

**Pôle Grenoblois d'études et de recherche
pour la prévention des risques naturels
Programme 2000**



Cemagref Grenoble

*Unité de recherche Erosion Torrentielle
Neige et Avalanches
2, Rue de la papeterie - BP 76
38402 SAINT-MARTIN-d'HERES Cedex*



***Laboratoire de Géographie Physique
UMR 6042 CNRS***

*Maison de la Recherche / Université Blaise Pascal
4, rue Ledru
63057 CLERMONT-FERRAND Cedex*

**Prédiction globale de la production de sédiments des
bassins versants torrentiels**

**Dynamique de la fourniture des matériaux
au torrent du Manival (Isère)**

Rapport de synthèse

*Stéphane Veyrat-Charvillon
Sylvie Brochot
Jean-Luc Peiry*

décembre 2001

L'unité de recherche *Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches* du Cemagref mène actuellement des recherches pour développer une méthode globale de prédiction des apports sédimentaires des bassins versants torrentiels lors des crues, **utilisable en ingénierie torrentielle**. En effet, pour les torrents des Alpes françaises les résultats des méthodes existantes sont très disparates et les rendent peu fiables pour les gestionnaires confrontés aux risques torrentiels.

Une des hypothèses de travail est que cette variabilité tient au fait que les critères pris en compte dans ces formules empiriques sont avant tout des critères statiques et n'intègrent pas le fait que la fréquence et le volume des transports solides torrentiels sont liés à la **disponibilité des matériaux immédiatement mobilisables** par une crue ; cette disponibilité influe sur la rapidité avec laquelle les ravines et chenaux torrentiels vont voir augmenter leur degré d'instabilité intrinsèque, comme en témoignent des travaux déjà anciens (Schumm, 1977) ou le confirme des études plus récentes (Zimmermann and al., 1997 ; Bonnet-Staub, 1998).

La **géomorphologie torrentielle**, par son approche systémique prenant en compte la diversité et la complexité du bassin versant, et le développement de cette discipline vers des techniques de quantification, nous a semblé être une voie novatrice et fructueuse qui doit permettre de comprendre le fonctionnement de la dynamique sédimentaire torrentielle. Généralement, les études sur les torrents portent sur la production détritique des versants, ou sur la fourniture sédimentaire en sortie de bassin versant, mais peu d'études proposent des observations et mesures des variations sédimentaires à l'intérieur de la « boîte noire » que constitue le bassin versant torrentiel.

La démarche adoptée consiste à comprendre sur un bassin versant le fonctionnement général de la dynamique sédimentaire et de mettre en évidence les indices géomorphologiques pertinents, afin d'utiliser ces connaissances pour l'élaboration d'un modèle ou d'une méthode permettant d'estimer les volumes de matériaux transportés par un événement torrentiel extrême. Le torrent choisi est celui du **Manival**, sur la commune de St-Ismier en Isère, à la fois pour son activité torrentielle, le suivi et les données disponibles auprès des services de Restauration des Terrains en Montagne, et son accessibilité.

Dans un premier temps, une méthode d'échantillonnage simple et rapide pour évaluer quantitativement un **état sédimentaire du chenal** a été mise au point. Les techniques que nous avons utilisées sont la topographie et la photogrammétrie.

Dans un second temps, nous avons débuté **l'étude de la dynamique sédimentaire** du bassin versant grâce à :

- *plusieurs états sédimentaires du chenal à différentes dates (de 1970 à nos jours)
- *une cartographie simple et intégratrice des zones de production des versants
- *un suivi pluviographique
- *un suivi saisonnier des fluctuations sédimentaires en tête de bassin versant

(interface versant-talweg).

Les résultats actuels mettent en évidence des zones de stockage préférentielles des matériaux au sein du chenal. La plupart de ces matériaux proviennent de l'escarpement rocheux sommital. Puis, au rythme des saisons et de manière discontinue en fonction des précipitations, ils atteignent différentes **zones de stockage temporaires** du chenal. Ces zones clés peuvent être mises en évidence avec un indice géomorphologique principal : les ruptures de pentes. Il existe un emboîtement d'échelles spatio-temporelles avec des types de transport de sédiment identiques. Ainsi de grosses laves torrentielles pourront se déposer dans les zones de stockage temporaires les plus importantes caractérisées par de fortes ruptures de pentes

concaves dans le profil en long. En fonction des conditions hydrométéorologiques ces mêmes zones pourront être rechargées par plusieurs événements torrentiels de plus petite ampleur se relayant. Nous avons ainsi observé des micro-laves torrentielles dont les matériaux ont migrés de 50 à 100 mètres seulement vers l'aval ; dans ce cas, la rupture de pente à l'aval d'un seuil artificiel peut être suffisante pour l'arrêt des matériaux.

Avant de proposer des perspectives par rapport aux résultats obtenus, sont détaillés dans les pages suivantes six points : la méthode d'échantillonnage pour évaluer un état sédimentaire du chenal et les techniques de topographie et de photogrammétrie, l'évaluation des stocks de matériaux potentiellement mobilisables à différentes dates (1970-2000), la cartographie des zones de production sédimentaire du bassin versant, le suivi saisonnier du ravin du Manival en tête de bassin, l'indice géomorphologique qui caractérise les zones de stockages temporaires, et les types de transects qui pourraient servir d'indicateur pour le déclenchement des laves torrentielles.

1.Méthode d'échantillonnage pour évaluer un état sédimentaire du chenal

1.1.Principe général :

Le principe consiste à déterminer un niveau de référence sur tout le linéaire du torrent au delà duquel ce dernier ne peut plus éroder. Le volume recherché est alors compris entre la surface topographique du chenal et ce niveau de base.

La surface est mesurée par levés topographiques sur le terrain ou par photogrammétrie sur photographies aériennes. Dans les deux cas, un cheminement de stations est réalisé dans le chenal : deux stations consécutives délimitant un bief homogène (tronçon) auquel se rapporte un transect (profil en travers) mesuré au milieu de ce même tronçon. En multipliant la superficie de la section comprise entre le transect et le niveau de référence par la longueur du tronçon, on obtient un volume de matériaux par bief que l'on peut additionner.

1.2.Niveaux de référence :

Pour le profil en travers du niveau de base nous avons choisi une forme d'auge, prenant en considération la forme subverticale des berges observée sur le torrent d'étude et relatée dans la littérature (notamment après le passage d'une lave torrentielle), et aussi la profondeur du substratum sur une grande partie du torrent (Fig.1).

La première hypothèse pour le profil de référence donnera des estimations de volume minimum (sous-estimation), puisque celui-ci est défini par une droite reliant deux points durs successifs du profil en long, généralement des seuils artificiels. Théoriquement cette droite correspond à une pente de compensation, état d'équilibre dynamique, autour de laquelle la pente réellement observée fluctue. Le torrent pourra donc reprendre des matériaux au delà de cette pente. Par contre ce niveau de référence permet une comparaison aisée entre différents états (Fig.1).

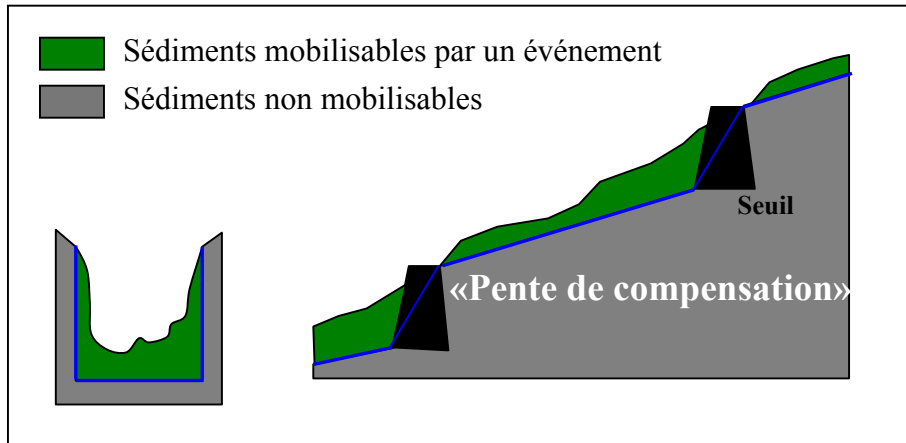


Fig.1 : Détermination du profil de référence.

La seconde hypothèse est un niveau de base au dessous duquel le torrent ne peut reprendre de matériaux. Cette seconde hypothèse devrait donner une estimation plus juste de la réalité et permettre une estimation absolue des volumes, mais elle est actuellement très difficile à valider étant donné la méconnaissance des processus torrentiels. Ce profil de référence bas peut-être matérialisé par deux droites bissectrices de l'angle formé l'un par la pente de compensation et l'horizontale et l'autre par la pente de compensation et la pente maximale d'érosion (observée à l'aval de la plage de dépôt où le transit des sédiments est stoppé) (Fig.2).

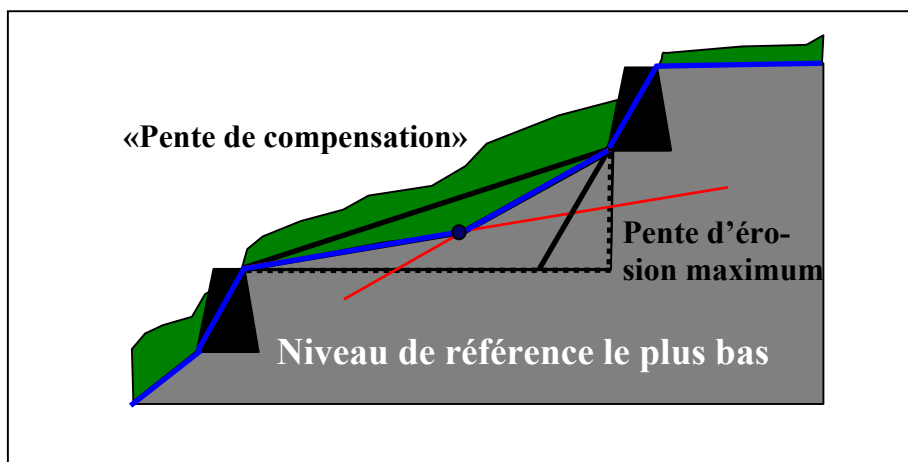


Fig.2 : Détermination du profil de référence le plus bas.

1.3.Echantillonnage (profil en long et transects) :

Des mesures détaillées de certaines parties du torrent, avec des transects tous les dix mètres constitués eux-mêmes d'environ vingt points, (LeMéhauté, 2000) nous ont permis de montrer qu'il existe une incertitude d'environ 2% pour des profils espacés de 35 mètres, et 15% pour des profils espacés de 70 mètres. Tenant compte également du matériel topographique utilisé nous avons proposé d'espacer les transects d'un maximum de 50 mètres, moins lorsque l'on rencontre des ruptures de pentes trop importantes (seuils par exemple).

De même pour les transects, nous avons limité le nombre de points de mesure à quatre : berge de rive droite, talweg, un point haut dans la partie centrale du chenal (40%), berge de rive gauche (Fig.3). Ces quatre points ne permettent pas de modéliser le profil en travers, mais d'obtenir une hauteur moyenne, ou plus exactement une bonne estimation de la surface de la

section comprise entre le niveau topographique et le niveau de référence. Pour les écarts de hauteur moyenne l'indice de confiance à 99% est inférieur à plus ou moins 10 centimètres. Le profil en long est constitué des points de talweg mesurés dans les transects, des points de stations entre les transects (dont les points amont des seuils), et des points en pieds de seuils (pour les ruptures de pentes).

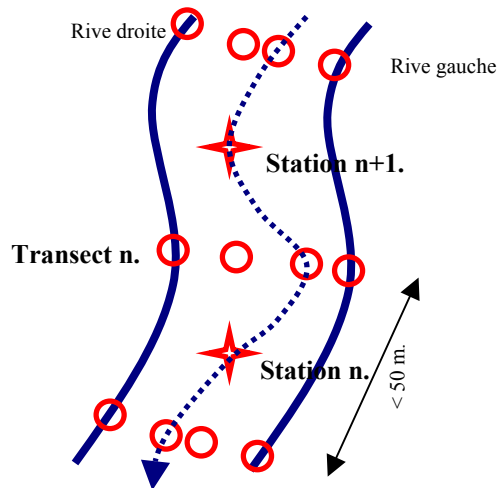


Fig.3 : Protocole d'échantillonnage de la surface topographique du chenal.

1.4.Méthodes (topographie et photogrammétrie) :

La topographie : Principes d'utilisation (télémètre laser et boussole électronique)

Nous avons utilisé un télémètre laser Impulse LR (*Laser Technology Inc.*) qui d'après la notice d'utilisation offre une précision de l'ordre du centimètre et permet une visée maximale de 500 mètres. Notons que cet appareil étant privé d'une lunette grossissante, les visées à longue distance sont forcément plus imprécises que les visées courtes. A grande distance, il est en effet plus difficile de viser rigoureusement le point souhaité. Par conséquent, même si ce système permet théoriquement de se passer d'un prisme réflecteur ou d'une mire, comme c'est le cas pour les tachéomètres et les niveaux classiques, nous avons utilisé une cible d'une hauteur fixe, de forme carrée rayée en son centre d'une croix bien visible de loin ; ce système assure également un meilleur contrôle de la répartition des points de mesures et de réduire les problèmes d'échantillonnage liés à la perspective. Ainsi une personne posait le pied de la cible à l'endroit choisi tandis qu'une autre enregistrait la mesure (Fig.4). La boussole associée au télémètre est une boussole électronique Map Star System (*Laser Technology Inc.*) dont la précision annoncée par le fabricant est de $\pm 0,3$ degrés.

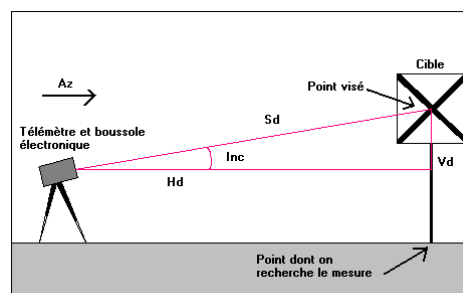


Fig.4 : Principe d'utilisation du télémètre et de la boussole électronique (LeMéhauté, 2000).

La Photogrammétrie

Une photographie ne donnant qu'une image plane d'un objet en trois dimensions, c'est l'utilisation d'au moins deux photographies réalisées à partir de points différents qui permet de restituer l'objet en trois dimensions selon le principe de la stéréoscopie, basé sur l'aptitude du cerveau ou des calculateurs à pouvoir recréer une image en relief. La stéréoscopie est une technique privilégiée pour la photo-interprétation en vue d'études morphologiques.

La phase de stéréopréparation, nécessaire au calage des mesures à un référentiel (Lambert III), a été effectuée sur le terrain à l'aide d'un GPS différentiel.

La technique de photogrammétrie présente des avantages liés aux photographies : elles donnent de l'objet une représentation complète et objective sans possibilité d'omission humaine, le support photographique est assez maniable et d'une grande fiabilité dans le temps, enfin la mise en œuvre de cette technique est relativement légère et son coût est modéré. Le restituteur numérique, Anaglyph Poivillier E., que nous avons employé a été développé par Mr Egels de l'Institut Géographique National, et fonctionne sur des PC de type Pentium I. L'inconvénient majeur de cette technique est lié aux capacités très variables des opérateurs allant de l'incapacité à voir en relief à une précision constante à quelques microns pour un photogrammètre confirmé.

2.Evaluation des stocks de matériaux potentiellement mobilisables à différentes périodes

Le tableau ci-dessous (Tableau 1) fait la synthèse des résultats actuels sur la quantification des volumes de sédiments du chenal du Manival à partir de données topographiques de terrain et photogrammétriques sur photographies aériennes (Fig.5 et 6). PRH représente la première hypothèse de profil de référence, et PRB le profil de référence le plus bas. L'amplitude maximum correspond à la différence en tout point entre le plus fort et le plus faible remplissage observé, autrement dit c'est le volume d'un curage total alors que le chenal était au préalable complètement chargé. Les amplitudes ont été spatialisées (Fig.7).

Nous pensons que les matériaux situés au niveau du bassin de réception ont une importance particulière, car ils semblent plus facilement mobilisables. Il est possible qu'à l'aval, les zones de forte amplitude soit essentiellement des zones de dépôt pour les plus grosses laves, comme c'est le cas pour la lave d'environ 60 000 m³ survenue avant 1970.

Dynamique de la fourniture des matériaux au torrent du Manival (Isère)

année	PRH		PRB		Transects convexes (PRB)	
	volume par date	volume bassin de réception (amont de B30)	volume par date	volume bassin de réception (amont de B30)	volume par date	volume bassin de réception (amont de B30)
1970	40 632	31 728	327 810	41 034	234 418	7 247
1984	44 199	17 401	462 929	21 622	121 751	2 170
1987	-3 911	44 234	340 677	63 801	57 503	2 997
1989	18 612	34 981	336 081	44 234	61 787	6 674
1993	4 389	21 622	340 382	29 401	50 353	6 772
1996	51 592	33 001	433 378	25 028	35 737	6 909
2000	48 931	36 670	320 735	52 857	14 027	14 027
différence	55 503	26 834	142 194	42 180	220 391	11 857
amplitude max	409 318	89 181	811 353	127 174		

Tableau 1 : Estimations de volumes de sédiments potentiellement mobilisable dans le chenal.

PRH : Profil de référence (hypothèse 1)

PRB : Profil de référence le plus bas (hypothèse 2)

Transects convexes (PRB) : Volumes des tronçons ayant un profil en travers chargé (convexe) en référence à PRB

Différence : Variation du volume entre l'année la plus chargée et la moins chargée

Amplitude max : variation en tout point entre le plus fort et le plus faible remplissage observé

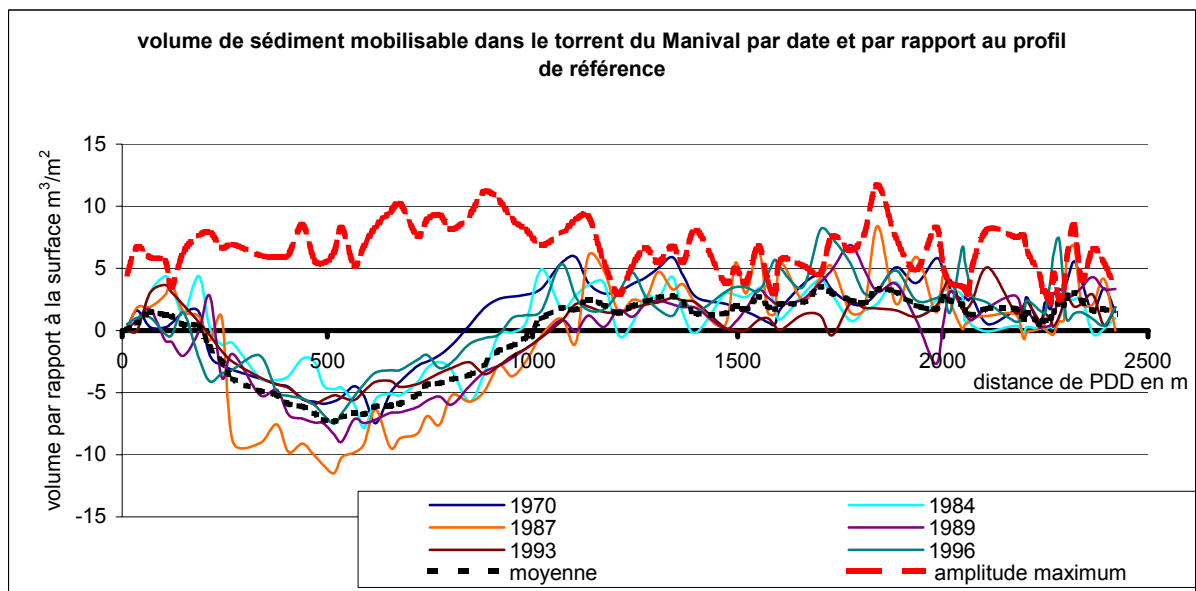


Fig.5 : Hauteur moyenne des sédiments potentiellement mobilisables en fonction du profil de référence (Bouvet, 2000).

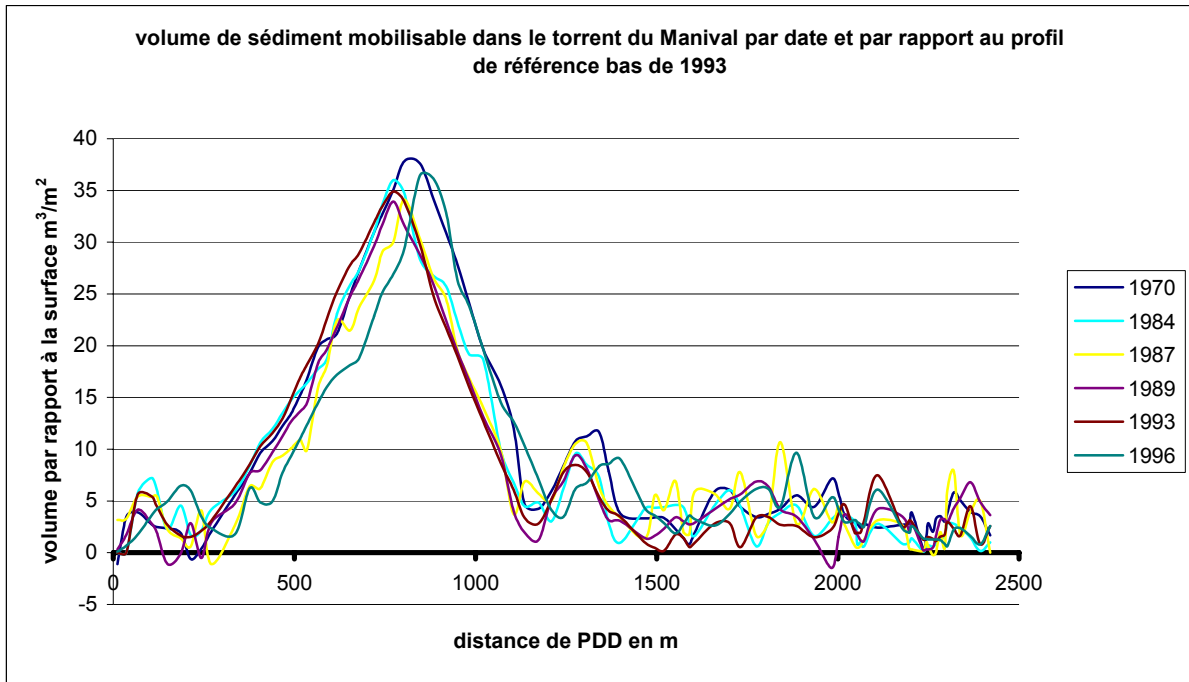


Fig.6 : Hauteur moyenne des sédiments potentiellement mobilisables en fonction du profil de référence le plus bas (Bouvet, 2000).

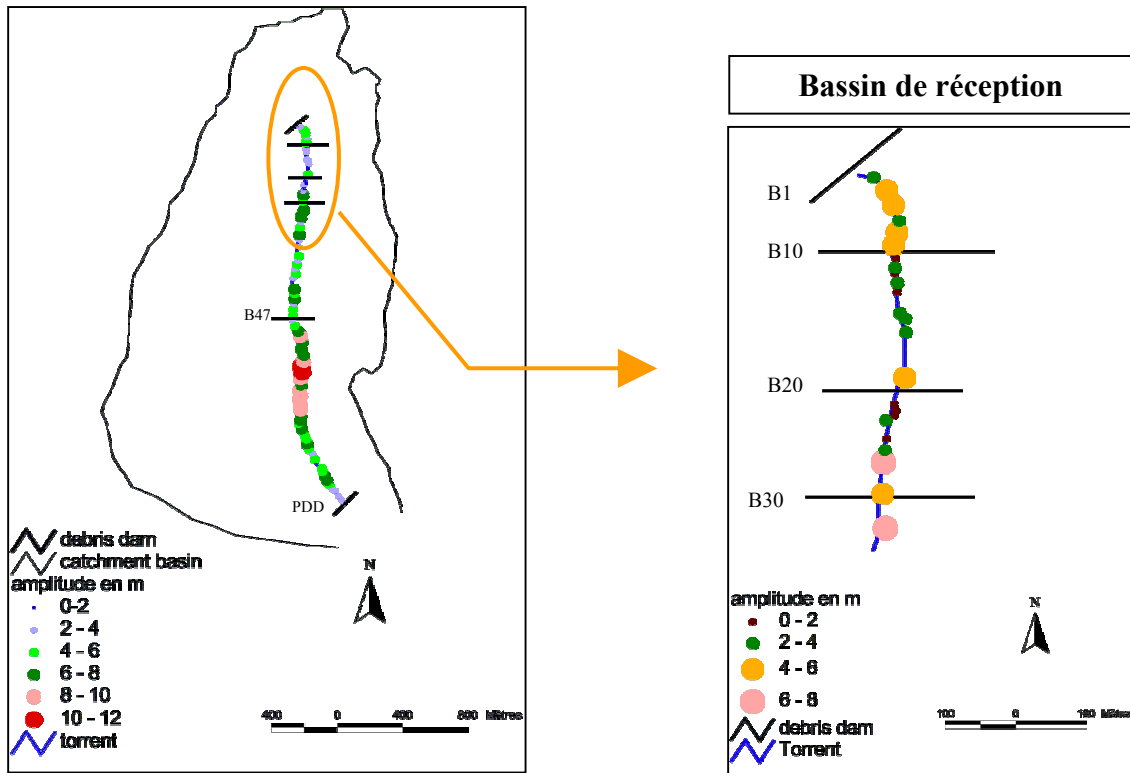


Fig.7 : Spatialisation des amplitudes de matériaux stockés dans le chenal (observations sur 7 dates de 1970 à 2000).

3. Cartographie des apports sédimentaires du bassin versant

Nous avons voulu proposer une cartographie (Fig.8) des apports sédimentaires des versants assez simple à mettre en œuvre et qui intègre à la fois les notions de lithologie, couverture végétale, et processus géomorphologique. C'est ainsi que nous présentons une dizaine de classes (Tableau 2).

Ultérieurement cette carte pourra évoluer : en proposant un taux de production sédimentaire par classe et/ou un rapport de production entre les classes, un degré de connexion des différentes zones au chenal, une représentation anamorphosée tenant compte de la surface réelle des zones de production (particulièrement représentatif pour les barres rocheuses).

4. Suivi saisonnier des fluctuations sédimentaires du ravin du Manival

Actuellement le poster présenté ci-dessous synthétise bien les résultats des mesures obtenues durant les années 1999 et 2000 (Fig.9).

Le site de mesure qui nous intéresse est situé dans le talweg du ravin du Manival, dans sa partie la plus haute à environ 1250 mètres d'altitude, au pied même de l'escarpement rocheux formé par le Bec Charvet. Avec une pente d'environ 32° (62,5%), il se situe en tête de bassin versant, à l'interface entre versant et chenal. A cet endroit, les eaux sont collectées sur une surface projetée d'environ 75 000 m², ce qui représente, avec des pentes allant de 45 à 55° (120%), une surface réelle d'environ 130 000 m². La zone de mesure a une superficie inférieure à 1000 m². Nous avons choisi cette zone en fonction de la forte dynamique apparente des processus de recharge sédimentaire.

La méthode choisie pour suivre l'évolution du site est la mesure topographique de la surface. Cette mesure est prise à partir d'un point d'observation, éloigné de plus de cinquante mètres, sur une proéminence au centre du bassin de réception. Nous évitons ainsi les perturbations sur le site de mesure et les risques potentiels. Les appareils de mesures, télémètre laser (Impulse) couplé à une boussole électronique (MapStar), sont placés sur un pied calé par des fers à bétons fixes au sol. Des croix tracées à la peinture sur l'escarpement rocheux de part et d'autre du chenal, permettent également de caler les mesures. Les points mesurés sont répartis sur des « pseudo transects » qui suivent cinq inclinaisons en fonction des repères (croix). Les coordonnées relatives (x, y, z) de chaque point sont retrouvées par calculs trigonométriques, puis avec le logiciel Surfer, une interpolation par la méthode de krigeage nous permet de constituer un modèle numérique de terrain (MNT) de la zone. En comparant les MNT ainsi constitués à différentes dates, nous obtenons les variations du stock sédimentaire de la zone étudiée représentées sous forme de carte. Le logiciel Surfer permet également d'obtenir facilement une vue 3D, ou encore des profils en travers. Les MNT sont systématiquement validés à l'aide de photographies du site prises à chaque série de mesure.

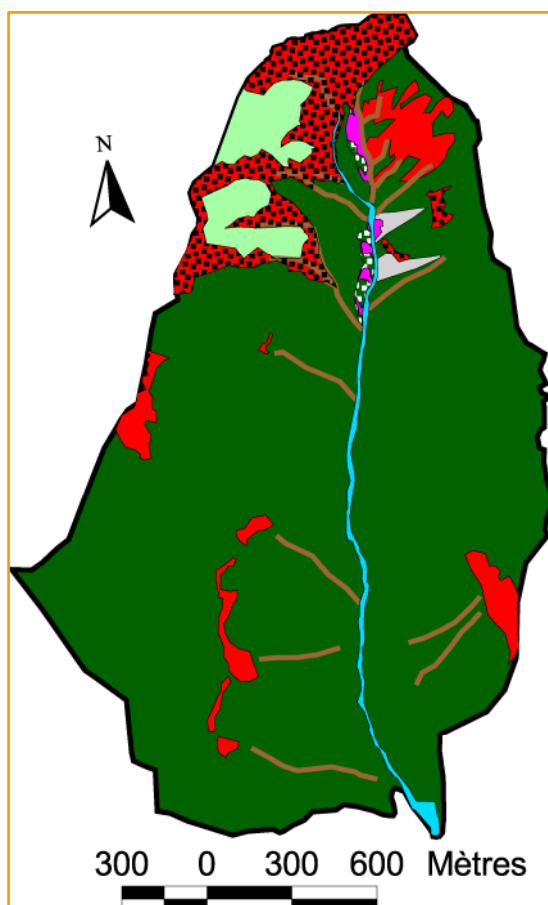


Fig.8 : Cartographie des apports sédimentaires du bassin versant du Manival.

Couvert végétal	Description	Légende	N°
Plus de 80 %	Surface	[Carré vert foncé]	1
80 à 30 %	Surface	[Carré vert moyen]	2
	Ravin, Ravine	[Carré orange]	3
	Eboulis	[Carré gris]	4
Moins de 30 %	Surface	[Carré vert clair]	5
	Ravin, Ravine	[Carré brun]	6
	Eboulis	[Carré gris]	7
Sol nu	Roche saine et cohésive	[Carré orange]	8
	Roche fracturée et plissée	[Carré rouge]	9
	Roche altérée ou matériaux meubles	[Carré magenta]	10
> 80 % - Risque potentiel	Glissement de terrain	Carrés jaunes surimprimés	11
80-30 % - Risque potentiel	Idem 10	Carrés blancs surimprimés	12
Sol nu - Risque potentiel	Ecoulement	Carrés noirs surimprimés	13

Tableau 2 : Légende et description de la cartographie des apports sédimentaires de versant.

Nous avons également marqué certains blocs (1 à 6 m³) pour mesurer et/ou observer leurs éventuels déplacements, et placé un pluviographe près du site d'observation pour avoir une idée des conditions climatiques saisonnières lors des mesures.

Il est encore difficile de quantifier de manière précise les volumes de matériaux et leur évolution, car nous sommes confrontés à la complexité et aux aléas du milieu naturel, toutefois les mesures permettent tout de même à l'heure actuelle de proposer un fonctionnement au rythme saisonnier du sous-système « ravin », situé en tête de bassin versant à l'interface entre versant et chenal :

- Des phases de recharge dominantes lors des cycles de gel-dégel au printemps et lors de précipitations importantes d'intensités modérées qui peuvent se produire à l'automne
- Des phases de « curage » du talweg dominantes lors de la fonte de la neige (névé) à la fin du printemps ou en été et lors des précipitations orageuses de fortes intensités souvent très localisées et plus fréquentes en été.

Nous avons constaté que ces deux types de phases alternent assez fréquemment offrant à la zone d'étude une faible capacité de stockage (curages fréquents), dont la forte pente constitue certainement l'élément le plus déterminant.

La poursuite des mesures au cours des saisons prochaines (avec un hiver 2000-2001 peu enneigé à moyenne altitude) nous permettra de compléter nos observations afin de mieux comprendre le rôle saisonnier des processus de recharge sédimentaire des ravins, et de là même une part du fonctionnement du bassin versant. Les emboîtements d'échelles de temps et d'espace, couramment utilisés dans les approches systémiques, sont nécessaires tant pour la compréhension du fonctionnement du ravin que pour celle du système bassin versant auquel il appartient. Par exemple, les zones de dépôts observées et/ou mesurées dans la partie aval du talweg informent sur les volumes de matériaux transités à l'amont en tête de bassin, et inversement ces rythmes de dépôts et reprises des matériaux influencent l'ensemble du bassin versant. Ainsi nous pourrions intégrer les résultats de cette expérimentation dans le cadre plus large de compréhension et de prédiction du fonctionnement torrentiel au niveau du bassin versant, afin à terme, de mieux prévenir les risques torrentiels.

Concernant les apports de versant, la correction torrentielle joue un rôle important de stabilisation du profil en long et des berges ce qui fait que seuls les processus contrôlés par les versants sont actifs : un apport régulier de l'escarpement sommital, des apports brusques et ponctuels comme l'effondrement de versant dans le ravin de la Roche au début des années quatre vingt dix ou l'éboulement en rive gauche en amont du barrage RTM n°22 avant 1984.

Rythmes saisonniers de processus de recharge sédimentaire: Mesures expérimentales dans la Gorge du torrent du Manival (Isère)

Stéphane VEYRAT-CHARVILLON, docteur en Géomorphologie au laboratoire de géographie physique UBP Clermont-Ferrand
Équipe d'accueil : Unité de Recherche Érosion Torrentielle Neige et Avalanches - Cemagref de Grenoble

Objectif global : Prédire les volumes de laves torrentielles

Les laves torrentielles : un risque (aléa + vulnérabilité)

Urbanisation

Voies de communication

Tissus socio-économique

ou pire ...

Hypothèse conceptuelle de stabilité du système torrentiel

Degré d'instabilité

Précipitations

Seuil d'instabilité

Charge sédimentaire disponible pour le transport

Caractéristiques physiques du bassin versant

Temps

Clé de lecture simplifiée pour l'adapter à différents échantillons à l'échelle de temps : 4 après Schumm, 1973 et Stewart, 1976, modif.

Rôle prédominant de la charge sédimentaire (malgré le rôle non négligeable des précipitations ou de la lithologie)

Dans ce cadre plus général, l'expérimentation suivante permet d'appréhender l'évolution saisonnière de la charge sédimentaire du talweg

Site expérimental

Méthode de mesure

Le torrent du Manival

A 15 km en amont de Grenoble (Isère - 38), le bassin versant du Manival entaille un anticlinal jurassien constitué essentiellement de calcaires et de marne-calcaires, sur les contreforts du massif de la Grande-Chartreuse.

Le site expérimental

Il est situé en tête de bassin versant, à l'interface entre le talweg et l'escarpement sommital, à une altitude d'environ 1250 m.

Le télémètre laser

et sa boussole permettent, par calcul trigonométrique, d'obtenir les coordonnées x, y, z de points mesurés suivant des "lignes" de visées gardant la même inclinaison (en fonction des repères sur l'escarpement rocheux).

Le matériel est léger. De plus, il ne nécessite pas l'emploi d'une mire, et évite donc de perturber le site ou de prendre trop de risques (chutes de pierre, ...)

○ Crœux peints sur l'escarpement rocheux

○ Gros blocs marqués à la peinture

Traitement des données

Résultats des saisons 1999 et 2000

Constitution d'un MNT par interpolation (logiciel Surfer)

Représentations 3D

Profils (transsects)

Différences de deux MNT

● Point de mesure

■ Sélection de la zone par un "cache"

— Profil

● Juillet 1999

● Octobre 1999

● Evolution 1999

Mouvements de gros blocs en présence de neige sur le site

○ - Fonte de la neige accumulée sur le site (névé) entraînant les matériaux déposés au printemps

○ - Pas de variation de volume (inférieur à 1 cm³/m²)

○ - Peu de variation durant un mois très sec

○ - Variations lors de fortes pluies estivales (dont des orages)

○ - Recharge pendant des mois de précipitations importantes (env. 250 mm en octobre) mais de faible intensité

Récharge du talweg par l'escarpement rocheux pendant:

- Les cycles de dégel humides
- Les précipitations importantes (corrélativement à la lithologie du site par France)

L'évacuation des matériaux du talweg semble favorisée par:

- La présence de neige
- Les fortes intensités de pluies

Précipitations (mm)

Précip. Cumulées par mois (gris X 4)

Précipitations par jour (gris X 1)

Volumes (m³)

● Pertes de données (défaut appareil)

▲ Arrêt des mesures (hiver)

Fig.9 : Poster présenté aux Journées des Jeunes Géomorphologues.

5. Indice géomorphologique caractérisant les zones de stockage temporaire

L'étude du profil en long à différentes dates montre une certaine stabilité certainement due en grande partie aux nombreux seuils le long du chenal. Le profil en long, puisqu'il représente la pente, est généralement un indicateur privilégié, toutefois son analyse semble dans ce cas délicate (Fig.10). De plus, suivant nos observations et la littérature spécialisée, plus que la pente elle-même, se sont les ruptures de pente qui influencent le plus l'arrêt des matériaux. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés aux résidus entre le profil en long et la droite reliant les extrémités du profil (point le plus haut et le plus bas), ce qui met en évidence les ruptures de pente (Fig.11). En effet les ruptures de pentes concaves dans le profil en long correspondent aux zones où les amplitudes observées sont les plus importantes (comparaison des fig.7 et 10).

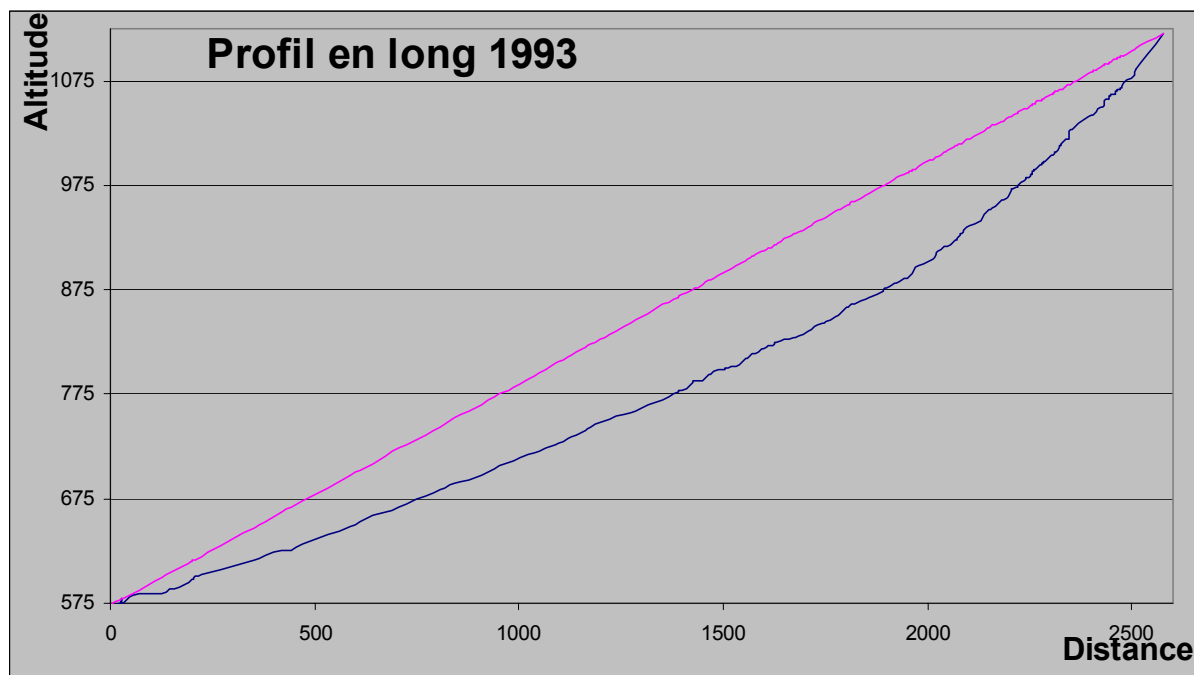


Fig.10 : Profil en long du torrent du Manival en 1993.

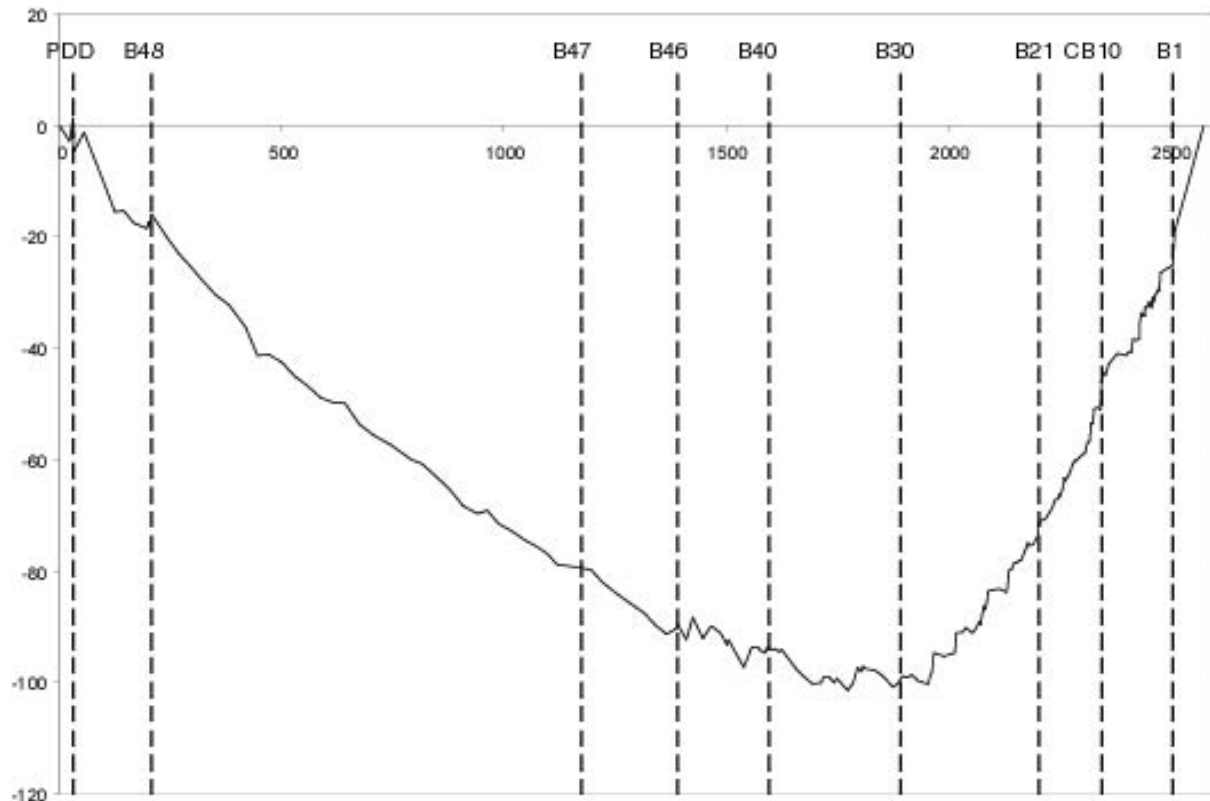


Fig.11 : Résidus du profil en long du torrent du Manival en 1993.

6. Différents types de transects

Au niveau du profil en travers, nous avons observé deux types bien caractéristiques, les autres formes étant des états intermédiaires : un profil convexe indiquant une charge sédimentaire du chenal et un profil concave provenant d'une érosion du chenal par le torrent (Fig.12). Le calcul des volumes de matériaux dans les tronçons représentés par des profils en travers convexes peut être un bon indicateur du déclenchement probable de laves torrentielles, car il représente le potentiel sédimentaire des zones fortement chargées. Ainsi, en 2000, nous obtenons 15000 m³ de matériaux dans une zone de stockage temporaire dans le bassin de réception.

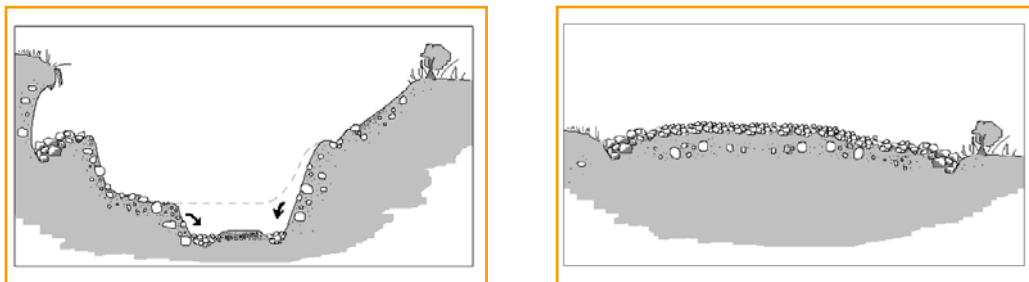


Fig.12 : Profil en travers « érodé » et profil en travers « chargé »

7.Perspectives

Au stade actuel de nos travaux, le point faible de la méthode est le profil de référence le plus bas, puisque nous ne savons pas exactement jusqu'à quel niveau un événement torrentiel est capable de reprendre des matériaux dans le chenal. L'hypothèse actuelle semble largement surestimer les volumes, et c'est particulièrement flagrant dans les zones où les points durs du profil en long sont espacés. Dans ces zones, la surestimation peut certainement atteindre 300%. Pour améliorer l'estimation avec cette hypothèse dont le fondement théorique nous semble pertinent, nous pensons utiliser les niveaux les plus bas en tout point du chenal observables sur les photographies aériennes. Nous essayerons ensuite de modéliser à nouveau le profil de référence le plus bas avec ces données, en modifiant l'angle des deux droites. Cet angle est directement corrélé au débit solide dans le torrent.

Un essai de la méthode sur deux autres torrents du même type a débuté au travers des travaux de DESS de Franck Serouge. Il s'agit des torrents du Merdaret sur la commune de Chantelouve et des Arches à Chichilianne, tout deux en Isère. Ce travail reste à affiner, en tenant compte d'améliorations de la méthode.