales (Préalpes françaises du sud) », RGA, n°2, t.84, Grenoble, pp . 11-16 .
- NOUVELOT J.F., 1983 - "Guide des pratiques hydrologiques sur les petits bassins-versants ruraux en Afrique Tropicale et Equatoriale"; ORSTOM-CIEH, Montpellier, 537 p.
- OLIVRY J.C. et HOORELBECK J., 1988 - "Erosion des terres noires de la vallée du Buëch; bassins sur roubines de Savournon"; ORSTOM-BRGM, Montpellier, 20 p.
- POULENARD J., DESCROIX L., JANEAU J.L., 1996 - "Surpâturage et formation de terrassettes sur les versants de la Sierra Madre Occidentale": RGA, n°2, t. 84, Grenoble, pp. 77-86 .

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Descroix, L.; Guedez, P. Y.; Poulenard, J. - Méthodes de mesure de l'érosion actuelle : applications dans les Préalpes du sud (France) et la Sierra Madre occidentale (Mexique), pp. 239-254, Bulletin du RESEAU EROSION n° 17, 1997.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr