HAL
open science

Dégradation d'un sol défriché sur gneiss à la station de Lambert (massif des Maures, Var, France)

Claude Martin

To cite this version:

Claude Martin. Dégradation d'un sol défriché sur gneiss à la station de Lambert (massif des Maures, Var, France). Revue de Géomorphologie Dynamique, 1989, XXXVIII (1), pp.17-29. hal-00419478

HAL Id: hal-00419478

https://hal.science/hal-00419478v1

Submitted on 24 Sep 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Revue de Géomorphologie Dynamique, 1989, vol. XXXVII, n° 1, p. 19-29

DEGRADATION D'UN SOL DEFRICHE SUR GNEISS A LA STATION DE LAMBERT (MASSIF DES MAURES, VAR, FRANCE)

CLEARED SOIL DEGRADATION ON GNEISS AT THE TESTING STATION OF LAMBERT (MASSIF DES MAURES, VAR, FRANCE)

par Cl. MARTIN*

Mots-Clés :
Dégradation (Pertes en terre)
France Méditerranéenne.

Keywords :
Soil Losses
France (Mediterranean)

ABSTRACT

Four years of runoff and mechanical erosion measurements on a cleared plot of 87,5m2 with a slope angle of 11° give a mean runoff coefficient of 15,7% and annual solid losses from 1,99 to 16,10 t/ha. Annual rainfall varies from 841 to 1683 mm. The soil is a very stony ranker with a sandy texture. Rainfall characters (volume, intensity and concentration in time) and initial soil moisture are the principal factors of runoff. Rainfall intensity has a marked influence on pluvial erosion. However, very violent rainfalls limit sediment concentration in runoff waters : splash is blocked then in part by the depth of the sheet of water covering the surface. The soil undergoes a selective loss of fine mineral particles, organic matter and nutrients. But the mechanical erosion doesn't change the total chemical composition of its mineral material.

RESUME

Quatre années de mesure deuruissellement et des transports solides sur une parcelle défrichée de 87,5m2 inclinée à 11° indiquent un coefficient d'écoulement moyen de 15,7% et des pertes de terre annuelles de 1,99 à 16,10 t/ha, pour des précipitations comprises entre 841 et 1683 mm/an. Le sol est un ranker très caillouteux à texture sableuse. Les précipitations, par leur volume, leur intensité et leur concentration dans le temps, déterminent, en fonction de l'humidité préalable du sol, l'abondance du ruissellement. L'intensité de la pluie constitue l'un des facteurs principaux de l'érosion pluviale. Cependant, pour des intensités très élevées, l'épaississement de la lame d'eau superficielle limite la concentration des produits solides dans les eaux, car elle gêne la saltation pluviale. Le sol subit un entraînement sélectif des particules minérales fines, de la matière organique et des éléments nutritifs. La composition chimique totale des matériaux minéraux du sol n'est pas affectée par les exportations de terre.

* C.N.R.S. (U.R.A. 903), Laboratoire de Géographie Physique, 29, Avenue Robert Schuman, 13621 - Aix-en-Provence - Cedex.

INTRODUCTION

Avec des pentes fortes sous un climat de type méditerranéen humide, le massif des Maures offre des conditions potentiellement favorables à l'érosion mécanique par les eaux pluviales. Heureusement, la présence d'un couvert végétal, même à l'état de maquis, suffit à réduire les pertes de terre à des valeurs négligeables (C. Martin, 1975, 1986). Mais le passage des incendies modifie, de manière sporadique, cette situation d'équilibre.

Pour étudier les pertes de terre des sols dépourvus de couverture végétale, nous avons exploité successivement deux parcelles défrichées non labourées : la première à la station des Ribières qui a déjà fait l'objet d'une publication (C. Martin, 1975), et la seconde à la station de Lambert de septembre 1976 à août 1980. Située au cœur du massif (X=925,0 ; Y=108,7), la station expérimentale de Lambert est implantée à 550m d'altitude, en exposition N-NNW, 60m en contrebas d'une ligne de faîte, en position relativement protégée des vents porteurs de pluie. Les sols sont des rankers sur gneiss. Sous couvert végétal (maquis à bruyère arborescente, avec de nombreux jeunes pins, de jeunes chênes-lièges et des arbousiers), ils offrent le profil suivant :

- Ao : Très mince.
- A11 : Brun-gris foncé. 0 à 2cm. Sableux. Particulaire à grumeleux. Nombreux cailloux.

- A12 : Brun jaune à brun gris. 10 à 25cm. Sableux. Particulaire à submotteux. Nombreux cailloux.
- C1-(B) : Jaune brun. 0 à 30cm. Gneiss altérés plus ou moins arénisés.
- C2-R : Gneiss altérés, mais cohérents, à pendage très redressé. La foliation à l'affleurement est fortement oblique par rapport à la direction de la pente topographique.

La parcelle est isolée par une bordure en tôles galvanisées. Elle présente la forme d'un parallélogramme d'une superficie de 87,5m2 pour une longueur de 12m (Fig.1). La pente est de 11°. Certains bancs de gneiss forment de petits chicots, d'une hauteur inférieure à 20cm. La parcelle est reliée, par un chenal d'écoulement, à une batterie de deux cuves réceptrices (1000 l), dont la première sert de partiteur au 1/9. Au niveau de l'horizon A12 (Tableau I), les sols de la parcelle se révèlent très peu érodibles, avec un indice K de W.H. Wischmeier et al. (1971) proche de 0,05. L'équipement comporte également un pluviographe, quatre piézomètres, un appareil enregistreur de l'humidité des sols et un collecteur d'eaux de pluie.

I - L'ECOULEMENT

L'écoulement sur la parcelle est toujours un ruissellement diffus. Les données annuelles et mensuelles présentées dans les tableaux II à IV fournissent les enseignements suivants :

a) Des précipitations peu abondantes n'engendrent au mieux, qu'un ruissellement très faible. Sauf en juin 1978, les précipitations mensuelles inférieures à 25mm n'ont produit aucun ruissellement superficiel.

b) De fortes intensités de la pluie favorisent le ruissellement. En août 1977, le coefficient de ruissellement s'élève à 44,1%, pour des précipitations de 168mm, avec un troisième quartile des intensités momentanées de la pluie (i.Q3) = 20,9mm/h.

c) Des précipitations très abondantes permettent des coefficients de ruissellement (C) élevés, même lorsque les intensités de la pluie restent modérées. Ainsi, C atteint 29,4% en octobre 1976, pour des précipitations de 485mm (avec i.Q3 = 9,5mm/h) et 32,8% en octobre 1979, pour des précipitations de 416mm (avec i.Q3 = 9,2mm/h). Au cours de ces mois très arrosés, le sol et les roches altérées sont parfois saturés en eau (cf. C. Martin, 1986). La disposition des structures planaires des roches en biais par rapport à la pente topographique favorise évidemment cette évolution, les bancs de gneiss les moins altérés ralentissant l'évacuation oblique des eaux infiltrées.

d) Des précipitations abondantes, de l'ordre de 200 à 300 mm, permettent aussi des coefficients de ruissellement élevés lorsque les intensités momentanées de la pluie et l'humidité préalable du sol et des roches altérées ne sont pas trop faibles. Au cours de la période des observations, le coefficient de ruissellement mensuel maximal se place en décembre 1977 (50,8%), pour des précipitations de 238mm (avec i.Q3 = 12,7mm/h). En janvier 1977, C atteint 30,9%, pour des précipitations de 273 mm (avec i.Q3=5,4mm/h). Cependant, des précipitations mensuelles abondantes, mais peu intenses, s'accompagnent souvent d'un ruissellement négligeable. Par exemple, en janvier 1979, des précipitations de 238mm, avec i.Q3 = 3,7mm/h, ne produisent aucun écoulement dans les cuves. Il en va de même pour des

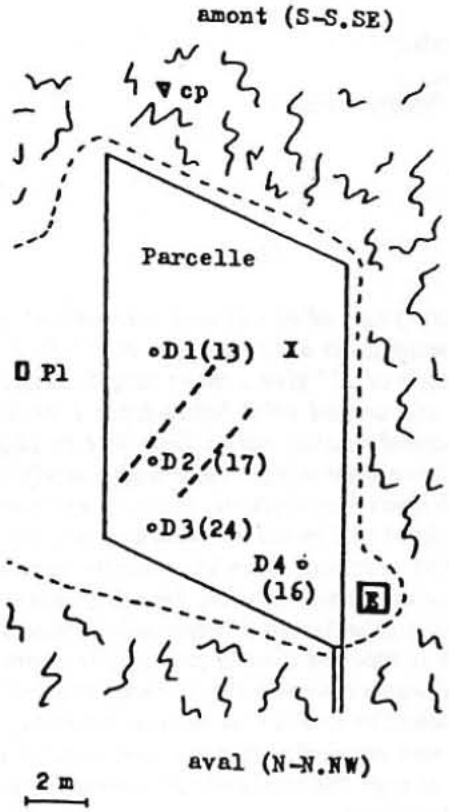

Fig. 1.- *La parcelle défrichée. D : piézomètres en terrain défriché (entre parenthèses : profondeur - en cm - dans le sol). P1 : pluviographe. E : appareil enregistreur de l'humidité des sols. X : électrodes et thermosonde en terrain défriché de l'appareil enregistreur de l'humidité des sols. cp : collecteur d'eaux de pluie. --- : principaux alignements de chicots de gneiss sur la parcelle défrichée.*

Fig. 1.- *The cleared plot. D : bare ground piezometers (between brackets : depth - in cm - in the soil). P1 : recording rain gauge. E : soil moisture recording device. X : bare ground electrodes and thermosounding implement of the soil moisture recording device. cp : rain water collector. --- : main alignments of projecting gneiss outcrops on the bare plot.*

TABLEAU I - Caractères physico-chimiques du sol de la parcelle.

TABLE I - *Physico-chemical characters of the plot soil.*

A. Analyses physiques (% du poids, séchage à l'air) :
Physical analyses (% of the weight, dried in the air) :

Tf	Analyse de la terre fine							
	A.	Lf	Lg	Sf	Sm	Sg	Tex.	H_2O 105°
55	10,2	11,4	6,4	22,8	20,3	28,9	S	2,2

B. Analyses chimiques (sur la terre fine séchée à l'air) :
Chemical analyses (on the air-dried fine material):

pH eau	pH KCl	C %	N %	C/N	Complexe absorbant						
					Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	S	T	S/T
5,7	4,7	2,39	0,12	20,8	4,4	0,82	0,18	0,04	5,45	11,3	0,48

Analyses I.N.R.A. (Arras). Tf : terre fine, < 2 mm. A. : argile, < 2 µ. Lf : limons fins, 2 à 20 µ. Lg : limons grossiers, 20 à 50 µ. Sf : sables fins, 0,05 à 0,2 mm. Sm : sables moyens, 0,2 à 0,5 mm. Sg : sables grossiers, 0,5 à 2 mm. Tex. : texture, triangle I.N.R.A. H2O 105°C : eau d'imbibition. C : carbone organique, ANNE . N : azote total, KJELDAHL . S : somme des cations basiques échangeables. T : capacité d'échange cationique, METSON.

I.N.R.A. analyses (Arras). Tf : fine material, < 2 mm. A. : clay, < 2 µ. Lf : fine silt, 2-20 µ. Lg : coarse silt, 20-50 µ. Sf : fine sand, 0,05-0,2 mm. Sm : middle sand, 0,2-0,5 mm. Sg : coarse sand, 0,5-2 mm. Tex. : texture (I.N.R.A.). H2O 105°C : water of imbibition. C : organic carbon, ANNE. N : total nitrogen, KJELDAHL. S : amount of the basic exchangeable cations. T : cation exchange capacity.

précipitations, à la fois abondantes et assez violentes, tombant sur un sol préalablement desséché. Ainsi, le coefficient de ruissellement du mois de mai 1977 atteint 9,9% seulement, pour des précipitations de 273mm, avec i.Q3 = 9,7mm/h.

e) Enfin, pour des précipitations mensuelles et des intensités de la pluie identiques, une forte concentration des précipitations au cours d'une période très brève, en favorisant l'engorgement du sol, entraîne parfois un refus à l'infiltration et, par conséquent, l'accroissement du ruissellement. Trois exemples illustrent ce fait :

- Du 31 décembre 1976 à 12h au 1er janvier 1977 à 19h, la station reçoit 109mm de précipitations, avec une médiane des intensités momentanées de la pluie (i.méd.) = 5,7mm/h et i.Q3 = 7,3mm/h. 7120 litres d'eau sont évacués de la parcelle (C = 76,7%).

- Du 6 décembre 1977 à 3h au 8 décembre à 22h, la station reçoit 211mm de précipitations qui alimentent un écoulement de 10390 litres d'eau (C = 57,4%). Le 8 décembre, entre 10h et 22h, les précipitations s'élèvent à 78mm (i.méd.=11,4mm/h) ; i.Q3 = 13,4mm/h) et 9000 litres d'eau aboutissent aux cuves. 38,2% des précipitations mensuelles engendrent alors 86,6% du ruissellement superficiel. Le coefficient d'écoulement journalier atteint 134,3%. Des eaux hypodermiques venues de l'extérieur de la parcelle alimentent donc le ruissellement diffus. Un véritable sourcin apparaît d'ailleurs dans la partie supérieure du champ expérimental, à la faveur d'un terrier de mulot. Vers le milieu de la journée, le sol se trouve localement saturé en eau, comme le montrent les mesures effectuées dans différents piézomètres (voir la figure 1) :

	Niveau de l'eau par rapport à la surface du sol
D2	- 0 cm
D3	- 10,0 cm
D4	- 14,5 cm

En outre, vers 14h, l'appareil enregistreur de l'humidité des sols indique, pour la terre fine séchée à

l'air, une teneur pondérale de 53,4% en terrain défriché. A l'emplacement des électrodes, le sol est alors totalement saturé.

- En revanche, du 11 au 17 janvier 1978, 209mm de précipitations tombant avec des abats maximaux en 48h de 92mm, provoquent un écoulement de 910 litres d'eau seulement (C = 5,1%). Du 16 janvier à 11h au lendemain à 11h30, la station reçoit 65mm de précipitations, avec i.méd. = 5,7mm/h et i.Q3 = 7,4 mm/h. 700 litres d'eau sont récupérés dans la cuve amont. Le coefficient de ruissellement ne dépasse pas 12,5%, en dépit de l'abondance des précipitations et de la valeur somme toute moyenne des intensités de la pluie. Il faut donc prendre en considération, dans ce cas, l'intensité globale de la pluie (rapport entre le volume total des précipitations et la durée de l'épisode pluvieux) : 2,7mm/h seulement les 16 et 17 janvier 1978, contre 6,5mm/h le 8 décembre 1977. Dans ces conditions, le sol n'arrive nulle part à saturation. Le 17 janvier, à 12h, le niveau de l'eau dans le piézomètre D2 reste 4cm au-dessous de la surface du sol. A 14h, l'appareil enregistreur de l'humidité des sols mesure une teneur pondérale de 35,2%.

II - LES TRANSPORTS SOLIDES

De septembre 1976 à août 1980, 244kg de terre sont enlevés à la parcelle. Ces pertes correspondent à un taux d'érosion spécifique annuel moyen de 6,98t/ha. A titre de comparaison, rappelons qu'à la station des Ribières - C. Martin, 1975 - (superficie de la parcelle = 188,7m2 ; longueur = 22,5m ; pente = 24°), le taux d'érosion spécifique atteignait 14,44t/ha/an, pour des précipitations annuelles moyennes de 746mm (moyenne des intensités momentanées de la pluie pondérées par les hauteurs d'eau précipitées, i.moy. = 11 ,0mm/h ; contre 6,3mm/h à la station de Lambert).

1) Les relations avec les conditions hydrologiques

TABLEAU II - Ecoulements, transports solides et facteurs climatiques annuels.

TABLE II - *Annual values of runoff, solid losses, rainfall and mean temperature.*

	1976-77	1977-78	1978-79	1979-80
V (litres)	31680	14487	1747	21832
P (mm)	1683	1285	841	1351
C (%)	21,9	13,1	2,4	18,8
Ts (kg)	140,8	30,7	17,5	55,4
t (g/l)	4,5	2,1	10,0	2,5
i.moy. (mm/h)	7,4	5,8	4,7	6,6
d	139	65	10	107
T (°C)	11,0	11,2	12,3	11,8

V : volume d'eau écoulé. P : précipitations. C : coefficient de ruissellement (établi en tenant compte de l'inclinaison de la parcelle). Ts : transports solides totaux, matériaux séchés à l'air. t : charge solide moyenne des eaux écoulées. i.moy. : moyenne arithmétique des intensités momentanées de la pluie pondérées par les hauteurs d'eau précipitées. d : [eau ruisselée (en l) x i.moy. (en mm/h)] / P (en mm). T : température moyenne (à la station climatologique C.E.M.A.G.R.E.F. de Lambert, toute proche).

V : volume of runoff. P : rainfall. C : runoff coefficient. Ts : total solid losses, material dried in the air. t: mean solids concentration in the running water. i.moy. : arithmetic mean of the rain intensities. d : [runoff water (l) x i.moy. (mm/h)] / P (mm). T : mean temperature.

Pour les données mensuelles (Tableaux III à VI), il n'existe aucune relation évidente entre la concentration des produits solides dans les eaux écoulées (t) et les principales caractéristiques hydrologiques susceptibles d'être envisagées pour l'expliquer :

- La violence moyenne de l'écoulement est estimée à l'aide de l'indice d (C. Martin, 1975) :

$$d = \frac{\text{eau ruisselée (en l)} \times \text{i.moy. (en mm/h)}}{\text{précipitations (en mm)}} ;$$

d correspond approximativement à la moyenne arithmétique des débits instantanés dans la cuve pondérés par les volumes d'eau écoulés (l/h).

La figure 2 montre l'absence de lien étroit entre la charge solide des eaux et la valeur de l'indice. Le ruissellement diffus ne possède donc pas un grand pouvoir érosif.

- Il n'existe pas non plus de liaison très serrée avec les valeurs représentatives des intensités de la pluie, en particulier i.Q3 (Fig.2). Cependant les concentrations mensuelles maximales sont enregistrées pour des précipitations violentes : en mai 1977 (6,2g/l, avec i.moy = 9,9mm/h, supérieure à i.Q3 = 9,7mm/h), août 1977 (7,4g/l, avec i.Q3 = 20,9mm/h) et septembre 1978 (16,2g/l, avec i.Q3 = 36,0mm/h). Par rapport aux mois de mai 1977 et septembre 1978, la charge solide des eaux semble relativement faible en août 1977. L'indice d atteint alors 626; contre 84 en mai 1977 et 393 en septembre 1978. Au cours de ce mois, le sol est donc protégé de l'impact des gouttes de pluie par une lame d'eau plus épaisse.

En résumé, l'intensité des précipitations constitue l'un des facteurs majeurs de l'agressivité du climat; mais l'érosion pluviale peut se trouver limitée par l'épaississement de la lame d'eau superficielle. Les observations réalisées à la station de Lambert confir-

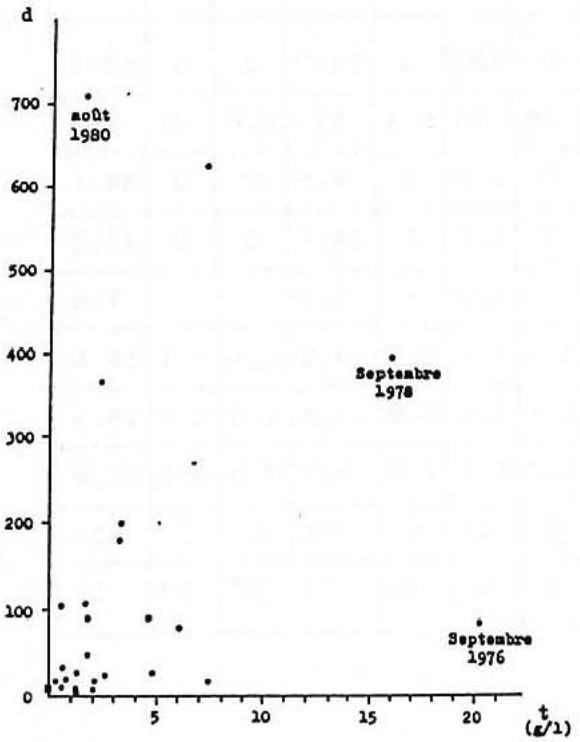

Fig. 2.- *Relations entre la charge solide moyenne mensuelle des eaux écoulées (t) et deux paramètres hydrologiques (d et i. Q3).*

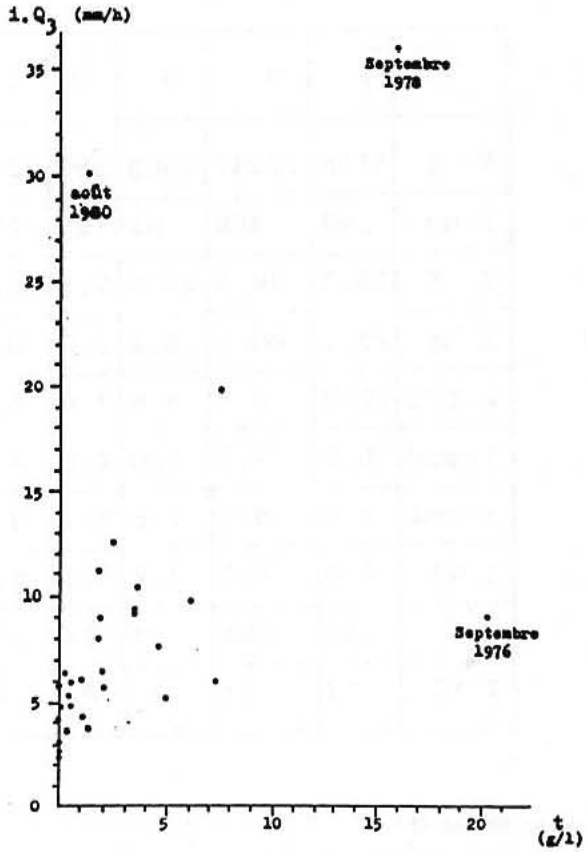

Fig. 2.- *Relationships between the mean monthly concentration of solids (t) and two hydrological parameters (d and i. Q3).*

ment, à cet égard, les résultats obtenus à la station des Ribières (C. Martin, 1975). Le phénomène mis en évidence permet d'expliquer la modestie de la charge solide moyenne des eaux écoulées non seulement en août 1977, mais encore en octobre 1976 (3,3 g/l, avec d = 182 et i.moy. = 7,2mm/h), décembre 1977 (2,5g/l, avec d = 366 et i.moy. = 8,4m/h) et octobre 1979 (3,5 g/l, avec d = 208 et i.moy. = 7,4mm/h).

Par ailleurs, en septembre 1976, 23,1kg de terre sont arrachés à la parcelle, pour des précipitations modestes (69mm) alimentant un écoulement assez peu abondant (1138 l) et peu violent (d = 86). Les eaux ruisselées possèdent une charge solide très élevée (20,3g/l en moyenne), bien que les intensités de la pluie soient relativement faibles (i.moy. = 5,2mm/h; i.Q3 = 9,0mm/h). En ce tout début des investigations, l'érosion témoigne donc d'une efficacité exceptionnelle (voir la Fig.2). Celle-ci résulte à la fois de la perturbation du sol provoquée par l'aménagement de la parcelle et de l'ablation d'un mince horizon A11 très sensible à l'action des eaux pluviales du fait de sa structure finement grenue.

A l'inverse, les transports solides se révèlent étonnamment modestes en août 1980 (9,0kg, contre 47,3 en août 1977, pour des précipitations semblables par le volume, la concentration au cours du mois et les intensités). De fait, à ce moment des observations, la parcelle se trouve envahie par des herbes très nombreuses qui, si elles n'entravent pas le ruissellement superficiel (C = 44,8%, contre 44,1% en août 1977), gênent beaucoup l'érosion mécanique (t = 1,5g/l seulement, avec d = 712).

2) Les caractéristiques physiques des matériaux exportés

TABLEAU III - Ecoulements, transports solides et facteurs climatiques mensuels en 1976-77.

TABLE III - *Monthly values of runoff, solid losses and climatic factors in 1976-77.*

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
V l	1138	12247	1695	396	7242	0	250	0	2327	0	0	6385
P mm	69	485	95	129	273	78	78	5,4	273	9,8	22	168
C %	19,3	29,4	20,8	3,6	30,9	0	3,7	0	9,9	0	0	44,1
E kg	23,1	40,1	8,2	3,0	3,4	0	1,2	0	14,5	0	0	47,3
t g/l	20,3	3,3	4,8	7,6	0,5	-	5,0	-	6,2	-	-	7,4
i.moy.	5,2	7,2	5,0	4,5	4,0	4,0	7,2	0,8	9,9	1,4	3,1	16,5
i.méd.	3,9	6,8	2,6	3,7	3,4	2,7	3,6	0,9	4,8	1,3	2,7	16,2
i.Q3	9,0	9,5	7,7	6,0	5,4	3,7	5,3	1,2	9,7	3,0	5,3	20,9
d	86	182	89	14	106	0	23	0	84	0	0	626
T °C	14	11	7	5	4	7	8	10	11	16	20	18

Voir le tableau II :

i. méd. : médiane des intensités momentanées de la pluie, mm/h. i.Q3 : troisième quartile des intensités momentanées de la pluie, mm/h.

See table II :

i. med. : median of rain the intensities, mm/h. i.Q3 : third quartile of the rain intensities, mm/h.

Les résultats regroupés dans le tableau VII appellent trois séries de remarques :

a) L'érosion pluviale affecte peu les éléments grossiers. En 1979-80, les matériaux exportés sont encore constitués à plus de 98% par de la terre fine. Le plus gros caillou entraîné par les eaux de ruissellement (août 1977) pèse 8,2g et mesure 4,5cm de grand axe. En août 1980, aucun autre caillou de cette taille n'a encore été totalement déchaussé. Ces résultats diffèrent sensiblement de ceux obtenus à la station des Ribières (C. Martin, 1975) où la terre fine a représenté moins de 80% des transports solides dès la deuxième année d'exploitation (1972-73), tandis que la part des cailloux s'est élevée légèrement au-dessus de 1% (le plus gros caillou pèse 279g). Les deux parcelles possèdent des sols assez semblables, avec des teneurs en éléments > 2mm de l'ordre de 45-48%. Mais d'autres conditions doivent être prises en considération : l'intensité des précipitations (i.moy. = 15,5mm/h en 1972-73 à la station des Ribières ; contre 6,4mm/h à la station de Lambert sur la période 1976-80, la pente (24° à la station des Ribières; contre 11° à la station de Lambert) et peut-être aussi, dans une certaine mesure, la longueur de la parcelle (22,5m pour une superficie de 188,7m2 à la station des Ribières, contre 12m pour une superficie de 87,5m2 à la station de Lambert). A la station des Ribières, la saltation pluviale, souvent très efficace en raison de l'intensité de la pluie, a dégagé de nombreux éléments de la taille des graviers et l'écoulement, à la fois très abondant et violent (V = 30362 l en 1972-73; d = 655), les a facilement entraînés. Cependant les concentrations des produits solides ont toujours été faibles en présence d'une lame d'eau superficielle épaisse (3,6g/l le 5 septembre 1972, par exemple, pour un débit instantané de 9000 l/h; alors que la valeur journalière maximale, relevée en juin 1972, atteint 36g/l pour un débit moyen de 820 l/h). Le ruissellement diffus a donc manifesté, en même temps qu'une certaine compétence, son incapacité à exercer par lui-même une action abrasive notable à l'encontre des matériaux structurés du sol.

b) Les matériaux exportés ont des teneurs en matière organique très fortes. Sur la période des observations (1976-80), le taux moyen de cet élément s'élève à 21,6%, alors que la terre fine de l'horizon

TABLEAU IV - Ecoulements, transports solides et facteurs climatiques mensuels en 1977-78.

TABLE IV - *Monthly values of runoff, solid losses and climatic factors in 1977-78.*

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
V l	0	137	1270	10390	925	135	495	275	670	190	0	0
P mm	3,6	44	94	238	287	198	174	107	116	16,4	4,8	1,2
C %	0	3,6	15,7	50,8	3,7	0,8	3,3	3,0	6,7	13,5	0	0
E kg	0	0	2,5	25,6	0,1	0,01	1,4	0,3	0,7	0,1	0	0
t g/l	-	0	1,9	2,5	0,2	0,1	2,8	1,1	1,1	0,5	-	-
i.moy.	0,7	1,8	8,3	8,4	4,8	3,6	8,4	3,4	4,7	2,9	2,1	1,0
i.méd.	0,7	1,6	8,9	8,0	4,4	3,3	7,0	2,9	3,5	1,9	2,2	1,0
i.Q3	0,9	2,4	11,1	12,7	6,4	4,8	10,4	4,3	6,1	4,8	2,2	1,0
d	0	6	112	366	15	2,5	24	9	27	34	0	0
T °C	17	14	8	6	3	4	7	7	11	17	20	21

Voir les tableaux II et III.

See tables II and III.

A12 du sol de la parcelle en contient 4,1%. Certes, la valeur maximale enregistrée en 1976-77 (25,2%) résulte sans doute en partie de l'ablation de l'horizon A11. Mais les teneurs n'en restent pas moins ensuite supérieures à 15% (18,1% en 1977-78; 15,4% en 1978-79; et 16,2% en 1979-80). L'indice de sélectivité (teneur dans les sédiments/teneur dans le sol) atteint 5,3 sur la période 1976-80 et 4,4 sur la période 1977-80.

c) Les terres évacuées possèdent une texture nettement plus fine que celle du sol. D'après les analyses effectuées par l'I.N.R.A., les indices de sélectivité des fractions sableuses sont inférieurs à 1. En revanche, les teneurs moyennes en argile et en limons atteignent respectivement 16,0 et 29,2% dans les sédiments, contre 10,2 et 17,8% dans le sol (Is=1,57 pour l'argile et 1,64 pour les limons). Ajoutons que la teneur en argile mesurée en 1976-77 (11,7%) se distingue nettement de celles obtenues les années suivantes (17,0 ; 23,7 et 16,8%). Ce résultat met en évidence un problème d'ordre méthodologique lié à la difficulté à réaliser une dispersion suffisante des matériaux très humifères en vue de leur analyse microgranulométrique. L'augmentation des teneurs mesurées à partir de 1977-78 provient certainement en grande partie de l'appauvrissement - tout relatif - des matériaux érodés en produits organiques, et donc d'une réduction de l'erreur provoquée par la dispersion des échantillons. Le Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., qui procède à des manipulations plus énergiques que l'I.N.R.A., trouve pour les sédiments déposés en 1976-77 dans la cuve servant de partiteur et pour le sol de la parcelle, des teneurs en argile sensiblement plus élevées (20,5% dans les sédiments ; 13,5% dans le sol) et des teneurs en limons légèrement inférieures (respectivement 24,0 et 16,0%). Mais, pour ces deux fractions, l'indice de sélectivité dépasse 1,5 quel que soit le laboratoire.

III - LES PERTES D'ELEMENTS CHIMIQUES

Le tableau VIII présente les caractéristiques chimiques moyennes des matériaux exportés de septembre 1977 à août 1980[1].

TABLEAU V - Ecoulements, transports solides et facteurs climatiques mensuels en 1978-79.

TABLE V - *Monthly values of runoff, solid losses and climatic factors in 1978-79.*

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
V l	1000	0	0	50	0	226	230	241	0	0	0	0
P mm	63	24	22	126	238	162	127	60	8,2	4,2	5,2	1,6
C %	18,5	0	0	0,5	0	1,6	2,1	4,7	0	0	0	0
E kg	16,2	0	0	0	0	0,5	0,3	0,5	0	0	0	0
t g/l	16,2	-	-	0	-	2,0	1,3	2,1	-	-	-	-
i.moy.	24,7	1,0	1,2	2,3	2,6	4,2	3,5	4,2	1,6	1,5	2,2	0,8
i.méd.	36,0	1,3	1,2	1,7	2,2	3,8	2,5	4,9	2,5	2,3	2,6	0,8
i.Q3	36,0	1,3	2,6	3,1	3,7	5,7	3,7	6,5	2,5	2,3	2,6	1,2
d	393	0	0	0,9	0	6	6	17	0	0	0	0
T °C	19	14	8	7	2	5	8	8	15	18	23	21

Voir les tableaux II et III.

See tables II and III.

[1] Les analyses ont été incomplètes en 1976-77.

TABLEAU VI - Ecoulements, transports solides et facteurs climatiques mensuels en 1979-80.

TABLE VI - *Monthly values of runoff, solid losses and climatic factors in 1979-80.*

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	At
V l	223	11715	963	308	178	0	470	213	1812	0	0	5950
P mm	54	416	57	141	129	6,0	103	76	174	23	17	155
C %	4,8	32,8	19,7	2,5	1,6	0	5,3	3,3	12,1	0	0	44,8
E kg	0,1	40,8	1,8	0	0	0	0,4	0	3,3	0	0	9,0
t g/l	0,4	3,5	1,9	0	0	-	0,8	0	1,8	-	-	1,5
i.moy.	2,9	7,4	5,3	4,1	2,6	2,0	4,1	2,0	4,4	5,3	4,4	18,5
i.méd.	2,5	6,2	3,8	3,3	2,1	2,0	3,9	2,3	3,8	8,0	5,8	18,8
i.Q3	3,5	9,2	9,0	5,9	4,2	2,0	6,0	2,7	8,0	8,0	5,8	30,1
d	12	208	90	9	4	0	19	6	46	0	0	712
T °C	18	13	8	7	4	6	7	9	11	16	20	23

Voir les tableaux II et III.

See tables II and III.

TABLEAU VII - Caractères physiques moyens des matériaux exportés (septembre 1976-août 1980).

TABLE VII - *Mean physical characteristics of solid losses (september 1976-août 1980).*

Tf	Analyse de la terre fine								
	A.	Lf	Lg	Sf	Sm	Sg	Tex.	M.O.	H_2O 105°C
99,6	16,0	20,6	8,6	13,8	15,2	25,9	Sl	21,6	3,4

Analyses I.N.R.A. (Arras). Tf : terre fine, < 2 mm. A. : argile, < 2 µ. Lf : limons fins, 2 à 20 µ. Lg : limons grossiers, 20 à 50 µ. Sf : sables fins, 0,05 à O,2 mm. Sm : sables moyens, 0,2 à O,5 mm. Sg : sables grossiers, 0,5 à 2 mm. Tex. : texture, triangle I.N.R.A. M.O. : matière organique. H2O 105°C : eau d'imbibition.

Les teneurs sont exprimées en % du poids des matériaux séchés à l'air.

I.N.R.A. analyses (Arras). Tf : fine material, < 2 mm. A. : clay, < 2 µ. Lf : fine silt, 2-20 µ. Lg : coarse silt, 20-50 µ. Sf : fine sand, 0,05-0,2 mm. Sm : middle sand, 0,2-0,5 mm. Sg : coarse sand, 0,5-2 mm. Tex. : texture (I.N.R.A.). M.O. : organic matter. H2O 105°C : water of imbibition.

Concentrations are expressed in weight amount per cent of dried in the air material.

Les terres évacuées sont beaucoup plus riches en carbone organique et en azote total que la terre fine du sol. La richesse relative en ces éléments résulte de l'entraînement sélectif des matières organiques. Les indices de sélectivité trouvés pour les cations basiques échangeables (Is=1,7 à 2,6) et la capacité d'échange (Is=2,6) sont liés, de la même façon, à l'érosion très forte des colloïdes minéraux et organiques. Enfin, les valeurs élevées du rapport C/N dans les sédiments (23,9 à 24,4 sur la période 1977-80) s'expliquent par le fait que les eaux de ruissellement transportent des débris végétaux amenés par le vent sur la parcelle.

En ce qui concerne la composition chimique totale des fractions minérales (M M), l'on constate que les matériaux exportés et la terre fine du sol présentent des compositions chimiques assez semblables, même si les premiers sont plus riches en eau de constitution - du fait de leur texture fine - et en calcium. L'entraînement très efficace des particules fines ne s'accompagne donc pas de pertes sélectives marquées en certains éléments. La fraction < 2 µ des rankers possédant des teneurs en fer et en alumine nettement supérieures à celles des échantillons tout-venant (plus de deux fois supérieure dans le cas du fer - C.

TABLEAU VIII - Analyses chimiques des matériaux exportés (septembre 1977-août 1980).

TABLE VIII - *Chemical analyses of solid losses (september 1977-august 1980).*

Caractères agronomiques de la terre fine séchée à l'air :			Composition chimique totale des matériaux, en % :			
				T V	M M	A_{12}
pH Eau	= 5,2		SiO_2	= 51,48	(66,41-67,80)	
pH KCl	= 4,5		Al_2O_3	= 12,18	(15,71-15,81)	
C %	= 10,52	(Is = 4,4)	Fe_2O_3	= 4,02	(5,19- 4,81)	
N %	= 0,44	(Is = 3,7)	CaO	= 0,88	(0,71- 0,58)	
C/N	= 23,9		MgO	= 0,88	(1,10- 1,31)	
P_2O_5 as. %	= 0,024		K_2O	= 3,03	(3,89- 3,81)	
			Na_2O	= 1,50	(1,93 2,10)	
Complexe absorbant			TiO_2	= 0,51	(0,66- 0,70)	
(méq/100 g de sol)			MnO	= 0,07	(0,09- 0,08)	
Ca^{2+}	= 11,62	(Is = 2,6)	P_2O_5	= 0,11	(0,14- 0,12)	
Mg^{2+}	= 1,42	(Is = 1,7)	H_2O 105°C	= 4,07		
K^+	= 0,37	(Is = 2,1)	P.F.	= 19,96	(4,17- 2,88)	
Na^+	= 0,09	(Is = 2,3)	Total	= 98,69		
S	= 13,57	(Is = 2,5)	----------			
T	= 29,34	(Is = 2,6)	Fe_2O_3 "l"	= 1,43		
S/T	= 0,46		Al_2O_3 "l"	= 0,71		

Analyses I.N.R.A. (Arras). C : carbone organique, ANNE. N : azote total, KJELDAHL. P2O5 as. : acide phosphorique assimilable, DUCHAUFOUR. S : somme des cations basiques échangeables. T : capacité d'échange cationique, METSON. TV : ensemble des matériaux exportés. MM : matériaux exportés sans la matière organique, les cations basiques échangeables et l'eau d'imbibition. A12 : terre fine de l'horizon A12 du sol de la parcelle (moyenne de 3 échantillons), traitée comme MM. H2O 105°C : eau d'imbibition. P.F. : perte au feu à 1100°C. Fe2O3 «l» : fer «libre», DEB. Al2O3 «l» : alumine «libre», TAMM. Is : indice de sélectivité = teneur dans les matériaux exportés/teneur dans le sol.

I.N.R.A. analyses (Arras). C : organic carbon, ANNE. N : total nitrogen, KJELDAHL. P2O5 as. : assimilable phosphoric acid, DUCHAUFOUR. S : amount of the basic exchangeable cations. T : cation exchange capacity, METSON. TV : total solid losses. MM : solid losses without organic matter, exchangeable basic cations and imbibition water. A12 : fine material of the A12 horizon of the ranker of the plot, with treatment as for MM. H2O 105°C : water of imbibition. P.F. : fire loss (1100°C). Fe2O3 «l» : free iron, DEB. Al2O3 «l» : free alumina, TAMM. Is : selectivity index = content in solid losses/content in soil.

Martin, 1986) et des teneurs relativement faibles en silice et en sodium, il faut admettre (dans l'attente d'analyses complémentaires) que la fraction limoneuse, la seule capable de contrebalancer l'influence de l'argile dans les sédiments, présente également des caractères particuliers : pauvreté en alumine et en fer, richesse en silice, en sodium et en calcium. En outre, les différences de composition chimique sont infimes entre les échantillons tout-venant des sols de la station et leur terre fine (tableau IX). Les matériaux minéraux exportés ressemblent donc certainement beaucoup à ceux de la totalité du sol de la parcelle.

Les eaux de ruissellement transportent également des éléments en solution. Les exportations de produits dissous sont évidemment très faibles en comparaison des transports solides. Le tableau X résume à cet égard les connaissances acquises au sujet des pertes d'éléments minéraux fertilisants. L'on observe que les migrations de l'azote, du phosphore assimilable et du calcium échangeable s'opèrent essentiellement sous forme solide. En revanche, le sodium échangeable est évacué presque exclusivement en solution. Le magnésium et le potassium échangeables migrent aussi bien en solution que sous forme solide. La quasi-totalité du sodium ainsi qu'une très grande partie du calcium et du magnésium dissous dans les eaux évacuées par le chenal d'écoulement, étaient déjà présentes dans les eaux de pluie (Tableau XI).

TABLEAU IX - Composition chimique des sols tout-venant et de leur terre fine à la station de Lambert (cinq échantillons).

TABLE IX - *Chemical compositions of total and fine soil at the testing station of Lambert (five samples).*

	Mtv	Tf
SiO_2	61,64	60,31
Al_2O_3	17,45	17,13
Fe_2O_3	5,23	5,67
CaO	0,52	0,50
MgO	1,42	1,53
K_2O	3,61	3,71
Na_2O	1,90	1,85
TiO_2	0,66	0,69
MnO	0,05	0,06
P_2O_5	0,07	0,08
H_2O 105°C	2,28	2,52
Perte au feu	4,89	5,68
Total	99,72	99,74

Analyses : I.N.R.A. (Arras) et C.N.R.S. (Caen). Mtv : matériaux tout-venant (fraction grossière, > 2 mm = 25%). Tf : terre fine. Les teneurs sont exprimées en % du poids des matériaux séchés à l'air.

Analyses : I.N.R.A. (Arras) and C.N.R.S. (Caen). Mtv : total material (coarse fraction, > 2 mm = 25%). Tf : fine earth. Contents are given in weight amount per cent of material dried in the air.

TABLEAU X - Pertes d'éléments fertilisants dues à l'érosion superficielle.

TABLE X - *Nutrients losses resulting from runoff.*

	1976-77		1977-78		1978-79		1979-80		1976-79	
	Ts	Td	Ts	Td	Ts	Td	Ts	Td	Tt	TES
N	878	0,3	146	10	70	1,2	235	-	1124	43
S	-	47	43	15	11	2,2	-	-	-	-
P as.	21	0,3	3,1	0,2	1,8	0,0	5,8	-	27	1,0
Ca^{2+} é.	302	63	79	30	38	5,1	125	-	517	19,7
Mg^{2+} é.	26	19	6,6	7,9	2,6	1,0	8,7	-	63	2,4
K^{+} é.	17	21	4,2	8,6	3,0	1,7	7,8	-	55	2,1
Na^{+} é.	1,8	46	0,7	24	0,2	1,7	1,2	-	74	2,8

Les transports solides (Ts), dissous (Td) et totaux (Tt) sont exprimés en grammes et les taux d'érosion spécifiques (TES) annuels moyens, en kg/ha/an. Les matériaux sont séchés à l'air.
N : azote - ions dosés dans les eaux : NO2–, NO3– et NH4+.
S : soufre. P as. : phosphore assimilable. é. : cations basiques échangeables.

Solid (Ts), dissolved (Td) and total (Tt) losses are given in grams and the mean annual specific erosion rates, in kg/ha/year. Materials are dried in the air.
N : nitrogen (N – NO2–, NO3– et NH4+). S : sulphur. P as. : assimilable phosphorus. é. : exchangeable basic cations.

TABLEAU XI - Composition chimique moyenne des eaux de pluie et de ruissellement (septembre 1976-août 1979).

TABLE XI - Mean values of concentrations in rain and runoff waters (september 1976- august 1980).

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^{+}	Na^{+}	Cl^{-}
EP	2,05	0,58	0,65	1,49	2,97
ER	1,28	0,24	0,14	1,30	3,08

EP : eaux de pluie. ER : eaux de ruissellement.
Les teneurs sont exprimées en mg/l.

EP : rain water. ER : runoff water.
Concentrations are given in mg/l.

CONCLUSION

L'étude expérimentale menée sur la parcelle défrichée, mais non labourée, de Lambert complète l'approche qualitative et quantitative des phénomènes érosifs dans le massif des Maures. L'intensité des précipitations joue ici un rôle considérable, car les sols humifères à texture sableuse ont une détachabilité beaucoup plus forte sous l'impact des gouttes de pluie que sous l'effet du ruissellement diffus. Cependant, au cours des averses très violentes, l'épaississement de la lame d'eau superficielle entrave la saltation pluviale et gêne, par conséquent, le développement des phénomènes d'érosion mécanique. L'érosion des sols par les eaux pluviales provoque un entraînement sélectif de la matière organique, des éléments nutritifs et des particules minérales fines. En revanche, les matériaux minéraux exportés possèdent une composition chimique totale semblable à celle de l'ensemble des matériaux minéraux du sol.

Nous sommes reconnaissant à Monsieur J. Tricart de sa lecture attentive du manuscrit et des conseils pertinents qu'il nous a prodigués.

BIBLIOGRAPHIE

Bolline (A.), 1982 : *Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux cultivés en moyenne Belgique.* Thèse Sciences, Liège, 356 p.

Clauzon (G.) et Vaudour (J.), 1971 : Ruissellement, transports solides et transports en solution sur un versant aux environs d'Aix-en-Provence. *Rev. Geog. Phys. Géol. Dyn.*, vol. XIII, fasc. 5, p. 489-503.

Delhoume (J.P.), 1987 : Ruissellement et érosion en bioclimat méditerranéen semi-aride de Tunisie Centrale. *Processus et mesures de l'érosion* (25e Congrès UGI, Paris, 1984), Ed. C.N.R.S., Paris, p. 487-507.

Hanotiaux (G.), 1978 : Entraînements d'éléments nutritifs suite au phénomène d'érosion en région limoneuse. *Pédologie*, vol. XXVIII, p. 192-204.

Martin (C.), 1975 : L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditerranéen provençal : les enseignements d'une station expérimentale. *Rev. Géomorph. dyn.*, t. XXIV, p. 49-63.

Martin (C.), 1986 : *Contribution à l'étude de la dynamique des versants en roches métamorphiques ; l'exemple du massif des Maures.* Thèse de Doctorat d'Etat, Paris I, 935 p.

Messer (T.), 1978 : Influence de trois techniques culturales sur l'érosion des sols dans le vignoble alsacien. Etude expérimentale. *Recherches Géographiques à Strasbourg*, n°9, p. 105-111.

Morand (F.) et Wicherek (S.), 1987 : Douze parcelles de mesure d'érosion sur un versant de la France des plaines : l'exemple de Cessières (1977-1983). *Processus et mesure de l'érosion* (25e Congrès UGI, Paris, 1984), Ed. C.N.R.S., Paris, p. 271-290.

Morgan (R.P.C.), 1979 : Recherches sur l'érosion des sols sableux en Bedfordshire (Angleterre). *Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen*, Strasbourg-Colmar, 1978, Publ. H. Vogt et T. Vogt, Strasbourg, p. 35-38.

Roose (E.J.), 1980 : *Dynamique actuelle des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées.* Thèse Sciences, Orléans. Travaux et Documents ORSTOM, Paris, n°130, 569 p.

Tricart (J.), 1971 : Les études géomorphologiques pour la conservation des terres et des eaux. *Options médit.*, n°9, p. 94-99.

Wischmeier (W.H.), Johnson (C.B.) et Cross (B.U.), 1971 : A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. of Soil and Water Conservation*, vol. 26, n°5, p. 189-192.

Manuscrit reçu le 13 Février
Accepté pour publication après révision le 29 Mars 1989.