

Erodabilité des terres en montagne : exemple du Haut-Vallespir

Sylvie BROCHOT

CEMAGREF, Division Protection contre les érosions,
2, rue de la Papeterie, BP 76 St-MARTIN-d'HERES Cedex
Tél. : 76 76 27 27 - Télex : 980 679 F

MOTS CLES : érosion torrentielle - crues torrentielles - Pyrénées-Orientales -
méthodologie - sensibilité à l'érosion.

RESUME

Afin d'étudier des mesures de prévention ou des actions de protection, il a été nécessaire de définir les crues torrentielles susceptibles de se produire dans le HAUT-VALLESPIR (PYRENEES-ORIENTALES, FRANCE). Cet article présente la méthodologie utilisée.

Les cours d'eau concernés se caractérisent par un fort transport solide ; la définition des crues torrentielles a donc impliqué le recours non seulement à l'hydrologie, mais également à l'érosion torrentielle (au sens détermination des apports solides), et à l'hydraulique torrentielle. L'état d'avancement de ces disciplines a nécessité la validation préalable des outils proposés.

Dans une première partie, préparatoire et qualitative, on a déterminé la sensibilité des bassins versants à l'érosion torrentielle ; la définition des crues torrentielles, quantitative, en a été facilitée. La compréhension du fonctionnement des bassins versants (308 km²), prélude à l'approche qualitative, a permis d'identifier les processus érosifs pertinents et de sélectionner les facteurs cohérents. La confrontation processus/facteurs a débouché sur l'établissement d'une typologie des versants et des torrents. L'application de cette typologie s'est alors traduite en une carte d'unités homogènes. On a ensuite hiérarchisé les unités par processus, réalisant ainsi les cartes de sensibilité aux différents processus (érosion de surface, ravinement, arrachement linéaire, mouvement de masse, affouillement de berges, incision du lit).

L'estimation, dans une deuxième partie, des quantités de matériaux mises à disposition par les processus de versant a été fondée sur l'étude de références existantes et l'analyse géométrique des formes issues du fonctionnement des processus ; la capacité de transport des torrents a été appréciée à partir des différentes formulations ou pratiques d'hydraulique torrentielle ; dans les deux cas, une validation a été effectuée au travers d'épisodes reconstitués sur lesquels on disposait de données ; l'existence d'un évènement exceptionnel en 1940 a été un atout considérable dans la progression de cette démarche : le fonctionnement des processus y a été exacerbé si bien que les résultats en sont encore lisibles sur le terrain ; s'agissant d'un évènement contemporain, on dispose de témoignages.

L'application des outils ainsi critiqués et validés a permis de définir, quantitativement bien qu'en ordre de grandeur, les crues torrentielles de différents temps de retour.

SUMMARY

In order to devise prevention arrangements or protection actions, one needed to define torrential floods occurring into the HAUT-VALLESPİR (PYRENEES-ORIENTALES, FRANCE). This paper presents the used methodology.

Concerned torrents are characterized by a strong solid transport ; so, defining torrential floods implied to resort, in addition to hydrology, to torrential erosion (in the meaning of determination of solid supplies), to torrential hydraulics. The state of art of those topics necessitated a preliminary validation of the proposed tools.

In a first and qualitative part was determined watersheds susceptibility to torrential erosion ; so, the later quantification of torrential floods was easier. Understanding watersheds working (308 km²), a prelude to quantification, allowed to identify relevant erosive processes and to select coherent factors. Confrontation processes/factors led up upon setting slope and torrents typology. The application of this typology resulted in a map of homogeneous units. Then, units were hierarchized by process, and the result was susceptibility maps to the different processes (sheet erosion, gully erosion, linear landslide, mass movement, bank erosion, bed scouring).

The assesment, in a second part, of the quantities of materials brought by slope processes was based on the study of existing references and on geometric analysis of the shapes issued from processes working ; the solid discharge of torrents was estimated

from both different formulations or practices in torrential hydraulics ; in any case, a validation was carried out through reconstructed events on which data where available ; the existence of an exceptional event on 1940 was an important asset for the progress of this approach : the processes working was so exacerbated than their results are still legibles on the landscape ; as it consisted in a contemporary event, accounts were available.

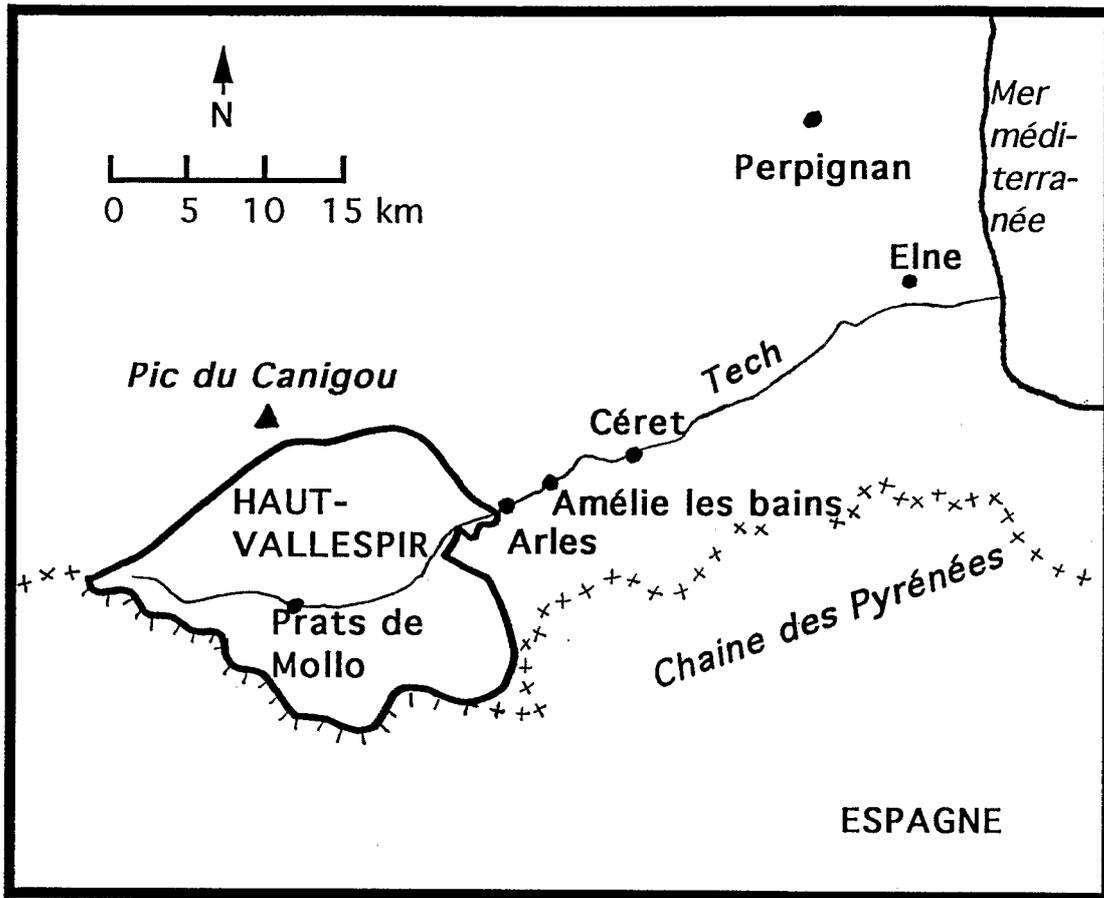
The implementation ot the results of this quantification so reviewed and validate allowed, although it was a rough estimate, to assess torrential floods of different frequencies.

INTRODUCTION

En octobre 1940, un abat d'eau extraordinaire (plus de 1000 mm en 24 heures), ravagea le HAUT-VALLESPIR (figure 1), petite région des PYRENEES-ORIENTALES (FRANCE) constituée par le haut bassin versant du TECH (308 km²) et englobant le versant sud du massif du CANIGOU (2784 m). L'Etat y possède des périmètres importants acquis au titre de la Restauration des terrains en montagne (RTM) consécutivement à cette catastrophe; il s'est engagé à les gérer en vue d'assurer à l'aval une protection optimale des biens et des activités humaines. Dans ce but, il a réalisé des travaux importants de reboisement et de correction torrentielle. Compte-tenu de ces mesures et de l'évolution de la situation socio-économique du HAUT-VALLESPIR, les risques actuels de crues torrentielles devaient être évalués afin de mettre en oeuvre des mesures de prévention et de proposer des actions de protection notamment dans les bassins où l'Etat est propriétaire. Dans le cadre de ce travail, la définition des crues torrentielles constituait une étape fondamentale et la méthodologie utilisée fait l'objet de cet exposé.

Le qualificatif de torrentiel est justifié par la pente des cours d'eau étudiés, toujours supérieure à 3 %, et pouvant dépasser largement les 25 % en partie haute. Il était donc indispensable de se préoccuper du transport solide. La définition des crues torrentielles a donc impliqué de recourir, non seulement à l'hydrologie, mais également à l'érosion torrentielle et à l'hydraulique torrentielle ; érosion torrentielle signifie ici la discipline permettant la définition des quantités de matériaux mis à disposition directe ou indirecte du torrent, au travers des processus érosifs, et qui seront susceptibles d'être mobilisés par lui immédiatement ou de façon différée. L'hydraulique torrentielle étudie

Fig.1: Le Haut-Vallespir: situation générale
Fig.1: The Haut-Vallespir: situation map



la combinaison des débits liquides et solides et leur propagation dans le réseau hydrographique sous forme d'écoulement chargé, hyperconcentré, ou de lave torrentielle. L'état d'avancement de ces disciplines a nécessité une validation préalable des outils disponibles ou élaborés pour le cas particulier du HAUT-VALLESPIR.

La première partie du travail a consisté en une approche qualitative dont la conclusion se présente sous la forme de cartes de sensibilité à l'érosion torrentielle.

L'estimation, dans une deuxième partie, des quantités de matériaux mis à disposition par les processus de versant et des capacités maximales de transport des torrents a été fondée sur des procédés variés ; une validation en a été effectuée à partir de l'évènement de 1940.

1 - DETERMINATION DE LA SENSIBILITE DES BASSINS VERSANTS A L'EROSION TORRENTIELLE (APPROCHE QUALITATIVE)

La figure 2 décrit les différentes étapes constituant cette partie.

1.1 - La première étape a été la compréhension du fonctionnement des bassins versants. Elle a été acquise au travers de l'observation du terrain et de photos aériennes. La lecture de la bibliographie régionale, la consultation d'archives ont permis de compléter les connaissances. L'ensemble des processus érosifs sévissant sur la zone ont été identifiés et leurs modalités d'action ont été analysées. Corollairement, l'inventaire et l'étude de tous les facteurs susceptibles de contribuer au fonctionnement des processus érosifs ont été effectués ; l'existence de formations superficielles héritées d'une époque ancienne sur certains versants a nécessité de se replacer à l'époque de l'élaboration de ces formations. Il a ensuite été nécessaire d'opérer une double sélection au sein de cette représentation exhaustive des bassins versants :

- celle des processus pertinents dans la perspective d'une quantification ultérieure (on a écarté ceux qui ne produisent qu'une quantité non significative de matériaux ou dont la production est reprise par un autre processus) ; il s'agissait dans notre cas de l'érosion aréolaire, du ravinement, des arrachements linéaires⁽¹⁾, des mouvements de masse (processus affectant les versants), des affouillements de berge et de l'affouillement longitudinal du lit (processus affectant les lits des torrents).

- celle des facteurs cohérents avec l'échelle de temps et d'espace des crues des bassins versants.

1.2 - La seconde étape a été la mise au point d'une typologie des versants ou des torrents : la taille importante du périmètre d'étude imposait de regrouper les versants et les torrents en classes ayant des différences significatives au niveau des caractéristiques et du comportement érosif.

(1) arrachements linéaires : glissements très étroits (quelques mètres), peu profonds (quelques mètres) et instantanés, laissant une longue estafilade caractéristique (plusieurs dizaines de mètres) sur les versants, appelée chalade.

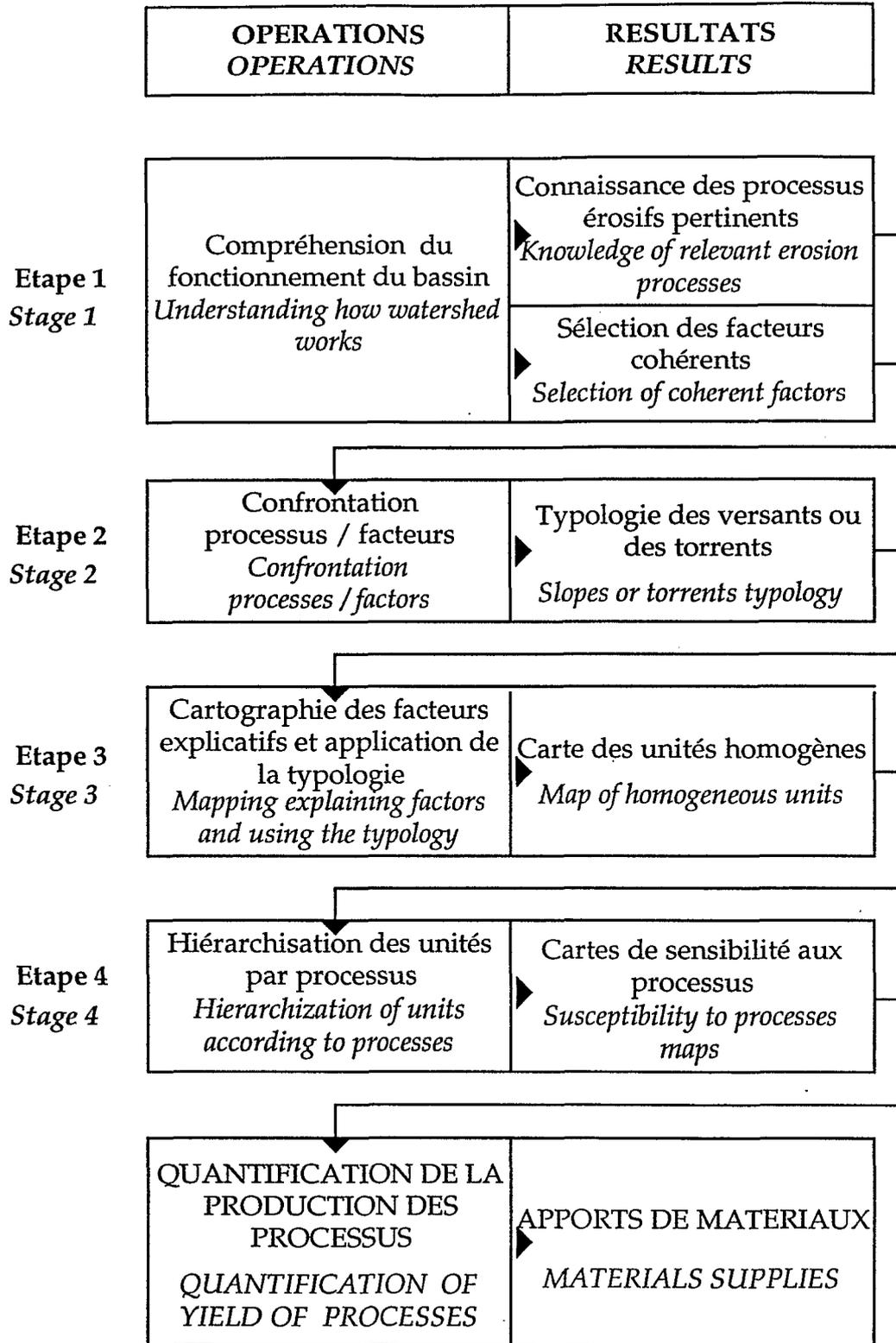


Fig.2: Méthodologie pour la caractérisation de l'érosion torrentielle dans les bassins versants

Fig.2: Methodology for characterization of torrential erosion in watersheds

Cette typologie a été établie pour les versants en confrontant empiriquement la localisation des processus, mise en évidence sur une carte des faciès érosifs⁽²⁾, et la répartition spatiale des facteurs sur un échantillonnage de versants. Les facteurs explicatifs suivants ont pu être retenus :

- lithologie ;
- altitude ;
- pente ;
- exposition ;
- existence d'une route aggravant l'érosion.

Le rôle de certains facteurs s'explique par la présence des formations superficielles héritées (altitude, exposition).

Il est important de souligner que les facteurs obtenus ne servent ni systématiquement, ni avec les mêmes seuils de valeurs sur l'ensemble du périmètre d'étude. Un traitement statistique des données concernant les processus et les facteurs n'aurait donc probablement pas été aussi performant.

En ce qui concerne les torrents, la typologie, très rudimentaire, a été basée sur la structure du lit par croisement de critères parmi les suivants :

- lit totalement rocheux (gorges) ;
- présence de seuils rocheux ou (et) de seuils RTM ;
- lit pavé avec les plus gros blocs de diamètre supérieur à 1 m ;
- lit pavé avec les plus gros blocs de diamètre inférieur à 1 m ;
- lit non pavé.

1.3 - L'application de la typologie, après cartographie en tant que de besoin des facteurs explicatifs, a conduit tout naturellement à la carte des unités homogènes de versants (au 1/25 000^{ème}). Pour les torrents, les différentes classes de structure du lit ont été indiquées sur des cartes schématiques au 1/25 000^{ème}, et la quantification a été effectuée directement à partir de celles-ci.

1.4 - Au cours de la quatrième étape, nous avons préparé la quantification de l'érosion par les processus de versant en hiérarchisant les unités homogènes en fonction de leur

(2) ensembles des caractéristiques des formes résultant des processus de l'érosion torrentielle.

productivité par rapport à la surface pour chaque processus les concernant : il n'a pas paru opportun de mêler des processus de nature et de périodicité de fonctionnement variables. Deux méthodes ont été utilisées selon les processus :

- soit une cotation d'expert basée sur le faciès érosif de l'unité (cas de l'érosion aréolaire) ;
- soit une mesure de la densité des formes caractéristiques issues des processus telles qu'elles figurent sur la carte des faciès (cas du ravinement, des chalades).

Ce travail a pu être visualisé sous forme de quatre cartes de sensibilité (une par processus, cinq classes de sensibilité au maximum par processus).

2 - QUANTIFICATION DE LA PRODUCTION DES PROCESSUS EROSIFS

2.1 - Estimation des quantités de matériaux mis à disposition par les processus érosifs de versant

Cette phase a consisté à prédéterminer une production de matériaux par processus selon les classes de sensibilité définies dans la caractérisation qualitative. Cette production était aussi fonction du temps de retour de la crue : les matériaux s'accumulent en attendant leur enlèvement total ou partiel à la faveur d'une crue. Face à cette complexité, deux voies ont été explorées :

- l'étude de références existantes : bien qu'issues de bassins versants soumis à des conditions différentes, elles ont permis d'imaginer un premier jeu d'hypothèses pour le ravinement et l'érosion aréolaire ;
- la géométrie des formes caractéristiques issues de certains processus érosifs a permis d'évaluer les volumes de matériaux libérés (cas des chalades et du ravinement) et d'y affecter un temps de retour, ayant bénéficié d'observations de géomorphologues sur la fréquence de ces processus.

La contribution des mouvements de masse a été appréciée dans chaque cas particulier, compte tenu des incidences hydrauliques possibles (barrage du lit des torrents, puis rupture brutale).

2.2 - Estimation de la capacité maximale de transport

Après ce travail sur la quantité de matériaux mis à disposition des torrents par les versants, nous avons dû nous intéresser à leur capacité de transporter ces matériaux, voire d'en ajouter par l'intermédiaire des processus torrentiels ; le raisonnement a été basé sur le fonctionnement hydraulique des torrents et la connaissance de la capacité maximale de transport selon la nature des écoulements (laves, écoulements hyperconcentrés, autres écoulements chargés). Cette capacité maximale devait en outre être appréciée selon deux aspects :

- la capacité instantanée à la pointe de la crue qui permettait d'apprécier l'aptitude des ouvrages à faire transiter les crues sans débordement (rapport qs/ql du débit solide au débit liquide instantané) ;
- la capacité moyenne, nivelant l'ensemble des événements intervenus au cours de la crue qui était utilisée pour l'estimation des dépôts et le dimensionnement des pièges à matériaux (rapport Vs/Vl du volume solide au volume liquide d'une crue).

L'éventualité de laves torrentielles a été appréciée selon la pente et la présence de dépôts caractéristiques.

On a rassemblé les théories et les pratiques pour l'estimation des capacités de transports solides et on en a déduit le jeu d'outils suivant :

$qs/ql = 6,3 i^2$ lorsque l'écoulement était ordinairement chargé et la pente $> 3 \%$; formulation valable pour le débit maximum instantané et en volume ; (MEUNIER, 1989) ;

$qs/ql = 2,5 i^{1.6}$ idem, mais pente $< 3 \%$ (SMART et JAEGGI, 1983) ;

$qs/ql = 2$ à 4 pour les laves torrentielles lorsque le débit était maximal (MEUNIER, 1991).

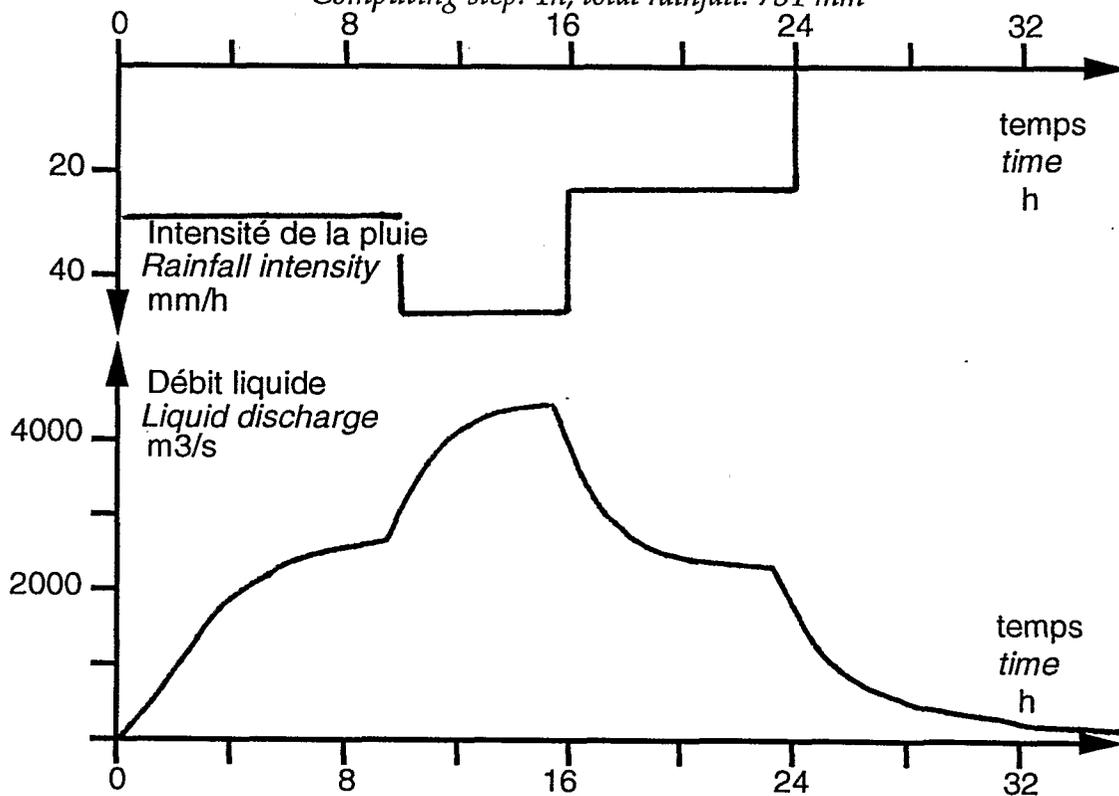
Nous devons prendre une valeur intermédiaire pour le rapport moyen débit solide/débit liquide des crues complexes alternant écoulements ordinaires (hyperconcentrés) et bouffées de laves torrentielles. La crue de 1940 nous a permis d'approcher cette valeur et de valider l'ensemble des propositions précédentes.

2.3 - Validation des hypothèses de quantification à partir de la crue d'octobre 1940

L'existence de l'épisode de 1940 a été un atout : il a exacerbé le fonctionnement des processus dont les résultats sont encore lisibles sur le terrain ; s'agissant d'un événement contemporain, on dispose de témoignages (photos, écrits). Nous avons rassemblé des données quantitatives : pluies, débits maximaux instantanés ; nous avons estimé, d'après photos aériennes et observations sur le terrain, les volumes de matériaux déposés dans les lits ; nous avons reconstitué la crue d'octobre 1940 dans son ensemble : pluies, débits et volumes, tant liquides que solides, à partir des propositions issues des paragraphes 2.1 et 2.2 (BROCHOT S., LEFRANC P., 1990). Nous disposons pour ce type de travail d'une aide particulièrement adaptée avec l'environnement informatique ETC (Erosion des torrents en crue) réalisé au sein de notre division (figure 3).

Fig.3: Reconstitution de la crue de 1940 à Amélie par ETC
Pas de calcul: 1h; pluie totale: 751mm

Fig.3: Reconstruction of the 1940 flood in Amélie with ETC
Computing step: 1h; total rainfall: 751 mm



La confrontation des données réelles et des résultats reconstitués par sous-bassins nous a permis de constater une convergence en ordre de grandeur des valeurs et une cohérence de l'ensemble (figure 4). En conséquence, nous avons :

- adopté les formulations de la concentration qs/ql ;
- fixé un jeu de valeurs de Vs/Vl (de 0,05 à 0,2 en cas de laves, qs/ql sinon) ;
- confirmé les hypothèses de la quantification des apports de versants.

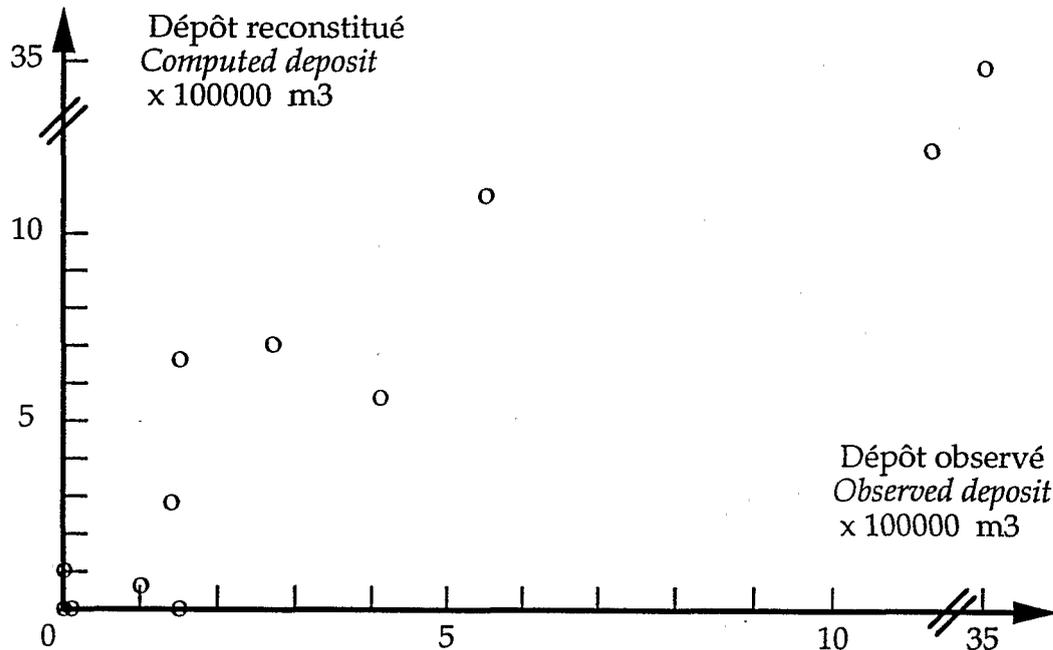


Fig.4: Comparaison des dépôts observés et reconstitués créés par la crue de 1940
Fig.4: Comparison of observed and computed deposits due to 1940 flood

CONCLUSION

L'application de cette démarche méthodologique a permis de quantifier les crues torrentielles. Même si les chiffres sont entâchés d'une très large incertitude, ils ont permis de relativiser, pour le cas du Haut-Vallespir et dans les parties aval des bassins versants, les plus vulnérables aux crues torrentielles, l'incidence du transport solide par rapport aux importants débits et volumes liquides. Il en a été tenu compte dans la conception de la stratégie de prévention et de protection.

La méthodologie exposée ici pourrait progresser dans l'avenir sur les points suivants :

- utilisation de systèmes d'informations géographiques, de traitements d'images, de méthodes systématiques d'analyse des données ;

- régionalisation des données acquises sur des bassins versants représentatifs expérimentaux à l'aide de paramètres d'obtention aisée traduisant les effets de certains facteurs ;
- amélioration des connaissances en hydraulique torrentielle.

Ces progrès ne peuvent être dissociés d'une volonté de recueillir des données concernant des évènements réels, irremplaçables pour des validations.

BIBLIOGRAPHIE

BROCHOT S. : *Définition et prévention des crues torrentielles en Haut-Vallespir (haut-Tech et affluents)*. CEMAGREF Grenoble, division Protection contre les érosions. Service RTM des Pyrénées-Orientales, décembre 1990.

BROCHOT S. ; LEFRANC P. : *Prévention des crues torrentielles en Haut-Vallespir : validation des hypothèses de travail à partir de l'aiguat d'octobre 1940*. Colloque : Les inondations d'octobre 1940 en catalogne : 50 ans passés. Vernet-les-Bains, octobre 1990.

MEUNIER M. : *Essai de synthèse des connaissances en érosion et hydraulique torrentielle*. La Houille blanche, n° 5, 1989.

MEUNIER M. : *Eléments d'hydraulique torrentielle*. CEMAGREF Grenoble, division protection contre les érosions, octobre 1991.

RIBES J. : *Haut et moyen Vallespir au fil du temps*. Tome 3 : Séismes et inondations. Le cataclysme de 1940. Ed. du Castillet. Perpignan, 1982.

SMART, JAEGGI : *Sediment transport on steep slopes*. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich, 1983.

**RESEAU
EROSION**



Référence bibliographique Bulletin du RESEAU EROSION

Pour citer cet article / How to cite this article

Brochot, S. - Erodabilité des terres en montagne : exemple du Haut-Vallespir, pp. 40-51, Bulletin du RESEAU EROSION n° 12, 1992.

Contact Bulletin du RESEAU EROSION : beep@ird.fr