

Genèse des crues et érosion dans les petits bassins versants de montagne : observations et résultats obtenus sur les bassins versants expérimentaux de Draix (Alpes-de-Haute-Provence)

par Nicolle MATHYS *, Sylvie BROCHOT * et Benjamin LACHENY **

Introduction

Situés dans les Alpes du sud, les bassins versants expérimentaux de Draix ont pour principal objet l'étude de l'érosion torrentielle et des moyens de prévention correspondants. Créé dans les années 1983-84, ce laboratoire de terrain permet l'étude des phénomènes de ruissellement et d'érosion, et de la dynamique de la végétation, naturelle ou implantée dans le cadre des travaux de restauration. Quatre petits bassins versants de taille et taux de végétation variés sont instrumentés permettant l'analyse des phénomènes de crue et d'érosion en fonction de la taille et de la couverture végétale des bassins. En particulier le bassin du Brusquet (108 ha), reboisé à la fin du XIX^e siècle dans le cadre des grands travaux de RTM, couvert à plus de 85 % par la forêt (Cf. Photo 1), peut être comparé au bassin du Laval (86 ha), où la végétation forestière, arbustive ou herbacée ne couvre qu'environ 35 % du bassin versant (Cf. Photo 2)

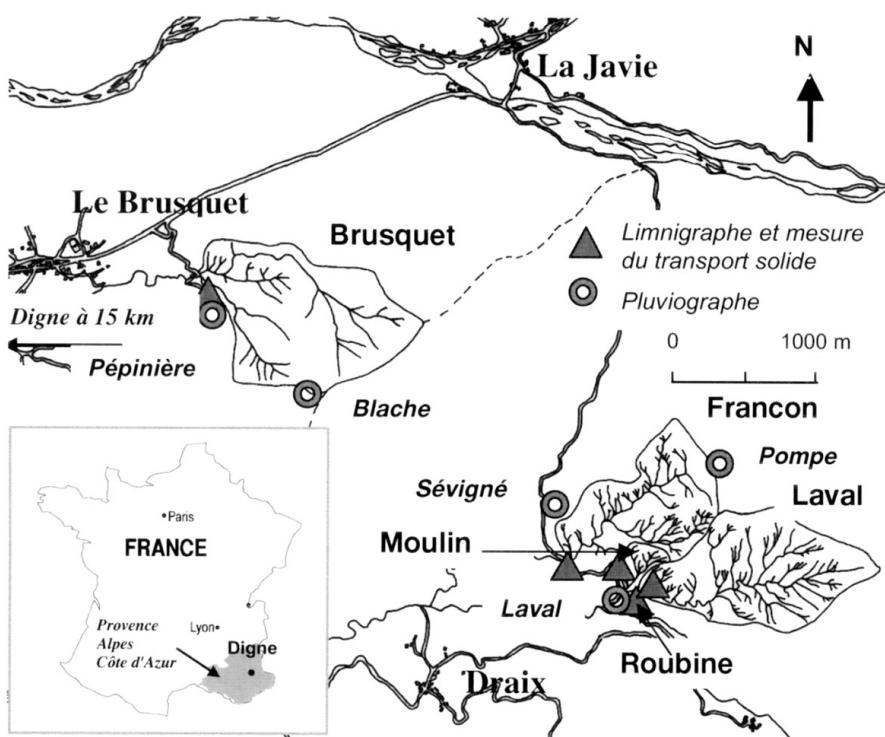


Fig. 1 : Localisation des bassins de Draix - Le Brusquet

* Cemagref Grenoble, unités de recherche Erosion torrentielle, Neige et Avalanches (*ETNA)
et ** Environnement et Paysage Montagnard (**EPM)



Photo 1 : Vue du Bassin du Brusquet
Photo Nicolle Mathys



Photo 2 : Panorama du secteur dénudé (Laval et Moulin)
Photo Nicolle Mathys

Présentation des sites d'étude

Les bassins versants actuellement équipés se situent à une quinzaine de kilomètres au nord-est de Digne, sur les territoires communaux de Draix et du Brusquet (Cf. Fig. 1).

Ils s'étagent entre 800 m et 1260 m d'altitude environ (CEMAGREF, 1988). Ils sont situés sur les marnes noires du callovo-oxfordien, un étage extrêmement sensible à l'érosion. Les Marnes noires concernent environ 200 000 ha dans les Alpes du sud, et y sont le siège de l'essentiel des phénomènes d'érosion (COULMEAU, 1987, BROCHOT, 1993). Les terrains de ce site expérimental sont presque entièrement inclus en séries domaniales RTM. Deux bassins ont été instrumentés dès 1983 :

- le petit bassin versant de la Roubine (0,133 ha), pour disposer d'un bassin représentatif de l'unité hydrographique élémentaire.

- le bassin du Laval (86 ha, fortement dégradé).

Très rapidement après, en 1984, un second bassin de l'ordre de grandeur du Laval, le Francon (73 ha) a été équipé. L'objectif initial consistait à



Photo 3 : Station de mesure au Brusquet
Photo D.A.

suivre en parallèle pendant un certain nombre d'années ces deux bassins relativement similaires, de façon à les situer l'un par rapport à l'autre. La restauration du Francon devait ensuite être engagée, tandis que le Laval était conservé en l'état à titre de témoin, de façon à quantifier l'effet de la végétation sur les crues et le transport solide, et son évolution au fur et à mesure de la croissance de la végétation.

Pour toutes sortes de raisons liées tant à l'ambition du projet qu'à la mauvaise conformation de la station de mesure du Francon, ce projet n'a pas été engagé, et le bassin du Francon a progressivement été abandonné. C'est pourquoi un troisième "grand" bassin, le Brusquet (108 ha), a été retenu et instrumenté à son tour en 1987. Situé sur un versant différent des autres bassins et ayant fait l'objet d'un reboise-

	Surface en ha	Taux de terrain nu en %	Pente moyenne en %
Laval	86	68	58
Brusquet	108	13	53
Moulin	8	54	30
Roubine	0.133	79	75
Francon	73	44	41

Tab. I : Caractéristiques physiques principales des bassins de Draix – Le Brusquet

ment complet à la fin du siècle dernier, il offre la possibilité de quantifier l'effet de la végétation forestière sur les crues et le transport solide. Enfin, un dernier bassin versant, de taille intermédiaire, le Moulin (8 ha, très dégradé) a été sélectionné à proximité

du Laval et de la Roubine, et instrumenté à partir de 1988. Le dispositif initialement composé de cinq bassins, dont quatre actuellement en ordre de marche, présente les caractéristiques principales rassemblées dans le tableau I.

Mesures effectuées sur les bassins versants de Draix et données disponibles

Les bassins sont équipés pour la mesure des pluies, des débits et des transports solides par charriage ou en suspension. Les pluies sont mesurées à l'aide de pluviographes répartis à l'aval et à l'amont de chaque bassin. Des pièges à sédiments (ou plages de dépôts) protègent à l'aval les stations limnigraphiques contre des transports solides très importants. Ils permettent également la mesure, par des méthodes topographiques, des volumes déposés après chaque crue. Dans la station de mesure, des limni-

graphes de différents types mesurent les hauteurs d'écoulement dans des sections de contrôle ou des canaux auto-jaugeurs. La mesure des concentrations en sédiments fins qui transittent dans la station est réalisée également, au moyen de divers procédés : prélèvements d'échantillons, procédés optiques, mesures de pression (Cf. Photo 4 et Figure 2)

L'équipement de ces sites a nécessité le test et l'adaptation de nombreux matériels, voire la conception de matériel nouveau décrits dans Cambon J.P.

et al. (1990), Olivier J.E et Pebay-Peyroula J.C. (1995), Bergougnoux L. et al. (1995).

Les données brutes des pluviographes et limnigraphes font l'objet d'une critique et d'une interprétation avant d'être archivées dans des fichiers chronologiques avec une précision de la minute. Les données d'érosion sont traitées au niveau des épisodes ou des séquences d'épisodes. La production de sédiments à l'exutoire des bassins versants correspond, en poids, à la somme des volumes de sédiments les plus grossiers déposés dans la plage de dépôt et des volumes de sédiments les plus fins transités à la station de mesure pondérés par leur masse volumique (respectivement 1.7 et 2.65 t/m³). La détermination de ces volumes à partir des mesures brutes est détaillée par Mathys et Meunier (1989), Borgès (1993). Différents logiciels ont été mis au point pour les besoins spécifiques du site pour le traitement, la critique des données, la visualisation et l'extraction de résultats, simples ou élaborés. Par ailleurs d'autres mesures ou observations occasionnelles ont été réalisées sur ces bassins : suivi de parcelles d'érosion, de ravines avant et après végétalisation, topographie fine de la Roubine (par distancemètre et photogrammétrie à un an d'intervalle), suivi topographique des biefs du Laval et relevé de déplacement de cailloux magnétiques de mai à octobre 93 (Cf. Photos 6 et 7), mesures ponctuelles de densité, de granulométrie, suivi photo des biefs du Laval entre 1991 et 1994...



Photo 4 : Stations de la Roubine et du Laval
Photo Didier Richard

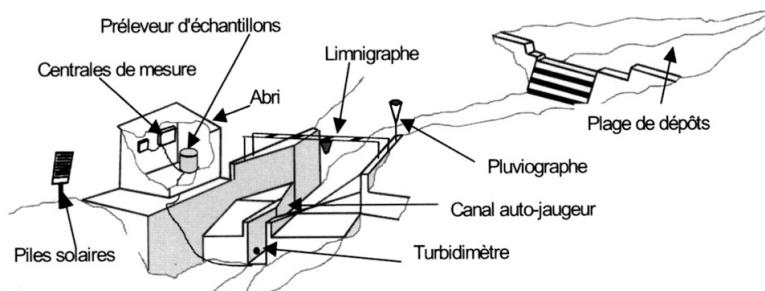


Fig. 2 : Composition d'un site de mesure



Photo 5 : Plage de dépôt au Laval

Photo D.A.

Suivi des dépôts et reprises dans les biefs du Laval

Les données de base comme les données élaborées doivent cependant être utilisées avec beaucoup de circonspection compte tenu du contexte particulièrement difficile d'obtention des données. Ainsi par exemple, la courbe de tarage du Laval en crue est sujette à ajustement. Les données de

débits sont enregistrées en continu mais ne sont pas ou peu utilisables en basses eaux. Les données sont des hauteurs de mélange eau-sédiments et, si les concentrations sont fortes, l'obtention du débit liquide nécessite une correction. En ce qui concerne les mesures d'érosion, les sources d'incertitude sont nombreuses du fait par exemple, de la variabilité des concentrations et de l'insuffisance des mesures de densité, des incertitudes inhérentes aux méthodes topographiques.

Principales observations concernant l'hydrologie

Caractéristiques des pluies

La pluviométrie annuelle moyenne se situe aux alentours de 900 mm. On observe dans l'année deux périodes plus fortement pluvieuses, avril-mai et septembre-octobre, avec des totaux mensuels voisins de 100 mm. Le mois le plus pluvieux est le mois d'octobre. En moyenne sur la période de 1984 - 1994, on a observé 204 jours par an sans pluie, 47 jours avec des pluies supérieures à 5 mm et seulement 5 jours avec des pluies supérieures à 30 mm.

Sur le poste du Laval les pluies décennales (MEUNIER et al. 1995) sur différentes durées sont estimées à :

Durée en mn	Pluie en mm
5	9.0
10	15.4
15	19.8
30	27.3
60	32.9
120	43.1
240	48.5
360	55.0
720	65.4
1440	93.1

Photo 6 : 1^{er} septembre 1993, matériaux stockés dans un bief après les orages de l'été

Photo Nicolle Mathys

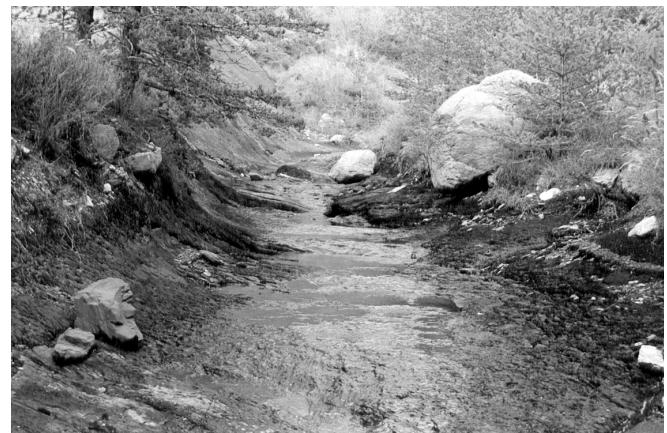


Photo 7 : 30 septembre 1993, reprise des matériaux par une crue longue et forte en septembre

Photo Nicolle Mathys

Formation du ruissellement

Le premier effet du couvert végétal est l'augmentation du seuil minimal de pluie pour obtenir un ruissellement : les crues du Brusquet sont moins fréquentes et de nombreuses averses ne produisent aucun écoulement notable à l'exutoire. Si on représente sur un même graphique les hauteurs de pluie des averses ayant provoqué ou non un ruissellement en fonction de la durée de temps sec précédent l'épisode, on obtient deux nuages de points qui peuvent être séparés par une courbe, appelée courbe de pluie limite (BORGES 1993, VÉRITÉ 1994, CONTRERAS 1994 et MATHYS et al. 1996). Cf. Fig. 3.

Ainsi, on peut observer que, sur le Laval, pratiquement toutes les pluies supérieures à 9 mm ruissent, tandis que sur le Brusquet, après une longue période sèche, même une pluie de 20 mm ne provoque aucun écoulement à l'exutoire du bassin. Le seuil maximal obtenu pour cette courbe de pluie limite est de 12 mm à la Roubine, 10 mm au Moulin, 9 mm au Laval et 25 à 30 mm au Brusquet. Une étude plus fine des points mal classés sur ces graphiques met en évidence le rôle de l'intensité maximale instantanée au cours de l'averse dans l'apparition du ruissellement. En effet, même sur le Brusquet, on a pu, très rarement

		Roubine	Moulin	Laval	Brusquet
Débit maximal observé (date)	l/s m ³ /s/km ²	80 60	1900 24	20 000 23	2 300 2.3
		8/9/1994	8/9/1994	8/9/1994	8/9/1994
Débit décennal	l/s m ³ /s/km ²	46.5 36	1300 16	16 500 19	1 450 1.3
					tarage provisoire

Tab. II : Caractéristiques des crues

certes, observer des averses brèves et intenses de moins de 10 mm, provoquant une réaction rapide à l'exutoire. Cette notion de pluie limite, validée par les observations des années récentes, a pu être efficacement utilisée pour caractériser l'état initial des bassins dans la modélisation pluie-débit.

Importance et répartition des crues

Les crues observées sur les bassins versants de Draix sont particulièrement violentes, avec des débits de pointe considérables, compte tenu de la taille des bassins. Ainsi la plus forte crue enregistrée, en septembre 1994 a atteint 20 m³/s sur le bassin du Laval, d'à peine 1 km² de superficie (MATHYS et al., 1999). Les débits décennaux,

obtenus par l'ajustement d'une loi de Gumbel sur les maximums annuels, apparaissent très élevés : de 1.3 m³/s.km² sur un bassin boisé à près de 20 m³/s.km² sur un bassin dénudé. On observe rarement des crues entre décembre et avril, avec quelques exceptions lors de mois de décembre sans neige (1984, 1992, 1995) ; les épisodes principaux sont situés entre mai et octobre, le mois d'octobre étant le plus critique pour l'ensemble des bassins. Les crues violentes observées sur le secteur du Laval entre juin et septembre n'ont parfois aucun événement correspondant sur le secteur du Brusquet lorsqu'elles sont dues à des orages très courts ou interviennent après une longue période sèche. Le nombre de crues observées chaque année est 2.5 fois plus élevé au Laval et ces crues sont beaucoup plus importantes : elles dépassent 2 m³/s au Laval

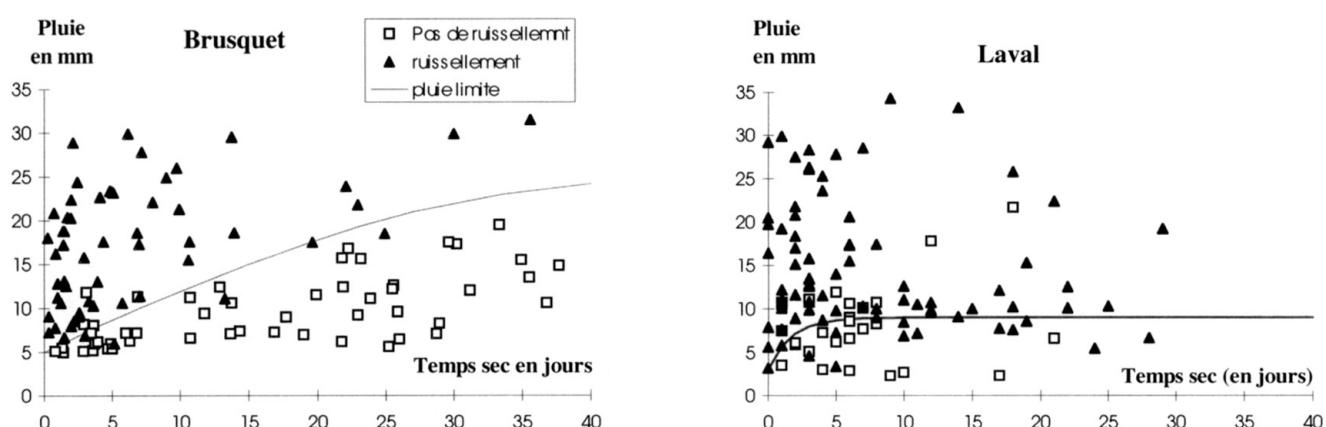


Fig. 3 : Courbes de pluie limite

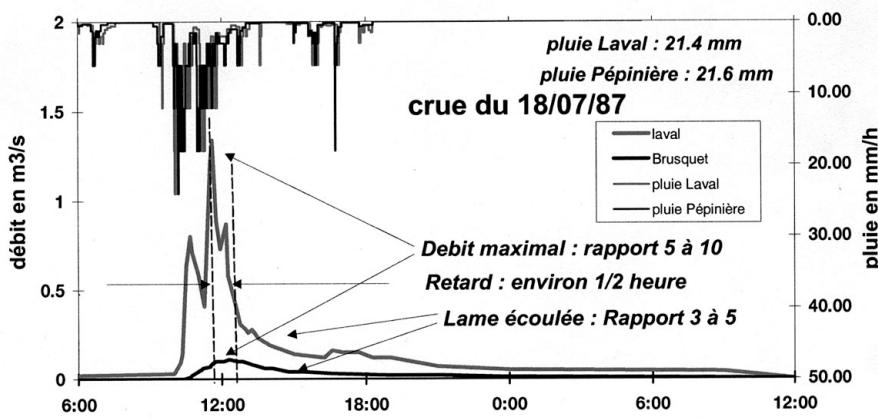


Fig. 4 : Hydrogrammes comparés du Laval et du Brusquet pour des pluies analogues

4 fois par an en moyenne alors qu'au Brusquet cette valeur n'a été dépassée qu'une fois en 12 ans et que la valeur de 0.2 m³/s n'est dépassée que 2 à 3 fois par an. Cf. Tab. II

Les montées en crue sont nettement plus rapides sur le bassin du Laval : on observe couramment des montées de 1 m dans le seuil de mesure en 2 à 5 minutes ; le débit peut passer de 10 à 5 000 l/s en 11 mn (11 juillet 1995) de 10 à 3 250 l/s en 15 minutes (13 septembre 1995)... Sur le bassin du Brusquet, les crues sont nettement moins rapides, avec des temps de montée de 30 à 40 minutes au minimum, de plus d'une heure généralement.

Si on compare les hydrogrammes produits par des pluies analogues (Cf. Fig. 4), on observe que les pointes de crue sont retardées d'au moins 1/2 heure sur le Brusquet et qu'elles sont réduites dans un rapport de 5 à 10. On note cependant que ce rapport peut diminuer (1 à 2 ou 3) pour des crues longues et soutenues d'automne.

Il n'est pas possible de déterminer de manière fiable les écoulements annuels de ces deux bassins car les stations de mesure, qui ont dû être adaptées aux forts débits et transports solides rencontrés ne permettent pas la mesure des débits de basses eaux. Il est cependant possible de comparer les coefficients d'écoulement des épisodes de crue, c'est à dire le rapport des volumes écoulés à l'exutoire aux volumes des précipitations de l'épisode considéré. Les coefficients d'écoulement des épisodes de crue

peuvent atteindre 0.9 pour le Laval, alors qu'ils ne dépassent jamais 0.4 pour le Brusquet. En moyenne, pour des épisodes de pluviométrie analogue sur les deux bassins, les coefficients d'écoulement du Brusquet ne dépassent pas 30 % de ceux obtenus sur le Laval.

Quantification de l'érosion

Les dépôts mesurés dans les pièges des bassins dénudés sont très variables d'une crue à l'autre, fonction de la saison, de l'érosivité des pluies, des quantités de matériaux facilement mobilisables, du débit et de la durée de

la crue : au Laval, on a pu mesurer à plusieurs reprises, des volumes de plus de 500 m³ pour un épisode et même 700 m³ le 1 juillet 1986 pour un orage de grêle ayant provoqué une crue de plus de 15 m³/s. La plage de dépôt du Laval a une capacité de 900 m³ environ et elle doit être vidangée 2 à 4 fois par an. Au Brusquet, la capacité des deux pièges à sédiments ne dépasse pas 50 m³. Celui du "Grand Ravin" n'est vidangé que tous les 2 ou 3 ans, celui du "Trou du Loup" ne s'est jamais complètement rempli. Il est de ce fait difficile de mesurer le dépôt apporté par une seule crue car il n'est pas assez épais pour être mesurable. Les dépôts causés par les fortes crues de septembre 1994 (environ 12 m³), de Novembre 1994 (environ 17 m³) et de juin 1996 (13 m³) sont les apports les plus notables.

Les concentrations mesurées dans les préleveurs d'échantillons sont très élevées au Laval, dépassant couramment 300 g/l. Elles ont même atteint 490 g/l le 10 août 1986 et près de 800 g/l le 13 août 1997 (Cf. photo 8) et environ 60 % des crues ont une concentration maximale supérieure à 100 g/l. Au Brusquet, les mesures sont plus rares, soit parce que les crues ne se produisent pas, soit par défaillance des appareils (vols des panneaux solaires les alimentant). Elles n'ont jamais dépassé 35 g/l.



Photo 8 : Ecoulement chargé (800 g/l) de la crue du 13/8/1997 au Laval

Photo Jean-Emmanuel Olivier

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	Moyenne	Ecart-type
Roubine	118	262	163	174	89	138	132	350	163	310	174	222	191	76
Laval	91	159	166	103	64	181	135	311	176	270	139	263	171	72
Moulin					66	25	121	99	185	114	174	81	156	113
Brusquet					2	2	2	3	8	7	17	1.4	6.8	5

Tab. III : Erosion annuelle en t/ha.an (rapportée à la surface dénudée)

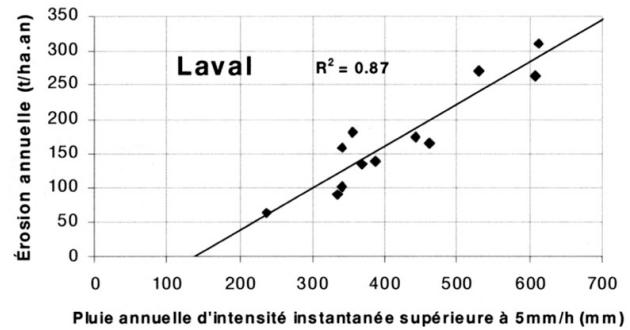
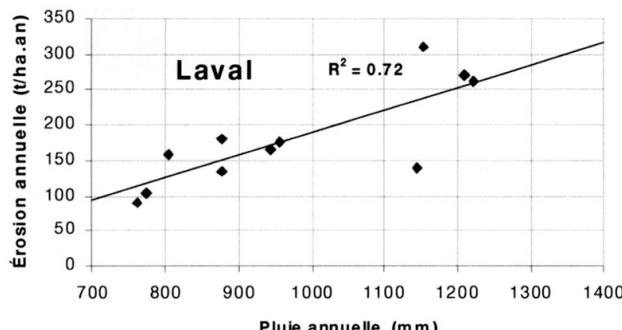


Fig. 5 : Relation entre érosion annuelle et pluie annuelle, sans et avec seuil sur l'intensité

Les résultats obtenus sur les bassins dénudés, de la Roubine (0.13 ha), du Moulin (8 ha) et du Laval (86 ha) montrent l'importance de l'érosion sur ce type de badlands, puisque les moyennes annuelles de production spécifique - rapportées à la surface dénudée - se situent entre 110 et 190 t/ha.an, soit une ablation équivalente de la marne altérée de 8 à 15 mm/an. Sur le bassin boisé du Brusquet, la production spécifique, rapportée à la surface dénudée est 40 fois inférieure, 220 fois si on la rapporte à la surface totale (MATHYS et al., 1996).

Cf. Tab. III

Au Brusquet, l'augmentation de l'érosion en 1992 et 1993 peut en partie être attribuée à des travaux d'exploitation forestière ayant impliqué l'ouverture de pistes. L'année 1994 apparaît comme exceptionnellement productive ce qui pourrait suggérer des effets de seuil puisque c'est l'année où les deux plus fortes crues du Brusquet ont été observées (2.2 et 1.4 m³/s) alors que les autres années

les débits maximum de crue restent inférieurs à 0.5 m³/s.

Si l'on rapporte la production de sédiments annuelle du Laval à la pluie annuelle on constate une liaison entre ces deux quantités. Cette liaison s'améliore si on se réfère à la fraction des pluies annuelles tombées avec une intensité instantanée supérieure à 5 mm/h, partie de la pluie que l'on peut considérer comme efficace au regard de l'arrachement et du ruissellement.

Cf. Fig. 5

Cette relation est nettement moins bonne au Brusquet (R^2 voisin de 0.5) ce qui tend à montrer que l'érosivité des pluies est moins déterminante sur le bassin boisé.

A l'échelle de l'épisode de crue, l'analyse statistique faite sur les bassins dénudés montre que si, sur la Roubine, les paramètres de la pluie expliquent pratiquement seuls le transport solide, sur le Laval, l'introduction du débit de pointe améliore grande-

ment les résultats. Ceci montre qu'à l'échelle d'une ravine les phénomènes d'arrachement des matériaux sont prépondérants alors qu'à l'échelle d'un bassin plus grand y sont associés les phénomènes de transport par l'écoulement. A la Roubine les matériaux fins transportés à l'aval du piège à sédiments ne représentent que 15 % du transport solide total. Au Laval ils représentent 60 % et au Brusquet environ 80 %.

Il a paru particulièrement intéressant de tenter d'expliquer comment la végétation du bassin permettait une réduction de l'érosion bien supérieure à ce qu'on pourrait attendre de la simple réduction du taux de dénudation. La réduction du nombre d'épisodes de crue, la modération des débits de pointe en sont les premiers facteurs. Le piégeage des matériaux arrachés aux versants avant leur arrivée dans les drains principaux, ou dans les drains principaux eux-mêmes est une autre cause de modération des apports solides.

Modélisation de l'érosion

Sur le bassin du Laval, des travaux de modélisation pluie-débit-érosion ont été menés avec succès (BORGES et al. 1994, BROCHOT et al., 1995), en utilisant le modèle ETC (BROCHOT, et MEUNIER, 1996). La modélisation pluie-débit utilisait un modèle simple avec une fonction de production linéaire à seuil et un hydrogramme triangulaire. Les apports de versants étaient estimés pour chaque sous-bassin à partir de la production de la Roubine affectée d'un coefficient prenant en compte la superficie, la pente et le taux de végétation du sous-bassin. Pour la propagation des transports solides dans les biefs, le modèle utilisait des lois de transport adaptées aux fortes pentes, une loi de dégradation du charriage en suspension, des seuils de mise en mouvement des matériaux différenciés selon la nature du lit, rocheux ou affouillable. Ce travail a montré un très bon accord entre les volumes transportés par charriage et les volumes déposés dans la plage de dépôt. Une démarche semblable a été récemment conduite sur le torrent du Brusquet avec une représentation spatialisée du bassin versant (LACHENY, 1998)..

Une première étape a consisté à reprendre et affiner l'analyse statistique de l'érosion, rendue possible par la remise en service des échantilleurs et l'obtention de nouvelles données de Matières en suspension (MES). Il s'avère qu'au Brusquet le paramètre explicatif prépondérant pour les volumes de MES produits au cours d'une crue est le débit maximum de cette crue. Il confirme que ce ne sont plus les mécanismes d'arrachement qui prédominent mais les phénomènes de transport et très probablement la remobilisation d'éléments fins dans les lits.

La première simulation avec ETC sur une succession de crues montre la capacité des biefs du Brusquet à stocker et déstocker les sédiments au rythme des événements les plus importants. Au bout d'une période de trois ou quatre crues, le bassin peut se



Photo 9 : Bassin de dépôt au Brusquet

Photo D.A.

décharger complètement de tous les sédiments provenant des versants et déposés dans les biefs. Au regard de cette "respiration" des lits, les sous-bassins de La Combe et du Grand Ravin semblent produire à l'exutoire le plus de sédiments. Le modèle permet de traduire la capacité des biefs du torrent à stocker puis restituer des sédiments, mais aboutit à une très forte surestimation de l'érosion dans le bassin. La prise en compte des surfaces réellement productrices, c'est à dire connectées au réseau hydrographique modèle cette surestimation mais conduit néanmoins à des productions de sédiments à l'exutoire trop élevées. Il semble nécessaire de modéliser les phénomènes de piégeage des sédiments dans des lits, en particulier derrière les petits barrages faits par la végétation. La description trop globale des caractéristiques des biefs dans ETC n'a pas permis de le faire dans cette première approche. Par ailleurs, il faudrait pouvoir apprécier la capacité de destruction de ces retenues lors de crues violentes. Ce phénomène pourrait introduire à nouveau un "effet de seuil" dans le déroulement des épisodes paroxysmiques.

Conclusion

Les observations sur les bassins versants de Draix ont montré que sur un petit bassin versant marneux entièrement boisé les pointes de crue étaient réduites d'un facteur 5 à 10 par rapport à un bassin versant de caractéristiques semblables mais presque entièrement dénudé. Les pointes de crue sont retardées d'au moins une demi-heure et les volumes de crues réduits dans un rapport d'au moins 2. L'érosion observée à l'exutoire du bassin est, en moyenne interannuelle, 200 fois plus faible sur le bassin boisé, environ 40 fois si on rapporte cette érosion aux seules surfaces dénudées dans les deux bassins. La modélisation conduite à l'aide du logiciel ETC reproduit de manière satisfaisante le fonctionnement hydrologique et érosif du bassin dénudé mais surestime largement l'érosion du bassin boisé, tout en reproduisant bien les débits liquides. Ce travail a permis de mettre en évidence la notion de zones effectivement productrices, différentes des zones dénudées, particulièrement pertinente sur le bassin boisé. Une meilleure prise en compte des stockages intermédiaires

de sédiments dans les lits encombrés par la végétation et sur les versants serait nécessaire. Cependant, même si des valeurs fortes de débits de crue ont pu être observées au cours des 12 années d'observation (plus de 2m³/s pour un bassin boisé d'1 km²), elles se réfèrent à des épisodes pluvieux somme toute assez modestes, quelques dizaines de mm. La mise en jeu "d'effets de seuil", déjà décelables sur la formation des plus fortes valeurs de débits liquides et d'érosion, ne permet pas d'extrapoler sans risques les résultats obtenus à des situations paroxysmiques.

Bibliographie

Bergougnoux L., Misguich-Ripault J., Firpo J-L., André J., Cambon J.-P., Mathys N., Olivier J.-E., 1995, Mesure in situ de la concentration des matières en suspension: mise au point d'une sonde optique. Compte rendu de recherches n°3 en érosion et hydraulique torrentielle, Cemagref Editions, Antony, pp 63-77.

Borges A.L., 1993, Modélisation de l'érosion sur deux bassins versants expérimentaux des Alpes du Sud. Cemagref-PE, Thèse de l'Université Joseph Fourier, Grenoble, 205 p.

Borges A.-L., Brochot S., Meunier M., 1994, Modèle hydrosédimentologique des écoulements hyperconcentrés d'un petit torrent des Alpes du sud. La Houille Blanche n° 3-1994.

Brochot S. (rééditeur) et al., 1995, Desertification in mediterranean area. DM2E project : final report. Cemagref Grenoble. 48 p. + annexes.

Brochot S., 1993, Erosion de badlands dans le système Durance-Etang de Berre. Cemagref Grenoble / Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (36+32+81+47+29+29+15 p. + cartes).

Brochot S., Mathys N., Meunier M., 1996, Contribution des Terres Noires aux charges sédimentaires transportées dans le Rhône lors de la crue de novembre 1994. Programme GIP Hydrosystèmes Zone atelier du bassin du Rhône, volet Importance du sous-bassin durancien dans la constitution des débits solides du Rhône à l'aval d'Arles. 17 p.

Brochot S., Meunier M., 1996, Un modèle d'érosion des torrents en crue (ETC). Cemagref Editions ; Ingénieries - EAT, n°6, juin1996, p. 9 à 18.

Cambon J.-P., Mathys N., Meunier M., Olivier J.-E., 1990, Mesure des débits solides et liquides sur des bassins versants expérimentaux de montagne. IAHS publ. n°193, pp. 231-238.

Cemagref, 1988, Les bassins versants expérimentaux de Draix - Présentation et synthèse. Division protection contre les érosions Grenoble, 37 p.

Combes F., Hurand A., Meunier M., 1994, La forêt de montagne, un remède aux crues. 23èmes journées de l'hydraulique, Société Hydrotechnique de France, "Crues et inondations", Nîmes, septembre 1994.

Contreras G., 1994, Analyse et interprétation des mesures de pluie, de débit, d'érosion sur le bassin versant du moulin, BVRE de Draix, Alpes du sud. Mémoire de fin d'études Cemagref-ENTPE. 48 p.

Coulmeau P., 1987, Quelques éléments sur la géomorphologie et les processus érosifs observés dans le bassin du Laval dans Bassins versants expérimentaux de Draix, compte-rendu de recherche n°1 en érosion et hydraulique torrentielle, Cemagref Grenoble.

Lacheny B., 1998, Etude et modélisation de l'érosion dans un bassin versant forestier, Le Brusquet (Alpes de Haute-Provence), Mémoire de fin d'études ISTG/Cemagref, 120 p. + annexes

Mathys N., Meunier M., 1989, Mesure et interprétation du processus d'érosion dans les marnes des Alpes du sud à l'échelle de la petite rivière. Colloque transport solide, la Houille Blanche n°3/4, 1989, pp. 188-192.

Mathys N., Brochot S., Meunier M., 1996, L'érosion des Terres Noires dans les Alpes du sud : contribution à l'estimation des valeurs annuelles moyennes

(bassins versants expérimentaux de Draix, Alpes de Haute-Provence). Revue de géographie alpine, tome 1984, n°2, 1996, pp. 17-27.

Mathys N., Cambon J.-P., Olivier J.E., 1999. Formation des fortes crues dans les bassins versants expérimentaux de Draix : la crue exceptionnelle du 8 septembre 1994. Les bassins versants expérimentaux de Draix laboratoire d'étude de l'érosion en montagne - actes du séminaire, Draix Le Brusquet Digne, 22-24 octobre 1997. Cemagref Editions, Antony. p. 65-76

Meunier M., Mathys N., Cambon J.-P., 1995, Panorama synthétique des mesures d'érosion effectuées sur 3 bassins du site expérimental de Draix dans Compte-rendu de recherche n°3. BVRE de Draix. Etudes du Cemagref, série équipements pour l'eau et l'environnement n°21, pp.125-140.

Olivier J.-E., Pebay-Peyroula J.-C., 1995, L'ellian, un limnigraph adapté aux mesures en conditions difficiles dans Compte-rendu de recherche n°3. BVRE de Draix. Etudes du Cemagref, série équipements pour l'eau et l'environnement n°21, pp.125-140.

Richard D., 1997, Les bassins versants expérimentaux de Draix (04) : étude de l'érosion et du transport solide torrentiels à partir de mesures in situ. Actes des 13èmes journées du réseau érosion Erosion en montagnes semi-arides et méditerranéennes, bull. n° 17 du réseau érosion, 1997, ORSTOM Montpellier.

Vérité F., 1993, Hydrologie de crue des bassins versants de montagne méditerranéens. Mémoire de fin d'études ENGEES-Cemagref, 119 p.