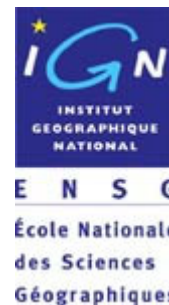




DIPLOME D'ÉTUDES SUPÉRIEURES SPÉCIALISÉES
DE CARTOGRAPHIE
ET DE SYSTÈMES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE

2002-2003



ETUDE ET ANALYSE CRITIQUE DES MÉTHODES D'ÉVALUATION DES RISQUES NATURELS PAR L'EXPLOITATION DES SIG.

Application au bassin versant de l'Avançon

(Aigle, Vaud, Suisse)

Céline Ronté
Dirigé par Régis Caloz et Sandrine Durler
Mai - Septembre 2003



Remerciements

Je remercie Régis Caloz pour le suivi de mon stage. A Sandrine Durler vont mes plus vifs remerciements, pour ces précieux conseils durant ces quatre mois.

Merci à François Golay et à tous les collaborateurs du LASIG de l'EPFL : Corinne, Carine, Camilla, Caroline, Abram, Gilles D., Gilles G., Stéphane, Joël, Marc... pour leur accueil au sein du laboratoire.

Jean Marc Lance de l'ECA m'a aidée dans l'adaptation de sa méthode d'évaluation des risques naturels et m'a permis de mieux comprendre la problématique des risques naturels en Suisse, qu'il en soit vivement remercié.

Merci à Christophe Bonnard (EPFL) et à Xavier Dewarrat pour leur aide et leurs conseils dans l'application de la méthode IMIRILAND.

Je remercie aussi Marc Léobet pour m'avoir orientée vers des acteurs des risques naturels.

Je n'oublie pas Bernard Loup (Service des constructions et de l'aménagement du canton de Fribourg), Pierre Ecoffey (ECAB du canton de Fribourg), Khalid Essyad, ingénieur du bureau d'étude Bonnard & Gardel, Serge Magnenat du bureau De Cérenville, Mr. Mazet-Brachet directeur du bureau Alp'Géorisques, Gérard Brugnot (Cemagref) et Felix Darve pour les entretiens qu'ils m'ont accordé et pour les documents qu'ils m'ont transmis. Qu'ils soient vivement remerciés pour m'avoir transmis leur vision de l'évaluation des risques naturels.

Je remercie aussi l'Institut des Risques Majeurs à Grenoble et tous ses collaborateurs pour m'avoir accueilli une matinée et m'avoir permis d'accéder à leur bibliothèque.

Merci également à Nicolas-Gérard Camp'huis (Directeur de l'Equipe pluridisciplinaire du Plan Loire grandeur nature) pour m'avoir transmis son rapport.

Merci à Marc Gilgen (Service information sur le territoire), pour ses précisions sur les différentes données suisses existantes.

Je n'oublie pas non plus Henri pour sa traduction et Sylvie pour m'avoir hébergée durant ces quatre mois.

Résumé

Les montants des indemnités relatives aux événements naturels mondiaux sont en constante augmentation et atteignaient dans le monde 3 milliards de dollars par an dans les années 80. La politique de la Suisse en matière de risques naturels s'appuie principalement sur la protection des zones vulnérables aux phénomènes naturels. « Selon les lois fédérales sur l'aménagement des cours d'eau et sur les forêts, les cantons ont l'obligation d'établir des cartes de dangers et d'en tenir compte dans les activités ayant effets sur l'organisation du territoire (...) L'aménagement du territoire nécessite, pour tous les types de dangers naturels, l'élaboration de documents comparables » (LOAT et PETRASCHECK, 1997). C'est dans cette optique qu'un projet cantonal a été mis en place. Il consistait à mettre en place une méthodologie d'établissement des cartes de dangers naturels du canton de Vaud. C'est dans son sillage que s'inscrit le sujet de ce stage.

Cette étude a pour but une analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels qui consistent à croiser les dangers et les objets du territoire à protéger. Cette analyse critique va permettre de recenser les méthodes adaptées à la problématique des risques naturels sur le canton de Vaud et de connaître les zones à protéger en priorité pour que le risque naturel soit acceptable. Les méthodes estimées les plus pertinentes seront appliquées sur un bassin versant présentant de multiples dangers.

Le stage s'est déroulé en plusieurs étapes :

- Une phase de bibliographie et de prise de contact avec les acteurs des risques naturels a permis de comprendre la notion de risques naturels en Suisse et de recenser les méthodes évaluant les risques naturels.
- Une analyse critique des méthodes recensées a permis de sélectionner les méthodes applicables au bassin versant de l'Avançon.
- L'exploration des données géographiques existantes en Suisse a permis de choisir les données adaptées aux différentes échelles d'analyse.
- Mettre en place les procédures permettant d'appliquer les méthodes sélectionnées sous SIG.
- L'application des méthodes les plus adaptées à la problématique des risques naturels sur le canton de Vaud a permis de mettre en évidence la complémentarité des échelles d'analyse.

Abréviations

ASIT-VD	Association pour le système d'information du territoire vaudois
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CADANAV	CARtes de DAngers NATurels du canton de Vaud
CCDN	Commission Cantonale en matière de Dangers Naturels
COSIG	Coordination de l'information géographique et des systèmes d'information géographique
ECA	Etablissement d'assurance contre l'incendie et les éléments naturels du canton de Vaud
ECAB	Etablissement Cantonal d'Assurance des Bâtiments
EPFL	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
IAURIF	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France
IMIRILAND	Impact of large Landslides in the Mountain Environment : Identification and Mitigation of Risk
MNS	Modèle numérique de Surface
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OFAT	Office fédéral de l'aménagement du territoire
OFEFP	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage
OFS	Office fédéral de la statistique
OPAM	Ordonnance sur la Protection contre les Accidents Majeurs
OSIG	Organisation Suisse pour l'Information Géographique
PER	Plan d'Exposition aux Risques
PLANAT	Plate-forme nationale « Dangers naturels »
PLU	Plan Local d'Urbanisme
POS	Plan d'Occupation des Sols
PPR	Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles
PSS	Plan de Surfaces Submersibles
PZSIF	Plan des Zones Sensibles aux Incendies de Forêt
SAT	Service de l'Aménagement du Territoire
SIG	Système d'information géographique
SIT	Service de l'information sur le territoire
SR	Service des routes

Table des matières

Introduction	1
1. La problématique des risques naturels	3
1.1. La notion de risque en France et en Suisse	3
1.2. La carte de danger selon les recommandations fédérales	3
2. Présentation des méthodes pour évaluer les risques naturels	5
2.1. Les recommandations fédérales et cantonales	5
2.1.1. Méthode BUWAL, la notion de déficit de protection	5
2.1.2. CADANAV, la méthode BUWAL à l'échelle cantonale	6
2.2. L'analyse des risques naturels en France	8
2.3. IMIRILAND, un projet européen	8
2.4. L'approche des bureaux d'études	10
2.5. Discussion critique des méthodes	10
3. Des méthodes complémentaires pour évaluer les risques naturels : Application au bassin de l'Avançon	14
3.1. Applications à l'échelle du bassin versant	14
3.1.1. Utilisation de la classification des objets à protéger de CADANAV	15
3.1.2. Utilisation de la classification BUWAL et du cadastre	17
3.1.3. Une approche s'affranchissant des classifications	19
3.2. Applications à grande échelle	20
3.2.1. Mode opératoire de la méthode IMIRILAND	20
3.2.2. Mode opératoire de la méthode BUWAL degré 2	21
3.3. Résultats et perspectives	24
Conclusion	25
Bibliographie citée	26
Bibliographie consultée	28

Introduction

Cette étude s'inscrit dans la suite du projet CADANAV. Ce projet avait pour but de mettre en place une méthodologie d'établissement des cartes de dangers sur le canton de Vaud. L'objectif de ce travail est de franchir une étape supplémentaire et de recenser les méthodes d'évaluation des risques naturels adaptées au canton de Vaud et aux recommandations fédérales. Il s'agit d'identifier des méthodes opérationnelles, n'étant pas trop simplistes.

Nous précisons que nous étudierons seulement l'évaluation des impacts négatifs et non les possibles impacts positifs dus à un risque naturel comme par exemple une inondation qui peut être bénéfique pour la recharge des nappes alluviales...

Les dangers naturels pris en compte dans cette étude sont les dangers dus aux crues (inondation, érosion des berges, laves torrentielles et coulées boueuses), aux mouvements de terrain (glissement de terrain, éboulement et effondrement) et aux avalanches. Les inondations étant plus prévisibles (temps de retour) que les mouvements de terrain.

Le terrain d'application des méthodes est le bassin de l'Avançon dans le district d'Aigle (canton de Vaud). De part sa configuration naturelle et l'implantation humaine, le bassin versant de l'Avançon est soumis à de nombreux risques naturels, notamment les avalanches, les mouvements de terrain et les inondations. Son altitude varie entre 400 et 3000 mètres. Il comporte des zones de montagne et des régions de plaine. De plus, ce territoire est situé dans la région « Rhône », région prioritaire d'étude d'après le projet Cadanav. Ce territoire d'environ 90 km², en zone montagneuse, constitue donc un bon terrain d'application.

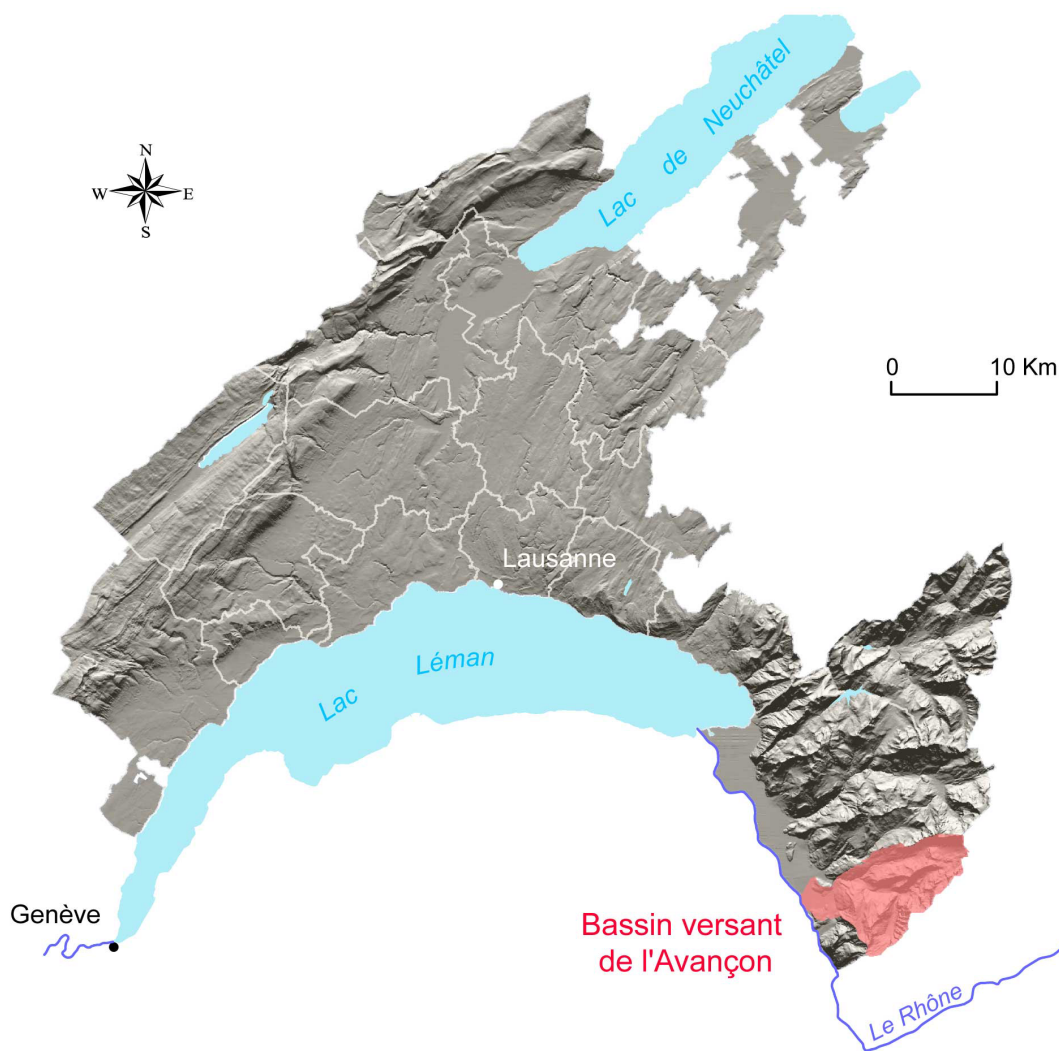
Il faut dans un premier temps définir la notion et la problématique du risque, en comparant l'approche française et suisse.

L'analyse des risques naturels passe par la connaissance du danger naturel. Il faut connaître l'intensité du danger, sa localisation et sa fréquence. Ces données sont contenues dans la carte des dangers, documents de base de ce travail. Nous exposerons donc brièvement ses caractéristiques et sa mise en place en Suisse.

Puis, nous recenserons et analyserons l'adaptabilité des différentes méthodes existantes, sous SIG pour enfin appliquer certaines de ces méthodes, à des échelles différentes, sur le bassin de l'Avançon.



Le canton de Vaud en Suisse



Le bassin de l'Avançon dans la zone montagneuse du canton de Vaud ...

Sources : © Swisstopo
 Cartographie réalisée par Céline Ronté, Août 2003, LASIG EPFL

1. La problématique des risques naturels

1.1. La notion de risque en France et en Suisse

En France, un **aléa** représente un phénomène naturel caractérisé par sa probabilité d'occurrence et l'intensité de sa manifestation. En Suisse, une telle définition correspond à la notion de **danger**. Ces phénomènes naturels sont considérés comme dangereux pour l'homme, l'environnement et les biens. Ces deux notions intègrent la notion de vulnérabilité.

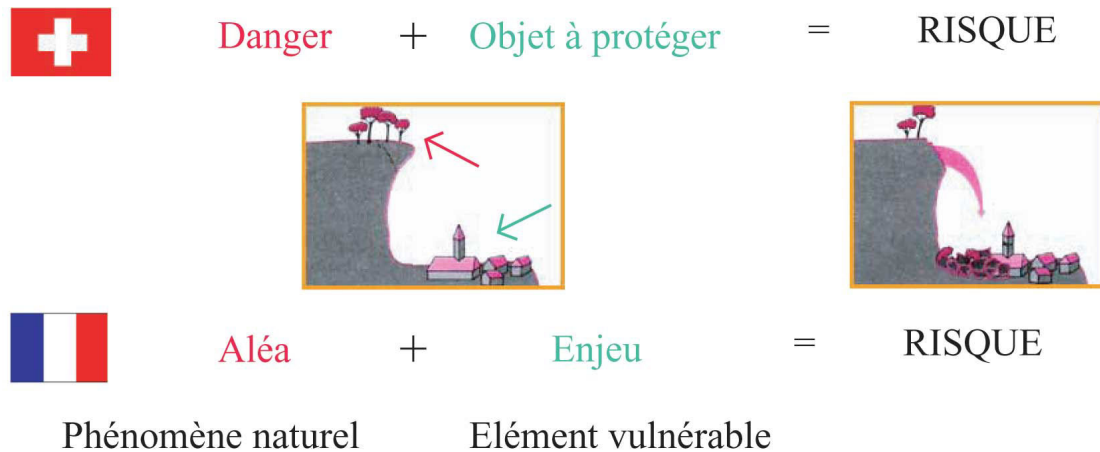


Figure 1 : Définition du risque en France et en Suisse

La **vulnérabilité** est utilisée dans les deux pays. En France comme en Suisse, la vulnérabilité est le degré de pertes causé par un phénomène naturel. Néanmoins, cette définition varie selon l'étude et comme le rappelle Patricia Bouleux, « il y a autant de définitions que d'indices proposés pour l'évaluer » (BOULEUX, 1999).

Les éléments vulnérables sont appelés **objets à protéger** en Suisse alors qu'ils sont qualifiés d'**enjeux** en France. Ils correspondent aux personnes, activités, biens ... pouvant être affectés par un phénomène naturel.

Le **risque** résulte du croisement du phénomène naturel et des éléments vulnérables. « Il se situe à l'interface du milieu physique et du milieu anthropisé » (BOULEUX, 1999). Il est généré par un danger naturel survenant dans un milieu vulnérable. En effet, on ne parle pas de risque si le phénomène naturel ne menace pas d'activités humaines. De plus, le risque est plus ou moins important selon la valeur économique, culturelle, humaine ... mise en jeu.

1.2. La carte de danger selon les recommandations fédérales

La carte de dangers classe le danger en degrés de danger. Ce degré est représenté par un code de couleur : jaune pour un danger faible, bleu pour un danger moyen et rouge pour un danger élevé. Le danger est évalué par la période de retour (probabilité) et l'intensité du phénomène étudié (figure 2).

Les degrés de danger intègrent la notion de dommages et de vulnérabilité des objets. En effet, la carte de danger divise le territoire selon l'importance des dommages susceptibles d'être causés dans le cas du déclenchement d'un phénomène naturel. Pour chaque phénomène

naturel, les degrés de dangers ont été définis en fonction de l'impact qu'ils peuvent provoquer aux biens ou personnes (annexe 1.1).

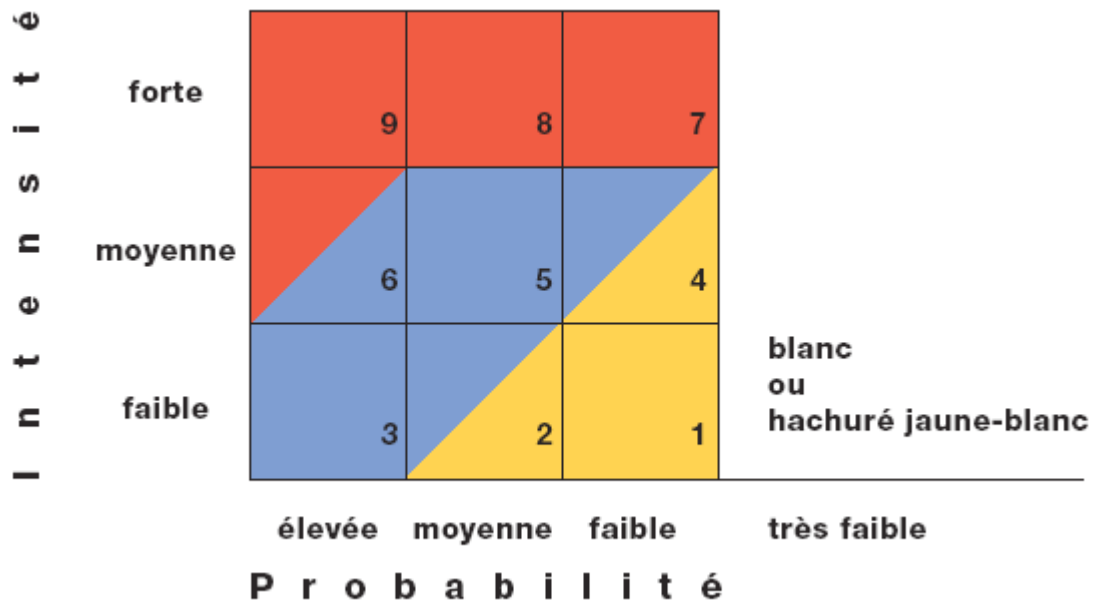


Figure 2 : Diagramme intensité-probabilité (diagramme des degrés de danger), tiré de LOAT R. et A. PETRASCHECK (1997). *Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*. OFEE, OFAT, OFEFP, p.16.

La carte de danger suit un raisonnement en matière de construction, les zones rouges étant inconstructibles (annexe 1.1), les bleues constructibles sous conditions. La carte de danger est utilisée pour l'aménagement du territoire mais n'est pas suffisante pour déterminer les mesures actives de protection (ouvrages ...). Le danger restant difficile à réduire, seules ses conséquences peuvent l'être. La réduction des dommages probables, donc de la vulnérabilité des objets menacés, passe par l'établissement de mesures de protection. Une étude de risque permet de connaître les zones en déficit de protection et d'y agir en priorité.

2. Présentation des méthodes pour évaluer les risques naturels

Les différentes méthodes recensées se différencient principalement par leur but et leur échelle d'analyse, qui ne sont quelquefois pas faciles à distinguer. Toutes les approches essayant d'évaluer les risques naturels sur un territoire sont intéressantes et méritent une analyse critique. Cette analyse doit nécessairement replacer les méthodes dans leur contexte d'élaboration ce qui permettra d'extraire des notions pertinentes. L'évaluation des risques naturels permet d'orienter la prévention des risques vers les zones les plus vulnérables en améliorant leur protection.

2.1. Les recommandations fédérales et cantonales

2.1.1. Méthode BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft¹), la notion de déficit de protection

En Suisse il existe des recommandations fédérales éditées par l'Office fédérale pour l'environnement, la forêt et le paysage (BUWAL, 1999). Elles sont un point de départ dans notre recherche de méthodologie. Cette méthode, appliquée par le bureau d'études ABA-GEOL (ABA-GEOL, 2003), préconise trois niveaux d'analyse, pouvant être définis indépendamment les uns des autres (annexe 2.2):

- Le degré 1, est une approche qualitative, voire semi quantitative, à moyenne échelle. Les objets à protéger y sont classés en catégories d'objets selon le degré de protection dont ils ont besoin. Cette méthode a pour but d'établir les priorités d'intervention dans les zones en déficit de protection. Les buts de protection sont définis en fonction de la catégorie des objets et de la période de retour du phénomène.
- Le degré 2 est le niveau intermédiaire, plus précis (environ 1/10 000 voire 1/5 000). C'est une approche quantitative où les risques sont mesurés en francs suisses pour les dégâts matériels et en nombre de victimes pour les personnes. Les objets de valeur similaire sont groupés en type d'objets pour lesquels un tableau (annexe 2.2) renseigne sur leur prix pour 100 m² ou pour un mètre linéaire, selon l'intensité et le type de danger.
- Le degré 3 est le plus précis. L'analyse se fait à l'objet mais et ne sera détaillée qu'en annexe. Nous n'appliquerons pas cette méthode dans cette étude car elle est trop précise et très difficile à appliquer sous SIG. De plus, elle nécessite des informations très précises et non disponibles.

Le choix des niveaux d'analyse dépend principalement du but de l'étude, les assureurs s'intéressant au niveau le plus fin. Il dépend secondairement des données disponibles et du temps que l'on y consacre. Il est aussi possible de combiner ces trois approches, la plus petite échelle permettant d'avoir une approche globale, pouvant être utile au canton, alors que les deux autres pourraient être utilisées par les services communaux selon l'échelle dont ils ont besoin.

¹ Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP).

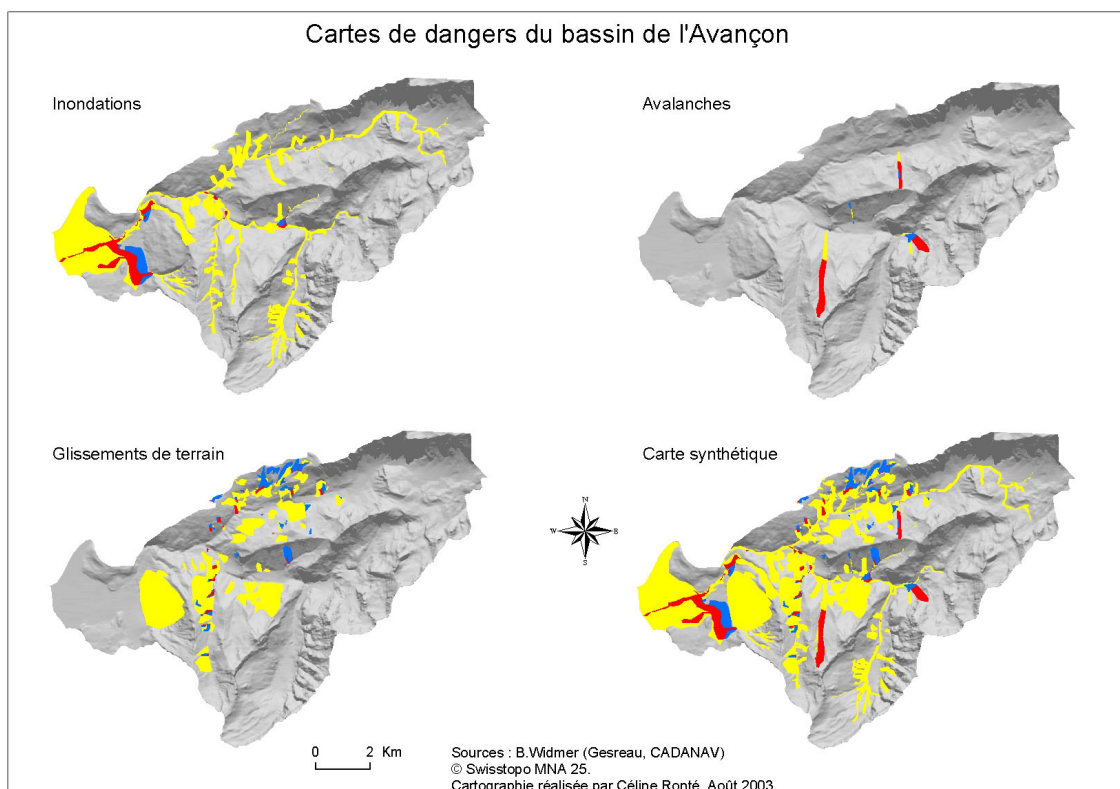
Cette approche sera difficilement applicable par la suite car nous ne disposons pas de la carte d'intensité des phénomènes, la contrainte du travail étant d'utiliser la carte de danger.

Certaines de ces recommandations fédérales ont inspiré le projet CADANAV.

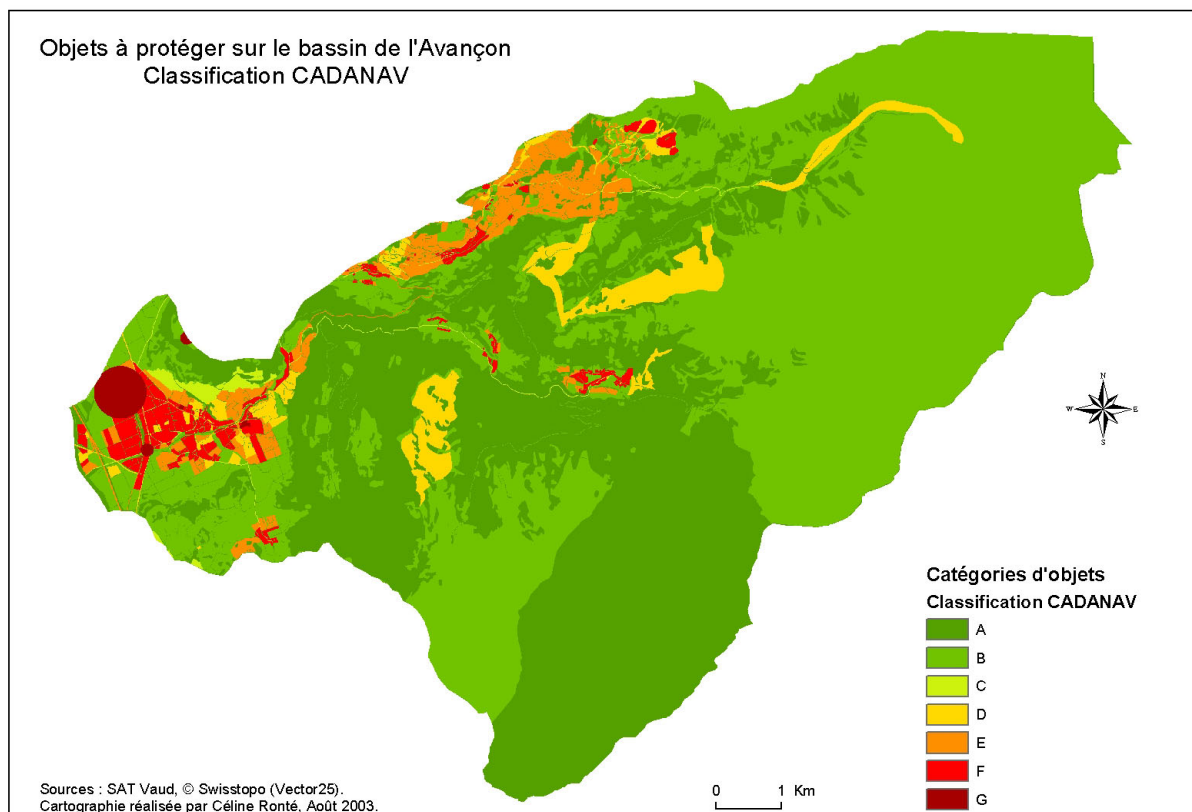
2.1.2. CADANAV, la méthode BUWAL adaptée à l'échelle cantonale

L'évaluation des risques dans le projet CADANAV n'a pas été menée à son terme. Il est néanmoins intéressant de mentionner la matrice des objets à protéger (annexe 2.3) établie pour CADANAV et s'inspirant de celle de la méthode BUWAL, degré 1.

La carte des catégories d'objet à protéger croisée avec la carte synthétique des dangers (présentant le degré de danger maximum, sans distinction du type de danger) permet de déduire, selon le temps de retour du phénomène, les buts de protection, et réaliser ainsi une hiérarchisation des zones à protéger en priorité sur le canton de Vaud.



Sur le bassin de l'Avançon, et conformément à la matrice des objets à protéger de CADANAV, la carte des objets à protéger est obtenue à l'aide des données surfaciques (zones d'affectation, objet OPAM) et linéaires (routes et chemin de fer du Vector25).



Le risque total R_t étant le croisement entre le degré de danger D et le potentiel de dégât W ,
 $R_t = D_i \times W_i$ (cf annexe).

Jean-Marc Lance (ECA) avait ensuite proposé de distinguer le risque matériel (R_{t_m}), le risque en vies humaines (R_{t_h}) et celui lié aux effets secondaires (R_{t_s}) comme les conséquences politiques, économiques, culturelles, sociales ... Pour chaque type de potentiels de dégâts, il avait défini des échelles ayant 3 niveaux : faible, moyen, fort (annexe 2.4). Cette différenciation de W est judicieuse et permet de présenter au canton une approche thématique, permettant de définir facilement les priorités de protection. A chaque catégorie d'objet de CADANAV (A...G) correspond un potentiel de dégâts matériel W_m , humain W_h et secondaire W_s , faibles moyens ou forts. Ensuite, trois matrices croisant le potentiel maximum de dégâts (W) et le degré de danger (D) permettent de déduire cinq niveaux de risque R et trois cartes thématiques de risques.

Cette méthode a été mise en place pour une analyse cantonale du risque. Dans cette optique, les degrés de risque R_4 et R_5 correspondent à une responsabilité cantonale, alors que les degrés R_2 et R_3 pourraient être une responsabilité communale, et R_1 individuelle.

Cette méthode peut s'adapter selon le but de l'analyse. Il serait possible de fixer les valeurs de R au préalable de façon à créer les matrices de risque plus objectivement ce qui ferait de cette méthode une méthode semi quantitative. On aurait, par exemple, le risque matériel selon une échelle prenant en compte le montant en francs des primes d'assurance annuelles pour 1000 francs assurés.

De plus, cette méthode peut être appliquée en s'affranchissant des catégories d'objets et en affectant à chaque objet un W_m , un W_h et un W_s .

C'est une méthode flexible et facilement adaptable, utilisant comme donnée de base les cartes de danger et permettant d'avoir une vision qualitative du risque. Elle peut s'appliquer à différentes échelles selon la précision des données et des échelles de valeur de W et R et peut ainsi devenir une méthode semi quantitative.

Cette méthode s'applique facilement sous SIG. L'approche thématique du risque en plusieurs cartes est très intéressante.

2.2. L'analyse des risques naturels en France

Il est intéressant de comparer les similitudes et les différences existants entre la France et la Suisse en matière de risque.

En 1995, l'Etat a instauré les Plans de Prévention des Risques prévisibles (PPR). Contrairement aux recommandations fédérales qui suggèrent trois échelles d'études, le PPR n'a pas de niveau de précision des études et des prescriptions (annexe 2.5). Il est donc possible d'établir un PPR d'après les données disponibles, si les enjeux le justifient, et le mettre à jour au fur et à mesure que la connaissance évolue. Il existe néanmoins une échelle de base au 1/10 000. Le PPR délimite deux types de zones : celles exposées aux risques (rouge) et celles contenant des objets susceptibles de provoquer ou d'aggraver le risque (bleue). Ces deux zones seront, respectivement, inconstructibles ou soumises à conditions, afin d'assurer la sécurité des personnes et l'organisation des secours.

En France, la notion d'admissibilité du risque n'est pas assez intégrée à la politique. En effet, un arrêté du conseil d'Etat précise que face à un danger naturel, tout développement possible du phénomène doit être pris en compte pour protéger les personnes vulnérables sans aucune approche probabiliste (entretien du 06/06/03 avec Christophe Bonnard). La politique de prévention du risque n'a donc pas pour objet de peser le risque en évaluant la vulnérabilité.

Le PPR est un outil de réglementation de l'urbanisation, ne comportant pas de méthode précise pour le mettre en place. C'est en cela qu'ils diffèrent des recommandations suisses qui prônent « une différenciation des objectifs de protection. Les biens de grande valeur doivent être mieux protégés que ceux de moindre valeur » (LOAT et PETRASCHECK, 1997).

La méthodologie n'étant pas clairement définie, il est difficile de mettre en place un PPR dans la suite de cette étude, cette mise en place étant très complexe et nécessitant de nombreuses études menées par des spécialistes.

Les politiques française et suisse visent à une homogénéité de leur étude de risques. A l'échelle européenne, il existe le projet IMIRILAND présenté dans le paragraphe suivant.

2.3. IMIRILAND, un projet européen



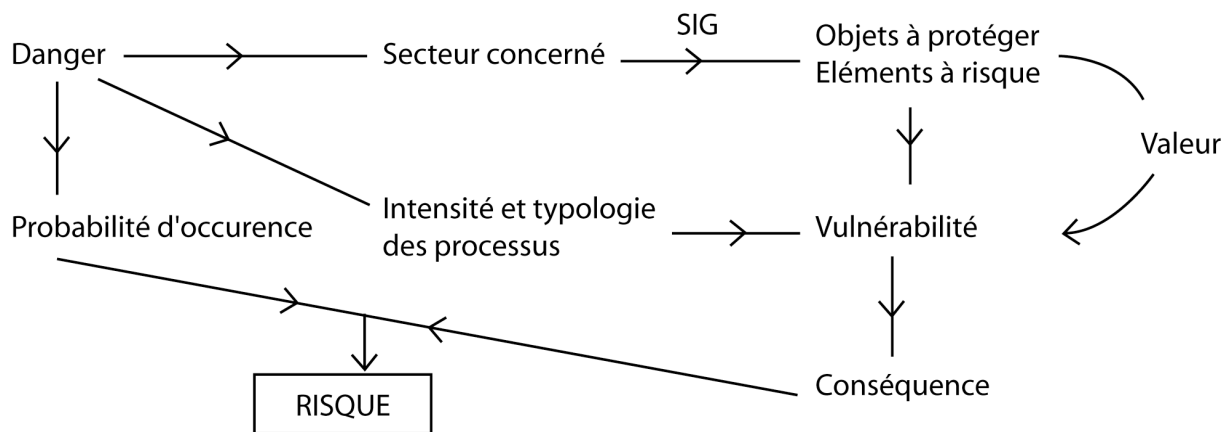
IMIRILAND (Impact of large Landslides in the Mountain Environment : Identification and Mitigation of Risk) est un projet de recherche européen traitant de l'évaluation et de la gestion des risques liés aux grands mouvements de terrain en zone de montagne (FORLATI F., 2003). Ce projet rentre dans le volet environnement du 5^e programme cadre « Generic Environment ». Il a démarré sur l'initiative d'un groupe de personnes, dont Christophe Bonnard, spécialistes des mouvements de terrain à l'EPFL. Ce projet doit se terminer fin

2003. Il est réalisé par 7 partenaires italiens, espagnol, français, autrichien et suisse : la région Piémont, Politecnico di Torino, le Centre National de Recherche de Turin (CNR), l'Université Polytechnique de Barcelone (UPC), le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), et l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL).

Le but de ce projet est d'établir une méthode pour évaluer les risques de mouvements de terrain afin de mettre en place une stratégie de mitigation. Les résultats d'une telle étude seront ensuite transmis aux politiques susceptibles de prendre des décisions. Ce projet vise à rendre homogène les évaluations des risques de mouvement de terrain entre les pays européens, qui ont une politique et une façon différente de prendre en compte ce type de danger.

Dans ce programme les risques naturels sont considérés comme étant le produit de l'aléa et de ces conséquences.

Risque = Aléa x (Vulnérabilité x Valeur des objets à protéger)



Source : D'après la présentation powerpoint Quantitative risk analysis IMIRILAND general approach

Les étapes de cette méthode sont (voir ci dessus et en annexe 2.6):

- Identifier les éléments en danger
- Evaluer la valeur des objets à protéger
- Evaluer la vulnérabilité
- Calcul des conséquences (valeur x vulnérabilité)
- Evaluer les risques (conséquences x probabilité d'occurrence x intensité du processus)

Les probabilités d'occurrence varient selon le scénario.

- Risque total est la somme des valeurs de risque pour chaque scénario. Cette méthode est encore discutée car pas très juste d'additionner les scénarii de danger.

Cette approche peut facilement s'appliquer sous SIG. Elle sépare les valeurs relatives des biens, de l'interruption des activités économiques, de l'environnement et des vies humaines en affectant des coefficients différents. Cette segmentation permet d'obtenir quatre cartes : une carte du risque matériel, une carte du risque économique, une carte du risque environnemental et une carte du risque humain.

2.4. L'approche des bureaux d'études

Après avoir pris contact avec plusieurs bureaux d'études, il me paraît important d'en citer quatre, ayant des approches différentes (annexe 2.7), montrant ainsi la diversité des méthodes possibles pour évaluer les risques naturels.

Les bureaux d'études ont une approche au cas par cas pour la plupart.

Certains comme Alp'Géorisques² (ALP'GEORISQUES, 1999) ou le bureau Géotechnique De Cérenville³ (De Cérenville Géotechnique, 2003), sur demande de leurs clients, ont expérimenté la même méthode sur plusieurs terrains d'étude. Alp'Géorisques utilise une approche par coefficients, dont la valeur est discutée avec la commune afin de tenir compte des spécificités régionales. Géotechnique De Cérenville ont une approche par formulaire, pouvant s'adapter à plusieurs terrains d'études.

D'autres, comme Karakas & Français⁴ (KARAKAS & Français SA, 1995), ont mené des études post – catastrophe sur un territoire à risque afin de limiter les impacts d'une nouvelle catastrophe.

En ce qui concerne Bonnard & Gardel⁵, leur méthode s'appuie sur les recommandations fédérales sans pour autant les suivre aveuglement.

2.5. Discussion critique des méthodes

Beaucoup d'études sur l'évaluation des risques naturels définissent leur notion de risques et résument leurs méthodes sans expliciter leur outil d'analyse. Certains produisent des cartes mais le lecteur ne peut comprendre quelle est la méthode à suivre. D'autres, créent une méthode par terrain d'étude, et justifient leur approche par la justesse de leur analyse.

Globalement, l'évaluation des risques naturels à petite échelle passe par des méthodes qualitatives, permettant de prioriser les zones à risques. Ensuite, il est nécessaire de choisir des méthodes plus quantitatives permettant une application à plus grande échelle. Elles permettent de préciser les impacts matériels, financiers ... et d'évaluer la nécessité des mesures de protection. Les analyses de risque n'abordant cette problématique que par la notion de dommages et donc de quantification monétaire ne peuvent intégrer tous les critères du concept (en particulier humain et environnemental). Néanmoins, ces méthodes réductrices restent quelquefois les plus parlantes pour les acteurs locaux. Il faut donc les utiliser à grande échelle, ponctuellement, pour préciser des études plus globales et qualitatives.

² ALP'GEORISQUES - ZI. Rue du Moirond Bât. Magbel - 38 420 Domène – FRANCE - +33 (0)4 76 77 92 00 - <http://www.alpgeorisques.com>.

³ DE CÉRENVILLE GÉOTECHNIQUE SA - 17, ch des Champs-Courbes – 1024 Ecublens – SUISSE - +41(0)21.691.24.91 – <http://www.decerenville.ch>. Je remercie Antoine Benacloche, ingénieur communal de la ville de Neuchâtel pour l'autorisation d'utiliser les formulaires d'évaluation.

⁴ KARAKAS & FRANÇAIS SA - Av. des Boueresses, 44 - 1010 Lausanne – SUISSE – +41 (0)21.654.44.88 – <http://www.karakas-francais.ch>

⁵ BONNARD & GARDEL Ingénieurs-conseils SA - 61, av de Cour – 1001 Lausanne – SUISSE - +41(0)21.618.11.11 – <http://www.bg-21.com>.

Les bureaux d'études ont des approches très différentes selon leurs clients. Certains n'utilisent pas les recommandations fédérales et ne les possèdent pas. Ils définissent plus de trois degrés de danger pour mener leurs études. D'autres appliquent trop aveuglement les recommandations de la confédération et certains utilisent les recommandations et produisent des études adaptées à l'économie de la commune. Alp'Géorisques demeure un cas intéressant car c'est un bureau d'étude qui s'est efforcé d'appliquer une méthode similaire à plusieurs terrains d'étude en tenant compte de leur spécificité. Cette diversité de points de vue rend la comparaison difficile. Néanmoins, une unité se dégage dans l'usage du logiciel SIG. La plupart utilisent le SIG ArcView 8 et le format vecteur pour leur analyse et leur cartographie.

Suite à ces constatations, nous avons choisi plusieurs méthodes dont les classifications des objets étaient fournies et dont la procédure semblait intéressante à suivre pour la problématique des risques naturels sur le canton de Vaud : deux méthodes qualitatives pouvant être appliquées au bassin de l'Avançon et deux méthodes (une semi quantitative et l'autre quantitative) applicables à des échelles plus grande. Toutes les méthodes choisies ont comme caractéristiques d'être réutilisables sur un autre terrain.

Le tableau ci dessous récapitule les méthodes recensées et définit leurs caractéristiques.

Organismes ou personnes ou projets	Type de méthode	Facilité d'applicabilité sous SIG	But	Echelle
Confédération Suisse ou canton de Vaud				
BUWAL	Quantitative et qualitative	++ Difficultés de traduction.	Degré 1 : Etablir les priorités d'intervention dans les zones en déficit de protection Degrés 2 et 3 : Hiérarchiser les objets à protéger selon les valeurs ou leurs occupations.	3 échelles : 1/25 000 (degré 1) 1/10 000 (degré 2) 1/5 000 (degré 3)
Adaptation de la méthode de J-M Lance	Qualitative	+++	Identifier les zones de risques matériel, humain et secondaires.	Canton Bassin versant (1/65 000)
France				
PER	Quantitative	0	Evaluer les dommages potentiels directs ou indirects, par une valeur monétaire, pour chaque niveau d'aléa (selon l'intensité du phénomène)	
PPR	Qualitative	0	Délimiter les zones concernées par les risques et y définir ou y prescrire des mesures de prévention.	1/10 000
Equipe Pluridisciplinaire Plan Loire Grandeur Nature	Qualitative	0	Choisir et mettre en place une stratégie de réduction des risques d'inondation	Petite échelle

Europe				
IMIRILAND	Semi quantitative	+++	- Etablir une méthode pour évaluer les risques de mouvements de terrain. - Etablir une stratégie de mitigation - Diffuser les résultats aux politiques susceptibles de prendre des décisions.	Grand mouvement de terrain
Bureaux d'études				
Alp'Géorisques	Semi quantitative (coefficient)	+	Identifier les sites en déficit de protection	1/25 000
De Cérenville Géotechnique SA	Formulaire qualitatif		Contrôle et maintenance des murs et falaises rocheuses	Grande échelle
Karakas & Français SA	Qualitative (coefficient créés pour un terrain d'étude)		Définir les priorités de protection des biens et équipements en danger sur un territoire particulier	1/5 000
Recherche				
F.Léone, thèse	Quantification de la vulnérabilité		Evaluer les pertes possibles suite à un mouvement de terrain	
P.Bouleux, DEA		0	Prise en compte de l'accessibilité dans l'évaluation des risques naturels	
Assurance				
ECA	Formulaire semi qualitatif			Bâtiment

Facilité d'applicabilité sous SIG : 0, impossible à appliquer ; +, difficilement applicable; ++, facile à appliquer ; +++, facile et rapide à appliquer.

Figure 3 : Caractéristiques des méthodes recensées.

Les méthodes recensées peuvent être classées en deux catégories distinctes (HUBERT et LEDOUX, 1999): celles qui évaluent les enjeux et la vulnérabilité et celles qui évaluent les dommages.

Evaluation des enjeux et de la vulnérabilité	Evaluation des dommages
<p>Méthodes qualitatives</p> <p>Qualifier la vulnérabilité d'un territoire par des indicateurs d'impacts socio économiques, afin d'orienter une stratégie de réduction de la vulnérabilité et des dommages potentiels.</p>	<p>Méthodes quantitatives, monétaire.</p> <p>Calcul d'un coût de dommage permettant de savoir si le coût de protection n'est pas supérieur au coût de dommage.</p>
Points positifs	
<ul style="list-style-type: none"> - Rapide : permet de définir rapidement les zones de déficit de protection nécessitant une étude plus précise. - Facile à mettre en place sous SIG - Adaptée à une analyse à petite ou moyenne échelle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Unité monétaire : Facile à comprendre et à présenter pour obtenir des financements pour la protection. Evaluation coût – bénéfice. - Peu paraître plus technique et plus concrète.
Points négatifs	
<ul style="list-style-type: none"> - Problème de compréhension des indices de risques. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficile de chiffrer monétairement des vies humaines. - Nécessite des estimations de valeur mobilière.
Exemple de méthodes opérationnelles sous SIG	
<p>IMIRILAND Alp'Géorisque Adaptation de la méthode de J-M Lance</p>	<p>BUWAL degré 2</p>

Figure 4 : Comparaison de deux approches complémentaires.

3. Des méthodes complémentaires pour évaluer les risques naturels : Application au bassin de l'Avançon

L'évaluation de la vulnérabilité des objets à protéger n'est que très rarement opérationnelle sous SIG. Aucune méthode ne propose une procédure sous SIG. Si certains utilisent les SIG, la plupart n'explicitent pas leurs méthodes. Nous allons nous efforcer d'explicitier les procédures d'application des méthodes sous SIG, afin de permettre au lecteur de les appliquer sur un autre terrain d'étude que le bassin de l'Avançon.

Une approche multi échelles ...

Selon les recommandations fédérales (annexe 2.2), il est important d'évaluer la vulnérabilité des objets selon trois échelles différentes : la plus générale au 1/25 000, l'intermédiaire à environ 1/10 000 et la plus précise au 1/5 000. Ces différentes échelles dépendant du but recherché. Une méthode descendant à l'analyse de l'objet semble difficile à mettre en place sous SIG, cette échelle nécessitant une étude au cas pas cas, réservée aux services cantonaux comme l'ECA (annexe 2.10). Nous proposons donc de faire une cartographie de base de l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle du bassin versant (1/65 000) afin de déterminer les zones nécessitant une analyse plus fine au 1/10 000 ou au 1/5 000.

Du qualitatif au quantitatif ...

Trois méthodes vont être appliquées au bassin de l'Avançon :

- Une méthode qualitative, adaptation de la méthode mise au point par Jean-Marc Lance (ECA) pour les catégories d'objets de CADANAV. Cette méthode sera aussi appliquée aux catégories d'objets de BUWAL, degré 1. Comparaison de ces deux approches qualitatives où seul les catégories d'objets diffèrent. Enfin, nous tenterons de s'affranchir des classes d'objets à protéger de BUWAL et CADANAV en analysant chaque type d'objet individuellement (forêt, parc, routes cantonales ...).
- Une méthode par coefficients mis au point pour le projet européen IMIRILAND.
- Une méthode quantitative, inspirée des recommandations fédérales (BUWAL degré 2).

Des points communs intéressants ...

Ces trois types de méthodes possèdent des points communs intéressants et induisent la production de cartes thématiques de type : risque humain, matériel, secondaire ... Cette approche paraît intéressante pour le canton de Vaud car elle permet de renseigner les différents services cantonaux.

3.1. Application à l'échelle du bassin versant, adaptation de la méthode de J-M Lance

Les cartes de dangers naturels utilisées dans l'application au bassin de l'Avançon sont celles mises en place par Bernard Widmer lors de son travail de diplôme (WIDMER, 2002). Ce sont des cartes non validées, établies dans le but de tester les méthodes d'évaluation des risques naturels. La carte synthétique des dangers est établie en prenant le degré de danger le plus important présent sur une zone à risque.

3.1.1. Utilisation de la classification des objets à protéger de CADANAV

L'utilisation du logiciel SIG ArcView 8.3 (Esri) en mode raster convient particulièrement aux analyses surfaciques. Il possède une rapidité de calcul par rapport au mode vecteur, des outils de croisements puissants et reste le mode privilégié pour l'analyse spatiale à petite échelle.

La première étape de cette application consiste à transformer les données vecteur (zone d'affectation, routes et chemin de fer du vector 25 et objets OPAM) en une unique grille raster, de résolution 5 mètres.

Lors de la transformation du vecteur en grille raster, il faudra s'assurer que les données vecteur ont la même emprise géographique et, si ce n'est pas le cas, il faudra créer de nouvelles entités vecteur pour que les grilles résultantes aient toutes la même taille.

Au fur et à mesure de la fusion des couches raster, certains objets se superposent. Les catégories de CADANAV étant hiérarchisées selon leur potentiel de dégât, il s'agira de ne retenir que la catégorie la plus élevée. Pour ce faire nous utiliserons l'outil Reclassify de Spatial Analyst qui permet de modifier les valeurs d'une grille raster.

Ensuite, l'outil Raster Calculator permet d'effectuer une addition des grilles afin d'obtenir une seule et même grille. La succession (cf graphique) de ces opérations permet d'obtenir une unique grille contenant les classes des objets à protéger selon la classification CADANAV (objet_cadanav). Il paraît intéressant dans cette analyse de prendre en compte l'emprise des routes. Le service des routes du canton de Vaud m'a communiqué l'article de loi précisant la largeur des routes selon leur classification. Plusieurs « buffer » autour des routes et des chemins de fer ont permis de créer une grille d'objets linéaires et de leur zone tampon (buffer_objet). Cette grille a ensuite été additionnée à la grille objet_cadanav.

Puis, il faut « reclassifier » cette grille unique selon la valeur des potentiels de dégâts W (annexe 2.4). Les catégories A et B ayant un potentiel de dégâts matériel considéré comme faible seront classées ensemble avec la valeur 1...

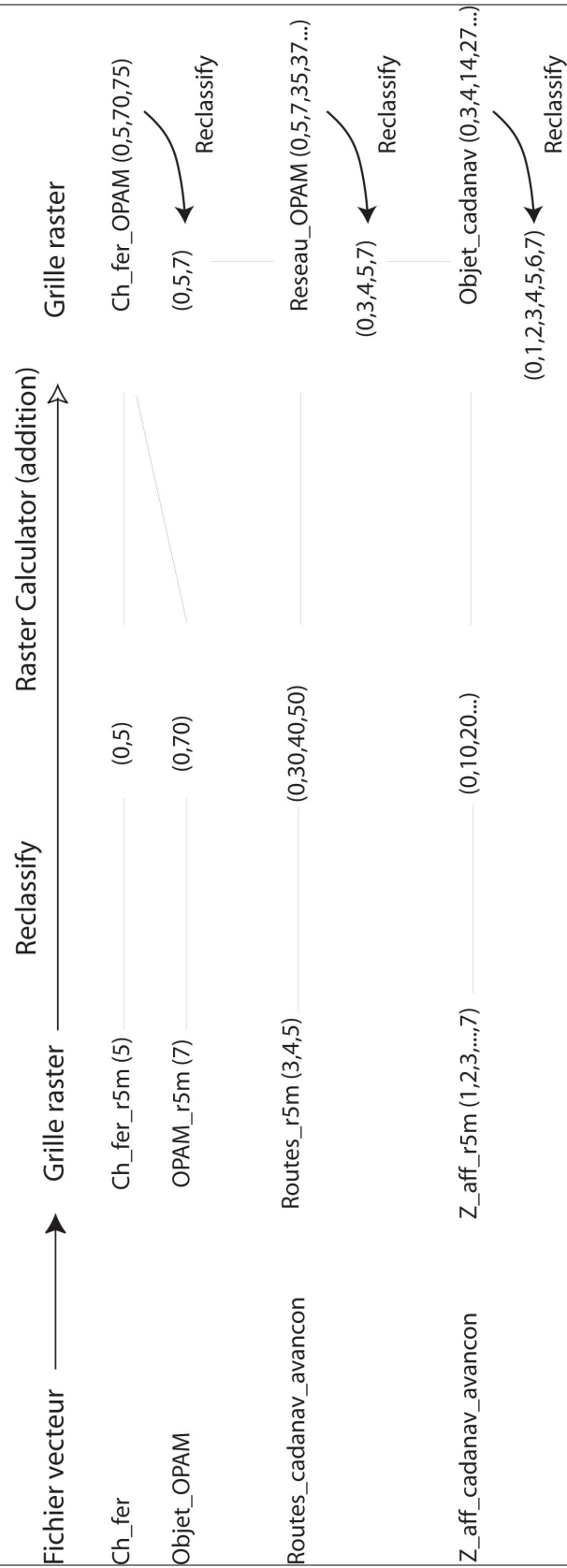
Valeur du potentiel de dégât	Catégories d'objets Wm	Catégories d'objets Wh	Catégories d'objets Ws
Faible (1)	A, B	A, B, C	A, B, C, D
Moyen (2)	C, D	D, E	E, F
Fort (3)	E, F, G	F, G	G

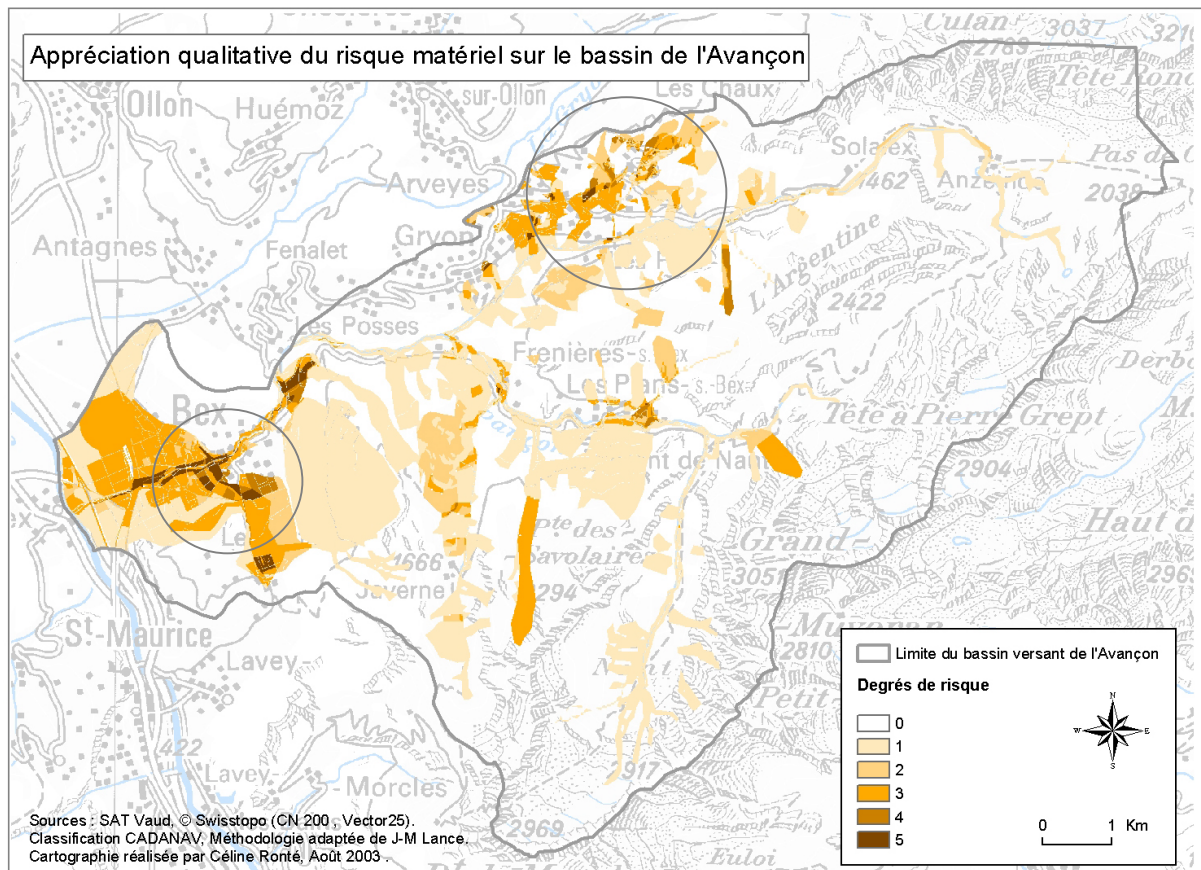
On obtient alors trois grilles raster, une pour chaque potentiel de dégâts. Ces grilles vont ensuite être croisées avec la carte synthétique des dangers naturels et selon les matrices croisant le potentiel maximum de dégâts et le degré de danger. Trois cartes de risque en résultent, chacune ayant cinq niveaux de risque R (annexe 3.2).

Le même mode opératoire sera utilisé avec la classification BUWAL.

Mode opérateur pour la transformation de fichiers vecteurs en une unique grille raster

(les valeurs entre parenthèses correspondent aux attributs).

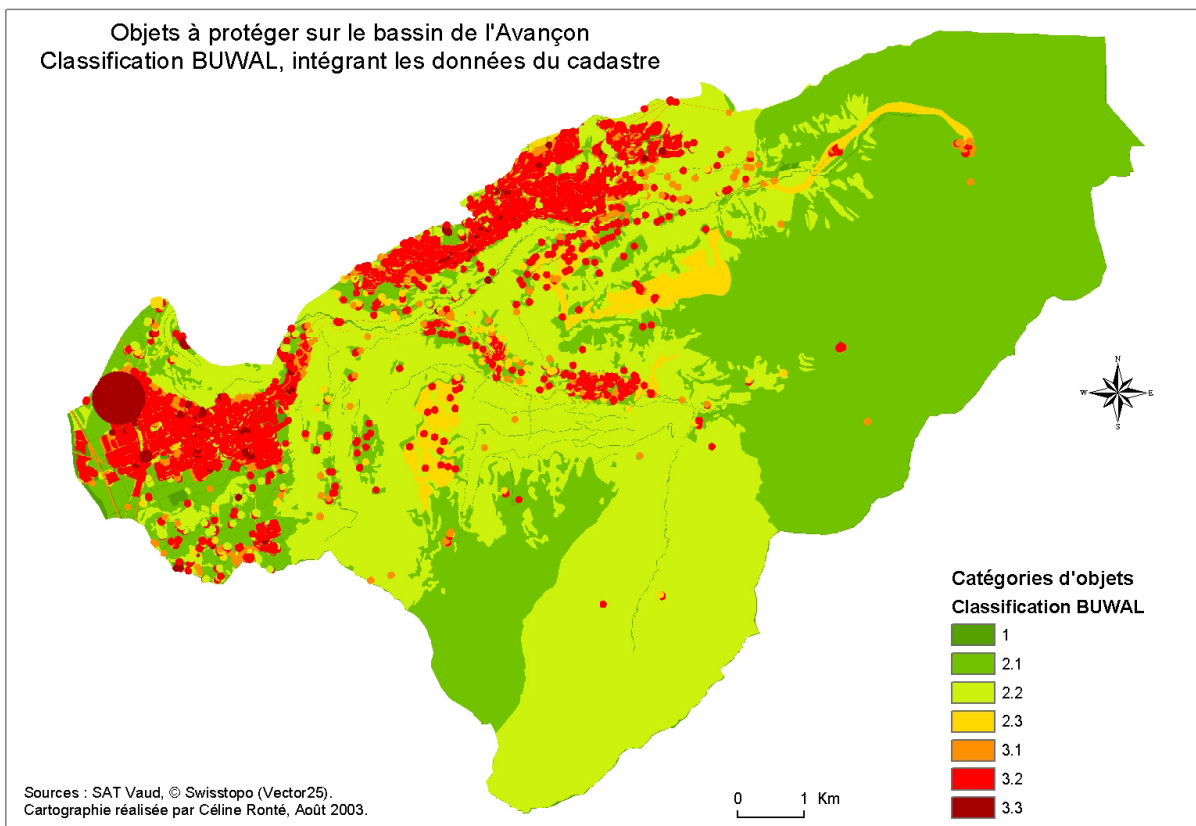
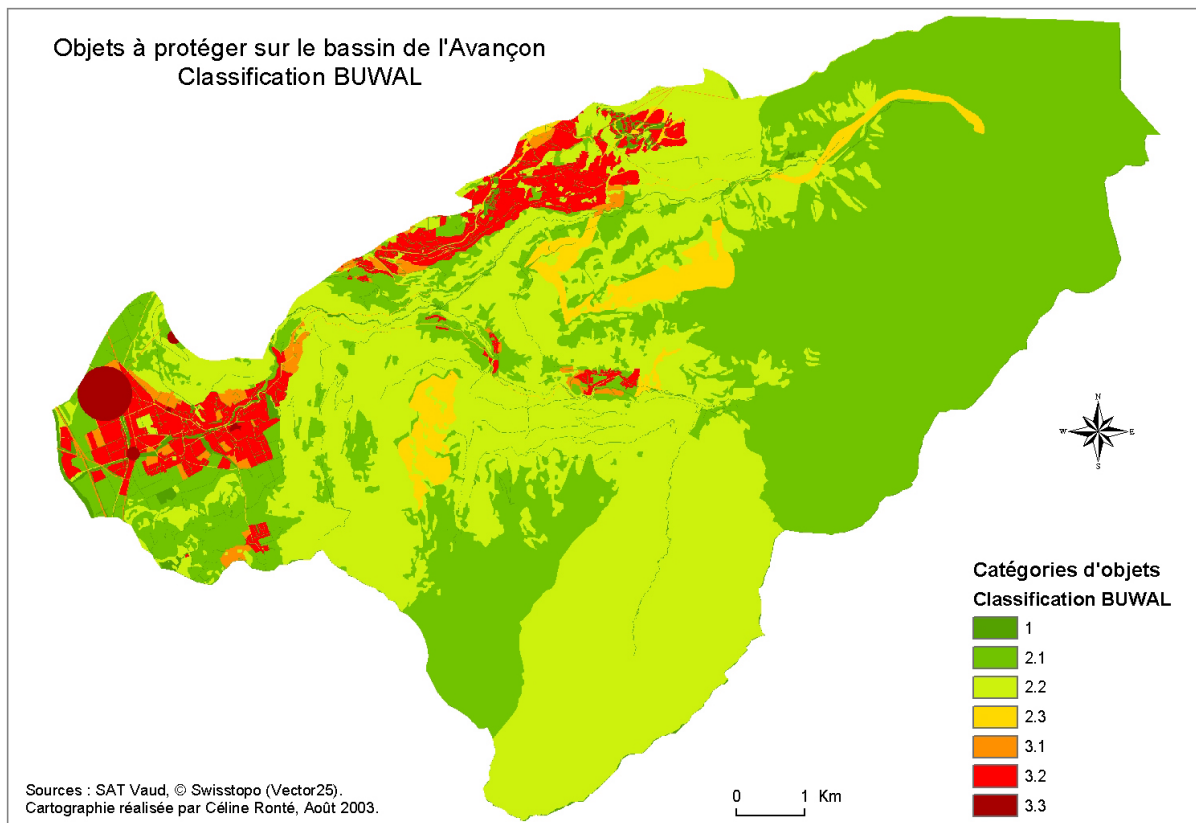




L'analyse des cartes produites (annexe 3.2) permet de dégager deux zones où les risques se concentrent. La plus importante se situe au nord est de Bex. Elle correspond à la zone du centre ville, le long de la rivière de l'Avançon, zone inondable. La deuxième zone se situe plus au nord. Elle correspond à une zone de chalets résidentiels, fortement menacée par les mouvements de terrain et les inondations. Ces deux zones feront l'objet d'une analyse à plus grande échelle pour préciser leur risques.

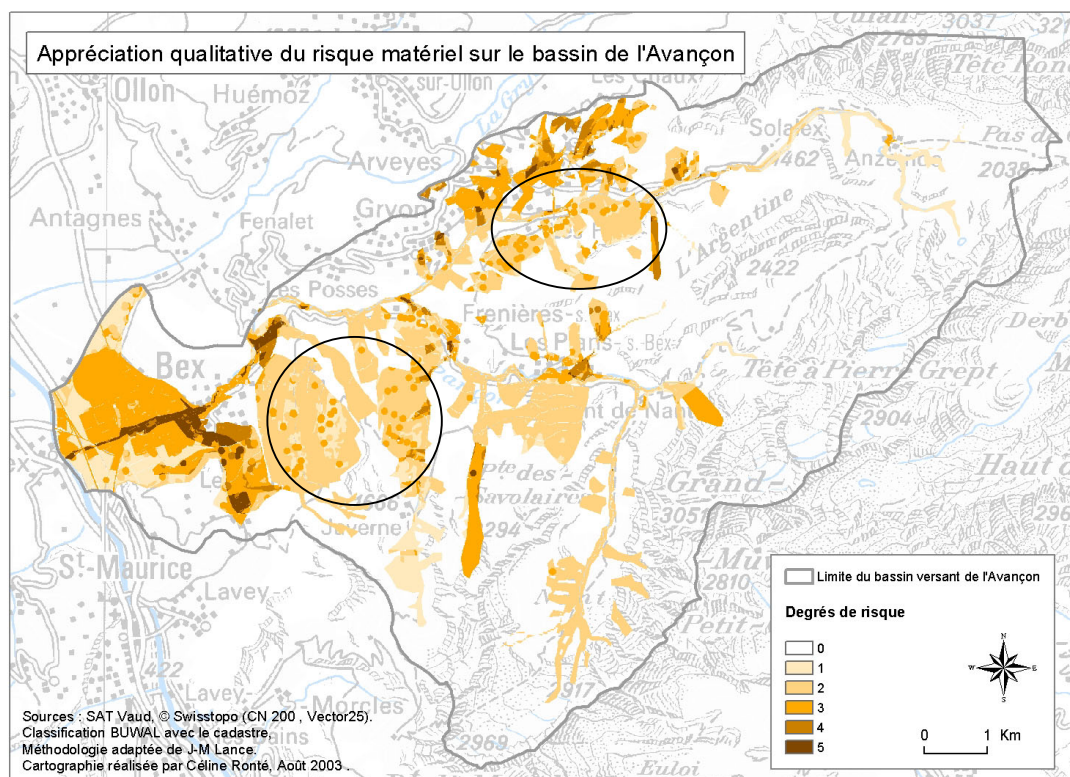
3.1.2. Utilisation de la classification BUWAL et du cadastre

Le degré 1 de la méthode BUWAL est difficilement applicable en utilisant la carte de danger comme base car il nécessite de connaître la période de retour du phénomène naturel, information non contenue sur la carte de danger et difficile à extraire depuis cette même carte. Néanmoins, nous proposons d'utiliser cette classification BUWAL pour appliquer la méthode adaptée de J-M Lance. Dans cette nouvelle application, le cadastre des bâtiments hors sol sera utilisé pour préciser l'analyse des zones d'affectation. Pour ce faire, un buffer de 50 m autour des bâtiments sera appliqué pour obtenir un effet de zone, précisant les zones d'affectations (annexe 3.3). De plus, le cadastre contient les bâtiments réels alors que les zones d'affectation correspondent à des plans d'occupation du sol et contiennent autant les zones constructibles. De ce fait, ces deux données sont complémentaires et doivent être prises en compte.



La comparaison de la carte contenant seulement les zones d'affectation et de celle intégrant le cadastre permet de mettre en évidence des zones d'habitat dispersé non visible sur la carte des zones d'affectation. Une analyse de risque a ensuite été menée à l'aide de la méthode inspirée par J-M Lance.

Trois cartes thématiques sont produites. Le cadastre permet de donner plus d'importance à des zones (entourée sur la carte) d'habitat dispersé.



3.1.3. Une approche s'affranchissant des classifications

Cette nouvelle approche propose de s'affranchir des classifications, souvent trop rigides et faite pour un terrain d'étude particulier. C'est une nouvelle proposition d'adaptation de la méthode de J-M Lance. Il s'agit de créer plusieurs grilles raster différentes, des objets à protéger (zone d'affectation et vector 25 routes et chemin de fer), selon la valeur de leurs potentiels de dégât : une grille des objets ayant un potentiel de dégât matériel (W_m) faible, une grille des objets ayant un W_m moyen, une grille des objets ayant un W_m fort, une grille des objets ayant un W_h faible... La même méthode mise en place ci dessus permet d'obtenir plusieurs grilles raster : une contenant la valeur du potentiel de dégâts matériel pour chaque objet, une autre ayant le W_h pour chaque objet et une dernière avec le W_s pour chaque objet. Il s'agit de garder les valeurs les plus élevées pour chaque objet. Ces couches sont ensuite croisées à la carte de danger synthétique et l'on obtient ainsi trois cartes de risque : la carte du risque humain, matériel et secondaires.

Il paraît pertinent d'envisager une quatrième carte de risque des objets sensibles constitués des zones à forte concentration humaine, des objets OPAM et des objets vitaux en cas de catastrophe. Cette carte présenterait les zones sensibles, permettant aux décideurs d'identifier rapidement les zones nécessitant une analyse de détail.

L'analyse de la cartographie produite met en évidence que cette approche sans classification est un compromis entre l'application avec les catégories d'objets CADANAV et celle avec le cadastre et les catégories BUWAL. Trois cartes (risques humain, matériel et secondaire) sont

ainsi produites (annexe 3.4) et une quatrième avec les objets sensibles pourrait l'être. Cette méthode permet de préciser l'étude de risque sans pour autant utiliser les données cadastrales. Globalement, les mêmes zones sont toujours mises en évidence. Il s'agit des zones d'habitat groupé.

3.2. Applications à grande échelle

L'application de méthodes à grande échelle sous SIG se fait en format vecteur.

3.2.1. Mode opératoire de la méthode IMIRILAND

La méthode IMIRILAND a été mise en place pour traiter des grands mouvements de terrain. Dans le cadre de cette application, nous pensons qu'il est judicieux d'utiliser cette méthode au 1/5 000, échelle d'analyse de la plupart de ces grands mouvements de terrain. Nous allons donc l'appliquer à une partie du bassin de l'Avançon présentant un danger d'inondation, la ville de Bex.

IMIRILAND n'étudie que les mouvements de terrain mais sa méthode peut être appliquée aux inondations. La matrice des valeurs relative des objets à protéger n'est pas modifiée mais la valeur de la vulnérabilité est différente selon la zone étudiée et son type d'inondation. En cas d'interaction de plusieurs types d'inondations, une valeur moyenne de la vulnérabilité pourrait être définie, en fonction de leur répartition sur le territoire étudié.

Christophe Bonnard a défini (entretien du 31/07/2003 à l'EPFL) trois types d'inondations pour lesquelles la vulnérabilité est différente :

Degré de danger	Inondation (augmentation niveau d'eau)	Lave torrentielle	Inondation de débordement	Valeur moyenne
Faible	0.1	0.3	0.2	0.2
Moyen	0.3	0.6	0.5	0.5
Fort	0.5	0.9	0.8	0.7

Figure 5 : Index de vulnérabilité selon le type d'inondation et le degré de danger

Dans notre cas, seule une inondation de type augmentation du niveau de l'eau est susceptible de se produire.

Nous devons utiliser les cartes de dangers comme données de base. Les applications au bassin versant de l'Avançon ne tiendront donc pas compte des différents scénarios possibles.

La procédure suivie pour appliquer cette méthode sous SIG est la suivante :

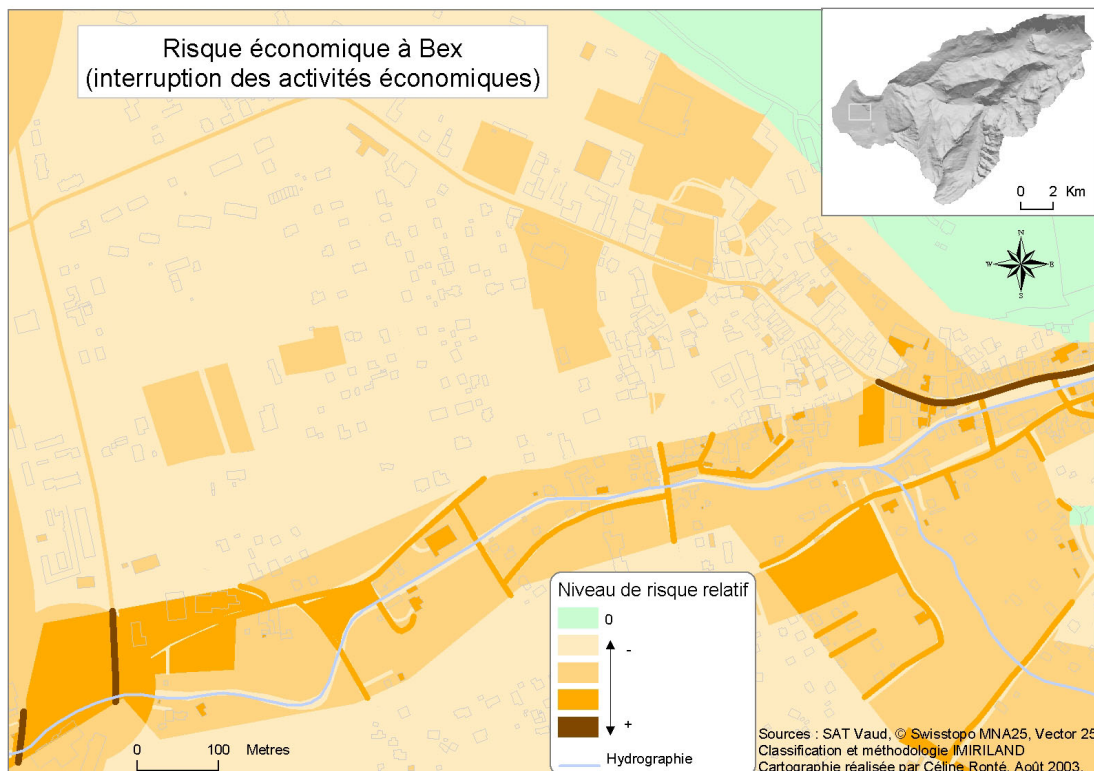
- Choisir les couches d'informations nécessaires (cadastre, zone d'affectation et vector 25 routes et chemin de fer) à l'application de la méthode IMIRILAND et les découper en fonction de la zone choisie.
- Créer un nouveau champ dans toutes les tables des couches d'informations. C'est dans ce champ que l'on classera les attributs selon la classification IMIRILAND.
- Créer quatre nouveaux champs où l'on affecte les valeurs relatives des biens, interruption économique, environnement et des vies humaines, selon les classes définies auparavant.
- Intersecter avec l'assistant de Géotraitement (Tools/Geoprocessing Wizard) toutes les couches d'information avec la carte de danger. Cette étape permet de découper

les couches d'informations selon la géométrie de la carte de danger et d'affecter les degrés de danger aux couches d'informations.

- Créer quatre nouveaux champs où l'on calcule le risque matériel, économique, environnemental et humain : valeur relative x index de vulnérabilité.

L'index de vulnérabilité est déduit grâce au degré de danger et selon la figure 5 ci-dessus.

Cette méthode prévoit la production de quatre cartes : les risques humain, matériel, économique et environnemental. La méthode ne prévoit pas de classe de niveau de risque, les valeurs obtenues n'ayant pas de sens. La cartographie se fera donc selon un gradient faible (-) à fort (+).



Sur les quatre cartes (annexe 3.5), mais à des niveaux différents, la zone bordant l'Avançon, correspondant à la zone d'inondation de degré 3, ressort fortement.

Les cartes du risque humain et du risque matériel sont presque les mêmes alors que la carte du risque économique fait ressortir les axes de communication importants ainsi que les zones d'utilité publique comme l'hôpital ou les collèges. Enfin la carte du risque environnemental met en avant les églises, collèges et écoles.

3.2.2. Mode opératoire de la méthode BUWAL degré 2

De l'intensité de danger au degré de danger

Comme beaucoup, la méthode des recommandations fédérales caractérise le danger selon son intensité. Les cartes de dangers étant établies selon la méthode de la confédération, comportent trois degrés de danger, issus du croisement de l'intensité du danger et de sa probabilité d'occurrence (figure 2). La contrainte de travail étant que la carte de danger doit être la donnée de base pour évaluer les risques naturels, une méthode pour passer de l'intensité au degré de danger a été mise en place.

L'intensité des dangers étant contenue implicitement dans la carte de danger, il s'agit de recalculer les valeurs monétaires des objets en fonction du degré de danger.

Pour ce faire, nous nous sommes basés sur le diagramme intensité/probabilité (figure 2) comportant les degrés de danger. D'après cette figure, le danger élevé correspond à 1/6 (16.5%) de l'intensité moyenne et à 100 % de l'intensité forte. Le danger moyen est composé de 2/3 (66.5%) de l'intensité moyenne et de 50% de l'intensité faible. Le danger faible correspond à 1/6 de l'intensité moyenne et à 50% de l'intensité faible.

Cette méthode quantitative correspond au degré 2 des recommandations fédérales. L'objectif est d'identifier les risques plus précisément qu'avec le degré 1.

Les étapes pour appliquer cette méthode sous SIG sont les suivantes :

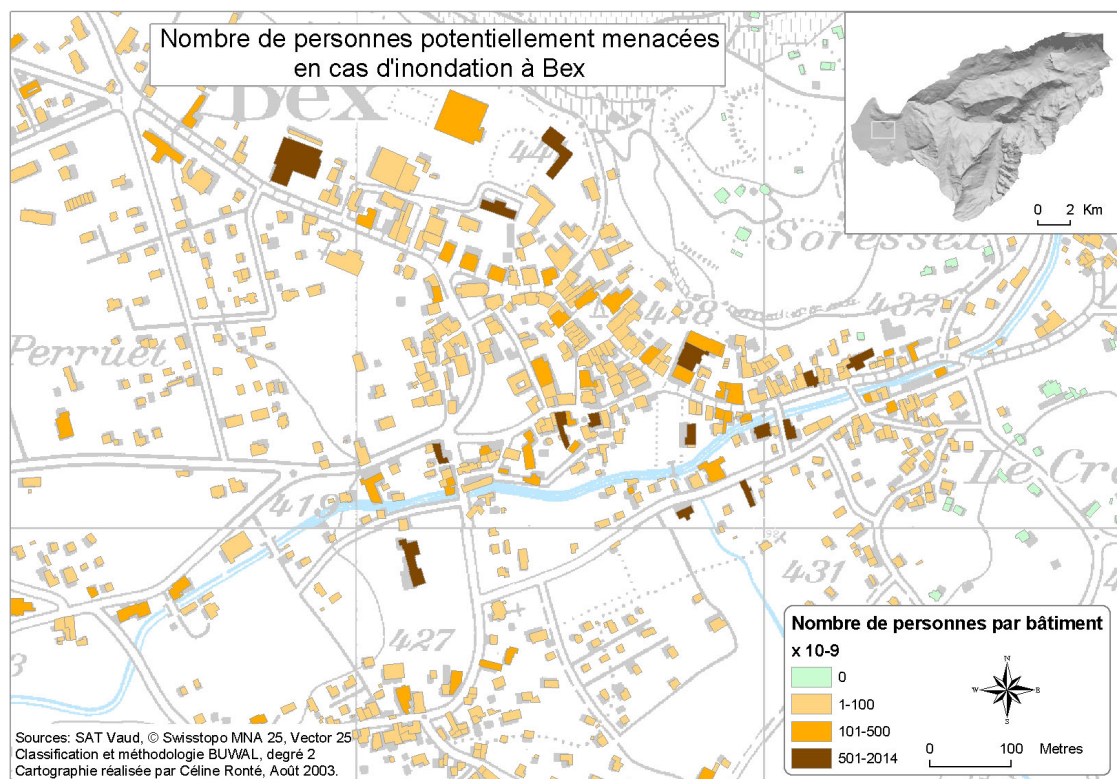
- Choisir les couches d'informations nécessaires à l'application de la méthode BUWAL degré 2 (cadastre, vector25 routes et chemin de fer et les zones d'affectation⁶) et les découper en fonction de la zone choisie. Pour cette application nous avons choisi le cadastre et le vector 25. Par manque de temps nous avons exclu les zones d'affectation de cette application mais il aurait été judicieux de les intégrer à la cartographie.
- Créer un nouveau champ dans toutes les tables des couches d'informations où l'on classera les attributs selon la classification BUWAL.
- Intersecter (assistant de Géotraitement : Tools/Geoprocessing Wizard) chaque couche avec la carte de danger inondation et avec la carte de danger glissement. Ces deux intersections permettent d'obtenir des couches ne contenant que les objets menacés par un danger, étant découpées en fonction des degrés de danger et contenant l'information sur le degré de danger.
- Pour chaque thème (route, cadastre ...) il faut joindre la couche contenant le degré de danger inondations et celle ayant le degré de danger glissement, pour n'obtenir qu'une unique couche ne contenant que les objets menacés avec comme information le degré de danger inondation et glissement.
- Créer 6 nouveaux champs auxquels il faut affecter les valeurs monétaires (pour 100m² ou pour un mètre linéaire) pour une inondation et pour un glissement ; la valeur maximum pour 100m² (ou pour un mètre linéaire) ; la valeur maximum par objet ; la somme des valeurs pour l'inondation et le glissement.

Ces différents champs permettront ensuite de comparer deux approches différentes lorsqu'il y a cumul de plusieurs dangers. La première consiste à ne garder que la valeur la plus élevée alors que la deuxième additionne les montants des dommages potentiels lors du cumul de plusieurs dangers. La table du cadastre possède alors les attributs suivants :

⁶ Par manque de temps les zones d'affectation n'ont pas été cartographiées. Il aurait aussi été possible, si nous en avions disposé, d'utiliser les valeurs des biens assurés par l'ECA.

Nom du champ	Shape area	Danger_inond	Danger_gliss	Valeur_100m_inond [a]	Valeur_100m_gliss [b]
Description	Surface en mètre du bâtiment	Degré de danger inondation	Degré de danger glissement	Valeur monétaire pour 100 m ² selon le degré de danger inondation	Valeur monétaire pour 100 m ² selon le degré de danger glissement

Valeur_100m_max [c]	Valeur_max	Valeur_100m_addition [d]	Valeur_addition_danger
If [a] > [b] then X = [a] Else X = [b] End if	= ([c]/100) x [ShapeArea]	[a] + [b]	= ([d]/100) x [shapeArea]



Cette méthode produit deux cartes (annexe 3.6) : une présentant des valeurs monétaires pour les objets, l'autre illustrant le nombre de personnes potentiellement menacées. Globalement, la valeur des objets est plus élevée lorsque le degré de danger est plus fort. Certains objets ressortent avec une valeur élevée alors qu'ils sont dans une zone de degré de danger faible. Ces objets sont : un hôtel, une salle omnisports, un collège... C'est à dire des objets de forte valeur, possédant des installations coûteuses. De même, ces objets ressortent sur la carte du nombre de personnes potentiellement menacées. Néanmoins, la logique, voulant que plus le degré de danger est important plus le nombre de personnes potentiellement touchées l'est, n'est pas vérifiée. Ceci s'explique par le fait que le nombre de décès probable varie très peu selon le degré de danger, surtout lors d'une inondation.

3.3. Résultats et perspectives

Les classifications CADANAV et BUWAL étant différentes, l'analyse de risque réalisée sur ces deux classifications auraient pu l'être. Il s'avère que les cartes sont sensiblement identiques et que les différences ne varient que d'un degré de danger.

En ce qui concerne les méthodes des recommandations fédérales, elles sont donc dans l'ensemble lourdes à appliquer, ce qui peut expliquer que de nombreux bureaux d'études ne les utilisent pas.

Les impacts des risques naturels peuvent être tangibles, c'est à dire qu'ils peuvent être facilement estimés monétairement (biens marchands...) ou intangibles (préjudice humain, désorganisation des activités économiques...) (HUBERT et LEDOUX, 1999). Les méthodes d'évaluation de ces impacts proposant la réalisation de cartes thématiques doivent être privilégiées. De même, il serait intéressant d'adapter la méthode de J-M Lance afin de différencier par des matrices différentes, les types de dangers naturels. La matrice traitant des inondations serait alors différente de celle traitant des avalanches. En effet, les vies humaines sont peu en danger lors d'inondation (montée des eaux). Cette constatation est visible sur la carte du risque humain à Bex, de la méthode quantitative de la confédération. Le nombre de morts potentiel donné par cette méthode est très faible par rapport aux autres dangers et varie peu selon le degré de danger. En effet, le nombre de morts potentiel varie fortement selon le type de danger, une avalanche étant susceptible de causer plus de mort qu'une inondation.

Les cartes de danger utilisées dans cette étude sont des données non validées qu'il serait intéressant de préciser à l'aide des données du MNS et le MNT laser (résolution 1m), afin d'obtenir plus de justesse.

La prise en compte du cadastre dans l'analyse de risques s'appuyant sur les catégories d'objets de la méthode BUWAL a permis de préciser l'étude. Il serait pertinent d'utiliser des données différentes selon la thématique et intégrer ainsi le recensement de la population dans l'analyse du risque humain par exemple.

Concernant le risque matériel, il serait envisageable de réaliser deux cartes différentes. Une utilisant les données du cadastre et traitant les bâtiments existants et la problématique d'expropriation et l'autre utilisant les zones d'affectations et permettant d'envisager un « dézonage ».

De plus, des cartes de risques selon la saison seraient aussi une perspective à explorer. Par exemple, une carte saisonnière sans avalanche pour l'été.

Pour une meilleure adaptabilité des méthodes, il serait souhaitable de discuter la typologie des objets à protéger avec les acteurs locaux (communes en particulier) et les différents services cantonaux afin de prendre en compte les spécificités régionales et locales du terrain étudié. En effet, une zone touristique, pour une commune vivant principalement du tourisme, est plus importante que pour une commune vivant de l'agriculture.

Conclusion

Les différentes méthodes testées sur le bassin de l'Avançon possèdent toutes une approche thématique du risque. Risque humain, matériel, économique ... Cette approche paraît essentielle pour le canton de Vaud car elle permet de répartir les responsabilités entre le canton et les communes. Le risque humain pouvant être du ressort du canton alors que les risques matériels et en effets secondaires peuvent être assumés par les communes voire même par des particuliers. Il serait également possible d'envisager une répartition des responsabilités entre les différentes autorités compétentes selon le degré de risque.

L'outil SIG s'est révélé adapté à une étude de risque à petite échelle. Le format raster permet de traiter et de croiser rapidement les données. Pour étudier le risque à une échelle plus grande (1/10 000 ou 1/5 000), le format vecteur permet au spécialiste d'avoir une analyse préalable de la situation, mais ne peut que difficilement remplacer la phase de terrain (ce n'est d'ailleurs pas sa vocation !).

La systématisation complète d'une étude de risque n'est donc pas envisageable. Il est d'ailleurs nécessaire de prendre en compte les spécifications locales lors de la classification des objets à protéger.

Les recommandations suisses sont très précises. Il est important de ne pas les suivre aveuglément mais de s'en inspirer pour mettre en place une méthode adaptée au but recherché. A l'inverse, la France ne possède pas de recommandations si précises mais possède des plans de prévention des risques naturels pour la plupart des bassins à risques.

Il s'avère que la France et la Suisse n'ont pas les mêmes approches pour analyser les risques naturels car elles n'ont pas la même problématique en matière de risques naturels.

La France possède un système centralisé, qui s'efforce de donner du pouvoir aux administrations locales mais qui impose, dans une politique nationale, la réalisation de PPR à toutes les communes à risques. Des guides méthodologiques ont été produits pour guider les bureaux d'études en charge de ce travail. Lorsque l'on ouvre ces guides et que l'on discute avec les bureaux d'études, on se rend rapidement compte qu'il n'a pas de méthodologie précise pour mettre en place des PPR. La souplesse est d'ailleurs un des arguments des PPR.

En Suisse, il n'y a pas d'équivalent au PPR mais il existe des recommandations fédérales proposant une méthodologie à mettre en œuvre pour établir la carte de danger et les études de risques. Malheureusement, ces recommandations ne sont pas toujours suivies. Les deux pays ont donc en commun la volonté d'homogénéité dans la mise en œuvre des cartes de risques. Néanmoins, la Suisse possède un atout, que les Français considèrent comme tabou : la notion de risque acceptable, sur laquelle se base la notion de déficit de protection.

Dans une prochaine étude, il serait intéressant d'explorer une succession de méthodes complémentaires, où plus la densité d'objets à protéger est importante (zones urbaines par exemple) plus l'échelle choisie pour évaluer le risque est précise. A l'inverse dans des zones rurales, l'échelle d'étude serait plus globale.

Bibliographie citée

ABA GEOL (2003). *Chemin du Gottéron Analyse des risques liés aux dangers naturels*. Avant Projet, 22 p. + annexes.

ALP'GEORISQUES (1999). *Analyse Enjeux-Risques – Canton de Roybond*. 37 p + annexes.

FORLATI F. (2003). *Quantitative risk analysis IMIRILAND General approach*. Powerpoint transmis par Christophe Bonnard, 51 p.

BILLOT C. DURLER S. et B. WIDMER (2003). *Elaboration d'un outil d'estimation qualitative du risque naturel à moyenne échelle*. SIRNAT-JPRN Orléans, 7 p.

BONNARD & GARDEL, MORET & ASSOCIES, NIVALP et NORBERT (2003). *Etablissement de la carte des dangers, Concept de protection et carte des dangers dus à l'eau, Commune de Saxon*. Martiny, p.16.

BOULEUX P. (1999). *Etude de la vulnérabilité liée aux risques naturels en montagne. Accessibilités et risque*. Mémoire de DEA Structures et dynamiques spatiales, IGA CEMAGREF ETNA, 26 p.

BUNDESAMT FUR UMWELT WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (1999). *Risikoanalyse bei graviten naturgefahren, Methode*. Umwelt-Materialien NR 107/I, BUWAL, Berne, 115 p.

BUNDESAMT FUR UMWELT WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL) (1999). *Risikoanalyse bei graviten naturgefahren, Fallbeispiele und daten*. Umwelt-Materialien NR 107/II, BUWAL, Berne, 129 p.

DE CERENVILLE GEOTECHNIQUE SA (2003). *Contrôle et maintenance des murs et falaises rocheuses*. Formulaire d'évaluation préliminaire Ville de Neuchâtel, 1 p.

DE CERENVILLE GEOTECHNIQUE SA (2003). *Contrôle et maintenance des murs et falaises rocheuses*. Formulaire d'évaluation détaillé Ville de Neuchâtel, 7 p.

ECA. (1996). *Procédure d'évaluation des constructions en terrains instables*. Etabli en collaboration avec Oboni &Associés SA et De Cérenville Géotechnique SA.

EPFL. (2002). *Projet CADANAV Etablissement d'une méthodologie de mise en œuvre des Cartes de Dangers Naturels du canton de Vaud*. Rapport final – Version provisoire, 53 p. + annexes.

EQUIPE PLURIDISCIPLINAIRE PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE. (2000). *Evaluation des enjeux et des dommages potentiels liés aux inondations en Loire moyenne. Méthodes et principaux résultats*. 63 p.

HUBERT G. et B. LEDOUX (1999). *Le coût du risque...L'évaluation des impacts socio-économiques des inondations*. Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, Paris, 232 p.

HUBERT T. (2003). *La prévention des risques naturels*. DPPR, SDPRM, CARIAMTH, powerpoint transmis par Thierry Hubert, 40 p.

KARAKAS & Français SA. (1995). *Analyse des risques. Commune de Villeneuve. Combe du Pissot*. Lausanne, 62 p.

LEONE F. (1996) *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain*. Thèse de Doctorat de Géographie de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, Documents du BRGM 250, Orléans, 286 p.

LOAT R. et A. PETRASCHECK (1997). *Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*. OFEE, OFAT, OFEFP, 29 p. + annexes.

MANCHE Y. (2000). *Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques naturels*. Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Grenoble 1, 171 p.

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT ET MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT (1997) *Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR), Guide général*. La documentation française, Paris, 76 p.

WIDMER B. (2002) *Etude et représentation des risques gravitaires du bassin de l'Avançon*. Mémoire de Licence de l'Université de Genève, 61 p. + annexes.

Sites internet :

<http://www.eca-vd.ch> Etablissement Cantonal d'Assurance du Canton de Vaud.

<http://www.rsv.vd.ch> Recueil systématique de la législation vaudoise

Bibliographie consultée

COBURN A.W. SPENCE R.J.S. et A. POMONIS (1991). *Evaluation de la vulnérabilité et des risques*. Programme de formation à la gestion de catastrophes, 1ere Ed., ONU, PNUD, DHA, 70 p.

COHEN V. (1992). Evaluation d'un risque naturel dans un contexte décisionnel. in *Séminaire sur les aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*, 1-3 Octobre 1991, Etudes du CEMAGREF, Montagne, n°2, Paris, pp.97-102.

CONSOLINI L. (1992). Les assurances face aux risques naturels. in *Séminaire sur les aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*, 1-3 Octobre 1991, Etudes du CEMAGREF, Montagne, n°2, Paris, pp.135-142.

CONSOLINI L. (1992). La place de l'ingénierie dans la gestion des risques naturels. in *Séminaire sur les aspects socio-économiques de la gestion des risques naturels*, 1-3 Octobre 1991, Etudes du CEMAGREF, Montagne, n°2, Paris, pp.103-115.

D'ERCOLE R. (1994). Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. in *Revue de Géographie Alpine* n°4.

KIENHOLZ H. et B. KRUMMENACHER (1995). *Légende modulable pour la cartographie des phénomènes*. OFEE, OFEFP, Berne, 19 p. + annexes

LATELTIN O. et OFEFP-SHGN (1997). *Prise en compte des dangers dus aux mouvements de terrain dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire*. OFAT, OFEE, OFEFP, Berne, 37 p. + annexes.

MAGNAN S. (1994). La notion d'événements naturels en France. in *Risques les cahiers de l'assurance*, n°20, pp.65-69.

MANCHE Y. (1997). Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels prévisibles. in *Revue de Géographie Alpine* n°2, pp. 49-62.

OBONI & Associés (2003). *Cartographie – gestion des risques liés aux dangers naturels en tant que complément aux cartes des dangers*. Morrens, Suisse, 14 p.

PLANAT (2000). *Recommandations relatives à l'assurance-qualité dans l'évaluation des dangers*. Série PLANAT n°2, 20 p.

TORTEROTOT J-P. (1993). *Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes*. Vol. 1, Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 283 p.

Sites internet :

<http://www.asit.vd.ch> Association pour le système d'information du territoire vaudois. Ce site possède un dictionnaire des données géographiques existantes sur le canton de Vaud.

<http://www.planat.ch> PLANAT est une commission extra-parlementaire chargée de la gestion stratégique des dangers naturels au niveau national. Il est possible d'y télécharger certaines publications Planat au format .pdf. Il y a aussi des liens vers les lois fédérales s'appliquant pour la gestion des dangers naturels.

<http://www.prim.net> PRIM.NET a été mis en place par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable. Il permet aux citoyens de s'informer sur les risques naturels, étape essentielle dans la prévention des risques.

<http://www.scris.vd.ch> OFS Office Fédéral Statistique

<http://corail.sudoc.abes.fr> Réseau de bibliothèques françaises

<http://www.nebis.ch> Réseau de bibliothèques suisses.

<http://library.epfl.ch> Bibliothèque de l'EPFL

<http://lasig.epfl.ch> Laboratoire de SIG de l'EPFL. Propose une description des données géographique disponible au LASIG, à des fins de recherche.

<http://lasig.epfl.ch/projets/cadanav> Présentation du projet CADANAV.

<http://www.grua.ch> Groupe Romand des Utilisateurs d'ArcGis.

<http://geomatique.georezo.net> Portail Géomatique.