

Détermination de la granulométrie des lits des torrents

INTRODUCTION

Les torrents se distinguent des autres cours d'eau entre autres par des manifestations souvent brèves et intenses qui rendent la mesure de leurs écoulements particulièrement difficile, et par la très grande difficulté à leur appliquer les lois usuelles de l'hydraulique.

De nombreux phénomènes torrentiels restent donc très mal connus comme le seuil de déstabilisation d'un lit torrentiel, les conditions de déclenchement des laves torrentielles, etc... et, si des progrès récents ont été réalisés sur quelques points (lois de perte de charge, capacité maximale de transport en écoulement hyperconcentré), une difficulté persiste pour utiliser concrètement ces résultats : ceux-ci sont en général le fruit d'études sur modèle réduit où l'obtention des paramètres de base (pente, granulométrie, débit, vitesse) ne pose pas trop de problèmes.

En revanche, la mesure de tels paramètres sur des torrents naturels ne va pas sans difficultés. Le CEMAGREF - Division Protection contre les Erosions - a proposé d'étudier en particulier le problème de la détermination de la granulométrie des torrents naturels dans le cadre du contrat de plan Etat - Région sur les risques naturels, considérant que ce point conditionnait la possibilité d'utiliser en ingénierie les progrès réalisés en matière de connaissance des phénomènes torrentiels. Cette étude a fait l'objet d'un travail de thèse (Vincent KOULINSKI - thèse soutenue le 16/12/93).

DEROULEMENT DE L'ETUDE

Au delà du choix de la méthode opérationnelle la plus adaptée à l'obtention d'une granulométrie en conditions naturelles, se pose le problème du choix de la zone de mesure. En effet, un lit torrentiel, résultat d'une succession de phénomènes de caractéristiques variées, cumule ou juxtapose en général les traces des différents phénomènes successifs qui s'y sont produits. La mesure de la granulométrie d'un lit de torrent dépend donc de la zone sur laquelle cette mesure est réalisée. Le problème de la détermination de la granulométrie pose donc celui de la connaissance de la morphologie torrentielle et des phénomènes torrentiels associés.

L'étude a donc inévitablement comporté plusieurs approches complémentaires.

Dans un premier temps, un modèle réduit de très petite dimension a été utilisé pour étudier et quantifier les caractéristiques locales du charriage torrentiel et du tri

granulométrique. Le tri granulométrique a été particulièrement étudiée durant le processus de formation d'un pavage constitué d'éléments grossiers en surface du lit sous l'action prolongée de conditions hydrauliques moyennes. Ce pavage est généralement associé à des structures morphologiques particulières, et confère au lit une résistance accrue à l'écoulement lors des crues suivantes.

Les dimensions du modèle réduit utilisées ont ensuite été progressivement augmentées pour mettre en évidence les phénomènes et les structures morphologiques correspondantes aux différentes échelles d'espace.

Ces mesures et observations ont été utilisées ensuite et confrontées à des observations et mesures réalisées sur 9 torrents des Alpes et des Pyrénées françaises, qui ont par ailleurs été utilisées pour élaborer une méthodologie de mesure de la granulométrie adaptée au contexte torrentiel.

RÉSULTATS OBTENUS

Modélisation sur modèle réduit

Dans un premier temps, le problème a été simplifié autant que possible en utilisant une seule granulométrie et un canal aussi petit que possible. Une série d'essais a été réalisée dans un canal de 10 cm de large et de 1 à 2 mètres de long (pente 12 %). Ces essais ont amené à distinguer deux formes distinctes du charriage torrentiel.

La première correspond à la notion classique de capacité maximale de transport généralement exprimée par les formules de transport solide disponibles. Le lit est constitué d'éléments plutôt fins, et le tri granulométrique est peu marqué, même si les éléments sont légèrement d'autant plus mobiles qu'ils sont gros.

Lorsque les conditions d'écoulement se rapprochent des conditions de début de mouvement des grains du lit, le transport solide diminue, les éléments fins sont plus facilement déplacés, et le lit évolue vers le pavage. On assiste à une prise de contrôle progressive du transport solide par le lit, qui empêche que soit atteinte la capacité maximale de transport. Les formules usuelles sont donc mises en défaut. Parallèlement, on assiste à l'arrêt progressif d'amas de gros blocs qui constituent en fin de processus les éléments structurants du lit pavé, et lui confèrent sa morphologie en "marches d'escalier".

Le calcul puis l'interprétation d'un "indice de mobilité relative", exprimant le rapport des proportions des grains d'une classe granulométrique donnée, respectivement dans le transport solide et dans le lit, ont montré que le transport solide évolue de façon nettement irréversible vers l'un des deux états stables décrits ci-dessus : le charriage hyperconcentré et le pavage. Une augmentation de la taille des matériaux du lit se traduit par un tarissement rapide de la fourniture en matériaux (pavage), tandis que la diminution de la taille des grains du lit correspond à un accroissement du transport solide (charriage hyperconcentré).

Les essais réalisés ensuite dans un canal de 60 cm de large, laissant ainsi la possibilité à l'écoulement de divaguer, ont surtout montré une différence de comportement lors de la destruction du pavage. En effet, si pour les essais en canal étroit, le dépavage correspond à l'arrachement des grains constituant le pavage précédemment formé sur le lit, dans les essais en canal large, la reprise du transport

solide correspond au dépassement de la capacité hydraulique du chenal pavé qui entraîne une divagation de l'écoulement dans des lits secondaires moins solidement pavés.

Une structure morphologique importante : la dune à forte pente

L'observation des écoulements sur un modèle réduit de grande dimension (environ 4m x 15 m) représentant l'ensemble d'une zone de dépôt, a mis en évidence une structure morphologique particulière : la dune à forte pente, qui peut expliquer des élévations ponctuelles du lit de plusieurs mètres ainsi que la plupart des caractéristiques morphologiques observées.

Une dune à forte pente est composée de trois parties :

- * un chenal central bien marqué mais de relativement faible pente, ayant un lit presque rectiligne et étroit, qui transporte un fort débit solide, avec des matériaux grossiers semblant rouler ou glisser sur un fond de matériaux plus fins,
- * une niche amont en forme d'entonnoir, plus raide, qui collecte les apports amont d'un certain nombre de petits chenaux et peut reculer sous l'effet d'une érosion régressive provoquée par le fort transport solide du chenal,
- * une zone de dépôt s'élargissant à l'aval, qui est elle aussi à pente plus raide, et progresse naturellement vers l'aval.

Le développement de ces structures est étroitement associé aux phénomènes de divagation de l'écoulement, et explique sans problème la variabilité du transport solide en un point donné. Il explique aussi le fait que les formules donnant la capacité maximale de transport surévaluent en général le transport solide des torrents alluviaux.

Enfin, il semble que le fonctionnement du chenal central de ces structures soit bien représenté par les essais en canal étroit évoqués plus haut.

Méthode de mesure de la granulométrie

Les mesures de terrain ont d'abord permis d'élaborer une méthodologie de mesure de granulométrie en torrent. D'un point de vue pratique, une méthode basée sur un échantillonnage linéique paraît la plus adaptée au cas des torrents dans la mesure où elle nécessite un appareillage très simple et permet de traiter des échantillons de grande taille. Le principe de cette méthode est le suivant :

On dispose au sol un élément linéique de référence (décamètre, chaîne d'arpenteur), on repère tous les cailloux se trouvant sous les graduations correspondant à un pas d'espace prédéfini (intervalle de prélèvement) et on mesure le diamètre intermédiaire de chacun de ces cailloux (un même caillou est compté plusieurs fois s'il apparaît sous plusieurs graduations).

L'analyse des mesures de terrain permet de préconiser pour cette méthode un intervalle de prélèvement supérieur au d_{90} . Elle a montré également qu'au delà d'une centaine d'éléments, l'imprécision liée à la taille de l'échantillon devient marginale pour la mesure de la granulométrie de l'échantillon. Ceci étant, compte tenu de la variabilité

naturelle d'un échantillon à l'autre, on pourra souvent se contenter d'échantillons de taille plus faible pour mesurer la granulométrie d'une zone morphologique donnée.

Le choix de la zone de mesure reste primordial, et dépend de l'objectif de la mesure ou, autrement dit, du type de granulométrie recherché. De façon générale, on peut recommander de s'éloigner des versants, de s'attacher à bien cerner les limites des zones morphologiques, et de réaliser à chaque fois au moins deux mesures a priori équivalentes.

Si l'on recherche la granulométrie d'ensemble du lit (granulométrie moyenne de l'ensemble des matériaux de la surface du lit mais aussi des couches plus profondes en un point donné - nécessaire par exemple pour une étude sur modèle réduit), il s'avère que la mesure de transects transversaux, barrant l'ensemble du lit majeur, conduit à une bonne estimation.

Si l'on s'intéresse aux conditions d'écoulement et aux pertes de charge, il sera nécessaire d'identifier les zones qui participent le plus à ces pertes de charge, en attachant une attention particulière aux gros éléments de rugosité. La rugosité de forme (seuils par exemple) peut jouer également un rôle important.

En matière de stabilité du lit, il semble que deux types d'éléments morphologiques sont à distinguer : les éléments structurants qui assurent seuls la stabilité et la position du lit, correspondant au pavage, et les éléments de remplissage dont le rôle semble être principalement de réguler les variations du transport solide. Seuls les éléments structurants sont à prendre en compte dans une mesure destinée à connaître la résistance du lit.

Enfin, la granulométrie des matériaux transportés n'est généralement pas mesurable, alors qu'elle est théoriquement indispensable au calcul du débit solide. Il n'est pas toujours possible, en particulier pour les écoulements relativement réduits, de l'approcher par la granulométrie d'ensemble du lit, et seule une évaluation à partir des zones sources de matériaux peut alors éventuellement en fournir une estimation.

CONCLUSION - PERSPECTIVES

Ce travail a permis de dégager une logique d'ensemble du charriage torrentiel aux différentes échelles d'espace et de temps. Cependant, la connaissance des phénomènes reste sommaire et les conditions des essais réalisés dans le cadre de cette étude ne correspondent finalement qu'à une très faible étendue en regard de l'extrême variabilité des phénomènes possibles en torrent. Il semble donc indispensable, pour obtenir des résultats généralisables, de faire varier les paramètres suivants dans des séries d'essais futurs sur modèle réduit : pente du canal, granulométrie du matériau, apports solides amont pendant le pavage. Une modélisation numérique pourrait alors probablement être envisagée sur la base des résultats de ces essais.

Une étude systématique des dunes à forte pente présenterait également un intérêt évident compte tenu de l'importance de cette structure sur le transport solide et ses variations. Cependant cela présente également de réelles difficultés pratiques.

Enfin, l'observation des lits torrentiels naturels devrait être poursuivie et rationalisée, de façon à permettre à terme une interprétation plus aisée et plus objective au praticien.

Références :

KOULINSKI V., (1993), "Etude de la dynamique d'un lit torrentiel par confrontation d'essais sur modèle réduit et d'observations de terrain.", Thèse UJF-CEMAGREF-SOGREAH

KOULINSKI V., (1993), "Etude de la dynamique d'un lit torrentiel : nappe de charriage et pavage.", Colloque SHF - 17, 19 novembre 1993- Paris

KOULINSKI V., (1994), "Mesure de granulométrie en torrent.", Note technique - CEMAGREF - à paraître

MEUNIER M. & CARION C., (1987), "Etude méthodologique de la détermination des courbes granulométriques des lits des cours d'eau.", CEMAGREF Groupement de Grenoble - avril 1987