

32. Postface:

La gestion des risques naturels est une dynamique

par

Michel JABOYEDOFF¹, Marie CHARRIÈRE², Marc-Henri DERRON¹,
Pierrick NICOLET¹ & Karen SUDMEIER-RIEUX^{1,3}

Résumé.—JABOYEDOFF M., CHARRIÈRE M., DERRON M.-H., NICOLET P. & SUDMEIER-RIEUX K., 2013. Postface: la gestion des risques naturels est une dynamique. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 393-428.

Les risques sont contrôlés par de nombreux facteurs dont, en premier lieu, les dangers, exprimés par leur fréquence (aléa) à une intensité donnée, mais aussi relativement à un fonctionnement de la société. La gestion des risques, liés aux dangers naturels, implique de les évaluer, en premier lieu, en s'appuyant sur des estimations de fréquences d'événements dangereux; puis sur une quantification de la vulnérabilité ou des dommages potentiels aux objets en danger; mais aussi de tenir compte du système qui les génère. Lorsqu'on se préoccupe de l'impact total, il est nécessaire d'intégrer la capacité de retour à la normale de la société, soit la résilience, mais aussi de s'assurer de l'efficacité des stratégies de réduction des risques mises en place. Les problèmes que posent la mise en place d'une stratégie de gestion des risques ne sont, à ce jour, pas résolus. Cet article tente d'analyser les différents aspects de la gestion et de la quantification des risques dans le but de souligner les écueils et les problèmes à résoudre.

Il ressort de cette analyse qu'une lecture de l'équation du risque tant d'un point de vue quantitatif que d'un point de vue intuitif est possible, et permet de faire le lien entre les différents domaines qui touchent au risque. Cette approche permet d'identifier les problèmes qui sont communs à la quantification des risques et à leurs perceptions. Par exemple, la représentation des événements extrêmes pour l'ensemble des acteurs est peu précise, tant chez les experts que dans la population. Par ailleurs, il apparaît aussi que les experts, s'ils sont indispensables au processus d'évaluation des risques, sont malheureusement trop souvent soumis à des pressions externes qui biaisent leur propos. Plusieurs exemples sont invoqués pour illustrer ces situations. Une nouvelle définition de la résilience est proposée afin de quantifier les impacts post-catastrophe, de façon à séparer le risque des coûts indirects. L'analyse débouche sur une synthèse des défis futurs dans la gestion des risques, en particulier en Suisse.

Mots clés: dangers naturels, aléas, risque, résilience, société, fréquence.

¹Centre de Recherche en Environnement Terrestre (anciennement Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque), Faculté des Géosciences et de l'Environnement, Université de Lausanne, CH-1015 Lausanne, Suisse.

²Water Resources (WR), Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology (TU Delft), 2600 GA Delft, Netherlands.

³IUCN Commission on Ecosystem Management - DRR thematic group, CH-1196 Gland.
E-mail: michel.jaboyedoff@unil.ch

INTRODUCTION

Dans sa préface, C. Bonnard nous incite à aller vers le risque. Les événements récents en Suisse et dans le monde (éboulements au Gurtneilen, 2006 et 2012; tremblement de terre de l'Aquila, 2009; tsunami du Japon, 2012) nous ont montré à quel point il existe une nécessité d'anticiper les catastrophes afin de s'y préparer. L'évaluation des risques et leur gestion sont des outils parmi d'autres, mais ils ne sont pas les seuls. La gestion d'une société est plus complexe que celle des risques. C'est pourquoi la communication des risques ainsi que leur intégration dans la société elle-même, sont tout aussi importantes que leurs analyses. Pour mettre en perspective les risques naturels dans un contexte plus large, notons simplement que les coûts totaux qu'engendre la consommation d'alcool en Suisse, incluant les coûts indirects, ont été estimés à 6 milliards de francs par an (JEANRENAUD *et al.* 2003), alors que la catastrophe de 2005, la plus coûteuse pour la Suisse, n'a coûté «que» 3 milliards de francs suisses environ (HILKER *et al.* 2007). Ce type de comparaison permet de fournir aux décideurs des éléments afin de définir des priorités. Dès lors l'intégration des risques doit être réalisée avec rigueur, mais tout en sachant garder une certaine souplesse.

La société est en constant changement, avec le «progrès» qui fait disparaître certains risques alors que d'autres apparaissent (exemple: micropolluants tels que antibiotiques dans les eaux de surface; CHÈVRE *et al.* 2013); ou plus simplement en modifiant les facteurs qui influent sur le niveau du risque. L'apparition de nouveaux risques est parfois liée à une nouvelle perception du risque d'un groupe de personnes, la tolérance diminuant avec le temps. Par exemple les pollutions sont de moins en moins tolérées. Il est donc important de gérer les risques, c'est-à-dire d'avoir une stratégie qui va de l'identification des dangers à la communication à des publics variés et qui tient compte des contraintes et des implications pour la société. A la lumière de la condamnation à 6 ans de prison de 7 scientifiques et responsables italiens de la protection civile (RIDET 2012) suite au tremblement de terre de l'Aquila en 2009, les enjeux liés à la gestion des risques naturels prennent désormais une importance particulière.

Dans les lignes qui suivent, il s'agit tout d'abord de décrire ce qu'on entend par risque. Il faut s'interroger sur la façon dont on définit et quantifie le risque. Puis explorer les éléments qui nous permettent de «vivre avec», qui sont basés sur une réduction des risques adaptée aux situations particulières et à leur évolution dans le temps. La mise en équation des risques permet d'identifier les différents problèmes liés à leurs gestions. A noter que nous ne discutons pas ici des méthodes de quantification de l'aléa qui est un sujet en soit. Nous considérons donc que la qualification de l'aléa est réalisée d'une façon ou d'une autre, mais rappelons que la connaissance de l'aléa reste la base de la quantification et de la gestion des risques naturels.

Nous proposons également de faire un tour d'horizon des différents écueils qui jalonnent la gestion des risques, en les intégrant dans une perspective plus large.

LA QUANTIFICATION DU RISQUE

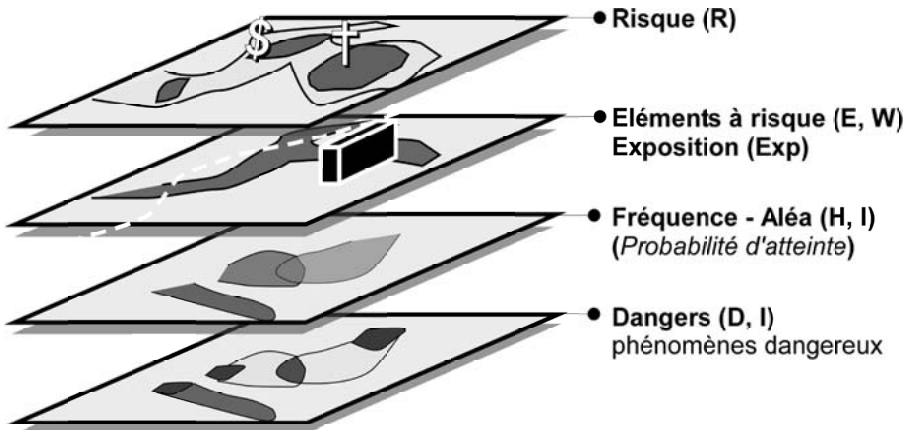
Une équation du risque parmi d'autres

Figure 1.–les différentes couches nécessaires pour calculer un risque, selon l'équation 1 proposée.

Le risque est en principe une probabilité associée à un dommage potentiel causé par un phénomène dangereux qu'on appellera ici danger (D) (EINSTEIN 1988). Cependant, souvent on quantifie le risque par les coûts moyens annuels, ce qui revient à multiplier les dommages par leurs fréquences respectives. Le risque est la valeur attendue des dégâts directs (morts et objets), alors que la catastrophe est la réalisation d'un risque qui ne correspond pas forcément au calcul. Une des façons de calculer le risque est la suivante (FELL *et al.* 2005, JAKOB *et al.* 2012):

$$R(D, E, I, x, \Delta t) = H(D, I, x, \Delta t) \times \text{Exp}(E, \Delta t) \times V(D, I, E) \times W(D, E) \quad (\text{Equation 1})$$

Ou en d'autres termes:

Risque = aléa × exposition × vulnérabilité × dommage potentiel total

Les termes de cette formulation sont définis comme suit (figure 1):

- $H(D, I, x, \Delta t)$: aléa («hazard» en anglais) est équivalent à la fréquence d'un type de danger D pour des caractéristiques (p. ex. intensité I) données, en un lieu donné (x) et pour une période temps donnée (Δt). La période est importante puisque des phénomènes comme les cyclones, les avalanches de neiges, sont saisonniers.

- $\text{Exp}(E, \Delta t)$: l'exposition correspond au pourcentage de temps durant lequel un élément mobile (E) est soumis à un aléa durant une période donnée. Un élément immobile possède une exposition de 100%.

- $V(D, I, E)$: la vulnérabilité (degré de perte: 0-100%) est le taux de destruction d'un élément E atteint par un phénomène dangereux D d'intensité I. Elle s'exprime en termes de courbe de vulnérabilité (I-V) pour un type d'objet donné. D'une façon plus générale on peut l'assimiler au degré de dysfonctionnement d'un système.

- W(D, E): dommage potentiel total en termes financiers ou en nombre d'unités d'objet ou personne, par exemple un nombre de victimes, pour un danger donné (D).

Cette formulation peut être simplifiée en estimant les conséquences globalement avec $C = \text{Exp} \times V \times W$, d'où (LEE & JONES 2004, VAN ALPHEN *et al.* 2009, ALE 2009, MARZOCCHI *et al.* 2012):

$$R = H \times C \quad (\text{Equation 2})$$

Souvent on remplace les courbes de vulnérabilité par des courbes de dommages, à savoir une courbe $I - V \times W$ (LEROI *et al.* 2013). Il est aussi possible de détailler la formulation [1], en y détaillant chaque terme. Par exemple, dans le cas des mouvements de versant, l'aléa peut s'écrire (JABOYEDOFF *et al.* 2005, HEINIMANN *et al.* 1999):

$$H_i(x) = \lambda_{ii} \times P_i(x) \quad (\text{Equation 3})$$

Ce qui signifie que l'aléa de l'instabilité «i» est le produit de la fréquence de rupture λ_{ii} de cette instabilité par la probabilité de sa propagation en un lieu x. Lorsqu'un lieu (x) est soumis à plusieurs types de danger et/ou d'aléas d'intensités différentes, on obtient:

$$R_{\text{total}}(x) = \sum_h \sum_j \sum_k \sum_l R(D_j(x), E_l(\in x), I_k(H_k, x), x, \Delta t_h) \quad (\text{Equation 4})$$

Les sommes sur les indices h, j, k et l se réfèrent respectivement aux périodes temps considérées, aux différents types de danger, à leurs intensités qui sont associées à un aléa H_k , et aux éléments à risque concernés. Cette formulation ne se réfère qu'aux coûts directs, et ne prend pas en compte les aspects indirects liés aux dysfonctionnements induits par un événement, comme par exemple la perte économique liée à une interruption du trafic suite à une éboulement sur une voie de communication.

Concernant le calcul du risque, rappelons qu'il ne faut pas confondre, les probabilités et les fréquences. Dans l'équation du risque présentée ici, les fréquences sont utilisées afin d'annualiser les coûts. Il existe cependant une relation entre fréquence et probabilité. Néanmoins, une probabilité varie de 0 à 1 alors que une fréquence peut excéder 1. On utilise plutôt les probabilités pour donner un poids à un scénario pour une période donnée, ce qui permet dès lors d'obtenir une fréquence pour chaque scénario. On peut aussi utiliser les probabilités pour indiquer la possibilité d'avoir 1, 2, 3 ou plus d'événements dans une période donnée, ce qui peut avoir un intérêt pour le calcul des risques.

Les termes du risque

L'avènement des systèmes d'information géographique (SIG) et la création de nombreuses bases de données spatiales, ainsi que de documents géoréférencés (par les régions, cantons ou états), permettent de réaliser des calculs de risque simples (MERZ *et al.* 2007).

Suivant les types de danger, l'aléa (H) reste encore le terme de l'équation du risque le plus difficile à évaluer. Les aléas sont souvent simplement qualifiés par des termes tels que: *insignifiant, faible, modéré, élevé, très élevé*, car ils sont souvent déduits de cartes

de susceptibilité qui ne renseignent pas explicitement sur les fréquences (VAN WESTEN *et al.* 2006). Pour décrire les intensités (I) on peut aussi associer une échelle: *insignifiante, faible, modérée, élevée, très élevée*. La quantification de l'aléa par son intensité et sa fréquence reste la base de toute analyse du risque, car si l'aléa n'existe pas, il n'y pas de risque. De nombreuses méthodes ont été et sont encore en développement pour résoudre cet important aspect de l'analyse du risque; mais les décrire en détail nécessiterait de longs développements qui dépassent le cadre de cet article.

Depuis quelques années, les publications sur la vulnérabilité ou/et les courbes de vulnérabilité des bâtiments se multiplient pour les inondations et le charriage (EGLI 2005, LEROI *et al.* 2013, FUCHS *et al.* 2012), pour les laves torrentielles (QUAN LUNA *et al.* 2011, JAKOB *et al.* 2012) ou encore pour les chutes de blocs (MAVROULI & COROMINAS 2010). Souvent le principe des courbes de vulnérabilité s'étend aux courbes de dommage qui mettent directement en relation les intensités avec les coûts (LEROI *et al.* 2013) ou encore au «damage ratio» qui est le ratio du coût du dommage rapporté au prix du bâtiment (FUCHS *et al.* 2012). Cette option est souvent plus judicieuse, notamment dans l'évaluation des coûts, car il est parfois difficile de calibrer la courbe intensité-vulnérabilité et parce que les frais engendrés par les catastrophes incluent aussi des aspects tels que le nettoyage après une inondation qui peuvent représenter une part importante des coûts. Ils peuvent se monter à 30% des couts totaux (CHOFFET in prep.).

Restent les dommages potentiels totaux (W) qui se réfèrent aux personnes, bâtiments ou infrastructures. Désormais, les SIG et les bases de données nous permettent, en principe, d'obtenir de bonnes estimations pour W. Il est évident que certaines données relatives à la propriété peuvent rester confidentielles et ne pas être accessibles simplement. Néanmoins, la valeur (W) des éléments à risque (E) est de mieux en mieux connue, et les statistiques de mobilité des personnes le sont aussi.

Lorsque les termes de l'équation du risque sont mal connus ou mal localisés, on peut, comme le font les assurances, réaliser des simulations de catastrophe afin d'obtenir des courbes d'excédence (KHATER & KUZAK 2002). Chaque terme peut être remplacé par une variable aléatoire de distribution connue afin de réaliser une simulation de Monte Carlo (MICHEL-KERJAN *et al.* 2012). Cette approche est surtout utilisée à l'échelle d'une région ou d'un pays tout entier, en particulier dans le secteur des assurances.

Le risque et son cadre

Si la quantification des risques est un outil d'aide à la décision en soit, elle n'est en aucun cas l'unique outil de décision quant à la gestion des risques, car de nombreux autres facteurs entrent en ligne de compte dans la gestion d'une société. La représentation des risques joue également un rôle important. La tolérance aux risques industriels peut être plus élevée dans un groupe d'habitants s'il bénéficie d'emplois au sein de l'entreprise dangereuse, par exemple dans le cas des centrales nucléaires (BERTRAND & MULLET 2006). Mais cela ne répond pas à la question de savoir lequel des groupes d'habitants possède une représentation plus objective de la réalité. De plus, la représentation des risques dépend aussi de la culture du groupe concerné (XIE *et al.* 2003, ALEXOPOULOS *et al.* 2009). Il faut donc tenir compte de l'acceptabilité et de la représentation des risques (PERRETI-WATEL 2000).

La quantification des risques est toutefois un outil puissant, notamment pour l'aide à la décision. L'analyse coûts-bénéfice (BRÜNDL 2009, FELL *et al.* 2005) permet de systématiser une approche afin de hiérarchiser les actions, c'est-à-dire de fournir des éléments pour les prioriser. Cette approche consiste à quantifier les risques avec différentes solutions de réduction des risques et de les comparer à l'état préexistant, de sorte qu'on puisse choisir la solution qui a un meilleur rapport coûts-bénéfices, c'est-à-dire celle qui réduit le risque (coût), et non l'impact, au maximum. Même si souvent les résultats sont relativement loin de la réalité, cette approche, appliquée avec rigueur, permet la comparaison de situations différentes.

Les mesures qui tendent à réduire le risque, si elles ne sont pas contextualisées, sont inutiles. Il ne sert à rien de mettre en place un système de surveillance sophistiqué si la maintenance et l'utilisation n'est pas garantie par des acteurs locaux responsables (en partie en tous les cas). De plus si une population est consciente des risques, elle peut non seulement potentiellement gérer des outils de surveillance mais aussi être apte à supporter les sollicitations d'un aléa plus important, car elle est mieux préparée.

L'équation du risque n'est donc pas tout, mais elle fournit un cadre conceptuel indispensable pour la gestion de l'impact des aléas sur la société. Nous partons du principe dans cet article que l'aléa est la base, nous ne discutons pas de la façon de le qualifier, mais plutôt de ses implications dans la gestion des risques.

LA LECTURE DU RISQUE

La formulation du risque n'est pas unique, elle dépend du degré de connaissance du contexte et du phénomène dangereux lui-même. Cependant les éléments essentiels à son appréhension se trouvent dans l'équation ci-dessus, à l'exception des coûts indirects du retour à la normale après une catastrophe, dont il est question plus loin.

Il est possible d'avoir une lecture de l'équation [1] en termes de représentation. Comment se comporte-t-on vis-à-vis du danger et de ses conséquences? Cela dépend de l'expérience, de la perception des risques (SLOVIC 1987) et de l'image que l'on s'en fait (PERETTI-WATEL 2000).

Cette lecture est fortement dépendante de la responsabilité des acteurs et de leurs états psychiques; une personne en bonne disposition est, a priori, plus encline à prendre des risques si cela lui bénéficie et inversement (SLOVIC & PETERS 2006, FINUCANE *et al.* 2000). En plus, la posture dans laquelle se trouvent les personnes impliquées est importante: si une situation à risque entraîne certains coûts, ou si quelqu'un doit prendre une responsabilité (doit signer) pour une communauté ou un groupe de personnes. La situation est différente pour une personne qui de sa propre décision s'expose volontairement aux risques. Il s'agit alors de prise de risque individuelle dont les potentielles conséquences affectent uniquement ou principalement la personne concernée ou un petit groupe.

Si l'on se livre à une lecture des termes de l'équation du risque, alors les constatations faites ci-dessus deviennent naturelles. Comment se représente-t-on H?, V, E et W? Quelles termes évalue-t-on lors de la pondération des risques? Premièrement, ces termes nous concernent-ils directement ou représentent-ils quelque chose de lointain dans le temps, dans

l'espace ou d'un point de vue du fonctionnement cognitif? Rappelons que les journalistes considèrent souvent pour communiquer que les personnes sont concernées au premier chef par le «moi», avec une décroissance en fonction de la proximité spatiale, affective, temporelle et du contexte social proche jusqu'au contexte culturel (AGNÈS 2002) (figure 2). Un bon exemple du «moi» est celui d'un enfant qui ne sait pas qu'il est vulnérable ($V = 0$). Le risque n'existe donc pas pour lui, même s'il en a une représentation. Le skieur hors-piste peut sous-estimer H ou V. Un propriétaire surestime très certainement W et V, mais sous-estime probablement H; bien que cela dépende aussi de l'assistance offerte par la communauté. Une autre interrogation à propos de la représentation de W est la façon dont elle est liée à la culture. W peut être un type d'environnement, des habitudes, des connaissances pratiques, des traditions, des structures sociales, qui tous sont vulnérables aux risques sociaux et naturels.

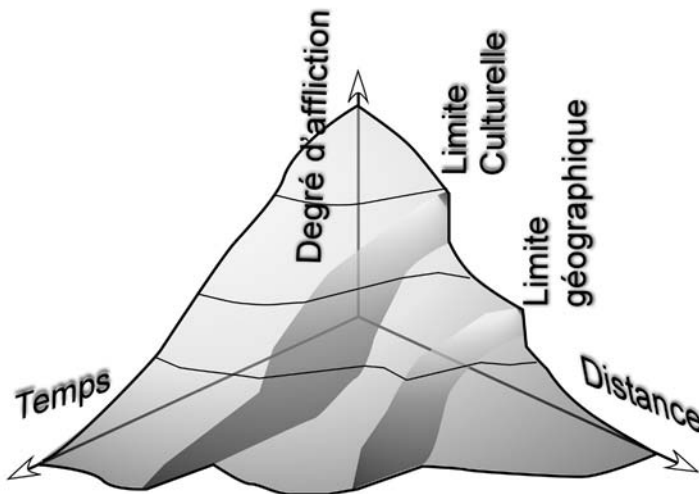


Figure 2.—Illustration du concept d'affliction qui signifie que plus le temps et l'espace qui sépare d'un événement catastrophique est grande, moins les personnes se sentent concernées.

L'état affectif d'une personne confrontée à l'évaluation de l'équation [1], pour quelque raison que soit, consciemment ou inconsciemment, va influencer son évaluation (KOUABENAN 2006). Prenons un exemple trivial: une personne qui veut en séduire une autre en pratiquant une activité dangereuse (saut en ski, vitesse en voiture ou moto, etc.), peut être entraînée à prendre des risques inconsidérés pour impressionner l'autre. L'équation [1] est une simplification du monde risqué, mais il peut être représenté de différentes manières, et elle fournit un cadre nécessaire à la réflexion. Ensuite, l'étude de l'ensemble de cette représentation est un support pour communiquer entre chaque acteur ou groupe concerné dans la gestion des risques. Tous les termes de [1] sont évalués par chaque acteurs ou groupes concernés par des risques. Ceux-ci sont inspectés sous l'angle de:

1. La responsabilité
2. La propriété
3. Les structures de la société

4. Les contraintes administratives et politiques

5. Etc.

A la fin, tous ces points sont fonction de la spatialité et de la temporalité de tous les termes de l'équation du risque et tous les aspects ci-dessus doivent aussi être situés dans un contexte géographique au sens large ainsi qu'être liés au temps. Des modèles économiques récents, tenant compte des comportements, montrent que suivant les comportements adoptés par de nouveaux habitants dans des zones à risques côtiers, le niveau de risque augmente en raison de l'attrait pour certaines zones plus susceptibles d'être affectées et de l'absence de prise en compte du risque par les nouveaux habitants sans expérience (FILATOVA *et al.* 2011).

EXEMPLES DE SITUATIONS QUE DOIT RÉSOUDRE L'ANALYSE DE RISQUE

L'analyse de risque quelle qu'elle soit ne fournit qu'un des outils pour leur gestion. Néanmoins, il est primordial de comprendre les processus qui génèrent les risques ou/et qui s'y opposent. Plusieurs aspects sont encore mal maîtrisés, notamment en ce qui concerne les événements extrêmes dont on connaît assez mal les étendues, fréquences (aléas) et les intensités associées. Il en va souvent de même pour ce qui concerne les vulnérabilités. De plus, on sait désormais que dans le monde les grands moteurs de l'augmentation des risques naturels sont l'anthropisation, le manque de préparation et de moyens, mais aussi la pauvreté (UNISDR 2011, IPCC 2012). Où que l'on se trouve, les processus qui mènent à une situation à risque sont souvent issus des mêmes types de situations. En effet, les habitants d'un territoire sont souvent peu enclins à admettre les risques qui les touchent directement si aucun événement ne les a encore affectés, et cela est vrai autant en Europe qu'en Asie par exemple. De plus, si une mauvaise évaluation mène le plus souvent à une mauvaise gestion, une bonne évaluation ne mène pas forcément à une bonne gestion.

Les exemples de problèmes

Plusieurs événements récents ont montré les écueils de l'analyse des risques et de leur gestion. Ces événements ont souvent soulevé des problèmes connus et aussi parfois nouveaux. Les quelques cas qui suivent illustrent brièvement un certain nombre de ces problèmes.

Gurtnellen (UR) et la fin des cartes de dangers

Le 31 mai 2006, un éboulement de 5000 m³ s'est produit au-dessus de l'autoroute du Saint-Gothard près de Gurtnellen. 11 blocs d'environ 10 m³ chacun ont atteint la route, tuant deux touristes allemands dans leur voiture et touchants plusieurs véhicules (LINIGER & BIERI 2006). La route a été rouverte le 2 juin pour environ une heure, avant que de nouvelles chutes de blocs se produisent, sans toutefois atteindre l'autoroute. Puis, cet axe principal qui traverse les Alpes a été de nouveau fermé pour un mois. Avec six millions de véhicules en 2005, dont 1 million de camions, la fermeture de l'axe routier du Gothard en juin 2006 a notamment provoqué un excès de 260'000 véhicules sur l'itinéraire du San Bernardino (SWISSINFO 2006). Durant le mois de juin, la falaise, où restait 5000 m³ de matériel instable, a été purgée (LINIGER & BIERI 2006). Les blocs produits par le dynamitage se sont arrêtés au-dessus de l'autoroute. Notons qu'en mars 2004, trois blocs s'étaient arrêtés sur la place

de parking et un peu plus haut, indiquant que l'instabilité avait déjà été activée ou réactivée à ce moment-là.

Cet évènement a fait apparaître plusieurs lacunes: (1) La première réouverture de façon trop hâtive de l'autoroute; (2) La deuxième fermeture trop longue pour un axe de cette importance; (3) La démonstration que le concept de carte de danger (LATELTIN *et al.* 1997) n'était pas adéquat dans un tel cas et ceci pour plusieurs raisons: d'une part parce qu'il n'intègre pas le risque et d'autre part à cause de la mise en œuvre par un petit canton, qui possède des administrations trop restreintes pour gérer de façon adéquate des situations à risque particulières.

L'examen de l'instabilité a probablement été réalisé de façon trop rapide, et les pressions pour la réouverture ont dû être importantes. Malgré un impact économique important en termes de transport à travers les Alpes, il a ensuite été décidé de fermer l'axe du Gothard, pour éviter des problèmes, car la pression médiatique devenait élevée, notamment d'Allemagne. Pourtant, la création d'une digue sur la voie amont et une circulation alternée sur la voie aval, moyennant une inspection visuelle et instrumentée permanente, auraient permis de maintenir une partie du trafic, comme l'a fait remarquer Jean-Daniel Rouiller (ATS 2006). Ceci avec en plus une fermeture nocturne. L'aspect positif de cette expérience est que les lacunes de gestion ont été révélées et ont permis de mettre en place une nouvelle stratégie d'évaluation des risques le long des routes nationales en Suisse (DORREN *et al.* 2009, CAJOS *et al.* 2009). La plupart des outils avaient pourtant déjà été envisagés par la confédération (HEINIMANN *et al.* 1999, HEINIMANN & BORTER 1999). Il était en effet illusoire d'utiliser le concept de carte de danger pour la gestion d'axes de transport, et surtout de compter sur un canton d'un peu plus de 30'000 habitants pour gérer ce genre de situation. Le système a montré ses limites dans ce cas-là, ce qui a finalement été bénéfique.

Gurtellen II: la mauvaise évaluation des risques

Sur l'autre versant de la vallée, proche de Gurtellen, deux éboulements se sont produits au-dessus de la voie de chemin de fer. Le premier d'environ 400 m³, dont 5 m³ ont atteint les voies le 7 mars 2012, a provoqué la fermeture de la ligne pour 5 jours (20 MINUTES 2012, VOUMARD 2012). Cette falaise était l'objet de travaux d'assainissement le 5 juin 2012 lorsque 2'000 à 3'000 m³ se sont détachés et ont blessés deux ouvriers et tuant un troisième en l'ensevelissant. La ligne est restée fermée pendant un mois. Les causes sont attribuées à de fortes précipitations au début du mois de juin et au fait qu'une des structures géologiques ayant mené à la rupture n'avait pas été identifiée (Police cantonale uranaise citée par VOUMARD 2012).

Ce cas montre les difficultés de prévoir un éboulement (le premier), mais également qu'en général les mesures d'assainissement suivent. Néanmoins, les investigations et la surveillance avant et pendant le chantier ont visiblement été déficientes. Il reste à comprendre pourquoi, malgré une surveillance et des mesures a priori adéquates, celles-ci n'ont pas suffi.

Xynthia (Vendée, France) la gestion du territoire et la vulnérabilité

Le 28 février 2010, la tempête Xynthia a fait 47 morts dont 41 dus à des inondations par submersion. En particulier le village de la Faute-sur-Mer a compté 29 victimes, dont la plupart étaient des personnes de plus de 60 ans mortes dans leur sommeil (VINET *et al.* 2011).

Cette région de polders n'a pourtant pas été épargnée dans un passé récent avec plus de 6 événements de submersion depuis 1877 et jusque dans les années soixante (SAZEAU 2011). En 2010, le niveau de l'océan était de 4.7 m supérieur à la normale à cause des vents et de la forte marée (VINET *et al.* 2011). Plusieurs causes sont à l'origine de cette catastrophes (VINET *et al.* 2011): (1) le mauvais entretien des digues entraînant parfois leur destruction partielle; (2) une urbanisation déraisonnable dans des zones à risque. On constate que les bâtiments qui ont compté des décès ont été construits depuis 1980, alors qu'aucune victime n'a été déplorée dans les constructions antérieures à cette date; et (3) l'inadaptation des bâtiments, en majorité constitués d'un seul niveau et le plus souvent sans possibilité d'échappatoire sur le toit.

Rappelons aussi que le maire de la Faute-sur-Mer a été mis en examen le 14 avril 2011 (AFP 2011a), mais qu'ensuite, chose étrange, des graffitis d'insultes, en faveur du maire, ont été réalisés sur des tombes des victimes et sur la maison d'un défenseur des victimes (AFP 2011b).

L'Aquila (Italie)

Le 22 octobre 2012, un juge italien condamne 7 experts italiens (6 scientifiques et un haut fonctionnaire) à 6 ans de prison et à verser près de 8 millions d'Euros pour avoir incité des habitants à modifier leurs comportements face à une activité sismique accrue dans la région de L'Aquila (NOSENGO 2012, RIDET 2012, HALL 2011). Le tremblement de terre du 6 avril 2009 à L'Aquila a fait 1500 blessés, 20'000 bâtiments endommagés, 60'000 personnes déplacées et 309 victimes dont 29 personnes qui avaient pour habitude de quitter leurs maisons lorsqu'une activité sismique inhabituelle était ressentie. Mais cette fois-ci, ils ne le firent pas car les experts d'une commission des risques italiens s'étaient montrés rassurants lors d'une réunion à L'Aquila une semaine avant l'évènement.

Selon HALL (2011), ces experts ont constaté l'activité, mais ont conclu qu'il n'y avait pas plus de risque que le niveau habituel qui est de toute façon élevée dans cette zone. A la sortie d'une réunion d'information, ils ont rassuré la population en leur disant qu'ils pouvaient rentrer chez eux et qu'ils pouvaient boire un verre de vin tranquillement, sous prétexte qu'une activité sismique n'est pas un signe précurseur reconnu d'un séisme plus grand. D'autre part, un ancien technicien avait affolé une partie de la population en faisant des prévisions de séisme sur la base d'émission du gaz radon dont on sait qu'il peut augmenter, diminuer (IGARASHI *et al.* 1995, KUO *et al.* 2006), ou ne pas varier avant un tremblement de terre. A l'occasion du procès, plus de 5'000 scientifiques ont souligné que la prévision des séismes n'est pas possible.

Ainsi l'action du groupe de la commission des risques a aussi été influencée par des facteurs externes. Voulant mettre fin à une situation tendue, les responsables ont été jusqu'à se montrer trop rassurants, comme s'ils prédisaient qu'il n'y aurait pas de séismes, au lieu d'indiquer que la situation était préoccupante, mais que la prédiction n'était pas possible. Ils auraient en effet mieux fait de dire «si vous souhaitez dormir dehors, faites-le» et de rappeler les comportements à adopter en cas de séisme. Le plus regrettable dans cette affaire est que les personnes condamnées sont des personnes qui ont œuvré plus que beaucoup d'autres pour la réduction des risques en Italie. Malheureusement, ils ont fait une faute de communication qu'ils payent beaucoup trop cher. Il n'est pas injuste qu'ils aient été condamnés, car ils n'auraient pas dû se montrer aussi rassurants. Mais une peine d'au plus

un an, avec sursis et sans implication financière, aurait suffi, car cet événement crée un précédent qui amène inévitablement à la question suivante: qui désormais prendra des responsabilités dans le domaine de la gestion des risques? Ceci renvoie donc aux cadres légaux, mais également moraux et éthiques, qui définissent la répartition des différentes tâches et responsabilités de la gestion des risques entre les multiples acteurs, experts et décideurs; de l'évaluation du risque jusqu'à la communication et sensibilisation de la population en passant par sa réduction.

L'éboulement de St. Nicolas (VS)

Le 21 novembre 2002 à 15h20, 120'000 m³ s'effondrent au-dessus du village de St. Nicolas, alors qu'une partie du village a été évacuée depuis 6 jours et que l'évacuation complète a été faite depuis 20h (POINTER 2006). Cet éboulement n'atteint heureusement pas les bâtiments et aucune vie humaine n'a été mise en danger. L'activité de l'instabilité rocheuse commence en juillet 2002, une cellule de crise est formée début septembre dont fait partie le géologue Rovina, natif de l'endroit. Fin septembre, une évacuation est réalisée au vu des mouvements observés. Elle est levée 2 jours plus tard. La surveillance permet de prévoir la chute et d'évacuer avant l'éboulement (LADNER *et al.* 2004). La cellule de crise met sur pied des plans d'évacuation avec l'aide de M. Rovina, ce dernier favorisant une bonne communication et une gestion de la crise exemplaire.

Le problème des événements extrêmes

Il existe de nombreuses lois statistiques, que l'on tente d'ajuster sur des distributions observées. Il est relativement rare que l'on s'attarde sur leur origine et leur genèse. On sait que la loi normale est issue du théorème centrale limite (VENTSEL 1987), qui stipule que la somme de processus aléatoires possédant chacun une distribution quelconque de variance et moyenne définies aboutit à une loi normale. Lorsque la statistique suit une loi normale pour les valeurs logarithmique, alors la distribution, log-normale, est le résultat d'un processus multiplicatif. Les lois de type puissance sont, elles, issues de processus self-similaires ou en cascade, comme les énergies des ruptures de tremblements de terre, les glissements de terrain ou la surface de feux de forêts (SORNETTE 2006, MALAMUD & TURCOTTE 1999). La distribution de Poisson est le résultat de processus purement aléatoires alors que les lois des événements extrêmes proviennent d'extraits de distributions aléatoires (SORNETTE 2006).

Par conséquent, dans la plus part des cas, les distributions sont ajustées sur des données sans réellement prendre garde à leur validité «physique». De plus, bien des distributions ne possèdent pas de genèse claire (JOHNSON *et al.* 1995).

Des études récentes (SORNETTE & OUILLON 2012, ANCEY 2012) tendent à prouver que certains événements catastrophiques ont des valeurs d'intensités qui ne font partie de la statistique. Ils les appellent «Dragon-King». Or ceci indique que, compte tenu de leur rareté, nous n'avons pas accès aux lois statistiques qui régissent ces phénomènes, de sorte que les ajustements de lois aux valeurs courantes ne permettent pas d'en évaluer la fréquence. ANCEY (2012) indique que les avalanches de neige extraordinaires sont issues de situations singulières. Ceci s'ajoute bien sûr aux problèmes de changements de conditions qui modifient les paramètres des lois de distributions. C'est le cas du climat (SCHAER *et al.* 2004), avec des températures mensuelles qui ont augmenté en moyenne de 0.8°, si les statistiques sont réalisées sur les périodes 1864-1923 et 1941-2000 (figure 3).

Il s'agit donc désormais d'analyser les signes précurseurs, c'est-à-dire de comprendre la dynamique des systèmes, soit la série temporelle précédant ces événements extraordinaires (SORNETTE & OUIILON 2012). Et ceci s'applique donc tant aux phénomènes naturels qu'à l'occupation du territoire puisque nous sommes concernés par tous les risques.

Il existe aussi des cas où la distribution des valeurs d'intensités du phénomène n'est pas la même pour les valeurs élevées et les faibles valeurs. C'est le cas des grands volumes des laves torrentielles en Valais qui suivent des lois puissances différentes de celles des plus petits volumes (figure 3c) (BARDOU & JABOYEDOFF 2008).

Les événements extrêmes sont encore très mal maîtrisés par la société, tant par les scientifiques que par la population, car ce que nous n'avons pas vécu, nous ne pouvons que difficilement l'imaginer sans surestimer ou sous-estimer le risque. Les études sur la perception de l'aléa d'inondation montrent d'ailleurs que celle-ci varie en fonction de l'information dispensée (KELLER *et al.* 2006).

Le vieillissement des infrastructures

Un fait marquant est que bon nombre de dangers naturels sont d'une origine anthropique. C'est notamment le cas de nombreux glissements de terrain (MICHLOUD *et al.* 2011); souvent dus à la défectuosité d'une infrastructure telle que les conduites d'eau. Par exemple le 1^{er} septembre 2002, le glissement superficiel de Lutzenberg (canton d'Appenzell), de 2'500 m³, a détruit trois maisons et tué trois personnes (VALLEY *et al.* 2004). Des précipitations exceptionnelles associées à une conduite d'eau qui fuyait, ont permis de mettre en mouvement les matériaux superficiels d'un pâturage dans une pente d'environ 19°; ceci ayant été confirmé par des simulations numériques et des observations (VALLEY *et al.* 2004). Un exemple similaire de conduite percée, menant à un chalet quasiment désaffecté, s'est produit au-dessus des Diablerets (VD) durant des précipitations intenses mais pas exceptionnelles (temps de retour d'environ 3 ans). L'entretien était donc quasi inexistant depuis de nombreuses années. Un glissement de 500 m³ a ainsi coupé une petite route mais n'a fait aucun dégât majeur (JABOYEDOFF & BONNARD, 2008).

Un autre exemple est celui de la rupture d'un mur de soutènement le long de la voie de chemin de fer de Palézieux à Payerne, le 2 février 2013. Les matériaux du mur ont envahi la voie accompagnés d'un glissement de terrain d'une centaine de m³ (figure 4). Les précipitations, pas exceptionnelles mais accompagnées de fonte de neige fraîche, ont produit de grandes quantités d'eau qui ont probablement fait augmenter les pressions derrière le mur. Le dépôt sur les voies a fait dérailler le train, sans blesser les passagers (24HEURES 2013). Quelques mois plus tôt cette ligne avait déjà été affectée par un glissement quelques kilomètres plus loin (LA LIBERTÉ 2012). Il semble que les ouvrages commencent à être âgés et à céder.

En Suisse on observe clairement une dégradation des infrastructures et ouvrages durant ces dernières années. Ceci est souligné par le fait que de nombreux ouvrages en bétons, par exemple, sont rénovés en Suisse à cause de ces vieillissements. Un tel programme a déjà été identifié au cours des années 70 et planifié depuis le milieu des années 90 (OFQC 1994). Au Québec, l'effondrement du viaduc de la Concorde, qui a fait 5 morts et 6 blessés illustre aussi ce problème. Il a été provoqué par des négligences, mais en particulier par une

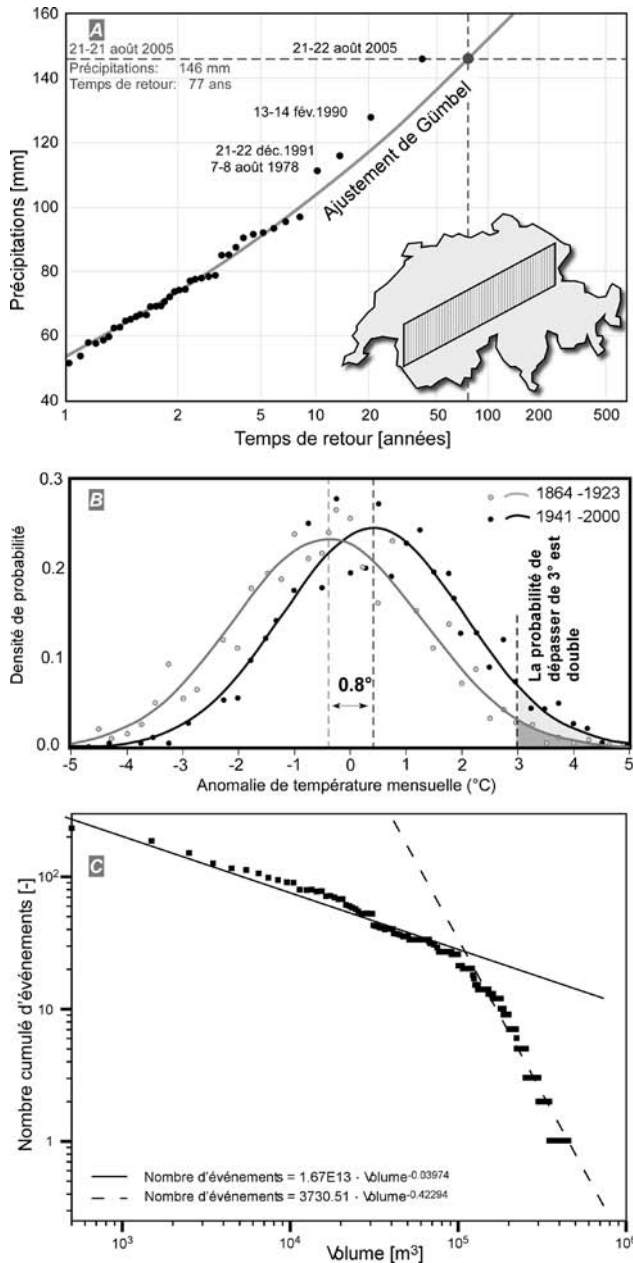


Figure 3.—(A) Précipitations en fonction du temps de retour. Les fortes précipitations récentes (y.c. neige) ne suivent pas l'ajustement de la loi de Gumbel (ligne du centre) des valeurs observées de précipitations pour 2 jours, 2005 en particulier (modifié d'après BEZZOLA & HEGG 2007). (B) Montée des températures moyennes en Suisse (Modifié d'après SCHAER *et al.* 2004). (C) Les volumes de laves torrentielles en Valais sont distribués selon 2 lois de puissance (Modifié d'après BARDOU & JABOYEDOFF 2008).

dégradation des matériaux (GOUVERNEMENTS DU QUÉBEC 2004). Les constatations ci-dessus s'appliquent bien entendu à d'autres ouvrages tels que les digues, les murs de protection, les filets de protection, les ancrages, etc. Ce problème n'est pas encore forcément bien documenté pour certaines de ces infrastructures, et il s'agit d'y prendre garde, notamment dans les zones où l'activité économique diminue et donc où beaucoup d'infrastructures ne sont plus entretenues.



Figure 4.—Train qui a déraillé en février 2013, avec le mur qui a cédé et le dépôt des matériaux.

INTÉGRATION DES RISQUES DANS UN CADRE PLUS LARGE: LEUR GESTION

Le contexte

Le but de l'analyse de risque et de leur gestion est de, in fine, réduire les risques et donc les impacts sur la société. Mais la poursuite de cet objectif doit tenir compte de la complexité des enjeux parmi lesquels les risques naturels ne constituent qu'une des composantes de la gestion du territoire (LEROI *com. pers.*, LEROI *et al.* 2005) et de la société, qui notamment se préoccupe aussi des problèmes de santé publique. De plus, de nouvelles valeurs et enjeux environnementaux apparaissent tels que protection de la nature ou des eaux, gestion des forêts, etc., qui modifient le classement des valeurs affectées aux objets à risques. L'analyse coûts-bénéfices n'est désormais plus la méthode principale d'aide à la décision, cependant elle reste, comme il a déjà été indiqué, un outil très utile dans un processus décisionnel.

Les contraintes évoquées ci-dessus, qui sont de plus en plus nombreuses, impliquent inévitablement que la gestion du territoire ne peut se restreindre à des interdits ou à une classification rigide comme les cartes de danger suisses (les cartes de danger suisses sont en fait une évaluation des risques pour des bâtiments d'habitation). Au contraire, elle doit s'adapter aux contraintes, mais également mesurer et tolérer des prises de risques moyennant des mesures adéquates. Il est en effet préférable de vivre dans une zone rouge sachant qu'elle est rouge, que dans une zone de couleur inférieure dont l'affectation aurait été le fruit de décisions prises sous l'effet de pressions externes afin de minimiser le danger. Il existe plusieurs façons d'habiter des zones rouges, si les fréquences et les intensités restent raisonnables. On peut envisager des mesure d'évacuation grâce à un système d'alerte, comme cela a été fait temporairement à St-Nicolas, ou développer un habitat adapté comme cela aurait dû par exemple être le cas à la Faute-sur-Mer, des maisons à deux étages au moins avec échappatoire vers le toit ainsi que l'interdiction d'avoir des chambres à coucher au rez-de-chaussée. Lorsque des protections sont installées, la couleur du danger ne doit pas être supprimée, mais elle peut être assortie d'un figuré qui par sa couleur indique la réduction qui a été réalisée par la mesure prise et qui par son symbole indique le type de mesure (NICOLET *et al.* 2011) (figure 5).

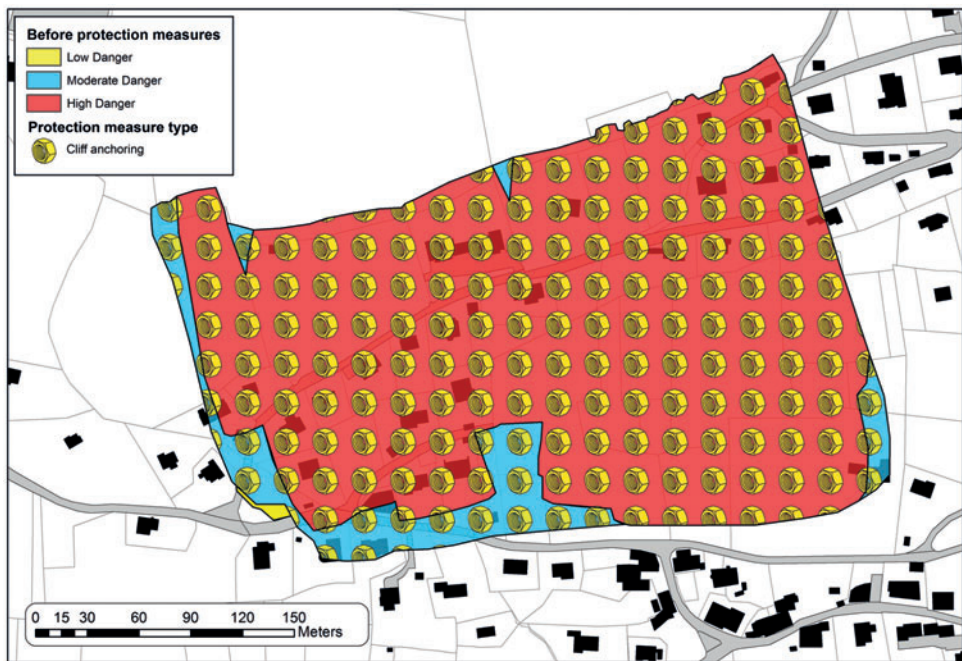


Figure 5.—Exemple de carte de danger chute de blocs pour la commune de Chardonne. Sans mesure de protection, le niveau de danger est élevé dans la majeure partie de la zone, tandis que les auteurs de l'étude estiment qu'il serait faible après les mesures de protection proposées (Géodonnées ©Etat de Vaud pour le fond cadastral / Norbert SA, Xylon SA et Cetp SA pour les cartes de dangers) (Tiré de NICOLET *et al.* 2011). (figure 32.5 en couleur en annexe)

Dans les cas de Gurntellen, on voit que d'une part la gestion des risques doit être indépendante des pressions, mais d'autre part des solutions doivent être trouvées. Ceci implique que la description du système à risque soit la plus complète possible. Nous y reviendrons plus loin. Mais surtout cela soulève la question de savoir quels sont les meilleurs outils pour gérer les risques?

Réduire le risque

Réduire le risque est important, mais de quelle manière? Il existe une panoplie de mesures structurelles, décisionnelles et organisationnelles, qui peuvent mener à cet objectif. Parmi celles-ci les systèmes de surveillances et d'alertes, la communication des risques ainsi que la prise de conscience des incertitudes dans l'appréhension des risques.

Les systèmes d'alertes

Les alertes qui concernent les événements météorologiques sont bien connues du public, mais ne sont pas toujours suivies par les populations. On peut s'en convaincre par le grand nombre de morts par imprudence lors des événements avalancheux de l'hiver 1999 dans les Alpes et lors de la tempête Lothar, et visiblement aussi de la part des autorités dans le cas de Xynthia.

Dans le cas des glissements de terrain, il existe plusieurs approches pour les «Early warning system» (EWS) ou systèmes d'alerte, suivant qu'il s'agisse de grands glissements ou de mouvements superficiels. Les glissements superficiels sont ce qu'on peut appeler «les glissements tueurs» comme celui de Lutzenberg, car bien que de petite taille, leur intensité est suffisante pour détruire des bâtiments en raison de vitesses relativement élevées, et il est difficile de prévoir leur localisation. C'est la raison pour laquelle plusieurs tentatives sont en cours dans le monde pour développer des systèmes d'alertes basés sur l'intensité des précipitations, la saturation des sols, les précipitations antécédentes, etc., afin d'être capable d'établir une alerte et d'éventuellement évacuer les zones les plus sensibles (BAUM *et al.* 2010). La même approche est en train d'être appliquée dans des zones urbanisées telles que Vancouver pour les laves torrentielles (JAKOB *et al.* 2011). La difficulté scientifique et technique de ce genre de systèmes est l'identification des seuils qui définissent les différents niveaux de l'alerte.

Les grands glissements peuvent présenter une rupture brutale, comme à Åknes (Norvège; BLIKRA 2008) ou à Turtle Mountain (Alberta, Canada; FROESE & MORENO 2011). Ces sites sont équipés de systèmes d'alerte complets, avec une chaîne de décision prédéfinie et de nombreux instruments sur site, avec de la redondance dans la transmission et dans les instruments eux-mêmes (figure 6). Dans le cas d'Åknes, le problème est compliqué puisqu'un tsunami peut être induit dans les fjords parmi les plus touristiques de Norvège. Ainsi, une infrastructure de chemins de fuite vers des points hauts a été créée. Ils sont signalés par des panneaux et un système de haut-parleur a été mis en place pour donner l'alerte, le tout en plusieurs langues. La population a aussi été impliquée dans des exercices et de nombreuses séances d'information ont été réalisées dans les villages.

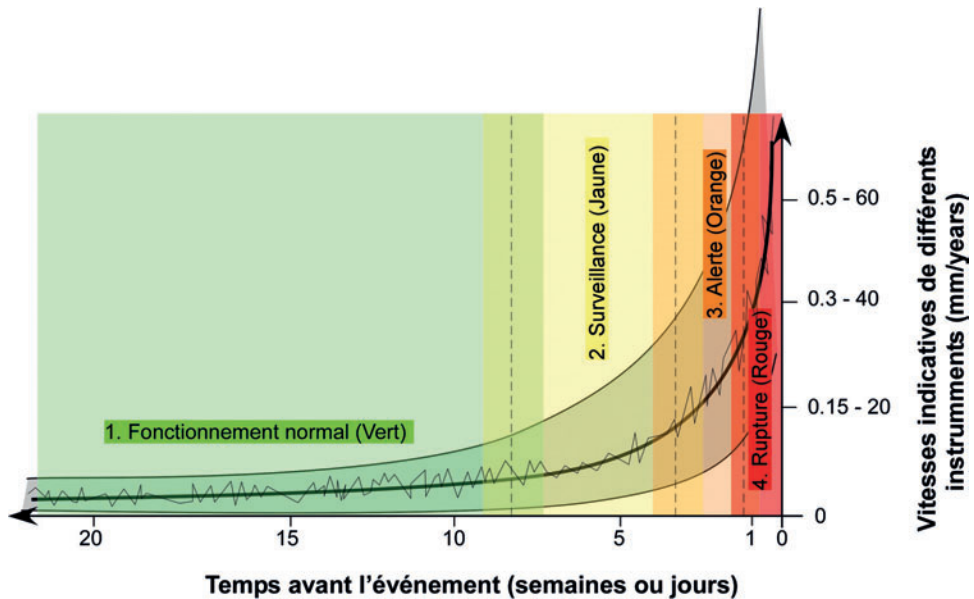


Figure 6.—Représentation schématisée des niveaux d'alerte relatifs aux vitesses de capteurs de mouvement sur des glissements rocheux de plusieurs millions de m³. Notez que les périodes de décision sont floues en fonction des connaissances d'expert et que les valeurs seuils sont définies en fonction du capteur et de sa position (Modifié d'après FROESE *et al.* 2012; d'après BLIKRA 2008 et FROESE & MORENO 2011). (figure 32.6 en couleur en annexe)

Communiquer le risque

Comme l'exemple de L'Aquila le montre, la communication des risques est, et devient, primordiale dans la gestion des risques. Une des conditions pour que la communication du risque soit efficace est qu'elle soit développée considérant les caractéristiques de l'audience qu'elle vise (LUNDGREN & McMAKIN 2009). Elle doit donc notamment tenir compte de la représentation des risques des personnes concernées et en particulier de leur perception (PERETTI-WATEL 2000). En effet, la perception que les gens se font du risque est le moteur de leur comportements face aux risques (ESPINER 1999, ENDERS 2001). La perception d'un risque dépend, en principe, de l'état affectif de l'individu concerné (FINUCANE *et al.* 2000) mais aussi de ses connaissances, de son vécu dans le contexte à risque, de son attitude face aux risques, de son exposition aux mesures de sensibilisation, de ses capacités de mitigation, de préparation et de réponse, ainsi que de ses caractéristiques personnelles (âge, genre, éducation, etc...) (ENDERS 2001). Dans le modèle de l'affect, selon SLOVIC & PETERS (2006), si l'individu se trouve dans de bonnes dispositions, il serait apte à prendre des risques si le bénéfice est important; ce qui démontre la difficulté d'appréhender la perception.

La perception est un processus complexe. KELLER *et al.* (2006) ont pu noter, par exemple, qu'un groupe de personnes informées des risques d'inondation dont les temps de retour sont plus longs est plus sensible aux risques, qu'un autre groupe informé d'événements à temps de retour plus faibles donc d'intensités plus faibles. Mais cela dépend aussi de l'expérience personnelle des individus ainsi que des autres facteurs cités ci-dessus. D'autre part, la

manière de présenter l'information peut avoir un impact sur la perception des risques. Par exemple, la présentation des photos d'inondation rend les personnes plus sensibles aux risques (KELLER *et al.* 2006). Il apparaît aussi que les médias semblent avoir une influence sur la perception des risques en général mais pas sur la perception personnelle du risque (WÄHLBERG & SJÖBERG 2000).

Il existe une tendance à considérer que les experts sont plus à même d'évaluer les risques et qu'ils seraient capables d'être objectifs (SLOVIC 1987). Ce modèle de perception des risques est contesté (JASANOFF 1997). Le problème des experts est qu'ils sont souvent proches de personnes impliquées de par leur statut d'expert et qu'ils entrent dans un jeu de pouvoir. Les experts indépendants, même qualifiés, sont souvent discrédités. Pourtant, les personnes les plus adéquates pour parler des dangers naturels sont celles qui les étudient, à savoir les techniciens, ingénieurs, scientifiques, géologues, etc., car ils connaissent les processus et prennent pour certains des responsabilités dans la gestion des risques. Il semble clair qu'une certaine proximité entre les personnes concernées par la réduction des risques et la population est nécessaire, comme le montre l'exemple de St-Nicolas. Il ne suffit pas de communiquer pour obtenir un résultat, il faut s'assurer de la confiance, montrer qu'on prend des responsabilités. Il faut absolument éviter les scénarios de médiatisation excessive décrit par DAUPHINÉ (2001):

1. Phase 1: La surmédiatisation induit:
 - Sensationnalisme
 - Voyeurisme
 - «Télé-réalité»
2. Phase 2: Souvent dans un deuxième temps les médias cherchent qui sont les coupables?
 - La recherche des causes, mais de façon à identifier des erreurs humaines ou des responsabilités individuelles
 - L'idée du complot s'insère: les choses arrivent, mais cela a été caché, et certaines personnes connaissaient le risque
 - ...

Bien sûr cela ne veut pas dire que la phase 2 ne soit pas légitime pour la société, car il existe souvent des responsables, que par exemple le journalisme d'investigation sérieux tente d'identifier. Mais lorsque que la catastrophe n'est pas imputable à des erreurs, il faut absolument éviter une surmédiatisation. Il existe notamment deux stratégies opposées pour tenter d'éviter «la médiatisation déviante»: la plus courante, c'est le secret, qui est souvent la source des deux phases décrites plus haut. La seconde consiste à être transparent, même si elle n'évite pas forcément les écueils de la communication.

Une communication efficace doit impérativement impliquer une connaissance de l'aléa par les communicants, qui doivent être les scientifiques, les techniciens, les politiques ou/et des personnes des services de l'état concernés ou des spécialistes de communication ayant intégré la problématique de l'aléa dans leur discours. Mais la communication doit aussi s'appuyer sur une connaissance des populations ou intégrer un volet qui permette d'interagir avec la population et les groupes d'influences, afin de mieux comprendre le fonctionnement de la communauté concernée.

La société doit s'adapter aux incertitudes

Dans le processus de communication, il s'agit aussi de transmettre une partie de la connaissance tout en y incluant de l'incertitude. En effet, lors de la catastrophe de L'Aquila, c'est justement d'avoir voulu rassurer en induisant implicitement une prévision indirecte (en indiquant que les gens pouvaient rentrer chez eux) dans une situation plus incertaine qu'à l'accoutumée qui a mené aux condamnations. Il est donc important que cette incertitude soit transmise d'une façon ou d'une autre. Selon IBREKK & MORGAN (1987) l'incertitude peut être mieux transmise si les courbes d'excédence sont fournies en regard de la densité de probabilité; les personnes peuvent ainsi se figurer les probabilités (figure 7).

Mais l'incertitude doit aussi faire partie de tous le processus d'évaluation et de gestion des risques; les problèmes de Gurtneilen, de l'Aquila sont là pour nous le rappeler et l'exemple de St-Nicolas montre qu'une population peut l'accepter, si elle y est préparée.

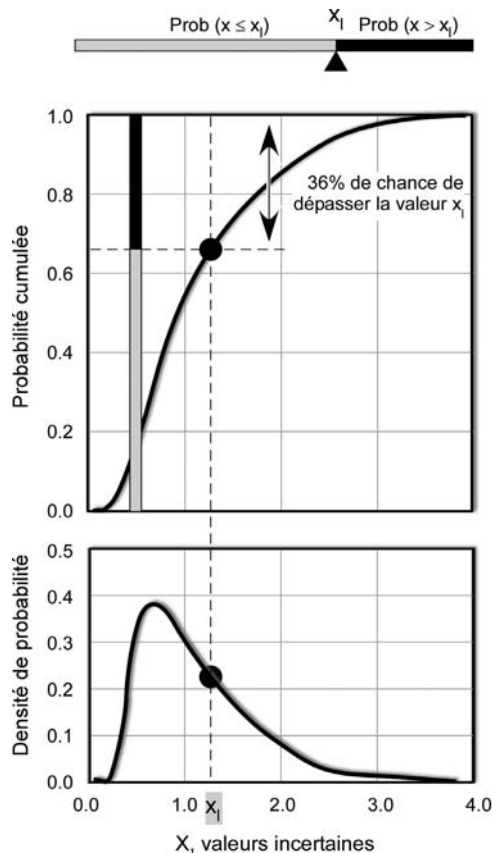


Figure 7.—Illustration de la façon de transmettre l'incertitude et les notions de probabilité au public (modifié d'après IBREKK & MORGAN 1987).

Structurer l'analyse des risques

Bien souvent les données nécessaires à la quantification des risques ne sont pas disponibles ou n'existent simplement pas. Il existe une série de méthodes qui tentent de pallier à ce manque. L'une d'elle consiste à réunir une équipe de personnes concernées par les risques et d'en tirer un tableau des aléas (fréquence ou probabilité) et des impacts potentiels (GILLET 1985, ALE 2009). Cette méthode a été systématisée par la Zürich assurance (méthode ZHA), qui a réalisé un outil (ZHA 2013) dont une version Excel est en libre accès. Sur cette base les tâches sont:

1. Réunir un groupe de personnes concernées
2. Choisir un leader
3. Définir les aléas
4. Définir les conséquences
5. Choisir des limites d'acceptabilité ou/et de tolérance
6. Proposer des scénarios de réduction du risque
7. Réalisation
8. Actualisation au cours du temps

Notons que cette méthode est, depuis quelques années, appliquée par la confédération pour la gestion des risques de projet (feuille Excel Risk-Cockpit) dans le cadre plus large de la gestion électronique des affaires (GEVER 2009). Cette approche a récemment été étendue à «l'élaboration d'une analyse des dangers à l'échelon cantonal - KATAPLAN» (OFPP 2013), qui a pour but de préparer et protéger une population en cas de catastrophe ou d'autres situations d'urgence. A cette procédure on peut ajouter les impacts en chaînes qui peuvent être induits par des mesures. Ceci peut aussi être abordé avec des arbres de décision, basé sur l'opinion d'un groupe d'experts pour affecter des probabilités à tous les scénarios en arborescence (EINSTEIN 1988, LACASSE *et al.* 2008, ALE 2009).

Prenons un exemple fictif pour illustrer la méthode ZHA, en la modifiant légèrement. Nous sauterons les deux premiers points, car ils sont difficiles à décrire de manière concise. Le cas suivant est posé: une zone constructible est proposée dans une zone de laves torrentielles, où l'aléa est élevé (figure 8). Cette zone étant la seule zone acceptable compte tenu de l'ensemble des contraintes auxquels les aménagistes font face. Le groupe envisage alors de mettre les bâtiments les uns derrière les autres dans la direction du flux afin de limiter l'impact éventuel. Compte tenu de l'aléa, on décide de placer les limites des zones de risque tolérable et inacceptable le long des couples impact-fréquence tel que sur la figure 8. Ensuite, une digue de protection est proposée en amont pour laquelle deux solutions sont envisagées. Dans les deux cas, la digue est oblique afin de dévier les matériaux. De plus, des monticules végétalisés de 2 m de haut sont proposés de part et d'autre des bâtiments. D'une part, on réduit le risque pour la zone construite, mais d'autre part, on crée des zones où l'aléa était faible ou inexistant avant les mesures de protection.

Dans la matrice impact-fréquence, les problèmes ainsi que l'effet de la réduction des risques se visualisent. L'aléa de la zone des bâtiments se réduit en termes de fréquences mais les conséquences augmentent, car au cas où la digue serait inefficace, alors l'aléa serait d'intensité plus forte. La déviation des laves torrentielles induit dans les deux cas de nouvelles zones à risque si celles-ci venaient à être habitées. Leurs fréquences augmentent,

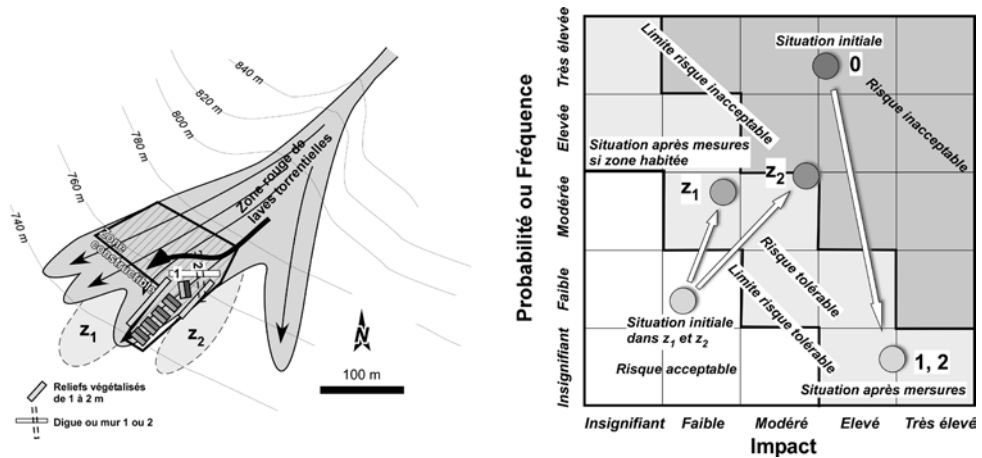


Figure 8.—Exemple de zone à bâtir potentielle dans une zone d'aléa élevé et illustration des solutions proposées. A droite représentation des degrés de risques à l'aide de la matrice impact-fréquence. Le champ du risque tolérable (gris clair) est compris entre la limite du risque tolérable et celle du risque inacceptable.

de même que leurs impacts, par rapport à la situation préexistante. La solution 1 est donc préférable car elle n'étend pas la zone de danger latéralement et l'intensité y est considérée comme plus faible que celle de la zone 2 qui indubitablement possédera une intensité élevée. La solution 2 induit donc un risque potentiel plus fort dans la zone de déviation que la solution 1, pour des zones affectées sensiblement identiques en superficie. Il est entendu que d'habiter une telle zone implique aussi un plan d'évacuation en cas de situation extrême.

Cette méthode autorise donc une approche multi-scénarios, mais elle peut aussi permettre d'insérer une approche multirisque. On voit par cet exemple qu'on peut représenter des chaînes d'événements et leurs conséquences.

Le problème de la résilience

En général les risques sont évalués par les dommages, soit les coûts de remplacements sur la base d'un modèle économique, ou le nombre de morts attendus. Si les victimes n'ont aucune possibilité d'être ressuscitées, la réparation des dommages, a elle, en principe, un coût relativement bien connu (nous ne considérons pas ici les problèmes de couverture d'assurance et la volatilité du marché de l'immobilier). On considère alors le concept de résilience qui se définit comme la capacité à résister à un événement catastrophique et à rétablir une situation normale dans un temps raisonnable (NISDR 2009). Ainsi, partant de ce qui précède, la résilience apparaît naturellement comme une quantification de l'inverse des degrés de «dommages» indirects induits par une catastrophe, mais dont l'impact varie en fonction du temps (figure 9), mais aussi des capacités sociétales de revenir à l'état pré-catastrophe, «normal», même si la définition de la normalité peut-être problématique en soi.

On peut donc définir le coût indirect induit par une catastrophe (C_{RE}) comme un «coût» financier ou social qui représente l'intégrale au cours du temps du degré de dysfonctionnement par unité de temps rapporté à la normale (BRUNEAU *et al.* 2003, ROSE 2007, SUDMEIER-RIEUX 2011, KRÖGER 2013):

$$C_{RE} = \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} (1-r(t))M_n(t)dt \quad (\text{Equation 5})$$

Où $r(t)$ peut être défini comme la résilience instantanée dans la période post-catastrophe (une année par exemple), soit le rapport de la valeur post-catastrophe $M_c(t)$ à la valeur normale attendue $M_n(t)$ (échange, activité,...) à un temps t , l'évènement se produisant à t_0 , considérant une période de retour à la normale de durée Δt c'est à dire lorsque $r(t) = 1$ ou durablement proche de 1. On a alors:

$$r(t) = \frac{M_c(t)}{M_n(t)} \quad (\text{Equation 6})$$

Ainsi on peut proposer que la résilience soit définie comme:

$$Re = \int_{t_0}^{t_r} r(t)dt \quad (\text{Equation 7})$$

Où t_r est soit égal à $t_0+\Delta t$, soit à une valeur prédéfinie $t_r = t_0 + t_{ref}$ où t_{ref} est une durée prédéfinie qui permet de comparer différents cas. Re vaut au maximum Δt si $t_r = t_0+\Delta t$, c'est-à-dire une situation où il n'y a pas d'impact post-catastrophe. Re peut aussi être normée par rapport au temps afin d'obtenir un pourcentage. On voit bien que toutes ces équations sont difficiles à quantifier. Bien sûr, $(M_n(t))$ peut être un PIB, une quantité qui décrit la société, les transports, etc. Notons que $(1-r(t))$ représente l'écart à une situation normale. Lorsque que $r(t)$ est supérieur à 1 cela signifie que le système s'est amélioré, les coûts se sont réduits puisqu'il y a gain. Ainsi, pour joindre le risque habituel à la résilience et aux coûts indirects, on peut écrire que l'impact total vaut (I_t):

$$I_t = R + C_{RE} \quad (\text{Equation 8})$$

Selon certaines définitions I_t est équivalent au risque lorsque l'on considère le risque comme un calcul qui prend en compte l'ensemble des conséquences (HAIMES 2009). De la même manière que pour le risque, C_{RE} peut se lire de façon qualitative, c'est dire que $r(t)$ est l'écart à la situation normale, et cela peut être économique (ROSE 2007) ou relatif au fonctionnement de la société ou plus généralement d'un système (ALLENBY & FINK 2005, HAIMES 2009, SUDMEIER-RIEUX 2011).

Ce concept est important et il faut en tenir compte dans les calculs de risque ou plutôt dans le calcul de l'impact potentiel total d'une catastrophe. Le risque lui-même n'étant pas directement affecté par la résilience selon l'équation 8. Les premiers modèles appliqués en Suisse relatifs à la fermeture des autoroutes ne tiennent pas compte de la résilience (BRÜNDL 2009, ERATH *et al.* 2009). On suppose que la fermeture d'une autoroute a le même impact par jour sur toute la durée considérée. En fait, si l'autoroute du Gothard est fermée, de nos jours, les résidents tessinois qui doivent aller à Zürich peuvent communiquer par visio-conférence, ou si des fournitures ne sont plus accessibles, on peut se tourner vers l'Italie. Très vite la société sera résiliente, d'autant plus si l'état aménage des facilités. La mise en

réseau de beaucoup d'aspects de notre société la rend moins vulnérable et plus résiliente (ALLENBY & FINK 2005). Néanmoins cette assertion dépend de l'intensité des catastrophes qui affectent le système, car une atteinte au réseau tel un évènement comme Lothar ou d'une intensité supérieure pourrait avoir des conséquences plus grandes encore.

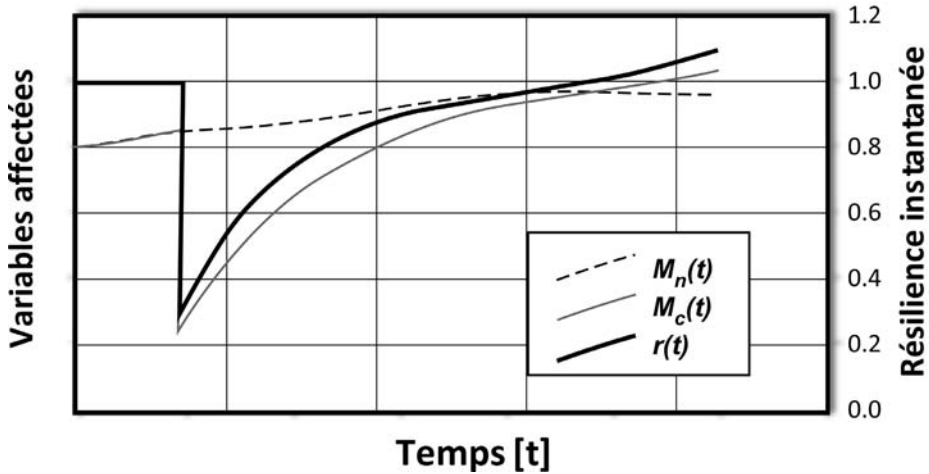


Figure 9.– Illustration de la notion de résilience instantanée $r(t)$. $M_c(t)$ est une variable financière ou non qui a été affectée par un évènement catastrophique et dont la valeur normale attendue vaut hors catastrophe $M_n(t)$. Les M sont des «coûts» par unité de temps (modifié d'après BRUNEAU *et al.* 2003).

Un exemple: inondations en Thaïlande et disques durs

En automne 2011, la Thaïlande a été inondée en raison de précipitations exceptionnelles durant les mois de mai à octobre. En octobre, des zones industrielles de Bangkok ont été touchées par les inondations (KOMORI *et al.* 2012). Cet évènement a eu un impact mondial puisque plusieurs des principaux fabricants de disques durs possédaient des usines dans les régions affectées. Par conséquent, la production de disques durs a chuté au niveau mondial au lieu de s'augmenter, 30% de la production mondiale étant localisée à ce moment en Thaïlande (INFOWORLD 2011). Pour un chiffre d'affaire de 32\$ milliards en 2011 et 38\$ milliards en 2012 et une production en unités estimée en 2010 à 654 millions, en 2011 à 624 millions et en 2012 à 673 millions (WIKIPEDIA 2013, COUGHLIN & GROCHOWSKI 2012). Dès lors, on peut se poser la question des coûts globaux et du retour à la situation normale et calculer à posteriori la résilience.

Partant de la courbe des prix d'un disque dur standard, nous pouvons définir la résilience instantanée par (figure 10a):

$$r(t) = \frac{M_c(t)}{M_n(t)} = 1 - \frac{\Delta C(t)}{C(t)} \quad (\text{Equation 9})$$

où $C(t)$ est le prix normal attendu à un temps donné et $\Delta C(t)$ l'écart à ce prix attendu. Partant du principe que le prix de ce disque dur standard est représentatif, on peut estimer

la résilience. Ne connaissant pas exactement la valeur de $C(t)$, mais en supposant que les périodes avant et après la crise sont indicatives, il est possible de tracer une droite qui joint ces périodes par la méthode des moindres carrés (figure 10A), et ainsi on obtient le prix normal attendu. Ensuite, on peut évaluer la résilience normée (Re_n) sur une période donnée, ici une année puisque cette durée a permis de revenir à la situation «normale» (figure 10B):

$$Re_n = \frac{1}{365} \int_{t_0=17.10.2011}^{t_0+365} r(t) dt = \frac{1}{365} \int_{t_0=17.10.2011}^{t_0+365} 1 - \frac{\Delta C(t)}{C(t)} dt = 69\% \quad (\text{Equation 10})$$

Il s'en suit que l'impact négatif est de 31% sur une année. En faisant la simplification que $C(t)$ est constant durant l'année considérée, il est possible d'estimer grossièrement à 10\$ milliards l'impact additionnel pour l'ensemble des utilisateurs finaux. Notons tout de même que les chiffres de production à disposition sont un peu contradictoires. Cependant ce résultat est proche de ce que prévoient COUGHLIN & GROCHOWSKI (2012) pour une bonne partie de 2012. Il est aussi probable que les compagnies productrices n'y aient pas trop perdu compte tenu de la hausse des prix, et qu'elles peuvent aussi avoir spéculé.

Cet exemple tente de quantifier l'impact d'une catastrophe naturelle sur l'économie mondiale. Dans ce cas l'impact est diffus, mais il est intéressant de voir le retour à la normale. On aurait pu aussi utiliser la production pour ce calcul, ce qui serait intéressant à analyser en regard des investissements et des prix du marché, mais il est à craindre que ces données ne soient pas disponibles.

On observe là que de concentrer la production des disques durs dans un site diminue la résilience du système, une localisation plus dispersée dans le monde aurait certainement diminué l'impact. Des effets similaires avaient été observés pour les mémoires d'ordinateur produites dans la région de Kobe après le tremblement de terre de 1995.

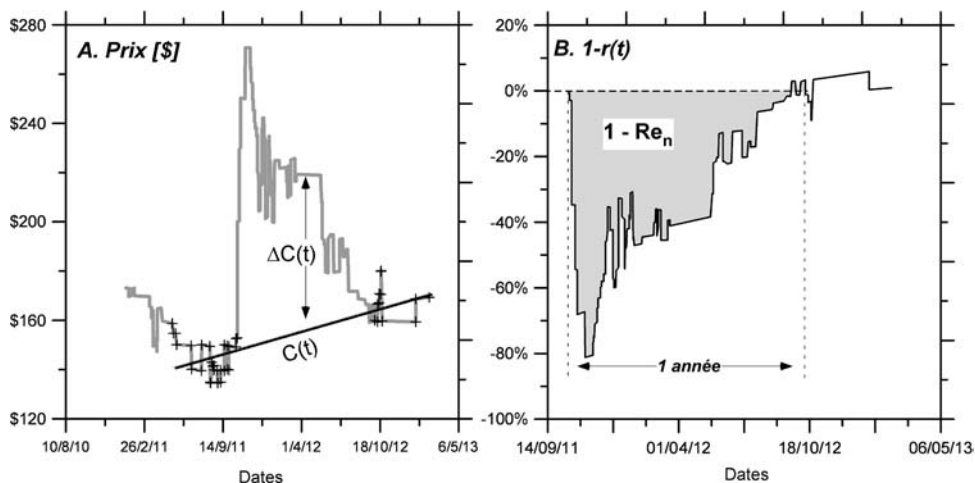


Figure 10.—(A) prix du disque dur Western Digital WD1002FAEX Caviar Black 1T SATA III 7200 RPM 64MB cache 3.5" (tiré de HOMELAND SECURE IT 2013). (B) Graphique de $1 - Re_n(t)$ pour laquelle la zone grisée représente les pertes normée à 100% sur une année, les données sont extraites de (A).

LE RISQUE EST UNE DYNAMIQUE

Les exemples ci-dessus illustrent à quel point la gestion des risques nécessite une permanente remise en question, par exemple le simple fait que certains risques soient saisonniers, implique qu'il faut tenir compte de la période que l'on considère. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser une analyse dynamique dans un monde qui change constamment. On ne peut plus se contenter d'attendre que des événements se produisent pour réagir, il faut anticiper.

Anticiper, c'est aussi tenir compte des incertitudes. C'est la raison pour laquelle plusieurs approches doivent être imaginées pour une prise en compte de futurs risques. Lorsqu'un système est modifié, il s'agit d'évaluer les impacts potentiels. Par exemple, dans le cas de Xynthia, l'urbanisation des polders a complètement changé les éléments à risque et des mesures de construction auraient dû être prises. Des changements dans les règles régissant des métiers à risque ou à responsabilité peuvent également produire de nouveaux risques, comme on peut le soupçonner dans les cas des accidents de trains début 2013 qui ont vraisemblablement été causés par l'ouverture du marché qui autorise des machinistes peu qualifiés à conduire des trains de marchandises (LE MATIN DIMANCHE 2013).

En matière de risques liés aux dangers naturels, il s'agit de s'interroger sur les implications de changement d'usage ou de fréquentation du territoire et des voies de communication. L'élaboration de scénarios est fondamentale, mais il s'agit surtout de tenter d'en explorer le plus possible. L'évaluation du risque de chacun d'entre eux doit être réalisée, si possible sans biais. C'est la raison pour laquelle l'ensemble des informations doivent être traitées, qu'elles soient historiques ou qu'elles puissent paraître a priori irrationnelles. La méthode des matrices impact-probabilité est un bon cadre pour l'évaluation des scénarios. Il faut aussi tenter d'y ajouter les incertitudes. Lorsque qu'un faisceau d'argument mène à une situation incertaine potentiellement risquée, le principe de précaution peut être appliqué. Néanmoins, un usage abusif de ce principe est néfaste dans la gestion des risques. Car c'est un moyen de ne pas prendre de responsabilités, alors que la gestion des risques nécessite une prise de responsabilité à un moment donné, lors d'une prise de décision.

Reste que les gestions des risques impliquent aussi de la transparence afin que les acteurs ne se sentent pas écartés. Ainsi la communication des risques, aussi difficile qu'elle soit à mettre en œuvre, doit être appropriée. Il est relativement évident que le contact direct avec les personnes en charge de la réalisation des évaluations des risques, et en particulier de l'aléa et des mesures à prendre dans les zones à risques, est la meilleure solution. Limiter les intermédiaires dans la chaîne de transmission de l'information est important pour éviter les malentendus. De plus, il ne faut pas utiliser de langages inappropriés. En effet, il y a une souvent une nécessité de traduire l'information technique vers un langage plus adaptée à l'audience qui est visée. En outre, en plus d'une transmission unidirectionnelle de l'information, il est évident qu'il doit y avoir un échange bi(multi)directionnelle, qui doit tendre à une confiance entre les personnes impliquées. Cela est nécessaire car il est important que les acteurs en charge des décisions, qui sont les responsables, soient bien perçus par le public.

Ce qui précède n'est pas facile à mettre en œuvre, car les contextes sont très variables (HÖPPNER *et al.* 2010, VAUGHAN 1995). Tout ceci n'est pas nouveau, mais il faut insister sur

le fait que ce sont les personnes qui possèdent les connaissances du système à risques qui doivent, dans la mesure du possible, en parler. Mais cela peut aussi impliquer des habitants qui connaissent leur territoire sans être scientifique ou technicien.

Le problème des experts

Un expert possède un agenda. Or, l'évaluation des risques doit justement s'absoudre de tout agenda, comme le montre le cas de L'Aquila. Il est évident que tous les acteurs sont importants. L'idée qu'une vision d'expert est plus importante que celles des non-experts ou de la population est juste et fautive à la fois. Il est vrai qu'évaluer certains phénomènes dangereux ne peut se faire que si on sait de quoi il en retourne, en particulier du point de vue de l'aléa (intensité fréquence ou probabilité-scénario). Par conséquent, ce sont les personnes qui savent qui peuvent donner leur avis, mais cela peut impliquer des anciens dans un village par exemple. Pour mieux illustrer le propos, nous allons prendre l'exemple de l'énergie nucléaire.

Comme cela a déjà été dit les experts possèdent souvent des intérêts contraires, ou ont une vision biaisée, en particulier en matière de nucléaire. Si cette énergie est fascinante, elle a montré sa capacité à polluer. C'est là où les experts ne s'en sortent plus: dans le cas de Fukushima, par exemple, on entend «... c'est une erreur qui nous a menés à cette catastrophe...». Oui, cela est vrai, mais celles-ci doivent être intégrées dans l'appréciation des risques. C'est la raison pour laquelle les experts attestés (les opposants possédant de l'expertise ne sont souvent pas admis comme expert par les dirigeants) ne sont plus crédibles, car la confiance est rompue. Le nucléaire est le meilleur exemple, car justement, il a donné des arguments justifiés contre les sciences dures, ou plutôt les techniques, aux sociologues (SHORT 1984, PERETTI-WATEL 2000). Mais là encore, deux éléments brouillent les cartes. Les experts n'agissent trop souvent pas en tant que scientifiques (i.e. tenants de la méthode scientifique), mais en tant qu'acteurs soumis à un agenda qui biaise l'évaluation. Il ne s'agit donc pas de critiquer les scientifiques mais ceux qui font de la politique en se présentant sous leur étiquette de scientifique. Mais ce même biais apparaît en science humaine. Les travaux de SLOVIC (1987) sont parmi les plus biaisés quant à la prééminence des experts (JASANOFF 1997). Les écrits de SLOVIC (en particulier SLOVIC 1987) tentent de minimiser le risque nucléaire civil grâce à l'opinion des experts, sans prendre aucune distance par rapport à eux. Le risque nucléaire serait faible selon les «experts», mais au regard des récents événements, un petit calcul considérant les 450 réacteurs dans le monde montre que la fréquence résultante d'un accident pour un réacteur est de 2×10^{-4} . Ceci est le résultat du calcul du nombre de réacteurs $\times$ an estimés à environ 11'250 depuis 1955 grâce aux données de WNISR (2009) et en comptant 3 événements ($3/11'250 \approx 2 \times 10^{-4}$). Ce résultat est à comparer aux limites proposées par la confédération, qui, pour 10 décès, la pollution de 1 km² d'eau ou 50 millions de francs de dégâts, se situent respectivement à 1×10^{-5} et à 1×10^{-7} pour le risque inacceptable et pour le risque tolérable (JORDI, 2006). Nous sommes donc, compte tenu de l'impact potentiel, au-delà des limites proposées.

Basé sur des domaines comme le nucléaire, la critique de la gestion des risques est pleinement justifiée, mais ce n'est pas si simple pour les risques liés aux dangers naturels. Les acteurs, dans ce dernier cas, sont plus nombreux et les enjeux plus variés et sont souvent le résultat qui permet d'identifier clairement les responsables potentiels. Le nucléaire vient

d'une décision unilatérale, qui n'autorise pas à désigner des responsables par la clause du besoin. Le manque de clarté des autorités fédérales en matière de fermetures de centrales sont instructifs à ce sujet (SWISSINFO 2011, 2013).

Dépendance du risque à la connaissance du système étudié et adaptation

L'équation du risque n'est pas tout, car elle n'est utile que si les paramètres choisis décrivent l'ensemble des situations à risque. Ainsi, poser une équation du risque ou gérer les risques dépendent de la connaissance du système étudié, tant du point de vue spatial que du point de vue temporel. L'anticipation d'un risque météorologique évolue au cours du temps qui précède une situation critique et permet de préciser l'intensité attendue, mais souvent cela ne suffit pas pour prévenir une catastrophe. Celle-ci est souvent non prévue car très fréquemment, c'est la conjonction de plusieurs phénomènes qui mène à la catastrophe, comme dans le cas de Xynthia. Pourtant, dans certains cas, des catastrophes auraient pu être anticipées. Par exemple, les effets d'un cyclone sur la ville de la Nouvelle-Orléans avaient été décrits assez précisément par LASKA (2004), mais on en n'a pas tenu compte avant le cyclone Katrina d'août 2005 (SWISSRE 2006). Cette capacité à prédire dépend du degré de connaissance préalable du système dangereux.

Le manque d'information à disposition peut être la cause d'une description lacunaire du système, ce qui est souvent le cas. Mais cela peut aussi provenir des acteurs en charge d'étudier, d'évaluer et/ou de gérer les risques. En effet «la lecture» d'un système dangereux dépend du bagage (formation et expérience) des personnes, mais aussi et surtout de l'agenda de ces dernières, comme c'est le cas des experts. On connaît par exemple les pressions que peuvent exercer une commune sur un bureau lors de la réalisation de cartes de danger. Le bureau pouvant avoir intérêt à satisfaire les autorités et services communaux afin de préserver des chances d'obtenir d'autres mandats. Le système va donc au-delà du système naturel, il est aussi tributaire du contexte social puisque les remarques faites au sujet des acteurs et des experts sont aussi valables pour les groupes sociaux. C'est une des raisons pour lesquelles une analyse coûts-bénéfices, si elle est utile à la décision, ne prend pas en compte le système dans son ensemble, et notamment l'aversion d'une population pour les risques (HALLEGATE & DUMAS 2012).

Trop souvent dans l'analyse de risque on entend: «... oui mais cette situation n'était pas prévue... on ne pensait pas que... et c'est une erreur». Justement l'analyse et la gestion des risques doit intégrer les situations imprévues autant que possible. En particulier dans le domaine nucléaire on parle de «d'erreur humaine», de sous-estimation de l'impact de tsunami, même si les experts soulignent légitimement les manquements a posteriori (ACTON & HIBBS 2012). A l'inverse, la prise de conscience des changements climatiques essaie d'anticiper, mais on voit là toutes les difficultés d'une telle approche.

Notons aussi que les cultures de risques se perdent avec la mobilité des populations et l'attrait des beaux sites. L'exemple de Xynthia est là pour le souligner, puisque l'on a oublié que ces zones étaient assez fréquemment inondées (SAUZEAU 2011) et qu'on aurait pu s'adapter à la situation en construisant des maisons à deux étages. On peut toujours ajouter de nouveaux paramètres dans la description du système. Par exemple, FILATOVA *et al.* (2011) ont modélisé le comportement vis-à-vis du risque des habitants des côtes qui induit une

augmentation des risques lorsque les membres d'une population présentent une perception des risques non uniforme.

Rappelons que les aspects techniques et l'histoire d'un site sont primordiaux dans la prise de responsabilités. Il s'agit de bien identifier les problèmes et ne pas hésiter à imaginer des événements extrêmes et d'en évaluer les conséquences potentielles, et de voir si des mesures simples peuvent permettre de limiter les risques. Dans la démarche de gestion des risques, on peut se tromper, mais si c'est le cas il faut immédiatement en tirer les conséquences. L'erreur, c'est de ne pas admettre ses erreurs. Dans un monde où nous communiquons beaucoup, cette nouvelle interaction par les nouvelles technologies ouvre des possibilités dans la gestion des risques, mais aussi dans la connaissance de ceux-ci. Il sera de plus en plus difficile de dire dans le futur qu'on n'était pas informé.

N'oublions pas que ce qui n'est pas envisagé dans la description d'un système à risque n'apparaît pas dans les résultats d'une étude de risque.

LES FUTURES DÉFIS

Conséquences pour la Suisse

Dans son ouvrage «Habiter la menace», LAMUNIERE (2006) se demande jusqu'où l'on peut aller. Même si des solutions peu réalistes sont proposées, le débat soulevé est le bon. La Suisse doit intégrer les risques dans sa gestion du territoire d'une façon dynamique. Il faut en effet habiter des zones à risque, là où les gens y trouvent un avantage (figure 11). Il s'agit d'anticiper les problèmes, puisque l'anthropisation du territoire suisse est rapide (OFS 2002). De plus, beaucoup d'infrastructures vieillissent, ce qui rend encore le territoire plus risqué.

La seule façon est de développer des zones où le risque serait supérieur au risque accepté, mais en le réduisant par la gestion pour retrouver un niveau de risque acceptable. Comme nous l'avons montré, de nombreuses pistes sont possibles: des bâtiments adéquats, une observation plus fine des phénomènes dangereux ou une prise de consciences de la population afin de vivre au quotidien avec les dangers naturels ou provoqués par l'homme.

Pour cela la philosophie de la gestion des risques et du territoire doit changer en Suisse, notamment la roue habituellement présentée (figure 12). Elle ne doit plus s'appuyer sur la réaction à une catastrophe, mais s'appuyer clairement sur la préparation à des événements qui ne se sont jamais produits. La gestion du territoire doit s'appuyer sur une gestion dynamique des risques, c'est-à-dire que la carte de danger n'est plus l'outil adéquat, comme le montre désormais la gestion des risques sur les routes nationales. Il faut également intégrer l'incertitude dans la transmission de l'information (LUNDGREN & McMAKIN 2009, FREWER 2004, LEISS 2004, OECD 2002). Du côté de la Confédération, on est d'ailleurs en train d'opérer ce virage vers le risque en matière de gestion du territoire mais aussi en matière de gestion du risque au niveau de tous les dangers en y intégrant les situations d'urgence (OFPP 2013).

Mais pour réussir tout cela, il faudra certainement édicter de nouvelles lois qui responsabilisent les habitants ainsi que les gestionnaires du territoire, tout en tenant compte

du fait que l'on peut se tromper, mais qu'on ne peut pas tromper les acteurs de la gestion des risques, à savoir la population concernée et les partenaires qui façonnent ce futur territoire.

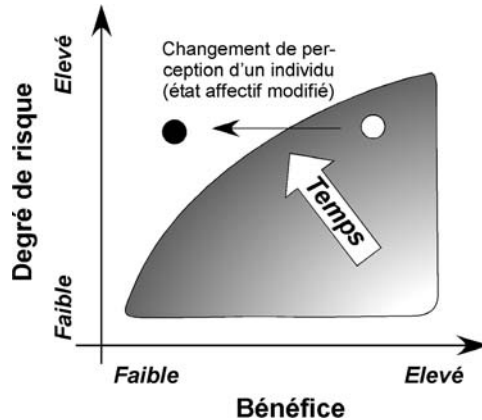


Figure 11.—Schéma illustrant les comportements à risque en fonction du bénéfice qu'on peut en tirer. La flèche temps et le dégradé indiquent dans quelle direction les populations devront accepter de vivre. Le problème étant essentiellement que les populations paniquent et ne voient pas le bénéfice d'une situation, comme l'illustre la flèche noire (modifié d'après FINUCANE *et al.* 2000).

Dans ce tournant, la Suisse est bien placée, sa population vit de longue date avec des risques (PFISTER 2002). Cependant, bien que la Suisse ait compté l'un des plus grands statisticiens, D. Bernoulli, la culture suisse n'a pas pour habitude d'intégrer les incertitudes et les probabilités. On aime bien le «propre en ordre», c'est-à-dire des choses figées, alors que le risque est dynamique. Les règles devront constamment être remises en question, mais il est certain que la Suisse possède le potentiel de vivre avec ses risques, la population par sa maturité pourra relever le défi.

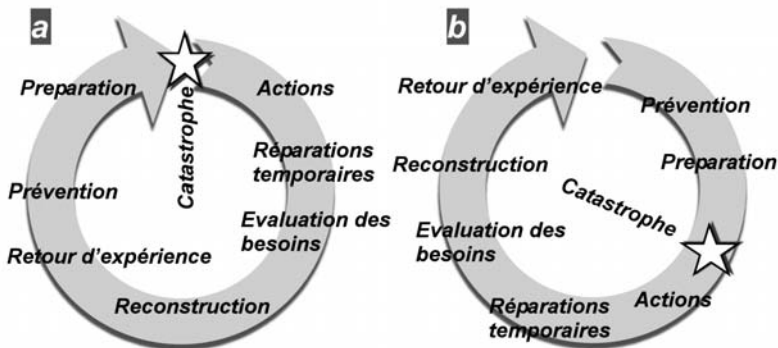


Figure 12.—(a) Roue de la gestion du risque de la PLANAT simplifiée (modifiée de www.planat.ch, OFPP 2010). Cette roue n'a pas réellement de point de départ, mais elle n'existe pas sans catastrophe et la catastrophe constitue donc implicitement le point de départ. (b) Roue tel qu'il faut qu'elle soit conçue en partant de la prévention, ceci a été récemment partiellement amélioré dans la dernière version (OFPP 2013).

Le problème de la gestion des risques et de la responsabilité

Du côté des scientifiques en général, il existe un problème: la communauté scientifique ne peut pas clamer qu'elle a besoin de fonds pour la recherche sur les risques naturels et le jour où il faut se prononcer, que ses membres refusent de prendre des responsabilités. Car il est vraisemblable que dans un futur pas si lointain, la société n'accepte plus de financer des recherches sans résultat ou sans impact direct pour la société. D'un autre côté, la tendance des sciences sociales est à mélanger les concepts avec des définitions vagues ou multiples des termes qui décrivent les risques. Ce n'est pas une bonne chose, car cela apporte de la confusion. Il est nécessaire d'analyser de façon détaillée les impacts sur la gestion des risques par des études sociales, et il en existe de nombreuses qui éclairent la représentation des risques de façon utile. Néanmoins, contrairement aux techniciens et à certains scientifiques, les acteurs venant des sciences sociales ne prennent pas de responsabilité, au sens où les personnes qui sont censées connaître les risques naturels, et en particulier l'aléa, risquent la prison, comme c'est le cas en Italie.

Mais est-ce si difficile de prendre ses responsabilités? Les erreurs ne doivent pas être niées, mais au contraire enrichir la connaissance, afin de mieux se préparer aux prochains événements. Notons que tant les avalanches meurtrières d'Evolène de 1999, qui ont provoqué la condamnation d'un responsable guide de montagne et du président de la commune à de la prison pour négligence (COMMUNIQUÉ DE PRESSE VS 2006), que l'éboulement de Gurtellen ont eu pour conséquence de modifier les approches et d'amener à une prise de conscience des manquements dans la gestion des risques. Il en ira de même pour la gestion des risques en Italie. La récente conférence de l'European Geosciences Union 2013 (session: Geoethics and natural hazards: the role and responsibility of the geoscientists; meetingorganizer. copernicus.org/EGU2013/orals/11853) a montré que le monde scientifique commence à s'en préoccuper.

Prendre ses responsabilités de façon transparente, c'est s'en dégager, car le fait de devoir prendre ses responsabilités, c'est se dégager des contingences et de s'en tenir à juger la situation à risque et non pas de tenir compte d'autres contingences de types politiciennes par exemple. Mais rappelons que la connaissance des systèmes est nécessaire à de bonnes décisions, mais celles-ci ne peuvent pas s'appliquer si la plupart des acteurs ne l'acceptent pas. En ce sens, la compréhension de la société et de ses acteurs est importante, le scientifique ou technicien non sociable ne peut pas gérer des risques. Souvent, les experts, pour se dégager des responsabilités, invoquent l'erreur humaine ou l'oubli, ce qui n'est pas sérieux dans le cadre d'une analyse de risque, où il est impératif d'essayer d'envisager toutes les possibilités. Dans le même ordre d'idées, la question de l'estimation des fréquences et périodes de retour des événements extrêmes reste ouverte, et il semble que nous sous-estimions souvent son impact. Il s'agit de toujours garder à l'esprit ce point.

Compte tenu des décisions à prendre, la gestion des risques est un problème qui dépend en grande partie du monde politique, l'aspect participatif pouvant en faire partie. Mais l'essentiel est que quelqu'un prenne des responsabilités, et ce ne peut être qu'en connaissance de cause. Mais le paradoxe et la difficulté sont que les décisions en matière de risque ne doivent pas être influencées par des attitudes politiciennes. Ainsi, tant les sciences naturelles qu'humaines doivent prendre leurs parts de responsabilités dans une société qui

se transforme rapidement et qui a besoin d'être étudiée. C'est là où les responsabilités sont les plus grandes qu'il faut essayer d'agir le plus rapidement.

Finalement, ce qui doit guider une bonne gestion signifie que les moins mauvaises solutions devraient être choisies, mais ceci ne peut pas se réaliser sans confiance entre les acteurs. D'un autre côté, si les connaissances ne sont pas suffisantes dans certains cas, il faut trouver des solutions pour palier à ces manques et ne pas hésiter à dire «non» si trop d'incertitudes subsistent.

REMERCIEMENTS

Cet article a été possible avec le support du projet européen Marie Curie CHANGES (FP7/2007-2013 under Grant Agreement No. 263953), qui finance les travaux de M. Charrière et de l'unité dangers naturels de l'état de Vaud, qui finance ceux de P. Nicolet.

REFERENCES

- 20 MINUTES, 2012. La voie du Gothard fermée jusqu'à lundi, <http://www.20min.ch/ro/lecteurreporter/story/25743642>. Consulté le 6.4.2013.
- 24HEURES, 2013. Un train voyageur déraile entre Palézieux et Payerne. <http://www.24heures.ch/val-de-regions/nord-vaudois-broye/Un-train-voyageur-deraille-entre-Palezieux-et-Payerne-/story/28880317>. Consulté le 6.4.2013.
- ACTON J.M. & HIBBS M., 2012. Why Fukushima was preventable. Carnegie Endowment for International Peace. 40 pp.
- AFP, 2011a. Xynthia: le maire de La Faut-Sur-Mer mis en examen. Paris, 15 avril 2011
- AFP, 2011b. Xynthia: graffitis et insultes contre les victimes à La Faute-Sur-Mer. Paris, 17 avril 2011
- AGNÈS Y., 2002. Manuel de journalisme. Paris: La découverte. 473 p.
- ALE, B. 2009. Risk: an introduction: the concepts of risk, danger and chance. Routledge, Taylor and Francis group, 134 p.
- ALEXOPOULOS E.C., KAVADI Z., BAKOYANNIS G. & PAPANTONOPOULOS S., 2009. Subjective Risk Assessment and Perception in the Greek and English Bakery Industries. *J. of Env. and Public Health*, Article ID 891754, 8 p. doi:10.1155/2009/891754
- ALLENBY B. & FINK J., 2005. Toward inherently secure and resilient societies. *Science* 309: 1034-1036.
- ANCEY C., 2012. Are there "dragon-king" events (i.e., genuine outliers) among extreme avalanches? *J. Phys Spec. Topics* 205: 117-129.
- ATS 2006. Fermeture du Gothard: le géologue cantonal valaisan s'étonne. Berne, 6 juin 2006
- BARDOU E. & JABOYEDOFF M., 2008. Debris Flows as a Factor of Hillslope Evolution controlled by a Continuous or a Pulse Process? In: GALLAGHER K., JONES S. J. & WAINWRIGHT J. (Eds.) *Landscape Evolution: Denudation, Climate and Tectonics over Different Time and Space Scales. Geol. Soc. London Spec. Publ.*: 63-78.
- BAUM R. L. & GODT J. W., 2010. Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA. *Landslides* 7: 259-272. DOI 10.1007/s10346.
- BERTRAND A. & MULLET E., 2006. La perception de la gravité des risques liés à la production et l'utilisation d'énergie. In: KOUABENAN D. R., CADET B., HERMAND D. & MUNOZ SASTRE M. T. (Eds.) *Psychologie du risque. De Boeck*. 167-184.
- BEZZOLA G.R. & HEGG C., 2007. Ereignisanalyse Hochwasser 2005: Teil1: Prozesse, Schädenunterste Einordnungen, Bern & Birmensdorf: Bundesamt für Umwelt & WSL. 252 p.
- BLIKRA L.H., 2008. The Åknes rockslide; monitoring, threshold values and early-warning. In: CHEN Z, ZHANG J, LI Z, WU F, HO K. (Eds.) *Landslides and Engineered Slopes, From Past to Future. Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides*. Taylor and Francis Group. 1089-1094.

- BRUNEAU M., CHANG S. E., EGUCHI R. T., LEE G. C., O'ROURKE T. D., REINHORN A. M., SHINOZUKA M., TIERNEY K., WALLACE W. A. & VON WINTERFELDT D., 2003. A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733-752.
- BRÜNDL M. (Ed.), 2009. Guide du concept de risque. Plate-forme nationale «Dangers naturels» PLANAT, Berne. 416 p.
- CAJOS J., TROCMÉ MAILLARD M., HUBER M., ARNOLD P., VOLLMER U., SANDRI A., RAETZO H., DORREN L., EGLI T., EBERLI J., KNUCHEL R., KIENHOLZ H., DONZEL M., UTELLI H.-H. & PERREN B., 2009. Concept de risque pour les dangers naturels sur les routes nationales: Méthodologie basée sur les risques pour l'évaluation, la prévention et la maîtrise des dangers naturels gravitationnels sur les routes nationales. Confédération suisse, DETEC, OFROU, 89 001, édition V1.31.
- CHÈVRE N., COUTU S., MARGOT J., WYNN H. K., BADER H.-P., SCHEIDEGGER R. & ROSSI L., 2013. Substance flow analysis as a tool for mitigating the impact of pharmaceuticals on the aquatic system. *Water Research* 47: 2995-3005. 10.1016/j.watres.2013.03.004.
- CHOFFET M. In prep. Les coûts des dommages éléments naturels aux bâtiments et l'influence des facteurs du risque dans un contexte d'assurance immobilière. Thèse de l'Université de Lausanne, 213 p.
- COMMUNIQUÉ DE PRESSE VS, 2006. Avalanches d'Evolène: Le Tribunal cantonal confirme la condamnation d'André Georges et de Pierre-Henri Pralong. http://www.vs.ch/Press/DS_8/INFO-2006-01-17-16428/fr/Avalanches%20Evol%C3%A8ne_F-D.pdf. Consulté le 18.04.2013.
- COUGHLIN T. & GROCHOWSKI E., 2012. Hard disk drive capital equipment market & technology report. Coughlin associates San Jose, California.
- DAUPHINÉ A., 2001. Risques et catastrophes. Armand Colin. 288 p.
- DORREN L.K.A., SANDRI A., RAETZO H. & ARNOLD P., 2009. Landslide risk mapping for the entire Swiss national road network. In: MALET J.-P., REMAÎTRE A., BOGAARD T. (Eds.) *Landslide processes: from geomorphologic mapping to landslide modelling*, Proceedings of the Conference, Strasbourg, 6-7 February 2009, CERG Editions: 277-281.
- EGLI T., 2005. Protection des objets contre les dangers naturels gravitationnels. Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEIA). 109 p.
- EINSTEIN H. H., 1988. Special lecture: Landslide risk assessment procedure. In: BONNARD C. (Ed.) *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, Switzerland 2: 1075-1090.
- ENDERS J., 2001. Measuring community awareness and preparedness for emergencies. *Australian Journal of Emergency Management* 16(3): 52-58.
- ERATH A., BIRDSALL J., AXHAUSEN K. & HAJDIN R., 2009. Vulnerability assessment methodology for Swiss road network. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2137: 118-126.
- ESPINER S. R., 1999. The use and effect of hazards warning signs – Managing visitor safety at Franz Josef and Fox Glaciers. *Science for Conservation*: 108.
- FELL R., HO K. K. S., LACASSE S. & LEROI E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In: HUNGR O., FELL R., COUTURE R. & EBERHARDT E. (Eds.) *Landslide Risk Management*, Taylor & Francis Group, London. 3-26.
- FREWER L., 2004. The public and effective risk communication. *Toxicology letters* 149(1): 391-397.
- FILATOVA T., PARKER D.C., & VAN DER VEE A., 2011. The Implications of Skewed Risk Perception for a Dutch Coastal Land Market: Insights from an Agent-Based Computational Economics Model. *Agricultural and Resource Economics Review* 40: 405-423.
- FINUCANE M. L., ALHAKAMI A., SLOVIC P. & JOHNSON, S. M., 2000. The affect heuristic in judgments of risks and benefits. *Journal of Behavioral Decision Making* 13: 1-17.
- FROESE C., MORENO F., JABOYEDOFF M., HUMAIR F. & PEDRAZZINI A., 2012. Early-warning systems and instability modeling: the example of Turtle Mountain (Alberta, Canada). In: PICARELLI L., GRECO R. & URCIUOLI G. (Eds.) *IWL 2011 Large slow active movements and risk management*. 89-95.
- FROESE C.R. & MORENO F., 2011. Structure and components for the emergency response and warning system on Turtle Mountain. *Natural Hazards*, doi: 10.1007/s11069-011-9714-y.
- FUCHS S., ORNETSMULLER C. & TOTSCHNIGO R., 2012. Spatial scan statistics in vulnerability assessment: an application to mountain hazards. *Natural Hazards* 64: 2129-2151.
- GEVER, 2009. Guide GEVER à l'attention des dirigeants. Archives fédérales suisses – Département Fédéral de l'Intérieur, 18 p.

- GILLET J. E., 1985. Rapid ranking of hazards. *Process Engineering*, 19-22.
- GOUVERNEMENTS DU QUÉBEC, 2004. Commission d'enquête sur l'effondrement d'une partie du viaduc de la Concorde. Rapport, 201 p.
- HALLEGATE S. & DUMAS P., 2012. Adaptation et risques: usages et limites de l'analyse coût-bénéfice. In: PRZYLUKSI V. & HALLEGATE S. (Eds.) *Gestion des risques naturels*. Ed. Quae. 264 p.
- HAIMES Y. Y., 2009. On the complex definition of Risk: A system-based approach. *Risk Analysis* 29: 1647-1654.
- HALL S., 2011. Scientists on trial: At fault? *Nature* 477: 264-269.
- HEINIMANN H. R. & BORTER P., 1999. Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren: Fallbeispiele und Daten. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 107/II
- HEINIMANN H. R., BORTER P., BART R., EGLI T. & GÄCHTER M., 1999. Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren: Methode. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 107/I
- HILKER N., ALLER D. & HEGG C., 2007. Schäden. In: BEZZOLA G. R. & HEGG C. (Eds.) *Ereignisanalyse Hochwasser 2005 : Teil 1 -- Prozesse, Schäden und erste Einordnung*. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 127-148.
- HOMELAND SECURE IT, 2013. Visualization of Hard Drive Price Inflation Due to Thailand's Flood Induced Shortage. www.homelandsecureit.com/blog/2011/11/visualization-of-hard-drive-price-inflation-due-to-thailands-flood-induced-shortage. Visité le 15.04.2013.
- HÖPPNER C., BUCHECKER M. & BRÜNDL M., 2010. Risk communication and natural hazards. *CapHaz project*. Birmensdorf, Switzerland.
- IBREKK H. & MORGAN M.G., 1987. Graphical communication of uncertain quantities to nontechnical people. *Risk Analysis* 7: 519-529.
- IGARASHI G., SAEKI S., TAKAHATA N., SUMIKAWA K., TASAKA S., SASAKI Y., TAKAHASHI M., & SANO Y., 1995. Ground-water radon anomaly before the Kobe earthquake in Japan. *Science* 640: 60-61.
- INFOWORLD, 2011. The impending hard drive shortage - and possible price hikes. <http://www.infoworld.com/t/hard-drives/the-impending-hard-drive-shortage-and-possible-price-hikes-176453>. Consulté le 18.04.2013.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. FIELD C. B., BARROS V., STOCKER T. F., QIN D., DOKKEN D. J., EBI K. L., MASTRANDREA M. D., MACH K. J., PLATTNER G.-K., ALLEN S. K., TIGNOR M. & MIDGLEY P. M. (Eds.), 582 p. Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- JABOYEDOFF M., DUDD J. P. & LABIOUSE V., 2005. An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency and fragmentation degree. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 621-632.
- JABOYEDOFF M. & BONNARD CH., 2008. Report on landslide impacts and practices in Switzerland: need for new risk assessment strategies. In: Ho K. & Li V. (Eds.) *Proc. International Forum on Landslide Disaster Management*, 10 - 12 December 2007, Hong Kong, 79-97.
- JAKOB M., OWEN T. & SIMPSON T., 2011. A regional real-time debris-flow warning system for the District of North Vancouver, Canada. *Landslides*, doi:10.1007/s10346-011-0282-8.
- JAKOB M., STEIN D. & ULM M., 2012. Vulnerability of buildings to debris flow impact. *Nat Hazards*, 60, 241-261. DOI 10.1007/s11069-011-0007-2
- JASANOFF S., 1997. The Political Science of Risk Perception. *Reliability Engineering and System Safety* 59: 91-99.
- JEANRENAUD C., PRIEZ F., PELLEGRINI S., CHEVROU-SÉVERAC H., VITALE S., MONNIN P., 2003. Le coût social de l'abus d'alcool en Suisse, IRER, Université de Neuchâtel, 266 p.
- JOHNSON N.L., KOTZ S. & BALAKRISHNAN N., 1995. Continuous univariate distributions Vol. 1 & 2, 2nd Ed. John Wiley, New York.
- JORDI B., 2006. Gestion des risques: Agir en connaissance de cause. *Environnement* 2/2006: 6-10.
- KOMORI D., NAKAMURA S., KIGUCHI M., NISHIJIMA A., YAMAZAKI D., SUZUKI S., KAWASAKI A., OKI K. & OKI T., 2012. Characteristics of the 2011 Chao Phraya River flood in Central Thailand. *Hydrological Research Letters* 6, 41-46.
- KELLER C., SIEGRIST M. & GUTSCHER H., 2006. The role of the affect and availability heuristics in risk communication. *Risk Analysis* 26: 631-639.
- KHATER M. & KUZAK D. E., 2002. Natural Catastrophe Loss Modelling. In: LANE M. (Ed.) *Alternative Risk Strategies*. RISK Books, London, 271 - 299.

- KOUABENAN D. R., 2006. Des facteurs structurants aux biais ou illusions dans la perception des risques. In: KOUABENAN D. R., CADET B., HERMAND D., MUNOZ SASTRE M. T.: *Psychologie du risque*. De Boeck. 125-145.
- KRÖGER W., 2013. Linked Activities Future Resilient Systems (FRS) - Evolving 2nd Program of the Singapore-ETH Center. 1st Dialogue Event, ETH Zurich, 18 January 2013.
- KUO T., FAN K., KUOCHEN H., HAN Y., CHU H., & LEE Y., 2006. 667 Anomalous decrease in groundwater radon before the Taiwan M6.8 Chengkung earthquake. *Journal of Environmental Radioactivity* 88: 101-106.
- LA LIBERTÉ, 2012. Trains remplacés par des bus entre Moudon et Ecublens-Rue, <http://www.laliberte.ch/node/383159>. Consulté le 18.04.2013.
- LACASSE S., EIDSVIK U., NADIM F., HØEG K. & BLIKRA L.H., 2008. Event Tree analysis of Åknes rock slide hazard. IV Geohazards Québec, 4th Canadian Conf. on Geohazards. 551-557.
- LADNER F., ROVINA H., POINTNER E., DRÄYER B., SAMBETH U., 2004. Ein angekündigter Felssturz. Geologische Überwachung und Instrumentierung des Felssturzes "Medji" bei St.Niklaus (Wallis). *Tec21* 130: 10-14.
- LAMUNIERE I., 2006. Habiter la menace. Presse polytechnique romande, 94 p.
- LATELTIN O., 1997. Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire, Recommandations, OFEFP, 42 p.
- LASKA S., 2004. What if Hurricane Ivan Had Not Missed New Orleans? *Natural Hazards Observer*, November 2004, XXIX. <http://www.colorado.edu/hazards/o/archives/2004/nov04/nov04c.html>
- LE MATIN DIMANCHE, 2013. La sous-traitance menace la sécurité des trains. 24 mars 2013.
- LEE E. M. & JONES D. K. C., 2004. Landslide risk assessment. Thomas Telford, London. 454 p.
- LEISS W., 2004. Effective risk communication practice. *Toxicology Letters* 149(1): 399-404.
- LEROI E., CHOFFET M., MAYIS A., BIANCHI R., JABOYEDOFF M., KÖLZ E. & LATELTIN O., 2013. Outil d'analyse de la vulnérabilité du bâti aux inondations et de réduction du risque. In: NICOLET P., DERRON M.-H. & JABOYEDOFF M. (Eds.), 2013. Les dangers naturels en Suisse: pratiques et développements. Comptes rendus de la deuxième Journée de Rencontre sur les Dangers Naturels (Université de Lausanne, 18 février 2011). *Mémoire de la Société vaudoise de Sciences naturelles* 25: 127-135.
- LEROI E., BONNARD CH., FELL R., MCINNES R. 2005. Risk assessment and management. In: HUNGR O., FELL R., COUTURE R. & EBERHARDT E. (Eds.) *Landslide Risk Management*, Taylor & Francis Group, London. 159-198.
- LINIGER M. & BIERI D., 2006: A2, Goththardautobahn, Felssturz Gurtneilen vom 31 mai 2006, Beurteilung und Massnahmen. *Pub. Soc. Suisse Mécanique Sols Roches* 153: 81-86.
- LUNDGREN R. E., & MCMAKIN A. H., 2009. Risk communication: A handbook for communicating environmental, safety, and health risks. Wiley-IEEE Press.
- MALAMUD B. D. & TURCOTTE D. L., 1999. Self-organized criticality applied to natural hazards. *Natural Hazards* 20: 93-116.
- MARZOCCHI W., GARCIA-ARISTIZABAL A., GASPARINI P., MASTELLONE M. & DI RUOCCO A. 2012. Basic principles of multi-risk assessment: a case study in Italy. *Natural Hazards* 62: 551-573.
- MAVROULI O. & COROMINAS J., 2010. Rockfall vulnerability assessment for reinforced concrete buildings. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10, 2055-2066.
- MERZ B., THIEKEN A. H. & GOCHT M., 2007. Flood risk mapping at the local scale: Concepts and challenges. In: BEGUIM S., STIVE M., HALL J. W. (Eds.) *Flood Risk Management in Europe: Innovation in Policy and Practice*, Springer, 231-251.
- MICHEL-KERJAN E., HOCHRAINER-STIGLER S., KUNREUTHER H., LINNEROOTH-BAYER J., MECHLER R., MUIR-WOOD R., RANGER N., VAZIRI P. & YOUNG M., 2012. Catastrophe Risk Models for Evaluating Disaster Risk Reduction Investments in Developing Countries. *Risk Analysis*. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2012.01928.x
- MICHOUD C., JABOYEDOFF M., DERRON M.-H., NADIM F. & LEROI E., 2011: Classification of landslide-inducing anthropogenic activities. 5th Canadian Conference on Geotechnique and Natural Hazards – GEOHAZARDS 2011, Kelowna, Canada, 10 p.
- NICOLET P., JABOYEDOFF M., GERBER C. & GIORGIS D., 2011. Des cartes de dangers plus informatives. *Geosciences ACTUEL* 2/2011: 21-24.
- NOSONGO N., 2012. Italian court finds seismologists guilty of manslaughter: Six scientists and one official face six years in prison over L'Aquila earthquake. *Nature News*. 23 October 2012. <http://www.nature.com/news/italian-court-finds-seismologists-guilty-of-manslaughter-1.11640>.

- OECD, 2002. OECD Guidance Document on Risk Communication for Chemicals Risk Management.
- OFPP, 2010. KATAPLAN.- Analyse et prévention des dangers à l'échelon cantonal. Factsheet, Office fédéral de la protection de la population, 4 p.
- OFPP, 2013. Aide-mémoire KATAPLAN.- Analyse et prévention des dangers et préparation aux situations d'urgence. Office fédéral de la protection de la population, 55p.
- OFQC, 1994. Réfection des ouvrages en béton. Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne. 137 p.
- OFS, 2002. Environnement Suisse: statistique et analyse. Office fédérale de la statistique. 322p.
- PERETTI-WATEL P., 2000. Sociologie du risqué. Armand Colin. 286 p.
- PFISTER C., 2002. Le Jour d'après. Surmonter les catastrophes naturelles: le cas de la Suisse entre 1500 – 2000. Paul Haupt, Bern. 263 p.
- PLANT 2013. Le cycle de gestion intégrée des risques. www.planat.ch/fr/specialistes/gestion-des-risques, visité le 27.02.2013.
- POINTER E., 2006. Seuils d'alarme : Eboulement de Meidji (commune de Saint-Nicolas, Valais): surveillance géodésique et détermination des seuils d'alerte. In: INTERREG III A - Projet n°179 – RiskYdrogé; Actes de la Conférence finale – 24-26 oct. 2006. <http://www.risknat.org/projets/riskydrogeo/docs/conference/actes/a3.3.1-Pointer.pdf>
- QUAN LUNA B., BLAHUT J., VAN WESTEN C. J., STERLACCHINI S., VAN ASCH T. W. J., & AKBAS S. O., 2011. The application of numerical debris flow modeling for the generation of physical vulnerability curves. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11: 2047– 2060.
- RIDET P., 2012. Séisme de L'Aquila : prison ferme pour les experts. *Le Monde* 23.10.2012
- ROSE A., 2007. Economic resilience to natural and man-made disasters: multidisciplinary origins and contextual dimensions. *Environmental Hazards* 7: 383-398.
- SAZEAU T., 2011 Réinventer la culture du risque. In: MERCIER D. & ACERRA M. (Eds.) Xynthia: une tragédie prévisible. Place Publique. 45-50.
- SCHÄR C., VIDALE P. L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M. A. & APPENZELLER C. 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427(6972): 332-336.
- SHORT J. F., 1984. The Social Fabric at Risk: Toward the Social Transformation of Risk Analysis. *American Sociological Review* 49/6: 711-725.
- SLOVIC P., 1987. Perception of Risk. *Science* 236(4799): 280-285
- SLOVIC P. & PETERS E., 2006. Risk Perception and Affect. *Current Directions in Psychological Science*: 322-325.
- SORNETTE D. & OUILLON G., 2012. Dragon-kings: mechanisms, statistical methods and empirical evidence. *The European Physical Journal Special Topics* 205: 1-26.
- SORNETTE D., 2006. Critical Phenomena in Natural Sciences, 2nd ed., Springer, 528 p.
- SUDMEIER-RIEUX K., 2011. On landslide risk, resilience and vulnerability of mountain communities in Central-Eastern Nepal., Thèse de l'Université de Lausanne, 312 p.
- SWISSINFO, 2006. Au Gothard, la route des vacances est rouverte. http://www.swissinfo.ch/fre/actualite/Au_Gothard_la_route_des_vacances_est_rouverte.html?cid=5293400. Consulté le 19.04.2013
- SWISSINFO, 2011. Swiss to phase out nuclear power by 2034. www.swissinfo.ch/eng/politics/internal_affairs/Swiss_to_phase_out_nuclear_power_by_2034.html?cid=30315730. Consulté le 18.04.2013.
- SWISSINFO, 2013. Feu vert au maintien de l'exploitation de la centrale de Mühleberg. www.swissinfo.ch/fre/nouvelles_agence/international/Feu_vert_au_maintien_de_l_exploitation_de_la_centrale_de_Muehleberg.html?cid=35345960, Consulté le 18.04.2013.
- SWISSRE, 2006. Natural catastrophes and man-made disasters 2005: high earthquake casualties, new dimension in windstorm losses. *SIGMA* 2/2006, 38 p.
- UNISDR, 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Geneva: UNISDR. 30 p.
- UNISDR, 2011. Global Assessment Report. 178. Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- VALLEY B., THURO K., EBERHARDT E. & RAETZO H., 2004. Geological and geotechnical investigation of a shallow translational slide along a weathered rock/soil contact for the purpose of model development and hazard assessment. In: LACERDA W. A., EHRLICH M., FONTOURA S. A. B. & SAYO A. S. F. (Eds.) IX International Symposium on Landslides. Vol. 1. A.A. Balkema, pp. 385-391.

- VAN ALPHEN J., MARTINI F., LOAT R., SLOMP R. & PASSCHIER R., 2009. Flood risk mapping in Europe, experiences and best practices. *Journal of Flood Risk Management* 2: 285-292.
- VAN WESTEN C., VAN ASCH T. & SOETERS R., 2006. Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering geology and the Environment* 65: 167-184, <http://dx.doi.org/10.1035/1007/s10064-005-0023-0>.
- VAUGHAN E., 1995. The significance of socioeconomic and ethnic diversity for the risk communication process. *Risk Analysis* 15(2): 169-180.
- VENTSEL H., 1987. Théorie des probabilités. MIR, Moscou. 584p.
- VINET F., DEFOSSEZ S. & LECLERE J.-R., 2011. Comment se construit une catastrophe. In: MERCIER D. & ACERRA M. (Eds.) Xynthia: une tragédie prévisible. Place Publique. 45-50.
- VOUMARD J., 2012. Simulation dynamique du trafic routier pour l'estimation du risque sur les routes de montagne: Application à l'analyse du risque sur la route Aigle – Col du Pillon (VD). Mémoire de Master CRET-UNIL, 252 p.
- WÄHLBERG A. E. & SJÖBERG L., 2000. Risk perception and the media. *Journal of Risk Research* 3, 31-50.
- WIKIPEDIA, 2013. Hard disk drive. http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_disk_drive#cite_note-AutoMK-101-109. Consulté le 18.4.2013.
- WNISR, 2009. The World Nuclear Industry Status Report 2009: With Particular Emphasis on Economic Issues. <http://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-52.html>, consulté le 18.04.2013.
- XIE X., WANG M. & XU L., 2003. What risks are Chinese People concerned about? *Risk Analysis* 23: 685-695.
- ZHA, 2013. Zurich Hazard Analysis: Methodology. www.zurich.com/riskengineering/global/services/strategic_risk_management/zha_services. Consulté le 18.4.2013.