

Erodabilité des terres noires de la vallée du Buëch (France, Alpes du Sud)

Jean-Claude OLIVRY (1), Jacques HOORELBECK (2)

(1) Hydrologue, ORSTOM 2051 av. du Val-de-Montferrand, 34032 Montpellier Cedex (2), PACA, quartier La Croix, 04290 Volonne

RÉSUMÉ

Depuis 1985, un projet BRGM/ORSTOM étudie les processus d'érosion sur les bassins représentatifs de Savournon et St-Genis dans la vallée du Buëch. Les auteurs ont mesuré la charge solide en suspension et le charriage, les paramètres hydroclimatologiques et l'évolution de la microtopographie des versants. Les bilans des transports solides aux exutoires permettent de proposer une dégradation spécifique moyenne de l'ordre de 10 000 t.km⁻² an⁻¹ et d'identifier les zones productrices aux seules surfaces de sols dénudés ou à végétation clairsemée. Il y a correspondance entre ces mesures et celle de l'ablation sur les versants.

MOTS-CLÉS : Marnes noires — Bilans d'érosion — Matières en suspension — Charriage — Dégradation spécifique — Ablation des versants.

ABSTRACT

EROSION OF BLACK GROUNDS OF BUECH VALLEY (SOUTHERN ALPS, FRANCE)

Since 1985, a BRGM-ORSTOM program is studying erosion processes on representative basins of Savournon and St-Genis catchments in Buëch valley. Suspended and bed load, hydrological and climatic parameters, slope microtopography evolution have been measured. Solid transport budgets to outlets allow to consider a specific degradation mean value in the order of 10 000 t.km⁻² year⁻¹ and to identify the productive areas so that nuded or with a scattered vegetation soils. A model is proposed showing a correlation between these data and the slope mean erosion.

KEY WORDS : Black marl — Sediment budgets — Suspended and bed load — Specific degradation — Slope erosion.

RESUMEN

CAPACIDAD DE EROSIÓN DE LOS SUELOS NEGROS EN EL VALLE DE BUECH (FRANCIA, ALPES DEL SUR)

Desde 1985, un proyecto BRGM/ORSTOM estudia los procesos de erosión en las cuencas representativas de Savournon y St Genis en el valle de Buëch. Los autores evaluaron la carga de sedimentos en suspensión y el corrimiento, los parámetros hidroclimatológicos y la evolución de la microtopografía de las vertientes. Los balances de los materiales sólidos transportados hacia las salidas permiten que se proponga una degradación específica media de unos 10 000 t.km⁻² añ⁻¹ y que se identifiquen las zonas productoras con las superficies de suelos desnudados o cubiertos con vegetación escasa. Hay una correspondencia entre esas medidas y la de la ablación en las vertientes.

PALABRAS CLAVES : Margas negras — Balances de erosión — Materias en suspensión — Corrimiento — Degradación específica — Ablación de las vertientes.

INTRODUCTION

Avec le concours du ministère de la Recherche et du Conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA), l'ORSTOM a entrepris, à partir de 1984, dans les Alpes du Sud, en association avec le BRGM, une étude sur l'estimation des bilans d'exportation de matières solides en zones sensibles à l'érosion. Les travaux localisés aux vallées du Buëch et de la moyenne Durance ont porté sur cinq bassins dont une des caractéristiques principales tient au substratum constitué uniquement par les terres noires issues de marnes du Jurassique supérieur. L'objectif majeur du projet consistait à déterminer une méthode de calcul simple pour évaluer dans des régions à forte érodabilité (marnes, pentes fortes) et à saisons contrastées, le comblement de retenues par les transports solides et impliquait de concentrer les mesures à l'exutoire de bassins de différentes superficies. Deux bassins emboîtés (75 et 7,8 ha) ont été suivis à Savournon près de Serres ainsi que deux autres bassins à Saint-Genis et à Mison, de superficie comparable (3 ha), près de Laragne, et un bassin de 470 ha sur le Saignon près de la Motte-du-Caire. Aux mesures des exutoires, se sont ajoutées des observations « amont » destinées à mieux comprendre les processus mis en œuvre dans l'érosion de ces régions (étude des versants, de parcelles et de ravines élémentaires) sur les bassins de Savournon et St-Genis, plus particulièrement étudiés ici.

GÉNÉRALITÉS

Situation géographique et géologie (fig. 1)

La zone d'étude est située à proximité immédiate du bassin de Laragne, aux confins des Hautes-Alpes et des Alpes de Haute-Provence, vaste dépression bordée au nord par les Massifs de Céuze — Barillonnette — St-Genis, à l'est par le Dôme de Gap, à l'ouest par les Baronnies et au sud par les Préalpes de Digne et la montagne de Lure. Entre ces deux derniers ensembles s'insinue la Durance, la « cluse » de Sisteron se situant juste après son confluent avec le Buëch.

Le bassin de Laragne est creusé dans les marnes noires oxfordo-calloviennes d'un vaste anticlinal complètement évidé : les hauteurs qui subsistent forment des « crêts » de calcaire tithonique, dominant, partout, le paysage. A ce substratum, s'ajoutent des collines, vallums morainiques et terrasses fluvioglaciaires entre la Durance et le Buëch, à l'amont de leur confluence qui marquent l'extension maximale du glacier durancien pendant les dernières glaciations quaternaires (RISS et WÜRM).

La région se caractérise par des formations lithologiques très vulnérables à l'érosion météorique ; les formations tendres dominent par rapport à la faible puissance des formations calcaires résistantes. Les terres noires ont une épaisseur pouvant atteindre 1 300 m dans la zone étudiée ; elles se sont déposées du Bathonien supérieur à la fin de l'Oxfordien. Le bassin de Savournon se situe dans le Callovien inférieur et moyen. De fait, la physionomie générale des terres noires ne varie pas sur l'ensemble du Callovo-oxfordien de la région. Nos analyses indiquent une teneur en roches carbonatées nettement plus faible à Savournon qu'à St-Genis (14 % de $\text{CO}_3 \text{ Ca}$ contre 31 %). D'autres mesures donnent une différence encore plus grande (10 à 17 % de calcite à Savournon contre 37 à 56 % à St-Genis). Les fractions argileuses sont respectivement de l'ordre de 32 à 47 % contre 55 à 60 % à Savournon mais les compositions sont différentes : la part des smectites et interstratifiés est de 40 % à St-Genis et tombe à 28 % à Savournon (DELHUMEAU 1985, BUFALO 1987). Le pourcentage d'argiles gonflantes au sein de la fraction argileuse joue un rôle important dans les processus d'altération et d'érosion des marnes, et non leur part dans la fraction minérale totale (16 % sur les bassins), l'autre facteur déterminant étant la teneur en calcaire (OLIVRY, 1986). Argiles gonflantes et calcaire ayant une incidence inverse vis-à-vis de l'érodabilité des marnes, les variations observées dans les analyses d'un bassin à l'autre devraient conduire ici à des taux d'érodabilité comparables (fig. 2).

Contexte climatique

Cette région des Préalpes du Sud est assujettie à un climat méditerranéen et montagnard.

— Les traits méditerranéens sont marqués avant tout par la sécheresse estivale (tabl. I), accompagnée d'assez fortes températures diurnes, mais aussi par l'irrégularité interannuelle des précipitations. Peu sensible au niveau des totaux annuels, celle-ci est très visible au niveau des saisons : ainsi, en 1978, il est tombé 10 mm de pluie en 3 mois d'automne à Laragne (sept., oct., nov. en moyenne 250 mm), alors qu'il est tombé 300 mm pour le seul mois d'octobre 1979. Le climat est encore méditerranéen par son fort ensoleillement (+ de 2 700 heures par an), avec pour conséquence un réchauffement diurne important, et un intense rayonnement nocturne ; il en résulte de fortes amplitudes thermiques journalières, un grand nombre d'alternances gel/dégel (principal facteur, avec les alternances humectation/dessiccation, de la désagrégation des roches), et une opposition très nette entre ubac et adret, accentuée par l'orientation générale est-ouest du relief.

— Montagnard, le climat de cette région l'est par ses précipitations nivales et ses températures hivernales :

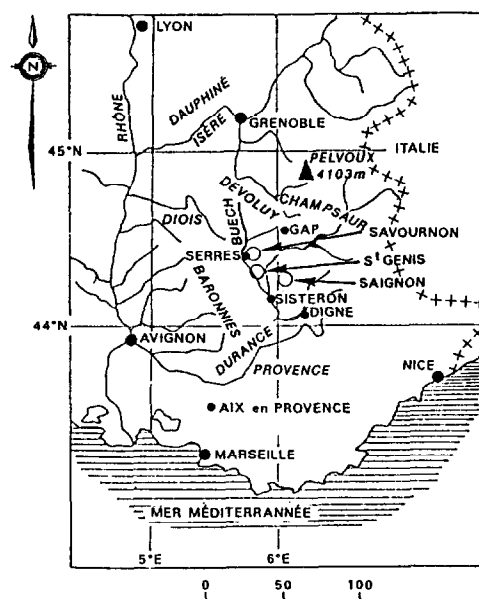


FIG. 1. — Croquis de situation des bassins étudiés
Location of the research basins of this study

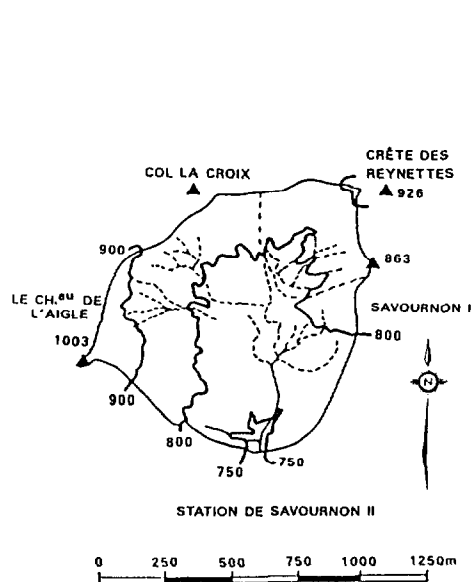


FIG. 1a. — Bassin de Savournon
1a. Savournon basin

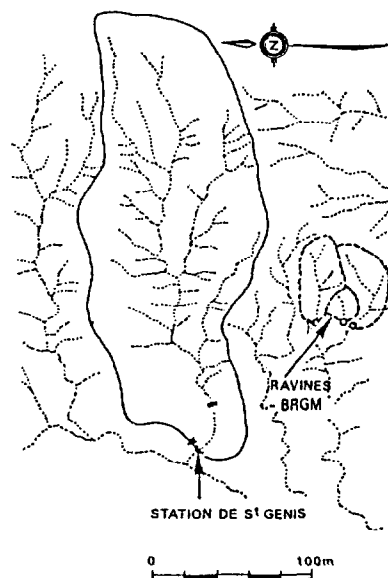


FIG. 1b. — Bassin de St-Genis
1b. St-Genis basin

partout plus de 100 jours de gel par an. En revanche, les précipitations augmentent peu avec l'altitude : le bassin de Laragne participe, avec tout le haut bassin de

la Durance, du microclimat haut-alpin, sec et ensoleillé (dû à la protection des massifs montagneux, formant écran aux masses d'air humides). La normale des pré-

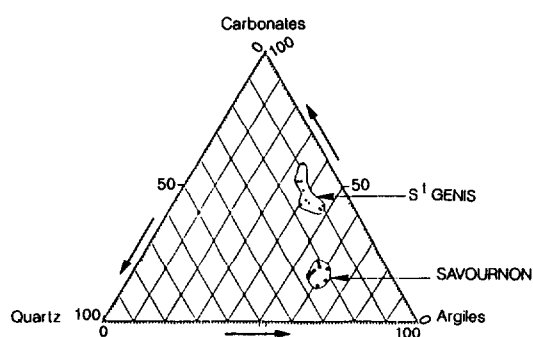


FIG. 2. — Diagramme quartz-argiles-carbonates établi à partir d'analyses de 8 échantillons de marnes du Callovien supérieur de Savournon (d'après BUFALO, 1987).
Piper diagram set up from analysis of 8 samples of marl from the upper "Callovien" in Savournon basin.

précipitations annuelles (1951-1980) est de 838 mm à Laragne (Alt. 575 m) et de 912 mm à Serres (Alt. 665 m). La répartition saisonnière des hauteurs de précipitations se fait dans l'ordre « Automne - Hiver ou Printemps - Eté », les épisodes pluvieux méditerranéens sont caractérisés par l'abondance et la violence des averses. Ils sont observés le plus souvent dans les orages d'été et d'automne. Les pluies de printemps sont souvent abondantes mais de longue durée. Des événements exceptionnels sont observés en toute saison. Pendant la durée d'étude, les années 1985 et 1986 ont été relativement déficitaires et l'année 1987 a été excédentaire tant à

Savournon qu'à St-Genis. Les résultats des mesures sont comparés aux stations voisines de Serres et Laragne-Mison dans le tableau I.

Caractéristiques des bassins et équipements

Les bassins étudiés sont caractérisés par un paysage dominant de roubines (ou bad-lands) aux terres nues ou à faible couvert végétal.

Les ravines y sont actives, et constituent autant de drains de ruissellement et transport des produits d'érosion. A Savournon, le réseau hydrographique et les ravines se ramifient en éventail donnant une forme caractéristique au bassin de réception torrentiel. Savournon I et II ont ainsi une forme compacte qui facilite la concentration des écoulements (indice de compacité de 1,1). A St-Genis, en revanche, les ravines dessinent un réseau dendritique relativement allongé ; cette différence est peu significative du fait de la taille du bassin nettement inférieure à Savournon I. Les pentes sont très fortes et dépassent souvent 50 % en tête de bassin et 35 % sur toutes les zones de ravines productives.

La végétation est très pauvre : sol nu ou végétation clairsemée dominante ; la lande est très réduite, les pelouses continues sont plus fréquentes et le fond des talwegs est parfois couvert par un taillis (fruticée d'argousiers).

Les figures 1a et 1b donnent une carte des bassins de Savournon et St-Genis.

Sur ces bassins, les études ont porté sur :

— les précipitations (pluviographes OEDIPE et pluviomètres),

TABLEAU I
Précipitations mensuelles et annuelles sur les bassins de Savournon et St-Genis
Monthly and annual precipitation on the basins of Savournon and St-Genis

SAVOURNON													
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1985	60	45	140	48,0	210	51	2,0	81,5	0,5	2,0	72,5	85,5	798
1986	121	81,5	10,0	180,0	70	68	32	121	76,5	39,5	78	61,5	939
1987	285	58,5	37,5	176	70,5	89	66	88	50	225	55	95	1039
1988	100,5	68	74,5	107,5	103,5								

St GENIS													
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1985	56	29,5	126	37,5	53,5	72	8,5	94	3,5	2,5	68,5	82	633,5
1986	115	81	10,2	17,8	61	20	11	58,5	89	41	82,5	60,5	808,7
1987	27	74,5	38	116	61,5	75	95	62,0	28	17,8	47	90	902,5

TABLEAU II
Caractéristiques des bassins versants
Physical characteristics of the research basins

	Savournon II	Savournon I	St Genis
Superficie (ha)	75	7,84	2,36
Coordonnées :			
Lat. N	44°25	44°25	44°22
Long. E	5°47	5°47	5°45
Altitude exutoire	750	770	640
Altitude maximale	1 015	900	752
% Terres nues	19	50	45
% Végétation clairsemée	38	31	25
% Marnes végétalisées (pelouses ou taillis)	43	19	30
Pentes > 35 %	40 %	77 %	62 %

- les écoulements (limnigraphes CHLOE, canaux de mesures et déversoirs),
- les transports solides (suspensions et matériaux grossiers) par préleveurs automatiques à siphons, échantillonnage manuel, pièges à sédiments,
- ablation sur les versants (ravines équipées, parcelles, microprofils).

ÉVÉNEMENTS PLUVIOMÉTRIQUES ET EXPORTATION DE MATIÈRE À L'EXUTOIRE DES BASSINS DE SAVOURNON

Les mesures à Savournon

L'information pluviométrique a déjà été évoquée dans sa distribution mensuelle. Le tableau III résume l'essentiel de l'information recueillie sur le bassin de Savournon I et II de 1985 à mai 1988.

La chronique des précipitations se rapporte aux pluies journalières de plus de 10 mm. Les intensités maximales instantanées, celles dépassées pendant au moins 5 minutes et la durée de l'averse constituent autant d'indications sur le pouvoir érosif des averses.

Les débits sont connus à partir de jaugeages effectués pour différentes cotes à Savournon I et II et de l'étalonnage d'un déversoir triangulaire sur Savournon I à partir de mai 1987. Le suivi des hauteurs d'eau a été obtenu par des limnigraphes à capteurs de pression et des observations directes effectuées par les opérateurs. Certaines reconstitutions ont dû être effectuées à partir des maximums atteints et de la physionomie de l'événement observé à l'une ou l'autre des stations. Les valeurs indiquées entre parenthèses ne constituent que des estimations probables faites aux seules fins de compléter les bilans annuels.

Un aspect particulier des études hydrologiques dans ces régions porte sur la validité des débits déterminés

par les mesures classiques. Pour des concentrations de matière solide dépassant 200 gl⁻¹, les enregistrements de pression prenant en compte un fluide dont la densité est nettement supérieure à 1 conduisent à une surestimation des hauteurs d'eau équivalentes. MEUNIER (CEMAGREF, 1987) a ainsi montré sur le bassin de Draix une surévaluation du volume d'une crue de 27 % pour une concentration maximale de 348 gl⁻¹ pour les matières en suspension (MES). Nos propres mesures tiennent généralement compte des hauteurs réelles lues aux stations. Les tonnages des matières en suspension sont obtenues à partir de la variation des débits solides déduits des hydrogrammes de crues et des mesures ponctuelles de concentrations en MES (prélèvements automatiques ou manuels). Les concentrations n'ont pas été reportées ici ; elles ont fréquemment dépassé au plus fort du transport des valeurs de 400 gl⁻¹. L'évaluation des matériaux transportés par saltation et charriage (char.) est faite par nivellement des pièges à sédiments, détermination volumique des dépôts d'une densité moyenne voisine de 1,3. Cette évaluation cumule parfois plusieurs événements, la répartition faite n'est qu'indicative et elle est basée sur l'importance des événements ; la nécessité de vidanger les pièges nous a amené à faire des estimations pour les données manquantes, soit à partir des valeurs obtenues sur le bassin observé, soit par similitude avec des événements comparables. Les tonnages indiqués correspondent à la fraction supérieure à 0,5 mm, les dépôts « de fines » ayant déjà été pris en compte dans les concentrations en MES des prélèvements en amont des pièges. Les pourcentages de la fraction grossière sont obtenus par granulométries moyennes effectuées sur plusieurs échantillons de dépôts.

Précipitations et écoulement

Sur la période d'étude et d'enregistrement des pluviographes, plus de 70 % des précipitations journalières mesurées sur nos bassins sont inférieures à 10 mm. Pour Savournon, le pourcentage est de 74 % ; 14 % des averses sont compris entre 10 et 20 mm (78 % et 12 % à St-Genis). La hauteur de précipitation de 10 mm constitue un premier seuil dans l'apparition de l'écoulement et des transports solides. Le deuxième seuil est celui de l'intensité. Un nombre restreint d'événements pluviométriques est donc susceptible d'avoir un pouvoir érosif. Parmi ces événements (supérieurs à 10 mm), on distingue plusieurs catégories d'averses :

- des pluies moyennes en intensité, durée et hauteur ;
- quelques événements exceptionnels :
 - des pluies de faible intensité mais de longue durée qui jouent un rôle dans la saturation du sol ;
 - des pluies brèves mais très intenses qui ont un pouvoir érosif important par effet de battance.

TABLEAU III
Evénements hydropluviométriques et transports solides observés à Savournon
Characteristics of storms, floods and sediment transport measured in Savournon

Pluies					Savournon I					Savournon II					
N°	Date	P _{mm}	I _{max} mm/h	I _s	Durée H.mn	Max l/s	Vol m³	K % KR	MES Tonnes	Char. Tonnes	Max l/s	Vol m³	K % KR	MES Tonnes	Char. Tonnes
1985															
1	24,5	27,5	90	50	3,35	500	600	36	100	10				(420)	
2	1,6	48,5	225	145	1,00	1 800	2 140	56	300	130				(2 700)	(200)
3	5,8	42,5	86	47	9,00	300	370	11,2	25	-				(80)	
4	25,8	27	32	11,5	7,30	35	290	13,7	2,7	-					
Total							3 400		428	140				(3 200)	(200)
1986															
5	8,4	20	-	-	-	15	115	7,3	0,4	-	50	750	5	1,4	30
6	20,6	35	-	-	-	150	820	30	125	5,1	700	3 780	14,4	490	
7	11,8	21,5	-	-	-	15	90	5	0,9	-	-	(500)	-	(10)	
8	17,8	45	90	60	2,00	350	1 230	35	165	13,5	2 600	11 700	35	1 050	
9	26,8	22,5	80	60	1,30	60	420	24	17	1,2	150	2 500	14,8	68	
10	28,8	25	60	48	1,30	60	590	30	19	1,2	140	3 000	16	65	41
11	24,9	38	27	18,5	6,40	100	540	18,1	14,8	(1)	90	1 200	4,2	20	
12	23,10	16,5	35	26	7,55	30	120	9,2	2	-	-	(500)	-	(10)	
13	14,11	65,5	-	11	18,30	3	80	1,6	0	-	10	500	1	0	9
Total							4 005		344	22		24 430		1 714	80
1987															
14	4,4	70,5	38	25	15,20	250	1 200	21,7	9,5	4	800	4 300	8	23	17
15	5,4	16	62	42	2,30	-	250	20	10	4	-	(1 100)	-	(45)	44
16	8,4	13,5	16	12	14,50	3	50	4,7	0	-	6	200	2	0	
17	9,4	28,5	-	8	17,00	4	60	2,8	0	-	6	400	1,9	0	
18	3,5	20	40	30	7,00	100	550	35	45	4	640	4 000	27	218	12
19	23,8	37,5	-	-	-	-	(250)	-	(20)	(2)	-	(1 000)	-	(100)	
20	24,8	31	-	-	-	150	845	35	102	(10)	560	3 500	15	480	
21	27,8	24	-	-	-	100	525	28	62,6	(6)	500	3 420	19	294	
22	26,9	15,5	60	24	2,10	-	(200)	-	(10)	(1)	90	1 160	10	100	54
23	5,10	45	60	42	3,00	250	880	25	86	(6)	820	4 050	12	400	
24	6,10	21	48	36	2,00	150	525	32	6	-	560	2 290	14,5	38	(28)
25	10,10	39	-	-	-	100	250	8	50	(5)	300	1 350	(5)	216	
26	11,10	39	-	-	-	-	(300)	-	(7)	(7)	350	2 700	(10)	260	
27	28,10	24,5	60	36	1,20	200	330	17	(60)	(6)	300	2 760	15	200	27
28	29,10	24	45	38	2,40	-	(410)	(22)	(80)	(7)	500	3 600	20	270	(28)
Total							6 625		611	62		35 830		2 744	210
1988															
29	14,1	38,5	6	4	30,00	5	90	0	0	-	12	600	-	0	
30	16,3	28,5	6	6	22,00	5	60	0	0	-	8	400	-	0	42,6
31	30,3	28,5	5	5	24,00	5	60	0	0	-	6	400	-	0	
32	12,4	16	12	12	5,30	2	(70)	0	0	-	54	475	4	0,12	
33	25,4	9,5	16	14	3,00	-	(80)	0	0	-	86	430	6,1	0,09	
34	26,4	18,5	28	24	4,30	-	(60)	0	0	-	86	220	1,5	0,11	
35	29,4	13,5	36	28	5,00	-	(100)	0	0	-	103	695	4,9	1,64	
36	16,5	60,5	124	100	6,00	1 200	2 820	60	262	(100)	8 500	27 200	60	2 214	(100)
Total							3 340		262	100		30 420		2 216	140

L'analyse de l'écoulement montre que celui-ci varie considérablement suivant les épisodes pluvieux et leur intensité, et les états d'humidité antérieure. Les coefficients d'écoulement pour imprécis qu'ils soient, montrent bien des familles d'événements hydropluviométriques très différentes dont le rôle dans l'exportation de matières à l'exutoire des bassins sera ou non déterminant.

Les paramètres Hauteurs de Pluies, Intensité et Durée de la Pluie Utile, en jouant sur le volume de la crue, son maximum et sa concentration, ajoutent à leur incidence érosive sur les versants, une incidence déterminante dans la capacité de transport et d'érosivité au niveau du réseau hydrographique.

Pour des événements pluviométriques très importants, on observe sur les deux bassins, des coefficients d'écoulement pouvant aller jusqu'à 50 et 60 %, ce qui conduit à un ruissellement de 80 à 90 % sur les terres nues

des roubines. Encore faut-il nuancer ces valeurs ; les volumes concernent un fluide chargé souvent en fortes concentrations et non la seule eau de pluie. Une autre famille d'événements jouant un rôle non négligeable dans l'érosion donne des coefficients d'écoulement compris entre 10 et 30 %. Enfin de plus faibles coefficients sont observés pour les averses de faibles intensités passant insensiblement aux épisodes pluvieux au coefficient d'écoulement nul. La figure 3 montre pour Savournon, la distinction qui peut être faite entre averses ayant généré un écoulement ou non à partir de leur hauteur et de l'intensité maximale.

Suspension et charriage

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation vraiment déterminée entre les tonnages exportés en suspension et ceux piégés après identification de la part de gros matériaux. A Savournon II, la part des « fines »

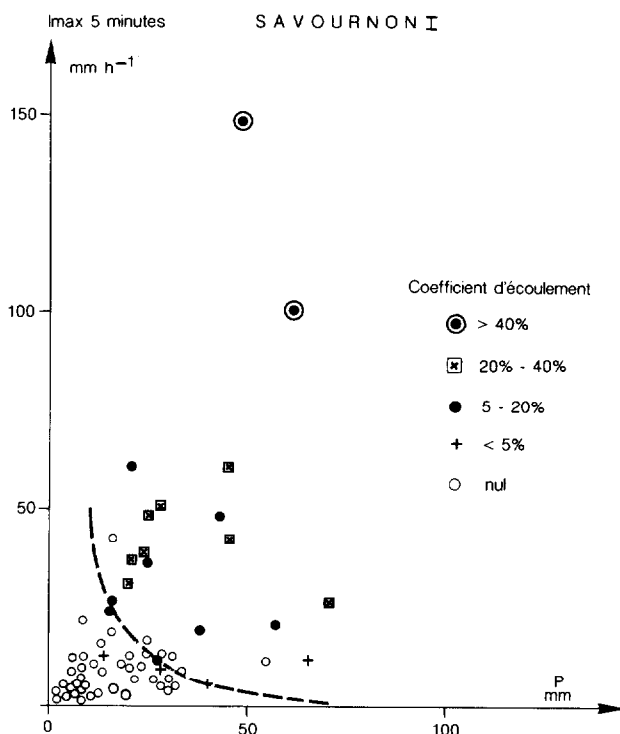


FIG. 3. — Caractéristiques des précipitations et écoulement.
Characteristics of storms and runoff.

(argiles et paillettes inférieures à 0,5 mm) peut passer de 25 % du volume piégé (juin et août 1986) à 60 % (août et octobre 1987) ou même à 80 % (avril 1987 et 1988). Tout dépend de la forme et de la violence de la crue et en particulier de la durée de la décrue qui favorise une décantation des fines pour de petits débits soutenus. Des granulométries du sédiment sont nécessaires pour évaluer les charges en matériau grossier. Les évaluations qui ont été faites montrent que celles-ci représentent dans tous les cas moins de 10 % de la charge solide totale et le plus souvent moins de 5 %.

En amont, à Savournon I, les choses peuvent être différentes. On se trouve ici plus près des zones de production et le transport hydrique n'a pu détruire toute la cohésion du matériau grossier. On a ainsi relevé dans le piège de la station après une crue de printemps (mai 1985) 66 % d'éléments supérieurs à 2 mm et 75 % supérieurs à 0,5 mm pour une charge totale en gros matériau représentant 10 % de la charge en suspension, suivant donc un schéma très voisin de Savournon II. Mais ce pourcentage est passé à plus de 40 % lors de la crue du 1^{er} juin 1985, et le matériau piégé contenait 95 % d'éléments supérieurs à 2 mm. Il s'agit là d'événements où peuvent intervenir de véritables laves torrentielles. Leur poids dans le bilan annuel des exportations est tel que la fraction « charriage » ne peut être négligée.

D'autres événements permettent d'estimer à 30 et 40 %, pour Savournon I, la charge en matériau grossier pour les très fortes averses à forte intensité. Les événements plus modestes ne permettent pas de transports supérieurs à 10 % de la charge totale transitant à la station.

La particularité des marnes est de se débiter en frites, plaquettes puis paillettes et éléments fins pour passer aux suspensions et argiles d'autant plus vite que les teneurs en carbonate de calcium sont faibles. En quelques hectomètres, la part des éléments grossiers devient négligeable. Les éléments grossiers observés dans le lit à sec d'un ruisseau moyen proviennent, à l'exception des débris de filonnets de calcite et autres galets calcaires, des versants immédiatement amont (OLIVRY, 1987). La différence relevée entre Savournon I et II en est une preuve. La figure 4 montre bien la distorsion qui apparaît dans la relation entre les MES de Savournon II et celles de Savournon I (0) (14 couples) à partir d'un certain seuil d'exportation de matières (environ 120 tonnes de MES à Savournon I) : les tonnages augmentent plus vite sur Savournon II. Cela signifie qu'entre les 2 stations, il y a transformation en MES d'une partie du tonnage charrié à Savournon I. La relation tend à s'équilibrer si on rajoute aux tonnages mesurés à cette station, ceux du matériau grossier (x).

Ces observations semblent justifier de reporter les mesures sur des bassins de plusieurs dizaines ou centaines d'hectares pour s'affranchir dans ce type de milieu de la mesure toujours délicate des matériaux charriés (OLIVRY, HOORELBECK, 1985).

Exportation de matière et processus d'érosion

Les figures 5 et 6 montrent quelques événements « pluie-crue-exportation des MES » sur Savournon I et II. Les figures 7 et 8, illustrent la dispersion des phénomènes à l'échelle des événements ponctuels, l'exportation de matière ou même la concentration moyenne en suspensions par rapport à la hauteur de précipitation, aux intensités maximales des averses ou aux conditions saisonnières du milieu. Aucune famille bien caractérisée n'apparaît dans l'analyse des crues de Savournon II, si ce n'est des évidences : les averses les plus fortes et violentes entraînent le plus de matériaux.

A noter :

- les deux plus fortes crues de printemps (n° 2 et 36) et aussi les très fortes concentrations atteintes par les grosses crues d'été ou d'automne (disponibilité du matériau par dessiccation de la surface d'altération des versants),
- les pluies importantes étalées dans le temps sans production notable de sédiment à l'exutoire des bassins, mais qui ne sont pas pour autant restées sans effets même si ceux-ci ont été différés.

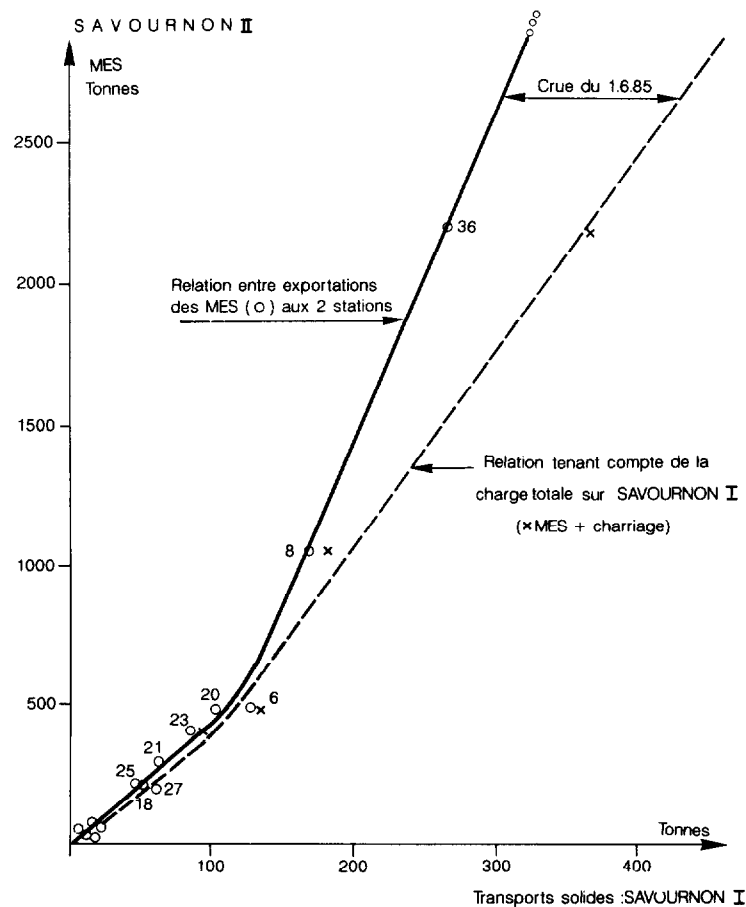


FIG. 4. — Relation entre les transports solides mesurés sur Savournon I et II pour les principales crues observées.
Relation between sediment transports measured in Savournon I and II for the main floods.

Un rappel des processus observés sur ces bassins permet de préciser les phénomènes intervenant dans l'érosion des marnes noires. Sans entrer dans le détail, les paramètres jouant au niveau de l'érodabilité du milieu sont : l'exposition, la pente des versants, leur orientation par rapport au pendage, la nature du substrat, la pétrographie (calcimétrie et argiles gonflantes), les sols, l'épaisseur de la zone d'altération et la mobilisation du matériau (alternance gel-dégel, épisodes de dessiccation, gonflement des argiles, limites de plasticité et de liquidité d'Atterberg, etc.). Le potentiel érosif se situe au niveau des averses, de l'intensité des pluies, de l'énergie cinétique des gouttes (effet de battance), de l'apparition du ruissellement, de l'imbibition en profondeur, de la compétence des ruisselets, du stockage des matériaux sur les versants, dans les drains primaires et de leur déstockage suivant l'importance de l'écoulement, des états de surface et en particulier des zones battues.

L'énumération incomplète qui précède situe la complexité des mécanismes. On peut y ajouter les événements ponctuels susceptibles d'intervenir pour une bonne part dans le bilan annuel des exportations d'un petit bassin et qui ne sont pas forcément liés à un événement pluviométrique immédiat :

- phénomène de solifluxion, d'érosion rampante (creep), glissements de terrain et éboulements d'abrupts ou de corniches,
- microcoulées de boue sur les versants, laves torrentielles au niveau des drains.

Tous ces phénomènes ont été observés sur les bassins PACA et en particulier à Savournon et à St-Genis ; ils mettent à disposition des drains hydrographiques un matériau qui sera exporté par les prochaines crues.

L'intégration de tous ces phénomènes, plus ou moins aléatoires ou plus ou moins spécifiques aux différentes composantes géomorphologiques, suppose bien que les

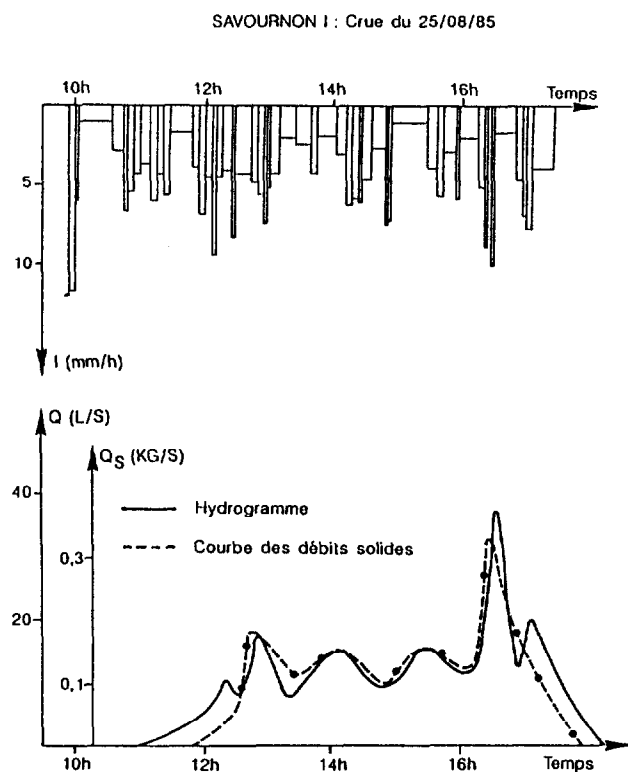


FIG. 5. — Averse, crue, transport solide à S I.
Storm, flood and sediment transport diagrams : an example in S I.

bilans soient directement mesurés à l'exutoire de bassins d'une taille minimale (quelques dizaines d'hectares).

L'observation d'événements pluvieux sur ce type de bassin a cependant montré une liaison assez étroite entre l'évolution de l'averse (intensités) et celle des concentrations en MES des écoulements. Le schéma suivant a été proposé (OLIVRY, 1986) :

En début d'averse, l'effet de battance (effet splash) mobilise les particules libres à la surface des marnes sèches et, par ruissellement, apporte à la station la première pointe de concentration, classique dans tous les cas. Puis, l'imbibition des marnes provoque rapidement un gonflement des argiles, la fermeture des fissures et une plus grande cohésion des marnes, avec diminution de l'infiltration ; le ruissellement s'intensifie et l'érosion, qui avait diminué, va se développer suivant les filets du ruissellement et les rigoles observés sur les versants en suivant en intensité le hyétogramme de l'averse. Lorsque l'imbibition a gagné en profondeur, des mottes de marne altérée peuvent se détacher du versant ou atteindre leur limite de liquidité et rejoindre le lit du ruisseau. A ce niveau d'ailleurs, l'importance de l'écoulement en augmentant son pouvoir érosif va exporter des

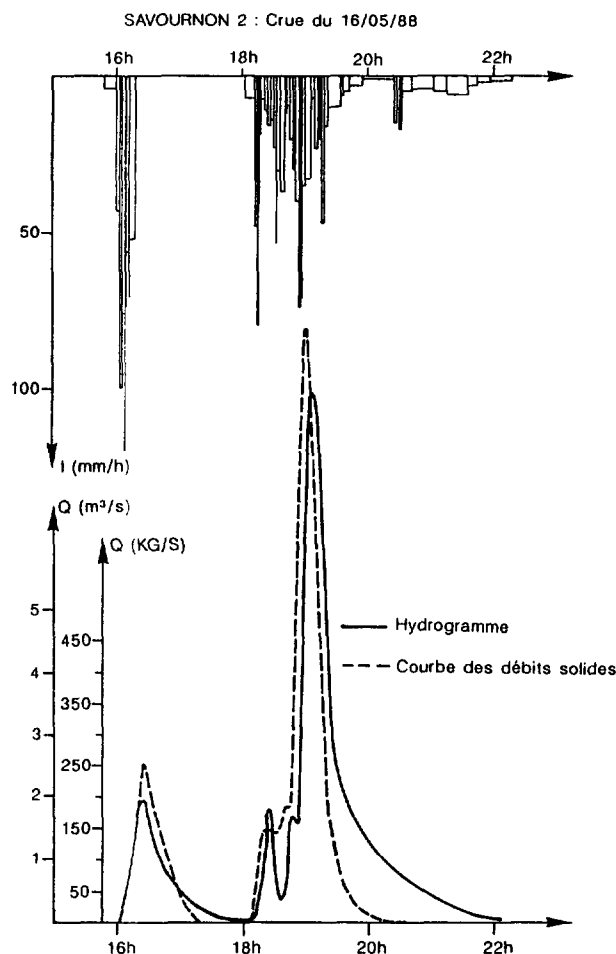


FIG. 6. — Averse, crue, transport solide à S II.
Storm flood and sediment transport diagrams : an example in S II.

dépôts précédemment stockés et faciliter l'érosion des bas de versants.

En définitive, l'incidence de ces différents processus sur des pas de temps différents explique que l'analyse du transport solide à partir des caractéristiques des crues, soit particulièrement délicate. Il peut y avoir un décalage important dans le temps entre la mobilisation des matériaux et leur exportation. Ainsi, des pluies soutenues mais sans fortes intensités (ou le manteau neigeux) peuvent être responsables de mouvements de masse importants qui seront repris ultérieurement au niveau du drain lors d'une pluie ayant bien ruisselé du fait de bonnes conditions d'humidité préalable (bonne cohésion de l'altérite) et pas seulement d'une forte intensité.

Il paraît donc difficile d'appréhender avec une préci-

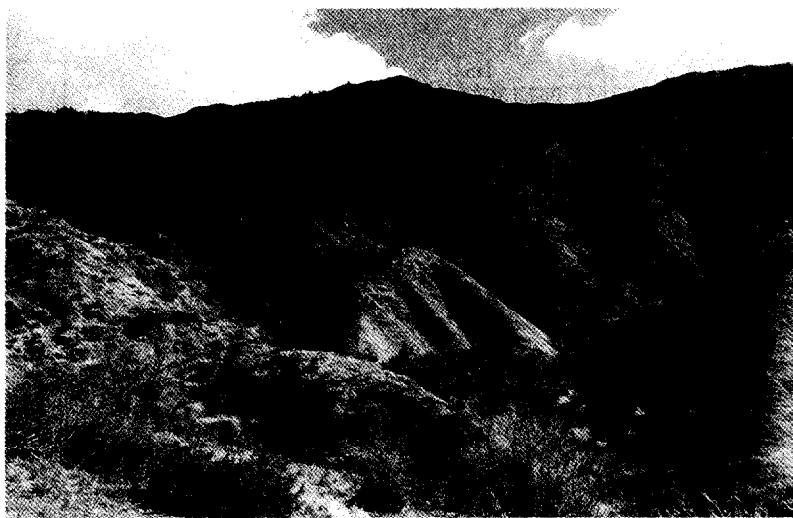


PHOTO 1. — Une vue des roubines du bassin de Savournon I.

sion acceptable l'exportation de matières d'un bassin à l'échelle de l'événement pluviométrique même si au niveau du versant ou de la ravine élémentaire des corrélations apparaissent à ce pas de temps. Pour le problème posé, les exportations devraient être calculées en terme de bilan annuel.

Bilans annuels des transports solides. Comparaison entre Savournon I et Savournon II. Dégradation spécifique des terres noires

Le tableau IV rappelle à l'échelle de l'année sur la période d'observation les principales caractéristiques et le bilan global des exportations de matière sur les bassins de Savournon I (7,84 ha) et Savournon II (75 ha). Le transport de l'année 1985 correspond à une estimation pour Savournon II ; les données de 1988 sont prises en compte jusqu'au 16 mai qui fournit d'ailleurs l'essentiel de l'érosion sur cette période. Pour les 3 années complètes, la charge en suspension est en moyenne de 460 tonnes sur Savournon I et de 2 550 tonnes sur Savournon II, soit un facteur 5,55 pour un rapport des superficies totales de 9,6 et un rapport des roubines productives de 6,66.

Les événements exceptionnels de juin 1985 et de mai 1988 affectent la hiérarchie qui aurait permis de rattacher « précipitations annuelles » et « transport solide ». La différence entre l'année sèche 1986 et l'année 1987 est cependant bien marquée. La moyenne des exportations annuelles totales (suspension et charriage) est de 536 tonnes à Savournon I et de 2 716 tonnes à Savournon II (rapport de 5). La dégradation spécifique totale ramenée à la superficie des bassins serait donc en moyenne sur les 3 années de 68 tonnes/ha à Savournon I et de 36 tonnes/ha à Savournon II. On a

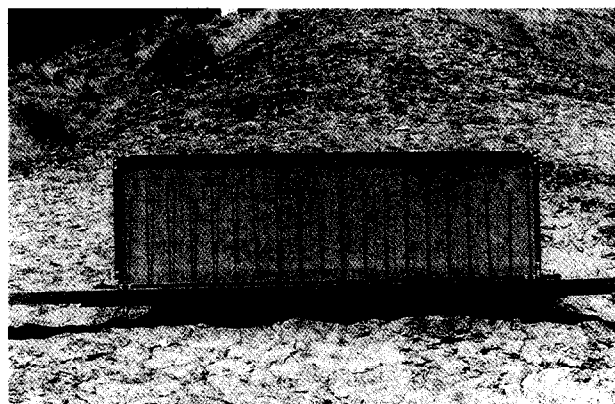


PHOTO 2. — Un exemple de mesure des microprofils sur versants.

constaté à Savournon que les marnes protégées par une végétation de pelouses, de landes ou arbustive n'ont qu'une contribution négligeable dans le bilan total d'érosion. Seules les roubines de terres noires dénudées ou à végétation clairsemée sont productives mais dans des proportions bien évidemment différentes.

Une comparaison entre les deux bassins supposait de ramener les tonnages des transports solides en données de dégradation spécifique par la seule prise en compte des superficies de roubines dénudées ou faiblement végétalisées.

Mais pour pouvoir comparer les dégradations obtenues à celles des mesures amont (versants, ravines...) un transfert d'échelle initial entre les 2 bassins nécessite l'estimation de l'érodabilité des roubines faiblement végétalisées par rapport à celle des terres noires.

SAVOURNON II

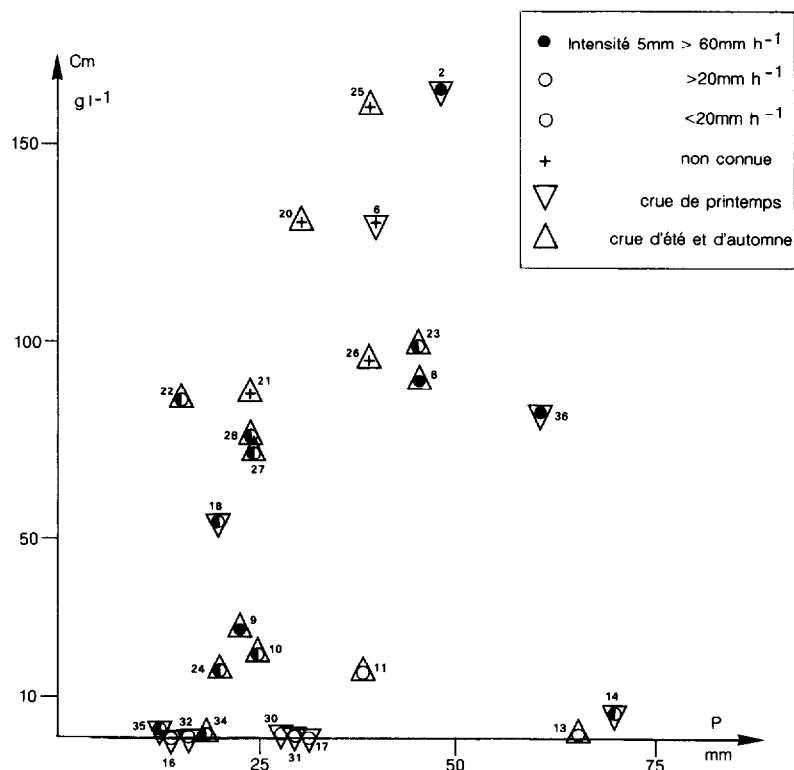


FIG. 7. — Précipitation et concentration moyenne des MES dans l'écoulement correspondant.
Rainfall versus mean concentration of suspended load for different floods.

En première approximation, on considère, qu'aux différences de superficie des formations végétales près, les conditions d'érosion du milieu des deux bassins sont comparables. Les dégradations spécifiques corrigées doivent donc être identiques en termes de moyennes. On a donc testé la relation entre les paramètres « dégradation-spécifique » de Savournon I et II sur la base de plusieurs hypothèses d'érodabilité des roubines peu végétalisées, sur valeurs cumulées de 1985 à 1988.

Les superficies prises en compte sont indiquées dans le tableau IV. Quatre hypothèses ont été retenues : une érodabilité comparable des terres nues et des sols peu végétalisés, un rapport d'érodabilité entre les 2 formations de 2, 3 ou 4. Dans le calcul, le poids des superficies faiblement végétalisées est donc ramené à une superficie équivalente de terres nues par les rapports 1/2, 1/3, 1/4. L'ajustement se rapprochant le plus de la médiane, d'une pente égale à 1, correspond au rapport d'érodabilité à retenir.

La pente des différents ajustements effectués entre

les dégradations spécifiques cumulées de Savournon I et de Savournon II est de 0,73 pour l'hypothèse 1, de 0,91 en 2, 1,01 en 3 et 1,12 en 4.

On en déduit que l'érodabilité des roubines faiblement végétalisées ne représente que le 1/3 de celle des terres nues. Une cartographie de zones correspondantes (photo aérienne ou télédétection) permet donc de déterminer les superficies corrigées, productives d'un bassin et de leur attribuer une valeur unique de dégradation spécifique.

Sur Savournon, la dégradation spécifique des terres noires dénudées a varié de 75 t.ha⁻¹ an⁻¹ à 140 t.ha⁻¹ an⁻¹ sur la période d'observation.

Une relation entre la dégradation spécifique D et la hauteur des précipitations a été recherchée par cumul des valeurs annuelles obtenues sur la période d'études.

Elle s'écrit : $D = 0,117 P + 4.6$ (avec $r = 0,996$)
 ainsi pour

700 mm	on a D = 87 t.ha ⁻¹
800 mm	on a D = 99
900 mm	on a D = 110
1 000 mm	on a D = 122
1 100 mm	on a D = 134

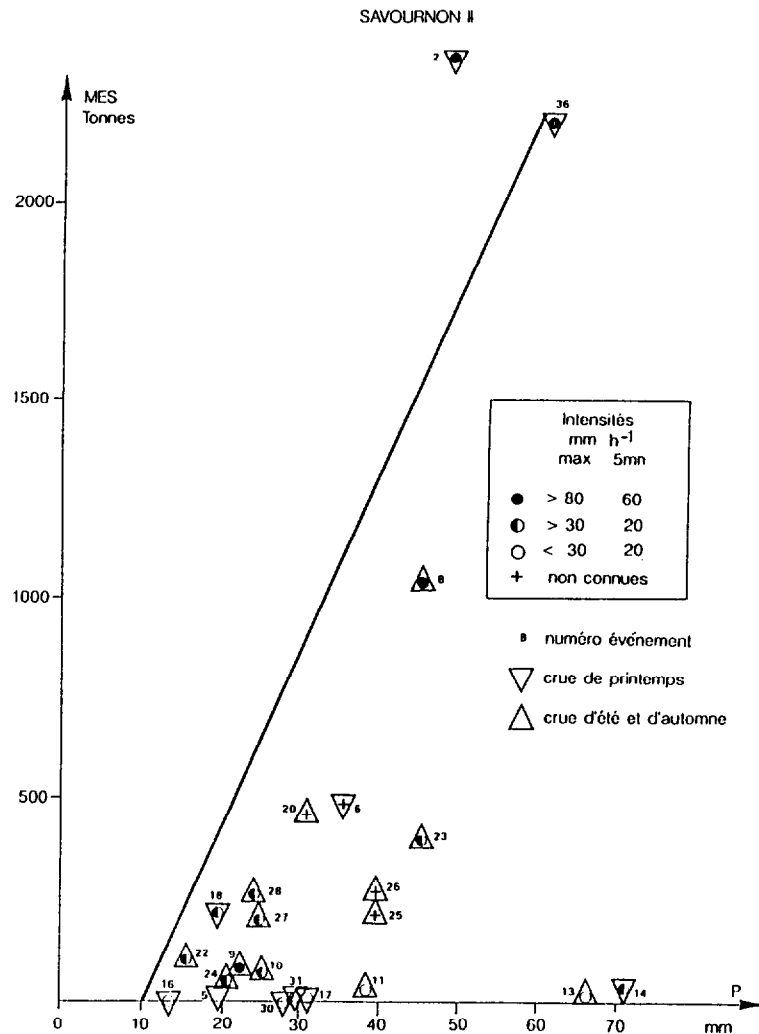


FIG. 8. — Événement pluviométrique et exportation de matières.
Rainfall versus sediment transport.

Savournon, avec une hauteur de précipitations interannuelle de l'ordre de 920 mm devrait connaître une dégradation interannuelle de ses ravines nues de 113 tonnes par hectare ce qui correspond à 87 m³ d'altérites (densité 1.3) soit une épaisseur d'ablation des roubines de 8,7 mm par an.

La même relation appliquée à St-Genis (Pmoy. : 850 mm) donnerait une dégradation interannuelle de 105 tonnes.ha⁻¹. Naturellement, une telle relation ne peut s'appliquer que pour des moyennes. La variabilité interannuelle des précipitations suppose aussi une irrégularité dans la répartition des pluies, leur intensité et l'apparition d'événements exceptionnels souvent plus

déterminants dans un bilan annuel que l'ensemble des autres événements érosifs.

Ainsi, l'évaluation du volume interannuel de sédiments susceptibles de participer au comblement d'une retenue pourrait être donnée pour la région de Savournon à partir de l'équation suivante :

$$Vm' = \frac{1}{1,3} [S_{BLN} + 1/3 S_{VC}] [0,117 P + 4,6]$$

avec S_{BLN} et S_{VC} : les superficies données en hectares de roubines nues et à végétation clairsemée ;
et P : la hauteur interannuelle de précipitation en mm.

TABLEAU IV
Bilan des transports solides et calcul de la dégradation spécifique
Budget of solid transportation and calculation of specific erosion

SAVOURNON I : 7,84 ha

	Pluie	Ecoulement	Transport solide (Tonne)			Dégradation spécifique T.ha ⁻¹				
	Pmm	Vma	MES	Char.	Total	Superficie totale	Terres nues et Vég. clairsemée			
							1	2	3	4
1985	800	3 400	428	140	568	72,4	89,4	108	116	123
1986	940	4 005	344	22	366	46,7	57,6	69,7	74,7	79,2
1987	1 040	6 625	611	62	673	85,8	106	128	137	146
1988 partiel	(455)	3 340	262	100	362	(46,2)	(57)	(68,9)	73,8	78,4

SAVOURNON II : 75 ha

	Pluie	Ecoulement	Transport solide (Tonne)			Dégradation spécifique T.ha ⁻¹				
	Pmm	Vm3	MES	Char.	Total	Superficie totale	Terres nues et Vég. clairsemée			
							1	2	3	4
1985	800		(3 200)	(200)	(3 400)	(45,3)	(79,6)	(119)	(143)	(162)
1986	940	24 430	1 714	80	1 794	23,9	42,0	62,9	75,4	85,4
1987	1 040	35 830	2 744	210	2 954	39,4	69,1	104	124	140
1988 partiel au 16/5	(455)	30 000	2 216	(140)	2 356	(31,4)	55	82,6	98,9	112

N.B. : La dégradation spécifique a été calculée pour la superficie totale des bassins, la superficie globale des ravines en terres nues (52 % à SI, 19 % à SII) ou à végétation clairsemée (30 % à S_I, 38 % à S_{II}), l'érodabilité des ravines à végétation clairsemée étant donnée équivalente à celle des terres nues en 1, réduite de moitié en 2, du tiers en 3 et du quart en 4.

Specific erosion was calculated 1) for the whole basin area, 2) for the global area of either with bare gullied lands (52 % in SI, 19 % in SII) or gullies with sparse vegetation (30 % in SI, 38 % in SII), the erodibility of the gullies with sparse vegetation being given equivalent to that of the bare lands in 1, cut in half in 2, one third reduction in 3, one fourth reduction in 4.

MESURES DE L'ABLATION SUR LES VERSANTS ET COMPARAISON AVEC LES BILANS D'ÉROSION AUX EXUTOIRES

Cas de Savournon

Plusieurs sites ont été implantés sur différents versants de pentes, exposition et morphologie variables tant sur le bassin de Savournon I que sur celui de St-Genis, suivant une méthodologie et un appareil mis au point par les auteurs pour la circonstance. Il s'agit de mesurer les variations du niveau du sol par rapport à un niveau de référence. Le système employé utilise une règle en Duralumin de 2 m de long que l'on pose sur deux tiges filetées métalliques solidement ancrées dans le sol à la périphérie du profil à mesurer. Des écrous et contre-écrous et une troisième tige de calage permettent de placer la règle à un même niveau et son tableau de lecture dans un même plan d'une mesure à l'autre. Sur cette règle peuvent coulisser perpendiculairement de fines tiges métalliques qui épousent, après libération, la topographie du terrain et dont les têtes indiquent sur le tableau gradué les côtes du profil (relevés sur place ou après photographie).

Utilisée avec prudence en se souvenant des effets de gonflement des argiles, de la dessiccation, de la solifluxion et autres avatars des versants marneux, la méthodologie a donné de bons résultats. Ceux-ci doivent être ramenés à des moyennes statistiques et les différents sites doivent comprendre des profils en tête, milieu et bas de versant. Plusieurs échelles de temps paraissent pouvoir être utilisées, y compris l'épisode journalier lorsque les précipitations sont importantes. Sans rentrer dans le détail de cette étude, nous donnons ci-après (tabl. V) quelques résultats représentatifs de l'analyse effectuée en indiquant quelques valeurs d'érosion moyenne des versants de Savournon.

Les différents états hydriques de l'altérite et mouvements de masse expliquent que ces mesures ne soient pas cohérentes entre elles.

Dans l'année 1987-1988 d'avril à mars, l'ablation moyenne aurait été de 1,6 cm ; les précipitations ont été particulièrement abondantes (1 232 mm) mais ne représentent quand même que la moitié de celles de la période de suivi (2,7 années) pour laquelle la différence moyenne de niveau n'est que de 1,7 cm. Des valeurs

importantes sont relevées pour des périodes beaucoup plus courtes ou même la journée.

Faute de pouvoir quantifier ici les états hydriques initial et final de l'altérite lors des mesures sur versants, il est intéressant de rechercher leur validation en comparant leurs résultats aux exportations de matières de Savournon I et II pour les périodes correspondantes (tabl. VI). Les valeurs aux exutoires ont été ramenées à des dégradations spécifiques (sous roubines nues ou équivalent), la moyenne des 2 bassins est transformée en « lame érodée » (avec une densité de 1,3).

On relève pour la période d'août 1986 une lame érodée de 4,4 mm sur le versant et de 3,9 mm en valeur équivalente à l'exutoire. La différence est nettement plus marquée pour l'averse du 16 mai 1988 (3 mm pour 6,7 mm).

Pour une année complète bien arrosée (1987-1988 avec 1 232 mm), on a 16 mm sur le versant, 10,4 mm en lame équivalente mesurée à l'exutoire. Dans ce cas, la mesure sur versant paraît nettement affectée par les états

du sol après un hiver très rigoureux suivi en 1988 d'un hiver très doux. Enfin, sur l'ensemble de la période de suivi (2,7 années avec 2 536 mm de pluie), on a 17 mm d'érosion sur le versant pour 23 mm de lame équivalente mesurée aux exutoires.

Ces dernières valeurs ramenées à 1 année type, donnent pour 940 mm une lame érodée de 6,3 mm sur le versant et avec 111 tonnes/ha une lame de 8,5 à l'exutoire (soit 25 % d'écart seulement entre les 2 déterminations).

Cas de St-Genis

Le même type de mesures sur les versants du bassin de St-Genis a conduit sur la même période de suivi à une ablation moyenne de 19 mm pour 2,7 années avec 2 306 mm de précipitations. Ceci nous ramène à une année type proche de l'année moyenne avec $P = 854$ mm et une lame érodée de $6,7 \text{ mm an}^{-1}$ ou $87 \text{ t.ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. La lame érodée du versant est à peine supérieure à celle des roubines de Savournon. En

TABLEAU V

Ablation moyenne des versants, mesurée sur différentes périodes à Savournon I.
Mean erosion on slopes measured over different periods of time in Savournon II.

Période	Erosion mm	Précipitation mm	Observations
du 27.08.85 au 17.05.88	17	2 536	Ensemble de la période de suivi
du 18.03.87 au 08.04.88	16	1 232	Une année humide 1987, du printemps au printemps
du 09.08.86 au 04.09.86	4,4	78	
du 12.05.88 au 17.05.88	3,0	71	Une forte averse le 16.05.

TABLEAU VI

Comparaison des lames érodées calculées sur micro-profilés des versants et à l'exutoire des bassins de Savournon
Comparison of computed erosion on micro-cross sections on the slopes and at the outlet of the Savournon basins

Période	P mm	Lame érodée sur versant mm	T_{SI} t/ha (4,65 ha)	T_{SII} t/ha (23,8 ha)	T_{Moy} t/ha	Lame érodée Equival. d' : 1,3	Différence V/L %
09.08 - 04.09.86 1 mois	78	4,4	46,9	52,5	50	3,9 mm	13
16.05.88 12.05 - 17.05	71	3,0	77,8	97,2	87	6,7 mm	56
Année 87-88 18.03 - 08.04	1232	16,0	145	126	135	10,4 mm	54
Période de suivi 1985-1988 (2,7 ans)	2536	17,0	301	297	300	23,0 mm	26

N.B. : T_{SI} et T_{SII} sont les dégradations spécifiques calculées sur les aires productives d'après les mesures faites à l'exutoire, et la moyenne T_{Moy} permet de calculer la lame érodée équivalente.

T_{SI} and T_{SII} are the specific erosion calculated on the productive areas according to the measurements made at the outlet, and the average T (T_{Moy}) allows to compute the equivalent specific erosion.

revanche, les mesures effectuées sur les ravines BRGM de St-Genis (BUFALO, 1987 ; QUELENNEC, 1987) donnent une perte en sol moyenne sur les 3 fosses (contrôlant respectivement 260, 1 110 et 1 620 m²) :

de 185 t/ha pour 1986

de 230 t/ha pour 1987

soit des lames érodées de 14,2 et 17,7 mm

ou une moyenne pour les 2 années de 16 mm/an.

Cette valeur sur ravines élémentaires est deux fois supérieure à celle déterminée sur versants à St-Genis et Savournon ou mesurée aux exutoires à Savournon.

BUFALO *et al.* (1988) ont proposé à partir de ces mesures une relation entre les flux sédimentaires exportés et les données pluviométriques correspondantes. Basée sur le calcul d'un paramètre KE dépendant de l'énergie cinétique des différentes tranches d'intensité des averse (WISCHMEIER, 1978), cette relation s'écrit :

$$Erosion (t.ha^{-1}) = 0,35 KE.10^{-3} (KE \text{ en } t.km^{-2})$$

Dans cette approche, les tonnages exportés ne paraissent représentatifs que du type de ravines contrôlées, à très fortes pentes, lesquelles ne constituent qu'une partie du paysage de roubines dénudées des bassins sur terres noires.

Mesures sur le bassin du Saignon (La Motte du Caire)

Sur le bassin du Saignon, les actuels dépôts de matériau fin sur la plage de sédimentation que constitue la surface de comblement de l'ancienne retenue enlèvent toute signification aux mesures effectuées à l'exutoire et ne peuvent être évaluées correctement par nivellement d'une année à l'autre (vaste plage de dépôt et tassement du sédiment).

Des estimations faites par COMBES (1981) pour le RTM de Digne ont été reprises après correction de superficie du bassin. Le calcul des volumes de comblement de la retenue et l'estimation des chasses dans les 5 premières années de vie du barrage (l'atterrissement de ce dernier ayant été total en 18 ans) conduit à un total de 175 500 m³, ce qui peut être ramené à une moyenne annuelle d'apports de 9 750 m³. La superficie réelle du bassin est de 470 hectares dont 40 % de ravines entièrement dénudées ou faiblement végétalisées. L'aire de production de sédiments représente alors 188 hectares. L'ablation annuelle serait donc de 5,2 mm soit une dégradation spécifique de 67,6 t.ha⁻¹ an⁻¹ pour une hauteur interannuelle de précipitations de 790 mm. Le bassin est suffisamment éloigné de la vallée du Buëch pour que cette différence puisse être attribuée à la nature pétrographique des marnes noires.

TABLEAU VII
Erosion des ravines des terres noires
E : Lame érodée verticale en mm.an⁻¹
D : Dégradation spécifique en t.ha⁻¹.an⁻¹
Erosion in the « terres noires » gullies

	Vallée du Buëch		Moyenne Durance	Draix-Digne Cemagref	
	Savournon	St Genis	Saignon	Roubine	Laval
Pluviosité	920	850	790	(900)	
Erosion E mm.an ⁻¹ interannuelle D = 0,117 P + 4,6 (ORSTOM) D t.ha ⁻¹ .an ⁻¹	8,7 113	8,1 105	7,5 97	8,5 110	
Moy. P 85-88 mm	940	854		845	(900)
Profils E (mm) Versants (Orstom) D (t/ha)	6,3 81,9	6,7 87	-	-	-
Bilan E Exutoire D (ORSTOM) (CEMAGREF 1985-87)	8,5 111	-	-	-	11,5 149
Ravines E (BRGM 86-87) (CEMAGREF 85-87) D		16,0 208		13,4 174	
EXUT. 18 ans E 1962-1980 R.T.M. D			5,2 67,6		

CONCLUSIONS

Une certaine cohérence apparaît dans les résultats obtenus sur divers sites des terres noires des Alpes du Sud. Ceux-ci ont été réunis dans le tableau VII et comparés à ceux du CEMAGREF obtenus sur les bassins de Draix près de Digne.

Une convergence peut être remarquée au niveau des ravines BRGM et CEMAGREF ; elle indique que le facteur pente, ici très fort, doit être pris en compte au niveau de très petites unités. Au-delà de différences pétrographiques des marnes du Saignon, une sous-estimation est possible lors des dernières années de remplissage de la retenue : le niveau dépassait déjà celui de l'évacuateur et une grande partie des fines n'a pas été piégée. Enfin pour le bassin du Laval, le passage au volume total exporté a été obtenu par un coefficient multiplicateur de 3 qui peut être surestimé.

Il semble donc que les valeurs que nous avons obtenues pour Savournon et St-Genis autour d'une ablation annuelle de l'ordre de 8 mm et d'une dégradation spécifique annuelle de 100 t.ha⁻¹, correspondent bien à l'érosion-type des marnes noires du Callovo-Oxfordien des Alpes du Sud.

Les résultats comparables de Savournon et St-Genis

montrent que l'érodibilité des marnes ne tient pas à la seule teneur en calcaire de celles-ci mais aussi au pourcentage d'argiles gonflantes au sein de la fraction argileuse.

Cette érodibilité formidable des terrains marneux des Alpes du Sud est nettement plus élevée que celle des marnes noires du Lias de la région de Montpellier (Combe de Mortiers : OLIVRY 1986, SIGHA 1986) où l'on a mesuré une dégradation spécifique de 30 à 40 t.ha⁻¹ an⁻¹. Elle est encore peu de chose par rapport à celle de certains petits bassins sur cendres volcaniques où l'on a mesuré des valeurs de plus de 1 000 t.ha⁻¹ an⁻¹ (CHINEN *et al.*, 1986).

La comparaison des bilans d'érosion aux exutoires et sur microprofils sur versants paraît valider une méthodologie nouvelle et originale d'un suivi de l'érosion des versants facile à mettre en œuvre. Le développement de telles mesures et leur traitement statistique doit permettre une approche plus complète au niveau des processus amont de l'érodibilité des marnes (composition minéralogique, altérites) et de l'érodibilité des ravines (effet de pente, de forme, effets saisonniers).

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 23-10-1989.

BIBLIOGRAPHIE

- BUFALO (M.), 1987. — Géologie et Géochimie du bassin versant représentatif expérimental (BVRE) de St-Genis (Hautes-Alpes). Marseille, 22 p. BRGM.
- BUFALO (M.), OLIVEROS (C.), QUELENNEC (R.E.), 1988. — L'érosion des Terres Noires dans la région du Buëch (Hautes-Alpes). Contribution à l'étude des processus érosifs sur le bassin versant représentatif (BVRE) de St-Genis. Journée « Transports Solides » de la SHF-Paris.
- CEMAGREF, 1987. — Bassins versants expérimentaux de Draix. Compte rendu de recherche n° 1 en érosion et hydraulique torrentielle. Cemagref. Onf. RTM. Grenoble, 128 p.
- CHINEN (T.), KADOMURA (H.), 1986. — Post-éruption sediment budget of a small catchment on Mt Usu. - Hokkaido. *Z. Geomorph. N.F.* Berlin, Suppl. Bd 60 : 217-232 p.
- COMBES (F.), 1981. — Le barrage du Saignon. Un exemple de sédimentation : La gestion régionale des sédiments. Séminaire national, Propriano, Corse. Doc. BRGM n° 30 : 101-104 p.
- DELHUMEAU (M.), 1985. — Note sur la pédologie du bassin du Saignon. ORSTOM - Montpellier. 7 p.
- OLIVRY (J.C.), HOORELBECK (J.), 1985. — Mesures et évaluation de l'érosion et des transports solides sur bassins versants des Terres Noires de la région PACA. Compte rendu des travaux réalisés en 1984. Groupe d'études BRGM-ORSTOM. Montpellier. 12 p.
- OLIVRY (J.C.), 1986. — Réflexions sur la mesure et l'estimation des bilans d'exportation de matières solides en zones sensibles à l'érosion. L'expérience des premiers travaux sur les bassins des marnes noires du Pic St-Loup (Montpellier) et des Alpes du Sud. B.V. PACA. Colloque BVRE SFSH-CNFGG - Aix-en-Provence.
- QUELENNEC (R.E.), 1987. — Etude préliminaire de la production de sédiments par les ravines dans les bad-lands du BVRE de St-Genis (Hautes-Alpes). Groupe d'études BRGM/ORSTOM - Marseille. 28 p.
- SIGHA (N.), 1986. — Contribution au calcul de bilans d'érosion sur petits bassins représentatifs. Les bassins du Pic St-Loup. Mémoire de DEA. USTL/ORSTOM-Montpellier. 109 p.
- WISCHMEIER (W.H.), 1978. — Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Supersedes agriculture handbook, n° 282.