

LES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX DE DRAIX (04) : ETUDE DE L'EROSION ET DU TRANSPORT SOLIDE TORRENTIELS A PARTIR DE MESURES IN SITU

Didier RICHARD

Cemagref, division Protection contre les érosions, groupement de Grenoble
B.P. 76, 38402 SAINT-MARTIN D'HERES Cedex, FRANCE

Résumé

Après une rapide présentation du site des bassins versants expérimentaux de Draix, on dresse un panorama des travaux menés et des résultats acquis, depuis une dizaine d'années que le *Cemagref* gère ce dispositif, en matière d'instrumentation, d'hydrologie, d'érosion et de transport solide torrentiels.

Mots-clefs : bassin versant expérimental, instrumentation, hydrologie, érosion, transport solide, marne.

Abstract

The *Cemagref* has been managing for ten years Draix experimental basins dedicated to research topics as instrumentation, torrential hydrology, erosion and solid transport. Following a quick presentation of the site and of the experimental device, the panorama of both the works carried out and the main results is being drawn up.

Keywords : experimental basin, instrumentation, hydrology, erosion, solid transport, marl.

INTRODUCTION

L'objectif principal qui a présidé à la mise en place des bassins versants expérimentaux de Draix, voilà maintenant plus de dix ans, était de disposer de mesures d'événements réels de crues torrentielles, et notamment du transport de sédiments associé, dans le contexte de bassin versant de montagne des Alpes françaises. Cette carence de quantification de l'érosion était ressentie conjointement par le *Cemagref*, compte tenu de l'avancement de ses travaux de recherche, et par les services opérationnels chargés de la conception et de la réalisation des travaux de correction torrentielle, les services de Restauration des terrains en montagne (RTM). Cela explique que depuis l'origine les bassins versants expérimentaux de Draix soient cogérés par la division "Protection contre les érosions" du *Cemagref* de Grenoble, assistée par une division du *Cemagref* d'Aix-en-Provence pour la partie hydrométrie - hydrologie, et par le service RTM, en l'occurrence celui des Alpes-de-Haute-Provence.

PRESENTATION GENERALE DU DISPOSITIF

Le site finalement retenu est situé dans la région de Digne, précisément sur les territoires communaux de Draix et Le Brusquet (fig. 1). Les bassins équipés s'étagent entre 800 et 1200 m d'altitude, et sont situés en quasi totalité sur l'unité lithologique des "Terres Noires" du Jurassique, ces marnes du Bajocien à l'Oxfordien extrêmement sensibles à l'érosion, et qui posent tant de problèmes aux services RTM des Alpes du sud. Le caractère de représentativité que devait leur conférer ce choix a été confirmé a posteriori dans le système Durance-Etang de Berre (Brochot, 1993).

Le climat est méditerranéen, avec des tendances montagnardes. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 850 mm. Les pluies ont une distribution irrégulière, avec une sécheresse estivale marquée. Les orages d'été et d'automne peuvent connaître de fortes intensités de pluie, qui dépassent couramment 60 mm/h.

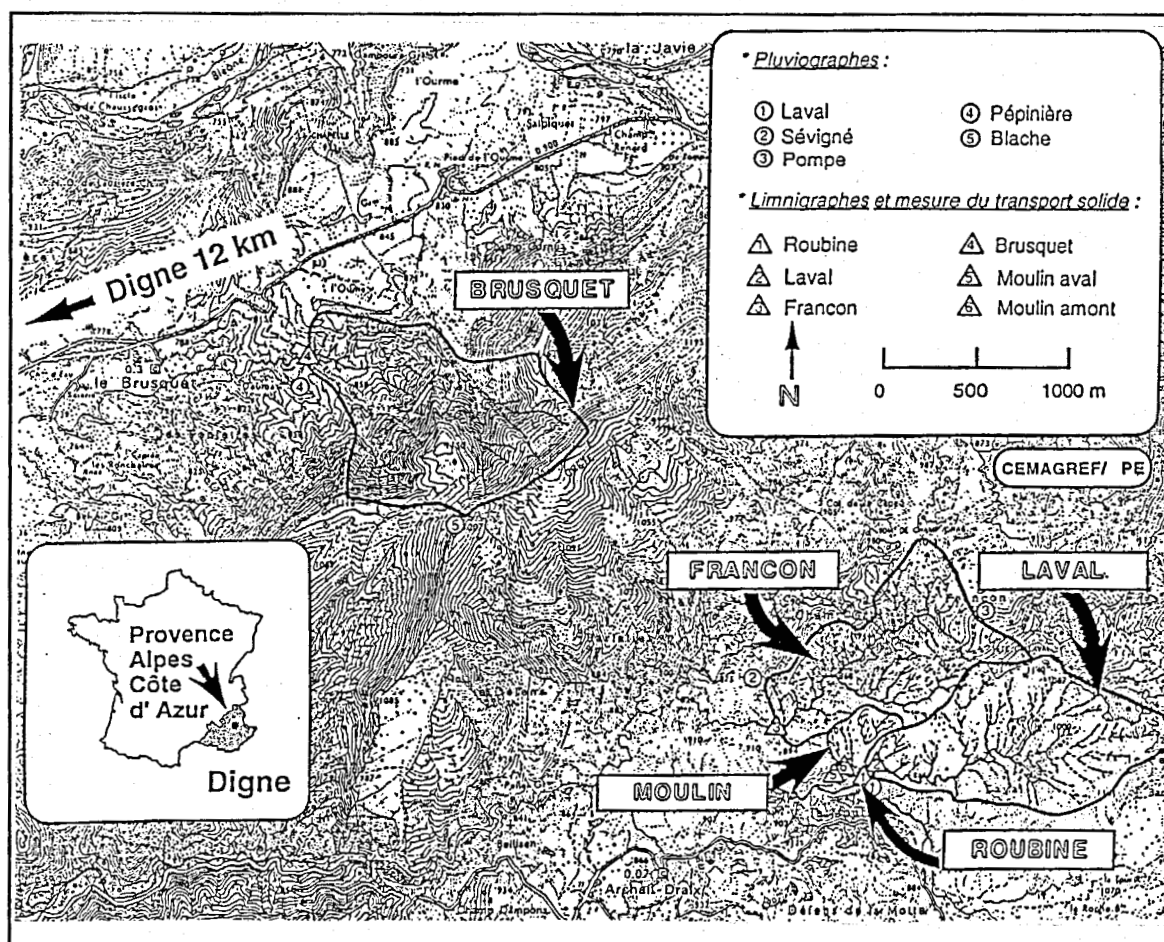


Figure 1 : Bassins expérimentaux de Draix; situation générale des stations de mesure.

Cinq bassins sont à ce jour instrumentés. Ils sont de superficie et de densité du couvert végétal différentes (tab. 1). Initialement, le projet était de mesurer en parallèle le *Laval* et le *Francon*,

deux bassins voisins de taille comparable, de l'ordre du km², dont l'un serait en cours de revégétalisation. Ce projet ambitieux a été progressivement abandonné, et un autre bassin du même ordre de taille, mais totalement reboisé à la fin du siècle dernier, le *Brusquet*, a été sélectionné et équipé, pour permettre néanmoins des comparaisons en fonction du degré de végétation. Dès l'origine, un tout petit bassin, la *Roubine*, avait été instrumenté, à titre d'unité morphologique élémentaire pour l'étude des processus de ruissellement et d'érosion. Enfin, plus récemment, un dernier bassin dégradé, le *Moulin*, de taille intermédiaire, a été équipé.

Nom du bassin	Surface (ha)	Taux de dénudation (%)	Lithologie
<i>Roubine</i>	0,13	79	« Terres Noires » datées du Bajocien à l'Oxfordien (marnes surtout)
<i>Moulin</i>	8	54	
<i>Laval</i>	86	68	
<i>Francon</i>	72,8	44	
<i>Brusquet</i>	108	13	Marnes noires Toarcien-Aalénien et marno-calcaires Aalénien

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des bassins de Draix.

INSTRUMENTATION

L'instrumentation de chaque bassin répond du même principe général (fig. 2) :

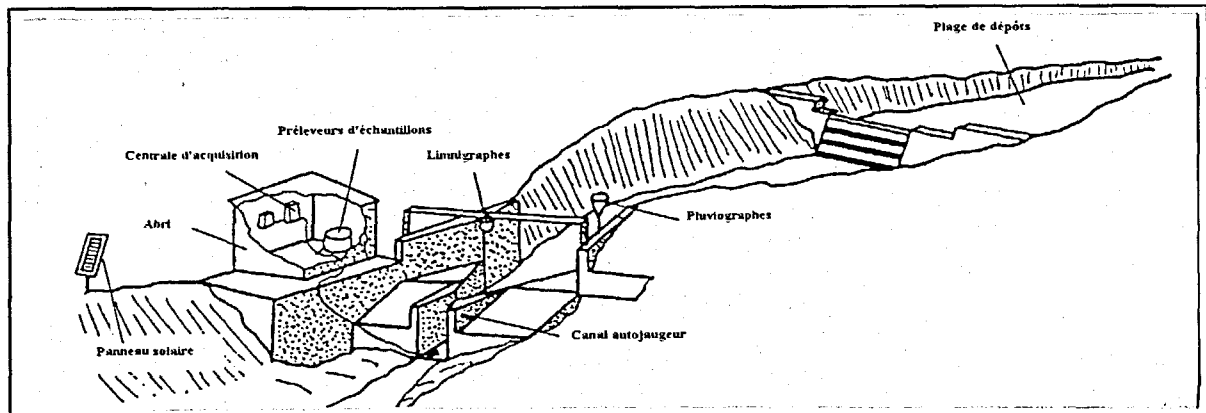


Figure 2 : Organisation générale d'une station de mesure.

Un piège à sédiment, ou plage de dépôts, fermé par un barrage perméable de sédimentation, retient une grande partie des sédiments, notamment les plus grossiers, protégeant ainsi la station limnigraphique située à l'aval immédiat. Cette station limnigraphique est constituée d'un seuil ou d'un canal auto-jaugeur, au droit duquel sont installés un ou plusieurs limnigraphes.

Les écoulements qui transitent dans ces sections de mesure, bien que sortant de pièges à sédiments où ils se sont délestés d'une grande part de leur charge solide, peuvent présenter des valeurs de concentrations en matières en suspension très importantes, rivalisant quelquefois avec les records mondiaux, puisqu'elles peuvent atteindre 500 g/l. Un préleveur d'échantillons pour la mesure des concentrations en matières en suspension est donc également installé au niveau de la section de mesure.

Les problèmes de mesures n'ont pas été les moindres, d'autant plus qu'ils conditionnaient la suite du projet. La recherche d'une instrumentation adaptée à l'importance du transport solide, et à la rigueur des conditions climatiques, a fortement marqué toutes ces années passées le fonctionnement des BVRE de Draix, et a mobilisé énormément de temps et de moyens. Il s'est agi d'un véritable projet de recherche.

Pour la mesure de la pluie toutefois, il n'y a rien de particulier à signaler, on pourrait dire pour simplifier que ce qui marche ailleurs marche à Draix, en l'occurrence des pluviographes à augets basculant.

En revanche, la situation s'est vite avérée beaucoup plus délicate, ne serait-ce que pour la mesure des débits liquides. Les appareils du commerce, pourtant utilisés avec succès en d'autres lieux, se sont vite révélés inadaptés aux conditions particulières de transport solide intense et de rigueur des conditions climatiques du site. Cela a amené le *Cemagref* à développer, en collaboration avec le Laboratoire de Spectrométrie physique de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, un limnigraphe spécifique baptisé *Ellan*. Le principe en est relativement simple : c'est une échelle limnigraphique dont chaque graduation est en fait une électrode, et en utilisant la conductivité de l'eau, le nombre d'électrodes immergées est compté. Ce limnigraphe a fait l'objet d'un dépôt de brevet, et son fonctionnement en site naturel s'avère très satisfaisant.

La situation est encore plus problématique pour la mesure des transports solides. Pour les matériaux grossiers, on réalise des relevés topographiques des plages de dépôts, si possible après chaque crue, n'obtenant ainsi qu'une mesure globale, au mieux, par épisode de crue.

Pour les matériaux fins transitant en suspension, des préleveurs d'échantillons asservis aux centrales d'acquisition sont utilisés. Mais l'ensemble de cette chaîne de mesures connaît de nombreux problèmes de fiabilité, et ne fournit qu'une mesure discrète, avec une faible autonomie (24 flacons). Enfin le traitement des échantillons prélevés est relativement lourd. Le *Cemagref* s'est donc engagé dans la recherche de solutions plus satisfaisantes de mesure en continu des concentrations en matières en suspension :

- La première voie explorée repose sur l'absorption d'un rayonnement gamma au travers du fluide chargé. Ce projet fait l'objet d'une collaboration avec le CEA. La sonde a été testée au laboratoire et a fait l'objet des contrôles d'usage en matière de radioprotection par la CIREA.
- La deuxième piste utilise la rétrodiffusion de la lumière par les particules en suspension. C'est un projet conduit en collaboration avec l'Université de physique de Marseille. Des tests ont été réalisés en canal de laboratoire et ont montré qu'un étalonnage était nécessaire dans les conditions naturelles d'utilisation.

- Enfin, la troisième piste est un capteur de pression différentielle développé par l'ORSTOM. Lui aussi a été testé en canal de laboratoire où il a donné de bons résultats, mis à part quelques problèmes dans la gamme des plus faibles concentrations, inférieures à 100 g/l.

HYDROLOGIE

En matière d'hydrologie, la comparaison des résultats de mesures, entre un bassin boisé (le *Brusquet*) et un bassin versant dégradé (le *Laval*) a permis d'évaluer l'effet de la forêt sur le régime des crues.

Si l'on compare par exemple les débits de pointe des crues (fig. 3), on constate qu'ils sont au moins divisés par 5 sur le bassin versant boisé, voire plus pour des épisodes de pluie courte et intense, à l'exception peut-être d'épisodes particuliers de pluie longue qui pourraient saturer les sols forestiers.

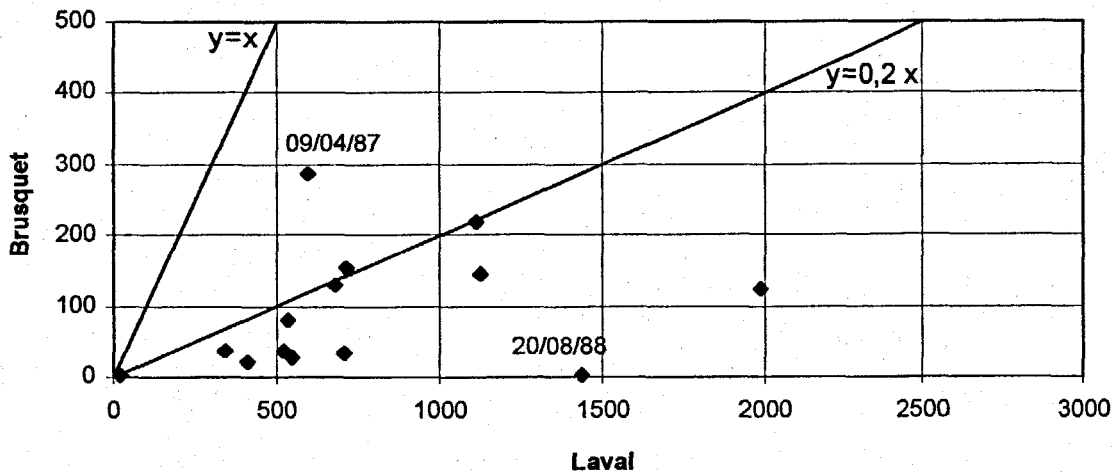


Figure 3 : Débits de pointe des crues ayant même pluviométrie (l/s).

Si on compare les coefficients d'écoulement, c'est-à-dire le rapport entre lame écoulee et lame tombée, on constate que la forêt divise au moins par deux ce coefficient (fig. 4).

A un niveau de détail supérieur, on s'est intéressé également aux courbes de pluie limite, c'est-à-dire la courbe des valeurs de pluie, en fonction du nombre de jours secs précédents au delà desquelles on observe un ruissellement. La comparaison de ces classes entre les deux bassins montre que la rétention initiale maximale, c'est-à-dire la hauteur de pluie minimale pour générer un ruissellement, est environ trois fois plus importante sur le bassin versant boisé (fig. 5).

On peut rentrer encore dans le détail en utilisant les résultats de mesures en validation de modèles hydrologiques conceptuels. Le tableau 2 ci-dessous résume les valeurs obtenues par calage, en l'occurrence pour les paramètres du modèle du Soil Conservation Service (SCS). Notamment l'infiltration maximale est environ cinq fois plus forte sur bassin boisé. Ces valeurs illustrent également parfaitement l'effet du couvert forestier sur l'amortissement des crues.

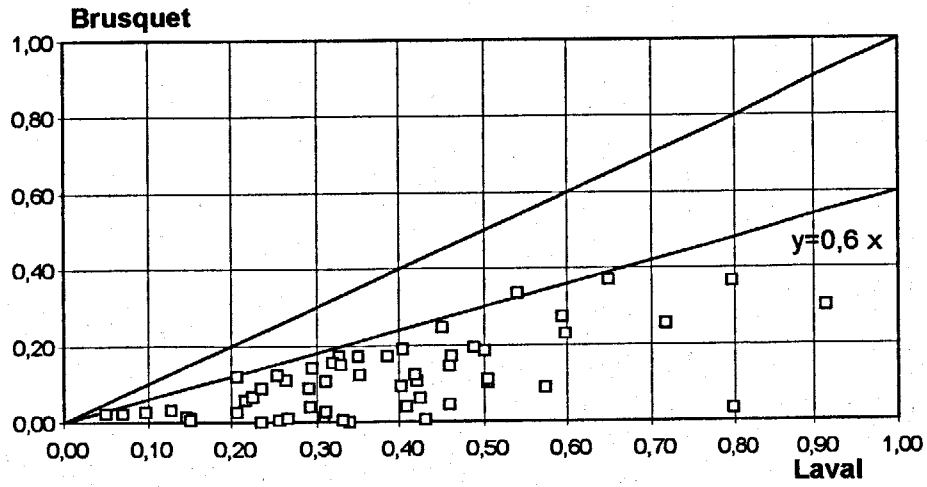


Figure 4 : Comparaison des coefficients d'écoulement en crue

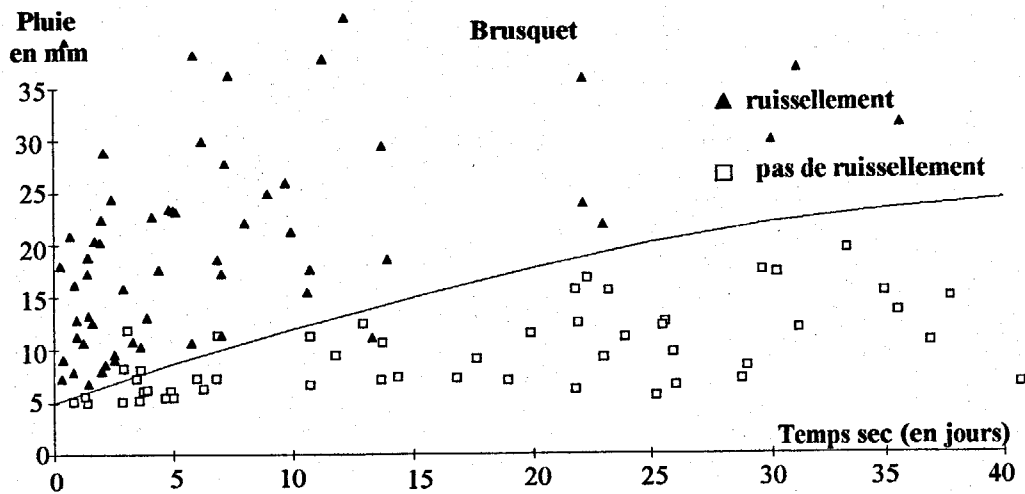
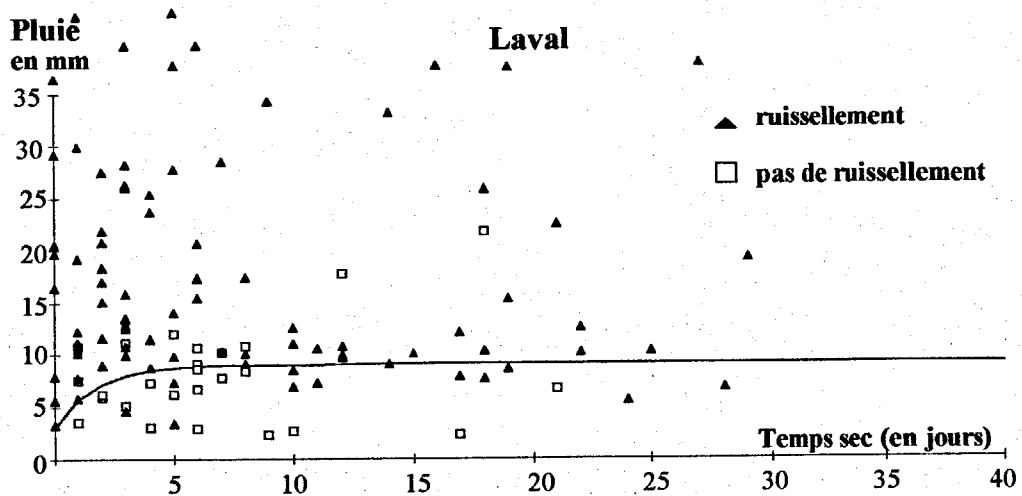


Figure 5 : Graphiques de la pluie limite au *Laval* et au *Brusquet*

Nom du bassin	Rétention initiale (mm)	Infiltration maximale (mm)	Temps de montée en crue (mn)	Temps de décrue (mn)
<i>Brusquet</i> (boisé)	25	375	60	180
<i>Laval</i> (dégradé)	9	76,5	20	40

Tab. 2 : Valeurs des paramètres du modèle SCS pour les bassins du *Laval* et du *Brusquet*

EROSION

Les résultats en matière d'érosion présentés ici sont principalement issus d'une analyse statistique événementielle, c'est-à-dire que les mesures de l'érosion, des volumes déposés dans les plages de dépôts, et des quantités de matières en suspension transitant dans les stations de mesures, ont été mises en relation avec les paramètres de pluie et de débit de l'épisode de crue correspondant. On obtient les relations statistiques suivantes à 2 ou 3 variables, exprimant la production totale de sédiments exprimée en poids (Poidtot en kg), en fonction de la hauteur totale de la pluie correspondante (H_{tot} en mm), de l'intensité maximale de cette pluie sur une minute (I_{01} en mm/h) et le cas échéant du débit liquide de pointe de la crue (Q_{max} en l/s).

<i>Roubine</i> : (0,13 ha)	Poidtot = 0,686 $H_{tot}^{0,848}$ $I_{01}^{1,179}$	N = 64	$R^2 = 0,97$
	Poidtot = 0,643 $H_{tot}^{0,905}$ $I_{01}^{1,142}$ $Q_{max}^{0,124}$	N = 60	$R^2 = 0,99$
<i>Laval</i> : (86 ha)	Poidtot = 4515 $H_{tot}^{0,868}$ $I_{01}^{0,508}$	N = 65	$R^2 = 0,76$
	Poidtot = 5303 $H_{tot}^{0,477}$ $I_{01}^{0,208}$ $Q_{max}^{0,339}$	N = 65	$R^2 = 0,97$

Cette analyse a mis en évidence un effet d'échelle, puisqu'on constate que si sur un petit bassin versant comme la *Roubine*, les caractéristiques de la pluie sont suffisantes pour expliquer l'érosion, il est nécessaire de tenir compte de l'écoulement hydraulique, par l'intermédiaire du débit de pointe de crue, pour obtenir le même niveau d'explication sur un bassin versant de la taille du *Laval*.

L'établissement de ces relations statistiques a par ailleurs permis, et ce n'est pas le moindre de leurs intérêts, la complémentation des séries de mesures pour obtenir des valeurs d'érosion annuelle et évaluer l'érosion moyenne interannuelle (tab. 3).

On constate :

- l'importance de l'érosion,
- un comportement globalement équivalent des bassins versants dégradés, malgré une différence de qualité des sédiments exportés,
- l'importance de l'effet de la végétation.

De 85 % sur la *Roubine*, la proportion de sédiments grossiers dans la production de sédiments passe à 40 % sur un plus grand bassin comme le *Laval*, où des phénomènes d'usure et de dégradation des particules grossières en matériau fin ont la possibilité d'intervenir dans le réseau

hydrographique. D'ailleurs l'examen de ce ratio pour le bassin versant du *Moulin*, de taille intermédiaire (fig. 6), permet de mieux préciser l'échelle de surface à partir de laquelle l'essentiel de cette dégradation est opérée.

Valeurs moyennes interannuelles	<i>Roubine</i> 1985-1990	<i>Laval</i> 1986-1990	<i>Brusquet</i> 1988-1991
Production de sédiments (t/an)	17	8848	29,8
Idem par ha de terrain dénudé (t/ha.an)	157	146	2,1
Ablation équivalente (mm) :			
• de roche-mère (masse volumique 2,650 t/m ³)	5,9	5,5	0,08
• du matériau altéré en place (masse volumique 1,3 t/m ³)	12,1	11,0	0,16
Volume déposé / volume total de sédiments (moyen en %)	85	40	23
Volume transité / volume total de sédiments (moyen en %)	15	60	77

Tab. 3 : Production de sédiments et ablation équivalente (valeurs moyennes interannuelles)

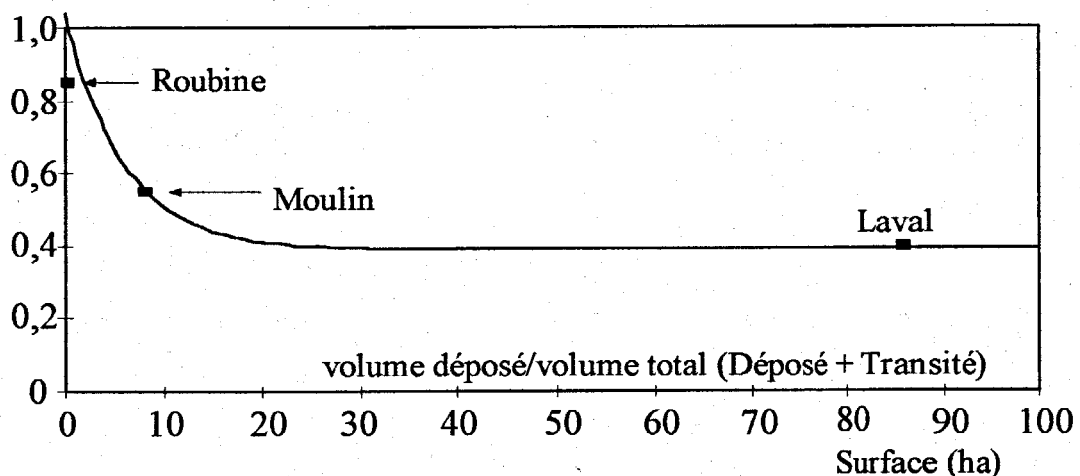


Figure 6 : Evolution du rapport volume déposé/volume total en fonction de la surface

TRANSPORT SOLIDE

A l'échelle de la particule, des expériences de suivi des déplacements infligés par une série de crues à un échantillon de cailloux marqués magnétiquement à l'aide d'aimants, ont confirmé les conditions de transport solide intense qui caractérisent les bassins versants de Draix. Les

- une forte dispersion,
- des distances maximales de transport au cours d'une crue importantes,
- l'absence de corrélation entre le poids des cailloux et leur déplacement.

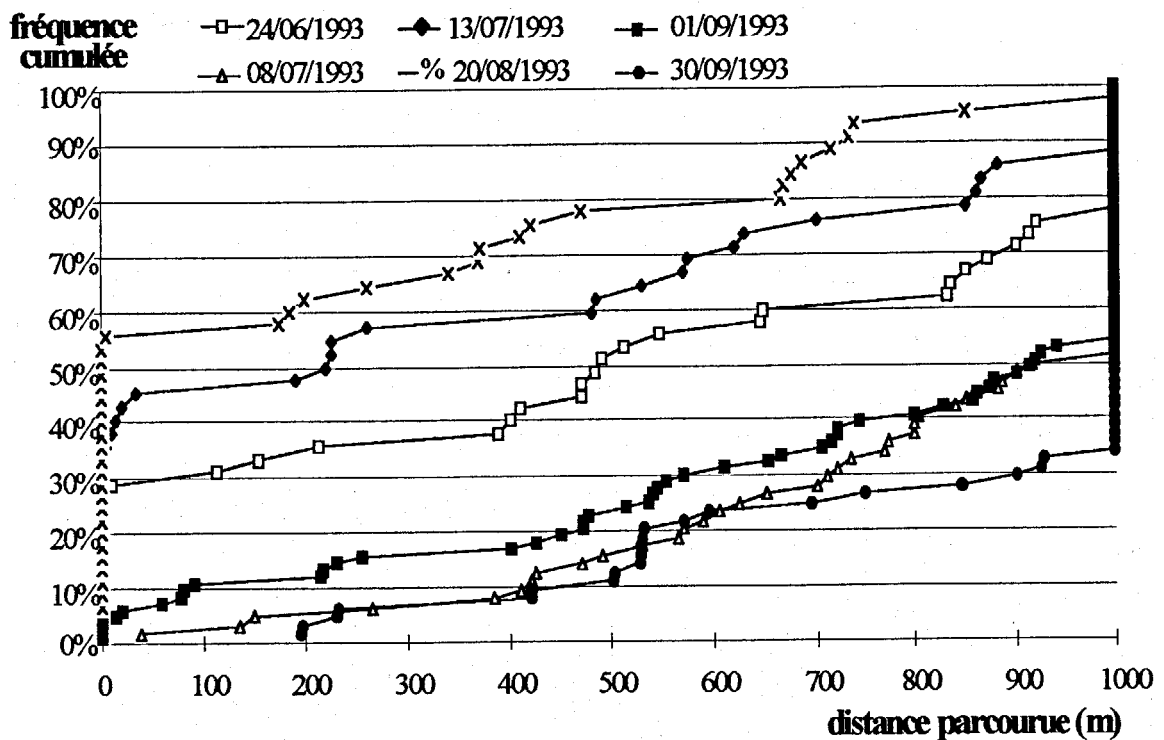


Fig. 7 : Dispersion des cailloux marqués au cours de 6 crues de l'année 1993.

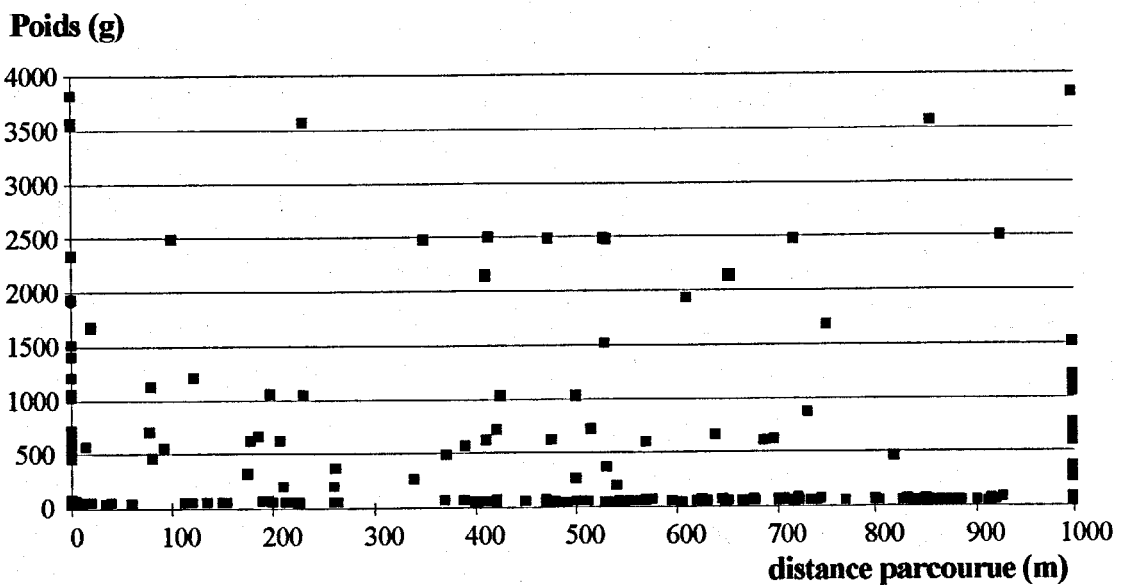


Figure 8 : Relation entre le poids des cailloux marqués et leur déplacement.

A un niveau plus global, les mesures de transport solide réalisées sur les bassins de Draix ont été comparées aux résultats fournis par un modèle conceptuel spatialisé, mis au point au Cemagref. Ce modèle, baptisé ETC pour Erosion des Torrents en Crue, permet d'appliquer à un bassin versant, décomposé spatialement en versants et en biefs, des fonctions de production et de transfert traduisant les relations entre pluie, débit liquide, érosion et débit solide. On obtient de très bons résultats pour le calcul des volumes déposés dans la plage de dépôts du Laval (fig. 9), malgré le caractère très global du modèle et l'utilisation de formules de transport solide empiriques, établies à partir d'essais en laboratoire avec du matériau granulaire sensiblement différent du matériau rencontré à Draix.

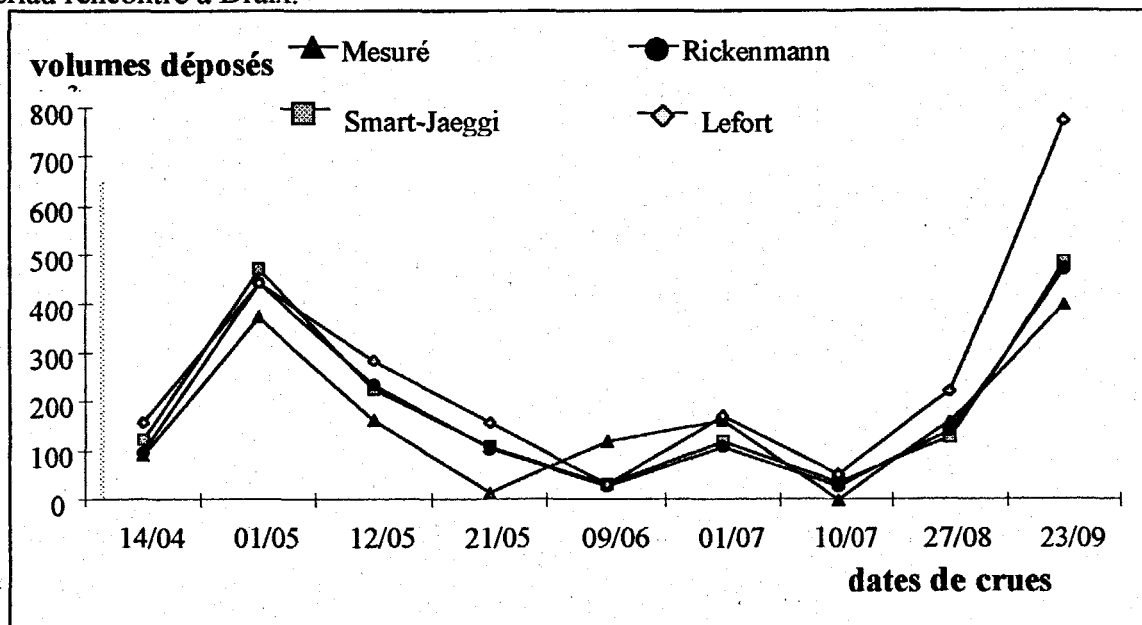


Figure 9 : Comparaison des volumes déposés mesurés et calculés en utilisant différentes formules de transport solides

CONCLUSION

Depuis plus d'une dizaine d'années, les bassins versants expérimentaux de Draix ont pour principale caractéristique la mesure de l'érosion et du transport solide dans des conditions de forte torrencialité. Situés au coeur des « Terres Noires » des Alpes du sud, ils permettent des travaux de recherche variés, sur l'étude des phénomènes physiques, formation des crues, érosion, transport solide, en relation avec les conditions biologiques dues à la végétation, sans oublier les recherches importantes et nécessaires d'instruments de mesure adaptés aux conditions rigoureuses du site. Ce dispositif présente donc toutes les caractéristiques d'un véritable laboratoire de terrain, y compris malheureusement les contraintes logistiques et financières. Pour autant, l'ouverture de plus en plus marquée aux aspects pluridisciplinaires qu'il autorise devrait maintenir de la part des chercheurs concernés un intérêt suffisant pour lui promettre un avenir encore plus fructueux.

Une version similaire de cet article a été présentée au colloque du GIP HydrOsystemes - PRH (INSU / CNRS) les 7 et 8 mars 1996, à Toulouse.

Cet article est une synthèse de travaux dont les auteurs figurent dans les références bibliographiques ci-après.

BIBLIOGRAPHIE

- 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., 1993. Modèle hydrosédimentologique des écoulements hyperconcentrés d'un petit torrent des Alpes du sud. *Société Hydrotechnique de France, journées Transport solide 17-18 novembre 1993, 28 p.*
- BROCHOT S., 1993. Erosion de badlands dans le système Durance - Etang de Berre. 2ème partie : étude de la représentativité des bassins versants expérimentaux de Draix. Cemagref - PE, Grenoble. 46 p.
- Cemagref, 1987. Bassins versants expérimentaux de Draix - *Compte rendu de recherche n° 1 en érosion et hydraulique torrentielle.* Division protection contre les érosions, Grenoble, 128 p.
- Cemagref, 1988. Les bassins versants expérimentaux de Draix - Présentation et synthèse. Division protection contre les érosions, Grenoble, 37 p.
- Cemagref, 1989. Bassins versants expérimentaux de Draix - *Compte rendu de recherche n°2 en érosion et hydraulique torrentielle.* Division protection contre les érosions, Grenoble, 114 p.
- Cemagref, 1995. Compte rendu de recherche n°3 - BVRE de Draix. *Série Etudes, Equipements pour l'eau et l'environnement, n°21, Cemagref Editions, 247 p.*
- RICHARD D., 1995. Slope instability ; erosion and solid transport in steep mountain catchments : laboratory and field experimentations. *Projet européen « Eroslope », rapport final, 75 p.*

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Richard, D. - Les bassins versants expérimentaux de Draix (04) : étude de l'érosion et du transport solide torrentiels à partir de mesures in situ, pp. 218-228, Bulletin du RESEAU EROSION n° 17, 1997.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr