



**EROSION DES TERRES NOIRES DE LA VALLEE
DU BUECH (ALPES DU SUD)**

(Bassins sur roubines de Savournon)

Jean-Claude OLIVRY

Jacques HOORELBECK

NOVEMBRE 1988

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, ...) 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 ; deux autres bassins à Saint-Genis et à Mison, de superficie comparable (3 ha) ont été retenus près de Laragne, l'un étant pratiquement sans couverture végétale, l'autre au contraire en grande partie couvert par les bois et herbages ; enfin, à la Motte du Caire, un bassin de 470 ha intégrait sur le Saignon différents types de paysages et surtout des estimations antérieures de l'érosion. Aux mesures des exutoires, se sont ajoutées des observations "amont" destinées à mieux comprendre les processus mis en oeuvre dans l'érosion de ces régions (étude des versants, de parcelles et de ravines élémentaires).

1. GENERALITES

1.1. Situation géographique et géologie

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 - Barcillonnette - 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 "clue" 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).

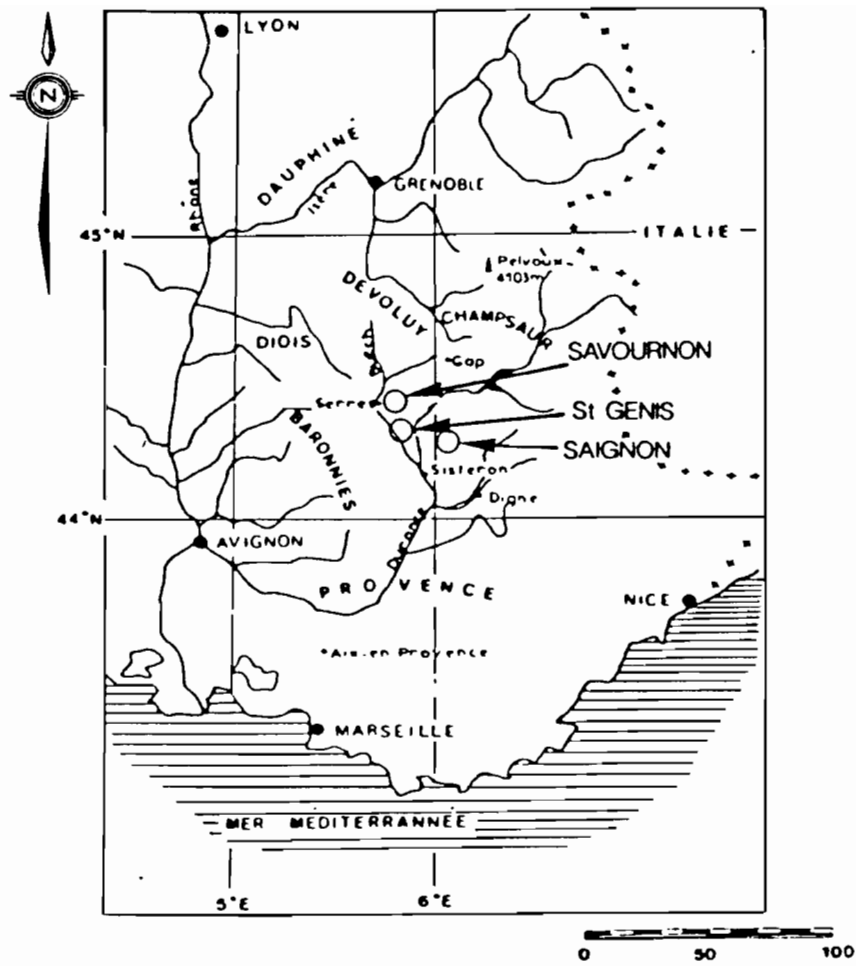


Fig.1 CROQUIS DE SITUATION DES BASSINS ETUDIES

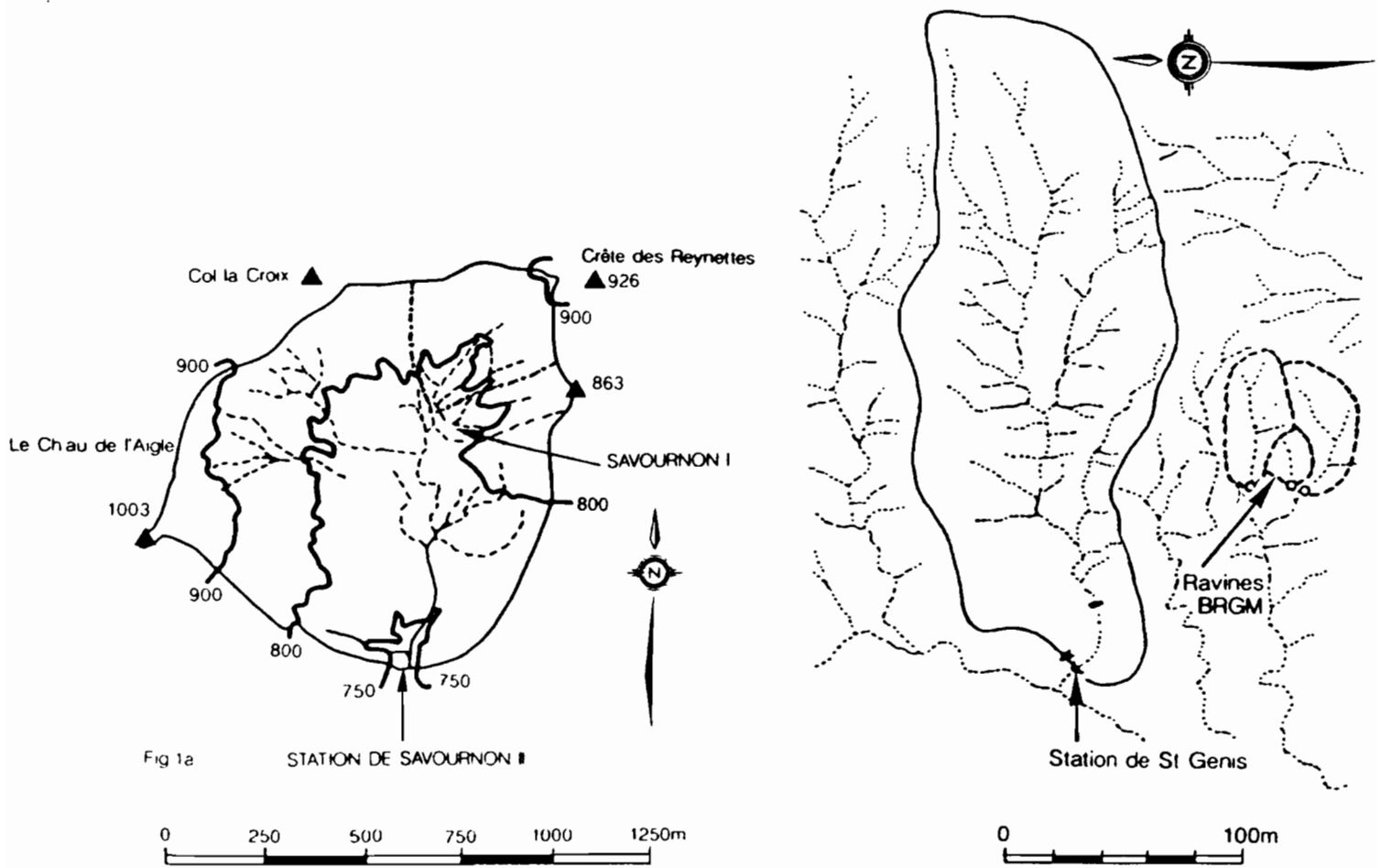


Fig.1a BASSIN DE SAVOURNON

Fig 1b BASSIN DE St GENIS

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 (37 à 56 % de calcite à St Genis contre 10 à 17 % à Savournon). 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'érodibilité des marnes, les variations observées dans les analyses d'un bassin à l'autre devraient conduire ici à des taux d'érodabilité comparables (figure 2).

1.2. 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 (cf. tableaux des précipitations), 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 diurnes, 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 : 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 micro-climat haut-alpin, sec et ensoleillé (dû à la protection des massifs montagneux, formant

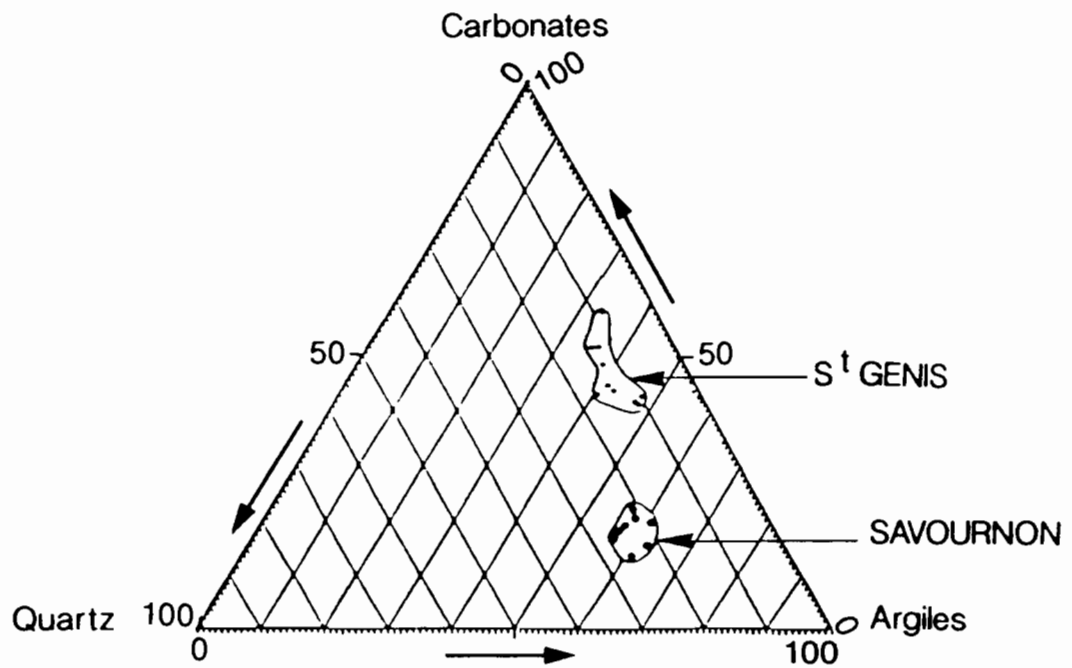


Fig.2 Diagramme quartz-argiles-carbonates établi à partir d'analyses de 8 échantillons de marnes du Callovien supérieur de Savournon

(d'après BUFALO)
1987

écran aux masses d'air humides). La normale des 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 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 n° 1.

Tableau 1 - PRECIPITATIONS MENSUELLES ET ANNUELLES SUR LES BASSINS ETUDIÉS ET LES STATIONS METEOROLOGIQUES VOISINES

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								

SERRES													
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1985	68,1	29,8	150,3	48,0	197,1	69,2	20,9	82,1	0	3,8	74,3	76,7	820,3
1986	128,8	81,0	8,4	222,2	50,5	77,3	41,5	69,5	83	43,3	65,5	68,7	939,7
1987	33,8	61,9	51,6	114,6	72,5	57,2	86,8	97,9	39,9	229,4	59,2	89	993,8

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

LARAGNE - MISON													
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
1985	92,1	25,3	111	39,1	139,8	47,5	13,6	79,5	0	6,3	57,2	94,5	705,9
1986	138,1	101,8	12,4	176,5	49,0	15,2	5,8	55,7	82,1	36,0	97,5	53,7	823,8
1987	56,2	81,3	33,4	129,2	52,5	77,7	98,0	76,7	36,1	212,9	59	114	1027



Une vue des roubines du bassin de Savournon I



Débit "en frites" et plaquettes d'un banc plus carbonaté dans
les marnes callovo-oxfordiennes de Savournon

1.3. 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, par contre, 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 dominant ; la lande est très réduite, les pelouses continues sont plus fréquentes et le fond des thalwegs est parfois couvert par un taillis (fruticée d'argousiers).

Tableau 2 - Caractéristiques des bassins versants

	Savournon II	Savournon I	St Genis
Superficie (ha)	75	7,84	2,36
Coordonnées : Lat. N Long. E	44°25 5°47	44°25 5°47	44°22 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 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),
- les écoulements (limnigraphes CHLOE, canaux de mesures, seuils 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).

2. EVENEMENTS PLUVIOMETRIQUES ET EXPORTATION DE MATIERE A L'EXUTOIRE DES BASSINS DE SAVOURNON.

2.1. Les mesures à Savournon :

L'information pluviométrique a déjà été évoquée dans sa distribution mensuelle. Le tableau 3 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 du 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 en MES de 348 gl⁻¹. Nos propres mesures tiennent généralement compte des hauteurs réelles lues aux stations. Les tonnages des matières en suspension sont obtenus 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

Pluies					Savournon I					Savournon II					
N°	Date	P _{mm}	I _{max} mm/h	I ₅	Durée H.mn	Max l/s	Vol m ³	K % KR	MES Tonnes	Char. Tonnes	Max l/s	Vol m ³	K % KR	MES Tonnes	Char. Tonnes
1	1985 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)
5	1986 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
14	1987 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)	-	(70)	(7)	350	2 700	(10)	260	27
27	28,10	24,5	60	36	1,20	200	330	17	60	(6)	300	2 760	15	200	
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
29	1988 14,1	38,5	6	4	30,00	5	90		0		12	600		0	
30	16,3	28,5	6	6	22,00	5	60		0		8	400		0	42,6
31	30,3	28,5	5	5	24,00	5	60		0		6	400		0	
32	12,4	16	12	12	5,30	2	(70)		0		54	475	4	0,12	
33	25,4	9,5	16	14	3,00		(80)		0		86	430	6,1	0,09	
34	26,4	18,5	28	24	4,30		(60)		0		86	220	1,5	0,11	
35	29,4	13,5	36	28	5,00		(100)		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

Tableau 3 - Evénements hydropluviométriques et transports solides observés à Savournon

dépôts d'une densité moyenne voisine de 1,3. Cette évaluation cumule parfois plusieurs événements, la répartition faite n'est qu'indicative et 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 pourcentages de la fraction grossière sont obtenus par granulométries moyennes effectuées sur plusieurs échantillons de dépôts.

2.2. 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 est 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.

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

SAVOURNON I

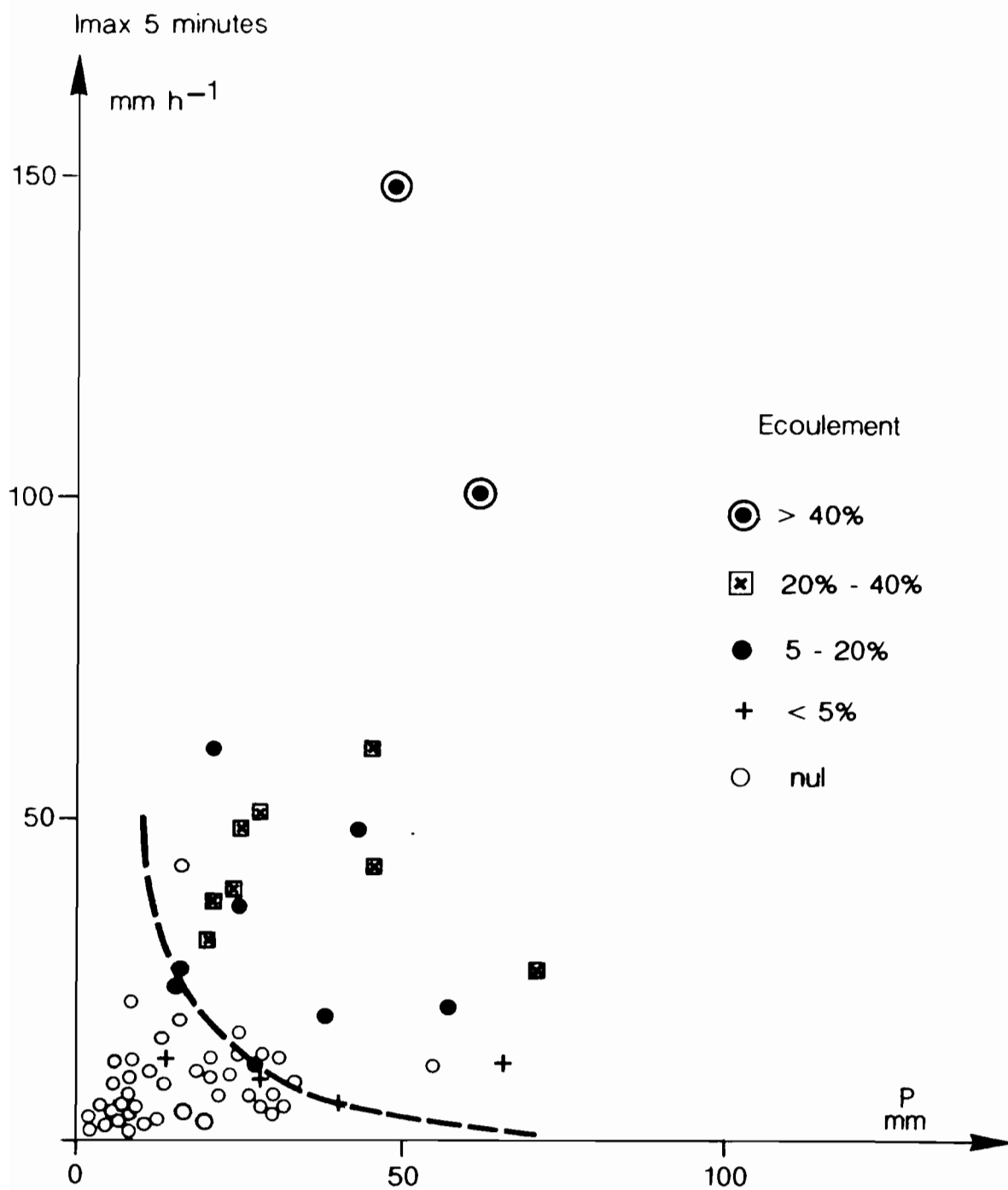


Fig3 Caractéristiques des précipitations et écoulement

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 sans écoulement. 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.

2.3. Suspensions 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" (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 87 et 88). 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 1er juin 85, et le matériau piégé contenait 95 % d'éléments supérieurs à 2mm. 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).

2.4. 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.

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.) L'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

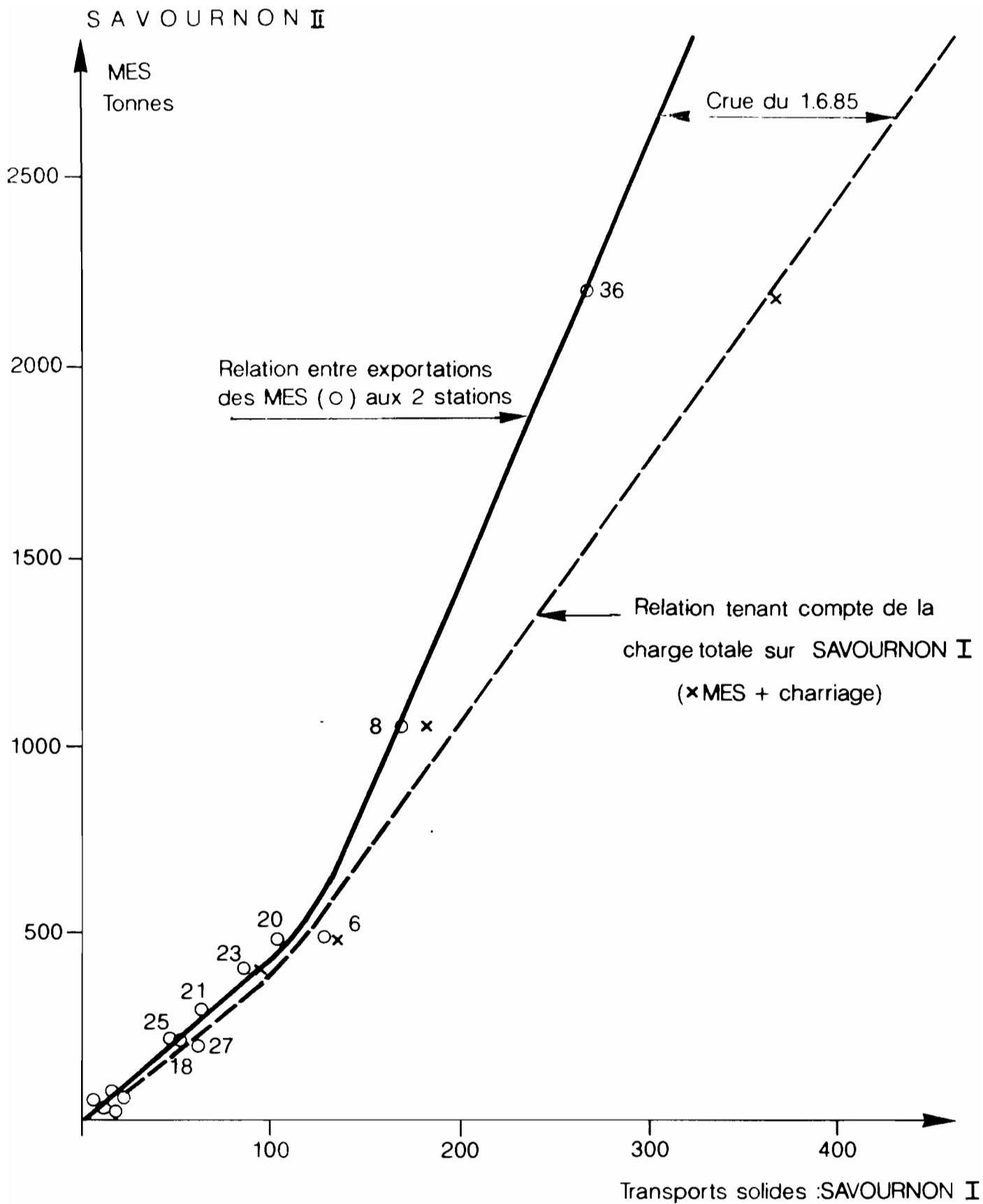


Fig 4 Relation entre les transports solides mesurés sur SAVOURNON I et II pour les principales crues observées

Savournon1 Crue du 25/08/85

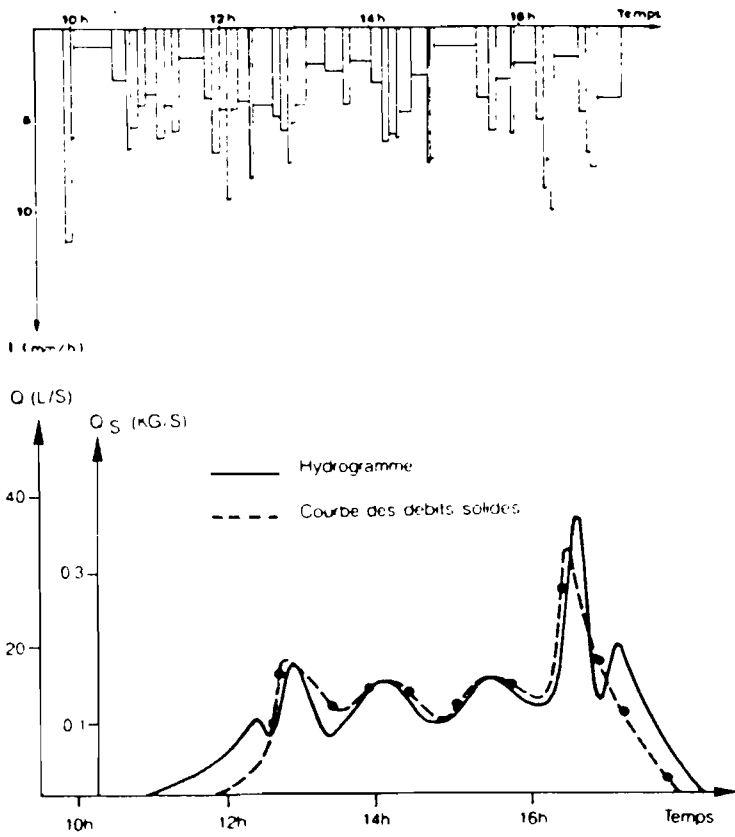


Fig.5 Averse - Crue - Transport solide à S I

- Savournon2 Crue du 16/05/88 -

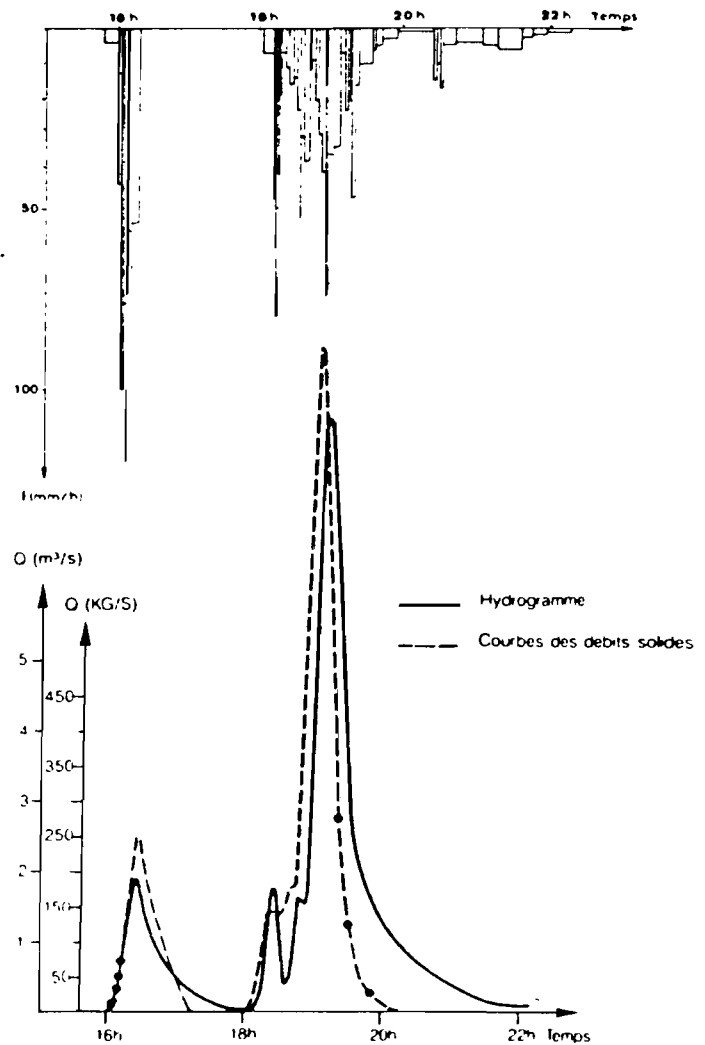


Fig.6 Averse - Crue - Transport solide à S II

SAVOURNON II

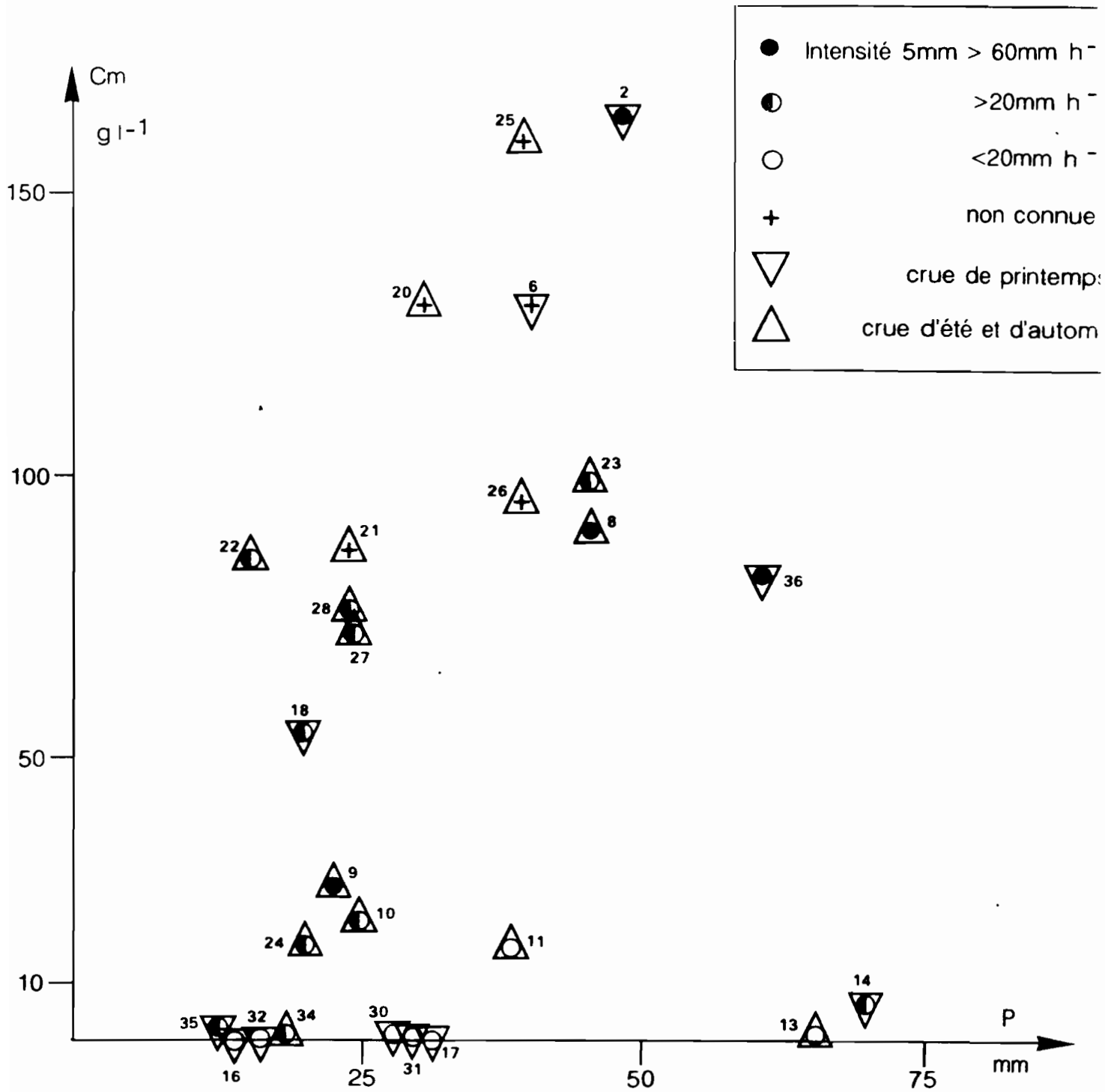


Fig 7 Précipitation et concentration moyenne des MES dans l'écoulement correspondant

SAVOURNON II

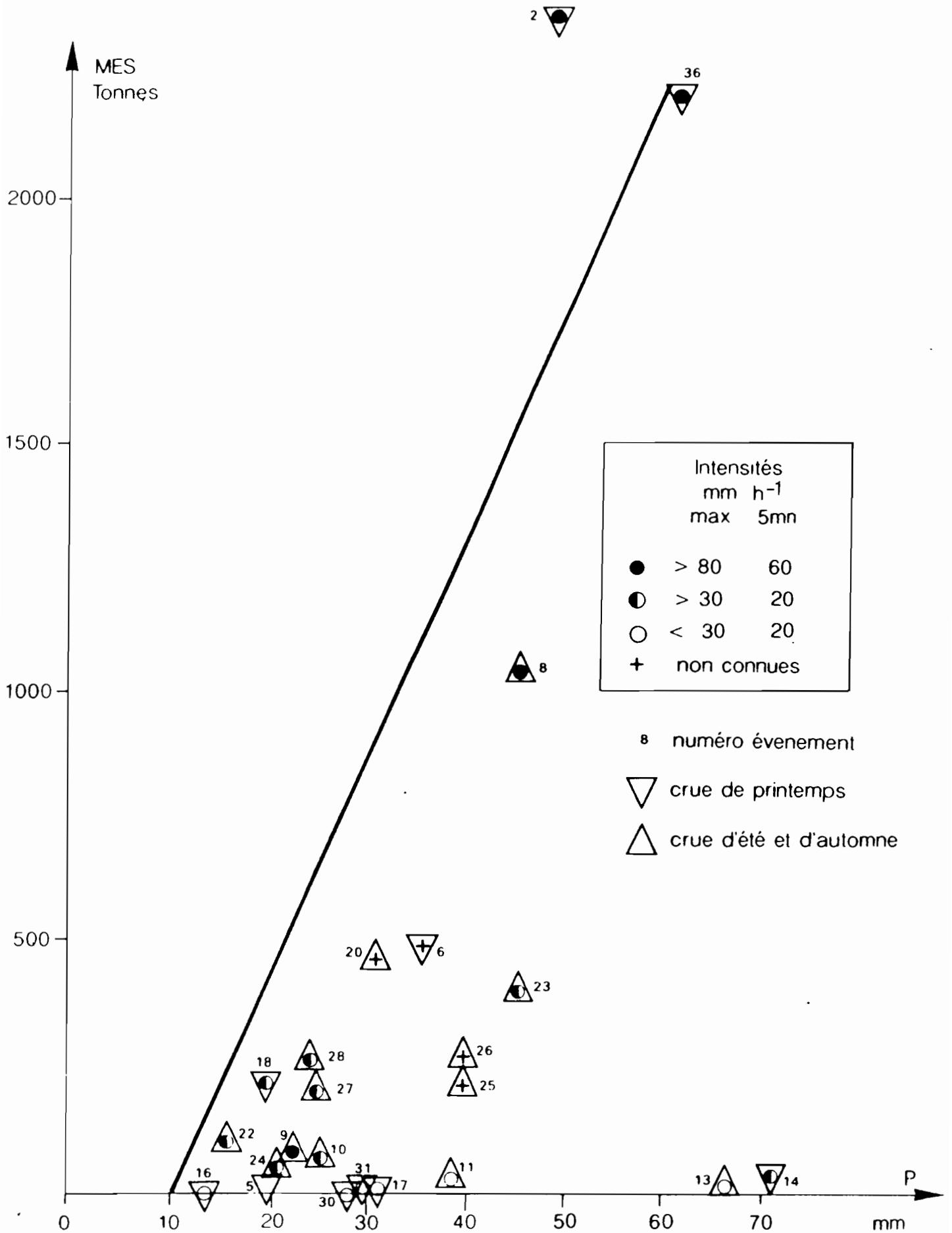


Fig.8 Evènement pluviométrique et exportation de matières

de son déstockage suivant l'importance de l'écoulement des états de surface et en particulier des zones battues (OPS).

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, 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 bilans soient directement mesurés à l'exutoire de bassins d'une taille minimale (supérieure à quelques 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 M.E.S. des écoulements. Le schéma suivant a été proposé (Olivry, 1986) :

En début d'averse, l'effet de battance 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 dépôts précédemment stockés et faciliter l'érosion des bas de versants.

En définitive, l'incidence de ces différents paramètres 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 précision 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.

2.5. Bilans annuels des transports solides. Comparaison entre Savournon I et Savournon II. Dégradation spécifique des Terres Noires.

Le tableau 4 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 bad-lands productifs 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 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.

Tableau 4 - Bilan des transports solides et calcul de la dégradation spécifique.

SAVOURNON I : 7,84 ha

	Pluie	Ecoulement	Transport solide (Tonne)			Dégradation spécifique T.ha ⁻¹				
	P _{mm}	V _{m3}	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				
	P _{mm}	V _{m3}	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'érodibilité 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.

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.

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 n° 4. 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 rapport 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	P = 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

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 (ou 4,4 mm de marne saine).

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, leurs intensités 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 :

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

avec :

S_{BLN} et S_{VC} : les superficies données en hectares des bad-lands nus et à végétation clairsemée ;

et P : la hauteur interannuelle de précipitations en mm.

3. AUTRES MESURES D'ÉROSION DES TERRES NOIRES

3.1. Mesures de l'ablation sur les versants de Savournon et comparaison avec les bilans d'érosion aux exutoires

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 mètres 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. La figure 9 illustre quelques variations de profils. Sans rentrer dans le détail de cette étude, nous donnons ci-après quelques résultats représentatifs de l'analyse effectuée en donnant quelques valeurs d'érosion moyenne des versants de Savournon.

Tableau 5 - Ablation moyenne des versants mesurée sur différentes périodes à Savournon I

Période	Erosion mm	Précipitation mm	Observations
du 27.08.87 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.

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.

Tableau 6 - Comparaison des lames érodées calculées sur microprofils des versants et à l'exutoire des bassins de Savournon

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 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. : TS_I et TS_{II} 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.

Il est assez intéressant de comparer les résultats aux exportations de matières de Savournon I et II pour les périodes correspondantes (tableau n° 6). 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 86 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. 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.

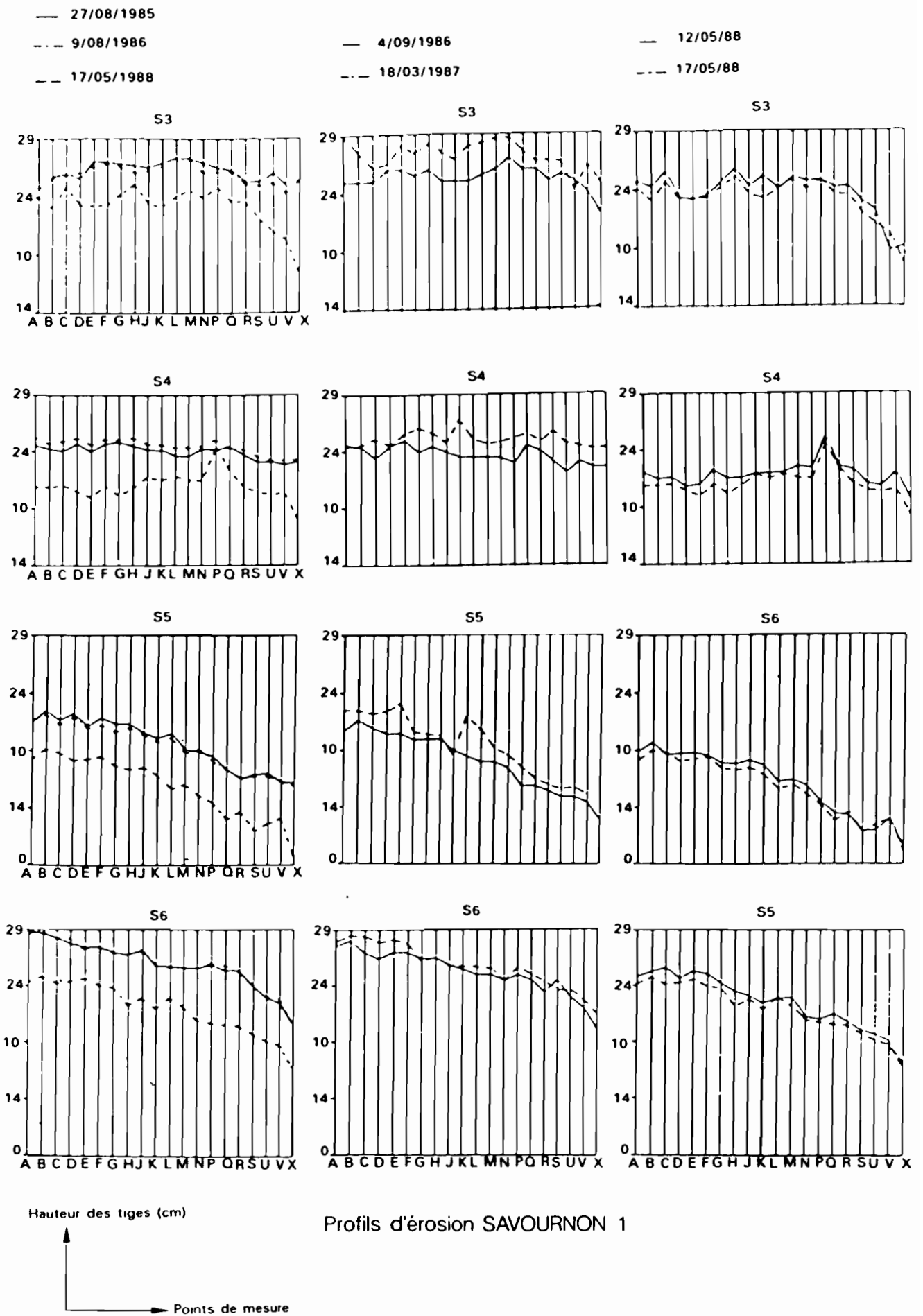
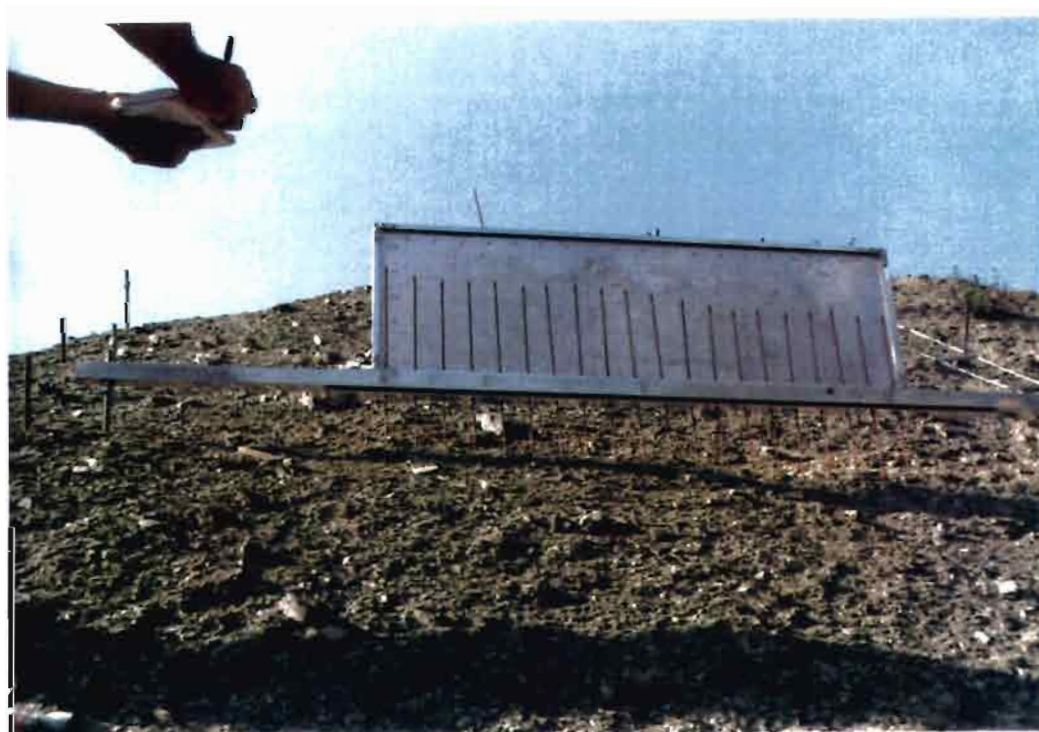


Fig.9 Exemples de microprofils sur versants



Deux exemples de mesure des microprofils sur versants

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).

3.2 Mesures à StGenis

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 mm an⁻¹ ou 87 T.ha⁻¹ an⁻¹. La lame érodée du versant est à peine supérieure à celle des roubines de Savournon. Par contre, les mesures effectuées sur les ravines BRGM de St Genis (Quellenec, 1987 ; Bufalo, 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) se sont basés sur ces mesures pour proposer une relation entre les flux sédimentaires exportés et les données pluviométriques correspondantes. Après avoir calculé un paramètre K dépendant de l'énergie cinétique des différentes tranches d'intensité des averses,

$$K = \sum_{i=1}^n E_C(I_i) \cdot h_i$$

avec I_i : intensité moyenne de la classe i en mm h⁻¹

$E_C I_i$: énergie cinétique de la classe i

h_i : hauteur d'eau tombée avec des intensités appartenant à la classe i.

et où l'énergie cinétique est donnée par Wischmeier (1978) par l'équation empirique

$$E_C(I) = 1\,214 + 890 \text{ Log } I.$$

ils proposent, en traitant par valeurs cumulées moyennes sur les trois ravines, l'équation suivante :

$$\text{Erosion (t ha}^{-1}\text{)} = 3.43 \cdot 10^{-4} \cdot K - 11,79$$

Pour séduisante que soit cette relation, les tonnages exportés sont si importants qu'ils 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.

3.3. 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 R.T.M. de Digne ont été reprises après corrections 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 BUECH pour que cette différence puisse être attribuée à la nature pétrographique des marnes noires.

4. 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 n° 7 et comparés à ceux du Cemagref obtenus sur les bassins de Draix près de Digne

	Vallée du Buech		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		

Tableau 7 - Erosion des ravines des Terres Noires

E : Lamme érodée verticale en mm.an⁻¹
D : Dégradation spécifique en T.ha⁻¹.an⁻¹

Une convergence peut être remarquée au niveau des ravines BRGM et CEMAGREF ; elle indique que le facteur pente ,ici très forte, 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 marnes jurassiques 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 T. *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 oeuvre. 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).

BIBLIOGRAPHIE

BUFALO M., 1987

Géologie et Géochimie du bassin versant représentatif expérimental (BVRE) de St Genis (Hautes Alpes). 22 p. BRGM - Marseille

BUFALO M., OLIVEROS C., QUELENNEC (R.E.), 1988

L'érosion des Terres Noires dans la région du Buech (Hautes Alpes). Contribution à l'étude des processus érosifs sur le bassin versant représentatif (BVRE) de St Genis. Journée "Transports Solides" de la S.H.F. - Paris.

CEMAGREF, 1987

Bassins versants expérimentaux de Draix. Compte rendu de recherche n° 1 en érosion et hydraulique torrentielle. Cemagref. Onf. RTM. 128 p. - Grenoble.

CHINEN T., KADOMURA H., 1986

Post-éruption sediment budget of a small catchement on Mt Usu. - Hokkaido. Z. Ceomorph. N.F. Suppl. Bd 60. pp. 217-232 - Berlin.

COMBES F., 1981

Le barrage du Saignon. Un exemple de sédimentation in Seminaire national Proprious Corse : La gestion régionale des sédiments. pp. 101-104. Doc. BRGM n° 30.

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'Etudes 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'Etudes 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.