

Méthodologie pour la mesure des crues brutales

Jacques Cruette

Résumé. La mesure des crues brutales est une opération très difficile, surtout lorsqu'il s'agit d'atteindre les débits les plus forts. A partir de l'expérience acquise dans ce domaine, l'auteur a cherché à bâtir une méthodologie spécifique. Elle consiste en une recherche perpétuelle de la meilleure organisation possible. Toutes les options prises pour chaque tâche élémentaire sont systématiquement reconsidérées dès qu'un fait nouveau apporte une indication supplémentaire. Cette démarche progressive est illustrée par deux organigrammes que le texte essaie d'expliquer.

L'expérience nous a également montré qu'il faut reconsidérer toutes les techniques de mesure utilisées pour les régimes plus réguliers. Pour que l'exposé de la méthodologie ait toute sa signification, il nous a été indispensable de mentionner certains points de protocole particulièrement importants.

A methodology for measuring flash floods

Abstract. Measuring flash floods is a very difficult operation, particularly when the greatest discharges are considered. With the aid of his own experience in this field, the author has tried to build a specific methodology. It consists of a perpetual research into the best possible organization. All the operations retained for every elementary task are systematically reconsidered as soon as a new event brings supplementary information. This progressive approach is illustrated by two flow charts.

Experience has also shown that all the measuring techniques used in the case of the most regular regimes have to be revised too. In order to show the significance of this methodology, it has been essential to mention some especially important points of the procedure.

INTRODUCTION

Sur une station hydrométrique étudiée par l'auteur, le volume d'eau écoulé en quatre jours est égal à celui écoulé pendant les onze années précédentes, les vitesses mesurées dépassent 11 m/s, le fond du lit s'abaisse de 12 m puis remonte de 8 m. Au même moment, une partie des eaux d'un autre cours d'eau sort du bassin versant, de nouveaux lits se creusent, les vagues dépassent deux mètres de hauteur.

Pour réussir des observations sur des phénomènes aussi exceptionnels, il faut une méthodologie parfaitement adaptée qui ne laisse aucune place à l'improvisation. On décrit ici une méthodologie mise au point après de nombreuses mesures de crues brutales par les hydrologues de l'ORSTOM et leurs collègues étrangers en Nouvelle-Calédonie, aux Antilles, à Madagascar et en Tunisie. Cette méthodologie suppose admises certaines options techniques dont nous donnons quelques exemples en annexe. Il faut les avoir présentes à l'esprit à chaque étape du travail.

On a distingué trois niveaux dans la méthodologie :

- Niveau 1: enquête, prospection, mise en place d'un réseau hydrométrique
- Niveau 2: exploitation de routine d'une station hydrométrique
- Niveau 3: mesure d'une crue exceptionnelle

Pour les deux premiers niveaux on a établi des schémas montrant l'enchaînement des différents travaux.

NIVEAU 1: MISE EN PLACE D'UN RESEAU HYDROMETRIQUE (Fig.1)

1.1. Elaboration de protocoles d'enquête

Avant d'entreprendre la moindre installation hydrométrique, on rassemblera le maximum de renseignements pour bâtir un projet de réseau aussi circonstancié que possible. On étudiera toutes les mesures déjà effectuées sur le bassin, on consultera aussi tous les spécialistes susceptibles de donner des renseignements (forestiers, géologues, ingénieurs des travaux publics et de l'agriculture). On examinera de façon détaillée les cartes topographiques et surtout les photos aériennes. Conjointement à ces recherches on établira progressivement trois listes de points du réseau hydrographique:

- (1) Les points susceptibles de constituer des sites de stations hydrométriques.
- (2) Les points susceptibles de fournir des renseignements sur les crues passées.
- (3) Les points où il n'y a certainement rien à trouver.

Il est très intéressant d'attacher à ce travail plusieurs personnes travaillant indépendamment.

1.2.1. Critères de la station idéale — Fiche de reconnaissance de site de station

Avant toute prospection sur le terrain on établira une fiche de reconnaissance de site de station. (voir annexe). L'ensemble des fiches pourra permettre un choix des sites les plus favorables.

1.2.2. Prospection des sites possibles

La découverte de site utilisable est souvent une question de marche à pied. Chaque point repéré sera visité trois fois (de la rive droite, de la rive gauche, du fond), de préférence à des heures et des jours différents. Un soin particulier sera apporté à la recherche des traces de crue.

A chaque visite, on établira entièrement une fiche comportant des croquis. (photos si possible).

1.3.1 Indices utilisables pour les enquêtes sur les crues — Questionnaire

Ces indices peuvent faire appel à plusieurs disciplines. On doit les expliciter sous la forme d'un questionnaire. Nous pouvons donner les exemples suivants:

- (1) Disposition sur les rives des arbres ayant une vie très longue et un fort enracinement; on ne trouve jamais d'oliviers dans les zones exposées à des fortes vitesses (en Afrique du Nord).
- (2) Analyse minéralogique des dépôts sur les rives.
- (3) Sondages dans les lits majeurs; les coupes des sondages peuvent donner des indications sur les remaniements, donc sur les crues successives. (Sondages dans les zones d'accumulation des bassins endoréiques.)

Tous les aménagements placés au bord des cours d'eau peuvent donner des indications (liste de questions types).

1.3.2. Enquêtes sur le terrain

Les enquêtes devront se faire en plusieurs fois. On essayera de poser les mêmes questions à des personnes différentes.

1.4.1. Organisation des travaux topographiques

Pour les crues exceptionnelles on utilise plus souvent le niveau que le moulinet. Un profil en travers fait après une crue est un document irremplaçable dès qu'une autre crue a modifié la section du cours d'eau. Un protocole précis est indispensable.

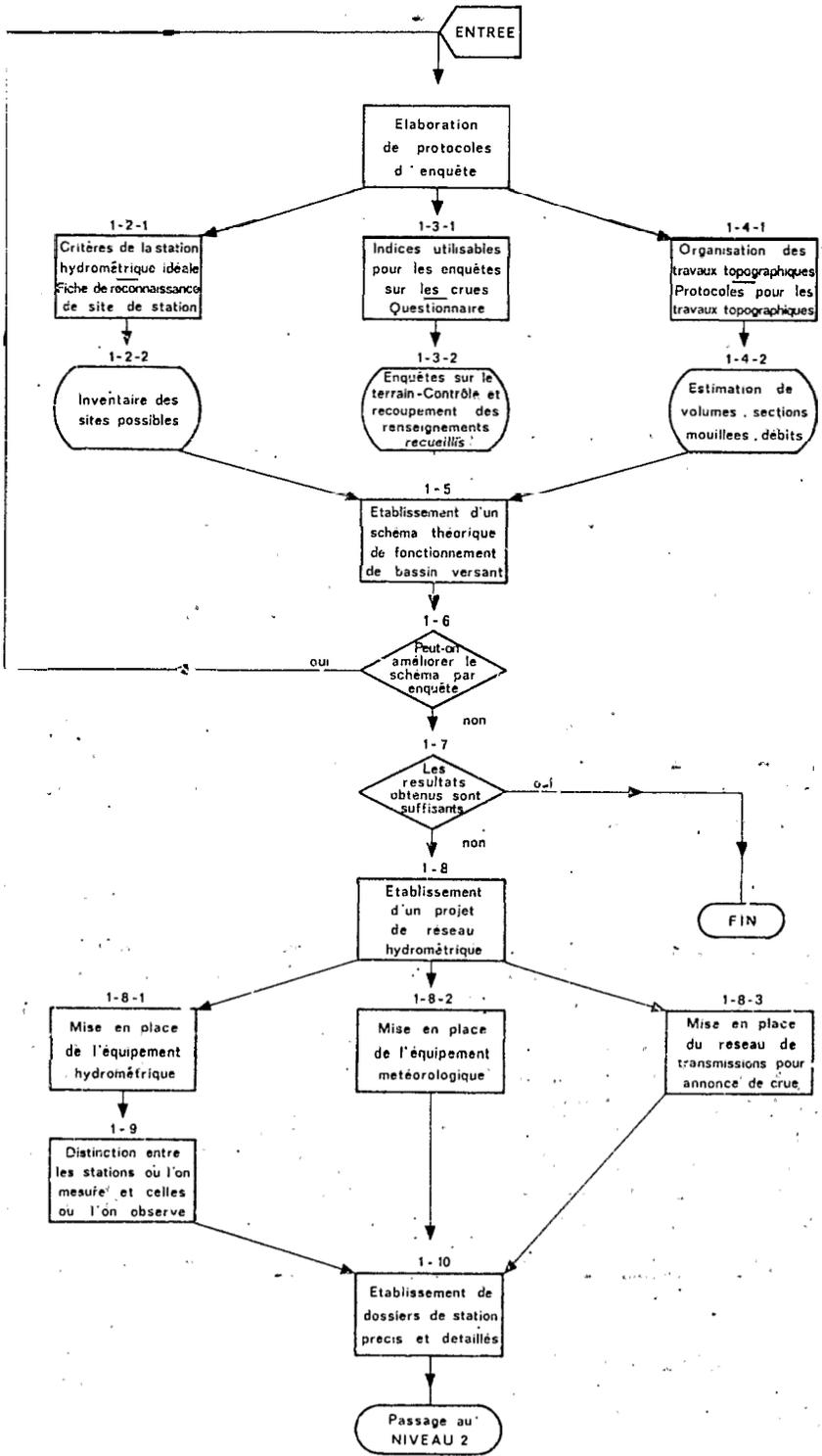


FIGURE 1. Niveau 1: mise en place d'un réseau hydrométrique pour la mesure des crues brutales.

1.4.2. *Estimation de sections mouillées, débits, volumes . . .*

Tous les indices recueillis sur les traces de crues doivent faire l'objet de travaux topographiques, et d'estimations chiffrées.

1.5. **Etablissement d'un schéma théorique de fonctionnement du bassin versant**

On essayera alors de faire la synthèse des renseignements recueillis en établissant un schéma de fonctionnement du bassin versant. Ce schéma pourra faire apparaître des lacunes et des contradictions que l'on essayera de résoudre en reprenant les enquêtes (1.1). Il peut arriver que les résultats obtenus soient suffisamment précis pour les utilisateurs et le travail peut alors s'arrêter à ce niveau. Il faut en effet se rendre compte que passer au stade suivant suppose d'être capable de soutenir pendant de nombreuses années un effort exigeant en crédit et en personnel. Il faut conserver avec le plus grand soin tous les documents déjà établis.

1.8. **Etablissement d'un projet de réseau hydrométrique**

Ce projet établi à partir des renseignements recueillis tiendra compte des points suivants:

(1) pour réussir des mesures de crue il faut que les agents compétents soient sur la station. Il faut donc qu'ils soient informés par un dispositif d'annonce de crue comprenant toutes les dispositions utiles pour recevoir régulièrement les informations telles que prévisions météorologiques et surveillance de cyclones.

(2) les stations doivent être organisées pour faire les observations et la transmission de ces observations.

(3) il faut tenir compte des moyens de transport utilisables pendant les fortes pluies.

(4) le téléphone est inutilisable pendant les fortes crues: il est soit détruit, soit saturé. Un réseau radiophonique spécifique à l'annonce de crue est indispensable.

1.10. **Etablissement de dossiers de stations hydrométriques**

Pour chaque station, il faut établir un dossier complet et précis: Dès le début de la vie de la station, établir une courbe d'étalonnage théorique à l'aide des formules de calcul de débit. A tout instant une crue peut détruire entièrement la station.

NIVEAU 2: EXPLOITATION D'UNE STATION HYDROMETRIQUE (Fig.2)

2.1. **Etablissement des protocoles de mesure**

Il faut trouver par avance une réponse aux questions suivantes:

- (1) Comment utiliser au mieux l'équipement par le personnel disponible?
- (2) Quelles opérations reviennent aux agents fixes sur la station et aux agents qui doivent les rejoindre?
- (3) Par quel moyen et selon quel itinéraire les agents vont-ils rejoindre la station? qui prend la décision du déplacement?
- (4) Au moment des crues avec quelle priorité et dans quel ordre les mesures seront-elles faites et par qui?

Pour établir les protocoles, les principes suivants sont à retenir:

(1) Pendant les crues, tout déplacement doit être interdit. Vouloir passer d'une station à une autre conduit toujours à bâcler les mesures sur l'une et à échouer les mesures sur l'autre.

(2) Les protocoles pour crues exceptionnelles devront être applicables également dans des conditions tout à fait normales. Il faut prendre l'habitude de faire chaque jour les gestes qui seront indispensables le jour de la grande crue.

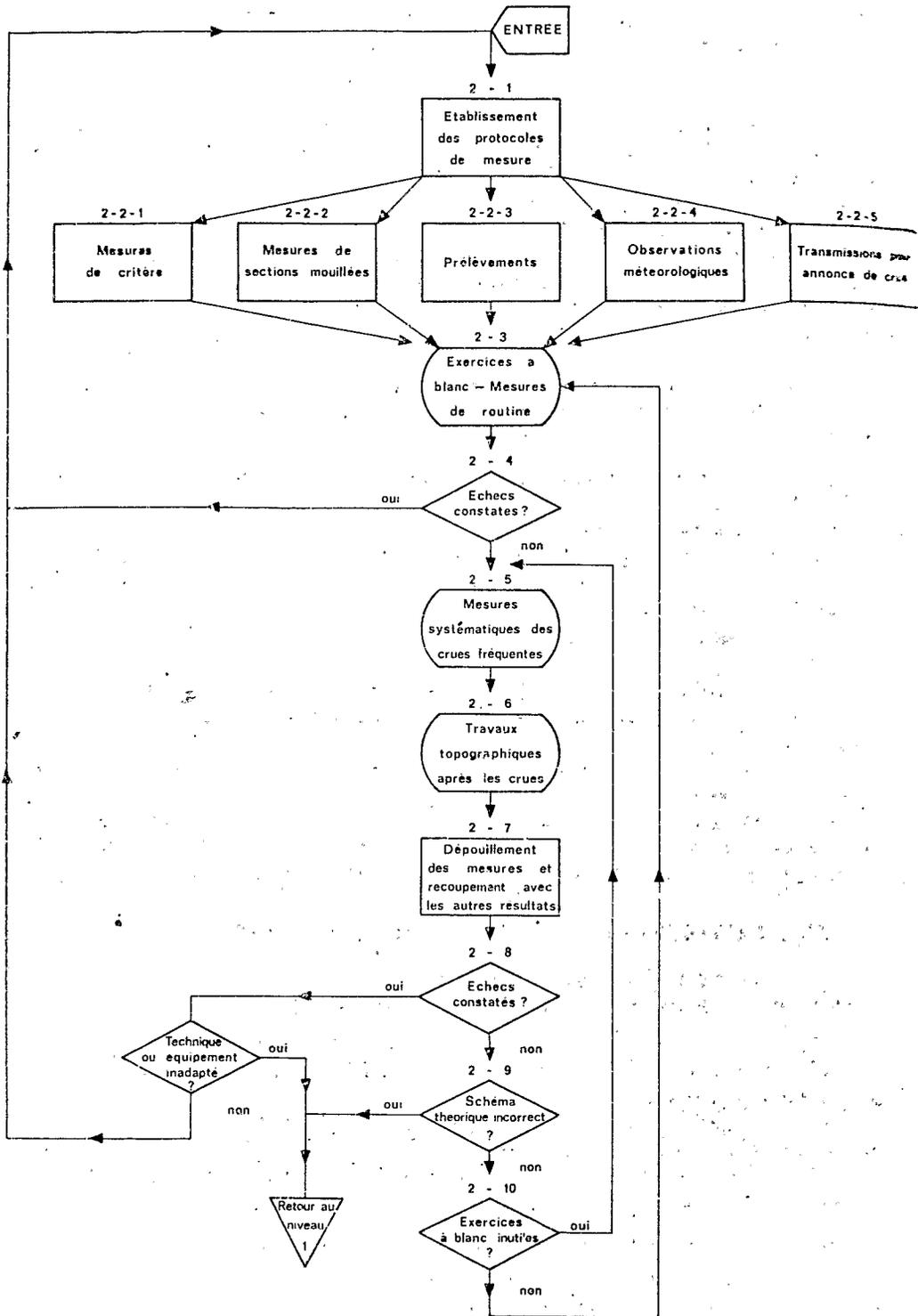


FIGURE 2. Niveau 2: exploitation d'une station hydrométrique.

(3) Pendant les mesures ou manoeuvres, on observe et on note. Ce n'est pas le moment pour choisir et pour calculer.

(4) Faire une chasse impitoyable à toutes les sources de confusion (tout noter).

(5) Une heure de référence doit exister à la station. Un écart de 10 min entre deux montres doit être évité.

(6) Chaque protocole doit faire l'objet d'un imprimé méticuleusement mis au point pour noter les mesures.

(7) On prendra soin de ne pas épuiser toutes ses munitions dès le début d'une crue, les crues exceptionnelles sont généralement 'complexes' et les observations les plus importantes sont souvent à la dernière 'pointe'.

(8) Etablir au moins deux exemplaires de chaque document transportés séparément.

2.2.1. *Protocole pour les mesures de vitesse*

2.2.1.1. *Mesures au moulinet:*

(1) Les mesures se feront sur des verticales repérées par rapport à un point fixe, pas par rapport au bord de l'eau.

(2) On établira un tableau indiquant les verticales à mesurer selon le niveau de l'eau (comparaison des mesures de différentes crues).

(3) Régler aussi simplement que possible pour la répartition des points sur la verticale.

(4) Les mesures en décrue sont très importantes (repérage correct de la position du fond).

(5) Au début d'une crue, les objets flottants peuvent être très nombreux et il peut être préférable d'attendre le début de la décrue.

(6) la cote à l'échelle et l'heure doivent être notées très souvent, au minimum une fois pour chaque verticale.

2.2.1.2. *Mesures au flotteur:*

(1) Ces mesures seront faites systématiquement dès que le moulinet n'est plus utilisable car les vitesses sont trop fortes.

(2) On essayera de faire des mesures au flotteur au moment où les mesures au moulinet sont encore ou de nouveau possibles.

2.2.2. *Mesures des sections mouillées*

Dans l'hypothèse des rives stables, les sections mouillées sont connues par le repérage de la surface de l'eau et le repérage du fond du cours d'eau.

2.2.2.1. *Hauteurs d'eau.* Les vagues sont importantes. La lecture de la cote à l'échelle limnimétrique devra se faire selon une consigne précise: (cote de la vague la plus haute ou moyenne entre le niveau le plus haut et le niveau le plus bas). Dans le cas d'échelles inclinées, la conversion en cote verticale se fera après la crue.

2.2.2.2. *Repérage du fond:*

(1) Si le fond du cours d'eau est parfaitement stable, il n'y a pas de problème mais il faudra cependant contrôler après la crue que la stabilité est effectivement parfaite.

(2) Tant que des jaugeages complets au moulinet peuvent être effectués ils permettent de suivre l'évolution du fond du lit à condition de respecter un tableau de verticales (2.2.1.1).

(3) Dans tous les cas où le fond est mobile on aura intérêt à procéder à des sondages pendant les crues. Cette technique a été mise en oeuvre en utilisant un treuil de téléphérique normal et un saumon de 100 kg dépouillé de tous

ses accessoires. Il serait souhaitable que les mesures de vitesse au moulinet et les sondages du fond se succèdent régulièrement dans le temps à chaque fois que cela est possible.

2.2.3. *Prélèvements*

Le protocole concernant les prélèvements doit être réduit à des opérations très simples. Lorsque des saumons de 100 kg ne rentrent que très difficilement dans l'eau, lorsque tous les objets saillants sont détruits ou emportés, on ne voit pas par quelle méthode on pourrait faire des prélèvements à différents points de la section mouillée. L'emploi d'un dispositif complexe est impossible. On pourra faire sans conviction des prélèvements très simples sur le bord.

2.2.4. *Observations météorologiques*

Les observations météorologiques ne doivent en rien gêner les mesures hydrométriques et l'annonce de crues. Il faut faire une distinction très nette entre les observations météorologiques et les observations destinées à l'annonce de crue qui, au contraire, sont particulièrement importantes à ce moment-là.

2.2.5. *Protocoles pour l'annonce de crue*

La station où l'on fait les mesures est généralement une pièce maîtresse dans le dispositif d'annonce. Il faut donc faire au même moment:

- (1) Les mesures définies par les autres protocoles.
- (2) Les observations spécifiques à l'annonce de crue.
- (3) Les transmissions normales de l'annonce de crue à un rythme très rapide.
- (4) Il faut tenir compte des observations faites sur les autres points du bassin versant et par les autres services pour régler le rythme du travail.
- (5) Il faut transmettre quelques éléments des mesures en cours pour donner plus d'efficacité à l'annonce de crue.

Cependant les transmissions constituent un facteur primordial. Les opérateurs n'ont pas le temps d'analyser la situation et de prendre des décisions importantes. Le responsable du réseau d'annonce de crue peut faire plus facilement cet effort.

2.3. *Exercices à blanc — Mesures de routine*

Les protocoles établis ne doivent jamais être considérés comme définitifs. Il faut les améliorer, s'entraîner à les appliquer jusqu'à obtenir un automatisme presque total.

- (1) Le réseau de transmission doit fonctionner au moins tous les jours.
- (2) Les agents fixes doivent avoir un programme de mesures à exécuter systématiquement.
- (3) Des 'exercices à blanc' doivent être effectués pour tous les protocoles.

Cependant:

- (1) Il peut être dangereux d'utiliser un réseau radio pour annoncer des crues fictives sans précautions.
- (2) Tous les documents établis doivent indiquer clairement qu'il s'agit d'un exercice à blanc.

2.4. *Analyse des échecs*

Les exercices font souvent apparaître au début des anomalies: protocole irréalisable, personnel insuffisant, matériel en panne au moment le plus important, lot de pièces de rechange insuffisant. Ces problèmes doivent être réglés et nécessitent de revenir

au stade de l'établissement des protocoles (2.1). On se posera à tous les stades la question de savoir comment on pourra détecter et, éventuellement, corriger une erreur de mesures ou une erreur de notation.

2.5. Mesures systématiques des crues fréquentes

Les crues fréquentes, quelque soit leur importance, constituent la meilleure façon de s'exercer. On essaiera de noter tous les événements non prévus par les protocoles au fur et à mesure de leur apparition (limnigraphe noyé — lit majeur en aval de la station inondé — bouquet d'arbre emporté, prise de photo, etc.).

2.6. Travaux topographiques après les crues

Dans le cas de station à fond instable, on effectuera toujours les travaux topographiques nécessaires pour contrôler l'évolution du fond. On analysera les traces de la crue toute récente pour déterminer la pente de la ligne d'eau. On pourra parfois être obligé de reprendre le travail au début du niveau 1.

2.7. Dépouillement des mesures et recouplement avec les autres résultats

Toutes les mesures effectuées sur une crue doivent être dépouillées le plus rapidement possible. L'idéal serait d'établir une note de synthèse après chaque crue. On portera un soin particulier à la critique des mesures.

2.8. Analyse des échecs constatés

L'analyse des échecs est une opération importante après le dépouillement des mesures d'une crue. Cette analyse peut remettre des protocoles et des techniques en cause.

On pourra également considérer l'introduction de nouvelles techniques:

- (a) mesures au flotteur la nuit,
- (b) remplacement des chronomètres par des compte-secondes électroniques et utilisation de téléphone pour les jaugeages au flotteur,
- (c) utilisation de magnétophones,
- (d) utilisation de caméra pour filmer les moments les plus importants de la crue. On pourrait espérer obtenir à partir d'un film des mesures de vitesse des flotteurs et des repérages de niveau de l'eau,
- (e) mise en place de dispositif d'alarme fonctionnant lors d'une montée du niveau de l'eau ou au début d'une pluie.

2.9. Contrôle du schéma théorique de fonctionnement du bassin versant

Chaque crue analysée sur un bassin versant constitue un exemple de fonctionnement du bassin versant. Cet exemple peut montrer des écarts sensibles par rapport au schéma théorique adopté comme base de travail. En rectifiant ce schéma, on peut remettre en cause tout ou partie du réseau hydrométrique et être obligé de reprendre les opérations au début du 1er niveau.

2.10. Utilité des exercices à blanc et des mesures de routine

Lorsque plusieurs crues ont été mesurées correctement, on peut considérer que les exercices à blanc sont devenus inutiles, à moins que leur aspect pédagogique leur conserve leur raison d'être.

NIVEAU 3: MESURES D'UNE CRUE EXCEPTIONNELLE

Lors d'une crue exceptionnelle, on aura des chances de réussir les mesures pour lesquelles on est parfaitement entraîné. La règle est d'obtenir le plus de renseignements possibles et de ne pas les perdre. Comme pour les crues plus fréquentes, on procédera le plus rapidement possible au dépouillement complet des mesures. On

obtient alors un nouvel exemple de fonctionnement du bassin versant et une nouvelle révision du schéma théorique est nécessaire. A ce moment deux nouveaux problèmes ne manquent pas d'apparaître:

- (1) Le premier consiste à persuader les utilisateurs de l'exactitude des résultats obtenus. Une collection de photos prises pendant les crues nous a rendu de grands services.
- (2) Le deuxième consiste à attribuer une période de retour au phénomène observé.

Il nous semble que la meilleure façon de progresser consiste à reprendre le travail au début du niveau 1. En tenant compte des nouvelles données acquises on fera toutes les opérations pour:

- (1) Revaloriser toutes les observations faites précédemment au niveau 2 et, surtout, au niveau 1.
- (2) En déduire la période de retour la plus vraisemblable.
- (3) Introduire toutes les modifications souhaitables dans le réseau, les techniques et les protocoles.

ANNEXE: QUELQUES OPTIONS TECHNIQUES SPECIFIQUES EN CRUES BRUTALES

- (1) Choix d'une station hydrométrique:
 - (a) Les deux rives stables sans débordement ni contournement.
 - (b) En amont d'un seuil stable.
 - (c) Confort et sécurité pour le personnel (consignes d'évacuation éventuelle).
 - (d) Ne jamais faire de mesures à partir d'un pont.
- (2) Mesures de crue au moulinet:
 - (a) Un téléphérique, celui-ci n'étant pas obligatoirement perpendiculaire à l'écoulement.
 - (b) Il est difficile de faire des mesures complètes au moulinet pour des vitesses supérieures à 5 m/s et presque impossible à plus de 7 m/s.
- (3) Mesures au flotteur:
 - (a) Placer des repères très visibles pour servir de base à ces mesures.
 - (b) On mesure la vitesse du flotteur mais également sa position (mesures sur les diagonales par 2, 3 ou 4 chronomètres).
 - (c) Utiliser le chariot du téléphérique comme repère pour localiser la position du flotteur.
- (4) Repérage du fond du cours d'eau (stations instables):
 - (a) Avant et après les crues, utiliser des chaînes ou des briques enterrées pour déterminer le creusement maximal pendant les crues.
 - (b) Pendant les crues, effectuer des sondages du fond en laissant tomber une masse dans l'eau et en mesurant la longueur du câble immergé.
- (5) Limnimétrie:
 - (a) Ne jamais placer des échelles sur des supports artificiels, elles seront détruites ou emportées. Les coucher sur les rives.
 - (b) Placer deux limnigraphes: un pour les étiages et les petites crues (réduction 1/10 ou 1/20) un autre pour les grandes crues (1/50 ou 1/100).
 - (c) Pendant les crues, lorsqu'il n'y a plus d'échelles, poser (en notant exactement le moment) des repères précis dont on fera ensuite le nivellement.

- (6) Topographie:
 - (a) Contrôle de la fermeture avant de quitter le terrain.
 - (b) Lecture des trois fils d'un réticule.
 - (c) Possibilité d'éliminer les visées fausses (au moins deux coups arrière à chaque station).