## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES RISQUES – ALEA VULNERABILITE – particulièrement sur les risques liés à l’inondation

On parle de « catastrophe » dans un contexte « réel » dans lequel les phénomènes se produisent vraiment (Dauphiné 2003; Richemond, Garry, et Veyret 2004; Léone, Meschinet de Richemond, et Vinet 2010). On parle de « risques » pour parler de la probabilité d’occurrence de ces phénomènes (Tobin 1997). La catastrophe est donc de l’ordre du réel et le risque de l’ordre du probable. On attribue classiquement la notion du risque comme étant le croisement entre deux autres notions, l’aléa et la vulnérabilité. L’aléa est la composante qui représente physiquement le phénomène catastrophique et la vulnérabilité est celle qui prend en compte les enjeux.

## Définition du risque et de ses composantes (Aléa / Vulnérabilité / Résilience)

### L’aléa

C’est une notion élémentaire mais difficile à quantifier. Il représente les caractéristiques d’un phénomène donné. Il se définit surtout par son intensité – on peut parler aussi de force ou de magnitude selon le type de l’Aléa – et sa probabilité d’occurrence (on parle aussi de fréquence ou de taux de retour). Il y a plusieurs types d’aléa selon leur origine comme les Tsunamis qui sont d’origine tectonique. Les aléas qui nous intéressent sont d’origine climatique. De par ce fait, ils sont affectés ces dernières années par de changements qui font actuellement l’objet de beaucoup de recherche. La définition même de ces changements climatiques ainsi que leurs causes sont encore sujet à débat dans la communauté scientifique.

Les aléas d’origine climatique, à cause de ce phénomène, sont susceptibles de changer de fréquence, d’intensité ou même de zone d’impact dans le futur. Les aléas pluie, tempêtes et inondations sont l’uns des plus complexes à étudier. Pourtant ils représentent la plus grosse partie des aléas dans le monde. Les inondations constituent la calamité naturelle la plus grave. Elles représentent environ 40% des cataclysmes. Ces aléas sont d’autant plus difficiles à quantifier puisqu’ils concernent des évènements extrêmes. (Embrechts, Klüppelberg, et Mikosch 1997) (Meylan, Favre, et Musy 2008)(Roche, Miquel, et Gaume 2012).

Dans certains cas et surtout dans les pays développées où on ne dispose pas des équipements nécessaire pour le suivi de ces phénomènes, voire même où aucune étude n’a encore jamais été faite, la caractérisation des aléas reste flou. Dans les régions les plus reculés, l’origine des aléas sont assimilés à des croyances et à des traditions qui écartent toute approche scientifique de la chose. Pour chaque aléa, pourtant est associée une cause, et parfois même en pratique , quand on manque de donnée pour caractériser l’Aléa, on essaie de quantifier les différentes causes. Par exemple, des fois le manque de séries temporelles suffisantes ne permet pas d’établir une approche probabiliste (calcul de débit décennal, centennal etc.). Dans ce cas, la probabilité de l’aléa est calculée à partir des probabilités des différentes causes. La plupart du temps ces origines sont naturelles.

Dans le cas des inondations, la cause directe peut être assimilée au climat notamment à la précipitation dont l’approche statistique est techniquement courante. Mais d’autres phénomènes sont en cause et dont l’approche pour pouvoir identifier leurs influences sur le comportement des crues peut être différente qu’une simple méthode probabiliste. On parle surtout des évolutions des occupations de l’espace. Déforestations, Urbanisations et l’accentuation de certaines pratiques agricoles peuvent aussi bien être les causes principales de l’augmentation des inondations dévastatrices (Scarwell et Laganier 2004).L’aléa ne dépend alors pas que de l’intensité et de la fréquence d’occurrence du phénomène mais aussi des activités extérieures qui influencent son comportement. Elle n’est plus donc simplement d’origine naturelle mais devient un aléa anthropisé, une sorte d’hybridation liant des composantes naturelles et anthropiques (Pigeon 2005).

 (Lazzarotti 1997) dans sa critique soutient qu’il est difficile d’avoir une régularité ou un cycle dans la mesure des risques, compte tenu de la diversité des causes qui pourraient être à l’origine d’un aléa donné.

### La vulnérabilité

La vulnérabilité est notion qui demeure floue puisqu’elle évolue dans le temps et l’espace. Elle peut représenter les dégâts purement matériels comme elle peut aussi caractériser le vécu des populations (Scarwell et Laganier 2004). Ce qui fait que c’est un terme très polysémique. Différents aspects de vulnérabilité peuvent donc émerger de la pluralité des ses définitions.

(Dauphiné 2003) a établi plusieurs types de vulnérabilités selon leurs caractéristiques et la manière dont on les aborde. On parle notamment de la **vulnérabilité biophysique**, issus de la recherche en science « dure » qui exprime essentiellement les dommages engendrés par l’Aléa. Il y a aussi la **vulnérabilité sociale** qui représente la capacité à faire face à la crise.

Quand on parle de vulnérabilité physique, cela se traduit souvent par une évaluation quantitative et monétaire des dommages (Torterotot 1993). Elle pourrait éventuellement introduire la capacité des biens à résister à un aléa naturel exceptionnel. La vulnérabilité Biophysique quant à elle se définit assez précisément et est composée de 3 facteurs (Adger 2006) : L’exposition, la sensibilité, et la résistance. L’exposition exprime la manière dont le système subit le stress environnemental extérieur. Ce stress environnemental est bien entendu la première composante du risque, l’aléa. Il est caractérisé par son intensité (magnitude ou force, selon le type d’aléa), sa fréquence, sa durée et son emprise spatial (Burton, Kates, et White 1993). L’exposition est donc la proximité entre l’aléa et les enjeux. La sensibilité exprime la modification du système apportée par la perturbation et dans quelle mesure ce système est affecté par le stress. C’est donc le degré d’endommagement pouvant être subi par le système. La résistance exprime la possibilité du système à contrecarrer l’Aléa sans dégâts (par exemple, dans le cas de l’aléa inondation, les ouvrages de protection, représentent une résistance). Dans une vision plus en avant et surtout en considérant le concept de résilience dont on discutera plus tard, on pourrait ajouter un troisième composant qui est la capacité d’adaptation. Selon la nature et le comportement du système, ce dernier composant lié à l’adaptation pourrait carrément remplacer la résistance. Cette capacité d’adaptation est la capacité du système à évoluer pour s’adapter au stress. Il s’agit donc de sa capacité à élargir sa plage de variabilité pour pouvoir faire face au changement.

La vulnérabilité sociale est surtout mise en avant en en sciences humaines. Elle dépend de la capacité à anticiper l’Aléa et d’y faire face. Elle se tourne aussi vers l’aspect comportemental lors de la catastrophe mais aussi à la capacité du système à se reconstruire (Wisner 2004). Elle peut être complètement dissocié de l’Aléa et s’avère aisé à analyser dans le cas où on n’as pas vraiment de certitudes sur l’Aléa et l’Exposition. Elle dépend de déterminants variés : niveaux de ressources, cultures, institutions, techniques, organisations, accessibilité à l’information (Wisner 2004; Bercerra et Peltier 2009; Bolay et al. 2012). Cet aspect de la vulnérabilité prend en compte les différences sociales (les entités – individu, région, pays - économiquement pauvres sont-ils plus vulnérables ?). Il y a aussi les différents types de vulnérabilité selon l’âge, le sexe, la culture, le niveau d’instruction. Cette vulnérabilité peut alors être considérée de manière individuelle ou de manière collective. Plusieurs approches sont utilisés par les auteurs comme par exemple, l’approche dualiste : (Aubert, Bernard, et Cirano 2004) ou l’utilisation de la courbe de Farmer, qui divise le risque en trois catégories : le risque individuel, le risque moyen ou le risque collectif (Glatron 1999; Pigeon 2012).

Selon la manière de prendre en compte l’analyse du risque, on peut parler aussi de vulnérabilité territoriale. Il s’agit d’avoir une vision de la vulnérabilité dans un cadre d’analyse (D’Ercole et Metzger 2009) qui peut être locale ou générale (Susan L. Cutter, Boruff, et Shirley 2003). D’une manière concrète, la considération de la vulnérabilité territoriale, concerne surtout l’identification des espaces dommageables et des lieux stratégiques (Demoraes 2004; Susan L. Cutter, Mitchell, et Scott 2000).

### La resilience

En matière d’analyse du risque, un autre concept qu’il faut considérer en plus de l’aléa et de la vulnérabilité est la résilience. Elle peut se définir comme étant la capacité d’un système à faire face à une catastrophe et à se remettre rapidement du choc. Mais sa définition reste quand même très polysémique.

En physique elle est définie précisément comme la capacité pour une structure d’absorber un choc ou une pression continue sans se rompre (Mathieu, Kastler, et Fleury 1985). En écologie c’est la capacité d’un écosystème à intégrer dans son fonctionnement une perturbation sans modifier sa structure qualitative ((Holling 1973) - par exemple , la reconstitution d’une forêt après un incendie.

Dans les années 80, deux courants s’opposent concernant sa définition. Un courant considère la résilience comme étant **une résistance ingénieurale** (Pimm 1984). Un système résilient est donc un système stable près d’un état d’équilibre permanent. Pour d’autres, c’est un système qui maintient ses fonctions et sa structure non pas en préservant un état d’équilibre unique mais en passant par différents états d’équilibre : on parle de **résistance écosystémique.** **La résistance systémique** dépasse l’idée de résistance et de conservation et préfère les notions de *renouvellement du système, de réorganisation, d’émergence de nouvelles trajectoires* : modèle du cycle adaptif (Walker et al. 2004) et de Panarchy (Gunderson et Holling 2002).

Les notions de vulnérabilité et de résilience présentent alors des similitudes et des zones de recoupement (Folke et al. 2002). On peut alors dans certains cas, parler de **vulnérabilité resiliençaire** ou considération de la vulnérabilité et de la résilience comme un continuum. En termes très simples, c’est l’idée que la vulnérabilité peut avoir un effet positif et que la résilience peut avoir un effet négatif (Décamps 2007; Frankhauser et Ansel 2012). Exemple : les digues de protection, supposés protéger donc participer à la résistance peuvent devenir dans certains cas source de vulnérabilité (faux sentiment de sécurité).

## Les tendances au fil du temps concernant les approches analytiques de la vulnérabilité et de la résilience

La vulnérabilité est généralement représentée comme étant négatif. Selon le GIEC « c’est la mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements (climatiques) » (Bernstein et al. 2013; Field et al. 2014). La résilience, en revanche, fait référence à l'ampleur des perturbations qui peuvent être absorbés avant un changement radical du système à un autre état. Elle reflète aussi la capacité à s'organiser et à s’adapter aux circonstances nouvelles

(Adger 2006) décrit l’évolution de l’approche de la vulnérabilité en le divisant en deux grandes périodes : une période classique et une période plus avancée, plus moderne. Sa discussion s’ajoute à celles d’autres auteurs qui cherchent à expliquer les tendances et les stratégies dans la recherche concernant la vulnérabilité. (Eakin et Luers 2006; Ionescu et al. 2009; Susan L. Cutter 2003; Pelling 2003; Bankoff, Frerks, et Hilhorst 2004) par exemple, présentent des analyses intéressantes de l’évolution et de l’application des méthodes et outils d’analyse de la vulnérabilité dans la gestion des ressources, dans l’urbanisation et les changements climatique. Dans l’analyse de (Janssen et al. 2006), on peut voir une évaluation des ces différentes approches.

### Classification des différentes approches concernant l’analyse de la vulnérabilité

Beaucoup de disciplines utilisent les termes de vulnérabilité, et même au sein d’une même discipline, il existe de nombreuses définitions de ces termes. (Thywissen 2006) en dénombre 35 dans son glossaire comparatif des composantes du risque. C'est seulement dans les domaines qui traitent des relations entre l’homme et l’environnement que la vulnérabilité peut trouver une signification commune, bien que contestée. Dans le domaine de l’environnement, il y a beaucoup de points communs dans les recherches concernant la vulnérabilité. Dans les approches théoriques, il y a des termes communs qui ressortent. On considère fréquemment la vulnérabilité comme étant constitué de plusieurs composants, l’exposition, la sensibilité et la résistance. La résistance est des fois remplacée par la capacité d’adaptation selon la vision des auteurs et leur définition du concept de résilience. La définition des ces composants qu’on a expliqué dans le paragraphe précédent, est retrouvée fréquemment dans les différentes approches de la vulnérabilité.

(Adger 2006) pense qu’il y a deux théories majeures concernant la vulnérabilité, l’une en relation avec l’utilisation des ressources environnementales par l’homme et l’autre connecté directement aux risques environnementaux. Selon lui, il y a donc deux écoles, donc deux traditions dans la recherche concernant la vulnérabilité : L’analyse de la vulnérabilitéaux risques naturels (1) et l’analyse de la vulnérabilité en tant que ‘’manque de moyens de subsistances ‘’(2).

D’autres auteurs aboutissent à des classifications différentes de la vulnérabilité. (Susan L. Cutter, Boruff, et Shirley 2003) classent la recherche concernant la vulnérabilité en trois parties, la vulnérabilité en tant qu’exposition, la vulnérabilité en tant que condition social, et l'intégration des risques d'exposition et de la résilience sociétale en se concentrant sur des lieux ou des régions spécifiques (Susan L. Cutter 2003)

Une autre classification assez similaire a été faite par (O’Brien et al. 2007). Il a catégorisé deux types de vulnérabilité différente : la vulnérabilité résultante (en tant que résultat) dans le lequel on considère la vulnérabilité en tant que finalité et la vulnérabilité contextuelle (Kelly et Adger 2000). Les deux interprétations peuvent être définies en tant que « vulnérabilité liée aux conséquences » et « vulnérabilité liée au contexte ». Cette distinction entre la finalité et le processus même de vulnérabilité est importante.



Deux interpretation de la vulnérabilité: (a) vulnérabilité lié aux conséquences et (b) vulnérabilité lié au contexte (O’Brien et al. 2007).

L’approche de la vulnérabilité (1) en tant que manque de moyens de subsistance (souvent associé à la famine) néglige les aspects physiques et écologiques du risque mais peut prendre en compte les différenciations sociales.

L’autre approche (2), basée sur les risques naturels préfère plutôt adopter une des méthodes physiques. Elle tente d’intégrer les sciences d’ingénieries associées un peu aux sciences sociales. (Burton, Kates, et White 1993) a résumé et synthétisé des décennies de recherche et pratique sur la gestion des inondations, risques physiques et technologiques. Ils ont démontré que pratiquement tous les types de risques naturels et tous les bouleversements sociaux et politiques ont des effets très différents sur différents groupes dans la société. Concernant les risques naturels, la plupart des dangers liés à la vulnérabilité des populations humaines repose sur leur **emplacement** et leur **utilisation des ressources naturelles**.

Les chercheurs en écologie humaine soutiennent que la gestion des risques est dominée par les approches techniques. De ce fait, cette gestion n’arrive pas à prendre en compte les causes politiques et structurelles de la vulnérabilité au sein de la société.

Ils tentent d’expliquer pourquoi les pauvres et les marginalisés sont les plus touchés par les catastrophes naturelles (Hewitt 1983). Les ménages les plus pauvres ont tendance à vivre dans des endroits plus à risques. Ceci est valable pour les risques d’inondations ou les maladies ou tous types d’aléas. Les inondations dans les zones côtières associées au climat ou aux effets des ouragans ou tempêtes saisonnières sont généralement de courte durée. Ils peuvent avoir des effets inattendus mais significatives pour les sections les plus vulnérables de la société.

(Burton, Kates, et White 1993) soutient que les risques proviennent essentiellement des la gestion des structures institutionnelles. Augmenter l’activité économique ne réduit donc pas nécessairement la vulnérabilité aux impacts des risques en général. Comme avec l'insécurité alimentaire, la vulnérabilité aux risques naturels a souvent été expliquée par la technique et les facteurs institutionnels.

En revanche l’approche en écologie humaine met l'accent sur le rôle du développement économique (Hewitt 1983).

Ces deux approches sur la recherche sur les risques ont été reliées entre eux par (Blaikie et al. 1994) dans leur modèle nommé «  Pression et Libération » (Pressure and Release) . Dans leur modèle, les risques physiques et biologiques représentent une pression caractéristique de la vulnérabilité. Une pression supplémentaire provient de la progression cumulative de la vulnérabilité ainsi que des causes provenant de la géographie locale et de la différenciation sociale. Ces deux pressions aboutissent à des catastrophes qui résultent de l’additivité des pressions (Blaikie et al. 1994). Ce modèle essaie de synthétiser la vulnérabilité sociale et la vulnérabilité physique en donnant une importance équivalente au risque et à la vulnérabilité en tant que pression. Il est remis en question par le fait qu’on ne peut pas avoir une vue systématique des mécanismes et des processus de la vulnérabilité.

### Nouvelles approches

On peut trouver une relation quelque peu linéaire entre les recherches classiques et les nouvelles approches de la vulnérabilité. Même si les chercheurs peuvent être influencés par le chevauchement des idées et des méthodes au cours du temps, de nouvelles approches se font apercevoir. Ces méthodes, « orienté système » tentent grâce à l’avancée des méthodes de comprendre la vulnérabilité en prenant en compte à la fois son aspect naturel et son aspect social.

Considérant la vulnérabilité en tant qu'une caractéristique d'un système socio-écologique et en cherchant à élaborer des mécanismes et processus couplée (Turner et al. 2003) arrive à analyser la vulnérabilité d’une manière conceptuelle. Au lieu de se concentrer sur les multiples conséquences résultant d’un stress unique, l'approche proposée par (Turner et al. 2003) vise à analyser les éléments de vulnérabilité (exposition, sensibilité et résistance/résilience) dans un système borné à une échelle spatiale particulière.

D'autres recherches actuellement soutiennent que la clé de la compréhension de la vulnérabilité réside dans l'interaction entre les dynamiques sociales au sein d'un système socio-écologique et que cette dynamique est importante pour la résilience (Siri H Eriksen, Brown, et Kelly 2005).

Les recherches tendant à développer des méthodes pour cartographier la vulnérabilité et à essayer de valider les données, par triangulation par exemple, pour avoir des mesures robustes qui seront utilisés au final pour les prises de décisions et les interventions (Yohe et Tol 2002; Haddad 2005; Brooks, Neil Adger, et Mick Kelly 2005). D’autres études ont été faites concernant la cartographie spatiale des éléments de la vulnérabilité (O’Brien et al. 2004; Hassan 2005; Schroter 2005).

En Inde, par exemple, les changements climatiques et la libéralisation du commerce changent le contexte de la production agricole. Certains agriculteurs sont capables de s'adapter à ces changements de conditions, y compris les événements ponctuels tels que la sécheresse et les fluctuations rapides des prix. D’autres agriculteurs par contre, ont du mal à s’y faire à ces processus simultanés. (O’Brien et al. 2004) a combiné les données portant sur la libéralisation du commerce et les risques liés au changement climatique à l’échelle du district en Inde pour savoir quel district est capable de s’adapter au conditions de sécheresse et à la variabilité de la mousson.

D’une manière analogue, l’Institut environnemental de Stockholm (Stockholm Environment Institute 2001) a identifié les points les plus vulnérables dans la sous-région du Grand Mékong en utilisant des cartes de risque d'inondation, et des cartes relatant les planification de constructions d’ouvrages de protections ainsi que d’autres facteurs. Les décideurs et les intervenants interprètent les données brutes pour arriver à un consensus à propos des cartes.

Ces innovations dans les méthodes de prise en compte de la vulnérabilité tentent de saisir la dynamique et la distribution spatiale de chaque variable concerné de manière individuelle d’une part et puis les interactions entre ces variables d’une autre part (Luers 2005; Polsky 2004). Toutefois, ces variables spécifiques ne mesurent pas nécessairement la vulnérabilité d’une manière directe. Des fois quand la variable et les liens sont bien établis, les relations peuvent ne pas tenir. Cette notion de variable est très importante car c’est elle qui va permettre d’aboutir à la mise en place d’indicateurs.

## Mesurer la vulnérabilité

### Peut-on mesurer la vulnérabilité ?

Mesurer est le processus qui vise à assigner un nombre à un phénomène. Un phénomène se définit comme quelque chose qu’on peut observer (par exemple, le phénomène chaleur peut être mesuré en associant un nombre nommé « température »). Le fait de mesurer est basé sur les notions mettant en situation des entités quantitatives. Ces entités sont appelées des variables (Bernard 2013). Ces variables peuvent être alors comparés dans le temps et dans l’espace. Cette notion de comparaison est la clé dans l’évaluation de la vulnérabilité(Barnett, Lambert, et Fry 2008; Ionescu et al. 2009; Wolf et al. 2013)

Mais la vulnérabilité peut-elle être mesurée ? Concrètement, non puisque la vulnérabilité n’est pas un phénomène observable, c’est un concept théorique contrairement à la chaleur par exemple. Cette distinction entre concept théorique et observable a fait l’objet de beaucoup de débat dans la philosophie de la science (Carnap 2012) Comme la vulnérabilité est un concept théorique, on parle donc plutôt de « rendre le concept opérationnel » au lieu de le mesurer. Rendre le concept opérationnel consiste à fournir une méthode pour rendre ce concept observable (Bernard 2013; Copi, Cohen, et McMahon 2011). Dans le cas de la vulnérabilité, cette opération peut être appelée méthodologie d’évaluation de la vulnérabilité.

### La vulnérabilité, une pluralité des définitions, une diversité des méthodes

L’état de l’art sur la question de la vulnérabilité peut être décrit comme étant une « confusion babylonienne » (Janssen et al. 2006). Il y a une quantité de définition du termes, (Thywissen 2006) en a dénombré 35. Il y aussi beaucoup de termes qui expriment une idée similaire (ex : risque, sensibilité, fragilité) ou une idée inversement similaire (Résilience, capacité d’adaptation, Stabilité). Tous ces termes se recoupent dans leurs significations (Gallopín 2006; Hinkel 2011; Wolf et al. 2013). Cette diversité de définition engendre une diversité de méthodologie d’évaluation de la vulnérabilité. Ces méthodes incluent des approches participatives, des méthodes de modélisation à base de simulation, des approches utilisant des indices synthétiques, et sont appliqués sur différent systèmes. Ils ont chacun leur spécificité et peuvent être utilisé à l’échelle spatiale et temporelle selon le cas. Cette pluralité des définitions et des approches pour l’évaluation de la vulnérabilité a fait naître des travaux conceptuels qui essaient de clarifier les concepts et les méthodologies. Ainsi , des compilations de glossaires ont été faites (Thywissen 2006) des cadres généraux ont été développés (S. L. Cutter 1996; Jones 2001; Brooks, Neil Adger, et Mick Kelly 2005; Turner et al. 2003; Luers 2005) et les différentes approches ont été classifiés (Timmerman 1981; Füssel et Klein 2006; Kelly et Adger 2000; O’Brien et al. 2007). On peut accéder à des résumés récents dans (Adger 2006; Eakin et Luers 2006; Wolf et al. 2013).

Les récents travaux qui essayent de mettre en commun les définitions théoriques et les méthodologies appliqués pour l’évaluation de la vulnérabilité aboutissent aux conclusions suivantes (Ionescu et al. 2009; Wolf et al. 2013; Hinkel 2011):

(i) Toutes les définitions et les méthodologies analysées acceptent la même idée : la vulnérabilité est une mesure d’ « une possibilité d’occurrence d’un dommage futur ». Cette mesure se réfère à un état négatif auquel on donne une certaine valeur selon un jugement. Les « mesures de dommages » les plus communément utilisés sont le nombre de personnes affectées par les inondations, les mortalités etc. Le fait que ce soit une possibilité « future » mais non pas un état actuel est très important dans la définition de la vulnérabilité. Ce « futur » peut se réaliser mais il se peut qu’il ne se passe jamais.

(ii) Les définitions dans le cadre scientifique ne sont pas forcément plus précises que notre conception intuitive de la notion de vulnérabilité.

(iii) Les définitions scientifiques apportent peu d'indications pour la conception des méthodologies d'évaluation de la vulnérabilité.

(iv) Ces indications proviennent donc des cas spécifiques considérés. Les méthodologies d’évaluation de la vulnérabilité sont basées sur des recherches spécifiques au lieu de définitions générales.

(v) La signification de « dommages » doit être considérée pour chaque cas spécifique.

La confusion dans les définitions et la faiblesse du lien entre les définitions et les méthodologies peuvent être illustrée par la définition même de la vulnérabilité par le GIEC. C’est la mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements (climatiques), y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l’ampleur et du rythme de l’évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d’adaptation.» (Bernstein et al. 2013)(Field et al. 2014). (Hinkel 2011) soutient que cette définition se trouve confrontée à beaucoup de difficultés pour être opérationnel.

### Quelques techniques classiques pour évaluer le degré de vulnérabilité d’un système.

On avait dit que la vulnérabilité est un terme très polysémique. Il y a donc, un nombre conséquent de définition du terme. Autant de définitions signifie qu’il y a autant de méthodes d’évaluation différentes (Hinkel 2011). La vulnérabilité peut donc apparaître comme un concept flou et pas facile à mesurer, alors qu’il constitue un enjeu fondamental. Néanmoins, on peut essayer de classifier plus ou moins les techniques classiques d’évaluation de la vulnérabilité. En pratique, on peut observer deux types d’approches, l’approche rétrospective qui vise à faire des mesures après l’évènement perturbateur et l’approche prospective qui se base sur des scénarios possibles.

Pour avoir une mesure quantitative de la vulnérabilité, on peut procéder de deux manières. On peut traduire toutes les données en termes de pertes monétaires ou humaines. Exemple : Le cyclone à Bangladesh en 1970 est la plus meurtrière tandis que Katrina est la plus couteuse pour les assurances. C’est surtout l’approche utilisée par les compagnies d’assurances. On parle alors de **l’approche comptable** de la vulnérabilité. Ou alors on peut utiliser d’autres méthodes comme la mise en place d’un indicateur de vulnérabilité. On peur parler alors parler dans ce cas là d’une **approche indicielle** de la vulnérabilité. Même si on verra un peu plus tard, qu’on ne peut assimiler un indicateur à un simple « indice ». Cette approche indicielle se propose de classer la vulnérabilité en plusieurs niveaux (faible, moyen, fort, etc.). Elle identifie les facteurs pertinents. Puis pour chaque variable, on affecte un coefficient. Une synthèse de vulnérabilité est alors faite à travers le croisement des différentes classes d’indices. On parle alors de **vulnérabilité synthétique** souvent combiné avec le SIG pour une approche statique (Creach et al. 2015; Léone, Meschinet de Richemond, et Vinet 2010; Propeck-Zimmerman, Saint-Gérand, et Bonnet 2009). Cette approche indicielle est très pratique car les méthodes sont tout de suite opérationnelles et permettent de développer des actions spécifiques. Elle offre une connaissance des risques simple et facile à interpréter pour l’aide à la décision (pour les élus par exemple). Toutefois, elle présente des inconvénients majeurs comme les résultats empiriques souvent subordonnés aux pondérations. Les seuils sont la plupart du temps arbitraires (Rufat 2007). Les méthodes ne sont pas harmonisées. Il devient alors impossible de comparer les différents niveaux pour les différents indices. Et enfin, les modèles sont souvent additifs. Il n’y a aucune prise en compte de l’interaction entre les dimensions. (Barnett, Lambert, et Fry 2008; Jeanne X. Kasperson et Kasperson 2005). (Rufat 2007) propose une alternative à l’aide des corrélations statistiques et des interactions spatiales.

Il existe des méthodes pour unifier ces différentes façons de mesurer la vulnérabilité. La première façon c’est de tout évaluer en termes financiers (Comme les assurances : ex : UNDRO). Il existe aussi de méthodes qui évalue tout les dommages en une seule unité de mesure , l’énergie / calories par exemple (Odum 1983; Pillet 2006) ou encore la période de retour (Gilard et Gendreau 1998) . Il y aussi les démarches multicritères de types couts-avantages.

#### Exemples de méthodes d’évaluation quantitative de la vulnérabilité.

##### Exemple 1 : La méthode d « Inondabilité » du CEMAGREF (actuellement IRSTEA).

Cette méthode combine l’Aléa et la vulnérabilité en utilisant une même unité de mesure : la durée de retour (Gilard et Gendreau 1998). S’il est fréquent de mesurer l’Aléa en terme de période de retour, cette démarche devient original quand on veut quantifier la vulnérabilité (Torterotot 1993).

Elle permet d’exprimer sur une carte synthétique un « risque maximal acceptable (Gilard et Gendreau 1998). De par la nature de la méthode, les vulnérabilités sont donc traduites par des mesures de nature hydrologique (période de retour). La discussion s’ouvre alors que la définition de la vulnérabilité devient incomplète car elle se détache ici de tout aspect économique (Dauphiné A, 2001). Si les paramètres visant à caractériser et à modéliser l’aléa sont très bien cernées et directement opérationnelles, la caractérisation de la vulnérabilité reste encore subjectif car semble se baser uniquement sur une analyse « technique » de la vulnérabilité (strategis, 2003). Il devient nécessaire d’y introduire une dimension socio-économique du risque. Il peut être pertinent d’y ajouter une pluridisciplinarité en intégrant un point de vue sociologique et économique dans le développement de la méthode. Des auteurs (Hubert g , Ledoux 1999) mettent encore en doute le caractère opérationnel de la méthode car les démarches restent expérimentales (rareté des études de cas. De nouvelles réflexions doivent y être apportées.

##### Exemple 2 : Les techniques multicritères hiérarchiques (graillot , 2001) .

Caractérisation de la vulnérabilité de zones exposées à un risque à partir du mode d’occupation du sol. Chaque aspect de la vulnérabilité est quantifié à partir de données qualitatives variées. On prend chaque critère et on leur confère une pondération en fonction de son importance supposée. On obtient à la fin un indice d’évaluation unique qui définit une valeur d’occupation de sol qui caractérise des enjeux économiques et humains.

### Historique des méthodes d’évaluation de la vulnérabilité – cas de l’aléa inondation.

Les premières références importantes en matière de gestion des inondations proviennent des recherches anglo-saxonnes. On pourra alors parler du Manuel bleu «  blue manual » et du manuel rouge « red manuel » qui sont des guides officiels d’ampleur international (Kestner, Penning-Rowsell, et Chatterton 1979; Parker, Green, et Thompson 1987). La notion de gestion des plaines inondables est apparu vers les années 70 (White 1975) , presque en même temps que les premiers questionnements concernant l’évaluation de la vulnérabilité (Foster 1976).

Ces réflexions sur la vulnérabilité deviennent de plus en plus poussées concernant certains enjeux notamment l’agriculture et l’habitat. Il existe par exemple des méthodes qui mettent en place une typologie de l’habitat qui peut avoir plusieurs catégories en croisant certains critères jugés pertinents (nature du logement, localisation, catégorie socioprofessionnel des propriétaires etc.). Pour chaque catégorie, il y a des fonctions qui évaluent les dommages. Ces fonctions dépendent eux même d’autres paramètres liés à l’Aléa.

Ces méthodes semblent s’orienter vers des démarches quantitatives tels que la construction de fonction de dommages et l’analyse coût / avantages (Kestner, Penning-Rowsell, et Chatterton 1979). Des centres de recherche spécialisés comme le Flood Hazard Research Center (FHRC) étudient plus particulièrement les relations entre les inondations et la société (Parker 1995). D’autres démarches tentent de quantifier à la fois les variables quantifiables et ceux qui sont plus qualitatifs. C’est le cas du Bootstrapping method  qui vise à évaluer les dommages liés à la santé et aux pertes de biens irremplaçables. Son principe repose sur une évaluation monétaire des dommages tangibles à travers des enquêtes. On essaie alors d’appliquer une note de sévérité à la fois aux dommages tangibles qu’aux dommages intangibles. On peut alors obtenir une possibilité d’évaluation des impacts tangibles en leur donnant une valeur monétaire équivalent à celles des dommages tangibles possédant la même note de sévérité (Hubert et Ledoux 1999).

Certaines définitions des risques d’inondation, mettent en exergue les aspects d’exposition. Elle est souvent définie comme une «  co-occurrence d’un aléa hydrographique et d’une vulnérabilité en un point géographique donné » (Bourrelier, Deneufbourg, et Vanssay 2000). C’est cette vision du risque qui a fait naître des systèmes de réglementation qui visent notamment à contrôler l’urbanisation des zones à risques. C’est surtout le cas pour la règlementation française à travers les plans de préventions de risques (PPR).

Dans ce contexte, les objectifs de la plupart des recherches sur le risque se trouvent corrélés étroitement aux exigences de l’Etat (PPRI PER) et des assureurs (Fabiani et Theys 1987). De ce faite, les démarches analytiques à priori du type coût/avantage sont les plus utilisés/. Ils sont plus faciles à transcrire au niveau des assureurs et des décideurs et sont directement opérationnels. En général, il s’agit d’une traduction de la vulnérabilité en unités monétaires, constats d’endommagement et simulations de sinistres (Leroi, Asté, et Leone 1996; D’Ercole 1994; Blong 2003).

D’autres démarches se développent quand même en parallèle et qui préfèrent analyser la vulnérabilité à partir des retours d’expérience voire même de la perception de la vulnérabilité (Hubert et Ledoux 1999). On peut ajouter à cela le calcul des dommages potentiels. Mais ces dernières méthodes restent encore très limitées.

Méthodes dans les pays du Sud et Madagascar (à compléter)

## Les difficultés dans la mesure de la vulnérabilité

### La prise en compte des processus sociaux

Au-delà des aspects techniques, la mesure de la vulnérabilité doit tenir compte des processus sociaux et des conséquences physiques au sein du système. Ces processus paraissent compliqués, d’autant plus avec les nombreux liens qui sont difficiles à cerner. Il est difficile, par conséquent de réduire la vulnérabilité à une simple unité métrique et à le rendre quantifiable. S’il est facile de reconnaître la vulnérabilité à travers son ressenti personnel et d’avoir un certain à priori des conséquences dans des situations familières, traduire cet ensemble complexe de paramètres dans un système métrique quantitative n’est pas évident. Et si jamais un tel système est mis en place, il ne peut en aucun cas prendre en compte toute la complexité du phénomène (Alwang, Siegel, et Jorgensen 2001) .

### Le choix des seuils

Un autre défi, mais non le moindre est de combiner la mesure des aspects de la vulnérabilité avec les seuils critiques dans les systèmes. Cela induit une explication de la vulnérabilité de l'ensemble du système mais surtout le rôle des institutions et des processus de gouvernance dans l’établissement de ces seuils. Les choix des seuils sont basés sur des orientations institutionnelles mais aussi sur des valeurs culturelles. Dans ce cas, La mesure de la vulnérabilité requiert inévitablement des jugements et des interprétations des seuils de risque acceptable. L'inéluctabilité d'un seuil de vulnérabilité doit être explicite et incorporé dans les méthodes de mesure da la vulnérabilité. Ces seuils sont toutefois difficiles à cerner et à justifier, surtout de manière scientifique (Folke et al. 2004).

De plus, La vulnérabilité est manifeste dans des lieux spécifiques à des moments précis : la détermination du niveau de bien-être qui constitue le seuil n'est donc pas simplement une mesure proportionnelle, identique pour toutes les sections de la société mais se doit d’être adapté au contexte et à l’échelle du système considéré.

### La perception de la vulnérabilité et le ressenti des personnes concernés

Une autre difficulté provient de la mise en relation des éléments objectifs et de la perception de la vulnérabilité et du risque. Il y a beaucoup de bonnes raisons qui expliquent pourquoi la recherche a toujours mis l'accent sur des mesures objectives dans les interactions avec les communautés scientifiques, surtout concernant l’aspect physique des risques, le changement climatique et le changement d’utilisation des terres. Mais la vulnérabilité peut être différemment perçue ou vécue par les personnes vulnérables eux-mêmes (Hassan 2005).

Les dimensions expérientielles ou perceptuelles de la vulnérabilité ne sont pas facilement mesurables. La perception de l'insécurité ouvre un tout autre domaine de recherche, seulement soulevé par la psychologie environnementale. Le concept même de sécurité ou d’insécurité n’est pas mesurable (J. X. Kasperson et Kasperson 2013). De plus, les impacts des changements environnementaux qui créent des perceptions de l'insécurité ne sont peut-être pas évidents.

Ainsi, comme l'a soutenu (O’Brien et al. 2007), les effets des changements environnementaux peuvent avoir une importance différente selon les individus ou les communautés en fonction de leur perception du phénomène. Ceci est très étroitement en rapport avec l’aspect culturel. Tandis que les Norvégiens peuvent se préoccuper de la neige pour le ski, les jardiniers anglais s’inquiètent de l'arrivée précoce du printemps, et les chasseurs Inuits autochtones se sentent mal à l'aise à cause de la disparition des glaces de mer de l'été (Riedlinger et Berkes 2001).

La Recherche en psychologie, par exemple, a fourni des preuves empiriques que ceux qui croient être vulnérables aux risques environnementaux, ou qui croient être victimes d'injustice, perçoivent également être eux-mêmes pour être plus en dangers par rapport aux risque environnementaux de tout types (Satterfield, Mertz, et Slovic 2004). De même, quand les personne vulnérables considèrent qu’il est très difficile pour eux de s’adapter aux nouveaux changements à cause d’un obstacle conséquent qu’ils perçoivent, cela limite leur efficacité à s’adapter, et cela même quand ils ont les capacités et les ressources pour cela (Grothmann et Patt 2005). Ce défi, d'intégrer l’aspect de la vulnérabilité tel que les personnes vulnérables la perçoivent actuellement, suggère de nouvelles méthodes de prise en compte de la vulnérabilité.

### L’implication de la gouvernance dans la vulnérabilité

Un dernier obstacle à franchir est la prise en considération de l’analyse de la gouvernance et des solutions que les entités gouvernementales proposent face aux changements environnementales. Les personnes les plus concernés, en d’autres termes, les personnes vulnérables sont souvent exclus des prises de décisions (Dow 1992; Adger 2003; Pelling 2003)

### La diversité des méthodes d’analyse de la vulnérabilité, un signe de vitalité dans la recherche

En conclusion, il y a beaucoup de méthodes divergentes dans la recherche concernant la vulnérabilité. Cette diversité et l’apparente manque de convergence reflète la divergence des objectifs de recherche. Néanmoins, (Adger 2003) soutient fortement que cette diversité est un signe de vitalité de la recherche concernant la vulnérabilité et ne doit pas dut tout être considéré comme une faiblesse. Mais comme on a vu plus haut, cette recherche fait face à de nombreux obstacles, notamment concernant la question de comment mesurer la vulnérabilité ? Qu’en est-il de la perception de cette vulnérabilité par les personnes les plus concernés ? Quelle est le rôle de la gouvernance ?

## Les indicateurs de vulnérabilité, qu’est ce que ça signifie, sont ‘ils pertinents.

La question de la « mesure de la vulnérabilité et de la capacité d’adaptation » par des indicateurs fait l’objet d’un grand débat dans le milieu politique et académique. Alors que le milieu politique exige de plus en plus l’utilisation de ces indicateurs, on trouve beaucoup de critiques à propos de ces outils dans la littérature scientifique. Il y a une confusion sur la définition même de ces « indicateurs de vulnérabilité » et à propos des arguments qui justifient leur mise en place. Il y a aussi une confusion à propos des types de problèmes que ces indicateurs doivent résoudre, c'est-à-dire, le rôle essentiel des ces approches. (Hinkel 2011) soutient qu’il est impossible de parler de « mesurer la vulnérabilité ». Cette notion est fausse et particulièrement trompeuse.

### La question de la confusion en ce qui concerne la vulnérabilité

L’intérêt politique de la recherche à propos de la vulnérabilité devient de plus en plus croissant dans la mesure où actuellement les impacts du changement climatiques sont au cœur de l’actualité scientifique. Ces impacts sont maintenant clairement observés. Evaluer la vulnérabilité n’est maintenant plus un simple questionnement scientifique mais devient une nécessité politique. Les indicateurs de vulnérabilité apparaissent comme étant l’outil idéal pour faire le lien entre les travaux scientifiques et les besoins politiques. Les organismes politiques recommandent souvent le recours à ces indicateurs. Par leur nature, ces indicateurs sont des outils très pratiques, car ils permettent de synthétiser l’état de vulnérabilité des entités que ce soit les ménages, les régions ou les pays en un seul nombre qui peut très facilement être utilisé pour l’aide à la décision ou les stratégies politiques.

Pourtant, beaucoup d’auteurs critiquent ces méthodes. Ils ne reconnaissent pas ces approches comme étant des méthodes scientifiques et émettent des doutent sur leur pertinence au niveau politique (S. H. Eriksen et Kelly 2006; Barnett, Lambert, et Fry 2008; Klein 2009; Gudmundsson 2003; Böhringer et Jochem 2006)

(Hinkel 2011) pense que ces divergences d’opinions proviennent d’une confusion entre le milieu scientifique et politique. La première confusion résulte de la définition même de la vulnérabilité et de toutes les notions qui s’y rapportent comme la sensibilité, la capacité d’adaptation. Ces notions demeurent vagues et ne sont pas définies concrètement (Adger 2006; Ionescu et al. 2009; Wolf et al. 2013). En plus, on ne sait pas vraiment ce que veut dire : « mesurer la vulnérabilité » et des auteurs argumentent même que, en principe, la vulnérabilité en elle-même ne peut pas être mesurée. Dans certains cas, la méthodologie appliquée pour le développement de l’indicateur n’est pas clairement présentée et l’on peut se poser la question sur l’aspect arbitraire de la chose (Gallopín 1996; S. H. Eriksen et Kelly 2006; Klein 2009).

La deuxième confusion réside dans l’intérêt et le but de l’évaluation de la vulnérabilité. Les questions scientifiques auxquelles les indicateurs souhaitent répondre demeurent vagues et discutables. C’est une situation paradoxale dans la mesure où l’évaluation de la vulnérabilité est considérée comme étant primordial pour différentes raisons : Identification des zones vulnérables, sélection des mesures d’adaptations locales (Füssel et Klein 2006; Smit et Wandel 2006) (Füssel et Klein 2006).

### Mesures et indicateurs

On avait dit auparavant que la vulnérabilité est un concept théorique et qu’en tant que tel, il ne peut être mesurable. On parle donc surtout de « rendre le concept opérationnel » au lieu de le mesurer.

L’utilisation d’indicateurs est considérée comme une approche qui permet de rendre un concept théorique opérationnel. Un indicateur est donc une fonction qui transforme une variable observable en une variable théorique. La plupart du temps, on emploi le terme indicateur pour se référer juste à la variable observable alors qu’il doit prendre en compte la fonction toute entière. Une variable observable ne peut être qualifiée d’indicateur que si elle est associée à une autre variable, la variable théorique qu’on s’efforce de quantifier. Il est important de noter que les indicateurs doivent être des fonctions « simples ». La plupart du temps ils sont linéaires, croissantes ou décroissantes mais monotones.

L’indicateur le plus simple est *l’indicateur scalaire* qui transforme une variable observée en une variable théorique. Par exemple, la présence ou absence des bioindicateurs (variable observée) est utilisée pour indiquer la qualité de l’eau (variable théorique).

Des fois, on a besoin de plusieurs variables pour rendre un concept théorique opérationnel. On parle alors d’indicateur composé ou d’un indice. C’est un indicateur qui transforme un vecteur de variables observables en une variable scalaire théorique. On a par exemple, le HDI Human Development Index (UNDP 1990)

Et puis, il existe aussi des indicateurs-vecteurs qui transforment un vecteur de variables observables en un autre vecteur de variable théoriques. On a par exemple le « Water Poverty Index » (Sullivan 2002) ou le « Livelihood Vulnerability Index » (Hahn, Riederer, et Foster 2009)

### L’aspect prospectif d’un indicateur de vulnérabilité - vers le lien avec les modèles de simulations?

La première étape dans le développement d’un indicateur de vulnérabilité est la définition de ce qui doit être « indiqué » par l’indicateur. Il s’agit donc de la vulnérabilité d’une entité par rapport à un certain aléa. Usuellement, ces entités peuvent être conceptualisées pas un système socio-écologique ou un système homme-environnement (Turner et al. 2003). L’utilisation de ce système se justifie d’autant plus par le fait que la vulnérabilité est déterminée par l’interaction de l’homme avec l’environnement.

La deuxième étape est la sélection des variables indicateurs qui peut être suivi par l’agrégation de ces variables. La troisième étape est la définition de la fonction d’indication qui va traduire la variable observable en une variable théorique.

La difficulté première dans le développement d’un indicateur de vulnérabilité est la définition exacte de « l’entité vulnérable ». La deuxième difficulté réside dans l’aspect prospectif de la vulnérabilité. La plupart des indicateurs qui existent ne prennent pas en compte cet aspect là. La vulnérabilité intègre dans sa signification une possibilité d’occurrence. Selon son degré de vulnérabilité, une entité a plus ou moins de chance d’être endommagée. Il s’agit donc d’un état qui pourrait se produire ou pas dans le futur (Ionescu et al. 2009). L’indicateur doit donc indiquer la potentialité d’un état futur au lieu d’indiquer l’état actuel.

A cause de cet aspect de la vulnérabilité, le développement d’un indicateur de vulnérabilité pourrait inclure la construction d’un modèle de prédiction. Une tâche similaire à celle des modèles de simulation. Dans les deux cas, on développe une fonction basée sur l’observation de l’état présent. Cette fonction sera utilisée pour évaluer un état futur qui possède une certaine possibilité d’occurrence. La différence entre les deux approches (indicateur et simulation) réside dans la complexité et dans l’utilisation du facteur temps (Hinkel 2011).

Dans les approches utilisant des indicateurs, la fonction, et par extension l’indicateur, doit être simple. La fonction indicatrice est indépendante du temps. L’indicateur de vulnérabilité exprime donc un état futur possible mais ne peut pas prédire quand est-ce que ça va se passer. Dans les modèles à base de simulation par contre, la fonction simulation est complexe et prend en compte le paramètre temps dans le sens où c’est un programme informatique qui représente un système dynamique qui est itéré au fil du temps.

En tenant en compte de cette réflexion, il serait juste donc de distinguer « indicateur d’endommagement » et « indicateur de vulnérabilité ». Un indicateur d’endommagement évalue l’état d’une entité basé sur une définition objectif de ce que peut être un état « bon » ou « mauvais ». Il n’intègre donc pas l’aspect prospectif de la vulnérabilité. L’indicateur de vulnérabilité se doit de jouer aussi le rôle d’indicateur de futur endommagement. Il doit inclure donc l’aspect prospectif de la vulnérabilité en plus de la vocation première d’un simple indicateur d’endommagement.

## Le couplage d’un indicateur de vulnérabilité statique avec un modèle de simulation (FLEE : Flood modeLing and Escaping from thEm).

 On se propose de présenter dans ce travail une méthode d’évaluation de la vulnérabilité face aux inondations en couplant un indicateurs statique largement inspiré des travaux de (Creach et al. 2015) avec un modèle de simulation utilisant les systèmes multi-agents (Rakotoarisoa et al. 2014).

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Adger, W. Neil. 2003. « Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. » *Economic Geography* 79 (4): 387‑404. doi:10.1111/j.1944-8287.2003.tb00220.x.

Adger, W. Neil. 2006. « Vulnerability. » *Global Environmental Change*, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 16 (3): 268‑81. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.

Alwang, Jeffrey, Paul B Siegel, et Steen L Jorgensen. 2001. « Vulnerability : a view from different disciplines. » no. 23304. Social Protection discussion paper series. Washington, D.C.: The World Bank.

Aubert, Benoit A, Jean-Grégoire Bernard, et CIRANO. 2004. *Mesure intégrée du risque dans les organisations*. [Montréal, Que.]: Presses de l’Université de Montréal. http://site.ebrary.com/id/10176949.

Bankoff, Greg, Georg Frerks, et Thea Hilhorst, éd. 2004. *Mapping vulnerability: disasters, development, and people*. London ; Sterling, VA: Earthscan Publications.

Barnett, Jon, Simon Lambert, et Ian Fry. 2008. « The Hazards of Indicators: Insights from the Environmental Vulnerability Index. » *Annals of the Association of American Geographers* 98 (1): 102‑19. doi:10.1080/00045600701734315.

Bercerra, Sylvia, et Anne Peltier, éd. 2009. *Risques et environnement, recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*. Sociologies et environnement. Paris: L’Harmattan.

Bernard, Harvey Russell. 2013. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. 2. ed. Los Angeles: SAGE.

Bernstein, Lenny, R. K Pachauri, Andy Reisinger, Lenny Bernstein, Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat, Équipe de rédaction principale, et Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat. 2013. *Changements climatiques 2007: rapport de synthèse : un rapport du groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat*. http://site.ebrary.com/lib/ualberta/Doc?id=10785011.

Blaikie, Piers M., Terry Cannon, Ian Davis, et Ben Wisner. 1994. *At risk: natural hazards, people’s vulnerability, and disasters*. London: Routledge.

Blong, Russell. 2003. « A Review of Damage Intensity Scales. » *Natural Hazards* 29 (1): 57‑76. doi:10.1023/A:1022960414329.

Böhringer, Christoph, et Patrick Jochem. 2006. « Measuring the Immeasurable: A Survey of Substainability Indices. » ZEW Discussion Papers 06-73. Mannheim: Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW). http://hdl.handle.net/10419/24527.

Bolay, Jean-Claude, Magali Schmid, Gabriela Tejada, et Eileen Hazboun, éd. 2012. *Technologies and Innovations for Development*. Paris: Springer Paris. http://link.springer.com/10.1007/978-2-8178-0268-8.

Bourrelier, Paul-Henri, G. Deneufbourg, et Bernadette de Vanssay. 2000. *Les catastrophes naturelles: le grand cafouillage*. Osman Eyrolles santé & société. Paris: Osman Eyrolles multimédia.

Brooks, Nick, W. Neil Adger, et P. Mick Kelly. 2005. « The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. » *Adaptation to Climate Change: Perspectives Across Scales* 15 (2): 151‑63. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006.

Burton, Ian, Robert William Kates, et Gilbert F. White. 1993. *The Environment as Hazard*. 2nd ed. New York, NY: Guilford Press.

Carnap, Rudolf. 2012. *Introduction to the Philosophy of Science*. Dover Publications. http://lib.myilibrary.com?id=566700.

Copi, Irving M., Carl Cohen, et K. D. McMahon. 2011. *Introduction to logic*. 14th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

Creach, Axel, Sophie Pardo, Patrice Guillotreau, et Denis Mercier. 2015. « The Use of a Micro-Scale Index to Identify Potential Death Risk Areas due to Coastal Flood Surges: Lessons from Storm Xynthia on the French Atlantic Coast. » *Natural Hazards*, mars, 1‑32. doi:10.1007/s11069-015-1669-y.

Cutter, S. L. 1996. « Vulnerability to Environmental Hazards. » *Progress in Human Geography* 20 (4): 529‑39. doi:10.1177/030913259602000407.

Cutter, Susan L. 2003. « The Vulnerability of Science and the Science of Vulnerability. » *Annals of the Association of American Geographers* 93 (1): 1‑12. doi:10.1111/1467-8306.93101.

Cutter, Susan L., Bryan J. Boruff, et W. Lynn Shirley. 2003. « Social Vulnerability to Environmental Hazards\*. » *Social Science Quarterly* 84 (2): 242‑61. doi:10.1111/1540-6237.8402002.

Cutter, Susan L., Jerry T. Mitchell, et Michael S. Scott. 2000. « Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina. » *Annals of the Association of American Geographers* 90 (4): 713‑37. doi:10.1111/0004-5608.00219.

Dauphiné, André. 2003. *Risques et catastrophes: observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Paris: A. Colin.

Décamps, Henri. 2007. « La vulnérabilité des systèmes socioécologiques aux événements extrêmes : exposition, sensibilité, résilience. » *Natures Sciences Sociétés* 15 (1): 48‑52. doi:10.1051/nss:2007023.

Demoraes, Florent. 2004. « Mobilité, enjeux et risques dans le district métropolitain de Quito (Equateur). » Le Bourget du Lac: Université de Savoie. Centre IRD de Bondy. http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010033861.

D’Ercole. 1994. « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d’analyse. » *Revue de géographie alpine* 82 (4): 87‑96. doi:10.3406/rga.1994.3776.

D’Ercole, Robert, et Pascale Metzger. 2009. « La vulnérabilité territoriale : une nouvelle approche des risques en milieu urbain. » *Cybergeo : European Journal of Geography*, mars. doi:10.4000/cybergeo.22022.

Dow, Kirstin. 1992. « Exploring differences in our common future(s): the meaning of vulnerability to global environmental change. » *Geoforum* 23 (3): 417‑36. doi:10.1016/0016-7185(92)90052-6.

Eakin, Hallie, et Amy Lynd Luers. 2006. « Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. » *Annual Review of Environment and Resources* 31 (1): 365‑94. doi:10.1146/annurev.energy.30.050504.144352.

Embrechts, Paul, Claudia Klüppelberg, et Thomas Mikosch. 1997. *Modelling Extremal Events: For Insurance and Finance*. Springer Science & Business Media.

Eriksen, S. H., et P. M. Kelly. 2006. « Developing Credible Vulnerability Indicators for Climate Adaptation Policy Assessment. » *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12 (4): 495‑524. doi:10.1007/s11027-006-3460-6.

Eriksen, Siri H, Katrina Brown, et P Mick Kelly. 2005. « The Dynamics of Vulnerability: Locating Coping Strategies in Kenya and Tanzania. » *The Geographical Journal* 171 (4): 287‑305. doi:10.1111/j.1475-4959.2005.00174.x.

Fabiani, Jean-Louis, et Jacques Theys. 1987. *La Societe vulnerable: evaluer et maitriser les risques*. Paris: Presses de l’École normale supérieure.

Field, CB, VR Barros, DJ Dokken, KJ Mach, MD Mastrandrea, TE Bilir, M Chatterjee, et al. 2014. « Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l’intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d’évaluation du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat. » Genève (Suisse: Organisation météorologique mondiale. http://www.ipcc-wg2.gov/AR5/.

Folke, Carl, Steve Carpenter, Thomas Elmqvist, Lance Gunderson, C. S. Holling, et Brian Walker. 2002. « Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. » *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 31 (5): 437‑40. doi:10.1579/0044-7447-31.5.437.

Folke, Carl, Steve Carpenter, Brian Walker, Marten Scheffer, Thomas Elmqvist, Lance Gunderson, et C. S. Holling. 2004. « Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. » *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 35 (ArticleType: research-article / Full publication date: 2004 / Copyright © 2004 Annual Reviews): 557‑81. doi:10.2307/30034127.

Foster, Harold D. 1976. « Assessing Disaster Magnitude: A Social Science Approach. » *The Professional Geographer* 28 (3): 241‑47. doi:10.1111/j.0033-0124.1976.00241.x.

Frankhauser, Pierre, et Dominique Ansel, éd. 2012. *La décision d’habiter ici ou ailleurs*. Collection Villes. Paris: Economica : Anthropos.

Füssel, Hans-Martin, et Richard J. T. Klein. 2006. « Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. » *Climatic Change* 75 (3): 301‑29. doi:10.1007/s10584-006-0329-3.

Gallopín, Gilberto C. 1996. « Environmental and Sustainability Indicators and the Concept of Situational Indicators. A Systems Approach. » *Environmental Modeling & Assessment* 1 (3): 101‑17. doi:10.1007/BF01874899.

Gallopín, Gilberto C. 2006. « Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. » *Global Environmental Change*, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental ChangeResilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 16 (3): 293‑303. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004.

Gilard, O., et N. Gendreau. 1998. « Inondabilité : une méthode de prévention raisonnable du risque d’inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants. » *Revue des sciences de l’eau* 11 (3): 429. doi:10.7202/705315ar.

Glatron, Sandrine. 1999. « Une évaluation géographique des risques technologiques ... L’exemple du stockage et de la distribution des carburants en Île-de-France. » *Espace géographique* 28 (4): 361‑72. doi:10.3406/spgeo.1999.1281.

Grothmann, Torsten, et Anthony Patt. 2005. « Adaptive Capacity and Human Cognition: The Process of Individual Adaptation to Climate Change. » *Global Environmental Change* 15 (3): 199‑213. doi:10.1016/j.gloenvcha.2005.01.002.

Gudmundsson, Henrik. 2003. « The Policy Use of Environmental Indicators - Learning from Evaluation Research. » *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies* 2 (2): 1‑12.

Gunderson, Lance H, et C. S Holling. 2002. *Panarchy Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Washington, DC: Island Press. http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/48390912.html.

Haddad, Brent M. 2005. « Ranking the Adaptive Capacity of Nations to Climate Change When Socio-Political Goals Are Explicit. » *Global Environmental Change* 15 (2): 165‑76. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.10.002.

Hahn, Micah B., Anne M. Riederer, et Stanley O. Foster. 2009. « The Livelihood Vulnerability Index: A pragmatic approach to assessing risks from climate variability and change—A case study in Mozambique. » *Global Environmental Change* 19 (1): 74‑88. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.11.002.

Hassan, Rashid. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being. Vol. 1: Current State and Trends*. Édité par Millennium Ecosystem Assessment. Millennium Ecosystem Assessment Series. Washington, DC: Island Press.

Hewitt, Kenneth, éd. 1983. *Interpretations of Calamity from the Viewpoint of Human Ecology*. The Risks & Hazards Series 1. Boston u.a: Allen [and] Unwin.

Hinkel, Jochen. 2011. « “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: Towards a clarification of the science–policy interface ». *Global Environmental Change* 21 (1): 198‑208. doi:10.1016/j.gloenvcha.2010.08.002.

Holling, C S. 1973. « Resilience and Stability of Ecological Systems. » *Annual Review of Ecology and Systematics* 4 (1): 1‑23. doi:10.1146/annurev.es.04.110173.000245.

Hubert, Gilles, et Bruno Ledoux. 1999. *Le Coût du risque ...: l’évaluation des impacts socio-économiques des inondations*. Paris: Presses de l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Ionescu, Cezar, Richard J. T. Klein, Jochen Hinkel, K. S. Kavi Kumar, et Rupert Klein. 2009. « Towards a Formal Framework of Vulnerability to Climate Change. » *Environmental Modeling & Assessment* 14 (1): 1‑16. doi:10.1007/s10666-008-9179-x.

Janssen, Marco A., Michael L. Schoon, Weimao Ke, et Katy Börner. 2006. « Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. » *Global Environmental Change*, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 16 (3): 240‑52. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.001.

Jones, Roger N. 2001. « An Environmental Risk Assessment/Management Framework for Climate Change Impact Assessments. » *Natural Hazards* 23 (2-3): 197‑230. doi:10.1023/A:1011148019213.

Kasperson, Jeanne X., et Roger E. Kasperson. 2005. *The social contours of risk*. Risk, society, and policy series. London ; Sterling, Va: Earthscan.

Kasperson, J. X., et R. E. Kasperson. 2013. *Global Environmental Risk*. Taylor & Francis. https://books.google.fr/books?id=2tEYHqiPlpQC.

Kelly, P.M., et W.N. Adger. 2000. « Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change andFacilitating Adaptation. » *Climatic Change* 47 (4): 325‑52. doi:10.1023/A:1005627828199.

Kestner, F. J. T., Edmund C. Penning-Rowsell, et John B. Chatterton. 1979. « The Benefits of Flood Alleviation: A Manual of Assessment Techniques. » *The Geographical Journal* 145 (3): 472. doi:10.2307/633221.

Klein, Richard J. T. 2009. « dentifying Countries that are Particularly Vulnerable to the Adverse Effects of Climate Change: An Academic or a Political Challenge? » 3 (3): 8.

Lazzarotti, Olivier. 1997. « Péguy Ch.-P., L’horizontal et le vertical. » *Annales de Géographie* 106 (597): 532.

Léone, Frédéric, Nancy Meschinet de Richemond, et Freddy Vinet. 2010. *Aléas naturels et gestion des risques*. Paris: Presses universitaires de France.

Leroi, Asté, et Leone. 1996. « L’évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrains : pour une meilleure quantification du risque/ ~~The evaluation of vulnerability to mass movements : towards a better quantification of landslide risks~~. » *Revue de géographie alpine* 84 (1): 35‑46. doi:10.3406/rga.1996.3846.

Luers, Amy L. 2005. « The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. » *Global Environmental Change* 15 (3): 214‑23. doi:10.1016/j.gloenvcha.2005.04.003.

Mathieu, Jean-Paul, Alfred Kastler, et Pierre Fleury. 1985. *Dictionnaire de physique*. 2. éd., rév. et augm. Paris: Masson [u.a.].

Meylan, Paul, Anne-Catherine Favre, et André Musy. 2008. *Hydrologie fréquentielle: une science prédictive*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes.

O’Brien, Karen, Siri Eriksen, Lynn P. Nygaard, et Ane Schjolden. 2007. « Why Different Interpretations of Vulnerability Matter in Climate Change Discourses. » *Climate Policy* 7 (1): 73‑88. doi:10.1080/14693062.2007.9685639.

O’Brien, Karen, Robin Leichenko, Ulka Kelkar, Henry Venema, Guro Aandahl, Heather Tompkins, Akram Javed, et al. 2004. « Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. » *Global Environmental Change* 14 (4): 303‑13. doi:10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001.

Odum, Howard T. 1983. *Systems ecology: an introduction*. New York: Wiley.

Parker, Dennis J. 1995. « Floodplain development policy in England and Wales. » *Applied Geography* 15 (4): 341‑63. doi:10.1016/0143-6228(95)00016-W.

Parker, Dennis J., Colin H. Green, et Paul M. Thompson. 1987. *Urban Flood Protection Benefits: A Project Appraisal Guide*. Aldershot, Hants: Gower.

Pelling, Mark. 2003. *The Vulnerability of Cities Natural Disasters and Social Resilience*. London; Sterling, VA: Earthscan Publications. http://site.ebrary.com/id/10128871.

Pigeon, Patrick. 2005. *Géographie critique des risques*. Collection Géographie. Paris: Economica : Anthropos.

Pigeon, Patrick. 2012. « Apports de la résilience à la géographie des risques : l’exemple de La Faute-sur-Mer (Vendée, France). » *VertigO - la revue électronique en sciences de l’environnement*, no Volume 12 Numéro 1 (juin). doi:10.4000/vertigo.12031.

Pillet, Gonzague Jacques. 2006. *Economie de l’environnement--ecologie de l’économie: externalités vs emternalités*. Economie ecologique. Bale: Helbing & Lichtenhahn.

Pimm, Stuart L. 1984. « The Complexity and Stability of Ecosystems. » *Nature* 307 (5949): 321‑26. doi:10.1038/307321a0.

Polsky, Colin. 2004. « Putting Space and Time in Ricardian Climate Change Impact Studies: Agriculture in the U.S. Great Plains, 1969–1992. » *Annals of the Association of American Geographers* 94 (3): 549‑64. doi:10.1111/j.1467-8306.2004.00413.x.

Propeck-Zimmerman, Eliane, Thierry Saint-Gérand, et Emmanuel Bonnet. 2009. « Nouvelles approches ergonomiques de la cartographie des risques industriels. » *Mappemonde* 4 (96). http://mappemonde.mgm.fr/num24/articles/art09402.html.

Rakotoarisoa, Mahefa Mamy, Cyril Fleurant, Audrey Amiot, Aziz Ballouche, Pierre-Yves Communal, Alain Jadas-Hécart, Isabelle La Jeunesse, David Landry, et Théodore Razakamanana. 2014. « Système multi-agent pour la modélisation des écoulements de surface sur un petit bassin versant viticole du Layon. » *Revue internationale de géomatique* 24 (3): 307‑33. doi:10.3166/rig.24.307-333.

Richemond, Nancy Meschinet de, Gérald Garry, et Yvette Veyret. 2004. « Risques naturels et aménagements en Europe : répartition des compétences, niveaux territoriaux de gestion des risques et acteurs (~~Natural risks and development control in Europe : institutional structures, steps for risks management and actors~~). » *Bulletin de l’Association de géographes français* 81 (1): 103‑13. doi:10.3406/bagf.2004.2370.

Riedlinger, Dyanna, et Fikret Berkes. 2001. « Contributions of traditional knowledge to understanding climate change in the Canadian Arctic. » *Polar Record* 37 (203): 315‑28. doi:10.1017/S0032247400017058.

Roche, P. A, Jacques Miquel, et Eric Gaume. 2012. *Hydrologie quantitative Processus, modèles et aide à la décision*. Paris; New York: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-2-8178-0106-3.

Rufat, Samuel. 2007. « L’estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour la gestion du risque. » *Géocarrefour* 82 (1-2): 7‑16. doi:10.4000/geocarrefour.1397.

Satterfield, Terre A., C. K. Mertz, et Paul Slovic. 2004. « Discrimination, Vulnerability, and Justice in the Face of Risk. » *Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis* 24 (1): 115‑29. doi:10.1111/j.0272-4332.2004.00416.x.

Scarwell, Helga-Jane, et Richard Laganier. 2004. *Risque d’inondation et aménagement durable des territoires*. Environnement et société. Villeneuve d’Ascq: Presses universitaires du Septentrion.

Schroter, D. 2005. « Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. » *Science* 310 (5752): 1333‑37. doi:10.1126/science.1115233.

Smit, Barry, et Johanna Wandel. 2006. « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. » *Global Environmental Change*, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental ChangeResilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 16 (3): 282‑92. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008.

Stockholm Environment Institute. 2001. « Strategic Environmental Framework for the Greater Mekong Subregion: Integrating Development and Environment in the Transport and Water Resource Sectors. » Stockholm Environment Institute and Asian Development Bank, Stockholm.

Sullivan, Caroline. 2002. « Calculating a Water Poverty Index. » *World Development* 30 (7): 1195‑1210. doi:10.1016/S0305-750X(02)00035-9.

Thywissen, Katharina. 2006. *Components of Risk: A Comparative Glossary*. Studies of the University: Research, Counsel, Education 2. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security.

Timmerman, P. 1981. « Vulnerability, resilience and the collapse of society. »

Tobin, Graham A. 1997. *Natural Hazards: Explanation and Integration*. Guilford Press.

Torterotot, Jean Philippe. 1993. « Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes. » Phdthesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00421862/document.

Turner, B. L., R. E. Kasperson, P. A. Matson, J. J. McCarthy, R. W. Corell, L. Christensen, N. Eckley, et al. 2003. « A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. » *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100 (14): 8074‑79. doi:10.1073/pnas.1231335100.

UNDP. 1990. « Human Development Report. » Oxford University Press, New York.

Walker, Brian, CS Holling, Stephen R Carpenter, et Ann Kinzig. 2004. « Ecology and Society: Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. » *Ecology an Society* 9 (2): 5.

White, Gilbert F. 1975. *Flood hazard in the United States: a research reassessment*. university of Colorado, Institute of behavioural sciences: Boulder.

Wisner, Benjamin, éd. 2004. *At risk: natural hazards, people’s vulnerability, and disasters*. 2nd ed. London ; New York: Routledge.

Wolf, Sarah, Jochen Hinkel, Mareen Hallier, Alexander Bisaro, Daniel Lincke, Cezar Ionescu, et Richard J.T. Klein. 2013. « Clarifying Vulnerability Definitions and Assessments Using Formalisation. » *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 5 (1): 54‑70. doi:10.1108/17568691311299363.

Yohe, Gary, et Richard S.J. Tol. 2002. « Indicators for Social and Economic Coping Capacity—moving toward a Working Definition of Adaptive Capacity. » *Global Environmental Change* 12 (1): 25‑40. doi:10.1016/S0959-3780(01)00026-7.

[**SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES RISQUES – ALEA VULNERABILITE – particulièrement sur les risques liés à l’inondation** 1](#_Toc430791702)

[1. Définition du risque et de ses composantes (Aléa / Vulnérabilité / Résilience) 1](#_Toc430791703)

[1.1. L’aléa 1](#_Toc430791704)

[1.2. La vulnérabilité 2](#_Toc430791705)

[1.3. La resilience 3](#_Toc430791706)

[2. Les tendances au fil du temps concernant les approches analytiques de la vulnérabilité et de la résilience 4](#_Toc430791707)

[2.1. Classification des différentes approches concernant l’analyse de la vulnérabilité 4](#_Toc430791708)

[2.2. Nouvelles approches 6](#_Toc430791709)

[3. Mesurer la vulnérabilité 7](#_Toc430791710)

[3.1. Peut-on mesurer la vulnérabilité ? 7](#_Toc430791711)

[3.2. La vulnérabilité, une pluralité des définitions, une diversité des méthodes 7](#_Toc430791712)

[3.3. Quelques techniques classiques pour évaluer le degré de vulnérabilité d’un système. 8](#_Toc430791713)

[3.4. Historique des méthodes d’évaluation de la vulnérabilité – cas de l’aléa inondation. 10](#_Toc430791714)

[4. Les difficultés dans la mesure de la vulnérabilité 11](#_Toc430791715)

[4.1. La prise en compte des processus sociaux 11](#_Toc430791716)

[4.2. Le choix des seuils 11](#_Toc430791717)

[4.3. La perception de la vulnérabilité et le ressenti des personnes concernés 11](#_Toc430791718)

[4.4. L’implication de la gouvernance dans la vulnérabilité 12](#_Toc430791719)

[4.5. La diversité des méthodes d’analyse de la vulnérabilité, un signe de vitalité dans la recherche 12](#_Toc430791720)

[5. Les indicateurs de vulnérabilité, qu’est ce que ça signifie, sont ‘ils pertinents. 13](#_Toc430791721)

[5.1. La question de la confusion en ce qui concerne la vulnérabilité 13](#_Toc430791722)

[5.2. Mesures et indicateurs 13](#_Toc430791723)

[5.3. L’aspect prospectif d’un indicateur de vulnérabilité - vers le lien avec les modèles de simulations? 14](#_Toc430791724)

[6. Le couplage d’un indicateur de vulnérabilité statique avec un modèle de simulation (FLEE : Flood modeLing and Escaping from thEm). 15](#_Toc430791725)