

Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation

Rapport final
BRGM/RP-57471-FR
septembre 2009

Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation

Rapport final

BRGM/RP-57471-FR
septembre 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009

E. FOERSTER

Vérificateur :

Nom : SEDAN-MIEGEMOLLE Olivier

Date :

Signature :

Approbateur :

Nom : MODARESSI Hormoz

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.



Mots clés : Vulnérabilité physique, Vulnérabilité socio-économique, Vulnérabilité territoriale, Risque, Concepts

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

E. Foerster (2009) – « Vulnérabilité : état de l'art sur les concepts et méthodologies d'évaluation », RP-57471-FR, 32p, 3 illustrations, 7 tableaux.

Synthèse

Dans le cadre de l'action II.10 (« Assistance au programme de travail sur la réduction de la vulnérabilité ») de la Convention MEEDDAT-BRGM n° 0005731, la présente étude vise à faire la synthèse des principaux concepts et méthodologies relatifs la vulnérabilité des systèmes physiques, socio-économiques et territoriaux, à partir des résultats de recherches récentes réalisées notamment dans le cadre des projets européens du FP6 et FP7 (ex : projets européens FP7 ENSURE et MOVE, 2008-2011).

Le premier chapitre récapitule les divers concepts et terminologies que l'on trouve dans la littérature pour définir la vulnérabilité, en déclinant selon 3 dimensions principales : celle des systèmes physiques (au sens des systèmes structurels et des écosystèmes), pour laquelle nous indiquons la différence conceptuelle majeure entre les communautés des Risques Naturels et des « Changements Climatiques » ; celle des systèmes socio-économiques et enfin, celle des systèmes territoriaux qui peut être vue comme un lien possible entre les deux dimensions précédentes, du fait qu'elle permet d'intégrer les interactions entre la société et l'environnement physique au sein d'un contexte géographique particulier.

Le second chapitre, qui ne vise pas à l'exhaustivité, présente des éléments de synthèse sur un certain nombre de méthodologies représentatives qui sont utilisées en pratique pour l'évaluation des diverses dimensions de la vulnérabilité. Dans cette synthèse, nous avons choisi de présenter plus en détails les concepts et méthodologies utilisés au niveau de l'évaluation de la vulnérabilité des systèmes socio-économiques et territoriaux, du fait qu'ils sont moins connus en pratique, car plus récents, et que les définitions de la vulnérabilité sont multiples et encore sujettes à débat. Néanmoins, on constate que le nombre de méthodologies utilisées in fine pour l'évaluation pratique est relativement faible.

Sommaire

1. Introduction	7
1.1. DIVERSES ECOLES DE PENSEES POUR LE RISQUE.....	7
1.2. GENERALITES SUR LA VULNERABILITE.....	9
2. Concepts et définitions relatifs à la Vulnérabilité	11
2.1. CAS DES SYSTEMES PHYSIQUES.....	11
2.2. CAS DES SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES	12
2.3. CAS DES SYSTEMES TERRITORIAUX.....	16
2.3.1. Concepts généraux	16
2.3.2. Exemples de développements	17
a) Le Projet ESPON Hazards (2005).....	17
b) La vulnérabilité des systèmes territoriaux face aux sécheresses.....	17
c) La vulnérabilité des systèmes territoriaux face aux feux de forêt.....	18
3. Méthodologies d'évaluation de la Vulnérabilité	19
3.1. INTRODUCTION	19
3.2. METHODOLOGIES POUR LES SYSTEMES PHYSIQUES	19
3.3. METHODOLOGIES POUR LES SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES ET TERRITORIAUX.....	23
4. Conclusion	29
5. Bibliographie	31

Liste des illustrations

illustration 1 – Le Risque comme processus dynamique, augmentant avec le temps, en fonction de divers mécanismes sociaux (Villagrán De León, 2006).....	7
---	---

illustration 2 - Schéma représentant l'intégration des différents types de vulnérabilités au niveau temporel et spatial (adapté du projet FP7 ENSURE). 10

illustration 3 – Le modèle PAR (extrait de Villagrán De León, 2006). 27

Liste des tableaux

Tableau 1- Concepts et définitions relatifs à la vulnérabilité socio-économique (adapté de FP7 ENSURE Del1.1.3, 2009) 12

Tableau 2- Paramètres d'entrée pour l'évaluation de la vulnérabilité physique, selon l'échelle spatiale et l'aléa considérés. 21

Tableau 3- Méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité physique (séismes, inondations, mouvements de terrains, volcans). 22

Tableau 4 – Quelques facteurs primaires influant sur la vulnérabilité sociale (d'après Cutter et al. 2003)..... 24

Tableau 5 - Méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité économique (adapté de FP7 ENSURE Del1.1.3, 2009). 25

Tableau 6 – Indicateurs critiques de vulnérabilité pour les aléas sismiques, inondations et cycloniques (adapté de FP7 ENSURE Del1.1.2, 2009). 28

Tableau 7 – Indicateurs pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle municipale (Hahn, 2003). 28

1. Introduction

1.1. DIVERSES ECOLES DE PENSEES POUR LE RISQUE

Les termes de Vulnérabilité et de Risque recourent une large gamme de définitions possibles, qui dépend essentiellement de l'« objet » sur lequel porte l'analyse (ex : bâtiment isolé ou groupe ? infrastructures ? personnes ? système ? etc.). Il n'y a pas à l'heure actuelle de réel consensus sur la manière de mesurer et de combiner les composantes intrinsèques du Risque, mais quel que soit le modèle adopté pour l'évaluation, le résultat devrait être le même au final : le Risque doit exprimer la probabilité de conséquences nuisibles ou de pertes attendues (victimes, propriété, revenus, perturbations de l'activité économique, dommages à l'environnement) résultant de l'interaction entre la survenue d'aléas naturels ou anthropiques et des conditions vulnérables (ISDR, 2004).

Globalement, le Risque est associé à un processus dynamique dans le temps (cf. illustration 1), que l'on peut évaluer en convoluant essentiellement deux composantes principales :

- l'Aléa, qui représente la probabilité d'occurrence d'un évènement particulier (naturel ou technique) avec une fréquence donnée (période de retour) ou pendant une période de temps et dans un espace géographique donnés ;
- la Vulnérabilité, qui représente la prédisposition d'un ou plusieurs éléments exposés ou enjeux (bâtiments, infrastructures, personnes, services, processus, organisations, etc.) à être affectés, endommagés ou détruits du fait de la survenue de cet évènement.



illustration 1 – Le Risque comme processus dynamique, augmentant avec le temps, en fonction de divers mécanismes sociaux (Villagrán De León, 2006)

Des publications récentes introduisent des notions supplémentaires, telles que la capacité d'adaptation, l'exposition (valeur globale des éléments menacés dans un système territorial donné), les déficiences en termes de préparation, le manque de résilience, etc.

Ci-après, nous rappelons quelques définitions utilisées en pratique pour l'évaluation du Risque :

- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR, 2004) :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}$$

- United Nations Disaster Relief Organization (UNDRO, 1979; Dilley *et al.*, 2005) :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition}$$

Cette définition peut-être adaptée pour inclure des notions socio-économiques, comme dans le cas d'un projet réalisé par la Chambre Technique de Grèce (1999-2005) qui avait pour but de proposer une stratégie à l'échelle nationale pour le renforcement des bâtiments existants face au risque sismique :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition} \times k$$

où **k** est un coefficient exprimant la densité de population et la signification socio-économique de la fonction des bâtiments.

Dans une seconde phase du même projet, une autre définition a également été utilisée :

$$\text{Risque} = (\text{Aléa} - \text{Action de Renforcement}) \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition} \times (\text{facteur d'ajustement des dommages aux coûts})$$

- Pour Alexander (2002), le Risque représente la probabilité que certains éléments donnés puissent supporter un niveau de perte spécifique du fait d'un niveau d'aléa donné, tandis que le Risque Total représente la somme des victimes, dommages et pertes prévisibles :

$$\text{Risque Total} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times (\Sigma \text{ éléments menacés})$$

- Villagrán De León (2001) :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Défauts de Préparation}$$

où le terme « Défauts de Préparation » fait référence aux conditions préexistantes qui empêche une institution, une communauté, une société ou un pays de répondre d'une façon effective et adaptée lorsqu'un évènement déclenche une catastrophe, afin d'en minimiser les impacts, en particulier en termes de pertes en vies humaines.

- Hahn (2003) :

$$\text{Risque} = \text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition} - \text{Capacité d'adaptation}$$

- Définition utilisée par de nombreuses organisations (cf. Villagrán De León, 2006) :

$$\text{Risque} = (\text{Aléa} \times \text{Vulnérabilité}) / \text{Capacité d'adaptation}$$

Dans ces deux cas, le terme de « Capacité d'adaptation » fait référence aux moyens par lesquels les populations ou organisations utilisent les ressources et capacités disponibles pour faire face et/ou s'adapter aux conséquences défavorables d'une catastrophe.

Quelle que soit la définition adoptée pour le Risque, elle doit inclure les effets corrélatifs potentiels (ex : impacts socio-économiques sur l'emploi, la production, etc.) ou en cascade (feu et explosions, présence d'industries dangereuses pouvant être impactées par une catastrophe naturelle, effondrement de barrages, etc.), ainsi que la dimension humaine ou sociale, au travers de l'analyse des facteurs de vulnérabilité (démographie, organisation sociale/politique, éducation, aspects culturels). De ce fait, l'évaluation du risque nécessite la mise en place d'une approche multidisciplinaire, afin de tenir compte non seulement des impacts physiques, mais également de facteurs moins quantifiables, tels que les facteurs sociaux, environnementaux, organisationnels et institutionnels.

1.2. GENERALITES SUR LA VULNERABILITE

Au niveau des sciences « dures » relatives aux Risques Naturels, l'accent est essentiellement mis sur l'évaluation des aléas et de leurs impacts, tandis que le rôle joué (favorable ou non) par les systèmes humains sur les conséquences est généralement ignoré. Comme le système humain est considéré comme un élément passif au niveau de l'estimation de la vulnérabilité, l'affinité entre les concepts de vulnérabilité, fragilité et pertes est pertinente (partie intégrante de l'étude d'impacts). En conséquence, la vulnérabilité est représentée par une fonction (appelée indifféremment fonction de vulnérabilité ou de fragilité) qui permet de quantifier la probabilité d'atteindre ou d'excéder un état de dommages (ou niveau de pertes) donné, suivant le type et l'intensité de l'agression (aléa), pour différentes classes (caractéristiques) d'éléments menacés.

En revanche, les sciences sociales mettent le système humain au centre du concept de vulnérabilité, ce dernier étant dans ce cas, relié à la gestion des divers risques auxquels la société est confrontée : la pauvreté, les pertes (vie humaine/santé), l'insécurité alimentaire, les effets des catastrophes naturelles et anthropiques, les changements climatiques et écologiques, etc. De ce fait, les recherches sur la vulnérabilité dans ce domaine, s'efforcent de répondre avant tout à la question : « Vulnérable à quoi ? ». Par ailleurs, la capacité pour une société ou des individus, à faire face et/ou à s'adapter en cas d'impact d'un événement naturel, constitue une composante clé pour l'évaluation de la vulnérabilité sociale. De ce fait, contrairement

aux sciences « dures », l'accent est mis sur la recherche des indicateurs structurels sous-jacents au système étudié, qui peuvent contribuer à réduire cette capacité, plutôt que les conséquences défavorables de l'évènement lui-même sur le système.

Néanmoins, un lien peut-être fait entre ces deux visions par l'intermédiaire du concept de vulnérabilité territoriale (ou géographique), du fait qu'il intègre les interactions entre la société et l'environnement physique, selon l'intensité de l'agression (aléa) considérée et pour un contexte géographique particulier (cf. illustration 2).

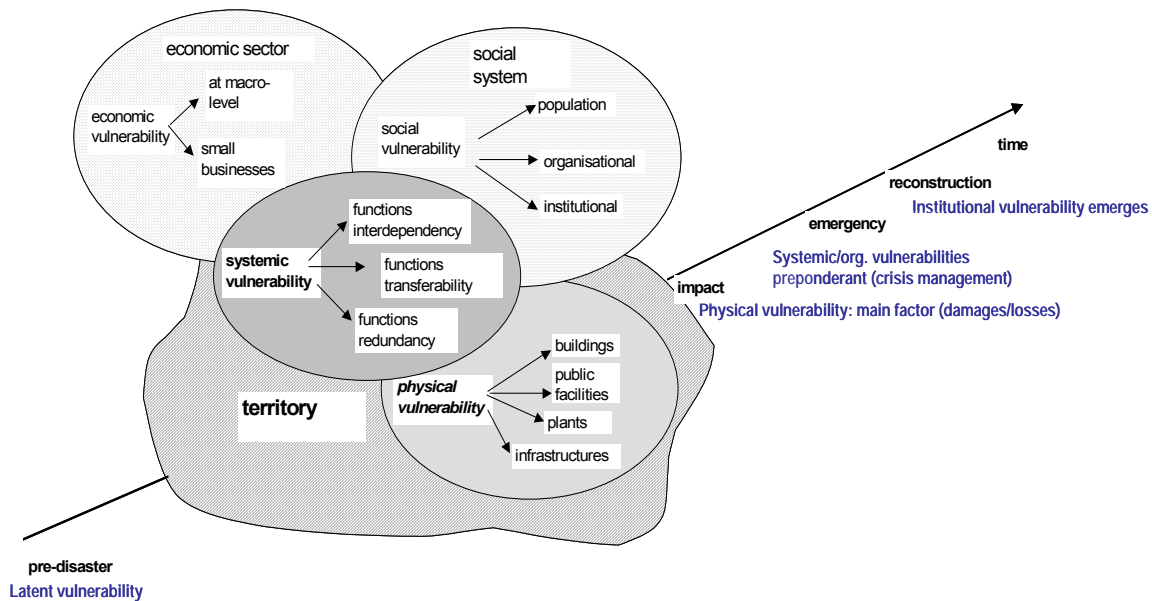


illustration 2 - Schéma représentant l'intégration des différents types de vulnérabilités au niveau temporel et spatial (adapté du projet FP7 ENSURE).

Dans la suite de ce rapport, nous présentons tout d'abord, les concepts et définitions de la vulnérabilité déclinés selon ces différentes visions, et enfin une synthèse des méthodologies d'évaluation en découlant.

2. Concepts et définitions relatifs à la Vulnérabilité

Ce chapitre vise à faire la synthèse des principaux concepts et définitions que l'on trouve dans la littérature pour la vulnérabilité des systèmes physiques, socio-économiques et territoriaux. La notion de systèmes physiques regroupe ici à la fois les systèmes structurels (bâtiments, infrastructures de transport, aménagements hydrauliques, etc.) et les écosystèmes.

Nous précisons que nous avons choisi de mettre l'accent sur les dimensions socio-économiques et territoriales de la vulnérabilité, du fait que les concepts et méthodologies sont moins connus en pratique, car plus récents, et que les définitions sont multiples et encore sujettes à débat. Le cas des systèmes physiques est rappelé ici pour mémoire. Pour plus de détails sur les notions présentées ci-après, nous renvoyons le lecteur notamment aux livrables du projet européen ENSURE (2008-2011), disponibles sur le site du projet (<http://www.ensureproject.eu>), et qui visent à faire un état de l'art complet sur les différents concepts et méthodologies utilisés actuellement pour évaluer les dimensions physiques, socio-économiques et territoriales de la vulnérabilité (cf. FP7 ENSURE, 2009).

2.1. CAS DES SYSTEMES PHYSIQUES

Au niveau de la communauté des Risques Naturels, la vulnérabilité représente le degré de perte/dommage potentiel/fragilité d'un élément ou groupe d'éléments menacés, à l'intérieur d'une zone affectée par un aléa d'intensité ou niveau donné (ex : ISSMGE-TC32, 2004).

Elle est mesurée selon une échelle allant de 0 (pas de pertes/dommages) à 1 (maximum de pertes/dommages). Cette approche fait référence à la vulnérabilité *technique* ou *physique*, car elle traduit les interactions physiques entre l'agression potentiellement destructrice et les éléments exposés de l'environnement physique (bâtiments, industries, infrastructures, tissu urbain, etc.). De plus, les méthodologies utilisées pour évaluer ce type de vulnérabilité, dépendent fortement de l'échelle d'observation et de résolution :

- A l'échelle régionale/territoriale (1:5000-1:50000), l'analyse inclut les éléments stratégiques, tels que les routes, industries, équipements publics, parc immobilier, mais doit également tenir compte de facteurs « indirects » (socio-économiques), telles que l'âge des bâtiments, les indices d'occupation de sites, les conditions sociales de la population, la concentration illégale de bâtiments, etc., ces facteurs étant en pratique difficiles à prendre en compte.

- A l'échelle locale/urbaine (1:500-1:5000), l'analyse inclut le tissu urbain, les regroupements de bâtiments (résidentiels ou non), ainsi que l'analyse détaillée des équipements stratégiques.

Ce concept de vulnérabilité permet de traduire un niveau estimé d'aléa en un niveau de Risque. Cependant, contrairement aux étapes d'analyse de l'aléa et des éléments exposés, qui tendent à être similaires pour les différents phénomènes naturels, les étapes relatives à l'évaluation de la vulnérabilité et la convolution des composantes de l'Aléa et de la Vulnérabilité pour estimer le Risque (étapes constituant le scénario), peuvent différer notablement entre les différents aléas.

Pour la communauté des « Changements Climatiques » (CC), la vulnérabilité est une fonction de la nature, de l'intensité, de la vitesse et de la variation du changement climatique, auquel un système est exposé, ainsi que de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation. Elle traduit donc l'ampleur des effets défavorables en lien avec les CC (y compris les variations et extrêmes climatiques), pouvant affecter un système, ainsi que son incapacité éventuelle à y faire face (IPCC, 2007). Cette définition ne permet pas une séparation claire entre le concept de vulnérabilité et la définition de l'aléa, contrairement à la vision prévalant dans la communauté des Risques Naturels.

2.2. CAS DES SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES

Contrairement à la vision très technique de la vulnérabilité, les sciences sociales mettent le système humain au centre du concept de vulnérabilité. Les notions de vulnérabilité, résilience et capacités d'adaptation ayant gagné en importance, les recherches visent essentiellement à déterminer les facteurs sociaux, économiques, politiques et culturels pouvant accompagner la dimension physique des catastrophes.

Ci-après, le Tableau 1 récapitule les différents concepts et définitions relatifs aux vulnérabilités sociale et économique, ainsi que les références associées.

Tableau 1- Concepts et définitions relatifs à la vulnérabilité socio-économique (adapté de FP7 ENSURE Del1.1.3, 2009)

Concept	Définition(s)	Références possibles
Adaptabilité	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aptitude à mobiliser les moyens opérationnels nécessaires pour protéger des pays, des communautés ou des activités contre les probables perturbation et endommagement induits par la survenue d'aléas donnés 2. Capacité des acteurs d'un système à influencer sur ou gouverner la résilience face à l'incertain et l'inattendu 3. Capacité d'apprendre à partir d'expériences passées et flexibilité au changement. 	<p>www.klimaatvoorzijde.nl Government Office for London, 2005</p> <p>Walker et al., 2004 Folke et al., 2004</p> <p>Godshalk, 2003</p>
Capacité d'adaptation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aptitude ou capacité d'un système à modifier ou changer ses caractéristiques ou comportement, afin de mieux faire face à des agressions externes existantes ou 	Adger et al., 2004

	<p>anticipées. La capacité d'adaptation représente le potentiel plutôt que l'adaptation effective.</p> <p>2. Les moyens, ressources disponibles et aptitudes mobilisés par les populations et organisations pour faire face aux conséquences défavorables d'une catastrophe</p>	<p>www.klimaatvoorruijme.nl</p>
Capital social	<p>Relations personnelles potentielles et effectives d'un individu ou d'un groupe d'individus, et ressources pouvant être mobilisées via ce type de réseaux.</p>	<p>Adger, 2000</p>
Capacité « tampon »	<p>Aptitude d'une société à minimiser la modification d'une ou plusieurs de ses fonctions essentielles suite à une perturbation intervenant au niveau de ses ressources disponibles (biens et/ou services)</p>	<p>http://pdm.medicine.wisc.edu/Guidelines/Chapter3.pdf</p>
Exposition	<p>1. Une mesure de la population humaine, de l'aménagement du territoire et des investissements situés en zones d'aléa</p> <p>2. Les caractéristiques quantitatives et qualitatives de divers types de biens, systèmes et être vivants pouvant être affectées par un aléa naturel</p>	<p>Parker, 2000 (28/9)</p> <p>FP7 Move</p>
Fragilité	<p>Une condition de faiblesse au niveau des structures économiques ou sociales conduisant à un manque de robustesse et de vulnérabilité</p>	<p>Non identifiée</p>
Impacts sociaux	<p>« [...] conséquences pour les individus de toute intervention publique ou privée qui change leur façon de vivre, de travailler, de jouer, de communiquer avec autrui, de s'organiser pour faire face à leurs besoins et de s'assumer en général comme membres de la société. L'expression désigne aussi les impacts culturels qui induisent des altérations des normes, des valeurs et des convictions qui guident et rationalisent leur connaissance d'eux-mêmes et de la société. »</p>	<p>ProVention Consortium, 2007</p>
Redondance	<p>1. Moyens mis en œuvre pour augmenter la résilience d'un système face à une perturbation, en reproduisant (en double, triple, etc.) les composantes et liens de manière à disposer d'une capacité de secours, en cas d'endommagement (rupture, destruction, etc.) d'un de ces liens ou composantes. Le concept de 'diversité' est très lié (écologie)</p> <p>2. Disponibilité d'éléments ou systèmes de substitution pouvant être activés quand des perturbations surviennent.</p>	<p>Van der Veen and Logtmeijer, 2005 Bočkarjova, 2007 (#57)</p> <p>Bruneau et al., 2003</p>
Résilience (sociale, économique)	<p>1. Aptitude d'un système, d'une communauté, d'une société, d'un système de protection à réagir et à récupérer des suites d'un événement dommageable.</p>	<p>Floodsite, 2005</p>

	<p>2. Capacité d'une communauté ou société potentiellement exposée à des aléas, à s'adapter, en résistant ou en se transformant, afin d'atteindre et de maintenir une structure et un niveau acceptable de fonctionnement. Elle est déterminée par le degré d'organisation que le système social est capable d'atteindre à partir des leçons de catastrophes passées (augmentation de sa capacité) pour améliorer la protection future, ainsi que les mesures de réduction du risque.</p> <p>3. Capacité de renouvellement, réorganisation et de développement</p> <p>4. Aptitude d'un pays à faire face ou à résister à sa vulnérabilité intrinsèque, du fait d'une politique économique délibérée</p> <p>5. Caractéristiques inhérentes, permanents à quasi-permanentes d'un pays, qui l'exposent de manière importante à des forces économiques incontrôlables</p>	<p>Floodsite, 2005; Rose, 2007</p> <p>Folke, 2006</p> <p>Briguglio & Galea, 2003 Rose, 2007</p> <p>Briguglio & Galea, 2003</p>
Résistance	<p>1. Le degré auquel une communauté, une économie ou une activité économique est capable de résister aux forces défavorables qu'elle subit suite à une catastrophe</p> <p>2. Une économie conçue et construite pour minimiser les impacts de catastrophes pouvant la toucher</p> <p>Les mesures de résistance présentent un caractère passif, tandis que celles de résilience sous-entendent une réponse proactive.</p>	<p>Non identifiée</p> <p>www.training.fema.gov/EMIWeb/EMICourses/E464CM/01 Unit 1.pdf</p>
Robustesse	<p>1. Aptitude d'un système à continuer à fonctionner correctement sous contraintes, par exemple du fait de catastrophes naturelles</p> <p>2. Aptitude des éléments, systèmes et autres unités d'analyse à résister à un niveau donné de contraintes ou de demande, sans souffrir de dégradation ou de perte de fonction. La robustesse est considérée comme l'aboutissement des mesures favorisant la résilience.</p>	<p>www.klimaatvoorruijnt.nl</p> <p>Bruneau et al., 2003</p>
Susceptibilité	<p>Probabilité pour un système d'être sérieusement endommagé et/ou perturbé, ou affecté de manière défavorable</p>	<p>Birkmann, 2006 ; Cardona et al., 2005</p>
Transférabilité économique	<p>Aptitude d'une activité à répondre à une menace perturbatrice, en surmontant sa dépendance, soit par un report dans le temps, l'utilisation de substituts ou la délocalisation</p>	<p>Parker et al., 1987 (16) Van der Veen & Logtmeijer, 2005</p>
Vulnérabilité sociale	<p>1. Susceptibilité de groupes sociaux à subir des pertes potentielles du fait d'un aléa naturel ou résistance et résilience de la société face à un aléa.</p> <p>2. Caractéristiques d'un individu ou d'un groupe, ainsi que situation, pouvant influencer sur leur capacité à anticiper, faire face,</p>	<p>Blaikie et al., 1994; Hewitt, 1997</p>

2.3. CAS DES SYSTEMES TERRITORIAUX

2.3.1. Concepts généraux

Le concept de vulnérabilité territoriale reflète la propension d'un système à subir des pertes au niveau d'entités géographiques complexes, du fait d'une agression ou stress (aléa). Pour la communauté CC, cette propension inclut la génération des expositions et des nouveaux aléas par ces entités elles-mêmes. Au niveau de la terminologie, on parle également de vulnérabilité géographique, urbaine, régionale, etc.

Par entités géographiques complexes, on entend toutes les micro-unités et macrostructures de nature physique, sociale, économique, culturelle, organisationnelle, institutionnelle regroupées au sein d'un même territoire. La vulnérabilité territoriale dénote donc à la fois la susceptibilité du système à subir des pertes au niveau des éléments mentionnés, mais également leurs interconnexions et couplages éventuels.

Trois écoles de pensées principales peuvent être distinguées au niveau de la conceptualisation et de l'évaluation de la vulnérabilité (Fussel & Klein, 2006) :

- 1) La première s'inscrit dans la logique ou le cadre méthodologique de type « Risque-Aléa » et est caractéristique de la littérature technique sur la gestion du Risque (catastrophes) : la vulnérabilité est conceptualisée comme étant la relation exposition-réponse entre un Aléa exogène affectant un système et les effets défavorables en découlant (ex : UNDHA, 1993 ; Dilley & Boudreau, 2001). Dans cette vision, **l'exposition constitue l'élément principal de la vulnérabilité.**
- 2) La seconde correspond au modèle du « Constructivisme social », prévalant en Géographie Humaine et Politique : la vulnérabilité (sociale) est vue comme une condition préexistante pour un foyer ou une communauté, relevant de facteurs uniquement d'origine socio-économique ou politique, et non pas biophysiques (ex : Adger & Kelly, 1999). La vulnérabilité (sociale) précède et il s'ensuit un haut degré d'exposition et une faible résistance. Dans cette vision, **l'exposition est une conséquence ou une implication de la vulnérabilité sociale qui est elle-même à l'origine des effets à la fois de l'exposition et de la catastrophe et est donc de fait, indépendante de l'aléa .**
- 3) La dernière est prédominante dans la communauté CC et chez les géographes : la vulnérabilité inclut à la fois une dimension externe, représentée par l'exposition d'un système, (par exemple aux variations climatiques), et une dimension interne, comprenant la sensibilité et la capacité d'adaptation du système face à des agressions externes (comme les extrêmes climatiques). Par exemple, le modèle proposé par Cutter (1996) considère d'une part la probabilité d'exposition (biophysique et/ou technologique) d'un système, d'autre part la probabilité de survenue de conséquences défavorables et enfin une combinaison des deux. Dans ce cas, l'exposition et la vulnérabilité sont deux

éléments indépendants qui interagissent par le biais d'un aléa pouvant induire des impacts défavorables et des pertes. **L'endroit géographique (zone urbaine, région, territoire) constitue donc l'élément principal de la vulnérabilité (et non pas l'aléa)**, dans lequel les composantes biophysiques, sociales et culturelles sont indissociables.

Quelle que soit l'école, cette notion de vulnérabilité peut permettre d'établir le lien entre les visions purement physique/technique et sociales, du fait qu'elle intègre les interactions entre la société et l'environnement physique, selon l'intensité de l'agression (aléa) considérée et pour un contexte géographique particulier. La composante exposition peut y être considérée comme un facteur externe, tandis que les autres composantes (capacité à faire face, capacité d'adaptation, sensibilité, résistance, résilience) sont considérées comme internes ou inhérentes aux facteurs territoriaux/communautaires relatifs à la vulnérabilité.

Ci-après, nous indiquons les concepts développés dans un certain nombre de projets récents sur le sujet.

2.3.2. Exemples de développements

a) Le Projet ESPON Hazards (2005)

Au niveau classification, ce projet appartiendrait à la troisième école de pensée vue précédemment. Il considère la vulnérabilité comme étant le degré de fragilité d'une personne, d'un groupe, d'une communauté ou d'une zone : c'est l'ensemble des conditions et processus résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques, environnementaux, qui augmentent la susceptibilité d'une communauté vis-à-vis de l'impact d'un événement dangereux dans une zone géographique spécifique. Le terme de vulnérabilité territorial n'est pas utilisé en tant que tel, mais plutôt celui de vulnérabilité régionale ou urbaine. Le projet ESPON Hazards considère le Potentiel de Dommages et la Capacité d'adaptation comme étant les composantes principales de la vulnérabilité :

Vulnérabilité Régionale = Potentiel de Dommages + Capacité d'adaptation

b) La vulnérabilité des systèmes territoriaux face aux sécheresses

La vulnérabilité est ici considérée sous l'angle de la théorie des systèmes complexes et correspond à l'inverse de la robustesse du système. Conceptuellement, un système S est vulnérable à une sécheresse donnée (SD), lorsque sa structure, ses paramètres et sa façon de fonctionner sont modifiés de manière qualitative au cours de SD et ne peuvent être restaurés par la suite. Il s'agit donc de déterminer tout d'abord l'impact d'une sécheresse sur un écosystème et ensuite d'en analyser les impacts en termes socio-économiques.

c) La vulnérabilité des systèmes territoriaux face aux feux de forêt

Deux visions co-existent dans ce domaine :

- La première est proche de celle de la vulnérabilité écologique et concerne les écosystèmes et espaces naturels : elle dénote la susceptibilité d'un écosystème à changer suite à un feu. Du fait de sa variabilité dans le temps, l'analyse est structurée en deux étapes : le court-terme (risque de dégradation des sols) et le moyen-terme (changements au niveau des plantes).
- La seconde s'apparente à une vulnérabilité rendant les systèmes humains et écologiques indissociables, et est proche de la notion d'unité de territoire telle que définie pour d'autres types d'aléas. La vulnérabilité ici peut être vue comme étant le degré de fragilité de sociétés organisées, de structures économiques, des cadres bâtis et des écosystèmes, par rapport à des conséquences négatives résultant de l'exposition à des événements dangereux tels que les feux de forêts. Dans ce cas, l'exposition correspond à un préalable pour que la vulnérabilité se manifeste.

3. Méthodologies d'évaluation de la Vulnérabilité

3.1. INTRODUCTION

Bien que les définitions de la vulnérabilité soient multiples et sujettes à débat, le nombre de méthodologies utilisées en pratique pour l'évaluation est relativement faible. Certains scientifiques et professionnels des sciences sociales affirment même qu'il est impossible d'établir une mesure de la vulnérabilité, et que seuls des indicateurs peuvent être utilisés pour la représenter. Cependant, un certain nombre d'approches méthodologiques sont mises en œuvre et testées à travers le monde, qui utilisent les données disponibles ou qui peuvent être acquises à cette fin.

Il est d'usage de classer les techniques permettant de fournir des données utilisables pour évaluer la vulnérabilité suivant la nature des enjeux (i.e. bâtiment isolé, tunnel, pont, ville, région, pays, etc.) et l'échelle spatiale ou la résolution souhaitées pour l'analyse : échelle urbaine/locale (1:500-1:5000) ou échelle régionale/ territoriale (1:5000-1:50000), analyse d'un groupe de bâtiments/réseaux ou d'un système territorial, etc. Certaines de ces techniques sont qualifiées de directes, car elles permettent de prédire effectivement les dommages potentiellement induits en cas de survenue d'un aléa, ou indirectes puisqu'elles déterminent à partir de diverses corrélations, un indice de vulnérabilité qui est fonction de l'agression (externe). De la même façon, les méthodologies d'évaluation utilisent soit des approches déterministes permettant in fine de quantifier des probabilités de dommage, ou des approches qui décrivent la vulnérabilité en termes qualitatifs (« faible », « modérée », « élevée »).

Ce chapitre ne vise pas à l'exhaustivité en termes de méthodologies utilisées en pratique pour l'évaluation des diverses dimensions de la vulnérabilité, mais tente plutôt de fournir des éléments de synthèse sur un certain nombre de méthodologies représentatives.

3.2. METHODOLOGIES POUR LES SYSTEMES PHYSIQUES

La méthodologie peut varier selon l'aléa naturel considéré et le choix dépend de la qualité et de la quantité des données disponibles. Pour les analyses à l'échelle locale/urbaine, il est courant d'établir en premier lieu, une typologie des éléments exposés et d'évaluer la vulnérabilité d'un élément représentatif par rapport à une intensité donnée (demande). La seconde étape consiste à attribuer de manière uniforme ou aléatoire, un indicateur de vulnérabilité, représenté par un indice (valeur numérique) ou une fonction de fragilité, à chaque groupe d'éléments de la typologie, permettant d'évaluer la vulnérabilité globale sur des secteurs géographiques plus larges (ex : quartier de ville, etc.).

La construction de fonctions de fragilité constitue généralement une étape clé de l'analyse, car elle permet de relier des probabilités d'atteindre ou dépasser des niveaux

de dommages donnés, suivant une intensité d'agression définie sous forme de valeurs scalaires (courbe de fragilité) ou vectorielles (surface de fragilité). La connaissance et la quantification des contraintes physiques pouvant affecter un système structurel sont donc essentielles pour l'évaluation de la vulnérabilité. La complexité de certains phénomènes naturels ou le nombre important de menaces potentielles pouvant en découler, rend cette étape cruciale parfois difficile à réaliser, et peut en partie expliquer le retard méthodologique actuel existant pour certains aléas naturels, tels que les volcans, ou mouvements de terrain.

Ci-après, les Tableau 2 et 3 récapitulent les principaux paramètres et méthodologies utilisés en pratique pour évaluer la vulnérabilité des systèmes structuraux, suivant différents aléas naturels fréquemment rencontrés en Europe (séismes, inondations, mouvements de terrains, volcans).

Tableau 2- Paramètres d'entrée pour l'évaluation de la vulnérabilité physique, selon l'échelle spatiale et l'aléa considérés.

Enjeux	Séismes		Inondations		Mouvements de terrains			Volcans		
	Echelle locale	régionale	locale	régionale	locale	régionale	Coulées de Laves	Tephra	Coulées Pyroclastiques	
Bâtiments	Déplacement / accélération au sol SD(T_0) ou SA(T_0)	PGA (g) EMS98	FD (m) FV (m/s)	FD (m) FD x FV (m^2/s)	Glissement : PGD (cm), distance à la crête Tassements: PGD (cm) Coulées boueuses: vitesses et profondeur de rupture (glissement) Eboulements : force d'impact	Intensité (fonction des volumes mobilisés, vitesses, profondeur de rupture, énergie)	Pression dynamique latérale	Epaisseur des éjectats (mm) ou charge (kPa) Taille des particules (mm), masse et température	Pression dynamique latérale /chargement Température de la coulée	
Routes	PGD (cm)		FD x FV (m^2/s)		PGD (cm)					
Pipelines	PGD (cm) Déformations axiales du sol	PGD (cm) PGV (cm/s)			PGD (cm) Déformations axiales du sol Impact de chutes de blocs rocheux pour les conduites surélevées	PGD (cm)				
Tunnels peu profonds	PGD (cm) en surface PGA (g)	-			-					

PGD: Déplacement permanent du sol; PGV/PGA: Pic de Vitesse/Accélération en surface; EMS98: Echelle d'intensité macro-sismique européenne; SD/SA: Déplacement ou Accélération Spectrale à la période propre T_0 de vibration de la structure; FD / FV: Hauteur (D) ou Vitesse (V) du Flot (inondation)

Tableau 3- Méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité physique (séismes, inondations, mouvements de terrains, volcans).

Enjeux	Séismes		Inondations		Mouvements de terrain		Volcans	
	Exposition	Vulnérabilité	Exposition	Vulnérabilité	Exposition	Vulnérabilité	Exposition	Vulnérabilité
Bâtiments	Nombre de bâtiments (spécial, stratégique publique, ordinaire, historique)	Echelle locale : Indice de vulnérabilité Courbes de fragilité (approche mécanique)	Nombre de bâtiments (résidentiels / non résidentiels) Élévation	Courbes de fragilité	Nombre de bâtiments (spécial, stratégique publique, ordinaire, historique), Fondations	Courbes de fragilité (encore rarement utilisées en pratique) Indice de vulnérabilité	Tephra : % Toits classés selon la géométrie (Inclinaison, portée) et les matériaux constitutifs	Coulées Pyroclastiques : Nombre de murs de bâtiments disposés face au cratère % d'ouvertures (bâtiments) classés selon la géométrie (taille) et les and matériaux (ouvertures vitrées, cadres de fenêtres) % matériaux inflammables
		Echelle régionale : Indice de vulnérabilité DPM Courbes de fragilité (approches statistiques/empiriques)						
Routes	Nombre de routes urbaines (2 voix)/ majeures (4 voix)	Courbes de fragilité (niveau de service)	Méthodologies essentiellement reliées aux usagers de la route (piétons, occupants et stabilité des véhicules)		Nombre de routes urbaines (2 voix)/ majeures (4 voix)	Courbes de fragilité (niveau de service)		
Pipelines	Km de pipelines	Courbes de fragilité (RR)			Km de pipelines	Courbes de fragilité (RR)		
Tunnels peu profonds	-	Courbes de fragilité (Indice de Dommage)						

DPM: Matrice de Probabilité de Dommages; RR: Ratio de Réparation (nombre de réparation par Km)

3.3. METHODOLOGIES POUR LES SYSTEMES SOCIO-ECONOMIQUES ET TERRITORIAUX

Du point de vue pratique, les méthodologies visent généralement à identifier un groupe de facteurs possibles à partir d'une liste globale, qui peuvent être utilisés pour estimer, surveiller et modifier la vulnérabilité, et qui devraient idéalement posséder les caractéristiques suivantes : 1) pouvoir expliquer en partie la variance sur la vulnérabilité ; 2) pouvoir être déterminés à partir de données accessibles en un temps limité et pour un coût faible voire nul (ex : données de recensement) et 3) pouvoir être influencés par les actions de communication sur le risque ou par l'adoption de mesures de protection, y compris celles pouvant limiter l'aléa ou ses conséquences.

Citons par exemple Polsky et al. (2003), qui dans le cadre du changement global, proposent une méthode en huit étapes pour évaluer la vulnérabilité à partir d'indicateurs :

1. Définir la zone d'étude en lien avec les parties prenantes ;
2. Prendre conscience de la zone d'étude et de ses contextes ;
3. Répondre à la question : « Qui est vulnérable à quoi ? » ;
4. Développer un modèle causal de vulnérabilité ;
5. Trouver des indicateurs pour les composantes de la vulnérabilité ;
6. Pondérer et combiner les indicateurs ;
7. Envisager la vulnérabilité future ;
8. Communiquer de manière « créative » sur la vulnérabilité.

Il existe un consensus au niveau de la communauté des Risques Naturels sur l'existence de facteurs primaires pouvant influencer sur la vulnérabilité sociale, mais il existe des différences notables quant au choix des variables représentatives et de leurs mesures. Quelques facteurs clés influant sur la vulnérabilité sociale sont récapitulés dans le Tableau 4. Par ailleurs, le Tableau 5 regroupe un certain nombre de méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité socio-économique, ainsi que les références associées. Enfin, un certain nombre d'indicateurs critiques de vulnérabilité pour les aléas sismiques, inondations et cycloniques sont présentés dans le Tableau 6, et les indicateurs proposés par Hahn (2003) pour évaluer la vulnérabilité à l'échelle d'une municipalité sont indiqués dans le Tableau 7.

Tableau 4 – Quelques facteurs primaires influant sur la vulnérabilité sociale (d'après Cutter et al. 2003)

Facteurs	Exemples
Manque d'accès aux ressources :	<p><i>Information</i> (ex: sur les aléas, action de protection, options de décision, etc.);</p> <p><i>Connaissance</i> (ex : existence de citoyens bien informés et préparés, compréhension des sources d'alerte (environnementale, informelle et formelle), perception, actions de prévention, réponse)</p> <p><i>Technologie</i> (ex: systèmes de communication pour l'alerte, tels que la radio, le téléphone cellulaire ou la télévision)</p>
Accès limité à :	Pouvoir politique et représentation
Manque de capital social :	Réseaux sociaux et relations
Croyances et coutumes :	Qui négligent ou ignorent les aléas ou leur prévention (ex : différences éthno-culturelles).
Parc immobilier et âge:	Nombre, densité et type de bâtiments et si leur date de construction est antérieure à la mise en place de réglementations significatives (conception, renforcement)
Individus frêles et physiquement limités :	Ceux qui ne peuvent se protéger ou demander une assistance extérieure pour le faire (ex : individus très jeunes ou âgés, malades, handicapés)
Type et densité des infrastructures et réseaux:	Zones urbaines / rurales

	<p>I_{ds} : indicateur lié à la structure démographique (ex : population dépendante et proportion d'actifs infectés par le virus HIV) ;</p> <p>I_{is} : indicateur de stabilité institutionnelle et de puissance des infrastructures publiques (ex : dépenses de santé par rapport au PNB ; nombre de téléphones par milliers d'habitants ; indice de corruption) ;</p> <p>I_{gi} : indicateur d'interconnectivité globale (ex : balance commerciale du pays) ;</p> <p>I_{nrd} : indicateur de dépendance vis-à-vis des ressources naturelles (pourcentage de population rurale au niveau national) ;</p> <p>Les poids ont été déterminés par un groupe d'experts. La plupart des données provenaient de sources internationales (Banque Mondiale, Agences des Nations-Unies, etc.).</p>	
Méthode SFVI (<i>Social Flood Vulnerability Index</i>)	<p>Méthode spécifiquement utilisée pour évaluer la vulnérabilité sociale vis-à-vis des inondations, à l'échelle locale. Les données utilisées pour déterminer l'indice proviennent du recensement récent effectué en Angleterre et au Pays de Galle. Le choix des données est conditionné par la nécessité de disposer de données à la fois (a) sur tout le territoire et (b) pour des zones géographiques restreintes.</p> <p>Le SFVI est un indice composite de type additif, basé sur les caractéristiques de 3 groupes sociaux (personnes âgées de 75 ans et plus ; parents isolés ; personnes en longue maladie) et de 4 indicateurs (pourcentages) de conditions financières défavorables : chômeurs (16 ans et plus), habitats surpeuplés (plus d'une personne par pièce d'habitation), foyers sans véhicule, foyers non propriétaires de leur habitation. Cinq intervalles de valeurs de SFVI sont ensuite définis, afin de pouvoir caractériser la vulnérabilité (1 : faible ; 5 : élevée). Le résultat final est présenté sous forme de cartes.</p>	Tapsell et al., 2002
Modèle DRI (<i>Disaster Risk Index</i>)	<p>La vulnérabilité humaine d'un pays vis-à-vis d'un aléa naturel donné (séisme, sécheresse, inondations et cyclones tropicaux) est calculée en divisant le nombre moyen de personnes tuées par an pour un aléa donné, par le nombre de personnes y étant exposées. La relation conceptuelle du Risque (nombre de pertes humaines) utilisée est donc la suivante :</p> $R = PhExp * Vul$ <p>où PhExp est l'exposition physique (fréquence et sévérité d'un aléa multiplié par la population exposée) et Vul, la vulnérabilité dépendant du contexte socio-politico-économique de la population considérée.</p>	UNDP-BCPR, 2004

	<p>Cette méthodologie repose sur une analyse statistique de multiples facteurs sociaux, économiques et environnementaux (cf. indicateurs de vulnérabilité dans le Tableau 6). Deux hypothèses principales sous-tendent cette analyse : 1) le risque peut être pris comme étant le nombre de victimes de sinistres passés ; 2) l'équation du modèle est de type multiplicative :</p> $K = C * PhExp^a * V_1^{a1} * V_2^{a2} * \dots * V_p^{ap}$ <p>où K est le nombre de tués ; C, une constante multiplicative ; V_i, les paramètres socio-économiques et a_i, un exposant associé à V_i (peut être négatif)</p>	
--	---	--

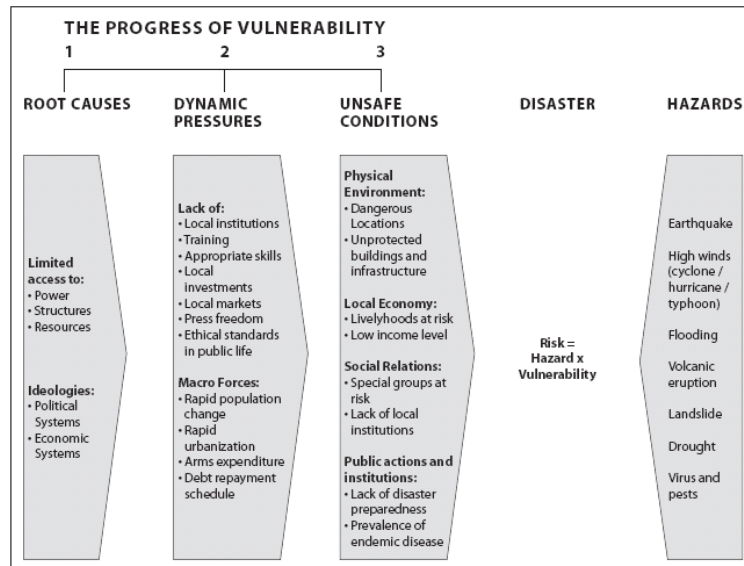


illustration 3 – Le modèle PAR (extrait de Villagrán De León, 2006).

Tableau 6 – Indicateurs critiques de vulnérabilité pour les aléas sismiques, inondations et cycloniques (adapté de FP7 ENSURE Del1.1.2, 2009).

Vulnérabilité	Indicateurs
Economique	PNB par habitant (parités du pouvoir d'achat)
	Service de la Dette (%d'exportations des biens et services)
	Inflation, prix des denrées alimentaires (% annuel)
	Chômage, total (% d'exportations des biens et services)
Type d'activités économiques	Terres arables (en milliers d'hectares)
	% Terres arables et cultures permanentes
	% de population urbaine
Dépendance et qualité de l'environnement	Forêts et surfaces boisées (en % des terres totales)
	Dégradation anthropiques des sols
Démographie	Croissance démographique
	Accroissement urbain
	Densité de population
	Pyramide des âges
Santé et état sanitaire	Nombre de médecins (par 1000 habitants)
	Nombre de lits d'hôpitaux
	Espérance de vie à la naissance (H/F)
Capacité d'alerte précoce	Nombre de radios (par 1000 habitants)
Education	Taux d'illettrisme
Développement	Indice de Développement Humain (HDI)

Tableau 7 – Indicateurs pour l'évaluation de la vulnérabilité à l'échelle municipale (Hahn, 2003)

Physiques/ Démographiques	Sociaux	Economiques	Environnementaux
Densité de population	Niveau de pauvreté	Ressources locales	Zone forestière
Pression démographique	Degré d'illettrisme	Diversification	Zones dégradées
Insécurité (quartiers, zones)	Attitude	Petites entreprises	Zone surexploitée
Accès aux services de base	Décentralisation	Accessibilité	
	Participation communautaire		

4. Conclusion

Les termes de Vulnérabilité et de Risque recourent une large gamme de définitions possibles et il n'y a pas à l'heure actuelle de réel consensus sur la manière de mesurer et de combiner les composantes intrinsèques du Risque. Néanmoins, quel que soit le modèle adopté pour l'évaluation, le résultat doit être le même au final : le Risque doit exprimer la probabilité de conséquences nuisibles ou de pertes attendues (victimes, propriété, revenus, perturbations de l'activité économique, dommages à l'environnement) résultant de l'interaction entre la survenue d'aléas naturels ou anthropiques et des conditions vulnérables (ISDR, 2004).

Dans cette étude, nous proposons une synthèse des divers concepts, terminologies et méthodologies relatifs à la notion de vulnérabilité, en déclinant selon 3 dimensions principales : celle des systèmes physiques (au sens des systèmes structurels et des écosystèmes), celle des systèmes socio-économiques et enfin, celle des systèmes territoriaux, qui permet d'intégrer les interactions entre la société et l'environnement physique au sein d'un contexte géographique particulier. Nous avons choisi de mettre l'accent sur les deux dernières dimensions de la vulnérabilité, du fait que les notions utilisées sont moins connues en pratique, car plus récentes, et que les définitions sont multiples et encore sujettes à débat. Le cas des systèmes physiques est rappelé ici pour mémoire.

En termes d'évaluation de la vulnérabilité, nous montrons que le nombre de méthodologies utilisées en pratique est relativement faible, si l'on considère la multiplicité des définitions et concepts relatifs à la vulnérabilité, et parfois le manque de consensus à ce sujet.

5. Bibliographie

- Adger, WN. and Kelly, M. (1999), *Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements*, *Mitig. Adapt. Strat. Global Change*, 4: 253–266.
- Adger, WN (2000), *Social and ecological resilience: are they related?*, *Progress in Human Geography*, 24(3): 347-364.
- Adger, WN., Brooks, N., Bentham, G., Agnew, M., Eriksen, S. (2004), *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*, Technical Report, Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich 7, (http://www.tyndall.ac.uk/theme3/final_reports/it1_11.pdf)
- Alexander, ED. (2002), *Principles of Emergency Planning and Management*, Oxford University Press, 340p.
- Birkmann, J. (2006), *Measuring vulnerability to natural hazards*, Towards disaster resilient societies, United Nations University Press.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1994), *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*, Routledge, New York.
- Bočkarjova, M. (2007), *Major disasters in modern economies: An input-output based approach at modelling imbalances and disproportions*, Enschede, Gildeprint BV.
- Briguglio, L., Galea, W. (2003), *Updating and Augmenting the Economic Vulnerability Index*, Occasional Paper, Malta: Islands and Small States Institute, University of Malta (www.um.edu.mt/data/assets/pdf_file/0012/44130/eviar_briguglio_galea_ver4.pdf).
- Bruneau, M., Chang, SE., Eguchi, RT., Lee, GC., O'Rourke, TD., Reinhorn, AM., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, WA., vonWinterfeldt, D. (2003), *A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities*, *Earthquake Spectra*, 19(4), (www.eng.buffalo.edu/~bruneau/EERI%202003%20Bruneau%20et%20al.pdf)
- Cardona, OD., Hurtado, JE., Duque, G., Moreno, A., Chardon, AC., Velasquez, LS., Prieto, SD. (2005), *System of indicators for disaster risk management: program for Latin America and the Caribbean: main technical report*, IDB/IDEA Program on Indicators for Disaster Risk Management, Universidad Nacional de Colombia, Manizales (www.manizales.unal.edu.co/)
- Chambers, R. (1983), *Rural Development: Putting the Last First*, Longman (ed.), London.

- Cutter, S.L. (1996), *Vulnerability to environmental hazards*, Progress in Human Geography, 20(4): 529-539.
- Cutter, S.L., Boruff, B., Shirley, W.L. (2003), *Social Vulnerability to Environmental Hazards*, Social Science Quarterly, 84(2): 242-261.
- Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M. (2005), *Natural Disaster Hotspots. A Global Risk Analysis*, World Bank, June 2005, pp. 1-133.
- Dilley, M. and Boudreau, T.E. (2001), *Coming to terms with vulnerability: A critique of the food security definition*, Food Policy, 26: 229–247.
- FLOODsite (2005), *Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies*, FP6 European Project (www.floodsite.net/default.htm).
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., (2004), *Regime shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management*, Annual Rev. Ecol. Evol. Syst., 35: 557-581.
- FP7 ENSURE (2009), *Work-Package 1: State-of-the art on vulnerability types: 'Del1.1.1: Methodologies to assess vulnerability of structural systems'; 'Del1.1.2: Methodologies to assess vulnerability of territorial systems: 1- the case of hydro-geological hazards; 2- the case of forest fire and drought; 3- Lessons learned and research windows opened by the State-of-the-art on territorial vulnerability'; 'Del1.1.3: Methodologies to assess vulnerability of socio-economic systems'*, FP7 European Project (<http://www.ensureproject.eu>).
- Fussler, H.M. and Klein, R.J.T. (2006), *Climate Change Vulnerability Assessment: An Evolution of Conceptual Thinking*, Climate Change, Vol. 75(3), pp. 301-329.
- Hahn, H. (2003), *Indicators and other instruments for local risk management for communities and local governments*, The German technical Cooperation Agency.
- Hewitt, K. (1997), *Regions of Risk: A Geographical Introduction to Disasters*, Longman, London.
- IAIA (2003), *Social Impact Assessment: International Principles*, International Association for Impact Assessment, Special Publication Series No. 2, May 2003. Fargo, ND, USA.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, 4th Assessment Report, Working Group II, Appendix I (www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm)
- ISDR (2004), *Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, International Strategy for Disaster Reduction, 23 Nov. 2004, www.unisdr.org.

- ISSMGE-TC32 (2004), *Glossary of Risk Assessment Terms*, International Society of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering/Technical Committee (TC32) on Risk Assessment and Management (www.engmath.dal.ca/tc32/index.html).
- Godshalk, DR. (2003), *Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient cities*, Natural Hazard Review, 4(3).
- Parker, DJ., Thompson, PM., Green, CH. (1987), *Urban flood protection benefits: a project appraisal guide*, Aldershot UK, Gower Technical Press.
- Parker, DJ. (2000), *Introduction to Floods and Flood Management*, Floods, IPDJ (ed.), London, Routledge, 1: 3-39.
- Polsky, C., Schröter, D., Patt ,A., Gaffin, S., Martello, ML., Neff, R., Pulsipher, A., Selin, H. (2003), *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach*, Research and Assessment Systems for Sustainability Program Discussion Paper 2003-5, Belfer Center for Science and International Affairs, Kennedy School of Government, Harvard University, Cambridge, Mass.
- ProVention Consortium (2007), *Tools for Mainstreaming Disaster Risk Reduction: Guidance Notes for Development Organisations - Guidance Note 11: Social Impact Assessment*, Geneva, (www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/tools_for_mainstreaming_GN11.pdf, www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/tools_for_mainstreaming_GN11-fr.pdf)
- Rose, A. (2007), *Economic resilience to natural and man-made disasters: Multidisciplinary origins and contextual dimensions*, Environmental Hazards 7(4): 383-398.
- Tapsell, SM., Penning-Rowsell, EC., Tunstall, SM., Wilson, T. (2002), *Vulnerability to flooding: health and social dimensions*, Phil. Trans. R. Soc. London, 360: 1511-1525.
- UNDHA (1993), *Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management*, DNA/93/36, United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva, Switzerland.
- UNDP-BCPR (2004), *A Global Report Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development*, UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York.
- UNDRO (1979), *Natural Disasters and Vulnerability Analysis*, In: Report of Expert Group Meeting, United Nations Disaster Relief Coordinator, 9-12 July 1979, Geneva: UNDRO, 49p.
- Van der Veen, A. & Logtmeijer, C. (2005), *Economic Hotspots: Visualizing Vulnerability to Flooding*, Natural Hazards 36(1): 65-80.

- Villagrán De León, J.C. (2001), *La Naturaleza de los Riesgos, un Enfoque Conceptual*, Serie: Aportes para el Desarrollo Sostenible, CIMDEN, Guatemala.
- Villagrán De León, J.C. (2006), *Vulnerability – A Conceptual and Methodological review*, United Nations University (UNU-EHS), Publication Series of UNU-EHS, No 4/2006.
- Vincent, K. (2004), *Creating an Index of Social Vulnerability to Climate Change in Africa*, Working Paper No. 56, Tyndal Centre for Climate Research, (www.tyndall.ac.uk/publications/working_papers/wp56.pdf).
- Walker, B., Holling, CS., Carpenter, SR., Kinzig, A. (2004), *Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems*, Ecology and Society 9(2): 5 (www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/)
- Weichselgartner, J. (2001), *Disaster mitigation: the concept of vulnerability revisited*, Disaster Prevention and Management, 10(2): 85-94.
- White, P., Pelling, M., Sen, K., Seddon, D., Russell, S., Few, R. (2005), *Disaster Risk Reduction - A Development Concern*. DFID report, England, 65 p.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I. (2004), *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*, 2nd edition, Routledge, London.



**Centre scientifique et technique
Service RNSC**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34