

Fédération de Recherche ECCOREV - Appel d'offres 2013

Séminaire de restitution

ICARE – Identification et CARtographie des informations nécessaires pour l'évaluation de l'Efficacité des mesures de protection contre les crues torrentielles

Axe de rattachement : Risques et Informations

Porteur du projet : Irstea Aix-en-Provence

Correspondant : Corinne Curt – corinne.curt@irstea.fr – Tél : 04.42.66.99.38

Partenaire : LIEU – IUAR

Correspondant : Aurélie Arnaud

Résumé

1. Introduction

Le bassin méditerranéen est un terrain particulier soumis à de nombreux risques naturels majeurs et particulièrement vulnérable du fait de la forte urbanisation de ses côtes et de ses cours d'eau. S'ajoute à ce constat, un contexte économique et social particulier provoquant une amplification des phénomènes du fait d'activités anthropiques ou d'effets domino si ces phénomènes atteignent des sites sensibles. Dans ce projet, nous nous intéressons plus spécifiquement au phénomène de crues torrentielles qui peuvent menacer les enjeux situés à leur aval : personnes, infrastructures, habitations, milieux naturels, et avoir des conséquences socio-économiques importantes. De nombreux phénomènes ont été recensés dans la région PACA, certains particulièrement graves.

Pour réduire les risques induits par ces aléas naturels, des mesures structurelles (ouvrages de protection) et non structurelles (occupation du sol, alerte, gestion de crise et information au public) sont mises en œuvre sur les territoires concernés. Plusieurs acteurs aux domaines de compétence et responsabilités différents sont impliqués dans la gestion de ces risques : experts, élus, grand public, services de secours... La plupart d'entre eux ont un rôle de décideurs et sont confrontés à des problèmes délicats concernant la détermination des zones menacées, les zones critiques pour la protection, l'efficacité des ouvrages de génie civil, la gestion des secours durant la crise...

Les décisions sont prises sur la base de données et informations¹ qui concernent différentes composantes du risque (aléa, ouvrages de protection, enjeux) et différentes phases de la gestion du risque (prévision, prévention, crise, réparation). L'ensemble du bassin-versant équipé de plusieurs ouvrages de protection et des enjeux à l'aval est considéré. Compte-tenu de la complexité de ce système, ces informations sont nombreuses, hétérogènes, dispersées, multi-sources et imparfaites. Elles sont en outre plus ou moins disponibles et utiles pour un acteur donné et pour un objectif donné (par exemple l'Etat a, entres autres, pour objectif de déterminer les zones habitables ce qui nécessite de posséder des informations particulières associées). Ainsi se pose la question de savoir « quelle information doit être donnée, dans quel but, à quel acteur et à quel moment ? » pour gérer les risques. Le projet ICARE vise à apporter de premières réponses en proposant des méthodes de détermination, de structuration et de valorisation des informations liées au risque torrentiel en considérant leur utilité et leur disponibilité pour chaque acteur concerné. Nous illustrons cette démarche pour une commune concernée par le risque de crue torrentielle.

¹ Dans la suite, par « informations » on entend sans distinction données et/ou informations

2. Approche et illustrations

La démarche que nous avons développée comporte cinq phases.

La première phase est une identification, à partir de la littérature et par recueil sur le terrain, des différents acteurs qui interviennent dans la gouvernance du risque torrentiel et des informations qui leur sont utiles et ce, pour chacune des 4 phases du risque et pour chacun des 3 domaines (aléa, ouvrage, enjeux exposés). Des listes de données utiles sont établies pour chaque trinôme (acteur, phase, domaine). Ainsi d'une à douze listes peuvent être affectées à chaque acteur. Les acteurs suivants ont été considérés : Expert Aléa, Expert Ouvrages, Etat, Décideurs-Elus, Services de secours, Office du Tourisme, Associations et syndicats, Grand Public.

Ces données pouvant être très nombreuses dans chaque liste, il est nécessaire de les structurer en groupes (2^{ème} phase). Des groupes de données sont tout d'abord formés en fonction du domaine auquel elles réfèrent (aléa, protection, enjeux) pour un acteur et une phase de risque donnés puis présentés sous forme d'arbre. La Figure 1 présente des arbres de structuration des données concernant les ouvrages pour deux acteurs différents (élus et experts en ouvrages). Les experts manipulent logiquement plus d'informations concernant les ouvrages que les élus.

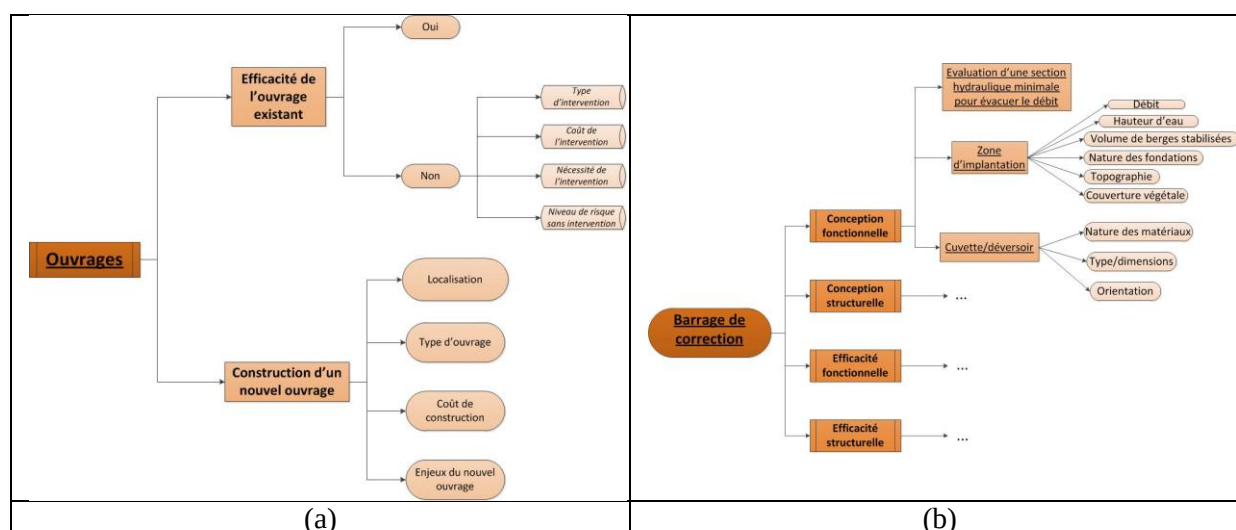


Figure 1 : structuration des données sur les ouvrages utiles aux élus (a) et aux experts en ouvrages (b)

Au regard des caractéristiques variées des données (différents formats, différentes sources...) apparaît également la nécessité de les formaliser, de les rendre compatibles (des données seront agrégées lors de la prise de décision) et de rendre leur utilisation reproductible. Pour cela, nous élaborons des indicateurs permettant de structurer les données brutes (3^{ème} phase). Le recueil est effectué auprès des experts de chacun des domaines. La Figure 2 donne un exemple d'indicateur formalisé.

Des validations des formalisations sont ensuite conduites auprès des experts des différents domaines considérés.

La représentation des informations dans un SIG est la dernière phase. Des essais ont été réalisés pour une commune soumise au risque torrentiel (description succincte de la commune en § 3).

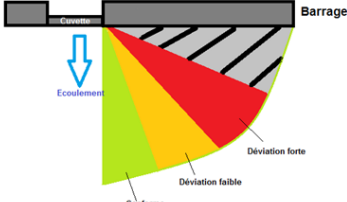
Nom	Orientation de la cuvette
Définition	L'orientation de la cuvette peut entraîner une déviation de l'angle de l'écoulement
Echelle et référence	Echelle qualitative (proposition) : évaluation de l'angle de déviation du flux 
Caractéristique de lieu	Pied de barrage/berges
Caractéristique de temps	A chaque inspection

Figure 2 : exemple d'indicateur formalisé (utile aux experts en ouvrages)

3. Les dissonances : une source supplémentaire de risque

Un test en vraie grandeur sur une commune française a été mené afin de rencontrer différents acteurs du risque torrentiel et leur soumettre les résultats présentés dans la section précédente. Cette commune est soumise au risque de crue torrentielle et le torrent est équipé de nombreux ouvrages de protection. Une crue récente a provoqué d'importants dégâts (1m60 de hauteur de boue relevé à l'intérieur de maisons construites proches du torrent, bloc de béton arraché à un ouvrage par la crue et retrouvé dans l'une de ces maisons...). Une étude hydrologique a été réalisée peu après, sur demande de la mairie, et des enrochements ont été construits pour protéger le lotissement de maisons impacté. Nous avons questionné deux groupes d'acteurs : des élus pour lesquels nous présentons, ci-dessous, l'essentiel des résultats et un expert en ouvrage. De manière générale, les acteurs interviewés ont trouvé pertinente la démarche de collecte et de représentation des informations utiles.

Les entretiens avec le maire et deux élus nous ont permis de confronter les arbres réalisés avec les besoins de ces acteurs en informations concernant la gestion du risque torrentiel. Il en ressort des incertitudes associées aux informations disponibles. Notre approche a permis d'identifier quatre informations utiles aux décideurs-élus pour gérer l'aléa torrentiel. Or, les décideurs-élus que nous avons interrogés identifient actuellement une cinquième variable qui concerne l'alerte en cas de déclenchement d'une crue torrentielle. Les crues torrentielles ont la particularité d'être soudaines avec des temps de propagation très réduits. L'alerte est donc rarement possible. Toutefois, la présence d'une caméra installée sur un des ponts du torrent et probablement le fait qu'il existe quelques équipements du type feu de signalisation coupant les routes en cas de lave torrentielle dans d'autres communes induit les élus à penser que cette caméra est un outil qui pourrait déclencher une alerte en cas de crue. Or, celle-ci est un dispositif qui filme la battance (transfert) de l'eau pour des besoins de recherche. Cette information est jugée utile et disponible mais au final ne l'est pas.

Il ressort aussi de l'étude une demande pour des données utiles mais non disponibles ou supposées non disponibles. Ainsi, la fréquence des crues torrentielles est mal perçue bien que celle-ci soit disponible et détaillée dans l'étude hydrologique : cette dissonance provient probablement du fait que l'étude hydrologique n'a pas été rédigée à destination des élus, et qu'elle possède une précision scientifique qui ne permet pas une compréhension claire de la période de retour pour des non-spécialistes.

Production - Valorisation

1. Production

1.1 Rapport de stage de master

Ferrer L. (2013). Détermination et représentation géographique des informations nécessaires pour l'évaluation de l'efficacité des mesures de protection contre les crues torrentielles. Mémoire de master GERINAT, 32p.

1.2 Communications à congrès

Ferrer L., Curt C., Tacnet JM, Arnaud A. (2014). Gestion du risque torrentiel : quelles données pour quels acteurs ? Lambda-Mu 19, Dijon, 21-23/10/2014.

2. Suites données au projet

2.1 Projet accepté

Thèse de Laetitia Ferrer intitulée « Formalisation, représentation et analyse de la qualité des informations nécessaires pour l'évaluation des risques naturels – Application aux crues torrentielles » (1/2 bourse de thèse DG Irstea + 1/2 bourse de thèse Région PACA) – Démarrage le 01/10/2014.
Partenariat : **Irstea** – G2C – **DESMID** – **IUAR**

2.2 Projet soumis

INQUA – New technologies for INformation QQualification and Acquisition – Application to mountain risks – Soumis à appel d'offres générique ANR 2015 (D9 – Liberté et sécurité de l'Europe, de ses citoyens et de ses résidents - Axe 3 – Risques, gestion de crise quelle que soit son origine et résilience)
Partenariat : **Irstea** (leader projet) – Partenaire FR Eccorev : **IUAR**

GESTION DU RISQUE TORRENTIEL : QUELLES DONNEES POUR QUELS ACTEURS ?

TORRENTIAL RISK MANAGEMENT: WHICH DATA FOR WHICH ACTORS?

Laetitia Ferrer et Corinne Curt

Irstea Aix en Provence
UR Ouvrages Hydrauliques
et Hydrologie
3275, route de Cézanne -CS 40061
13100 Aix en Provence
CEDEX 5 France
FR Eccorev

Aurélié Arnaud

Aix Marseille Université
IUAR, LIEU
2 avenue Henri Poncet
13182 Aix en Provence
FR Eccorev

Jean-Marc Tacnet

Irstea Grenoble
UR Erosion Torrentielle
Neige et Avalanches
Domaine Universitaire,
2 rue de la Papeterie
38402 Saint Martin d'Hères

Résumé

La gestion des risques naturels est conditionnée par les prises de décision des acteurs concernés. Leurs décisions sont cependant prises sur la base de données et informations pouvant être nombreuses, hétérogènes et imparfaites. Il apparaît alors capital de valoriser l'information en fournissant des outils d'aide à la décision permettant une gestion durable du risque. Cet article initie cet objectif en proposant des méthodes de détermination, de structuration et de valorisation des informations liées au risque torrentiel en considérant leur utilité et leur disponibilité pour chaque acteur concerné. Les travaux proposent une structuration des données sous forme d'arbres et une formalisation de données à l'aide d'indicateurs. Une analyse conduite auprès de différents acteurs d'une commune touchée par des crues torrentielles, montre des dissonances notamment entre données disponibles et données supposées disponibles et données disponibles et données utiles. Ces méthodologies et résultats sont réalisés dans le but de fournir aux décideurs et gestionnaires du risque torrentiel un outil centralisant l'information pouvant faciliter leur prise de décision.

Abstract

Natural hazards management depends on decisions made by risks players. However their decisions are made on numerous, heterogeneous and scattered data bases and information. Then it seems capital to valorize the information by providing decision support tools that enable a sustainable risk management. This article initiates this purpose by proposing methods of identifying, structuring and valuating information related to torrential risk considering their usefulness and availability regarding each actor involved. Those works propose a structuring of data using trees and a formalization of data using indicators. A real life test is also performed with the stakeholders group of a city affected by torrential floods. Those methodologies and results are carried-out in order to provide decision makers and managers of torrential risk a tool that centralizes information ; the final aim is to facilitate their decision-making.

Les données et informations, supports de la gestion du risque

1 Risque torrentiel

Plusieurs fois par an, le monde subit des désastres induits par les risques naturels. Ces risques peuvent être d'origine géologique comme les avalanches, les séismes ou les éruptions volcaniques, hydrologiques (inondations ou tsunami) et climatiques tels que les tornades, les cyclones, les intenses précipitations... Ces dernières peuvent causer des crues torrentielles ou des crues éclairs particulièrement dommageables. Ce fut par exemple le cas à Madeira ou à Rio de Janeiro en 2010, ou plus récemment dans les Pyrénées en France en 2013. Les crues éclairs tuent plus de personnes dans le monde que toute autre catastrophe naturelle (plus de 5 000 décès chaque année) et causent des millions de dollars en dommages matériels (World Meteorological Organisation, 2007). Dans cet article, nous nous penchons spécifiquement sur ce risque torrentiel.

Le risque s'établit selon une définition classique, avec les notions d'aléa et de vulnérabilité: Risque = Aléa $\otimes$ Vulnérabilité. La première notion s'intéresse à la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel d'une certaine intensité dans un espace donné tandis que la suivante traduit la fragilité du système considéré.

Les crues torrentielles constituent des menaces pour les enjeux humains et matériels car les matériaux transportés par celles-ci se déposent préférentiellement dans les cônes de déjection là où les populations sont préférentiellement installées (Tacnet, 2009). C'est un phénomène gravitaire soudain, entraînant le transport de particules de grandes dimensions allant jusqu'à des blocs rocheux de plusieurs tonnes. Pour réduire les risques induits par ces crues, des mesures structurelles et non structurelles sont mises en œuvre. Les mesures structurelles (ou mesures de protection) correspondent à la réalisation d'ouvrages de protection qui visent soit à limiter de manière active l'intensité du phénomène (barrages de correction torrentielle), soit à limiter les conséquences ou effets sur les enjeux dans le cadre de stratégies passives (barrages de sédimentation) (Deymier, 1995).

Les mesures non structurelles concernent la restauration des couverts végétaux sur les versants pour limiter leur érosion, ainsi que les différentes mesures élaborées au niveau des enjeux telles que la gestion de l'occupation du sol (plans de prévention), la prévention du public, l'organisation des secours lors de la crise... Par exemple les Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) sont des documents réalisés par l'Etat qui réglementent l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis et notamment le risque de crues torrentielles. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions. Ainsi lorsque l'on s'intéresse à la gestion du risque torrentiel, 3 grands domaines d'études sont à considérer : le phénomène crues torrentielles et de son aléa (géomorphologie, hydrologie...), les ouvrages de protection et les éléments exposés aux crues torrentielles (étude de vulnérabilité).

2 Une gestion pluri-acteurs, pluri-phases et pluri-données

Différents acteurs façonnent ainsi le territoire et ce sont les projets qu'ils construisent et qu'ils mènent à bien qui le font évoluer (Arnaud, 2009). Plus particulièrement, plusieurs acteurs issus de différents domaines de compétence et aux responsabilités différentes sont impliqués dans la gestion des risques naturels : experts, élus, grand public, services de secours... Certains d'entre eux ont un rôle de décideurs. Ces derniers sont confrontés à des problèmes délicats concernant la détermination des zones menacées, les zones critiques pour la protection, l'efficacité des ouvrages de génie civil, la gestion des secours durant la crise... Par ailleurs en matière d'intervention publique dans le domaine des risques, le local est au centre des attentions. En tant qu'échelon au plus près du risque, il devient sujet de régulation pour l'ensemble des acteurs (Boudières, 2006).

Les décisions sont prises sur la base de données et informations qui concernent différentes composantes du risque et différentes phases de la gestion du risque (préparation, crise...).

Celle-ci se décompose en plusieurs phases d'actions. Il existe deux phases majeures précédant la gestion de la crise qui sont les phases de Prévision et de Prévention. La phase de Prévision se traduit par la conduite d'études scientifiques ou d'études de danger et la phase de Prévention par le dimensionnement d'ouvrages de protection, l'élaboration de documents d'urbanisme ou la réalisation de documents informatifs... La troisième phase concerne la Crise et prend en compte aussi bien le moment de l'alerte que la gestion de la crise elle-même. Enfin la dernière phase globale est la phase de Réparation qui se traduit par plusieurs actions telles que la reconstruction des biens endommagés, l'analyse de la catastrophe avec des retours d'expérience ou les indemnités. La nature de l'information dans la gestion du risque diffère selon la phase du risque concernée. La phase de Prévision qui précède la crise comprend par exemple l'information associée à la compréhension du risque. Pour la phase de l'Alerte, au cours de laquelle un phénomène se produit, seules des informations permettent aux acteurs de se préparer physiquement et psychologiquement pour protéger leur territoire en cas d'aggravation. Quant aux phases post-phénomènes, des informations vont également être nécessaires pour permettre aux acteurs de réparer, voire reconstruire le territoire (Retour d'expérience, Plan de reconstruction...). La connaissance portant sur les risques naturels, ici sur les crues torrentielles et la prise de décision qui doit en résulter reposent donc sur de nombreuses données et informations possédant des caractéristiques différentes mais auxquelles les acteurs doivent pourtant s'adapter.

Plusieurs éléments caractérisent ces données et informations ; ils peuvent entraîner des difficultés dans la prise de décision. Les données manipulées sont ainsi :

- *couramment dispersées* ; *très nombreuses* lorsque l'on considère les enjeux, par exemple, de nombreux éléments peuvent être exposés au phénomène et il faut donc tous les prendre en compte à différentes échelles (population, habitation, réseaux...) ; *multi-formats* comme des cartes, des données chiffrées... Les formats ne sont pas forcément compatibles mais les acteurs doivent pourtant s'y adapter ; *multi-sources* si plusieurs experts ont fait une analyse par exemple et dans ce cas, elles peuvent être conflictuelles ;
- plus ou moins *disponibles* et *utiles* pour un acteur donné et pour un objectif donné (par exemple l'Etat a, entres autres, pour objectif de déterminer les zones habitables (PPR) ce qui nécessite de posséder des informations particulières associées). L'utilité d'une information est l'aptitude de celle-ci à satisfaire un besoin ou à créer les conditions favorables à cette satisfaction. Une information disponible est une information dont on peut disposer, que l'on peut utiliser librement (Larousse, 2013). Par exemple, les informations peuvent être disponibles mais non utilisées car trop spécifiques d'un domaine : des experts réalisent des rapports très techniques qui constituent une des seules sources d'informations disponibles pour les acteurs locaux alors que ces informations ne sont pas forcément compréhensibles par eux du fait de l'éloignement des compétences de ces deux groupes d'acteurs (Théso'risk, 2007). Ces dissonances entre disponibilité et utilité peuvent être liées à des situations cyndiniques. Celles-ci permettent de mettre en avant des dangers imperceptibles qui sont liés au comportement de chacun des réseaux d'acteurs intervenant dans un système ainsi que «leurs enchevêtrements qui font la complexité des sociétés humaines» (IMDR, 2011). Les données disponibles peuvent également être inutiles pour la décision concernée ou pas mise à disposition de l'acteur. Par exemple, un décideur-élu n'a pas besoin de données sur le génie civil de l'ouvrage mais a besoin de savoir si cet ouvrage est efficace. L'identification de l'information disponible et utile constitue un élément indispensable à l'élaboration de tout système d'aide à la décision (Tacnet, 2009). Et chaque catégorie d'acteurs intervenant dans le risque a besoin d'une information spécifique. Ces besoins diffèrent selon la catégorie que l'on considère. Par exemple le grand public (habitants, touristes...) a besoin de connaître à quel type d'aléa il est soumis, quand celui-ci risque de se produire et quand il se produit, et de savoir s'il en est protégé là où il se trouve (maison, sentiers de randonnée...). Si l'on considère les secours (pompiers, gendarmes...), ceux-ci ont également besoin de savoir quand un phénomène se produit mais ils doivent de plus connaître les enjeux de la société, c'est-à-dire quels sont les éléments exposés au risque, quels sont leurs différents types de vulnérabilité, afin de pouvoir préparer au mieux leur intervention.

Ainsi se pose la question de savoir « quelle information doit être donnée, dans quel but, à quel acteur et à quel moment ? ». En effet, si la multiplicité des acteurs complexifie la gestion du risque, la diversité des acteurs peut l'enrichir (Arnaud, 2009). Il semble alors important de valoriser l'information afin d'améliorer la gestion de territoires à risques. Pour chaque catégorie d'acteurs des informations sur l'aléa, les événements passés, les éléments exposés, leur enjeu et leur vulnérabilité semblent indispensables afin de réaliser au mieux la gestion du risque. Il est également crucial de considérer ces informations en tenant compte des différentes phases du risque. En effet l'intervention des acteurs et leurs besoins vont différer selon le contexte de crise dans lequel ils se situent (prévention, alerte, réparation...). Le but est de proposer des éléments méthodologiques pour la détermination, la structuration et la formalisation des données utiles à différents acteurs du risque. Nous illustrons cette démarche par une application sur un test en vraie grandeur des résultats élaborés sur une commune concernée par le risque de crue torrentielle.

Démarche d'identification, structuration et formalisation des données

La méthodologie que nous développons se décompose en quatre phases majeures (cf. Figure 1) :

La première phase est une identification, à partir de la littérature, des informations utiles aux acteurs qui gèrent le risque torrentiel. Pour ce faire, il est important de commencer par déterminer quels acteurs interviennent dans la gouvernance du risque torrentiel et ce pour chaque phase du risque.

Il convient ensuite de déterminer, pour chaque phase de risque, de quelles informations ont besoin les acteurs concernés et de développer des outils d'aide à la décision associés à ces données et informations. Il faut donc déterminer à quel domaine (aléa, ouvrage, enjeux exposés) se rattachent les données dont ont besoin les différents acteurs concernés. Ces données liées à un domaine sont ensuite recensées et listées, à partir de la littérature, et selon leur utilité auprès de l'acteur considéré.

Les données à prendre en compte étant très nombreuses il est nécessaire de les structurer en groupes afin de faciliter la prise de décision qui sera effectuée par la suite : ceci constitue la deuxième phase. Des groupes de données sont tout d'abord constitués en fonction du domaine auquel elles se réfèrent et des acteurs auxquels elles sont destinées. On choisit ensuite de présenter ces groupes de données sous forme d'arbres pour les ordonner et faciliter leur utilisation future. Chaque groupe d'acteurs de la phase de risque concernée a donc un ou plusieurs arbres de données qui lui sont associés selon son besoin et selon le domaine d'étude considéré (Aléa, Ouvrages ou Enjeux).

Au regard des caractéristiques variées des données (différents formats, différentes sources...) apparaît également la nécessité de les formaliser, de les rendre compatibles (des données seront agrégées lors de la prise de décision), et de rendre leur utilisation reproductible. Pour cela, nous élaborons des indicateurs permettant de structurer les données brutes, ce qui constitue la troisième phase de notre méthodologie. Concernant les risques naturels, il n'y a que quelques indicateurs standardisés et spatialisés à des niveaux nationaux ou internationaux (Leone, 2007) et le développement de méthodes standardisées pour les crues torrentielles est nécessaire (Merz et al 2010). De récents travaux commencent à présenter des indicateurs formalisés pour les crues torrentielles mais ne considèrent pas le bassin dans son intégralité (Merz et al 2010, Kappes et al 2012). Un indicateur se présente sous la forme d'une grille de formalisation présentant les champs suivants (Curt *et al.*, 2010) : Nom, Définition, Echelle et Référence, Caractéristique de lieu, Caractéristique de temps. Cette phase rejoint le développement d'indicateurs du risque et de la vulnérabilité reconnu par le cadre d'action Hyogo, comme une activité clé (International Strategy for Disaster Reduction, (ISDR, 2005)).

Pour ces différentes phases, un travail de recueil et de validation des résultats (liste de données, structuration sous la forme d'arbres, description d'indicateurs) est mené auprès d'experts de chacun des domaines. Les résultats sont présentés aux experts qui les critiquent et les amendent jusqu'à ce que ces experts soient en accord avec les structurations et formalisations.

La Figure 1 présente les résultats que l'on obtient suite à la mise en œuvre des trois premières phases de la méthodologie décrites précédemment :

Tableau des groupes de données nécessaires aux acteurs concernés selon le domaine d'étude et pour une phase de risque donnée :

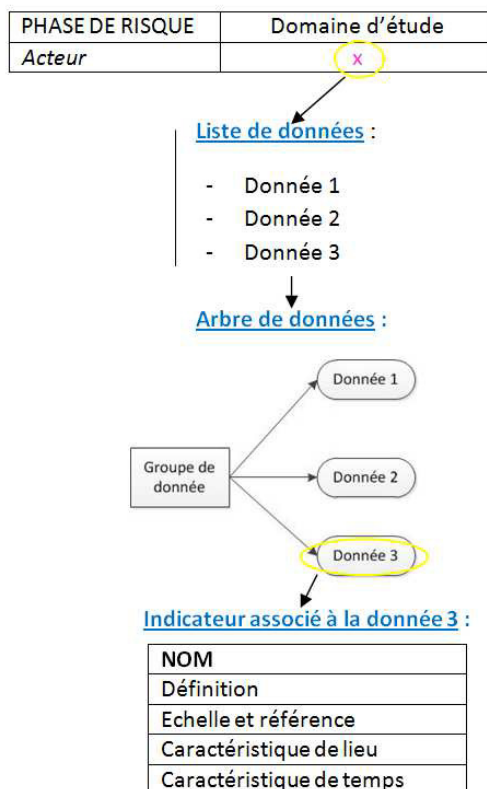


Figure 1. Procédures de recensement et de structuration des données utiles aux acteurs pour gérer le risque

La quatrième phase se caractérise par un test en vraie grandeur des résultats auprès d'acteurs de la gestion du risque (Elus de mairies dont le torrent menace la commune, ONF/RTM, office du tourisme, syndicat mixte...). Grâce à une série de questions communes pour chaque acteur on identifie leur point de vue à propos de la gestion du risque torrentiel, les outils qu'ils ont à leur disposition et les difficultés ou incertitudes qu'ils peuvent rencontrer lors de leur prise de décision. On leur présente également les arbres et indicateurs qui les concernent afin de déterminer à la fois leur pertinence mais aussi afin de les appliquer lorsque cela est possible.

Cette démarche pourra par la suite être déclinée sur différents types de risques naturels (incendies de forêt, inondations fluviales et côtières...).

Application de la démarche au cas des crues torrentielles

1. Recensement des données et informations

De nombreux acteurs de différents corps de métiers sont concernés par la gouvernance du risque torrentiel de même que les habitants et les touristes. Afin d'assurer une gestion du risque rigoureuse il est nécessaire de s'intéresser à chaque acteur et à chaque étape du risque en détaillant chaque besoin en données et informations. Pour notre étude nous prenons le parti de proposer des démarches et résultats en considérant les groupes d'acteurs majeurs concernés par la gouvernance du risque : les experts en aléa torrentiel, les experts en ouvrages de protection, les décideurs élus tel que le maire, l'Etat, les secours, l'office du tourisme, et le grand public. Les quatre grandes phases du risque (Prévision, Prévention, Crise, et Réparation) sont prises en compte.

La table 1 présente les groupes d'acteurs en fonction des différentes phases du risque torrentiel. Pour la phase Prévision, seuls les experts en aléa interviennent en réalisant des études sur le phénomène considéré, ici les risques torrentiels, telles que des suivis avec stations de mesures ou des études hydrauliques du torrent. Pour la phase de Prévention, tous les autres groupes d'acteurs vont être concernés qu'ils s'agissent des décideurs élus, qui vont par exemple préparer des plans communaux de sauvegarde (PCS), ou du grand public qui sera informé par des Documents d'Information Communale sur les Risques Majeurs (DICRIM). Lors de la phase de Crise, les agents de l'état vont intervenir pour prévenir les décideurs élus qui vont eux même prévenir le grand public si possible ainsi que les secours. Enfin la phase Réparation concerne également quasiment tous les groupes d'acteurs lorsqu'il s'agira par exemple pour les experts en ouvrages d'évaluer l'efficacité des ouvrages durant le phénomène ou pour le grand public d'être indemnisé.

	PREVISION	PREVENTION	CRISE	REPARATION
<i>Expert Aléa</i>	x			x
<i>Expert Ouvrages</i>		x		x
<i>Etat</i>		x	x	x
<i>Décideurs-Elus</i>		x	x	x
<i>Secours</i>		x	x	
<i>Office du Tourisme</i>		x		
<i>Associations et syndicats</i>		x		x
<i>Grand Public</i>		x	x	x

Table 1. Tableau représentant l'intervention (indiquée par une croix) des différents groupes d'acteurs pour les différentes phases du risque torrentiel.

Au vu du nombre important de données et informations utiles pour chaque type d'acteurs, dans chaque phase de risque, et du nombre conséquent d'arbres qui en résulte (la présence d'une croix dans une case indique au moins un arbre, voire 2 ou 3 si l'acteur utilise des données d'aléa, sur les ouvrages et sur les enjeux), nous avons décidé de nous focaliser sur la phase de la Prévention du risque.

Le jeu des acteurs impliqués dans la Prévention se réalise entre l'Etat, les experts en ouvrages, les décideurs-élus, les associations et les syndicats, l'office du tourisme et le grand public. Pour gérer le risque ces acteurs vont avoir besoin d'informations spécifiques se rattachant aux trois domaines majeurs : l'aléa, le génie civil des ouvrages de protection et les enjeux. Il est donc important de définir le ou les domaines d'appartenance des données manipulées par chaque groupe d'acteurs (Table 2).

PREVENTION	Aléa	Ouvrages	Enjeux
<i>Experts ouvrages</i>	x	x	x
<i>Décideurs-Elus</i>	x	x	x
<i>Etat</i>		x	x
<i>Secours</i>			x
<i>Associations et syndicats</i>			x
<i>Office du Tourisme</i>	x		x
<i>Grand Public</i>	x		x

Table 2. Appartenance des données nécessaires à chaque groupe d'acteur aux trois domaines d'études du risque torrentiel pour la phase Prévention.

Les acteurs impliqués dans la Prévention du risque torrentiel étant nombreux nous avons choisi pour notre étude de nous focaliser sur les décideurs-élus et les experts en ouvrages à titre d'exemple. Ceux-ci semblent les plus à même pour construire des territoires à risque à partir du moment où ils s'impliquent dans l'échelle locale (Arnaud, 2009).

Les décideurs ne sont généralement pas des spécialistes du risque. Ils doivent se forger une opinion sur le risque en fonction des affirmations des experts, à travers par exemple les rapports d'expertises et les informations disponibles. Ils doivent donc tenir compte de paramètres multiples : les informations produites par les experts, les obligations et contraintes gouvernementales, la capacité financière de la structure et les souhaits des habitants. Les décideurs font partie de l'Etat ou des collectivités territoriales. Dans cette étude on choisit de s'intéresser plus spécifiquement aux élus de la mairie. Pour gérer le risque torrentiel ceux-ci doivent posséder des informations sur l'aléa par exemple savoir quand une crue torrentielle risque de

se produire, des informations sur l'efficacité des ouvrages de protection et des informations sur les enjeux du risque torrentiel notamment sur la vulnérabilité des éléments exposés. Cependant des incertitudes épistémiques sont présentes. Par exemple ils connaissent les événements (type, date...) mais ne les comprennent pas toujours (origine, cause de l'ampleur...).

Le second groupe d'acteur considéré dans l'étude est constitué par les experts qui ont des actions multiples. Ils répondent par exemple à des appels à projets publics ou privés et réalisent des rapports d'expertises portant sur l'intensité des phénomènes torrentiels ou des probabilités d'occurrence, sur l'efficacité des ouvrages de protection ou encore sur les éléments qui y sont exposés. Ainsi des avancées scientifiques ont été réalisées ces dernières années aussi bien en matière d'hydrologie ou de géomorphologie concernant l'aléa torrentiel, en matière d'approches de la vulnérabilité ou concernant l'efficacité des ouvrages de protection. Les rapports d'expertises peuvent notamment être utilisés pour réaliser les PPR (Plans de Préventions des Risques). Les travaux des experts permettent aux opérationnels une possible réutilisation des résultats pour réaliser des cartes (carte renseignant le Plan Local d'Urbanisme,...) ou construire des ouvrages. Dans le cadre de notre étude, nous nous focalisons sur les experts en ouvrages de protection. Comme pour le groupe d'acteurs des décideurs-élus, les experts en ouvrages vont avoir besoin de données plus ou moins nombreuses issues des trois domaines majeurs du risque. Ils ont besoin de données sur l'aléa pour concevoir et suivre l'efficacité d'un ouvrage, de données propres à l'ouvrage considéré ainsi que de données sur les enjeux à protéger. Dans cette étude, nous nous sommes focalisés sur l'ouvrage de correction torrentielle car une démarche d'évaluation de l'efficacité des ouvrages de correction torrentielle (d'un point de vue fonctionnel et structurel) a été proposée (Tacnet *et al.*, 2011) et des descriptions d'évaluation de l'efficacité, associées à ces ouvrages, ont été réalisées (Mialet 2012).

Pour chacun de ces deux groupes d'acteurs des listes de données qui leur sont utiles sont élaborées à partir d'un recensement effectué dans la littérature. Ces informations spécifiques peuvent être les mêmes pour les deux groupes d'acteurs ou différentes selon leur besoin. Chaque liste correspond à l'une des croix de la Table 2.

2. Structuration des données et informations

Les données recensées et listées étant nombreuses et difficilement utilisables en l'état nous choisissons de les présenter sous forme d'arbres afin de les structurer et de faciliter leur visualisation. Des arbres sont donc élaborés pour les deux groupes d'acteurs. Au vu du nombre parfois important de données considérées certains arbres peuvent être très volumineux ou ramifiés. Ils peuvent posséder jusqu'à 4 niveaux. Ainsi sur la Figure 2, l'arbre comprend 2 niveaux et sur la Figure 3 il en comprend 3.

Concernant les décideurs-élus une centaine de variables a été identifiée et trois arbres ont été élaborés.

Un arbre correspond aux informations nécessaires concernant l'aléa torrentiel, un deuxième arbre concerne l'ouvrage de protection et un troisième présente les informations liées à la vulnérabilité des éléments exposés au risque torrentiel. Ce dernier est le plus volumineux des arbres élaborés (67 variables) notamment parce qu'il recense tous les éléments pouvant être exposés au risque torrentiel et qu'il faut donc considérer.

Concernant l'aléa, l'arbre structure l'information dont vont avoir besoin les élus par la réponse à des questions telles que (cf. Figure 2) : quel type de phénomène ?, Quelle fréquence ? Quelle étendue géographique ?

Les élus doivent également connaître l'efficacité des ouvrages situés sur les torrents qui menacent la commune afin d'engager une éventuelle intervention sur ceux-ci et posséder des informations sur la nécessité de la construction d'un nouvel ouvrage. Enfin ils doivent posséder des connaissances sur les éléments exposés et sur leur vulnérabilité. En effet, en plus de la localisation des éléments exposés, les élus doivent connaître leur degré de vulnérabilité à l'aide de détails précis (nombre d'habitants dans les maisons, âges, type de bâti...) et ce afin de pouvoir élaborer des plans d'intervention des secours au cas où la crise se produirait. Le PPRN qu'a le maire en sa possession regroupe une partie de ces informations mais certaines manquent d'où l'élaboration de ces arbres reprenant les informations nécessaires dans leur globalité.

Nous choisissons ici de présenter deux arbres : l'arbre sur l'aléa torrentiel (Figure 2) et l'arbre sur l'ouvrage de protection (Figure 3).

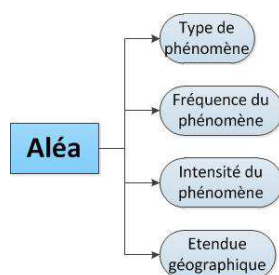


Figure 2. Arbre de données sur l'aléa torrentiel utiles aux décideurs élus pour leur prise de décision dans la gestion du risque.

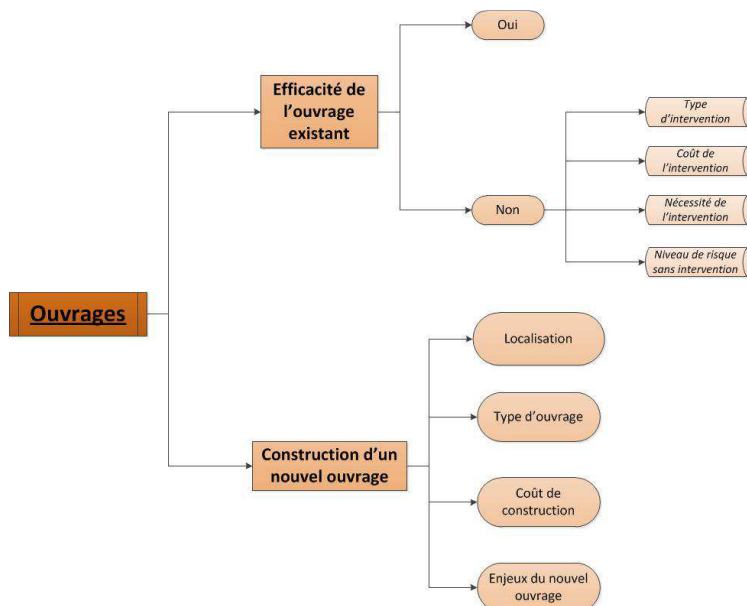


Figure 3. Arbre de données sur l'ouvrage de protection.

Concernant les experts en ouvrages, près de 140 variables ont été identifiées et un arbre a été élaboré pour chacun des domaines : aléa torrentiel, ouvrages de correction et enjeux.

L'arbre sur l'aléa regroupe les données qui sont liées aux crues torrentielles s'étant déjà produites (telles que des étendues géographiques, des gammes d'apport solide, des débits de référence...) et qui seront utiles aux experts pour concevoir et suivre l'efficacité d'un ouvrage. L'arbre des enjeux possède deux informations majeures : quel est le type d'éléments exposés (dont les variables sont les mêmes que pour les décideurs-élus) et quelle en est leur localisation. Le troisième arbre, décline les données liées à la conception et à l'efficacité des barrages de correction selon que l'on considère leurs aspects fonctionnels ou structurels (Tacnet, et al., 2011). Nous présentons cet arbre en figure 4 à titre d'exemple.

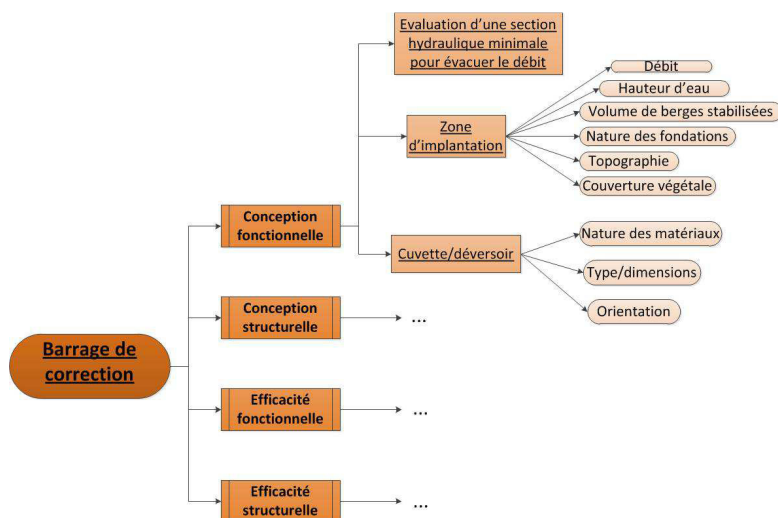


Figure 4. Arbre de données sur les barrages de correction utiles aux experts en ouvrages.

Certains des arbres formalisés ont été présentés à des experts du domaine pour validation (enchaînement d'un cycle de présentation des résultats – modifications proposées par les experts – nouvelle présentation des résultats jusqu'à l'accord des experts). C'est le cas par exemple de l'arbre portant sur les éléments exposés qui a fait l'objet d'une validation de la part d'une experte en sciences humaines et sociales appliquées aux risques naturels, ainsi que certains des arbres portant sur l'efficacité des ouvrages (Mialet, 2012), validés par des experts en génie civil.

3. Formalisation des données et informations

Les données doivent faire l'objet d'une formalisation afin de capitaliser les connaissances et rendre l'évaluation robuste. Elaborer des indicateurs permet d'orienter le décideur lorsque celui-ci doit évaluer une performance, un état ou l'aptitude d'un élément à entraîner telle ou telle conséquence.

A titre de première étude de faisabilité d'utilisation du concept indicateur, nous avons proposé la formalisation de deux indicateurs. Les grilles de description ont été renseignées grâce à l'interview d'un expert. La Figure 5 présente l'exemple de l'indicateur « Orientation de la cuvette » qui appartient à l'arbre « Ouvrage » dédié aux experts Ouvrages (cf. figure 4) et renvoie

à des aspects de conception fonctionnelle. Il s'agit d'un indicateur visuel qui permet d'évaluer la déviation de l'écoulement du torrent lorsqu'il traverse le barrage de correction. Une déviation causée par exemple par une mauvaise orientation de la cuvette du barrage, peut en effet entraîner une érosion des berges. Il est évalué grâce à une échelle qualitative avec 3 catégories : « conforme », « déviation faible de l'écoulement » et « Déviation forte de l'écoulement ». D'autres types d'échelles sont possibles pour les autres indicateurs : nominale, ordinale, de catégories ou intervalles.

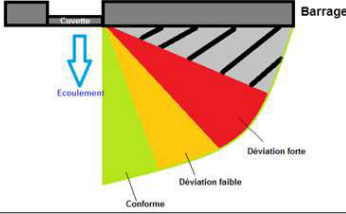
Nom	Orientation de la cuvette
Définition	L'orientation de la cuvette peut entraîner une déviation de l'angle de l'écoulement
Echelle et référence	Echelle qualitative (proposition) : évaluation de l'angle de déviation du flux 
Caractéristique de lieu	Pied de barrage/berges
Caractéristique de temps	A chaque inspection

Figure 5. Indicateur visuel lié à l'orientation de l'écoulement du torrent traversant le barrage de correction.

Ce type d'indicateurs permet donc d'évaluer l'efficacité des composants du barrage de correction. Mais il est également possible d'élaborer des indicateurs associés au domaine de l'aléa torrentiel ou de la vulnérabilité des éléments exposés en vu de formaliser les données qui s'y rattachent et qui sont utiles aux acteurs de la gestion du risque. L'élaboration de tous ces indicateurs nécessitera l'analyse détaillée de chaque ensemble de données, avec l'aide d'experts des domaines considérés et des acteurs concernés, ce qui devra faire l'objet de futures recherches.

Cette étude permet également de montrer des dissonances : données supposées non disponibles mais qui le sont en réalité, données supposées disponibles mais qui le ne sont pas... La section suivante présente des résultats obtenus sur une commune soumise au risque torrentiel.

Les dissonances : une source supplémentaire de risque

Durant nos recherches un test en vraie grandeur sur une commune française a été mené afin de rencontrer différents acteurs du risque torrentiel et de leur soumettre les résultats présentés dans la section précédente. Cette commune est soumise au risque de crue torrentielle et le torrent est équipé de nombreux ouvrages de protection. Une crue récente a provoqué d'importants dégâts (1m60 de hauteur de boue relevé à l'intérieur de maisons construites proches du torrent, bloc de béton arraché à un ouvrage par la crue et retrouvé dans l'une de ces maisons...) une étude hydrologique a été réalisée peu après, sur demande de la mairie, et des enrochements ont été construits pour protéger le lotissement de maisons impacté.

Nous avons rencontré et questionné le maire ainsi que deux élus, ce qui nous a permis de récupérer des informations sur leurs besoins concernant la gestion du risque torrentiel ainsi que des éléments sur leurs prises de décisions actuelles. Il en ressort des incertitudes associées aux informations disponibles ainsi qu'une demande pour des données utiles mais non disponibles ou supposées non disponibles. Nous avons repris les arbres élaborés et avons fait des parallèles avec les informations que les élus possèdent ou non actuellement et les sources de ces informations. Un exemple de cette analyse est présenté en Figure 6 et concerne le domaine Aléa.

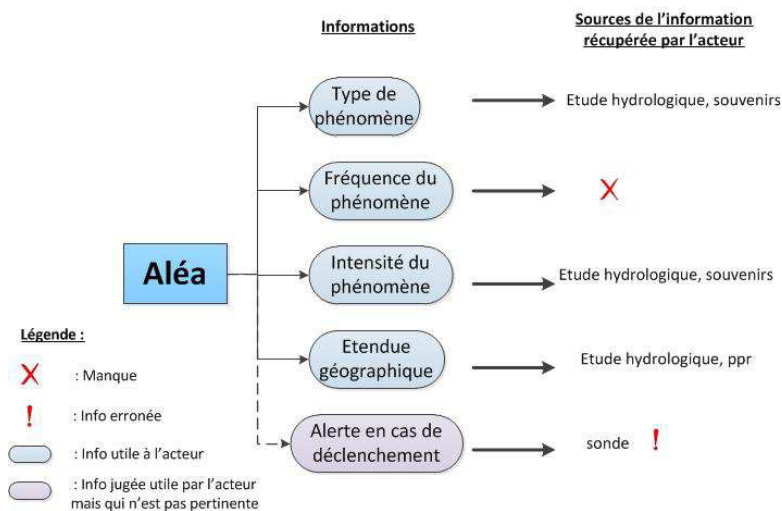


Figure 6. Source des informations rattachées à chaque donnée de l'arbre auxquelles se réfèrent les élus

Au cours des interviews, deux dissonances majeures ont été relevées ; celles-ci touchent essentiellement à la disponibilité :

Nous avons précédemment identifié quatre données comme étant utiles aux décideurs-élus pour gérer l'aléa torrentiel (figure 2). Cependant les décideurs-élus que nous avons interrogés identifient actuellement une cinquième variable qui concerne l'alerte en cas de déclenchement d'une crue torrentielle. Les phénomènes gravitaires telles que les crues torrentielles ont la particularité d'être soudains avec des temps de propagation très réduits. L'alerte est donc rarement possible et la prévention est donc essentielle pour le risque torrentiel. Toutefois, la présence d'une caméra installée sur un des ponts du torrent et probablement le fait qu'il existe malgré tout quelques équipements du type feu de signalisation coupant les routes en cas de lave torrentielle comme par exemple à l'Argentière-la-Bessée, 05 induit les élus à penser que cette caméra est un outil qui pourrait déclencher une alerte en cas de crue. Or, celle-ci est un dispositif scientifique qui filme la battance (transfert) de l'eau pour des besoins de recherche. On a donc pour ce cas une dissonance pour une donnée jugée utile mais qui au final ne l'est pas.

Par ailleurs, la fréquence des crues torrentielles est mal perçue bien que celle-ci soit disponible et détaillée dans l'étude hydrologique : cette dissonance provient probablement du fait que l'étude hydrologique n'a pas été rédigée à destination des élus, et qu'elle possède peut-être une précision scientifique qui ne permet pas une compréhension claire de la période de retour à des acteurs autres que les experts du domaine. Les élus ont également précisé qu'il n'existe pas de réelle mémoire du risque au sein de la commune et que le PPR n'apporte pas toutes les informations dont ils auraient besoin concernant par exemple les personnes menacées par le torrent. Un Plan Communal de Sauvegarde est en train d'être mis en place en lien avec les autres communes du bassin, qui pourrait palier au manque de certaines de ces informations concernant les enjeux.

Ces interviews nous amènent à conclure qu'il y a des manques et biais évidents dans les informations que possèdent les décideurs élus pouvant entacher leurs prises de décisions dans leur gestion du risque torrentiel. Il serait nécessaire de leur proposer des outils d'aide à la décision adaptés leur permettant de posséder toutes les informations dont ils ont besoin (notamment grâce aux arbres de données) pour chaque domaine du risque torrentiel et d'exprimer ces informations dans un langage adapté à ces acteurs, qui ne sont généralement pas des experts du risque naturel. Les élus se sont montré réceptifs vis-à-vis de la démarche de collecte et de représentation des informations utiles.

Pour ce test vrai grandeur nous avons également rencontré un employé de l'ONF-RTM (Office National des Forêts-Restauration des Terrains en Montagne). Il est tenu de vérifier le bon état de tous les ouvrages présents sur tous les torrents de son secteur et de proposer des travaux si besoin. En partie domaniale c'est le RTM qui prend les décisions mais en partie communale c'est le maire. Le RTM n'intervient qu'en tant qu'expert. De manière classique, en routine, le diagnostic des ouvrages, et donc les prises de décision qui peuvent en découler, ne se basent que sur des observations visuelles de la part de l'expert interrogé. Ce n'est qu'en cas d'urgence qu'il peut être fait appel à un expert en aléa ou à des mesures complémentaires. Compte tenu du nombre d'ouvrages (plusieurs dizaines), les méthodes doivent être rapides et robustes : ainsi, les indicateurs que nous avons développés à titre d'exemple semblent être un outil intéressant et pertinent à utiliser.

Les données sur l'évolution du torrent après la pose d'un ouvrage par exemple pour une comparaison entre le profil en long avant et après l'ouvrage ne sont pas disponibles : ceci crée une dissonance entre donnée utile et donnée disponible. La même problématique concernant l'étude hydrologique se pose : comme pour le cas des élus, les seules informations que possède actuellement le RTM proviennent d'études réalisées par des chercheurs. Or, elles comprennent de nombreuses données et ne sont pas toutes exploitables en l'état par les services du RTM. Il faut préciser que ces études n'ont pas non plus été réalisées dans ce but. Le format de représentation de ces données serait donc à travailler pour une utilisation plus directe par les services du RTM.

Cette interview met également en évidence la nécessité de fournir des outils d'aide à la décision aux experts en charge des ouvrages de correction torrentielle. Les indicateurs semblent être un outil adapté et il conviendra d'en développer de nouveaux associés aux données provenant des trois domaines majeurs du risque torrentiel (aléa, ouvrages, enjeux). Ces indicateurs devraient notamment permettre aux experts du RTM de pouvoir réaliser avec la précision qu'ils requièrent des diagnostics d'efficacité des ouvrages de protection.

Conclusion

La gestion du risque torrentiel nécessite des prises de décision majeures. De nombreux acteurs sont impliqués dans cette gestion du risque et leurs prises de décision sont basées sur des données et informations nombreuses et hétérogènes. L'objectif de ce travail était donc de proposer des méthodologies de détermination et de structuration de données adaptées aux acteurs considérés.

Ces méthodologies comprennent d'abord un recensement des données et informations nécessaires selon le type d'acteur, la phase du risque et le domaine d'étude considérés.

Nous avons ensuite pris le parti de proposer des structurations de données sous forme d'arbres dont certains ont fait l'objet de validation auprès d'experts. Nous avons également proposé un exemple de formalisation de données afin de les rendre plus accessibles en développant des indicateurs qui pourront être réutilisables et reproductibles.

Un test vrai grandeur a permis de valider l'utilité des arbres et des indicateurs et de mettre en évidence les incertitudes qui peuvent exister, tels que des manques de données ou des informations difficilement compréhensibles, et de souligner l'importance de développer ce type d'outils d'aide à la décision.

Une réflexion sera à porter par la suite sur la qualité de la donnée, sur sa disponibilité et sur sa représentation dans un système d'information. Les données et informations utilisées dans les processus de décision sont souvent « imparfaites ». Par exemple, les documents historiques peuvent être incomplets, ne pas être de première main, parce que beaucoup sont écrits ou réécrits quelques années après l'enregistrement d'origine, des conditions différentes peuvent indiquer un même phénomène... Les données relatives à la vitesse de montée du niveau des eaux, des informations sur l'effet de fortes pluies dans les régions montagneuses peuvent être rares. Les imperfections peuvent conduire à des données présentant différents niveaux de qualité mais souvent la qualité des données est peu connue. Il est donc important d'analyser la qualité des informations et des connaissances avant de les utiliser pour déterminer la confiance que l'on peut leur accorder. Des méthodes telles que celle développée par (Curt, Talon, 2013) pourront être utilisées. Cette méthode repose sur une analyse des causes possibles d'imperfection listées sous la forme de critères avec l'aide d'un panel d'experts ; la définition d'une échelle de notation de ces critères ; l'agrégation de ces critères par une méthode multicritères (ELECTRE TRI) afin d'obtenir une note de qualité globale.

Par ailleurs, il faudra porter une réflexion sur la représentation des données déterminées et formalisées, avec leur score de qualité associé, par exemple avec l'utilisation de Système d'Information Géographique (SIG). Cet outil informatique pourrait également permettre d'intégrer un champ sur la disponibilité de la donnée. Il serait en effet intéressant de réfléchir au moyen d'évaluer l'accessibilité de la donnée, qui est un autre élément important entrant en jeu dans la prise de décision, en considérant par exemple son format ou le temps nécessaire pour la récupérer (Arnaud, 2009). Dans ce cadre, une réflexion sur l'association d'indicateurs de qualité aux données (sous forme de métadonnées conformes à la norme ISO 19115) contenues dans les systèmes d'information est un enjeu essentiel (Tacnet et al. 2014). Il s'agira aussi, d'autre part, d'analyser l'adéquation entre les besoins en termes de qualité d'information et les types de décision à prendre avec trois problématiques essentielles : quel est le niveau de qualité d'information requis pour prendre une décision en fonction de l'échelle spatiale considérée ? Comment la qualité de l'information se propage-t-elle dans le processus de décision ? Comment l'affichage de la qualité de l'information améliore-t-il ou pas le processus de décision ?

En effet les décideurs doivent avoir en main des éléments de simplification pour prendre des décisions adaptées à chaque situation tout en prenant en compte des niveaux d'incertitudes sur les données. Il semble crucial de proposer des cadres d'aide à la décision spatialisée permettant aux différents acteurs de la gestion des risques de disposer, en un seul outil, des différentes données et informations dont ils ont besoin.

Remerciements

Les auteurs remercient la fédération de recherche Eccorev pour son soutien financier.

Références

- Arnaud A., 2009-Valorisation de l'information dédiée aux événements de territoires à risques- *Thèse de doctorat*, 507p.
- Ben Sari D., 2004 – Prévision et Prévention des catastrophes naturelles et environnementales – Le cas du Maroc, Sciences de la terre, Editions Unesco.
- Curt C., Peyras L., Boissier D. 2010-A knowledge formalisation and aggregation-based method for the assessment of dam performance. *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25, 171-183.
- Curt C, Talon A, 2013 Assessment and Control of the Quality of Data Used during Dam Reviews by Using Expert Knowledge and the ELECTRE TRI Method- *American Society of Civil Engineers* 8p.
- Deymier C., Tacnet J.M., Mathys N., 1995 - Conception et calcul de barrages de correction torrentiel, Cemagref Editions, Antony, 287p.
- Ferrer L., 2013 - Détermination et représentation géographique des informations nécessaires pour l'évaluation de l'efficacité des mesures de protection contre les crues torrentielles. *Mémoire de master*, 32p
- Goodchild M. F., 2007a. - Citizens sensors : the world of volunteered geography, *Geojournal*, Vol. 69, 211-221.
- Institut pour la Maîtrise Des Risques, 2011 - Approche Globale des Risques : 2 exemples appliqués aux PME PACA – 10^{ème} forum de la gestion des risques naturels, technologiques et sanitaires.
- International Strategy For DisasterReduction (ISDR), 2005 - Hyogo Framework for Action 2005-2015- Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters – *Extrait du rapport final de la conférence mondiale sur la réduction des catastrophes, Actes de la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes*, Kobe, Hyogo, Japan.
- International Standard Organisation (ISO), 2003 - Standard ISO 19115:2003 Geographic Information – Metadata, Geneva, Switzerland.

Kappes M. S., Papathoma-Köhle M., Keiler M., 2012 – Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology, *Applied Geography*, Vol. 32.577-590.

Leone F., 2007-*Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque*. Mémoire d'HDR Université Paul Valéry – Montpellier III, 330p.

Merz B., Kreibich H., Schwarze R., Thieken A., 2010 - Assessment of economic flood damage, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 10, 1697-1724.

Mialet G., 2012 - *Méthodes de formalisation des connaissances, Application aux barrages hydrauliques et de correction torrentielle, mémoire de fin d'études* pp. 90.

Remaître A., 2006 – *Morphologie et dynamique des laves torrentielles : Application aux torrents des Terres Noires du Bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud). Thèse de doctorat* 487p.

Tacnet J.M., 2009 – *Prise en compte de l'incertitude dans l'expertise des risques naturels en montagne par analyse multicritères et fusion d'information. Thèse de doctorat*, 397 pp.

Tacnet J.M., Curt C., Richard D., Rey B., 2011-*Efficacité des ouvrages de correction torrentielle : Indicateurs basés sur la sûreté de fonctionnement*. 9p.

Theso'Risk, 2007-*Le risque et le rapport à l'incertitude, une lecture pluridisciplinaire- Cycles de séminaires*, 250p.

World Meteorological Organisation, 2007-Global approach to address flash floods. www.wmo.int/

Tacnet J.M., 2012- *Decision support guidelines - methods, procedures and tools developed in paramount (wp7). Technical report*, European Regional Development Fund - Alpine Space Program - Intereg IV - PARAMountproject :imProved Accessibility: Reliability and safety of Alpine transport infrastructure related to mountainous hazards in a changing climate. <http://www.paramout-project.eu/>

Tacnet J.-M., Dezert, J., Curt C., Batton-Hubert M., Chojnacki E., *How to manage natural risks in mountains in a context of imperfect information? New frameworks and paradigms for expert assessments and decision-making*, (Environment Systems & Decisions, Springer, under press, 2014)