

Les crues éclair en Europe Le projet de recherches Hydrate

Éric GAUME*, Valérie BAIN,
Marco BORGA
Laboratoire central des Ponts et Chaussées,
Bouguenais, France

■ RÉSUMÉ

Le projet de recherche européen HYDRATE (2006-2009), auquel la division Eau du LCPC est associée au travers d'une collaboration avec l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, vise à améliorer les connaissances sur un risque naturel particulier que constituent les crues éclair : crues violentes de petits cours d'eau. Après un exposé des objectifs de ce projet, deux résultats de recherche sont présentés dans ce qui suit : les enseignements tirés de la constitution d'un atlas européen des crues éclair et les conclusions de la première campagne européenne de retour d'expérience conduite à la suite des crues qui se sont produites en Slovénie en septembre 2007. Ces recherches s'inscrivent dans une opération de recherche du LCPC : « Hydrologie des bassins versants et spatialisation en prévision des crues ».

Flash flooding in Europe: The « Hydrate » research project

■ ABSTRACT

The European research project entitled HYDRATE (2006-2009), in which LCPC's Water and Environment Division participated via a collaborative initiative with the ENPC Engineering Center, was intended to improve knowledge specific to a natural hazard, namely flash floods, i.e. abrupt rises in the water level of small watercourses. Following a presentation of this project's objectives, two key research results are discussed: lessons learned from the creation of a European flash flood atlas; and conclusions drawn from the first European post flood survey carried out subsequent to Slovenia's flooding in September 2007. This project is part of a broader LCPC research program, named: "Hydrology of catchment basins and spatial orientation for flood forecasting".

* AUTEUR À CONTACTER :

Éric GAUME*
eric.gaume@lcpc.fr

INTRODUCTION

On entend par crues éclair, des crues violentes et de courte durée générées par des orages intenses. La notion de crues éclair n'est pas récente mais ce type de phénomènes, souvent très localisés et affectant des petits cours d'eau, fait l'objet d'un regain d'intérêt en Europe depuis une petite dizaine d'années. A titre d'exemple, les derniers appels d'offres de recherche européens dans le domaine de l'environnement comportaient des articles spécifiquement dédiés à l'étude, la prévention et la prévision des crues éclair à l'exception de tout autre type de crues. De même, le programme régional européen sur la gestion des crues de l'Organisation météorologique mondiale porte sur les crues éclair.

Cette attention renouvelée est le fruit d'un double constat. D'une part, les crues éclair constituent actuellement le phénomène naturel le plus destructeur et qui fait peser les menaces les plus lourdes sur les vies humaines en Europe. Les crues éclair tuent régulièrement, les crues les plus marquantes ayant été de ce point de vue celles de Lynmouth en Grande-Bretagne en 1952 (34 victimes), de Barcelone en 1962 (plus de 400 victimes), de la région du Piedmont en Italie en 1968 (58 morts),

ou encore de l'Aude en 1999 (35 victimes). Les dommages matériels sont aussi souvent très élevés : 300 millions d'euros pour la seule ville de Nîmes en 1988 (Ville de Nîmes, 1989) – soit 2000 euros en moyenne par habitant, 1,2 milliard d'euros dans le Gard en 2002 [1] ou encore 3,3 milliards d'euros dans l'Aude 1999 [2]. Ces valeurs sont à comparer au montant moyen annuel des dommages assurés liés aux catastrophes naturelles dans le monde, soit environ 40 milliards d'euros [3].

figure 1

La ville de Nîmes submergée par les crues éclair de ses cadereaux (petits cours d'eau descendant des plateaux du Gard) au matin du 3 octobre 1988. Exemple emblématique des crues éclair et de leurs conséquences en France.



D'autre part, les crues éclair restent, aujourd'hui encore, un phénomène mal connu. Elles échappent souvent aux dispositifs classiques de mesure des débits des cours d'eau, soit parce que les petits cours d'eau concernés ne sont pas équipés de systèmes de mesure, soit parce que les débits observés dépassent largement la gamme de mesures fiables des appareils (limnimètres) lorsque ceux-ci n'ont pas été tout simplement endommagés ou détruits par les flots. L'étude de ce type de crues doit donc reposer sur des valeurs de débits ou de données chronologiques reconstituées à partir de relevés de terrain : relevés de niveaux d'eau atteints, marques d'érosion indicatrices de vitesses d'écoulement, photographies, films ou récits de témoins oculaires. Des enquêtes de terrain sont souvent réalisées à la suite des crues éclair majeures. Elles se limitent le plus souvent à la cartographie des zones inondées et à une estimation du débit maximum de la crue. Des études plus approfondies cherchant à analyser la dynamique de réponse des bassins versants aux pluies intenses sont rarement conduites, de sorte que les influences possibles de facteurs comme la nature géologique du substratum des bassins versants, leur morphologie, l'occupation des sols ou encore l'antériorité pluviométrique sont encore très mal connues. Or, cette connaissance est nécessaire à l'amélioration des approches d'analyse du risque hydrologique et de prévention et des modèles de prévision des crues. Enfin, les quelques informations disponibles sur les crues éclair passées, souvent une valeur de débit maximum, sont dispersées dans des rapports techniques difficilement accessibles et rédigés dans diverses langues. En l'absence d'une banque de données centralisée, la géographie de la fréquence et de l'intensité des crues éclair en Europe, voire au sein de chaque pays européen est très lacunaire.

C'est afin de contribuer à combler ces lacunes de connaissances sur les crues éclair en Europe qu'a été engagé le projet de recherche HYDRATE qui est succinctement décrit dans ce qui suit.

LE PROJET DE RECHERCHE HYDRATE

Le projet HYDRATE a débuté en septembre 2006 ; il regroupe 14 partenaires issus de 9 pays européens, essentiellement des pays méditerranéens, alpins et d'Europe centrale : régions les plus fréquemment exposées aux crues éclair. Ce projet a trois objectifs :

- la création d'une base de données d'archive sur les crues éclair en Europe et l'analyse des données disponibles sur les crues passées ;
- le développement et la mise en œuvre de techniques d'observation pérennes des crues éclair ;
- le test d'outils de prévision des crues éclair.

Nous illustrons dans ce qui suit les résultats du projet HYDRATE sur ses deux premiers volets. La base de données d'archive a pour but de regrouper deux types d'informations : des données sommaires sur les crues majeures s'étant produites au cours des soixante dernières années et des données plus détaillées sur certaines crues généralement plus récentes. Le but de l'inventaire sommaire est de dresser un premier atlas des crues éclair majeures en Europe : quels sont les ordres de grandeurs des débits des crues éclair majeures dans diverses parties de l'Europe, quel type de pluies les génèrent, en quel saison, quelles sont les surfaces de bassins versants concernées... Ce sont les premiers résultats de l'exploitation de cet inventaire qui sont exposés dans le paragraphe suivant.

L'inventaire détaillé intègre des crues pour lesquelles des jeux de données complets sont disponibles, souvent en partie issus de retours d'expérience post-crues (cf. volet 2) : enregistrements hydrométriques et pluviométriques, données radar calibrées, estimations de débits distribuées sur les bassins versants. Ces données permettent d'envisager une étude plus approfondie des crues, en particulier de la réponse des bassins versants aux pluies et de tester des outils de prévision.

Les deux jeux de données couvrent actuellement les régions d'étude des différents partenaires du projet, à savoir la Catalogne, la région Cévennes-Vivarais, l'Italie du Nord, l'Autriche, la Slovaquie, la Roumanie et la Grèce.

Le volet 2 du projet HYDRATE, la mise en œuvre de techniques d'observation pérennes des crues éclair intègre, outre la mise en place d'observatoires hydro-météorologiques dans certaines des régions impliquant la consolidation des dispositifs de mesure existants, le test d'une méthode de retour d'expérience post-crues en vue de sa généralisation. C'est ce dernier point qui sera illustré ici à partir des résultats de la première campagne européenne de retour d'expérience conduite en novembre 2007 suite aux crues survenues en Slovaquie en septembre de cette même année. Cet exemple démontre bien toute la richesse des enseignements qui peuvent être tirés de ces enquêtes post-crues.

CONSTRUCTION D'UN ATLAS EUROPÉEN DES CRUES ÉCLAIR

Une crue a été intégrée dans la base des données sommaires dans la mesure où au moins une estimation de débit maximum était disponible à l'exutoire d'un bassin versant de moins de 500 km². Cette contrainte de surface a été imposée sachant que dans les régions considérées, les crues majeures des bassins versants de moins de 500 km² sont des crues éclair provoquées par des orages intenses. Le même critère de choix avait été retenu lors d'inventaires antérieurs [4]. Notons que cette contrainte de surface n'a pas été respectée pour les inventaires français et espagnols où des pluies intenses de large extension spatiale se sont produites durant la période considérée. La base de données compte actuellement 578 références de crues (tableau 1), sachant que plusieurs références concernant des bassins versants différents peuvent correspondre à la même date. Les données sont très variables en quantité et en qualité suivant la région. La France a constitué le cas le plus favorable : la politique de cartographie des zones inondables et de réglementation de l'occupation des sols dans les zones exposées aux risques naturels qui a été mise en place à partir de 1982 (Atlas de zones inondables et plans de prévention des risques) a été à l'origine de nombreuses études consultables, mentionnant souvent des crues anciennes de référence. À l'opposé, les inventaires espagnols et grecs sont encore très incomplets. Deux autres indices permettant de les comparer sont calculés dans le tableau 1. Il s'agit d'une part de la couverture de l'inventaire (Cov), produit de la surface par la durée de la période considérée. Sachant que ce sont les événements majeurs qui laissent le plus de traces et sur lesquels on trouve le plus d'informations, pour des régions soumises à un aléa comparable, les crues inventoriées auront une tendance à être d'une intensité supérieure dans les régions où la couverture

tableau 1
 Caractéristiques des inventaires des crues éclairs majeures réalisés dans chaque région européenne dans le cadre du projet HYDRATE (Cov : Couverture en années $\times 10^6 \text{ km}^2$, D : densité enregistrements/an/ 10^6 km^2)

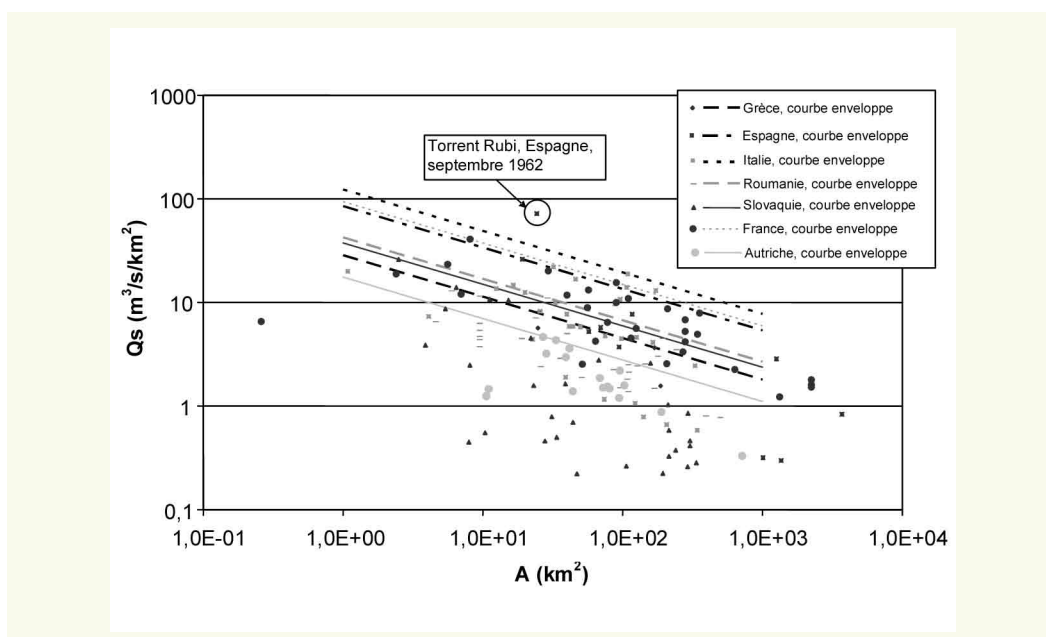
	Surface (km ²)	Nb crues	Dates	Cov	D	Échant. affiné	Dates	Cov	D
Catalogne	32 000	10	1962-2005	1,4	7	9	1971-2005	1,1	8
France	18 000	236	1953-2006	0,9	255	30	1953-2006	0,9	32
Italie	95 000	73	1968-2006	3,6	20	30	1968-2006	3,6	8
Slovaquie	49 000	52	1995-2004	0,4	120	30	1995-2004	0,4	70
Grèce	132 000	21	1960-2006	6,0	3	4	1989-2006	2,2	2
Roumanie	240 000	152	1973-2007	8,1	19	30	1979-2007	6,7	5
Autriche	85 000	34	1987-2005	1,5	22	17	1987-2005	1,5	11

est la plus forte [5]. Cet effet devrait jouer en faveur des inventaires italiens et roumains. La densité (D), nombre d'enregistrements divisé par la couverture, est une mesure de l'intensité et du niveau de représentativité de l'inventaire réalisé. Ce sont de loin les inventaires français et slovaques qui sont les plus denses. Afin de tenter d'homogénéiser les jeux de données, un échantillon affiné des 30 plus fortes crues a été extrait pour chaque région avec la contrainte de ne pas retenir plus de deux valeurs de débits par date.

Enfin, les inventaires diffèrent aussi par la qualité des informations et en particulier le niveau de fiabilité des estimations de débits de crues. Certains inventaires contiennent majoritairement des données concernant des bassins versants jaugés : équipés de dispositif de mesure des débits. C'est le cas de la Slovaquie et de la Roumanie. Dans tous les cas cependant, les débits les plus importants concernent majoritairement des bassins versants non jaugés et ont été reconstitués à partir de données de terrains collectées après les crues, à l'exception de l'Autriche où seules des données sur bassins jaugés étaient disponibles. Ce fait souligne l'importance de la collecte d'informations sur des bassins non jaugés pour l'étude des crues éclair et valide *a posteriori* la démarche du projet HYDRATE.

Compte tenu du niveau des incertitudes associées aux débits reconstitués et en particulier des risques de surestimation, une analyse critique des données a été conduite : cohérence avec les informations disponibles sur les pluies, cohérence régionale des débits, comparaison avec des inventaires antérieurs.

figure 2
 Comparaison des débits spécifiques des crues des inventaires régionaux (Q_s en $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) en fonction de la surface des bassins versants (A en km^2) et courbes enveloppes des débits maximum associées.

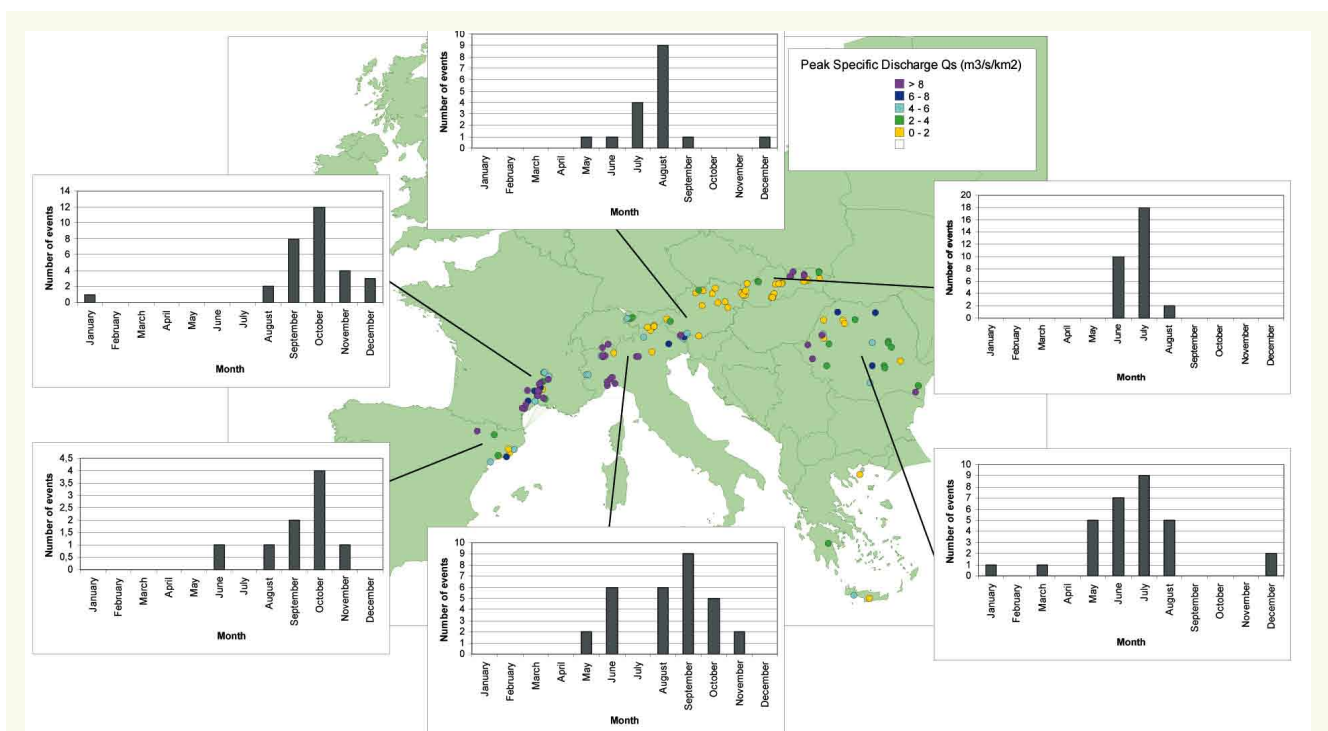


Cette analyse critique n'a pas révélé de surestimation manifeste à l'exception du débit estimé pour la crue du Rubi à Barcelone en 1962 qui se démarque très nettement des autres valeurs. En dehors de cette donnée, les inventaires apparaissent remarquablement cohérents comme l'illustre la **figure 2**. Les courbes enveloppes des débits des régions méditerranéennes et des régions d'Europe continentale sont très proches, les deux ensembles se démarquant nettement : les débits maximums répertoriés en régions méditerranéenne sont plus de deux fois supérieurs à ceux de l'Europe centrale quelle que soit la surface du bassin versant. Le fait que dans chaque sous-ensemble l'Italie et la Roumanie dominent légèrement peut s'expliquer par la couverture supérieure de ces deux inventaires.

Ces débits inventoriés sont de plus cohérents avec ceux d'inventaires précédents réalisés à l'échelle planétaire [6-11]. Notons que moins d'une vingtaine de crues répertoriées dépassent par leur débit les courbes enveloppes méditerranéennes de l'inventaire du projet HYDRATE, signe que cette région est, au monde, l'une de celles où les crues éclair sont les plus intenses.

La **figure 3** donne un autre aperçu de la base de données et de la géographie des crues éclair en Europe. On y distingue clairement la plus forte concentration de crues aux débits spécifiques élevés en région méditerranéenne et en particulier en France et en Italie. Cette répartition apparaît même hétérogène au sein de certaines régions et notamment en Italie, les régions du Piedmont et de la Ligurie présentant une plus forte densité de crues très intenses. Une analyse statistique poussée de l'échantillon français complet a permis de confirmer des différences significatives de distribution statistique des débits de crues entre les Cévennes et les plaines du Rhône et du Languedoc [12]. Au-delà de la fréquence et de l'intensité des crues éclair, leur répartition au cours de l'année marque aussi la géographie de ce type de crues en Europe. La nette saisonnalité des crues extrêmes répertoriées est frappante. Toutes les crues éclair majeures de la région Cévennes-Vivarais se sont produites, sans exception, à l'automne, principalement aux mois de septembre et octobre, mais l'influence automnale pouvant s'étendre suivant les années entre les mois d'août et de janvier. Cette répartition reste valable si l'échantillon complet des crues est considéré ; il s'agit donc d'une tendance forte. La répartition saisonnière des crues est très similaire en Espagne, à l'exception d'une crue observée au mois de juin. A l'opposé, les principales crues éclair d'Europe continentale se produisent quasi exclusivement en été, voire en fin de printemps. L'Italie occupe une position intermédiaire avec une prédominance de crues d'automne mais un nombre significatif de crues de printemps.

figure 3
Localisation et débits spécifiques des crues des échantillons affinés d'HYDRATE et répartition de ces crues au cours de l'année.



Les phénomènes météorologiques à l'origine des crues éclair diffèrent donc entre les régions ; le terme générique de crue éclair recouvre une diversité de configurations météorologiques et hydrologiques. Les pluies intenses et persistantes d'automne délivrant des cumuls importants d'eau sont une spécificité méditerranéenne. Notons que certains épisodes de pluie comparables se sont produits au printemps dans la région du Piedmont. En revanche, les orages intenses estivaux, à l'origine des crues éclairs d'Europe continentale, n'induisent pas de crues exceptionnelles en région méditerranéenne, à l'exception peut-être des régions arides de l'Espagne. Les conditions initiales d'humidité des bassins versants au moment des pluies, elles-mêmes fortement conditionnées par le climat, déterminent certainement fortement leur réaction lors des pluies [13]. Même en automne, des cumuls de plusieurs centaines de millimètres sont nécessaires pour induire des crues majeures de bassins versants méditerranéens végétalisés comme l'illustre la base de données HYDRATE et l'ont démontré des études post-crues récentes [14–16], alors que les crues éclair majeures d'Europe continentale sont déclenchées par des pluies dont les cumuls dépassent rarement 100 millimètres.

Ces premiers résultats d'analyse très encourageants engagent à poursuivre la construction de cet atlas européen. Ils ouvrent des pistes pour la compréhension des conditions, variables suivant les influences climatiques, de genèse des crues éclair intenses. Les apports possibles de campagnes spécifiques de collecte et d'interprétation de données hydrologiques à la suite de crues éclair majeures, dans le but de mieux comprendre les mécanismes et la cinétique de la genèse des écoulements, sont illustrés dans le paragraphe suivant.

L'IMPORTANCE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE HYDROLOGIQUES

Les crues éclair concernent souvent des cours d'eau non jaugés. Par ailleurs, les réactions hydrologiques de différents affluents et secteurs d'un bassin versant à l'amont d'une station de mesure des débits peuvent être très variables en fonction de leur caractéristiques géologiques, morphologiques et d'occupation des sols et de la répartition spatiale et temporelle des pluies. L'étude hydrologique détaillée de la réaction des bassins versants lors de crues éclair ne peut donc reposer sur les seuls réseaux d'observations hydrométriques pérennes ou quelques estimations isolées de débit maximum [17, 18]. Une méthodologie de retour d'expériences post-crues a été proposée dans le cadre du projet de recherche européen Floodsite [19] et testée en France et en Italie notamment [13]. Cette méthode décrit le type de données qui peuvent être collectées à la suite de crues éclair et la manière dont elles peuvent être exploitées. L'un des objectifs du projet HYDRATE est de généraliser et d'homogénéiser les retours d'expériences post-crues pour multiplier les exemples de crues documentées à l'échelle européenne.

Les crues qui ont touché la Slovénie les 18 et 19 septembre 2007 et plus particulièrement le bassin versant de la Selščica Sora en amont des communes de Zelezniki (3 victimes) et Skofia Loka à une centaine de kilomètres au nord-ouest de la capitale Ljubljana ont été l'occasion de conduire la première campagne européenne de retour d'expérience post-crue. Une vingtaine de chercheurs de 8 nationalités ainsi que des ingénieurs du ministère slovène de l'Environnement se sont retrouvés durant une semaine sur le terrain en novembre 2007 pour cartographier les écoulements sur ce bassin versant, relever les glissements de terrain, laves torrentielles et traces d'érosion et de dépôts de sédiments dans le lit du cours d'eau et collecter des témoignages et des documents historiques, photographies et films.

Le bassin versant de la Selščica Sora est un bassin alpin aux versants à très forte pentes. Son point culminant se situe à 1678 mètres, l'altitude de la vallée étant d'environ 450 mètres à Zelezniki et 350 mètres à Skofia Loka. Son substratum est constitué essentiellement de schistes et ardoises recouverts d'un sol très peu épais, se limitant parfois à quelques centimètres d'humus. La généralisation des glissements de terrain, érosions localisées, et des laves torrentielles ayant accompagné la crue de septembre 2007 et visiblement récurrents sur ce bassin versant, indique cependant que ces schistes sont fortement fracturés et fragmentés en surface et que les versants fracturés se saturent en eau durant les pluies induisant des glissements de terrain (cf. [figure 4](#)).

figure 4

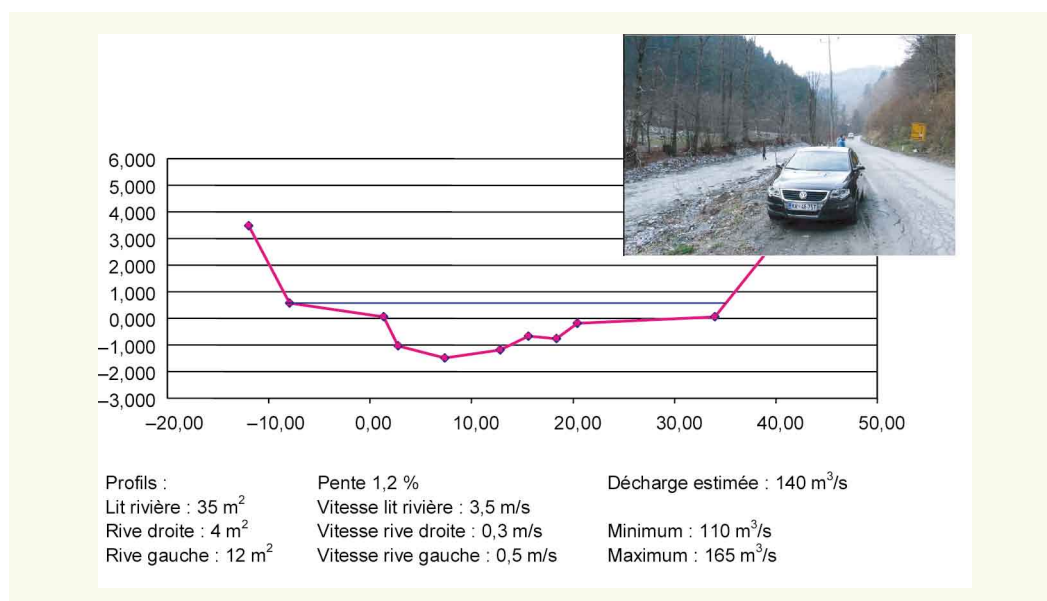
Cône de déjection d'une lave torrentielle d'un des affluents de la Selšćica Sora.



Le bassin versant de la Selšćica Sora couvre une centaine de kilomètres carrés en amont de Zelezniki et 220 km² à Skofia Loka. La plupart des informations, en particulier les levés de sections d'écoulement et les estimations de débit maximum correspondants (figure 5) ont été collectées en amont de Zelezniki.

figure 5

Exemple de levé de section d'écoulement (photographie du site et section levée) et détails du calcul d'estimation du débit correspondant pour un affluent de la Selšćica Sora.

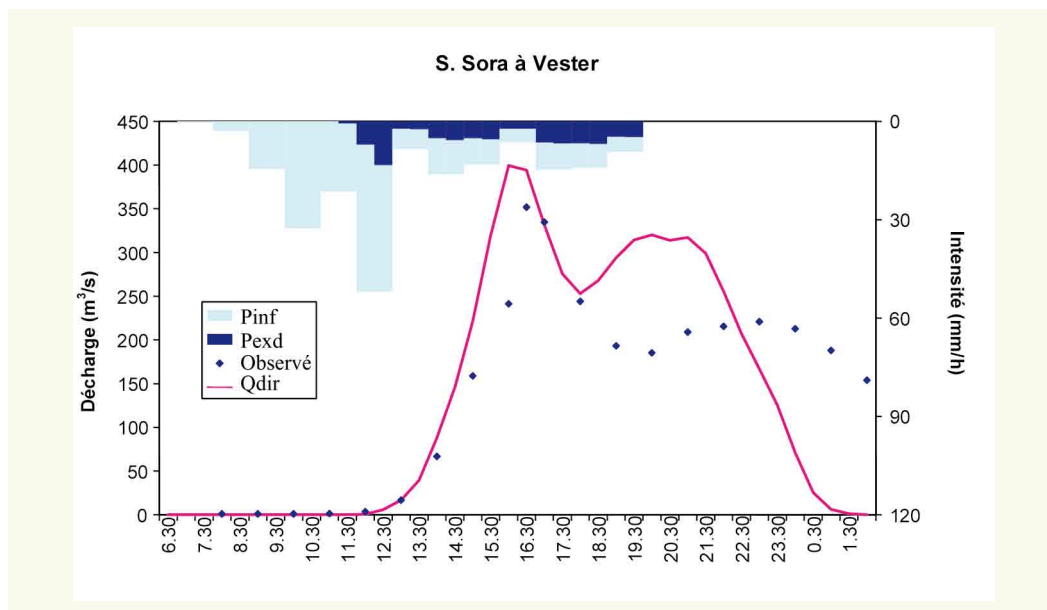


Le seul pluviomètre existant sur le bassin versant a mesuré un cumul de pluie de 303 millimètres en moins de 24 heures le 18 septembre (figure 6), les pluviomètres environnant ayant enregistré environ 200 millimètres, signe de pluies relativement homogènes dans ce secteur. Il existe une station limnimétrique (mesure en continu de hauteurs d'eau et estimation de débit) en amont de Skofia Loka. Le débit maximum de la crue au niveau de cette station est estimé à 350 m³/s, soit 1,6 m³/s/km² ou encore l'équivalent de 5,7 mm/h dans une unité comparable à celle des intensités de pluie.

Les estimations de débits réalisées sur le bassin versant sont relativement homogènes et cohérentes avec cette estimation aval. Les débits spécifiques décroissent de l'amont vers l'aval et se situent entre 4 m³/s/km² (15 mm/h) sur les bassins amont et 2 m³/s/km² (7,5 mm/h) en amont immédiat de Zelezniki. Les débits maximums ont été observés, selon les témoins oculaires, entre 11h30 et 13h00. Ils sont donc concomitants des pluies les plus intenses. Or la comparaison des intensités maximales des pluies, de l'ordre de 50 mm/h, et de ces valeurs de débits indique que seuls 30 % des pluies au plus ont été efficaces (i.e. se sont écoulées immédiatement) et que 70 % des pluies brutes se sont

figure 6

Pluies brutes mesurées sur le bassin versant de la Selšćica Sora les 18 et 19 septembre 2007 (bleu clair) et pluies efficaces estimées (bleu foncé), débits mesurés en amont de Skofia Loka (points) et débit simulé (trait continu).



infiltrées dans les versants. Une tentative de modélisation de la crue observée en amont de Skofia Loka (figure 6) conduit aux mêmes conclusions. L'hydrogramme de la crue ne peut s'expliquer que par la rétention sur le bassin versant de la majeure partie des pluies incidentes : le rendement moyen d'écoulement sur le bassin versant amont (rapport entre les pluies efficaces et les pluies brutes) semble n'avoir guère dépassé 20 %. Les débits ne décroissent que très progressivement après l'interruption des pluies durant les quelques jours qui suivent, indiquant qu'une part importante de ces volumes d'eau, qui se sont infiltrés, sont restitués assez rapidement par drainage des versants.

Cette forte capacité d'infiltration – près de 40 mm/h en pointe – et de stockage – plus de 200 millimètres selon les essais de modélisation – est inattendue compte tenu de la nature géologique du substratum (schistes) et de la faible épaisseur des sols. Elle est comparable à celle qui a été évaluée lors de l'analyse de crues récentes dans l'Adige de l'autre côté de la frontière italienne [13] et l'Aude [20] dans des bassins versants calcaires, et très supérieures à celle des bassins marno-calcaires des plateaux du Gard [14, 20]. Elle explique, les débits maximums au final assez modérés observés lors de cette crue, et d'une manière générale sur ce bassin, la crue de 2007 étant la plus forte crue de la Selšćica Sora répertoriée depuis la fin du XIX^e siècle. Tous les débits estimés se trouvent en effet nettement en dessous des courbes enveloppes de la figure 2. Cette étude de cas illustre l'influence de la géologie sur le comportement hydrologique des bassins versants même lors d'épisodes de crues exceptionnels et donc sur l'aléa hydrologique. Il rappelle aussi, comme dans le cas des crues du Gard en 2002 [14, 20] que la nature met souvent le « bon sens » à l'épreuve : de fortes pentes et un substratum supposé imperméable n'impliquent pas nécessairement une forte réactivité aux pluies. Le niveau de fracturation et d'altération des roches et l'épaisseur des formations superficielles peuvent jouer un rôle tout aussi important.

CONCLUSIONS

Dans le domaine de l'hydrologie et des risques naturels, les crues éclair restent un champ de recherche encore largement inexploré. De nombreuses données sur ce type de crues existent et peuvent être rassemblées et analysées comme l'illustrent les deux exemples présentés dans cet article. Ces données ont longtemps été négligées par les scientifiques car non issues de mesures directes et donc considérées comme peu fiables et par ailleurs fastidieuses à rassembler. Les projets tel qu'HYDRATE témoignent de l'évolution des approches de la recherche dans ce domaine pour le plus grand profit de la connaissance scientifique et par conséquent des politiques de prévention contre les inondations.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 HUET P., MARTIN X., PRIME J.-L., FOIN P., LAURAIN C., CANNARD P., Retour d'expériences des crues de septembre 2002 dans les départements du Gard, de l'Hérault, du Vaucluse, des bouches du Rhône, de l'Ardèche et de la Drôme. Inspection générale de l'Environnement. Paris. France, **2003**, 124 p.
- 2 LEFROU C., MARTIN X., LABARTHE J.-P., VARRET J., MAZIÈRE B., TORDJMAN R., FEUNTEUN R., Les crues des 11, 12 et 13 novembre 1999 dans les départements de l'Aude, l'Hérault, les Pyrénées orientales et du Tarn. Inspection générale de l'Environnement. Paris. France, **2000**, 140 p.
- 3 MÜNICH RE GROUP, Annual review: Natural catastrophes 2002. Münich Re Group, Münich, Germany, **2003**, 62 p.
- 4 STANESCU V.A., The extreme floods in Europe: an analysis of their occurrence and regionalization. Unpublished note, **2000**.
- 5 CASTELLARIN A., Probabilistic envelope curves for design flood estimation at ungauged sites. *Water Resources Research*, **43**, **2007**. W04406, doi:10.1029/2005WR004384.
- 6 PARDÉ M., Sur la puissance des crues en diverses parties du monde. *Geographica*, **8**, **1961**, 1-293.
- 7 UNESCO, World catalogue of very large floods. The Unesco Press, **1976**.
- 8 RODIER J.A., ROCHE M., *World catalogue of maximum observed floods*. IASH Publication number **143**, **1984**, IASH Press.
- 9 MIMIKOU, Envelope curves for extreme flood events in north-western and western Greece. *Journal of Hydrology*, **67**, **1984**, 55-66.
- 10 COSTA J.E., A comparison of the largest rainfall-runoff floods in the United States with those of the People's Republic of China and the World. *Journal of Hydrology*, **69**, **1987**, 101-115.
- 11 GUTKNECHT D., Extremhochwasser in Kleinen Einzugsgebieten. *Osterreichische Wasser und Abfallwirtschaft*. **46** (3/4), **1994**, 50-57.
- 12 NEWINGER O., Inventaire et analyse des crues éclair du Sud de la France de 1950 à 2007. Master thesis, Université Pierre et Marie Curie, Paris, **2007**, France.
- 13 BORGA M., GAUME E., Hydrological processes and flash flood generation: new observations and concepts. *Proceedings of the 32nd IARH congress*, **2007**, Venice.
- 14 DELRIEU G., DUCROcq V., GAUME E. ET AL., The catastrophic flash-flood event of 8-9 September 2002 in the Gard region, France: a first case study for the Cévennes-Vivarais mediterranean hydro-meteorological observatory. *Journal of Hydrometeorology*, **6**, **2004**, 34-52.
- 15 GAUME E., LIVET M., DESBORDES M., VILLENEUVE J.-P., Hydrological analysis of the river Aude, France, flash flood on 12 and 13 November 1999. *Journal of Hydrology*, **286**, **2004**, 135-154.
- 16 COSANDEY C., La crue du 22 septembre 1992 sur le Mont Lozère. *Revue de géomorphologie dynamique*, **2**, **1993**, 49-56.
- 17 ALCOVERRO J., COROMINAS J., GÓMEZ M., The Barranco de Arás flood of 7 August 1996 (Biescas, Central Pyrenees, Spain). *Engineering Geology*, **51**, **1999**, 237-255.
- 18 COSTA J.E. Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. *Journal of Hydrology*, **93**, **1987**, 313-338.
- 19 GAUME E., Post Flash flood investigation, methodological note. EC FLOODsite project report D23.2., **2006**, 62 pages.
- 20 GAUME E., BOUVIER C., Analyse hydro-pluviométrique des crues du Gard et du Vidourle des 8 et 9 septembre 2002. *La Houille Blanche*, **6**, **2004**, 99-106.
- 21 Ville de Nîmes, *Nîmes le 3 octobre 1988*. Editions Notre Dame, Nîmes, **1989**.
- 22 MERTZ R., BLÖSCHL G., A process typology of regional floods. *Water Resources Research*, **39**, (12), **2003**, 1340, doi:10.1029/2002WR001952.

