

*Evaluation quantitative et cartographie  
du risque "glissement de terrain"  
Application au Bassin de Barcelonnette  
(Alpes de Haute Provence - France)*

Septembre 2007

Dorine ETIENNE

**Jury**

**Maître de stage**  
J.P. Malet  
Chargé de recherches CNRS  
GEOPHEN  
LETG UMR 6554 CNRS

**Correspondant universitaire**  
A.V. Auzet  
Professeur  
Université Louis Pasteur  
Strasbourg 1

Master 2 Recherche  
Mention Géosciences, Environnement, Risques  
Spécialité "Risques Technologiques et Naturels" - Parcours "Risques naturels"  
Université Louis Pasteur - Strasbourg 1

## Remerciements

Ce stage a été effectué au sein du laboratoire CNRS LETG UMR 6554, dans l'équipe GEOgraphie PHysique et d'ENVironnement de l'Université de Caen, dirigée par Monsieur Daniel Delahaye, Professeur des Universités. Je tiens à le remercier de m'avoir accueillie dans son laboratoire.

Je tiens sincèrement à remercier Monsieur Jean Philippe Malet, chargé de recherches CNRS, pour son encadrement et son aide.

Je remercie Madame Anne Véronique Auzet, Professeur à l'Université de Strasbourg, responsable du Master RTN, qui m'a permis de faire ce stage.

Mes remerciements vont également à Monsieur Olivier Maquaire, Professeur à l'Université de Caen pour ses remarques constructives et à Madame Anne Puissant, Maître de conférences à l'Université de Caen, pour son aide, en particulier dans l'utilisation des logiciels de SIG et Télédétection.

Je suis reconnaissante envers le personnel du service RTM (Restauration des Terrains de Montagne) de Barcelonnette, en particulier Michel Peyron pour sa disponibilité, son aide sur le terrain et sa bonne humeur.

Je tiens également à remercier :

Christophe et Yohann qui m'ont accompagnée sur les barrages des torrents du Bourget et des Sanières.

Aurélie, pour son aide précieuse sur le terrain et son soutien pendant ces six mois de temps normand à Caen! Merci pour toutes les heures passées au squash et devant nos verres de Leffe!

Et enfin, toutes les autres personnes qui m'ont aidée. Je pense en particulier à Alex, Auriane, Bertrand, Marion....

## SOMMAIRE

<b>Avant-propos .....</b>	<b>4</b>
1. Structure d'accueil : unité de recherches CNRS LETG.....	4
2. Contexte du stage : Projet Mountain Risks .....	4
<b>Introduction .....</b>	<b>5</b>
<b>Première partie : évaluation et cartographie du risque 'glissement de terrain' .....</b>	<b>6</b>
I.    Etat de l'art.....	6
A. Définition : aléa, conséquence, risque, vulnérabilité .....	6
B. Spécificité de l'aléa "glissement de terrain" .....	7
C. Méthodes d'évaluation du risque 'glissement de terrain' .....	9
D. Limites de ces méthodes .....	10
II.   Une approche quantitative des conséquences potentielles.....	10
A. Objectifs .....	10
B. Méthodologie d'évaluation quantitative des conséquences potentielles .....	11
1. Les deux échelles d'analyse .....	12
2. La hiérarchisation des éléments exposés en fonction des enjeux : indice de dommages potentiels .....	12
3. L'indice d'importance socio-économique pour la région .....	13
4. L'indice de vulnérabilité en fonction de la période d'occurrence.....	13
5. L'intégration de la perception sociale .....	13
6. Approche économique et scénarios .....	13
III.  Présentation du site de Barcelonnette.....	14
A. Un paysage soumis à de fortes contraintes.....	14
B. Deux exemples d'aléas : des dommages considérables.....	16
1. Le glissement-coulée de la Valette .....	16
2. La lave torrentielle de Faucon - 5 août 2003 .....	16
C. Une évolution de la présence humaine.....	17
<b>Deuxième partie : application de la méthode au bassin de barcelonnette .....</b>	<b>19</b>
I.    Recueil de données.....	19
A. Inventaire des éléments exposés .....	19
1. L'occupation du sol.....	19
2. Les réseaux .....	20
3. Les bâtiments .....	20
4. Les ouvrages d'art .....	21
B. La population.....	22

II.	Les indices.....	22
A.	Valeurs des éléments exposés et hiérarchisation.....	22
1.	Les enjeux structurels .....	23
2.	Les enjeux fonctionnels directs et indirects .....	24
3.	Les enjeux corporels .....	24
4.	Données économiques locales sur les dommages.....	25
B.	Indice d'importance socio-économique pour la région .....	25
C.	Indice de vulnérabilité en fonction de la période d'occurrence .....	26
D.	Intégration de la perception sociale.....	27
III.	Cartographie des conséquences à l'échelle régionale.....	29
A.	La combinaison linéaire intégrant les indices .....	29
B.	La détermination des classes de conséquences potentielles.....	30
C.	Les cartes de risque "glissement de versant" .....	34
<b>Troisième partie : Adaptation de la méthode au niveau local.....</b>		<b>36</b>
I.	Cartographie du risque "lave torrentielle" à l'échelle locale .....	36
II.	Approche économique et scénarios.....	38
<b>Conclusion et discussion .....</b>		<b>40</b>
<b>Bibliographie.....</b>		<b>41</b>
<b>Table des illustrations .....</b>		<b>43</b>
<b>Table des annexes .....</b>		<b>43</b>

## **AVANT-PROPOS**

### **1. Structure d'accueil : unité de recherches CNRS LETG**

Ce stage, dans le cadre du Master 2 Recherche "Risques Naturels", s'effectue au sein de l'Unité Mixte de Recherche 6554 LETG du CNRS. L'unité LETG "Littoral, Environnement, Télédétection, Géomatique" est multi site puisqu'elle rassemble quatre laboratoires : Géomer à Brest, Géolittomer à Nantes, Costel à Rennes et Géophen à Caen. Les six mois de stage sont réalisés dans le laboratoire Géophen (GEOgraphie PHysique et Environnement). Comme son nom l'indique, les axes de recherches du laboratoire sont orientés vers les problèmes environnementaux et la géographie physique, notamment au travers d'études sur les hydrosystèmes et en géomorphologie. Un de ces axes s'articule autour de l'aléa hydrogravitaire (glissement de terrain).

### **2. Contexte du stage : Projet Mountain Risks**

Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet européen Mountain Risks. Composé de 18 équipes européennes, le projet tente de surmonter la fragmentation de la recherche sur les processus de montagne. L'objectif est d'améliorer les connaissances sur les processus hydro-géomorphologiques pour permettre une meilleure cohabitation sur le long terme avec de tels aléas.

Autour de cinq sites d'études, quatre grands axes, tous en interrelation, sont développés :

- analyse de l'aléa
- évaluation quantitative du risque
- gestion du risque
- gouvernance du risque

Ce stage se situe dans ce deuxième thème. Les principaux points qui y sont développés sont l'inventaire des éléments exposés aux aléas, l'évaluation des pertes potentielles, l'intégration de la perception des habitants dans l'analyse du risque et l'estimation du risque à travers des scénarios, en considérant l'évolution des systèmes économique ou social dans le temps. Ces étapes devront mener à la mise en place de méthodes reproductibles. C'est dans ce contexte qu'une tentative de méthode quantitative, appliquée au bassin de Barcelonnette, est effectuée.

## INTRODUCTION

Les risques naturels se traduisent par la combinaison entre l'aléa qui est le phénomène naturel potentiel et la vulnérabilité des éléments exposés à ce phénomène, liée à la présence anthropique (Alexander, 2005).

Des études menées récemment montrent que les dommages liés aux processus naturels ont augmentés durant les dernières décennies (Crozier et al., 2005; Puissant et al., 2006).

On pourrait penser que la multiplication du nombre de phénomènes ou l'augmentation de leur intensité est la cause principale de cet **accroissement des conséquences et des préjudices**. Cependant, à l'échelle humaine, ces modifications de l'aléa ne sont pas les plus significatives. A l'inverse, la vulnérabilité liée à la présence de l'homme est en constante évolution. L'augmentation du niveau de vie, la densification des infrastructures, l'élargissement des zones habitées ou la mobilité croissante sont autant d'éléments qui rendent la société de plus en plus exposée (Maquaire, 2002).

De ce fait, les méthodes d'évaluation et de cartographie du risque, qui prennent en compte la détermination de l'aléa et l'évaluation de la vulnérabilité, doivent mettre l'accent sur cette deuxième partie. Or, pour le risque "glissement de terrain", ces évaluations sont très souvent qualitatives ou semi qualitatives, n'intégrant pas les changements d'échelles ni les variations temporelles. Ceci est principalement dû au **manque d'études sur la vulnérabilité** (Glade, 2003). Glade précise que ce manque d'études est notamment lié à la diversité des processus et à l'absence d'informations historiques sur les dommages.

Dans quelle mesure est-il possible d'améliorer l'analyse de la vulnérabilité aux glissements de terrain et d'établir ainsi une méthodologie d'évaluation quantitative du risque?

En considérant les différentes méthodes proposées actuellement et leurs limites, nous proposerons une **tentative d'application d'évaluation des conséquences potentielles intégrant des données quantitatives**. L'application se fera sur une zone de montagne des Alpes du sud, le bassin de Barcelonnette.

## **PREMIERE PARTIE : EVALUATION ET CARTOGRAPHIE DU RISQUE 'GLISSEMENT DE TERRAIN'**

### **I. Etat de l'art**

#### **A. Définition : aléa, conséquence, risque, vulnérabilité**

Une des définitions du risque la plus couramment utilisée est celle de Varnes (1984). Le risque se définit par le nombre potentiel de personnes tuées ou blessées, les dégâts potentiels aux propriétés et les perturbations potentielles aux activités économiques en raison de l'occurrence d'un phénomène destructeur particulier pour un secteur donné et une période de référence.

Le risque "glissement de terrain" est ainsi lié à la fois à la présence d'un évènement ou aléa qui est la manifestation d'un phénomène naturel hydro-géomorphologique, et également à l'existence d'enjeux multiples. (Maquaire et al., 2006)

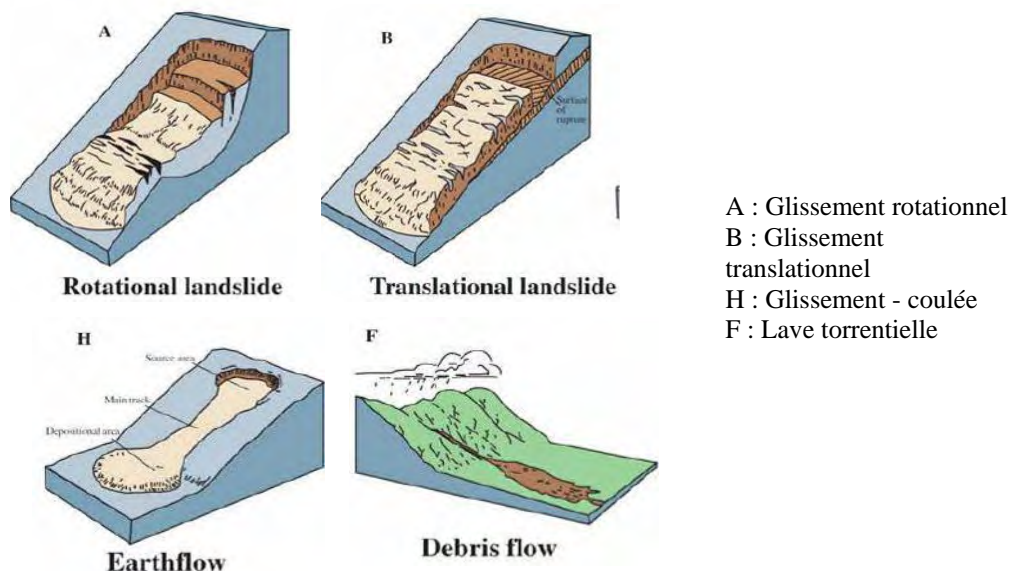
L'expression du risque R se traduit par la relation suivante (Glade, 2003) :

$$\mathbf{R = f [Aléa ; conséquences sur les enjeux]}$$

où **conséquences = f (élément exposé ; vulnérabilité)**

- Les éléments exposés (Glade, 2003) rassemblent tous les éléments anthropiques qui peuvent être touchés par l'aléa : la population, les bâtiments et ouvrages d'art, les activités économiques, services et infrastructures ainsi que le patrimoine environnemental et culturel présents à un moment donné sur la zone potentiellement affectée par l'aléa.

- **L'aléa correspond au phénomène potentiellement destructeur.** En terme de glissement de terrain, la spécificité est que la nature des phénomènes est très variée (Figure 1) (Glade et al., 2005).



*Figure 1: Exemples d'aléas "glissement de terrain" (Walstra, 2006)*

La définition de l'aléa que nous retiendrons est celle donnée par le PPR "Plan de Prévention des Risques" "mouvement de terrain". Un glissement de terrain est un déplacement généralement lent (quelques millimètres par an à quelques mètres par jour), sur une pente, le

long d'une surface de rupture identifiable, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables. Les profondeurs de glissement peuvent être très variables. (MATE/METL, 1999)

La caractérisation de l'aléa nécessite de connaître la localisation, la surface ou volume de matériaux mobilisables, le type et la rapidité du phénomène potentiel ainsi que de déterminer la probabilité d'occurrence pour une période donnée (Bonnard et al., 2004).

▪ La vulnérabilité est le terme le plus complexe à définir du fait qu'il n'y a pas de vulnérabilité intrinsèque mais une vulnérabilité en fonction de l'aléa. L'aléa "glissement de terrain" étant très varié, l'évaluation de la vulnérabilité est difficile. Cette difficulté est accentuée par le fait que plusieurs définitions de la vulnérabilité existent.

Dans le guide général des PPR (MATE/METL, 1997), la définition au sens large est "**le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux**". Deux types de vulnérabilité sont différenciés.

- la vulnérabilité économique traduit le degré de perte ou d'endommagement des biens et des activités exposés à l'occurrence d'un phénomène naturel pour une intensité donnée.

- la vulnérabilité humaine évalue la propension des sociétés à répondre à une crise en évaluant les préjudices potentiels sociaux, psychologiques, culturels.

Puisque l'objectif de notre étude est de tendre vers une méthode reproductible d'évaluation quantitative du risque, nous nous intéresserons à la notion de "vulnérabilité économique", également appelée "vulnérabilité analytique ou comptable" (Maquaire, 2002).

Leroi (1996) et Varnes (1984) définissent également la vulnérabilité analytique par un degré de perte compris entre 0 et 1 en fonction de l'intensité du phénomène.

Dans son analyse quantitative de la vulnérabilité, Léone (1996) évalue la nature des interactions entre le phénomène potentiel et les éléments exposés. Pour réaliser ses fonctions d'endommagement, il différencie les éléments exposés en plusieurs catégories : les biens physiques, les personnes et les activités. Ces trois catégories d'éléments exposés induisent différents types de conséquences avec des vulnérabilités respectives : vulnérabilité structurelle, corporelle et fonctionnelle (Maquaire et al., 2006). Nous utiliserons ces trois notions de la vulnérabilité.

▪ Les conséquences potentielles de l'action de l'aléa sur les enjeux sont fonction des éléments exposés et de leur vulnérabilité (Glade, 2003). Ce sont ces conséquences potentielles sur les éléments exposés qui sont cartographiables à travers des classes de conséquences. Tout comme la vulnérabilité, on peut définir des conséquences structurelles, corporelles et fonctionnelles. Nous emploierons le terme de conséquences potentielles pour traduire le degré de pertes attendues.

## B. Spécificité de l'aléa "glissement de terrain"

Malgré de nombreuses recherches, **l'évaluation du risque "glissement de terrain" souffre d'un manque d'études sur la vulnérabilité.**

**La diversité des processus implique des impacts potentiels variés** (Figure 2). L'utilisation d'une fonction d'endommagement classique (Léone, 1996) pour mesurer l'impact potentiel est compliquée pour les glissements (Glade et al., 2005). Dans quelle mesure est-il possible de cartographier les conséquences potentielles en tenant compte de cette diversité d'aléas?

Cette complexité n'existe pas pour d'autres aléas comme les inondations ou les séismes (Figure 3). Pour ces deux aléas c'est principalement l'intensité du phénomène qui varie et les conséquences sont alors plus facilement mesurables.



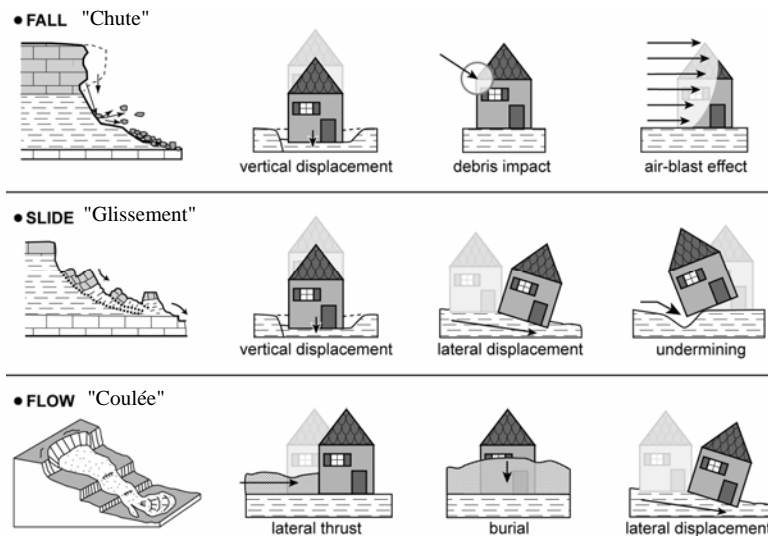


Figure 2 : Diversité des impacts liés aux glissements de terrain (D'après Léone, 1996)






Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
	<p><b>Degré 1: Dégâts négligeables à légers</b> (aucun dégât structural, légers dégâts non structuraux)</p> <p>Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.</p>
	<p><b>Degré 2: Dégâts modérés</b> (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés)</p> <p>Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.</p>
	<p><b>Degré 3: Dégâts sensibles à importants</b> (dégâts structuraux modérés, dégâts non structuraux importants)</p> <p>Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structuraux séparés (cloisons, murs pignons).</p>
	<p><b>Degré 4: Dégâts très importants</b> (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants)</p> <p>Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurelle partielle des toits et des planchers.</p>
	<p><b>Degré 5: Destruction</b> (dégâts structuraux très importants)</p> <p>Effondrement total ou presque total.</p>

Figure 3 : Impacts des séismes sur les bâtiments en maçonnerie (Beck, 2006)

Le **manque d'informations historiques** sur les dommages liés aux glissements de terrain (Glade, 2003) favorise le difficile développement d'études sur la vulnérabilité. Pour les séismes et inondations, des bases de données historiques sur les dégâts existent, ce qui donne une base pour l'estimation des conséquences potentielles.

Glade (2003) évoque le problème de la variation de l'exposition au cours du temps. La probabilité qu'une personne soit présente pendant l'occurrence d'un glissement de terrain est très changeante, d'autant plus que la probabilité spatiale d'occurrence du phénomène est très variable. Cet aspect pose la question de la prise en compte des **variations journalières et saisonnières de la vulnérabilité**.

**L'aspect social est très peu pris en considération dans le calcul de la vulnérabilité** (Glade, 2003). Pourtant, les comportements humains ne sont pas identiques selon les lieux de vie, les groupes sociaux et sont influencés par les systèmes d'alerte plus ou moins bien mis en place (Van Westen et al., 2006). Une intégration de la perception sociale est-elle pertinente?

### C. Méthodes d'évaluation du risque 'glissement de terrain'

Les méthodes d'évaluation du risque supposent une estimation de l'aléa et une évaluation des conséquences sur les éléments exposés.

Dans la mesure où il est souvent difficile de quantifier un niveau d'aléa "glissement de terrain", très fréquemment seule la susceptibilité est utilisée. Elle est définie comme la probabilité spatiale qu'un glissement de terrain se produise sur un territoire pour différentes conditions environnementales locales (Maquaire et al., 2006). La cartographie de l'aléa s'effectue très souvent de manière experte c'est-à-dire en se basant sur les connaissances actuelles (mise en relation des glissements déjà observés et des facteurs de prédisposition) et en n'ayant aucun recours à des calculs supplémentaires.

Les démarches d'évaluation de la vulnérabilité sont variées (Glade, 2003). Le choix d'une méthode, plus ou moins complexe, dépend avant tout de l'échelle d'intérêt, des objectifs de l'étude et de la qualité et quantité des données nécessaires. Toutes les méthodes nécessitent l'identification des éléments exposés et la définition de leur valeur (monétaire ou non) (Maquaire et al., 2006). Le principal objectif des auteurs est de créer des méthodes d'analyse généralisables. Une méthode peut-elle est applicable pour plusieurs échelles? Actuellement, chaque échelle à sa méthode.

Une typologie des démarches est elle-même difficile tant celles proposées sont variables. La typologie la plus répandue distingue les trois approches suivantes. (Maquaire et al., 2006; D'Ercole, 1994; Ronté, 2003)

- **une approche experte, qualitative** pour évaluation au niveau régional (1/25000 - 1/100000). Elle est fondée sur l'identification (à travers des cartes et photographies aériennes) de zones homogènes sensibles et des principaux enjeux simplifiés. Cette méthode est utilisée en France pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques (MATE/METL, 1997, 1999) et des cartes de Danger en Suisse. (Puissant et al., à paraître)

- **une approche analytique semi-empirique et semi-quantitative**, au niveau local (1/10000 - 1/25000), fondée uniquement sur une évaluation relative de la valeur des éléments exposés à travers des indices. Dans ce cas, la valeur relative, unique ou variable, est soit individuelle et affectée à un type d'élément spécifique (Bonnard et al., 2004; Maquaire et al., 2006) soit globale et affectée à un ensemble d'éléments pour une aire homogène lorsque la collecte de données est difficile.

- **une approche analytique quantitative**, à une échelle encore plus précise (1/5000 - 1/10000), fondée sur un calcul détaillé de la valeur (monétaire ou non monétaire) (Glade, 2003) et de la vulnérabilité des éléments exposés. La vulnérabilité est alors définie soit par des coefficients d'endommagement (représentant le degré relatif de dommage à un élément exposé), soit par des fonctions d'endommagement reliant une intensité du phénomène à un niveau observé de dommages sur l'élément exposé comme le propose Léone (1996).

**Les méthodes les plus couramment appliquées sont les méthodes expertes** qui ne nécessitent pas d'études longues de la vulnérabilité **et les méthodes semi-quantitatives** qui peuvent s'abstenir des données économiques.

## D. Limites de ces méthodes

Cette diversité rend la comparaison entre les méthodes difficiles. Ceci est d'autant plus vrai que certains auteurs n'expliquent que succinctement leurs démarches et beaucoup d'études restent empiriques, fondées sur des bases de données incomplètes (Glade, 2003).

**La majorité des limites des méthodes d'évaluation du risque est liée au manque d'étude sur la vulnérabilité.**

Ainsi, aucune méthode ne semble encore adaptée pour pouvoir intégrer les différences de vulnérabilité selon le type de phénomène (Glade, 2003).

Par ailleurs, la variété des aléas "glissement de terrain" oblige à travailler à plusieurs échelles. Or, chaque méthode possède son niveau d'analyse et un changement d'échelle utilisant une seule stratégie est encore délicat.

De même, plusieurs aspects sont rarement intégrés aux méthodes d'évaluation des conséquences potentielles. Les variations d'exposition au cours du temps, notamment pour des régions touristiques, et l'intégration de la perception des habitants sont deux points pourtant essentiels dans l'analyse du risque.

Enfin, l'évaluation économique du risque, réalisable à travers des analyses coût-bénéfice n'est que très peu envisageable notamment à cause du manque de données économiques sur les dommages.

## II. Une approche quantitative des conséquences potentielles

### A. Objectifs

En essayant de surmonter ces manques et limites, l'objectif est d'entreprendre la mise en place d'une méthodologie simple d'évaluation des conséquences potentielles.

- une tentative d'intégration de données quantitatives devrait permettre de **réaliser une méthode facilement reproductible** sur différents sites,
- une amélioration de la précision des données permettrait **l'utilisation d'une même approche pour plusieurs échelles**,
- une intégration dans un Système d'Informations Géographiques (SIG) devrait faciliter la **prise en considération de la variation d'exposition au cours du temps**,
- la réalisation d'une enquête auprès des habitants pourrait aider à **l'intégration de la perception sociale**,
- une **approche économique du risque** sera expérimentée à partir des résultats obtenus.

Dans notre démarche d'évaluation des conséquences nous ne prendrons pas en compte les effets induits, conséquences en chaîne.

La création d'indices est indispensable pour atteindre ces objectifs (Figure 4).

## B. Méthodologie d'évaluation quantitative des conséquences potentielles

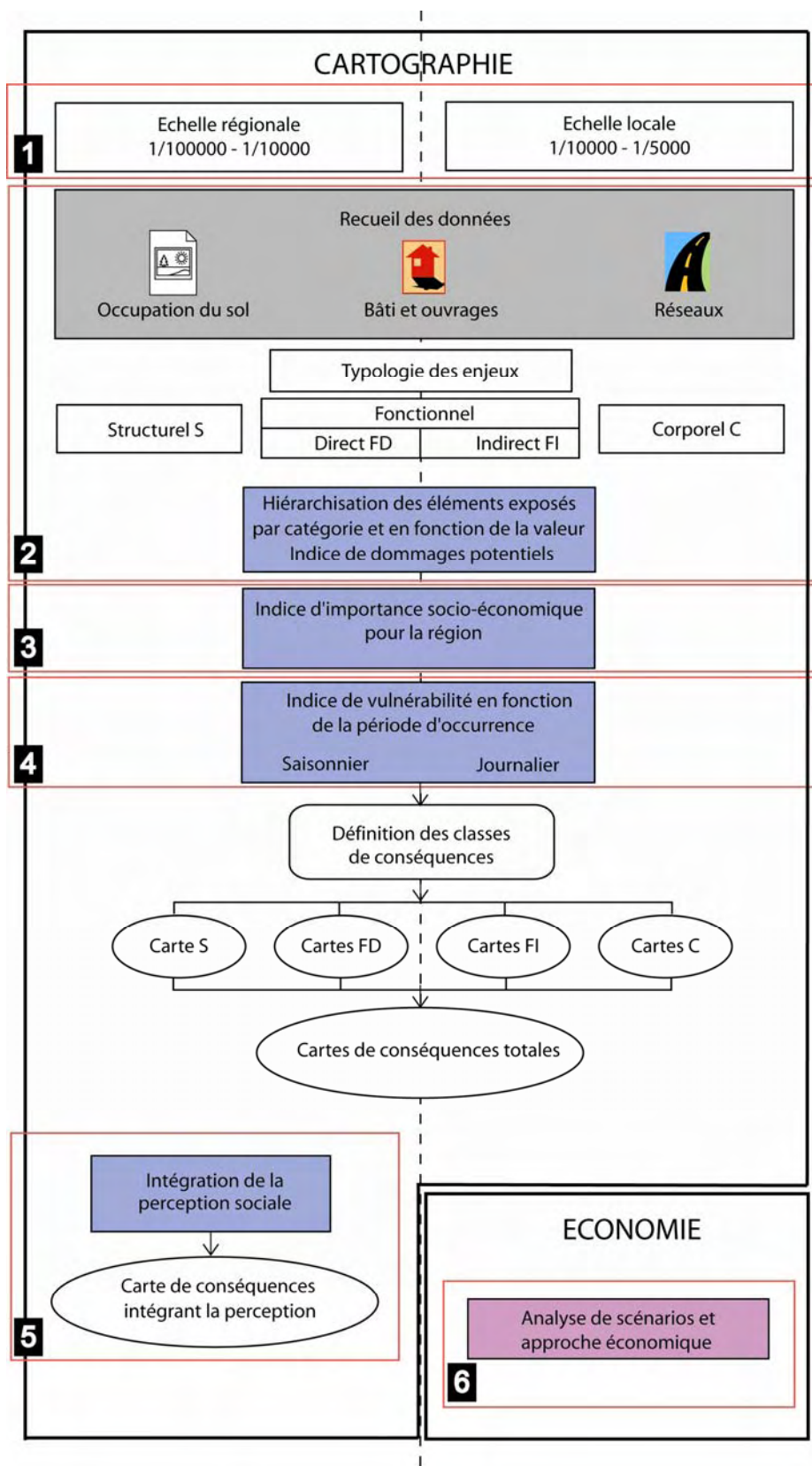


Figure 4 : Organigramme méthodologique

## 1. Les deux échelles d'analyse

Deux niveaux d'approche sont pris en compte :

- **une approche "régionale" pour laquelle les aléas pris en compte sont les glissements de versant.** L'analyse se fait sur l'ensemble du bassin. Sous un logiciel SIG, les cartes produites peuvent s'approcher du 1/100 000<sup>e</sup> avec la possibilité d'apporter de la précision en augmentant l'échelle. Le but principal est la cartographie qui permettra l'identification des zones sensibles. La résolution du pixel de calcul est de 10m.

- **une approche "locale" utilisée pour la cartographie du risque "lave torrentielle" sur les cônes de déjection des torrents.** L'échelle d'analyse permet de produire des cartes au 1/10000<sup>e</sup>. En plus de la création de cartes, l'idée est de mener une analyse économique et de réaliser des scénarios en fonction de l'évolution de l'occupation du sol et des activités. Pour cette échelle d'étude, les pixels sont de 5m.

## 2. La hiérarchisation des éléments exposés en fonction des enjeux : indice de dommages potentiels

Les éléments exposés présents dans la zone d'étude sont recensés, identifiés et classés par catégories d'éléments : réseaux, occupation du sol, bâti et ouvrages d'art. L'identification s'effectue grâce aux photos aériennes, aux cartes topographiques au 1/25000<sup>e</sup>, à la BD Topo IGN (Base de Données topographiques de l'Institut Géographique National) et au travail de terrain.

Dans un premier temps, les grands types d'enjeux de la zone d'étude sont définis. Nous entendons par "enjeu" le type de conséquences pouvant affecté la zone et l'élément exposé. Ainsi, nous pouvons distinguer :

- les **enjeux structurels** qui correspondent aux conséquences physiques sur les biens, les infrastructures, les bâtiments ou l'occupation du sol.
- les **enjeux fonctionnels** concernent les conséquences sur le déroulement des activités sociales et économiques. Les enjeux fonctionnels sont différenciés en deux catégories : les **enjeux directs** sur le court terme et qui restent au niveau local et les enjeux indirects : sur le long terme et qui dépasse le cadre des conséquences à l'échelle locale.
- les enjeux corporels considèrent les hommes dans leur intégrité physique et traduisent alors la vulnérabilité humaine.

Dans un deuxième temps, les catégories d'éléments exposés sont rattachées aux enjeux auxquels elles sont soumises. Une même catégorie peut être exposée à tous les types d'enjeux. On applique alors une hiérarchisation des éléments exposés dans chaque catégorie et pour chaque enjeu.

Cette hiérarchisation se fait en attribuant un **indice de dommages potentiels, calculé en fonction d'une valeur quantitative affectée à chaque élément exposé.** Cet indice, inspiré du coefficient d'endommagement potentiel (Maquaire et al., 2006), définit le niveau de conséquences et de pertes potentielles en cas de glissement de terrain. L'intensité de ce dernier n'est pas prise en compte dans le niveau de conséquences. L'indice, compris entre 0 et 1, est défini grâce aux données économiques sur la valeur des éléments et sur les coûts des dommages déjà observés.

L'objectif de cette démarche d'intégration de valeurs quantitatives est de réaliser une **approche généralisable dans le temps et l'espace.**

### 3. L'indice d'importance socio-économique pour la région

Pour mettre en évidence les activités ou infrastructures importantes pour la zone étudiée : zones industrielles dans le cas d'un secteur industriel, zone de loisirs pour les sites touristiques, voies de communication pour les axes de passage...etc., un indice d'importance socio-économique pondère chaque catégorie d'éléments exposés en fonction des enjeux. Cet indice a pour intérêt d'améliorer **l'adaptation de la méthode en fonction de la région et la comparaison entre les régions.**

### 4. L'indice de vulnérabilité en fonction de la période d'occurrence

Les conséquences sont différentes selon les saisons d'occurrence de l'aléa (Glade, 2003). Ceci est d'autant plus vrai pour les zones touristiques ou les sites de passage.

Pour prendre en compte cette variation temporelle, nous avons défini un indice en fonction de la **saison d'occurrence**. Cet indice n'est utilisé que pour les enjeux fonctionnels et corporels. En effet, nous supposons que la valeur vénale ou de construction d'un élément exposé ne change pas en fonction de la saison, l'enjeu structurel est identique dans le temps.

La même méthode est appliquée sur une **période journalière** : jour/nuit. Ce pas de temps est particulièrement pertinent pour les enjeux corporels et pour les enjeux fonctionnels liés aux réseaux de transport. Par exemple, la fréquentation des lieux de travail et des routes est réduite la nuit.

### 5. L'intégration de la perception sociale

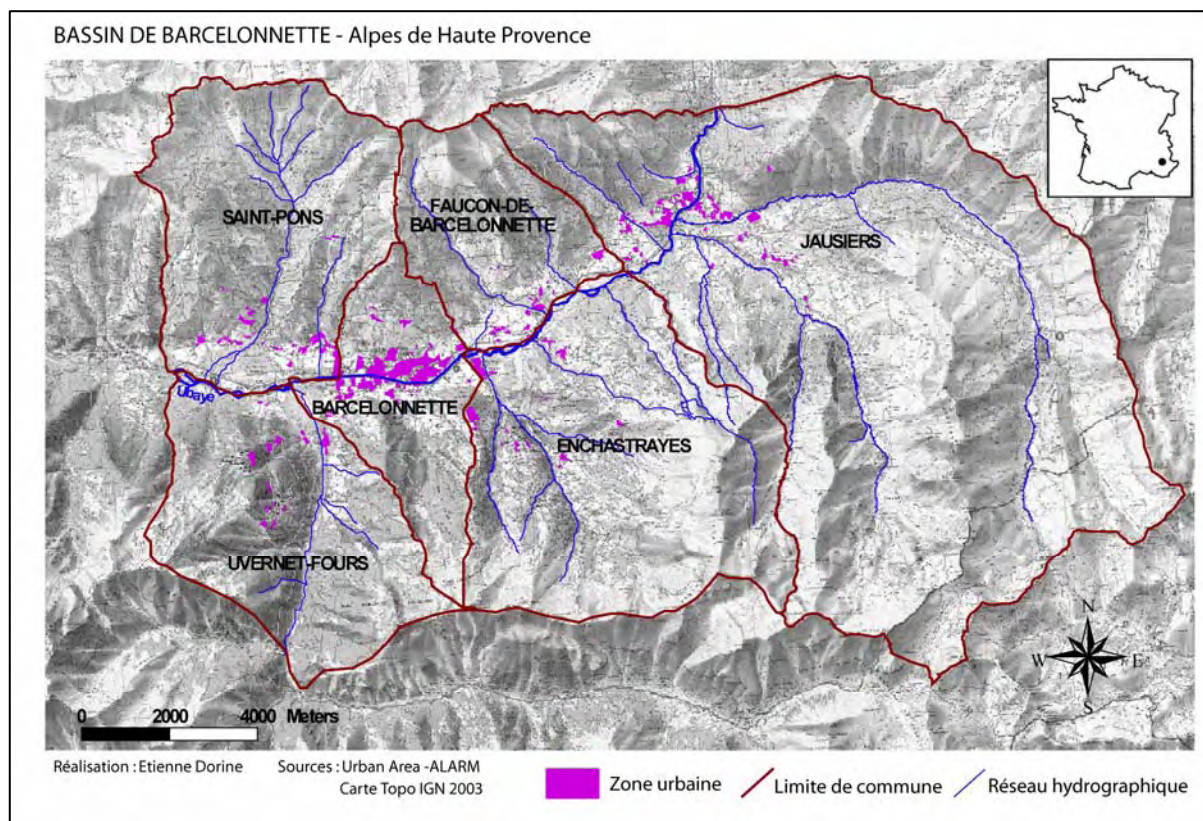
Présente, notamment, dans l'évaluation du risque sismique et industriel (Beck, 2006; Bonnet, 2005), la perception sociale des habitants n'est pas à l'heure actuelle intégrée dans l'évaluation du risque "glissement de terrain". Bien que cette information soit plutôt qualitative que quantitative, **elle est un élément important dans l'étude des conséquences corporelles puisqu'elle influe sur les comportements humains.** L'objectif est de créer un indice spatialisé traduisant le niveau de perception des habitants par rapport au risque auquel ils sont exposés. Cet objectif nécessite un travail d'enquête sur le site d'étude. L'intégration des informations obtenues dans les enquêtes se fait à l'échelle régionale. Il serait également possible de les intégrer à l'échelle locale, si la précision des données le permet.

### 6. Approche économique et scénarios

En plus de la simple cartographie des conséquences potentielles, la précision des données à l'échelle 1/10000<sup>e</sup> permet une évaluation économique des dommages potentiels selon l'aléa (Sterlacchini S. et al., à paraître). Cette évaluation économique est un **outil d'appréciation de l'évolution du risque dans le temps.**

### III. Présentation du site de Barcelonnette

#### A. Un paysage soumis à de fortes contraintes



*Figure 5 : Carte du site d'étude : le Bassin de Barcelonnette*

Le bassin de Barcelonnette (Figure 5) est situé dans les PréAlpes du Sud, entre les massifs montagneux de l'Argentera et du Mercantour au Sud, du Pelvoux au Nord-Ouest et du Queyras au Nord-Est. Il est traversé d'Est en Ouest par la rivière Ubaye dont l'altitude moyenne est de 1130 mètres.

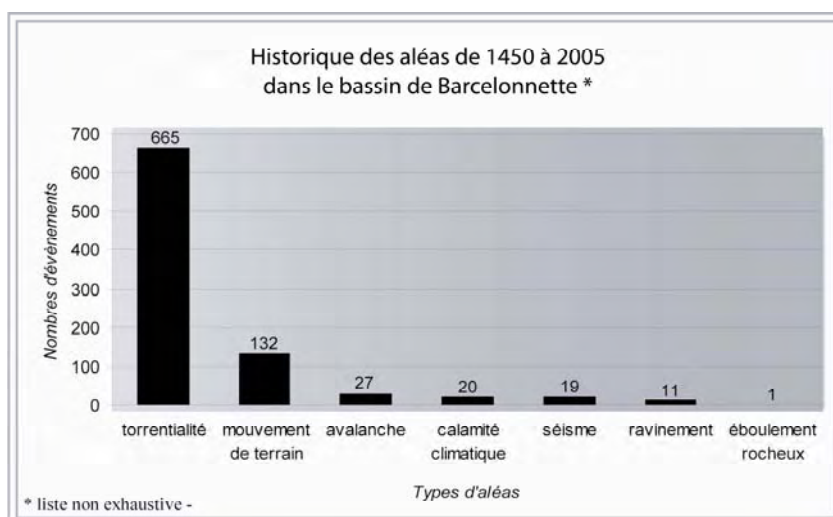
En considérant les six communes de notre étude : Barcelonnette, Faucon de Barcelonnette, Enchastrayes, Jausiers, Saint-Pons et Uvernet-Fours, la superficie du bassin approche 250km<sup>2</sup> avec une longueur de 22km entre Jausiers et Saint-Pons et une largeur maximale de 10km.

Les lignes de crêtes culminent à une altitude comprise entre 2800 et 3100m. Ces crêtes sont majoritairement sur-créusées en cirque glaciaire et forment des bassins de réception pour les nombreux torrents du bassin.

Au dessus de 1800-2000m, les formations résistantes de flysch favorisent les pentes fortes supérieures à 45°. Au dessous de 1800m, les formations sont essentiellement composées de marnes noires autochtones sur des pentes de 20-25°. Le ravinement intense créé localement un paysage de badlands (Maquaire, 2002).

Plusieurs torrents puissants ont entaillé de profondes et étroites vallées formant des cônes de déjection dans le fond de la vallée (Malet, 2003).

**La morphologie et la géologie du bassin le rendent favorable aux aléas gravitaires (Figure 6).**



*Figure 6 : Historique des aléas de 1450 à 2005 dans le Bassin de Barcelonnette (d'après Amiot - Nexon, 1995; RTM; Etienne)*

Comme la plupart des zones de montagne, le bassin est soumis à l'aléa "avalanche de neige" et "érosion". La présence d'une forte couverture forestière implique le déclenchement potentiel de feux de forêts (incendie de Barcelonnette avril 2002) et l'activité sismique de la zone est considérée comme faible mais les secousses, souvent imperceptibles, sont fréquentes (dernière secousse recensée : au Nord de Barcelonnette, le 28-06-2007 à 5h56 d'une magnitude 2,2) (Réseau sismique Provence, 2007).

**Les aléas les plus présents et provoquant les plus importants dommages sont les laves torrentielles, les mouvements de terrain et les inondations.** Les inondations et les laves torrentielles sont responsables de nombreux dégâts, notamment entre le 15<sup>ème</sup> et le 19<sup>ème</sup> siècle. Des ouvrages de correction sur la majorité des torrents ont permis de réduire l'activité bien que d'importants épisodes surviennent encore, notamment sur les torrents de Faucon, du Bourget et dans une moindre mesure du Riou Bourdoux (Malet, 2003) (Tableau 1).

Torrent	Evènements depuis 1970 à 2005
Faucon	9
Bourget	6
Riou Bourdoux	7

*Tableau 1 : Nombre d'évènements de torrentialité recensés, par torrent de 1970 à 2005 d'après la base RTM*

En parallèle de cette activité torrentielle, plus de 150 évènements historiques relatifs aux mouvements de terrain ont été recensés de 1850 à 2005. (Amiot, Nexon, 1995)

Les mouvements actifs les plus spectaculaires sont les glissements rotationnels de Pra-Belon (1970 - Bassin versant du Riou Bourdoux) et de Bois Noir (1993 - commune de Jausiers) (Carte des glissements en Annexe 1). La particularité du bassin de Barcelonnette est la présence de trois glissements-coulées actifs de grande ampleur ; glissement de la Valette, de Super-Sauze et de Poche.



## B. Deux exemples d'aléas : des dommages considérables

### 1. Le glissement-coulée de la Valette

Déclenché au printemps 1982, le glissement-coulée de la Valette, un des plus importants processus de déstabilisation des Alpes du sud menace directement plus d'une centaine d'habitations. (Figure 7)

Il se situe sur la rive droite de l'Ubaye, dans le bassin du torrent de La Valette à la limite entre les communes de Saint-Pons et de Barcelonnette. La rupture, de type rotationnel, serait due à des précipitations importantes associées à la fonte des neiges. La surface affectée est de 26 ha en 1983, 50 ha en 1985 et 57 ha en 1987. A la fin de l'hiver 1988, très humide, le front du glissement se liquéfie provoquant une coulée boueuse de 50000 m<sup>3</sup> dans le torrent de La Valette jusqu'à 1230 m d'altitude, soit 80 m avant les premières habitations.



*Figure 7 : Vue aérienne du glissement-coulée de la Valette (orthophoto IGN 2004)*

Des travaux de protection active et passive ont été entrepris : ensemencement par du sainfoin, création d'une plage de dépôts, installation de drains...n'empêchant pas un déplacement cumulé de 160m depuis 1988. (Le Mignon, 2004)

Aujourd'hui le glissement s'étend sur une longueur de 2500m et une largeur de 600m. La surface mobilisable, estimée à 10 millions de m<sup>3</sup> fait l'objet d'un suivi régulier et le site fait l'objet d'une interdiction d'accès par arrêté préfectoral (juillet 2007).

**Le déclenchement d'une nouvelle coulée d'une ampleur identique ou supérieure à celle de 1988 aurait des conséquences catastrophiques pour le lotissement de la Valette et les infrastructures situées en aval.**

### 2. La lave torrentielle de Faucon - 5 août 2003

Une lave torrentielle correspond à un volume important (de quelques m<sup>3</sup> à plusieurs millions de m<sup>3</sup>) d'un mélange d'eau, de sédiments et de matières organiques. Ce volume pouvant être fortement concentré en fraction solide s'écoule dans les torrents de montagne à une vitesse plus ou moins élevée. (Remaitre, 2006)

Le 5 août 2003, suite à un violent orage (probablement de grêle), deux laves importantes se sont produites quasi simultanément dans les torrents de Faucon et du Bourget. Vers 18h, le débit du torrent a brusquement gonflé et les eaux chargées se sont rapidement transformées en écoulement boueux. Le pont menant au lotissement a progressivement fait barrage avant d'être emporté par la dernière bouffée de lave, plus haute que les précédentes. D'après les témoignages, la hauteur de la lave est estimée à 6,50m, sa vitesse à 10m par seconde et son volume entre 45000 et 75000 m<sup>3</sup>.

**Une partie du lotissement du Bérard, 8000 m<sup>2</sup> a été recouverte par 0,50 à 1,50m de boue, envahissant 9 propriétés et interrompant plusieurs axes de communication** (Figure 8).

Les coûts, notamment pour le déblaiement du lit du torrent et du lotissement et la reconstruction du pont, ont été estimés à près de 415 000 euros (Remaitre, 2006).



*Figure 8 : Vue d'hélicoptère de la zone sinistrée par la lave torrentielle du 5 août 2003  
(La Provence - Jeudi 7 août 2003 - Photo Eric Camoin)*

Ces dommages sont dus à la forte présence humaine dans le bassin.

### C. Une évolution de la présence humaine

L'occupation du sol, obtenue à partir des photos aériennes de 2004, montre une présence de forêt sur 50 % du bassin, principalement en milieu et bas de versant.

La superficie agricole utilisée occupe en 2000 près de 4000 hectares soit 15 % du bassin (Recensement Agricole de 2000). (Carte de l'occupation du sol en Annexe 2)

Ce paysage n'a pas toujours été identique. Il y a 150 ans, avant la politique de **reboisement**, la surface forestière était trois fois moins importante (d'après l'Office National des Forêts). L'agriculture était beaucoup plus présente, jusqu'à l'après-guerre (1950) qui marque le début de la **déprise agricole**.

L'occupation humaine est également marquée par une évolution. Malgré sa situation d'enclave (un seul axe de communication principal), le bassin présente **une forte présence humaine avec près de 6100 habitants permanents en 2003** (d'après l'INSEE). Entre 1990 et 2003, la population a connu une augmentation de 9,2 %.

Le tissu urbain est discontinu le long des routes avec quelques centres plus peuplés, tels que les communes de Barcelonnette ou de Jausiers.

En parallèle, **le tourisme s'est fortement développé depuis les années 1960** et l'essor des stations de sports d'hiver de PraLoup, Sauze et Super-Sauze. La population peut atteindre 20000 personnes durant les saisons hivernale et estivale.

Ainsi, **l'économie locale est principalement représentée par le secteur tertiaire** avec les activités de loisirs et de services. Le site d'étude compte 470 entreprises (Fichier consulaire - Chambre de Commerce et d'Industrie 04). Les plus importantes sont rattachées au secteur du tourisme avec l'exploitation des stations de ski et au commerce.

Les secteurs industriels et agricoles (53 exploitations professionnelles - Recensement Agricole de 2000) occupent 8 et 3 % de l'activité économique (d'après INSEE).

Pour réduire l'exposition des infrastructures et des habitants, principalement, aux laves torrentielles, des vastes travaux de correction torrentielle ont été entrepris depuis le 19<sup>e</sup> siècle. Ils ont aboutis à la réalisation de plusieurs centaines de seuils. L'entretien et le renouvellement de ces ouvrages continuent activement. Cependant, ils ne permettent pas de réduire totalement l'activité torrentielle et les dégradations lors d'évènements sont souvent importants et augmentent considérablement le coût des dommages.

Ainsi, tout un système; population, infrastructures, économie, ouvrages de protection est exposé à des phénomènes destructeurs. Il est nécessaire de caractériser tous les éléments pour évaluer les conséquences potentielles.

## **DEUXIEME PARTIE :**

### **APPLICATION DE LA METHODE AU BASSIN DE BARCELONNETTE**

Cette méthodologie, décrite de manière synthétique dans la première partie, est appliquée de façon concrète à notre site d'étude dans le bassin de Barcelonnette.

#### **I. Recueil de données**

L'application d'une méthode d'évaluation quantitative des conséquences nécessite un travail de recueil de données approfondi. **La digitalisation et caractérisation des éléments exposés ont été conduites à partir de plusieurs sources** (Tableau 2).

Type de données	Sources	Année	Echelle de travail
Occupation du sol	ALARM <sup>1</sup> Orthophotos IGN	2002 2004	1/10000 - 1/1000
Routes	ALARM Orthophotos IGN BD Topo IGN	2002 2004 2006	1/5000 - 1/1000
Réseau électrique	ALARM Orthophotos IGN	2002 2004	1/1000
Remontées mécaniques	ALARM Orthophotos IGN	2002 2004	1/5000 - 1/1000
Bâtiments	ALARM Orthophotos IGN BD Topo IGN Cadastre Barcelo. Terrain	2002 2004 2006 2006 2007	1/1000
Ponts	ALARM Orthophotos IGN	2002 2004	1/1000
Seuils	Inventaire Remaître Terrain	2004 2007	Terrain

*Tableau 2 : Sources des données*

#### **A. Inventaire des éléments exposés**

##### **1. L'occupation du sol**

Une description naturelle du territoire ainsi qu'une description anthropique est effectuée. Nous avons organisé l'occupation du sol naturelle en six classes et anthropique en quatre classes (Tableau 3).

<b>Anthropique</b>	<b>Naturelle</b>
urbaine	cultures
Industrielle/commerciale (si hors urbain)	prairies/pâtures
loisirs d'hiver	forêt
loisirs d'été (si hors urbain)	pelouse alpine
	eau
	roche

*Tableau 3: Organisation de l'occupation du sol*

Il a été décidé de ne pas faire ressortir l'activité agricole dans l'occupation du sol anthropique car celle-ci est déjà intégrée dans l'occupation du sol naturelle à travers les types "cultures" et "prairies/pâtures".





<sup>1</sup> Projet européen ALARM : Assessment of LAndslide Risk and Mitigation in Mountain 2001-2004

Au niveau régional de notre étude, les quelques zones "commerciales" et "industrielles" situées à l'intérieur des centres "urbains" n'ont pas été différenciées de ce dernier type d'occupation du sol.

**L'occupation du sol liée aux loisirs d'hiver et d'été a été identifiée de manière séparée en raison de l'importance du tourisme dans l'activité économique le site.** Les loisirs d'hiver correspondent essentiellement aux pistes de ski et les loisirs d'été aux équipements sportifs et de loisirs.

## 2. Les réseaux

La classification pour le **réseau routier** (Tableau 4) reprend celle de la BD Topo.

Route principale 	Assure les liaisons à caractère prioritaire. Dans notre cas, elle correspond à la D900 qui traverse la vallée.
Route secondaire 	Relie les communes de moindre importance entre elles. Les routes secondaires de notre étude sont les routes qui assurent les liaisons aux stations de ski et aux cols.
Route locale 	Par exclusion des autres types.
Chemin/Piste 	Voies non goudronnées permettant la circulation des véhicules de tourisme par quasiment tous les temps.

*Tableau 4 : Classification du réseau routier*

**Le réseau électrique**, dont les plans n'ont pas pu être récupérés auprès du RTE (gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité), est difficile à identifier en totalité à l'échelle régionale à cause du nombre important de pylônes sur les petites lignes et de la non visibilité des lignes souterraines. Il a été caractérisé par les pylônes de la ligne haute tension de 63 000 V qui traverse le versant Ubac de l'Ubaye jusqu'à la Condamine.

**Le réseau de remontées mécaniques** est désigné par les tracés de celles-ci. La majorité des installations sont des téléskis associés à quelques télésièges non débrayables. Nous n'avons pas fait de distinction entre elles.











## 3. Les bâtiments

A l'échelle régionale, nous avons repris la digitalisation des bâtiments faite dans la BD Topo avec les données correspondantes.

A l'échelle locale, la digitalisation a été effectuée à partir des orthophotos de 2004 et les informations sur le bâti ont été complétées sur les sites choisis grâce à un travail de terrain.

Celui-ci reposait sur la description du bâtiment selon plusieurs critères notamment : type de bâtiment ou de surface aménagée, niveau d'habitation ou d'aménagement (nombre d'étages), matériau, état, fonction, période de construction, nombre d'appartements.

Plusieurs types de bâtiments peuvent être distingués (Tableau 5).

Type de bâtiment	Matériau du bâtiment
Immeuble 	Traditionnel 
Maison 	Béton 
Hangar 	Métal 
Cabane 	Bois 
Monument 	Mixte 

*Tableau 5 : Description des bâtiments pour la méthodologie*

L'état du bâtiment et sa période de construction sont estimés de manière relative (grande période), tout comme le nombre d'appartements si celui-ci ne peut être observé. Les surfaces aménagées sont les cimetières, parking, aires de loisirs et campings.

#### 4. Les ouvrages d'art

**Les ponts** ont tous été référencés sous un identifiant unique, une typologie selon l'importance et le type de pont étant trop délicat à réaliser (Figure 9).



*Figure 9 : Exemple de pont (torrent des Sanières)*

En raison de leur coût élevé et de leur vulnérabilité, **les seuils de certains torrents ont été pris en compte**. Ces ouvrages sont gérés par le RTM. Des bases de données de ces ouvrages existent sur la majorité des torrents du bassin, cependant elles correspondent à un simple inventaire et ne sont pas intégrables directement sous SIG, hormis pour le torrent de Faucon.

Pour les ouvrages de ce dernier torrent, un inventaire précis, avec localisation au GPS, mesures des seuils et des biefs a été effectué en 2004 (Remaître, 2006). (Fiche en Annexe 3)  
 La méthode de relevé a donc été reprise sur les torrents du Bourget et de Sanières (Figure 10), deux torrents à forte activité torrentielle et dont les cônes de déjection font partie de notre étude locale. Cet inventaire a permis de cataloguer 65 ouvrages sur Bourget et 44 sur Sanières. 37 seuils du torrent du Riou Chanal ont été ajoutés après un travail réalisé par des étudiants. Le travail était trop considérable pour être réalisé sur les autres torrents, notamment celui du Riou Bourdoux qui compte près de 500 seuils.



Figure 10 : Exemple de seuils (torrent des Sanières)

Pour résumer, les informations obtenues concernent l'occupation du sol, les réseaux, les bâtiments et surfaces aménagées et les ouvrages d'art (Tableau 6).

Occupation du sol		Réseaux	Bâtiments et surfaces aménagées		Ouvrages
Régional	Local	Routier Electrique* Remontées mécaniques	Régional	Local	Ponts Seuils*
Naturelle Anthropique	Naturelle		Hauteur Fonction simplifiée	Etages Fonction Matériau Etat Période	

\* données disponibles uniquement pour une partie du site d'étude

Tableau 6 : Informations recueillies par catégories d'éléments exposés

## B. La population

Les personnes ne sont pas considérées de la même manière que les autres éléments exposés. En effet, il est impossible de déterminer la localisation de chacune pour un instant donné. Pour déterminer l'enjeu humain, nous prenons alors **le nombre potentiel de personnes présentes dans les bâtiments**, à travers la hauteur et la fonction, et sur les routes, en fonction de l'importance du passage sur celles-ci.

## II. Les indices

Après la caractérisation des éléments, trois indices adaptables en fonction de la zone d'étude sont appliqués.

### A. Valeurs des éléments exposés et hiérarchisation

A chaque élément exposé et, en fonction de l'enjeu, est associée une valeur, monétaire ou non. **Cette valeur permet de déterminer la hiérarchisation des éléments exposés.**

## 1. Les enjeux structurels

Pour les enjeux structurels, la valeur attribuée aux éléments est monétaire. Elle correspond à la valeur vénale des terrains pour l'occupation du sol, les coûts de construction pour les ouvrages et les réseaux, les prix de vente pour les bâtiments (Tableau 7).

Elements exposés	Valeur	Source	Date	Commentaires
<b>Occupation du sol naturelle (N)</b> Cultures Prairies Forêt Pélouse alpine	€/ha 4600 3800 1200 1100	DDAF ALARM	2002	Moyennes Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts
<b>Occupation du sol anthropique (A)</b> Urbaine Industrielle	53000 €/ha 45000 €/ha	ALARM	2002	Données reprises du projet ALARM
<b>Loisirs</b> Hiver Ete	1million d'euros/an 500 000 €installation	SNTF DDE	2000	Moyenne de l'investissement dans les pistes pour une station de ski moyenne (Syndicat National des Téléphériques de France) (Direction de l'Equipement) Coût moyen d'une installation sportive
<b>Réseaux</b> Route principale Route secondaire Route locale Piste forestière Réseau électrique (RTE) Remontées mécaniques	1,6 millions €/km 600000 €/km 300000 €/km 10000 €/km 130000 €pylône 1 million €installation	Léone DDE  ONF RTE SNTF	1996  2004 2007 2006	Données de Léone pour le Trièves  Valeur tenant compte de l'instabilité de la zone pour le RTE  Valeur nationale moyenne pour une remontée mécanique type télési
<b>Bâtiments</b> Maison Appartement	250000 € 3800 €/m <sup>2</sup>	DDE	2006	Prix de vente moyen d'une maison de 100 m <sup>2</sup> dans la vallée
<b>Ouvrages</b> Pont Seuil	200000 € 160000 €	RTM	2005	Moyenne calculée à partir du coût des récents ouvrages RTM

*Tableau 7 : Valeurs des différents éléments exposés*

A partir de ces valeurs, une hiérarchie des éléments exposés est effectuée (Tableau 8). L'avantage de cette approche est qu'elle permet d'ajouter autant d'éléments qu'on le souhaite en y associant leurs coûts. De plus, elle est adaptable à d'autres sites d'étude.

Elements exposés/enjeu structurel	Hiérarchie		
<b>Occupation du sol naturelle</b> Cultures Prairies Forêt Pélouse alpine Eau Roche	100 70 30 20 10 10	<b>Réseaux</b> Route principale Réseau électrique (RTE) Route secondaire Remontées mécaniques Route locale Piste forestière	100 80 40 40 20 10
<b>Occupation du sol anthropique</b> Urbaine Industrielle Loisirs hiver Loisirs été (si hors urbain)	100 90 70 20	<b>Ouvrages</b> Pont Seuil	100 80
<b>Bâtiments</b> Hauteur >= 10 mètres Hauteur < 10 mètres	100 70		

*Tableau 8 : Hiérarchie des éléments exposés en fonction de leur valeur*



## 2. Les enjeux fonctionnels directs et indirects

La hiérarchisation des éléments exposés par rapport aux enjeux fonctionnels s'est faite dans un premier temps en fonction de l'importance de l'élément dans l'économie locale ou régionale et pour la société. La valeur est fonction de la part de l'activité dans l'économie et de l'importance de l'activité au niveau social. Dans un deuxième temps, pour le réseau routier, la hiérarchisation a été établie grâce au comptage routier.

Nous avons caractérisé la route principale et les routes secondaires selon deux tronçons, en amont et aval de Barcelonnette, car leurs fréquentations étaient différentes aussi bien dans l'espace que dans le temps. (Tableau 9)

Le Lauzet - Barcelonnette	84 555
Barcelonnette - Jausiers	18 483

*Tableau 9 : Nombre de véhicules de passage pour l'année 2002 en aval et amont de la commune de Barcelonnette*

## 3. Les enjeux corporels

Les éléments exposés indicateurs des enjeux corporels, relatifs aux blessures et pertes humaines, sont les bâtiments et le réseau routier. La hiérarchisation s'est faite en considérant le nombre de personnes potentiellement présentes dans le bâtiment ou sur la route. La hauteur et la fonction du bâtiment ont été prises en compte ainsi que le comptage routier.

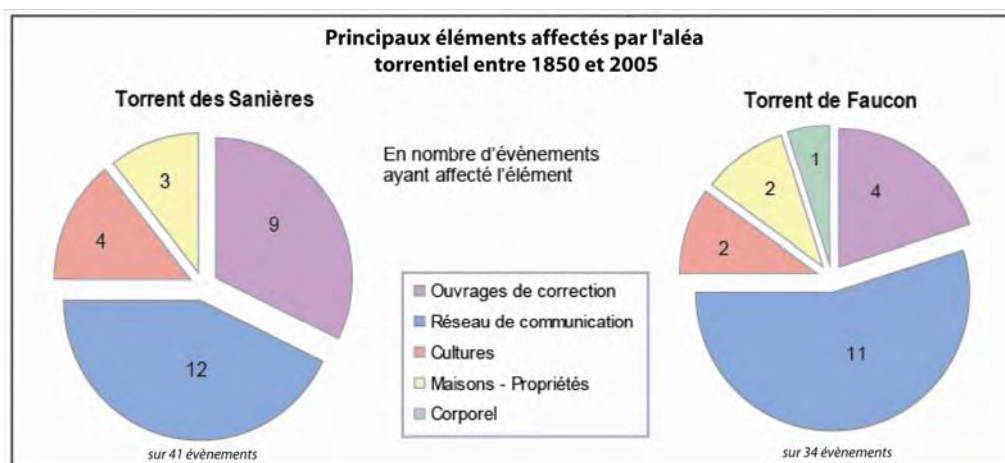
Toutes les informations permettent alors une hiérarchisation et **l'application d'un indice de dommages potentiels sur l'élément** (Tableau 10).

Enjeux fonctionnels directs		Enjeux fonctionnels indirects		Enjeux corporels	
<b>Occupation du sol N</b>					
Cultures	100				
Prairies	70				
Forêt	50				
Pélouse alpine	10				
Eau	10				
Roche					
<b>Occupation du sol A</b>		<b>Occupation du sol A</b>			
Urbaine	100	Urbaine	100		
Industrielle	90	Industrielle	100		
Loisirs hiver	70	Loisirs hiver	70		
Loisirs été	20	Loisirs été	90		
<b>Réseaux</b>		<b>Réseaux</b>		<b>Réseaux</b>	
Route principale aval	100	Route principale aval	100	Route principale aval	100
Route principale amont	50	Route principale amont	50	Route principale amont	50
Réseau électrique (RTE)	90	Réseau électrique (RTE)	90	Réseau électrique (RTE)	40
Route secondaire aval	40	Route secondaire aval	40	Route secondaire aval	40
Route secondaire amont	40	Route secondaire amont	40	Route secondaire amont	40
Remontées mécaniques	50	Remontées mécaniques	50	Remontées mécaniques	20
Route locale	20	Route locale	20	Route locale	1
Piste forestière	1	Piste forestière		Piste forestière	
<b>Bâtiments (Fonction)</b>		<b>Bâtiments (Fonction)</b>		<b>Bâtiments (Fonction)</b>	
Education	100	Education	100	Education	100
Secours	95	Secours	95	Secours	95
Industrielle-commerciale	90	Industrielle-commerciale	90	Industrielle-commerciale	90
Hébergement	80	Hébergement	40	Hébergement	80
Religieuse	20	Religieuse	20	Religieuse	20
<b>Ouvrages</b>		<b>Ouvrages</b>		<b>Bâtiments</b>	
Pont	100	Pont	100	Hauteur >= 10 mètres	100
Seuil		Seuil		Hauteur < 10 mètres	70

*Tableau 10 : Coefficients attribués aux éléments exposés*

#### 4. Données économiques locales sur les dommages

Pour aider à l'estimation des conséquences potentielles, il est nécessaire d'analyser les données économiques sur les dommages. **Les bases de données sur les dommages associées aux glissements de terrain sont très rares et l'information existante pour notre site est décevante.** Dans l'inventaire des aléas depuis 1850 dans le bassin de Barcelonnette (Amiot, Nexon, 1995), les données sur les dommages sont très imprécises. Elles nous permettent d'identifier les éléments les plus affectés mais sans apporter d'informations économiques (Figure 11). D'autres tentatives, à travers des recherches dans les bases du RTM ou dans les coupures de presses, ont été sans succès.



*Figure 11 : Eléments affectés par des aléas torrentiels sur les torrents des Sanières et de Faucon (D'après Amiot, Nexon, 1995; RTM; Etienne)*

Même pour les événements récents, comme celui de Faucon en été 2003, les informations sont difficiles à obtenir car les travaux de remise en état sont longs et les estimations des coûts indirects ne sont pas encore terminées. De plus, aucune réponse de la part des compagnies d'assurance concernant les dégâts aux propriétés privées n'a été reçue.

Sur l'ensemble de la zone d'étude nous n'avons pu obtenir que deux demandes d'arrêté en catastrophe naturelle concernant le glissement de terrain de l'Adroit, en amont de Barcelonnette, sans plus de détails concernant les dégâts subis.

Les gestionnaires des réseaux : DDE, RTE et Veolia (gestion des réseaux d'eau potable et assainissement) ne tiennent pas de bases de données sur les dommages à leurs infrastructures tout comme les mairies ou la communauté de communes.

#### B. Indice d'importance socio-économique pour la région

Cet indice a pour intérêt d'améliorer **l'adaptation de la méthode en fonction du profil socio-économique de la région** et la comparaison entre les régions.

Chaque catégorie d'éléments exposés est pondérée par un indice d'importance socio-économique pour la région (Tableau 11). Cette pondération est **effectuée pour les enjeux structurels et fonctionnels** mais pas pour les enjeux corporels. En effet, nous considérons que les enjeux corporels prennent en compte le nombre potentiel de victimes et non les perturbations aux activités sociales et économiques.

Catégories d'éléments exposés	Enjeux structurels	Enjeux fonctionnels	
		Directs	Indirects
Occupation du sol naturelle	2	1	Non utilisé
Occupation du sol anthropique	3	3	2
Réseaux	3	4	2
Bâtiments (hauteur)	2	Non utilisé	Non utilisé
Fonction des bâtiments	3	3	3
Ouvrages	2	1	Non utilisé

*Tableau 11 : Indice d'importance socio-économique à l'échelle régionale*

Ainsi, comme la zone considérée est fortement touristique, les deux éléments principaux sont les voies de communication et réseaux (catégorie la plus touchée lors d'évènements - Figure 11) ainsi que les structures touristiques et commerciales qui sont comprises dans l'occupation du sol au sens fonctionnel et la fonction des bâtiments.

### C. Indice de vulnérabilité en fonction de la période d'occurrence

L'indice de vulnérabilité en fonction de la période d'occurrence traduit l'importance des dommages potentiels sur l'élément exposé en fonction la période d'occurrence de l'aléa. **Les conséquences potentielles ne sont pas les mêmes selon la période.**

Cet indice est nécessaire puisque les phénomènes sont répartis inégalement dans le temps (Malet, 2003). Bien que les glissements de terrain se déclenchent à toutes les périodes de l'année, ils sont plus nombreux en mai, août et septembre. Les écoulements gravitaires rapides, type lave torrentielle, sont observés principalement pendant l'été.

L'indice est appliqué selon deux pas de temps. Le premier est le pas de temps saisonnier : automne, hiver, printemps, été et le deuxième est le pas de temps journalier : jour et nuit. Nous supposons que la valeur vénale des éléments exposés ne varie pas dans le temps, ainsi, cet indice est appliqué pour les enjeux fonctionnels et corporels.

- Pour les enjeux fonctionnels, l'indice est calculé grâce au comptage de poids lourds, au taux de fréquentation touristique, de la période d'activité des entreprises ou commerces.
- Pour les enjeux corporels, il est calculé en fonction du nombre de personnes présentes dans la vallée (taux d'occupation des hôtels), comptage de voitures légères.

Pour chaque élément exposé, cet indice propose d'attribuer un pourcentage d'importance selon la période (Tableau 12). Les quatre saisons groupées correspondant à 100%.

Enjeux fonctionnels	Été	Automne	Hiver	Printemps
route principale1	40	15	25	20
route principale2	60	10	10	20
RTE	30	20	30	20
route secondaire1	40	5	40	15
route secondaire2	50	15	15	20
Remontées mécaniques	0	20	80	0
route locale	30	15	30	15
pistes-chemins	40	20	10	30

*Tableau 12 : Indice de vulnérabilité en fonction de la période pour les enjeux fonctionnels sur les réseaux*

## D. Intégration de la perception sociale

L'évaluation de la perception sociale des habitants est effectuée à partir d'enquêtes réalisées dans les six communes du bassin.

Deux types d'enquêtes ont été présentés :

- une enquête E1 "complète" de 14 questions plus un fond de carte (Annexe 4), réalisée en mars -avril 2007. Certaines d'entre-elles ont été déposées dans les boîtes aux lettres.
- une enquête E2 (Annexe 5) plus réduite comportant cinq questions et le même fond de carte, menée durant la deuxième session de terrain en mai 2007.

La taille de l'enquête a été réduite car l'enquête E1 était trop longue à remplir (plus de 30 minutes en moyenne) et de ce fait les personnes interrogées avaient des difficultés à la terminer et à remplir le fond de carte, point clé de l'enquête.

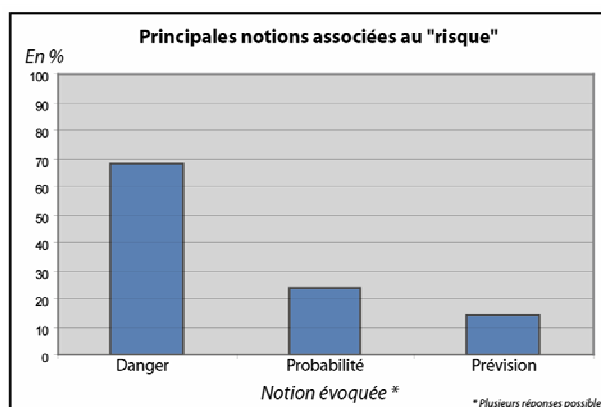
L'échantillonnage est réalisé est fonction du nombre d'habitants par commune (Tableau 13).

Communes	Population en 2003	E1	E2	Total
Barcelonnette	2815	33	6	39
Enchastrayes	507	8	2	10
Faucon	209	2	2	4
Jausiers	891	4	7	11
Saint Pons	641	9	0	9
Uvernet-Fours	612	3	3	6
Autres (communes voisines)		3	2	5
<b>Total</b>		<b>62</b>	<b>22</b>	<b>84</b>

*Tableau 13 : Nombre d'enquêtes de perception par commune*

Deux principales thématiques, visant à estimer le niveau de perception du risque "glissement de terrain" sont abordées dans le questionnaire E1 (Bonnet, 2005; Beck 2006). Plusieurs questions portent sur la notion de risque et le sentiment d'exposition en général. La suite de l'enquête a pour but d'évaluer l'état des connaissances des personnes sur le risque "glissement de terrain" et d'estimer leur perception face à l'exposition, la protection et la prévention.

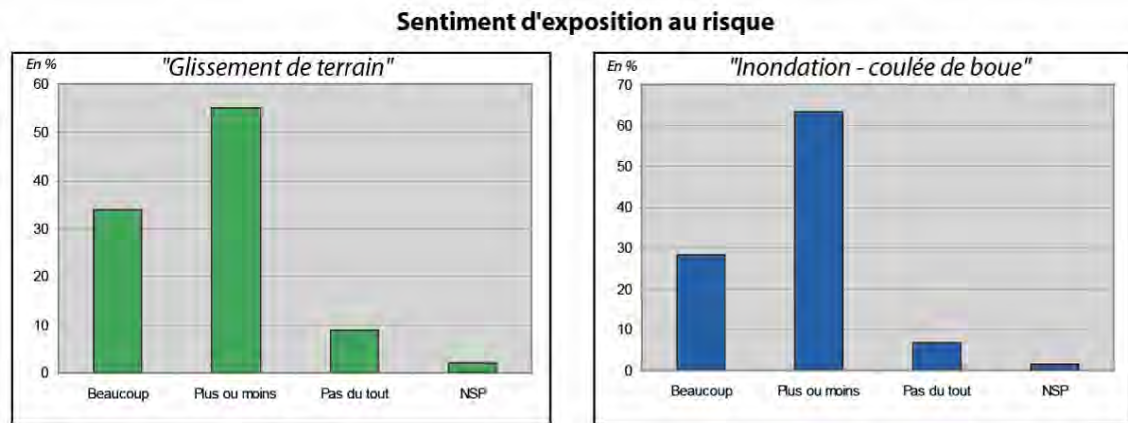
L'analyse des réponses révèle quelques points intéressants sur la perception des habitants.



*Figure 12 : Principales notions associées au risque par les enquêtés*

La majorité des personnes associent spontanément la notion de "risque" à celle de danger ou de peur (Figure 12).

Le sentiment d'exposition au risque est globalement le même pour les glissements de terrain et les inondations-coulées de boue (Figure 13).



*Figure 13 : Sentiment d'exposition aux risques "glissement de terrain" et "inondation-coulée de boue"*

Près de la totalité des personnes interrogées estiment savoir ce qu'est un glissement de terrain. En réalité, certaines d'entre elles ne savent pas définir le phénomène. **Les ¾ des personnes sollicitées estiment ne pas être assez informées sur le risque "glissement de terrain".**

Les deux phénomènes récents de "glissement de terrain" les plus cités sont la lave torrentielle de Faucon de 2003 et le glissement de la Valette, sans doute en raison des importants dégâts de 2003 et la forte médiatisation des deux événements.

Nous avons décidé de ne pas cartographier ces informations selon des indicateurs comme l'âge, le niveau d'étude ou la profession car les résultats ne montraient pas de tendance évidente.

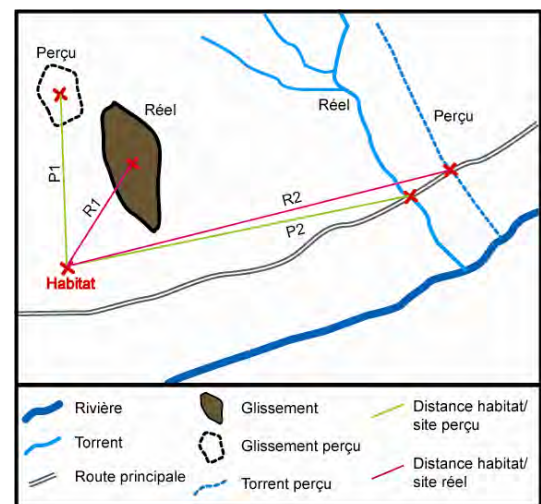
En nous inspirant des études de Beck (2006) et Bonnet (2005), **un fond de carte élémentaire du bassin d'étude a été intégré aux questionnaires, afin de réaliser une cartographie de la perception sociale.**

Les personnes interrogées devaient situer quatre sites ; deux glissements de terrain : La Valette et Poche et deux torrents : Faucon et Riou-Bourdoux.

Le calcul de la différence entre les distances (Figure 14) : lieu d'habitation/site réel du phénomène (R1) et lieu d'habitation/site perçu du phénomène (localisé par l'enquête) (P1) permet d'estimer un niveau de perception selon le lieu d'habitat (Bonnet, 2005).

La distance pour un glissement est établie à partir du centre de celui-ci et celle pour un torrent est estimée au niveau du pont de la route principale. Ces opérations se font sous ArcView.

$$\begin{aligned}
 \text{- Perception "torrent" = } & \text{R2 - P2} \\
 \text{- Perception "glissement" = } & \text{R1 - P1}
 \end{aligned}$$



*Figure 14 : Schéma explicatif du calcul de la distance pour la perception sociale*

En premier lieu, le calcul est fait pour le site de la Valette et le torrent de Faucon. Nous prenons un glissement de terrain et un torrent de manière à savoir s'il existe une différence de perception entre les deux aléas "glissement" et "lave torrentielle". En ne considérant que les distances pour lesquelles le phénomène est localisé, il apparaît que la précision est légèrement meilleure pour le phénomène permanent de glissement de terrain. **L'erreur moyenne de perception est de 0,7 km pour le glissement de la Valette et de 0,9 km pour le torrent de Faucon.**

Pour le glissement de la Valette, qui est visible en permanence, les résultats montrent que les personnes habitant sur le versant ubac, en face du glissement, et les personnes se trouvant en aval du glissement ont une meilleure perception que les habitants des communes de Faucon ou Jausiers, beaucoup plus éloignées du site.

Dans un second temps, pour l'intégration de la perception dans notre cartographie, nous avons pris en compte les cartes mentales sur lesquelles il y avait au moins un site localisé sur les quatre demandés. Le nombre de cartes complétées est de 34. Dans les calculs de distance, les absences de réponse pour un site ont été prises en compte en considérant une distance maximale de 100 km.

Pour chaque commune, nous obtenons alors une moyenne des différences. Un plus grand nombre d'enquête pourrait éventuellement permettre une intégration par quartier, mais dans notre cas, le contexte de l'étude ne le permettait pas.

Il est évident de préciser, que de manière relative, la vulnérabilité des personnes est plus grande lors d'un phénomène soudain et rapide comme une lave torrentielle que lors d'un glissement lent.

**A partir des résultats obtenus, trois niveaux de perception sont définis (Tableau 14).**

Communes	"Glissement de terrain"	"Torrent"
Barcelonnette	Moyenne	Moyenne
Enchastrayes	Moyenne	Bonne
Faucon de Barcelonnette	Bonne	Bonne
Jausiers	Mauvaise	Moyenne
Saint Pons	Bonne	Moyenne
Uvernet-Fours	Mauvaise	Mauvaise

*Tableau 14 : Classes "perception du risque" par commune*

La cartes de "perception du risque" pour les glissements est intégrée aux bâtiments afin d'obtenir de nouvelles cartes des conséquences potentielles corporelles.

### **III. Cartographie des conséquences à l'échelle régionale**

#### **A. La combinaison linéaire intégrant les indices**

Les données SIG, sous format vecteur (.shp), des différents éléments exposés sont converties au format Raster (grid). Notre carte de référence au format Raster sera la carte de la limite de la zone d'étude. Pour cette échelle d'analyse, le pixel est de 10m.

Les données surfaciques, telle que l'occupation du sol, sont converties directement. Pour les données linéaires et ponctuelles, l'opération est précédée par la création de "buffers" (action "create buffers" sous ArcView 3.2 qui permet de créer un contour de type surfacique autour de l'objet) pour que les éléments soient visibles sous format Raster. La taille des "buffers" est en fonction de la taille initiale de l'objet et de sa valeur.

**Nous obtenons pour chaque type ou catégorie d'éléments exposés un "grid" où chaque élément exposé ou groupe d'éléments exposés possède un identifiant.**

Pour faire les opérations, les "grids" sont exportés dans l'environnement "PcRaster". A chaque identifiant d'un élément exposé est associé l'indice de dommages potentiels calculé. Pour chaque catégorie, nous insérons l'indice d'importance socio-économique pour la région. Ainsi, nous obtenons la combinaison linéaire suivante (Figure 15):

Conséquences X	
<b>Catégorie A</b>	
1	élément exposé a
...	élément exposé ...
...	élément exposé ...
n	élément exposé x
<b>Catégorie B</b>	
1	élément exposé b
...	élément exposé ...
...	élément exposé ...
n	élément exposé y

$$\text{Conséquences X} = [(\text{élément a1} * \text{indice de dommages potentiels a1}) + \dots + (\text{élément xn} * \text{indice xn})] * \text{indice d'importance socio-économique A} + [(\text{élément b1} * \text{indice de dommages potentiels b1}) + \dots + (\text{élément yn} * \text{indice yn} \dots)] * \text{indice d'importance socio-économique B}$$

Figure 15 : Description de la combinaison linéaire pour le calcul des conséquences potentielles

La carte obtenue est réimportée sous ArcView. A partir de la table associée à cette carte, comprenant la valeur des pixels et leur fréquence, nous déterminons les seuils des cinq classes de conséquences.

### B. La détermination des classes de conséquences potentielles

L'analyse des courbes cumulatives nous permet de distinguer les classes de conséquences. Nous avons choisi de différencier cinq classes car c'est ce qui semble le plus adaptée à la configuration de notre courbe. La réalisation de cinq classes est également ce qui est le plus couramment choisi dans les méthodes d'évaluation des conséquences (Puissant et al., 2006; Maquaire et al., 2006; Giacomelli et al., 2003).

La première classe, classe 0, représente les conséquences potentielles nulles. Les quatre autres classes, de 1 à 4, indiquent respectivement les conséquences potentielles négligeables, faibles, modérées et fortes (Figure 16).

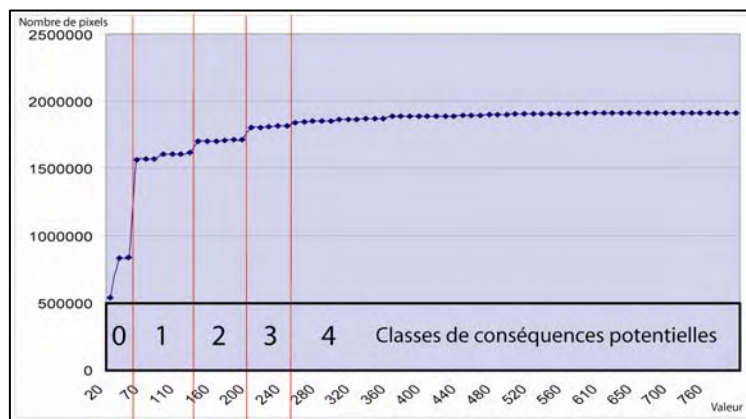


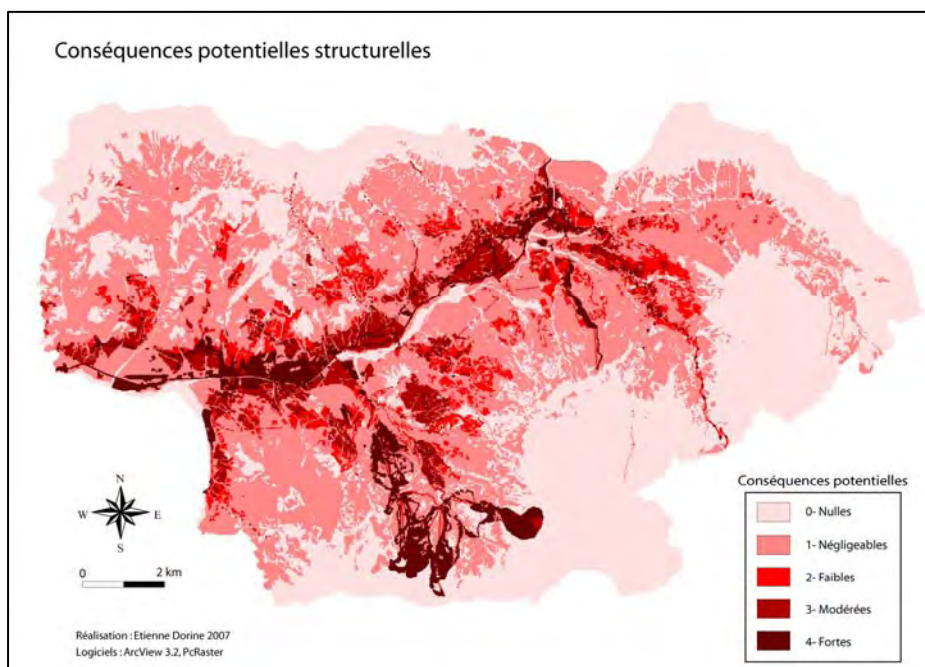
Figure 16 : Courbe cumulative et classes de conséquences potentielles pour les enjeux structurels

A chaque classe de conséquences correspond un niveau de dommages potentiels attendu (Tableau 15).

Classes de conséquences potentielles totales	Définition
Classe 0 : Nulles	Pas de conséquences.
Classe 1 : Négligeables	Dommages négligeables à l'environnement ; forêts, prairie et aux activités qui y sont liées.
Classe 2 : Faibles	Dommages faibles aux activités agricoles et voies de communication secondaires entraînant de légères perturbations aux activités humaines. Pas de préjudices corporels.
Classe 3 : Modérées	Dommages modérés au bâti et aux voies de communication. Perturbations directes modérées aux activités humaines et perturbations indirectes probables. Possibles préjudices corporels.
Classe 4 : Fortes	Dommages structurels et corporels forts. Perturbations directes et indirectes fortes et sur le long terme.

*Tableau 15 : Classes de conséquences potentielles totales à l'échelle régionale*

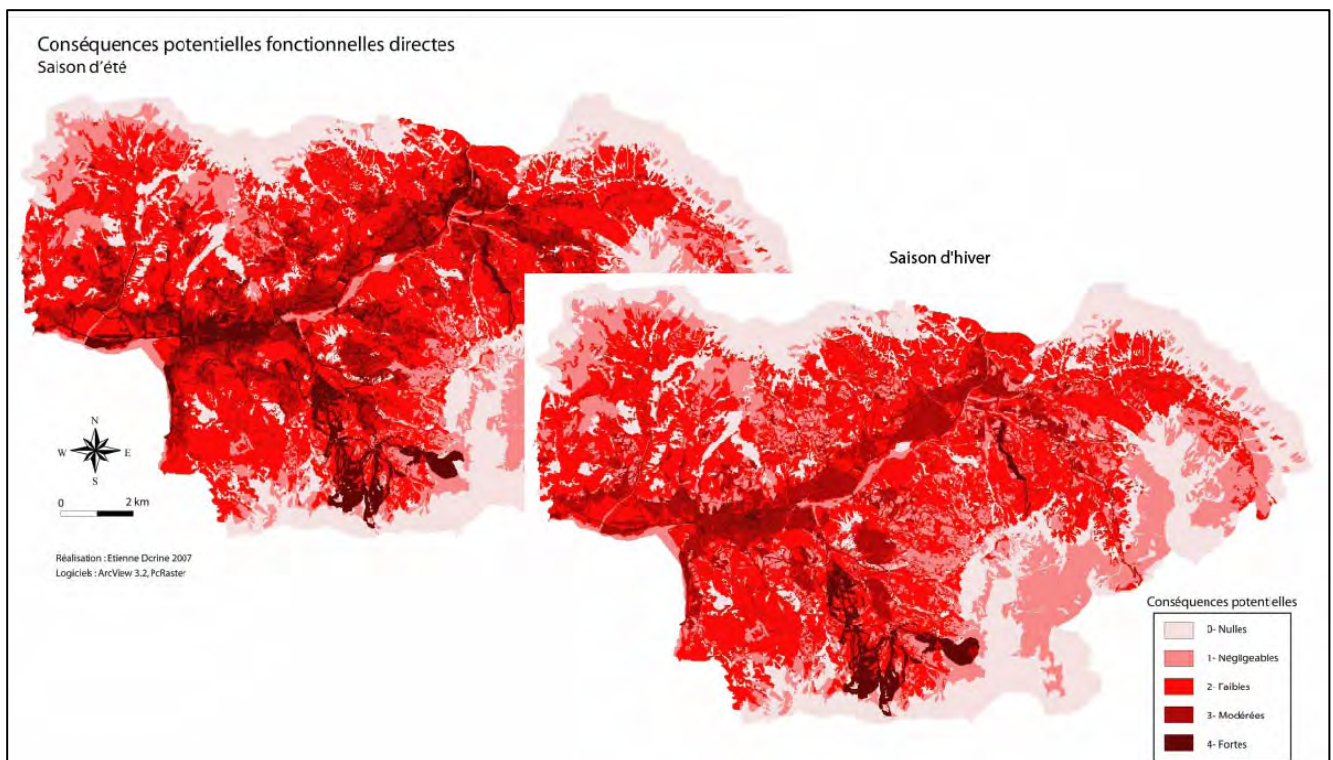
Pour les enjeux structurels, les zones de conséquences fortes correspondent aux zones où le coût des dommages sur les structures sera le plus important. **La carte des conséquences potentielles structurelles (Figure 17) fait logiquement ressortir les zones urbaines, les voies de communication principales et les aires de sports d'hiver.**



*Figure 17 : Carte des conséquences potentielles pour les enjeux structurels à l'échelle régionale*



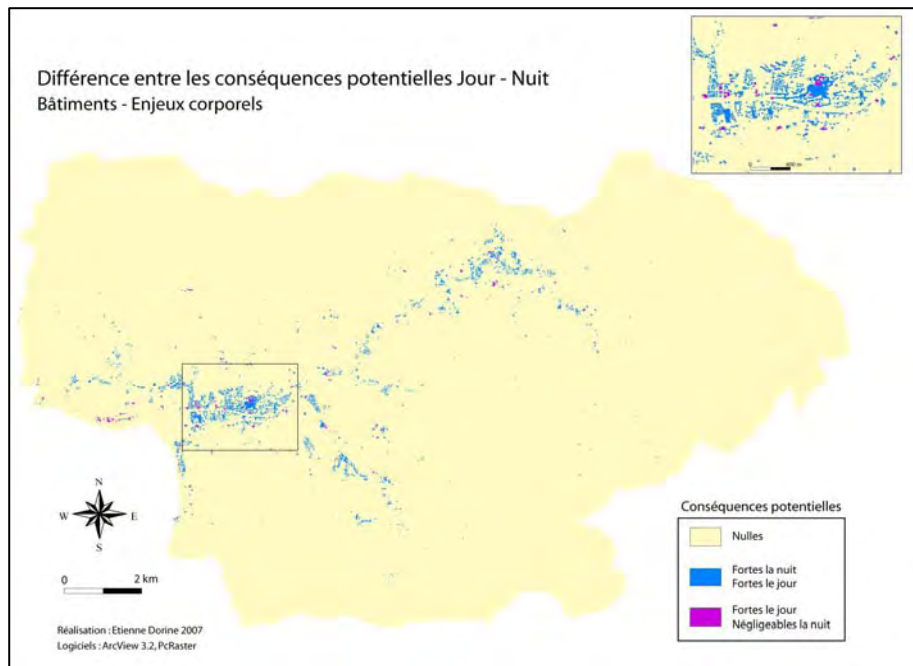
**La différence d'activité et de transit entre l'été et l'hiver est repérable** si l'on compare les cartes des conséquences potentielles fonctionnelles directes pour ces deux périodes (Figure 18).



*Figure 18 : Carte des conséquences potentielles fonctionnelles à l'échelle régionale pour la saison estivale et hivernale*

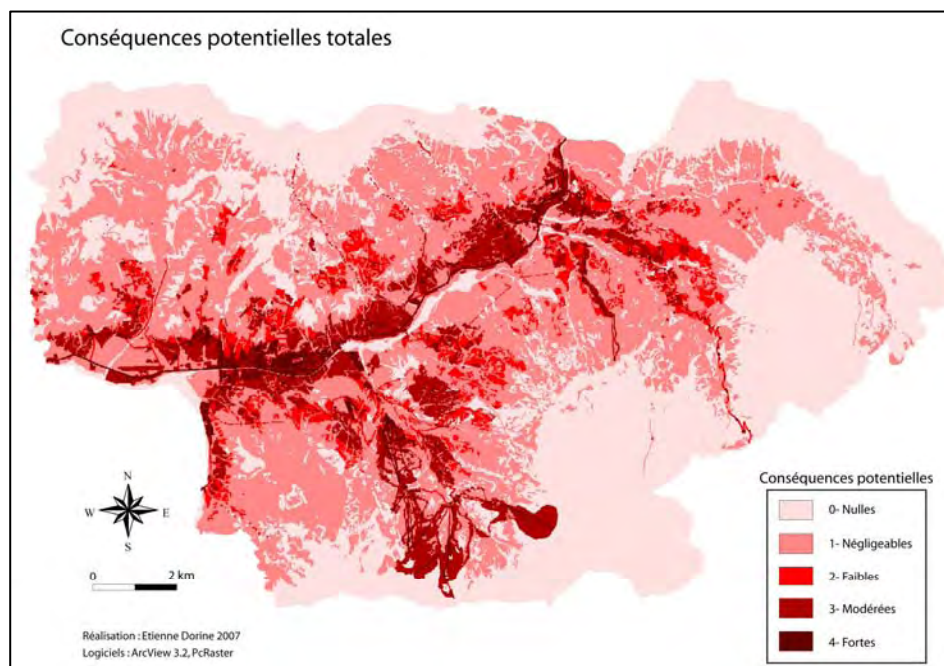
Durant la saison d'été, le taux de passage dans la vallée sur la route principale est plus important. En hiver, les routes vers les cols, en amont de Barcelonnette sont fermées, le transit est moins important donc les perturbations éventuelles aux activités sont moindres. En hiver, se sont principalement le centre ville de Barcelonnette et les stations de ski qui sont en conséquences fortes, c'est-à-dire, en "perturbations maximales aux activités humaines". La carte des conséquences fonctionnelles indirectes est visible en Annexe 6, elle met en relief les axes de communication et bâtiments.

La carte des conséquences corporelles fait ressortir les réseaux de communication et les bâtiments (Annexe 7). La distinction Jour/Nuit devrait mettre en évidence, pour le jour, tous les bâtiments ayant une fonction commerciale, industrielle, scolaire, administrative, etc., puisqu'ils sont inoccupés la nuit. Cette différenciation n'est pas flagrante en raison d'un manque de données sur la fonction des bâtiments à l'échelle régionale. Pour mieux l'apprécier, nous avons fait une carte de différence des conséquences potentielles sur les bâtiments (Figure 19).



*Figure 19 : Carte représentant la différence de conséquences potentielles corporelles entre le jour et la nuit, exemple des bâtiments*

Grâce à une combinaison des quatre cartes : structurelle, corporelle, fonctionnelle directe et indirecte, nous obtenons une **carte des conséquences potentielles totales** (Figure 20). **La règle définie pour cette combinaison est que la classe de conséquences potentielles la plus haute l'emporte sur les autres.** Par exemple, si pour une carte les conséquences sont 4-fortes et pour une autre 2-faibles, la maille finale sera en conséquences 4-fortes. Cette carte finale met en relief les réseaux, les lieux de tourisme et les zones urbaines.



*Figure 20 : Carte des conséquences potentielles totales à l'échelle régionale*

### C. Les cartes de risque "glissement de versant"

Afin d'obtenir une cartographie du risque, **les cartes de conséquences sont croisées avec les cartes de susceptibilité aux glissements de terrain**. Ces cartes de susceptibilité ne couvrent pas la totalité du bassin d'étude mais uniquement la partie à l'est de la commune de Barcelonnette.

Trois types de glissements sont différenciés : les glissements rotationnels de berges, les glissements translationnels superficiels qui sont localisés sur les berges des torrents et les glissements translationnels complexes qui apparaissent sur les versants à pente modérée (Maquaire et al., 2006).

Les classes de susceptibilité correspondent au système de légende français pour les cartes de risque type PPR. Quatre classes de susceptibilité traduisent une susceptibilité nulle (0), faible (1), moyenne (2) et forte (3).

A l'aide d'une matrice (Tableau 16), ces classes de susceptibilité sont multipliées aux classes de conséquences potentielles calculées précédemment. Les classes de susceptibilité nulle et de conséquences potentielles nulles ne sont pas intégrées à la matrice puisqu'elles impliquent un risque nul.

x	Susceptibilité			
	3	2	1	
Conséquences potentielles	4	12	8	4
	3	9	6	3
	2	6	4	2
	1	3	2	1

Risque
Nul
Faible
Moyen
Fort

*Tableau 16 : Matrice de calcul des classes de risque*

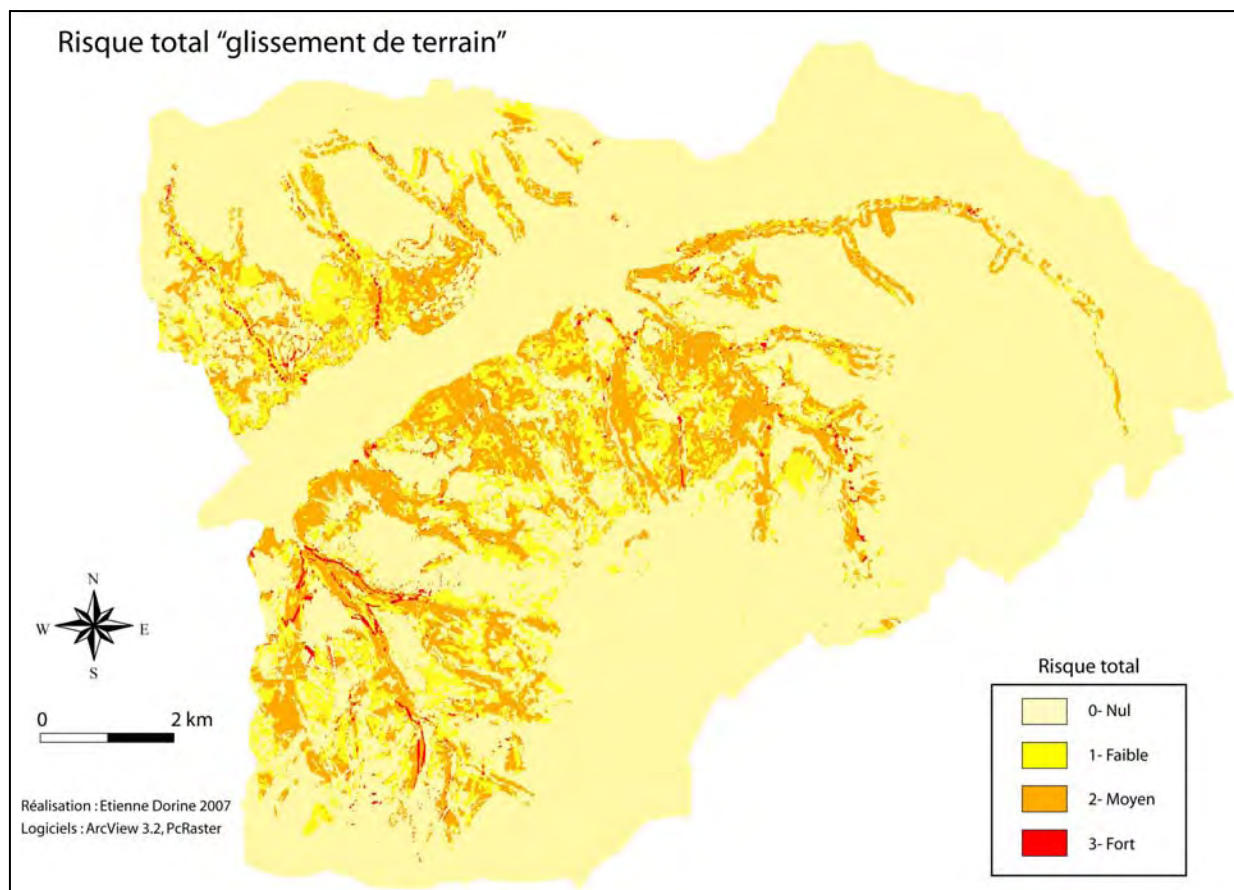
**Quatre niveaux de risque sont alors utilisés : nul, faible, moyen et fort** (Tableau 17). Ces quatre classes correspondent à celles utilisées en France dans la cartographie du risque.

Risque total	Définition
R0 : risque nul	La menace sur les éléments est nulle. <i>Il n'existe aucune menace connue à l'échelle humaine, ou le niveau de menace est négligeable selon l'état des connaissances scientifiques actuelles.</i>
R1 : risque faible	La menace sur les éléments est faible. <i>La menace sur les personnes est faible ou inexistante, mais de faibles dommages aux bâtiments et une perturbation mineure des activités humaines sont à attendre. Le principe est à la sensibilisation et à l'autorisation de construction sous prescriptions d'un coût modéré.</i>
R2 : risque modéré	La menace sur les éléments est modérée. <i>La menace sur les personnes est forte à l'extérieur des bâtiments mais faible ou inexistante à l'intérieur, des dommages sérieux aux bâtiments sont à prendre en compte si le mode de construction n'est pas adapté, et une perturbation modérée des activités humaines est à attendre. Le principe est à la réglementation avec l'instauration de mesures de précautions appropriées (zone inconstructible ou constructible sous prescriptions d'un coût élevé).</i>
R3 : risque fort	La menace sur les éléments est élevée. <i>La menace sur les personnes est forte à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments, une destruction rapide des bâtiments est à attendre et une perturbation majeure des activités humaines est identifiée. Le principe est à l'interdiction de toute construction (zone inconstructible).</i>

*Tableau 17 : Classes de risque "glissement de terrain" en France (d'après Maquaire et al., 2006)*

La carte de risque "glissement de terrain" finale à l'échelle régionale (Figure 21) est un croisement entre la carte des conséquences potentielles totales et la carte de susceptibilité pour les trois types de mouvements de versant.

Elle fait apparaître de larges zones de risque nul, principalement en altitude et dans la vallée, au niveau de l'Ubaye. **Les zones à risque fort sont minoritaires pour le site d'étude. Elles correspondent essentiellement aux seuils, axes de communication, ponts et quelques habitations directement en contact avec des zones à forte susceptibilité.** Sur le reste du territoire, le risque est faible à modéré.



*Figure 21 : Carte du risque total "glissement de terrain" à l'échelle régionale*

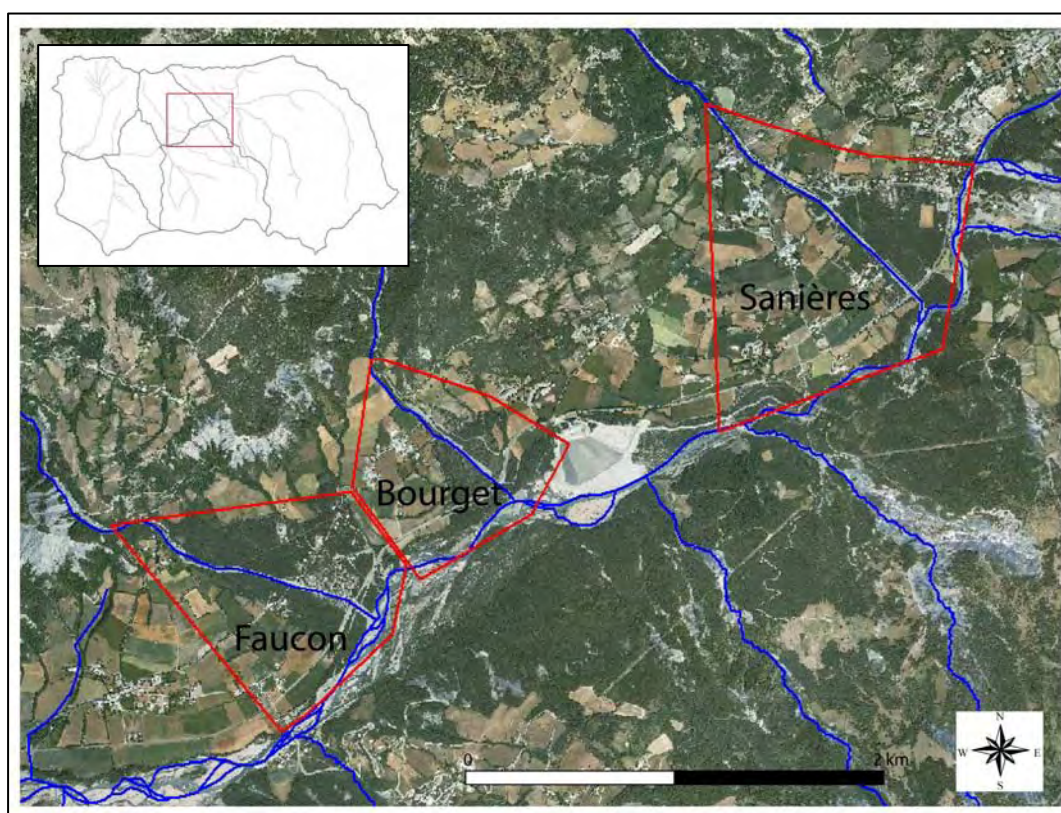
Comme les simulations de l'aléa "lave torrentielle" ne sont pas encore disponibles pour l'ensemble des torrents du bassin, une cartographie du risque "lave torrentielle" à l'échelle régionale n'est pas pertinente. Ainsi, cet aléa est intégré à une échelle locale sur les cônes de déjection des trois torrents étudiés pour des simulations d'étalement de laves.

### TROISIEME PARTIE : ADAPTATION DE LA METHODE AU NIVEAU LOCAL

La méthodologie de cartographie du risque à l'échelle locale reprend le même principe que pour l'échelle régionale

#### **I. Cartographie du risque "lave torrentielle" à l'échelle locale**

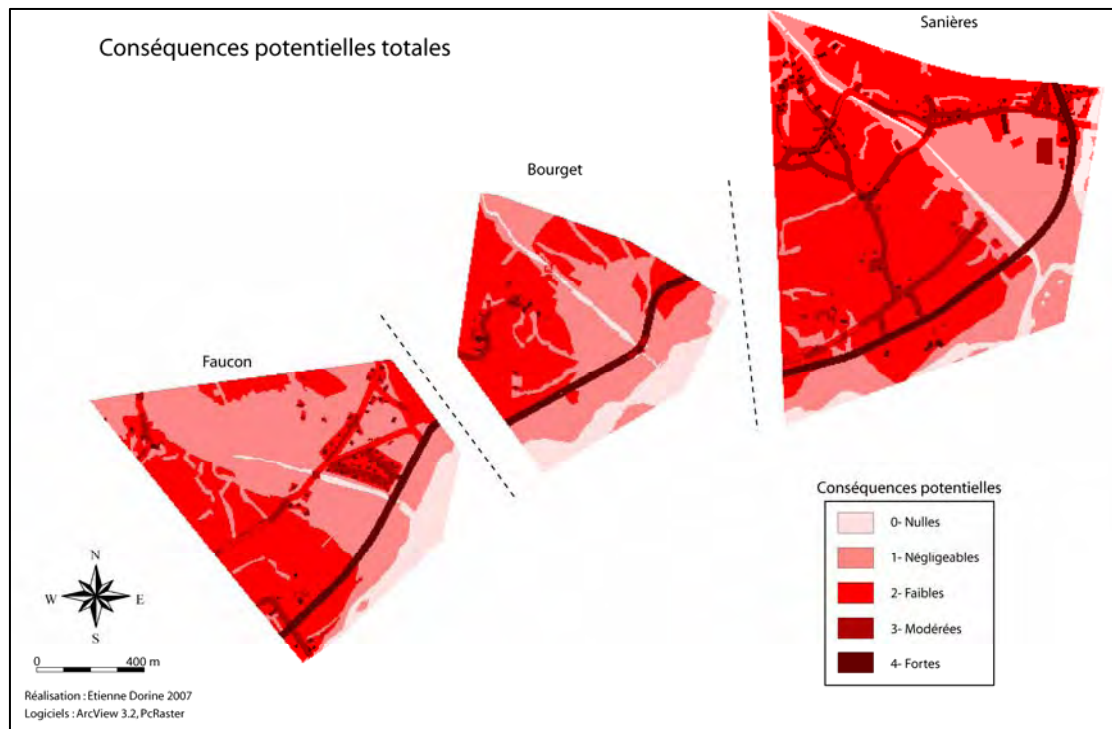
Les trois sites locaux choisis sont les cônes de déjection des torrents du Bourget, de Faucon et des Sanières, tous trois en secteur adret (Figure 22). **Ils ont été choisis car ils correspondent aux torrents les plus actifs du bassin et des simulations d'aléas y ont déjà été effectuées.** La délimitation des sites tient compte de la carte morphologique de manière à ce que le cône de déjection historique soit compris dans la zone d'analyse.



*Figure 22 : Localisation des trois cônes analysés pour l'étude locale*

**Pour chaque site, les étapes effectuées lors de l'analyse régionale sont reprises.** Il ne s'agit pas d'un découpage de la carte des conséquences potentielles obtenue à l'échelle régionale. Les éléments exposés sont décrits de façon plus précise, notamment pour les bâtiments et les seuils, puisque l'état, la hauteur précise et la fonction précise de l'infrastructure est prise en considération. La hiérarchie est disponible en Annexe 8. La maille du pixel est de 5 mètres.

Ainsi, les cartes de conséquences potentielles totales sont représentées pour les trois cônes (Figure 23).



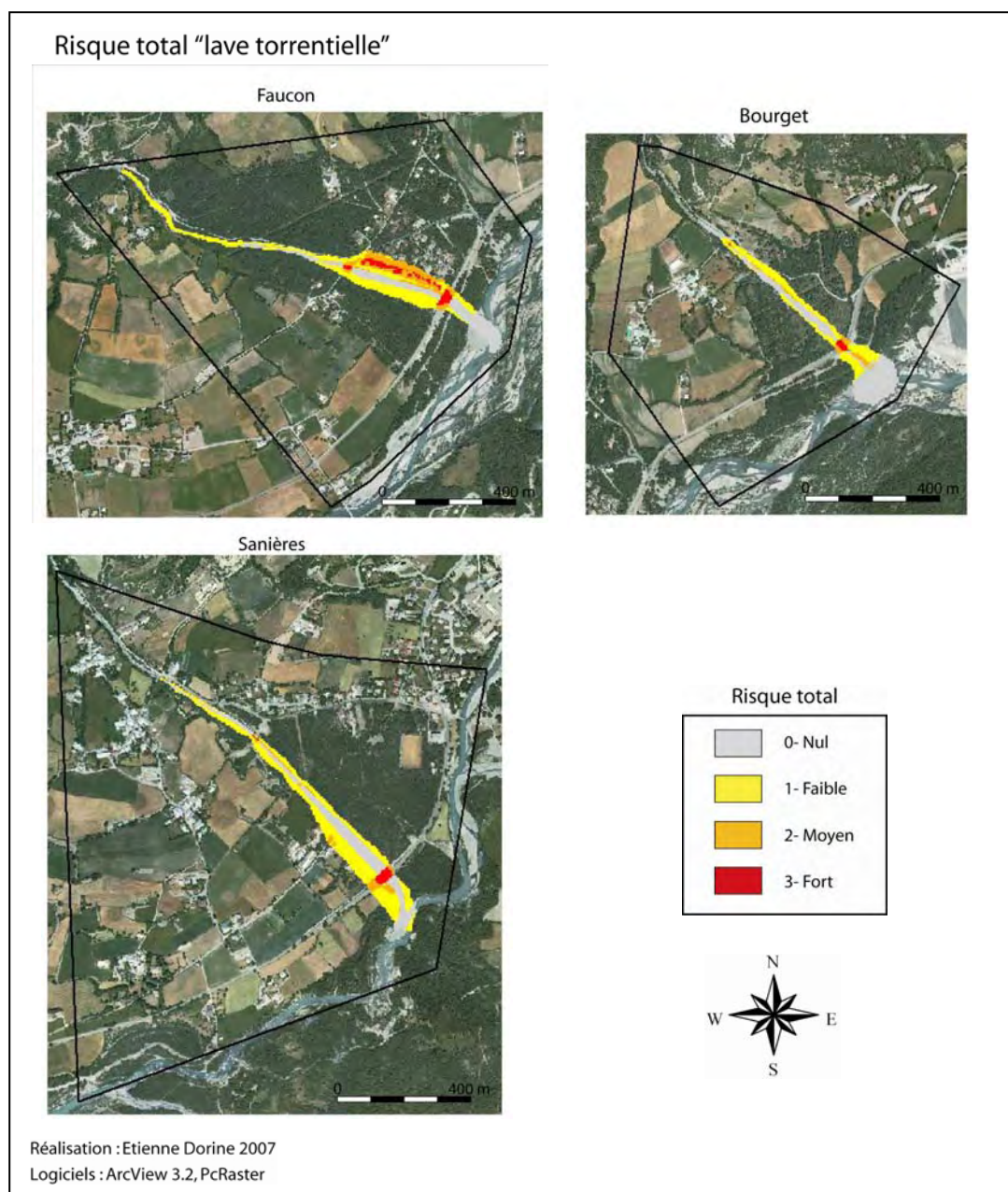
*Figure 23 : Carte des conséquences potentielles totales pour les trois sites de l'étude*

Pour l'obtention des cartes de risque, le croisement a été effectué avec les cartes de simulation de l'aléa "lave torrentielle". Quatre niveaux d'aléa sont définis : nul, faible, moyen et fort. Ces simulations ont été réalisées avec le modèle d'écoulements gravitaires visco-plastique MASS-MOV-2D (Malet, 2003).

Les mailles de calcul sont de 10m et les variations de la rhéologie ne sont pas prises en compte. Le relief est dérivé de la digitalisation des courbes de niveaux pour les trois sites. Pour les cônes de Sanières et Faucon, les barrières topographiques infranchissables telles que les digues ont été intégrées.

Trois scénarios de volume (60,000 m<sup>3</sup>, 90,000 m<sup>3</sup> et 120,000 m<sup>3</sup>) permettent de simuler des hauteurs et vitesses d'écoulement. **L'aléa est alors défini en trois secteurs selon les probabilités de hauteurs et vitesses pour une maille de calcul.**

La matrice de corrélation entre les conséquences potentielles et l'aléa est la même que pour le calcul du risque à l'échelle régionale (Tableau 16). Pour les trois sites, le risque total "lave torrentielle" est cartographié (Figure 24).



*Figure 24 : Carte du risque total "lave torrentielle" pour les trois sites*

Pour les trois sites, le réseau routier et les ponts sont caractérisés en risque fort. Pour le cône de Faucon, plusieurs habitations se situent également dans la zone à risque fort voire en risque moyen.

C'est à l'échelle locale que l'intégration de scénarios jour/nuit ou saisonnière serait la plus pertinente, surtout pour les structures touristiques ou de travail. Cependant, dans les zones étudiées pour le risque "lave torrentielle", tous les bâtiments ont le même profil : maison individuelle en matériau traditionnel. Aucune différence notable n'est alors visible en fonction de la période.

## **II. Approche économique et scénarios**

Un des objectifs d'une méthode quantitative est de développer une approche économique du risque, sur la base d'observations, à travers des **évaluations économiques de dommages** et des scénarios.

Cette approche est appliquée au cône du torrent de Faucon car c'est sur celui-ci que les dommages potentiels sont les plus importants et des comparaisons sont possibles avec l'évènement de 2003.

**Pour les trois niveaux d'aléa, les coûts directs attendus sur les bâtiments et le réseau routier présents dans chaque zone sont calculés.** Ils ne correspondent pas aux coûts des infrastructures en elles-mêmes mais aux coûts attendus de restauration des éléments affectés pour revenir à leur état initial ainsi qu'aux coûts éventuels de remplacement partiel.

Les valeurs économiques associées à ces coûts sont reprises d'une étude effectuée dans les Dolomites italiennes sur les glissements de terrain (Sterlacchini S. et al., à paraître) et des coûts estimés de la lave torrentielle de 2003 (RTM).

Un coût est attribué pour les principales opérations :

- Coût de déblaiement : 50 €/m<sup>3</sup>
- Coût de nettoyage du bâti : 17 €/m<sup>2</sup>
- Coût de remplacement du mobilier : 300 €/m<sup>2</sup>
- Coût de remplacement d'un pont : sur route principale : 250000 €  
sur route secondaire : 125000 €

Les estimations des coûts directs pour notre étude sont alors les suivantes (Tableau 18).

	Aléa fort	Aléa moyen	Aléa faible
Nombre de maisons affectées	0	14	2
Nombre de ponts affectés	2	0	0
Hauteur de boue moyenne estimée (cm)	75	50	25
Surface au sol des maisons affectées (m <sup>2</sup> )	0	1500	340
Surface recouverte estimée hors lit (m <sup>2</sup> )	1500	13000	15000
Volume de boue estimé hors lit (m <sup>3</sup> )	1125	6500	3750
Coût de déblayement, stockage boue (€)	56200	325000	187500
Coût de nettoyage des maisons (€)	0	25500	5780
Coût de remplacement du mobilier (€)	0	450000	102000
Coût de remplacement des ponts (€)	375000	0	0
<b>Coût direct total estimé (€)</b>	<b>431200</b>	<b>800500</b>	<b>295280</b>

*Tableau 18 : Estimation du coût total direct selon le niveau d'aléa*

Si un évènement d'extension spatiale "aléa moyen" se produit, les coûts directs prendront également en compte ceux calculés pour la zone d'aléa fort.

Ces coûts ne sont estimés que pour la zone de dépôt. Pour une estimation complète, il serait nécessaire de prendre en considération les dommages subits par les seuils en amont.

Dans une zone touristique comme le bassin de Barcelonnette, **les coûts indirects rassemblent la réduction de revenus des infrastructures du tourisme, du commerce ou des transports, liée à la baisse de la fréquentation touristique, l'endommagement ou la fermeture de certains aménagements, bâtiments et routes.**

La difficulté d'estimation est grande puisque nous ne disposons pas de valeurs historiques sur ces coûts. Une estimation monétaire est donc délicate.



De plus, les coûts indirects sont différents selon la saison d'occurrence de l'évènement. Dans la mesure où les évènements torrentiels arrivent le plus souvent pendant les mois d'été, les données moyennes utilisées sont celles d'un mois d'août.

En 2003, pour un volume de matériaux mobilisés compris entre 45000 et 75000 m<sup>3</sup>, l'étalement s'était fait sur près de 18000 m<sup>2</sup>. La route principale (RD 900) a été coupée pendant plusieurs heures mais les chiffres ne montrent pas de baisse significative du taux de passage par rapport à l'année 2002.

Les bâtiments affectés ne sont ni des infrastructures du tourisme ni des entreprises, on peut alors penser que les répercussions indirectes sur la fréquentation dans la vallée et sur les revenus sont relativement réduites et peu diffuses dans le temps.

Dans le cas d'un évènement d'une plus grande ampleur qui bloquerait totalement la circulation pendant plusieurs jours, le bilan serait différent. L'axe Barcelonnette - Cuneo en Italie permet un transit international de près de 2000 véhicules/semaine dont 10 % de poids lourds (DDE).

La commune de Jausiers qui serait isolée du reste de la vallée en aval, compte 39 entreprises, dont 2 hôtels et 1 camping, employant une cinquantaine de personnes (Fichier consulaire - Chambre de Commerce et d'Industrie 04).

Dans la région Provence Alpes Côte d'Azur, la recette touristique moyenne est de 2000€/hab/an. Ce chiffre illustre l'apport du tourisme dans l'économie régionale.

La répercussion sur les activités économiques et le tourisme serait importante. La médiatisation certaine de l'évènement aggraverait la baisse de la fréquentation.

## CONCLUSION ET DISCUSSION

L'objectif de ce stage était de tenter la mise en place d'une méthodologie d'évaluation quantitative du risque "glissement de terrain" et de l'appliquer au bassin de Barcelonnette.

Pour cela, **une approche des conséquences potentielles intégrant des données quantitatives a été entreprise**. Cette approche a permis de cartographier le risque selon deux échelles, deux types d'aléa et plusieurs types d'enjeu.

Des indices permettant l'adaptation en fonction des valeurs des éléments exposés, du profil socio-économique de la région et de la période d'occurrence de l'évènement rendent la **méthode aménageable selon la zone étudiée et l'échelle de travail**. Une **intégration de la perception sociale des habitants** a pu être effectuée pour l'échelle régionale et une **approche économique** a été réalisée pour l'échelle locale.

La méthode nous a permis de cartographier les zones à risque et d'estimer les dommages potentiels.

Les difficultés rencontrées au niveau de la collecte des données en raison du manque d'informations historiques renvoient à l'idée qu'**il serait nécessaire de créer des bases de données complètes sur les dommages liés aux glissements de terrain** comme il en existe pour les avalanches ou les inondations.

Ces bases de données permettraient une prise en compte plus facile des variations de la vulnérabilité en fonction de l'aléa. Les recherches sur la vulnérabilité et les conséquences potentielles doivent se poursuivre. Au niveau européen, par exemple, **une harmonisation des informations et des méthodes d'évaluation des conséquences serait un atout dans l'évaluation du risque**.

## BIBLIOGRAPHIE

- Alexander DE. (2005)** Vulnerability to Landslides. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, p 175-198.
- Amiot A., Nexon C. (1995)** *Inventaire des aléas dans le bassin de Barcelonnette depuis 1850*. Mémoire de maîtrise, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 173p.
- Beck E. (2006)** *Approche multi-risques en milieu urbain. Le cas des risques sismiques et technologiques dans l'agglomération de Mulhouse*, Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1, 282p.
- Bonnard C. et al. (2004)**, *Identification and mitigation of large landslide risks in Europe, Advances in risk assessment*. Imiriland project, Balkema, Leiden, 317p.
- Bonnet E. (2002)**, Risques industriels : évaluation des vulnérabilités territoriales, Thèse de doctorat, Université du Havre, 331p.
- Crozier MJ., Glade T. (2005)** Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, p 1-40.
- D'Ercole, R. (1994)** Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. *Revue de Géographie Alpine*, n°4, tome LXXXII, p 87-97.
- Giacomelli P. et al. (2003)** La valutazione del rischio di frana, *Aestimium*, Firenze University Press, Firenze, p 31-52.
- Glade T. (2003)** Vulnerability assessment in landslide risk analysis. *Die Erde*, vol. 134, p. 121-138.
- Glade T., Crozier MJ. (2005)** The nature of landslide hazard impact. *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester, p 43-74.
- Le Mignon G. (2004)** *Analyse des scénarios de mouvements de versants de type glissement-coulée. Application à la région de Barcelonnette*. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 158p.
- Leone F. (1996)** *Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrains*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, ANRT, 274p.
- Malet JP. (2003)** *Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique*. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 364p.
- Maquaire O. et al. (2006)** Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque "glissement de terrain". *Revue Internationale de Géomatique*, Vol spécial, n°4/2006.
- Maquaire O. (2002)** *Aléas géomorphologiques : processus, fonctionnement, cartographie*. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université Louis Pasteur, Strasbourg, 219p.
- MATE/METL (1997)** *Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR): Guide général*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, (MATE), Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL). La Documentation Française, Paris.
- MATE/METL (1999)** *Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR): Risques de Mouvements de Terrain*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, (MATE), Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement (METL). La Documentation Française, Paris.

- Mejia Navarro M., Garcia LA., (1996)** Natural Hazard and Risk Assessment using Decision Support System. Application. Glenwood Springs, Colorado. *Environnemental and Engineering Geosciences*, 2(3), 299-324.
- Puissant A., Malet JP., Maquaire O. (2006)** Mapping landslide consequences in mountain areas: a tentative approach with a semi-quantitative procedure. *A paraître*, 12p.
- Remaître A. (2006)** *Morphologie et dynamique des laves torrentielles : application aux torrents des Terres noires du bassin de Barcelonnette*. Thèse de doctorat, Université de Caen/Basse Normandie, 374p.
- Ronté C. (2003)** *Etude et analyse critique des méthodes d'évaluation des risques naturels par l'exploitation des SIG - Application au bassin versant de l'Avançon*. Rapport de DESS, La Sorbonne, Paris, 29p.
- Sterlacchini S. et al. (à paraître)** *Landslide risk analysis : a multi-disciplinary methodological approach*, 17p.
- Van Westen CJ., Van Asch TWJ. and Soeters R. (2006)** Landslide hazard and risk zonation—why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* Volume 65, N° 2 - Mai 2006, Springer Berlin, p 167-184.
- Varnes DJ. (1984)** *Landslide Hazard Zonation. A Review of Principles and Practice*. UNESCO, Paris, 63p.
- Waltra J. (2006)** *Historical aerial photographs and digital photogrammetry for landslide assessment*. Thèse de doctorat, Université Loughborough, Grande-Bretagne, 247p.

#### **Sites Internet**

Laboratoire Geophen - <http://www.unicaen.fr/ufr/geographie/geophen/>

Projet Mountain Risks - <http://mountain-risks.eu>

Réseau Sismique Provence, Laboratoire de Géophysique et Géodynamique : <http://junon.u-3mrs.fr/ms422aww/LG2.html>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

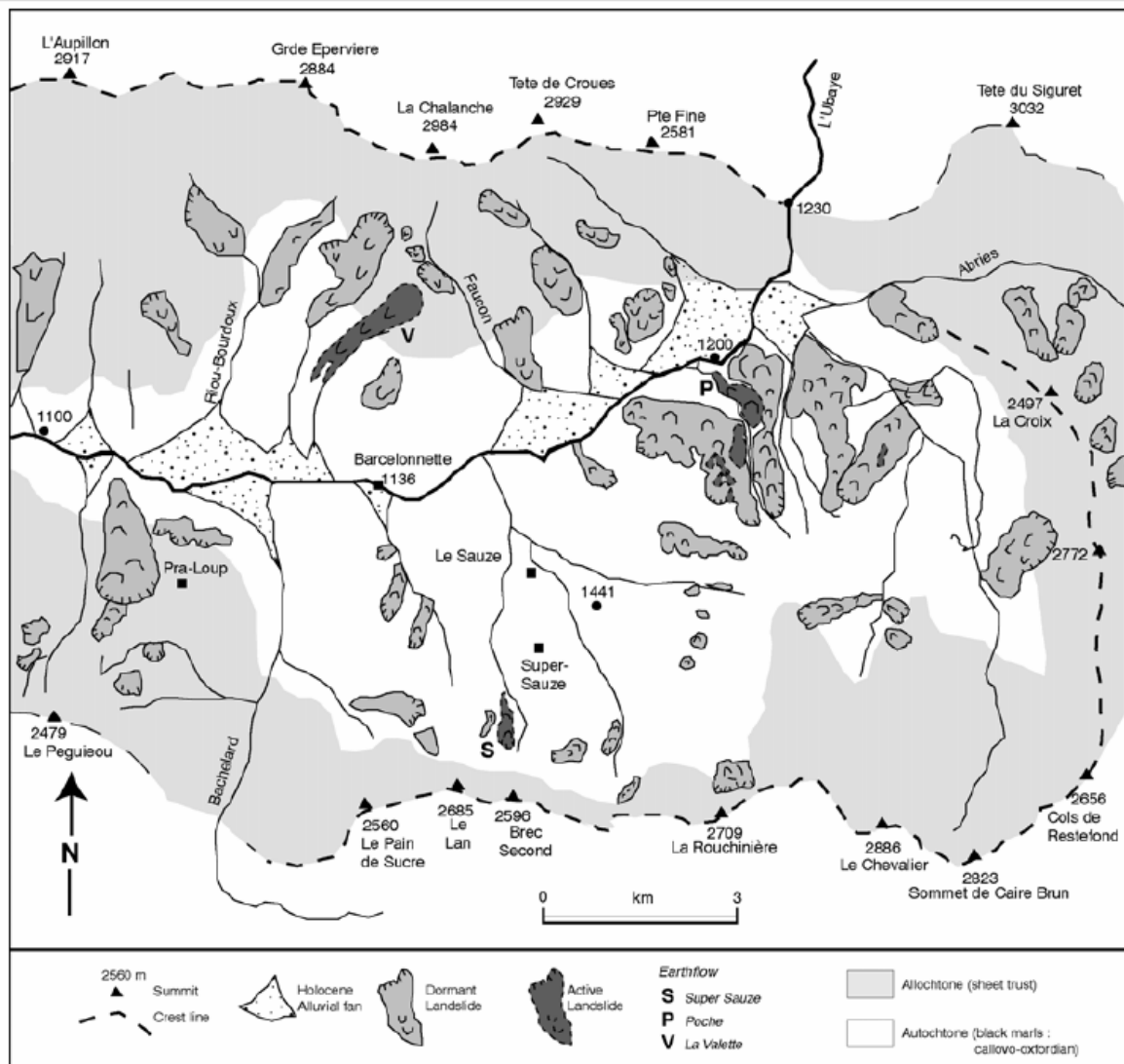
Figure 1 : Exemples d'aléas "glissement de terrain" (Walstra, 2006) .....	6
Figure 2 : Diversité des impacts liés aux glissements de terrain (D'après Léone, 1996) .....	8
Figure 3 : Impacts des séismes sur les bâtiments en maçonnerie (Beck, 2006).....	8
Figure 4 : Organigramme méthodologique .....	11
Figure 5 : Carte du site d'étude : le Bassin de Barcelonnette .....	14
Figure 6 : Historique des aléas de 1450 à 2005 dans le Bassin de Barcelonnette (d'après Amiot - Nexon, 1995; RTM; Etienne) .....	15
Figure 7 : Vue aérienne du glissement-coulée de la Valette (orthophoto IGN 2004).....	16
Figure 8 : Vue d'hélicoptère de la zone sinistrée par la lave torrentielle du 5 août 2003 (La Provence - Jeudi 7 août 2003 - Photo Eric Camoin) .....	17
Figure 9 : Exemple de pont (torrent des Sanières) .....	21
Figure 10 : Exemple de seuils (torrent des Sanières) en aval et amont de la commune de Barcelonnette.....	24
Figure 11 : Eléments affectés par des aléas torrentiels sur les torrents des Sanières et de Faucon (D'après Amiot, Nexon, 1995; RTM; Etienne) pour les enjeux fonctionnels sur les réseaux.....	26
Figure 12 : Principales notions associées au risque par les enquêtés.....	27
Figure 13 : Sentiment d'exposition aux risques "glissement de terrain"et "inondation-coulée de boue" .....	28
Figure 14 : Schéma explicatif du calcul de la distance pour la perception sociale .....	28
Figure 15 : Description de la combinaison linéaire pour le calcul des conséquences potentielles .....	30
Figure 16 : Courbe cumulative et classes de conséquences potentielles pour les enjeux structurels .....	30
Figure 17 : Carte des conséquences potentielles pour les enjeux structurels à l'échelle régionale.....	31
Figure 18 : Carte des conséquences potentielles fonctionnelles à l'échelle régionale pour la saison estivale et hivernale .....	32
Figure 19 : Carte représentant la différence de conséquences potentielles corporelles entre le jour et la nuit, exemple des bâtiments .....	33
Figure 20 : Carte des conséquences potentielles totales à l'échelle régionale.....	33
Figure 21 : Carte du risque total "glissement de terrain" à l'échelle régionale .....	35
Figure 22 : Localisation des trois cônes analysés pour l'étude locale .....	36
Figure 23 : Carte des conséquences potentielles totales pour les trois sites de l'étude .....	37

Figure 24 : Carte du risque total "lave torrentielle" pour les trois sites .....	38
Tableau 1 : Nombre d'évènements de torrentialité recensés, par torrent de 1970 à 2005 d'après la base RTM .....	15
Tableau 2 : Sources des données.....	19
Tableau 3: Organisation de l'occupation du sol .....	19
Tableau 4 : Classification du réseau routier .....	20
Tableau 5 : Description des bâtiments pour la méthodologie .....	21
Tableau 6 : Informations recueillies par catégories d'éléments exposés.....	22
Tableau 7 : Valeurs des différents éléments exposés.....	23
Tableau 8 : Hiérarchie des éléments exposés en fonction de leur valeur.....	23
Tableau 9 : Nombre de véhicules de passage pour l'année 2002 .....	24
Tableau 10 : Coefficients attribués aux éléments exposés.....	24
Tableau 11 : Indice d'importance socio-économique à l'échelle régionale .....	26
Tableau 12 : Indice de vulnérabilité en fonction de la période pour les enjeux fonctionnels sur les réseaux .....	26
Tableau 13 : Nombre d'enquêtes de perception par commune.....	27
Tableau 14 : Classes "perception du risque" par commune .....	29
Tableau 15 : Classes de conséquences potentielles totales à l'échelle régionale .....	31
Tableau 16 : Matrice de calcul des classes de risque .....	34
Tableau 17 : Classes de risque "glissement de terrain" en France (d'après Maquaire et al., 2006).....	34
Tableau 18 : Estimation du coût total direct selon le niveau d'aléa .....	39

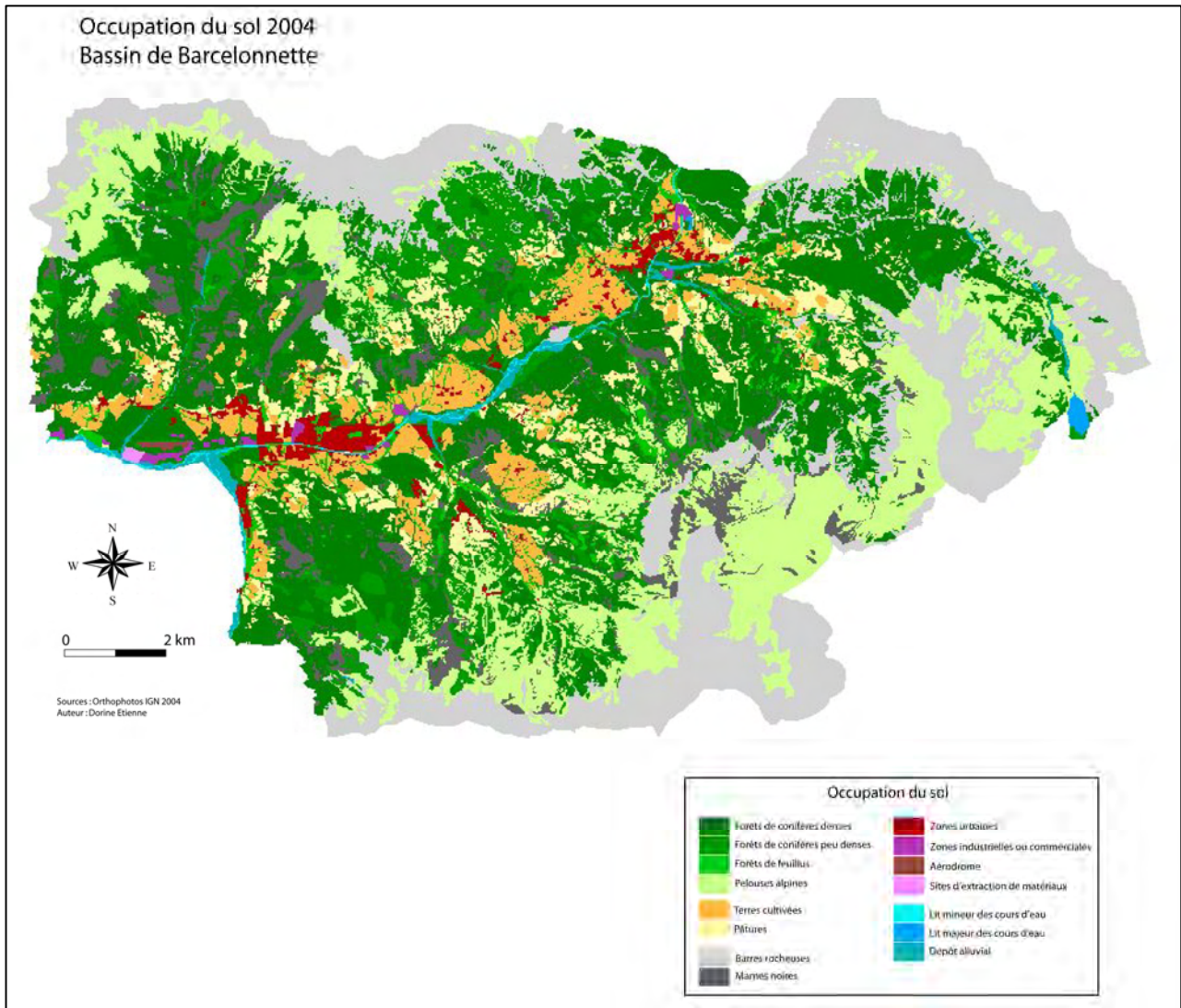
## TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Localisation des mouvements de terrain (Maquaire, 2002).....	I
Annexe 2 : Carte de l'occupation du sol du bassin de Barcelonnette en 2004 .....	II
Annexe 3 : Fiche de terrain pour l'inventaire des seuils.....	III
Annexe 4 : Enquête E1 et fond de carte .....	IV
Annexe 5 : Enquête E2.....	IX
Annexe 6 : Carte des conséquences potentielles corporelles .....	X
Annexe 7 : Carte des conséquences potentielles fonctionnelles indirectes.....	X
Annexe 8 : Hiérarchie des éléments exposés pour l'étude locale .....	XI

**Annexe 1 : Localisation des mouvements de terrains actifs et latents dans le bassin de Barcelonnette (Maquaire, 2002)**



## Annexe 2 : Carte de l'occupation du sol du bassin de Barcelonnette en 2004







**ENQUETE DE PERCEPTION  
BASSIN DE BARCELONNETTE**

Date :
Lieu :
N° Enquête :

1. Résidez-vous dans la vallée de Barcelonnette?

Oui       Non

Si oui, depuis quand?.....

Dans quelle commune?.....

2. Pouvez-vous localiser sur le fond de carte l'endroit où vous habitez?

**Questions sur la notion de risque**

3. Pour vous qu'est ce qu'un risque? Définissez cette notion en donnant 2-3 termes

1-.....

2-.....

3-.....

4. Voici une liste de différents risques. Comment vous sentez-vous personnellement exposé à chacun d'eux? (dans le Bassin de Barcelonnette)

<i>Risque</i>	Beaucoup	Plus ou moins	Pas du tout	NSP
Inondation - coulée de boue				
Tempête				
Séisme				
Glissement de terrain				
Eboulement de rochers				
Avalanche de neige				
Rupture de barrage				

5. Si un évènement devait se produire dans le Bassin de Barcelonnette, auquel pensez-vous?.....

.....

Pourquoi?.....

.....

.....

**Questions sur le risque "glissement de terrain"**

6. Savez-vous ce qu'est un glissement de terrain?

- Oui       Non       NSP

Si oui, pouvez-vous définir ce type de phénomène?.....

.....  
.....

7. Avez-vous connaissance d'un ou plusieurs évènements récents dans la vallée?

- Oui       Non       NSP

Si oui, le(s)quel(s)? (En précisant une idée de la date de l'évènement)

1-.....

2-.....

3-.....

Pouvez-vous citer des dégâts provoqués par ces évènements?

1-.....

2-.....

3-.....

8. Pouvez-vous localiser ces évènements sur le fond de carte?

*(S'ils n'ont pas été cités : Glissement de La Valette, glissement de Poche, torrent de Faucon et torrent du Riou-Bourdoux)*

9. Qu'est ce qui, selon vous, serait le plus affecté par les conséquences d'un glissement de terrain?

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> les personnes              | <input type="checkbox"/> l'environnement |
| <input type="checkbox"/> les voies de communication | <input type="checkbox"/> autres : .....  |
| <input type="checkbox"/> les bâtiments              | <input type="checkbox"/> NSP             |

10. Connaissez-vous les consignes à suivre en cas d'évènement de glissement de terrain?

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Très bien          | <input type="checkbox"/> Pas du tout |
| <input type="checkbox"/> Plus ou moins bien | <input type="checkbox"/> NSP         |

Si oui, pouvez-vous me citer la marche à suivre?

1-.....

2-.....

3-.....

**11.** Faites-vous une différence entre la "prévention" et la "protection"?

Oui       Non       NSP

Si oui, pouvez-vous m'expliquer cette différence en quelques termes?.....

.....  
.....

**12.** Connaissez-vous des méthodes de prévention et de protection contre le risque "glissement de terrain"?

Oui       Non       NSP

Si oui, la(es)quelle(s)?1-.....

2-.....

3-.....

Pensez-vous qu'elles sont efficaces?

Oui       Non       NSP

**13.** Vous sentez-vous suffisamment informé sur le risque de glissement de terrain?

Oui       Non       NSP

**14.** Avez-vous (ou votre entourage) déjà été touché par un glissement de terrain?

Oui       Non       NSP

Si oui, quand et où?.....

## Fiche signalétique

### 15. Age

15-20		41-50	
21-30		51-60	
31-40		+ 61	

16. Sexe  F  M

### 17. Profession et Catégorie Socioprofessionnelle

Agriculteurs		Cadres et professions intellectuelles supérieures	
Artisans - commerçants - chefs d'entreprise		Etudiants - Lycéens	
Employés		Retraités	
Professions intermédiaires		Chômeurs	
Ouvriers		Autres : .....	

### 18. Dernier diplôme obtenu

Aucun		Bac +2 (DEUG - BTS - DUT)	
BEPC - certificat de fin d'études		Bac +3 ou 4 (Licence - Maîtrise)	
BEP - CAP		Bac +5 et plus	
Baccalauréat		Autre : .....	

19. Type d'habitat  Individuel  Collectif

20. Etes-vous?  Propriétaire  Locataire

### 21. Quelle est votre situation familiale?

- Célibataire  
 En couple  Autre : .....

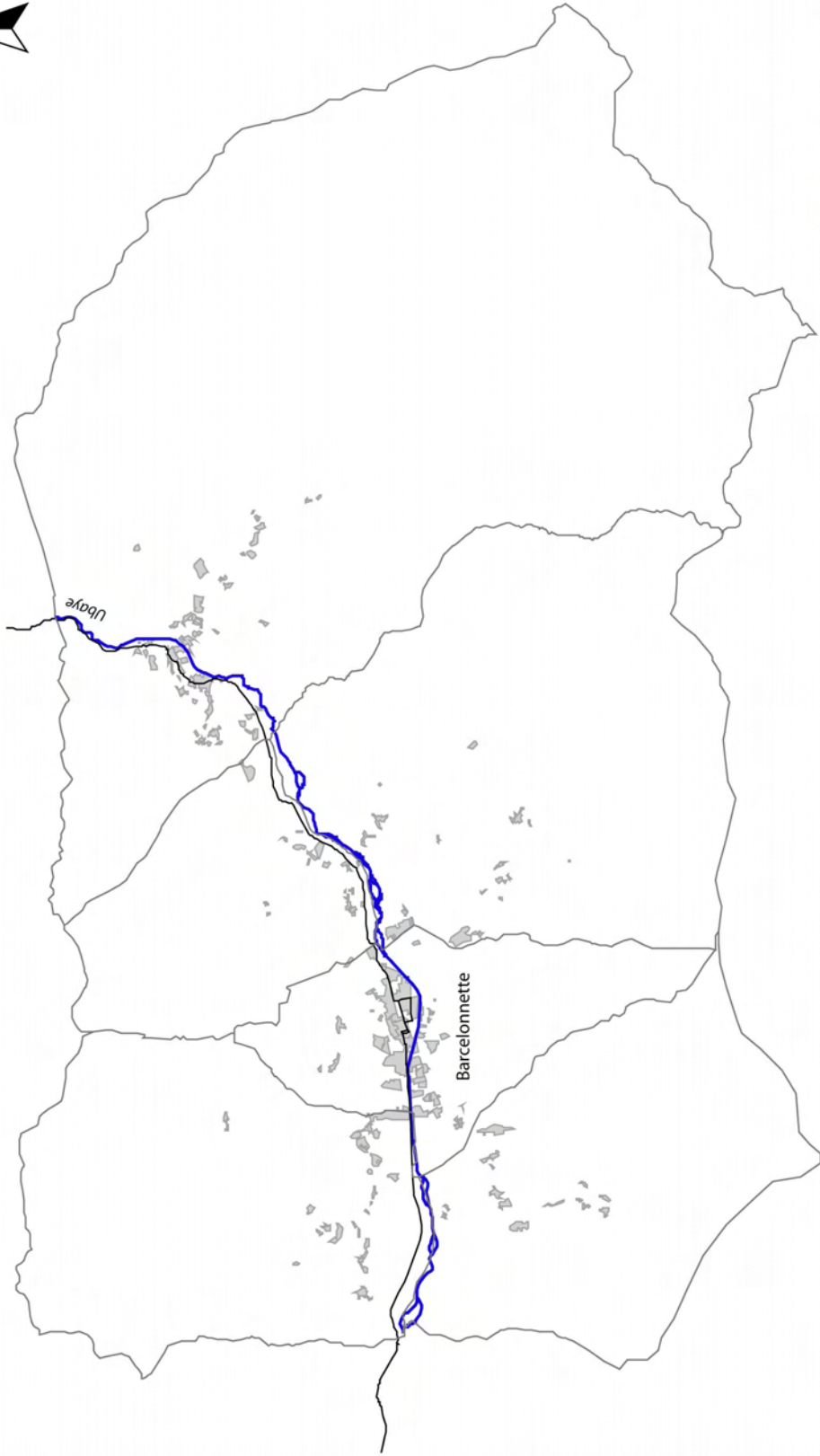
### 22. Avez-vous des enfants?

- Oui  Non

Si oui, combien?..... de quel âge?.....

# Bassin de Barcelonnette

## Enquête de perception



- Limite des communes
- Réseau routier
- Réseau hydrographique
- Zones urbaines



**ENQUETE DE PERCEPTION MAI 2007**  
**BASSIN DE BARCELONNETTE**

Date :  
Lieu :  
N° Enquête :

▪ Depuis quand résidez-vous dans la vallée de Barcelonnette?.....  
Dans quelle commune?.....

▪ Savez-vous ce qu'est un glissement de terrain?

Oui       Non       NSP

Si oui, pouvez-vous définir ce type de phénomène?.....  
.....  
.....

▪ Comment vous sentez-vous personnellement exposé aux glissements de terrain?

Beaucoup       Plus ou moins       Pas du tout       NSP

▪ Avez-vous (ou votre entourage) déjà été touché par un glissement de terrain?

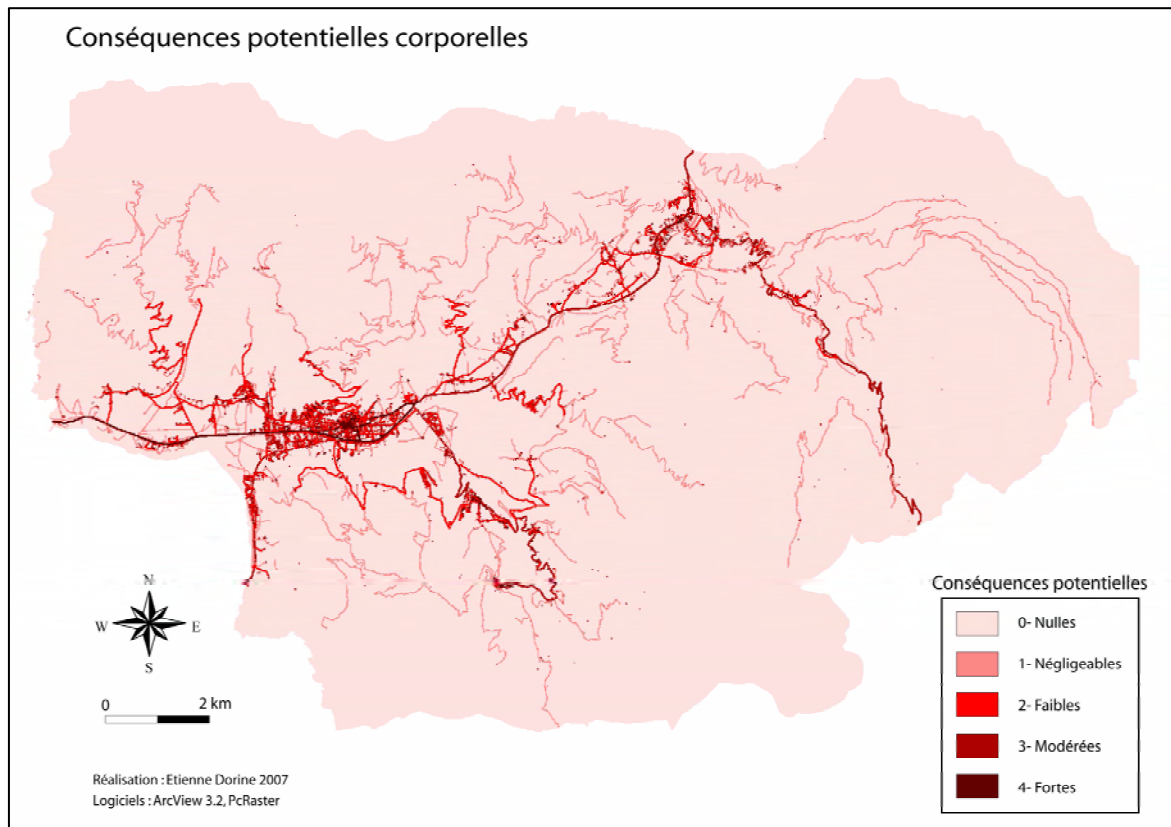
Oui       Non       NSP

Si oui, quand et où?.....

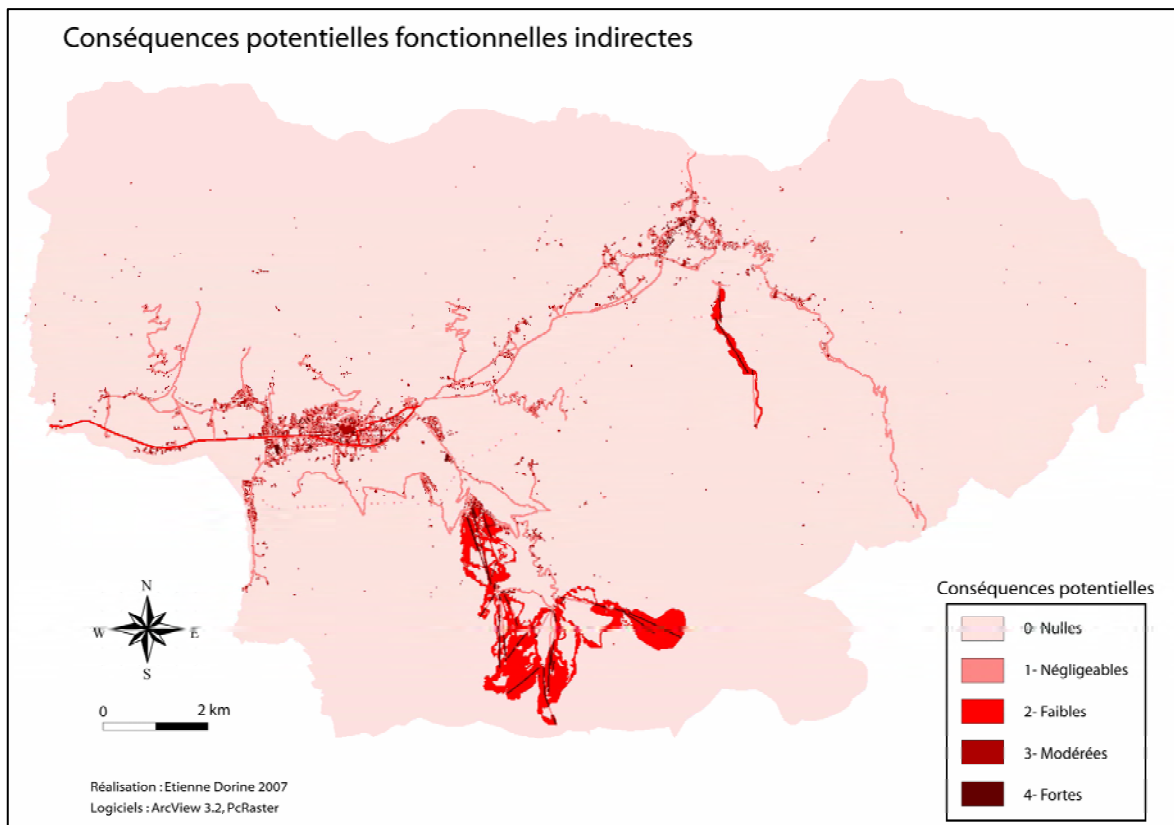
▪ Pouvez-vous localiser sur le fond de carte ?

- l'endroit où vous habitez
- le glissement de la Valette
- le glissement de Poche
- le torrent de Faucon
- le torrent du Riou Bourdoux

**Annexe 6 : Carte des conséquences potentielles corporelles à l'échelle régionale**



**Annexe 7 : Carte des conséquences potentielles fonctionnelles indirectes à l'échelle régionale**





## Annexe 8 : Hiérarchie des éléments exposés pour l'application au niveau local

### Hiérarchie des éléments exposés - échelle locale

Structurels		Fonctionnels directs		Fonctionnels indirects		Corporels	
<b>Utilisation du sol</b> <b>1</b>		<b>Utilisation du sol</b> <b>1</b>		<b>Réseaux</b> <b>1</b>		<b>Réseaux</b> <b>1</b>	
Cultures	100	Cultures	100	Route principale	100	Route principale	100
Prairies-pâtures	70	Prairies-pâtures	70	Route secondaire	40	Route secondaire	40
Forêt	30	Forêt	50	Route locale	20	Route locale	20
Pelouse alpine	20	Pelouse alpine	10	Piste-chemin	0	Piste-chemin	1
Eau	10	Eau	10				
Roches	10	Roches	0				
<b>Réseaux</b> <b>2</b>		<b>Réseaux</b> <b>2</b>		<b>Fonction des bâtiments</b> <b>1</b>		<b>Fonction des bâtiments</b> <b>1</b>	
Route principale	100	Route principale	100	Education	100	Education	100
Route secondaire	40	Route secondaire	40	Secours	95	Secours	95
Route locale	20	Route locale	20	Commerciale/industrielle	90	Commerciale/industrielle	90
Piste-chemin	1	Piste-chemin	1	Loisirs	90	Loisirs	90
				Hébergement collectif	90	Hébergement collectif	90
				Hébergement individuel	80	Hébergement individuel	80
				Administrative	60	Administrative	60
				Agricole	50	Agricole	50
				Religieuse	20	Religieuse	20
				Autres	10	Autres	10
<b>Type de bâtiments</b> <b>1</b>		<b>Fonction des bâtiments</b> <b>2</b>				<b>Type de bâtiments</b> <b>1</b>	
Maison	100	Education	100			Maison	100
Immeuble	100	Secours	95			Immeuble	100
Camping	80	Commerciale/industrielle	90			Camping	80
Monument	80	Loisirs	90			Monument	80
Cimetière	70	Hébergement collectif	90			Cimetière	70
Aire loisirs	60	Hébergement individuel	80			Aire loisirs	60
Hangar	40	Administrative	60			Hangar	40
Cabane	10	Agricole	50			Cabane	10
Autres	10	Religieuse	20			Autres	10
<b>Détails bâtiments</b>		Autres				<b>Détails bâtiments</b>	
Nombre d'étages	x		10			Nombre d'étages	x
Etat *	indice					Etat *	indice
<b>Ouvrages</b> <b>1</b>							
Pont	100						
Seuil	80						
<b>Détails ouvrages</b>							
Hauteur-Largeur seuil	indice						
Etat seuil *	indice						

\*Etat: Bon - 1  
Moyen - 2  
Mauvais - 3  
Ruine - 1

Structurels = Occupation du sol + (Routes \* 2) + (Type de bâtiment \* étage \* état) / 3 + (Ouvrages \* indice hauteur \* état) / 3

Fonctionnels = Occupation du sol + (Routes \* 2) + (Fonction du bâtiment \* 2)

Fonctionnels indirects = Routes + Fonction du bâtiment

Corporels = Routes + (Type de bâtiment \* étage \* état \* Fonction du bâtiment) / 100

## **Evaluation quantitative et cartographie du risque "glissement de terrain" Application au bassin de Barcelonnette - Alpes de Haute Provence - France**

La plupart des approches d'évaluation des conséquences potentielles liées aux glissements de terrain sont difficiles à appliquer en pratique, notamment en raison d'un manque de données historiques sur les dommages observés ou sur les fonctions d'endommagement.

Ce mémoire présente une tentative d'évaluation quantitative des conséquences potentielles. La méthode propose une intégration de données quantitatives pour aboutir à une cartographie des conséquences potentielles puis du risque.

Dans un premier temps, des indices devant permettre la réalisation d'une méthode reproductible, modifiable et adaptable dans le temps et l'espace sont intégrés. Le profil socio-économique de la région, la période d'occurrence du phénomène ainsi que la perception sociale des habitants sont pris en compte.

Dans un second temps, une application au bassin de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence - France) est réalisée. Deux types d'aléas sont considérés : les glissements de versant à l'échelle régionale et les laves torrentielles à l'échelle locale.

**Mots clés :** glissement de terrain, données quantitatives, conséquences potentielles, risque, cartographie, bassin de Barcelonnette.

## **Quantitative assessment and landslide risk mapping Barcelonnette basin - Southern French Alps**

Most of landslide potential consequences approaches are difficult to apply in practice, mainly because of the lack of valuable data on the historical damages or the lack of landslide damage functions.

This report presents an attempt of quantitative potential consequences assessment. The method proposes an integration of quantitative data to end in a landslide potential consequences and risk mapping.

Firstly, a reproducible, modifiable and adaptable method is realised thanks to relative index. The socioeconomic profile of the region, the period of landslide occurrence and the social perception of the inhabitants are considered.

Secondly, the methodology is applied in the Barcelonnette basin (French South Alps). Two hazards are considered: landslides in a regional approach and debris flows in a local approach.

**Key words:** landslide, quantitative data, potential consequences, risk, mapping, Barcelonnette basin.