



HAL
open science

Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites

Stéphanie Defossez, Freddy Vinet, Frédéric Leone

► **To cite this version:**

Stéphanie Defossez, Freddy Vinet, Frédéric Leone. Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites. Inondations 1 : la connaissance du risque, 2018. hal-03171204

HAL Id: hal-03171204

<https://hal.science/hal-03171204>

Submitted on 24 Mar 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites

L'approche géographique des risques a évolué ces dernières décennies. Une démarche « aléa centrée » a laissé la place à une approche plus intégrée, complétée par les dimensions sociale et territoriale de la vulnérabilité. La vulnérabilité est classiquement considérée comme une composante du risque, mais restait encore perçue dans la communauté scientifique comme minoritaire dans la définition [GIL 09]. Toutefois, le concept de vulnérabilité a évolué, s'est précisé, stabilisé ; les méthodes de diagnostic aux différentes échelles se sont multipliées. Les limites tiennent à la connotation négative de la vulnérabilité qui favorise peu son appropriation par les gestionnaires du risque (en particulier les élus). Elles résultent aussi de l'existence d'une sorte de « plafond de verre » lié à l'impossibilité de modéliser totalement la vulnérabilité, impossibilité qui entretient une image de faiblesse méthodologique par rapport aux sciences « dures » qui président à l'évaluation de l'aléa. Enfin, le défi principal reste la mise en application des diagnostics pour une réduction concrète du risque.

14.1. Comment définir la vulnérabilité ?

14.1.1. L'approche scientifique

La notion de vulnérabilité est une composante essentielle du risque et de sa définition, au même titre que les autres notions d'aléa, d'enjeux (exposition) et de

capacités de résilience. C'est la coexistence de ces quatre notions sur un espace et un temps donnés qui génère du risque.

Le modèle AEV/C (figure 14.1) propose un cadre à la fois conceptuel, méthodologique et opérationnel d'évaluation du risque à l'échelle d'un territoire, un modèle de diagnostic territorial risque-centré, soucieux d'intégrer et spatialiser les différentes composantes fondamentales du processus de production du risque. Ce modèle AEV/C est adapté du modèle PAR (*Pressure and Release framework*) de Blaikie *et al.* [BLA 94]. Il s'agit d'un cadre d'analyse transposable à tout type de risque, qu'il soit naturel, sociétal, sanitaire ou technologique, et déclinable à plusieurs échelles territoriales. Il repose sur une approche analytique du risque, qualitative (identification de facteurs) ou quantitative (construction d'indicateurs) compatible avec les besoins d'intégration multicritère et de cartographie du risque pour l'aide à la décision.

La figure 14.1 synthétise les composantes du risque territorialisé et le cadre de son diagnostic fondé sur la caractérisation des aléas, en particulier de référence, des enjeux exposés, en particulier leur mobilité spatiale et temporelle, des différentes formes de vulnérabilités directes (vulnérabilité d'état) et indirectes (facteurs profonds) qui s'y appliquent, vulnérabilités qui peuvent être par ailleurs compensées par des capacités d'adaptation et de réponse relevant du concept de résilience. Ce modèle AEV/C, à vocation opérationnelle et pédagogique, présente aussi l'avantage de visualiser des composantes du risque sur les territoires qui sont autant de leviers de réduction de ces risques : réduire l'aléa, réduire les enjeux, réduire les vulnérabilités ou augmenter la résilience. Dans ce schéma, le diagnostic de vulnérabilité humaine, fonctionnelle, organisationnelle ou physique (infrastructures) apparaît comme une approche spécifique de la vulnérabilité territoriale et donc du risque territorialisé. Ce risque peut être direct et devenir indirect en situation de perte d'accessibilité de certaines portions du territoire.

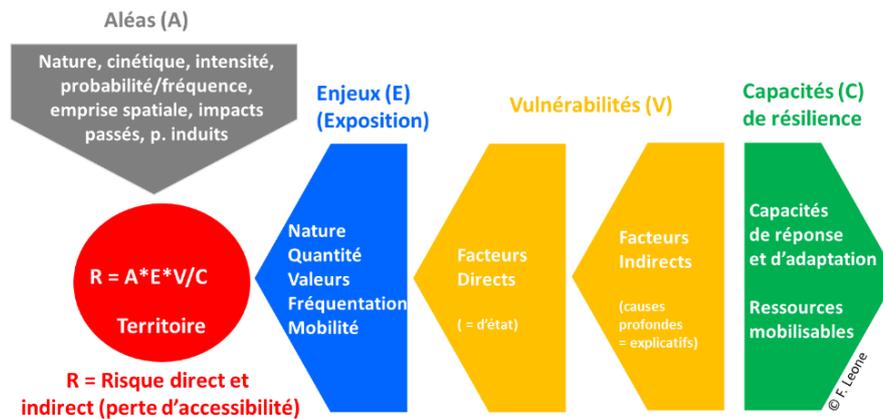


Figure 14.1. Le modèle AEV/C, un cadre conceptuel et opérationnel de diagnostic territorial de risque

C'est à travers ce paradigme de risque territorialisé que la vulnérabilité en géographie prend tout son sens. Elle se traduit comme une composante du risque et est, au départ, associée aux enjeux « éléments exposés [qui] se caractérisent par différentes formes de vulnérabilités qui les rendent plus ou moins sensibles à l'endommagement ou au dysfonctionnement » [LEO 10, p. 31]. C'est à partir de cette définition que le concept de vulnérabilité s'est affiné, même si la définition ne repose plus essentiellement sur les enjeux exposés. L'exposition des biens aux aléas ne doit pas se confondre avec la vulnérabilité dont le sens est bien plus large. En effet, la notion d'exposition renvoie à un espace ou des biens affectés directement par des phénomènes naturels. Elle fait référence à un zonage comme la zone inondable par exemple. Or un territoire situé hors zone inondable peut être vulnérable. La vulnérabilité ne se limite donc pas aux zones exposées, son analyse ne doit pas s'arrêter aux espaces directement touchés par l'aléa, d'où l'intérêt d'une approche territorialisée.

La géographie anglo-saxonne développe le concept dès les années quarante [WHI 45]. Elle est définie comme l'endommagement potentiel, mais délimite également le contexte social et territorial [BLA 94, BUR 83, HEW 83]. En France, la question d'une société vulnérable est posée dans les années quatre-vingt [FAB 87] puis de nouvelles pistes de recherche s'ouvrent à partir de réflexions collectives [DER 94]. La vulnérabilité est dès lors estimée comme la « propension d'une société donnée à subir des dommages en cas de manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique » [DER 94, p. 87]. Cette définition assez restrictive fait surtout référence à l'endommagement potentiel, des bâtiments ou infrastructures détruits ou endommagés suite à une inondation par exemple. La définition s'élargit ensuite avec

une approche visant « à cerner les conditions ou les facteurs propices aux endommagements ou influant sur la capacité de réponse à une situation de crise » [THO 96, p. 407], soit les moyens mis en œuvre pour se prémunir de l'endommagement potentiel. Ces deux définitions qui guident les approches par la vulnérabilité amènent une composante d'évaluation quantitative (endommagement) et qualitative (capacité de réponse) de la vulnérabilité [BEC 12, LEO 96]. L'approche des risques par la vulnérabilité s'ouvre alors à une dimension sociale non déconnectée de l'aléa, mais évoluant plutôt dans un système. Cette approche traduit aussi la part de responsabilité anthropique dans les conséquences dommageables des aléas naturels et la « production » de catastrophe. J.-M. Zaninetti [ZAN 14] évoque la vulnérabilité comme résultante de l'aménagement du territoire; de la pression de l'urbanisation qui accroît le potentiel d'endommagement notamment dans les zones à risque, mais aussi sur les aspects sociaux. D. Provitolo [PRO 07] considère que sans négliger l'aléa « le plus souvent, la catastrophe survient à cause d'une vulnérabilité grandissante ».

La vulnérabilité s'inscrit dans une dimension théorique, mais évolue également vers des modèles graphiques et/ou systémiques [PRO 07] via des méthodes d'évaluation qualitative et quantitative. La vulnérabilité se décline dans des dimensions biophysique et sociale/sociétale [ADG 06, BAR 13, EAK 06, PRO 15, REG 06] et territoriale [DER 09] (figure 14.2).

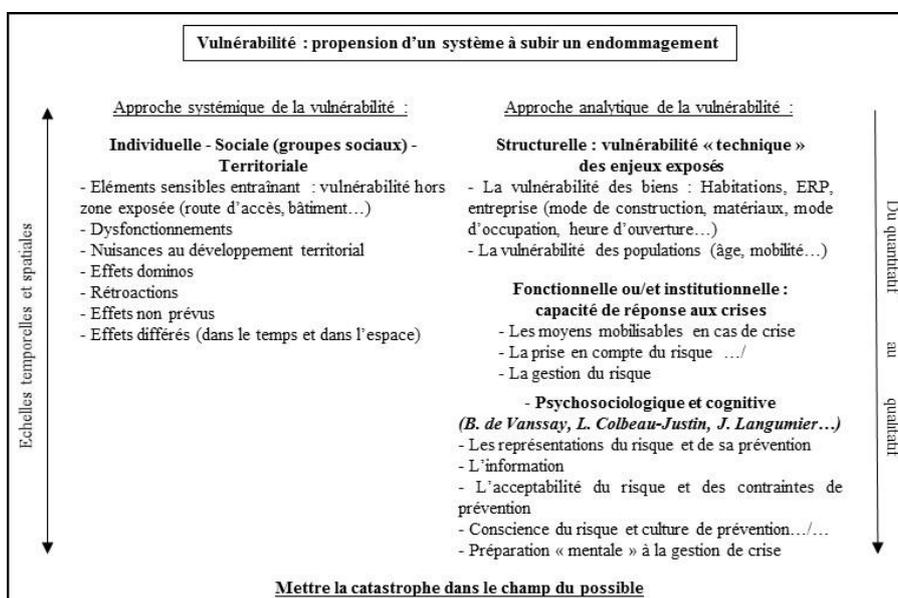


Figure 14.2. Approches de la vulnérabilité

La vulnérabilité biophysique fait référence d'une part à la nature, la probabilité, l'ampleur et l'intensité de l'aléa ; d'autre part aux enjeux, à leur niveau/degé d'exposition, leur fragilité, leur sensibilité physique, leur endommagement potentiel. Cette dimension quelque peu réductrice est renforcée par la vulnérabilité sociale qui intègre des facteurs exogènes, mais aussi les réponses individuelles et collectives des sociétés pour faire face. Ce sont les moyens mis en œuvre pour réduire la vulnérabilité biophysique, pour réagir face à la crise et se réadapter après la crise tout en anticipant la prochaine. Cette vulnérabilité sociale s'apparente parfois au terme de résilience qui conçoit la capacité à faire face et à surmonter la crise. La vulnérabilité cognitive [LAM 12] résultant d'une approche plus psychosociale permet d'intégrer au système les connaissances et perceptions des sociétés. La vulnérabilité s'inscrit dans des temporalités *ante* et *post* crise, mais aussi à différentes échelles spatiales. Le territoire est au centre de la vulnérabilité dans la dimension de vulnérabilité territoriale [DER 09]. À partir d'éléments particulièrement sensibles sur un territoire, l'effet domino est analysé. Quels espaces sont affectés (non par l'aléa) ? Quelles perturbations sont engendrées ?

La définition de la vulnérabilité s'explique également par des approches, des entrées d'analyse. L'approche par la vulnérabilité se veut analytique et/ou systémique [BAR 13, LEO 06] ou encore synthétique [DAU 03]. L'approche analytique, plus descriptive, se structure en fonction des enjeux qu'ils soient matériels, humains, patrimoniaux, environnementaux tandis que l'approche systémique ou synthétique, plus explicative, s'étend à un champ de facteurs plus large d'un territoire et d'un système sociospatial. L'analyse de la vulnérabilité fait également intervenir différentes échelles spatio-temporelles, individuelles à territoriales, intégrant une dimension dynamique [LEO 10] à plusieurs points de vue. D'une part, les vulnérabilités individuelle, structurelle, territoriale ne sont pas statiques, mais évolutives en ce sens que les sociétés, au sens large, contribuent en fonction des contextes géographique, socio-économique, politique, historique à l'évolution de la vulnérabilité. D'autre part, la vulnérabilité nécessite d'être abordée à différents pas de temps et notamment d'analyser le passé pour le futur, à travers des « trajectoires de vulnérabilités » [MAG 12] et des approches prospectives [HEL 13].

La sphère scientifique investit ces problématiques depuis quelques décennies désormais. Elle s'attache à définir les concepts, mais également à rendre le concept opérationnel (infra). Les institutions, acteurs de la gestion des risques, s'intéressent à la vulnérabilité comme levier de prévention.

14.1.2. L'approche institutionnelle : évaluation et réduction des dommages ?

Les limites de la gestion structurelle des risques ont participé à l'investissement des institutions dans des démarches de diagnostic de vulnérabilité, même s'ils ne sont pas systématiques. De ce point de vue, la vulnérabilité s'apparente surtout à l'endommagement des enjeux exposés et est qualifiée de vulnérabilité économique.

Le Plan de Prévention des Risques (PPR) par exemple définit la vulnérabilité : « au sens le plus large, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur les enjeux. Elle est perçue comme un niveau de risque qualifié par le niveau d'aléa et la vulnérabilité des enjeux, le tout dans un objectif de réduire ou de ne pas augmenter la vulnérabilité et d'assurer la sécurité des personnes. De manière générale, les institutions évaluent la vulnérabilité plus qu'elles ne la définissent et proposent une approche de réduction de la vulnérabilité. Des guides d'évaluation, mais aussi de recommandations (CSTB par exemple) proposent des possibilités d'adaptation des biens face à l'inondation. La pose de batardeau ou encore l'édification des bâtiments (pour les nouvelles constructions) au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues (PHEC) concourent à cet objectif (voir volume 2).

De récents référentiels de vulnérabilité évaluent également la vulnérabilité humaine. Elle est considérée comme une mise en danger des personnes, par conséquent la réduction de la vulnérabilité humaine passe par leur mise en sécurité [CER 16] avec la création de pièce refuge. L'approche technique est privilégiée, mais l'évaluation de la vulnérabilité s'inscrit parfois dans une approche territorialisée (diagnostic territorial préalable) [DRE 15] et laisse envisager une approche plus globale dans le futur. L'approche et l'évaluation institutionnelles des vulnérabilités semblent plus restrictives même si elles apportent un aspect pragmatique et appliqué.

La vulnérabilité tend à s'appliquer au territoire. Elle s'évalue par des diagnostics qui ont pour objet de la caractériser dans le cadre d'une évaluation du risque, mais aussi de proposer des stratégies de réduction de la vulnérabilité.

14.2. De l'individu au territoire : diagnostiquer la vulnérabilité

La vulnérabilité ne repose pas seulement sur un modèle conceptuel, mais s'applique concrètement sur la base d'évaluation, de diagnostic. Au départ, l'approche évaluative a fait référence à un niveau d'endommagement [LEO 96] pour évoluer vers une approche systémique [BEC 12]. Le diagnostic de vulnérabilité se conçoit comme une estimation de la vulnérabilité d'un enjeu ou d'un territoire, mais aussi comme une potentialité de réduire cette vulnérabilité. La démarche est de fait prospective

s'agissant de se « préparer » à une crise future. Les diagnostics sont souvent initiés *a posteriori* (par exemple le programme Alabri dans le Gard suite aux inondations de septembre 2002), mais peuvent et doivent être menés *a priori*, même sans événement marquant récent sur le territoire. Le diagnostic de vulnérabilité peut être en soi une véritable démarche d'anticipation.

L'évaluation porte tant sur les facteurs d'endommagement que sur les capacités d'organisation, au sens large, d'une société pour répondre à un événement. Elle s'appuie sur des facteurs de vulnérabilité même s'il n'existe pas encore de consensus méthodologique [BEC 12]. La détermination de critères s'établit par l'analyse des enjeux matériels et humains : qu'est-ce qui peut être endommagé et comment ? Elle s'étend non seulement à l'endommagement, mais aussi aux perturbations du territoire (hors zone à risque). Enfin des critères de capacités attenants à la gestion du risque et de la crise, mais aussi les perceptions et connaissances des acteurs s'insèrent aux évaluations. L'approche géographique du diagnostic de vulnérabilité consiste à identifier, évaluer, spatialiser afin de proposer des stratégies d'adaptation territoriales.

14.2.1. Diagnostiquer la vulnérabilité structurelle : quels critères d'évaluation ?

L'intérêt de diagnostiquer la vulnérabilité des biens n'est pas seulement de dresser un état des lieux. Il réside surtout dans la potentialité de réduire la vulnérabilité, au sens endommagement, ainsi que la constitution d'un contexte favorable pour faire face. L'évaluation se fonde sur des descripteurs, des critères et/ou des indicateurs de vulnérabilité [BAR 05, FAT 07, JOU 09, KUH 11, LEO 96, MEU 03, RUF 15, TAP 02, VIN 15] alimentant la création d'indices et de niveaux de vulnérabilité. Quelle que soit leur dénomination, il s'agit de déterminer des éléments permettant d'estimer la vulnérabilité des enjeux, qualifiée ici de vulnérabilité structurelle puisqu'elle s'intéresse au bâti. L'estimation repose principalement sur les caractéristiques intrinsèques du bien, mais dépendra aussi de facteurs extrinsèques ou aggravants. Elle s'inscrit dans une dimension plus large que le bâti avec des aspects socio-psychologiques (construction d'un bâti adapté en fonction de la perception du risque) et territoriaux. Le jeu d'échelles spatiales est déterminant dans la définition des critères d'évaluation. La vulnérabilité matérielle des biens (mobiliers, immobiliers...) est la plus facilement objectivable. Chaque bien est évalué en fonction de critères prédéfinis qui peuvent être ensuite agrégés à plusieurs échelles territoriales.

Des critères sont communs aux différents aléas, territoires et sociétés, mais d'autres sont spécifiques. L'évaluation d'enjeux exposés aux inondations ou aux séismes ne repose évidemment pas sur les mêmes critères. Les critères et indicateurs sont par conséquent définis en fonction de questionnements sur l'endommagement du

bien. La typologie des biens comprend les bâtiments de quelque nature que ce soit (habitation, ERP, usine...) sur la base de critères intrinsèques au bâtiment comme la nature ou la résistance, mais aussi extrinsèques comme l'aléa, l'exposition, la gestion individuelle et collective ainsi que la perception du risque qu'ont les occupants (tableau 14.1). Il s'agit de répondre à la question suivante : quels sont les facteurs de sensibilité, de fragilité ?

Facteurs	Critères	Indicateurs	Sources
Caractéristiques de l'aléa	-Hauteur d'eau	-0-50 cm, 50-100 cm, 100-150 cm, > 150 cm	Archives Document réglementaire Modélisations
	-Vitesse	-0,5 m/s, 1 m/s, 2 m/s...	Retour d'expérience
	-Durée de submersion	-Temps en minutes, heures, jours, mois	Relevés de terrain
Topographique	-Altitude	-Altitude en mètre NGF	MNT Relevés de terrain
Type de bâti	-Nature du bâti -Niveau du plancher du bâti	-Plain-pied sans fenêtre de toit, plain-pied avec fenêtre de toit, étage refuge, étage... -Au-dessus, au niveau, sous le niveau de la chaussée	Relevés de terrain Questionnaire
Structure/état du bâti	-Nature des matériaux extérieurs -État du bâti -Ouvertures -Type de revêtements intérieurs -Hauteur du réseau électrique -Biens mobiliers	-Parpaing/brique, bois, tôle -Bon, moyen, mauvais -Nombre et étanchéité -Matériau/étanchéité -0-50, 50-100 cm... -Valeur	
	-Réduction de la vulnérabilité	-Mesures individuelles/collectives -Type de mesures	
	-Connaissance et conscience du risque	-Estimation qualitative	Questionnaire Entretien

	-Connaissance de mesures adaptées -Volonté et capacité de mettre en place les mesures		
--	--	--	--

Tableau 14.1. Échantillon de critères et indicateurs de vulnérabilités des biens (exposés au risque inondation)

Le type de bâti différencie l'endommagement : une maison de plain-pied est ainsi plus vulnérable qu'une habitation à étage. De même, une construction dont le plancher se situe au-dessus des Plus Hautes Eaux Connues réduit son niveau de vulnérabilité face à une construction identique dont le sol est sous le niveau d'une route par exemple. La vulnérabilité des biens s'établit en fonction de la structure et de l'état du bâti, mais aussi les biens mobiliers (valeur monétaire) détruits ou endommagés. C'est d'ailleurs une des considérations premières de la vulnérabilité quand la notion a émergé avec l'évaluation de la vulnérabilité des biens en zone sismique. Des critères quantifiables comme la mise en place de mesures, type batardeau par exemple, peuvent contrebalancer la nature du bâti. D'autres critères moins quantifiables relèvent des perceptions et des mesures préventives comme l'information.

Bien que non exhaustif, le tableau ci-dessus rend compte d'une grille d'évaluation. Deux démarches sont possibles : une démarche, peu coûteuse, consiste à utiliser des données non spécifiques existantes pour qualifier la vulnérabilité des biens ou des personnes. La seconde démarche cherche à acquérir des données spécifiques spécialement calibrées pour caractériser la vulnérabilité.

Dans le cas des données non spécifiques, la démarche tente de caractériser la vulnérabilité à partir de données existantes qui n'ont en général pas été collectées pour cela au départ. La vulnérabilité est caractérisée à partir d'axiomes métonymiques (par exemple : les personnes âgées sont vulnérables en général donc elles sont vulnérables en cas d'inondation). Ce type de raisonnement est le plus souvent fondé, mais parfois contredit notamment lors des crues torrentielles où les hommes adultes s'exposent plus. L'intérêt de cette approche repose sur son coût peu élevé et la comparabilité des résultats. Elle pêche en revanche par son manque de finesse et des raccourcis parfois contre-productifs en termes de prévention. On voit par exemple que les classes d'âge les plus vulnérables à l'inondation varient en fonction des situations et des types d'inondations (voir chapitre 4 dans ce volume).

Le recueil de données spécifiques exige un long travail d'acquisition par des enquêtes de terrain, de la photo-interprétation... Par exemple, qualifier la vulnérabilité d'un bâtiment sans passer par un diagnostic *ad hoc* est vouée à l'échec ou reste très limité dans l'état actuel des bases de données (nombre d'étages...). Ce constat est

encore plus vrai lorsqu'il s'agit de qualifier les représentations et les comportements des personnes face à l'inondation. Cette approche est évidemment plus fine et donne une vision plus précise de la vulnérabilité : elle permet d'appuyer des démarches de prévention ou de réduction de la vulnérabilité. En revanche, son coût est dissuasif. Le diagnostic de vulnérabilité d'un bâtiment face à l'inondation se chiffre entre 200 et 500 euros (www.alabri-smage.fr/). Finalement, l'évaluation de la vulnérabilité des biens renvoie à une démarche plutôt technique, quantifiable, que l'on peut associer à la valeur économique de l'endommagement. Certains critères communs à la vulnérabilité des bâtiments et à la vulnérabilité humaine n'auront toutefois pas la même incidence. Par exemple, les systèmes de fermeture des fenêtres (volets) peuvent *a priori* réduire le risque d'intrusion, mais représentent un piège pour les habitants en cas de débits et de hauteurs d'eau élevés.

14.2.2. La vulnérabilité humaine

La vulnérabilité des personnes peut se référer à trois grands types de facteurs : la vulnérabilité extrinsèque, la vulnérabilité intrinsèque et le comportement. On parlera ici de la vulnérabilité à l'échelle individuelle.

– La vulnérabilité extrinsèque dépend des conditions d'environnement dans lesquelles la personne se trouve au moment de l'inondation. La réponse doit être envisagée à plusieurs échelles et répond à la question simple : la personne est-elle susceptible d'être atteinte par l'eau jusqu'à ce que sa santé voire sa vie en pâtisse ? Cela dépend fortement de la localisation des personnes par rapport à l'aléa. Pour les décès à domicile, la dangerosité du bâti est fondamentale : l'absence de niveau refuge et d'évacuation possible par le haut (balcon, fenêtre de toit...) est un facteur essentiel de dangerosité du bâti pour les personnes. Toutefois l'exposition des personnes n'est pas proportionnelle à la solidité du bâtiment ou du véhicule dans lequel elles se trouvent au moment de l'inondation. Par exemple lors d'une inondation de nuit dans un terrain de camping, les personnes en camping-car sont plus vulnérables que les personnes sous tente, car elles ressentent l'inondation plus tard lorsque le camping-car commence à flotter et qu'il est trop tard pour évacuer...

– La vulnérabilité intrinsèque de la personne dépend de ses capacités physiques et psychologiques à résister à l'inondation : savoir nager, résister à l'eau froide, à la vitesse du courant... Les études épidémiologiques sur les décès liés aux inondations (voir chapitre 4 de ce volume) montrent de toute évidence que les personnes âgées sont toutes choses égales par ailleurs plus vulnérables compte tenu de leurs capacités physiques inférieures de même évidemment que les personnes malades ou handicapées. On retrouve là des éléments de vulnérabilité humaine générale.

La vulnérabilité des personnes face à une inondation est aussi liée à leur degré de préparation cognitive et psychologique. Une personne préparée et entraînée est toutes choses égales par ailleurs moins vulnérable. Mais les mêmes critères peuvent être des facteurs influençant inversement la vulnérabilité selon la phase de la catastrophe dans laquelle on se trouve : avant, pendant ou après [RUF 15].

– Le troisième type de facteur tient aux comportements. Il s'agit en quelque sorte d'une vulnérabilité « active » par opposition à la vulnérabilité extrinsèque qui est plus « subie » ou « passive ». Quels sont les facteurs de comportement à risque lors des inondations ? Le chapitre 4 XXX du volume 2 de cet ouvrage revient en détail sur ces comportements notamment lors des déplacements automobiles.

On notera que le comportement à risque n'est pas forcément lié au manque de connaissance sur l'aléa. En effet, on relève dans les personnes décédées lors d'inondations des personnes très informées sur le risque. En juillet 2014, un homme de 84 ans est décédé, emporté par un cours d'eau dans les Pyrénées-Atlantiques (Sud-Ouest de la France). L'homme était apparemment à pied en voulant mettre à l'abri des véhicules. Son fils a également été emporté, mais a pu se sortir de l'eau -ce qui souligne l'importance des capacités physiques-. La maison qu'ils occupaient est un ancien moulin devenu scierie. Les occupants avaient installé un système d'alerte en cas de crue qui a bien fonctionné, mais qui n'a pas empêché l'imprudence. Le comportement à risque, le fait d'aller vers le danger, est lié avant tout à la nécessité de sauvegarder un bien, une personne ou un animal domestique par exemple [HES 12]. Ces comportements à risque sont surtout le fait des hommes adultes (surreprésentés), mais on peut aussi s'interroger sur le manque de discernement des personnes devant un danger manifeste. On est là quasiment dans l'altération du jugement qui peut être associée à l'usage de psychotropes ou en général l'altération des facultés mentales.

Quoi qu'il en soit, la vulnérabilité individuelle des personnes est partiellement objectivable par des indicateurs qui relèvent de la vulnérabilité générale ou spécifique (spécifique à l'inondation). Il est une part de la vulnérabilité difficilement objectivable qui relève du ressenti, du vécu, des représentations individuelles du risque propres à la personne. On atteint les limites de l'expertise *ex ante* de la vulnérabilité évoquées plus haut dans ce chapitre. On atteint aussi les limites d'une utilisation de données sociodémographiques générales (âge moyen des populations, niveau de revenu...) qui ne permettent pas d'évaluer *ex ante* une vulnérabilité en l'absence d'une expertise propre au territoire et aux personnes exposées.

14.2.3. La vulnérabilité territoriale, vulnérabilité d'un système

La notion de vulnérabilité renvoie à une propension au dommage ou au dysfonctionnement d'enjeux particuliers, ce qui implique de considérer pour son évaluation une multitude de facteurs, directs et indirects, souvent en interaction dynamique et complexe. Elle peut s'appliquer à un territoire, c'est-à-dire à un système spatial complexe, vécu ou perçu par l'homme, et structuré autour de diverses ressources ou enjeux majeurs. Son analyse en géographie des risques s'appuie sur une approche enjeux-centrée, spatialisée et intégrée. Elle dépasse le seul espace touché par l'aléa pour s'intéresser aussi aux diffusions de vulnérabilités. En effet, pour D'Ercole et Metzger [DER 09], « la notion de vulnérabilité territoriale découle de l'idée qu'il existe une solidarité de fait entre enjeux majeurs et territoire : les enjeux majeurs sont identifiés par rapport à un territoire, le territoire dépend de ses enjeux majeurs. Ce lien étroit implique la transmission inévitable de la vulnérabilité d'un enjeu majeur identifié et localisé à l'ensemble du territoire. Autrement dit, la vulnérabilité d'un territoire peut s'appréhender par la vulnérabilité de ses enjeux majeurs ». Ces auteurs proposent six grandes catégories d'analyse qui constituent autant de grilles de lecture de ce qui peut rendre un territoire vulnérable : (1) La vulnérabilité « intrinsèque » des enjeux majeurs, (2) L'exposition des enjeux aux aléas, (3) La dépendance (relations fonctionnelles entre enjeux), (4) La capacité de contrôle du territoire (accessibilité des enjeux), (5) Les alternatives de fonctionnement des enjeux, (6) Le niveau de préparation à la gestion des crises. Toutefois, la vulnérabilité d'un territoire ne saurait se résumer à la somme de la vulnérabilité des enjeux présents sur ce territoire.

14.2.4. La perte d'accessibilité, composante de la vulnérabilité territoriale

Les réseaux ont pris depuis une quarantaine d'années une place considérable dans l'organisation des territoires et l'analyse de leur vulnérabilité est un point fondamental (voir chapitre 18 de cet ouvrage). La notion d'accessibilité, et plus particulièrement sa dégradation, apparaît donc comme une composante essentielle de la vulnérabilité territoriale telle que définie par D'Ercole et Metzger [DER 09] ou Demoraes [DEM 09], en particulier lors d'une crise impliquant des aléas naturels. En fonction des enjeux, des lieux de départ et d'arrivée (espaces à risque, refuges ou ressources), mais également en fonction des phases habituelles d'une crise, plusieurs types d'accessibilité territoriale peuvent être définis et analysés : (1) entre les zones de danger et les zones refuges en phase d'évacuation préventive, (2) entre les zones ressources et les zones impactées en phase de secours, (3) entre les zones refuges et les zones ressources en phase de récupération post-crise [LEO 13, LEO 14]. Sa

mesure peut mobiliser des outils de modélisation sur graphe également utiles pour optimiser le découpage de l'espace en cas d'évacuation préventive et simuler la charge du réseau routier pour différents scénarios d'évacuation. L'analyse des dégradations potentielles d'accessibilité pose de fait la problématique de la dépendance entre enjeux majeurs du territoire et interroge les capacités d'alternatives de fonctionnement lors d'une crise, donc de résilience territoriale. Ce dernier point mérite une attention toute particulière sur les petits espaces insulaires, fortement dépendants de ressources extérieures, ou bien en montagne lorsque le réseau routier limite déjà en temps normal les alternatives de desserte de certaines vallées. Qualifier la vulnérabilité ne saurait suffire à son opérationnalité qui doit s'inscrire dans une dimension systémique.

14.3. Modéliser la vulnérabilité pour rendre le concept opérationnel ?

Considérés individuellement, les critères d'évaluation de la vulnérabilité pointent les facteurs structurants. Le diagnostic a une vocation opérationnelle, d'application de mesures de réduction de la vulnérabilité. Pour cela la vulnérabilité s'inscrit dans des modèles ou du moins une hiérarchie de facteurs et dans un système de valeurs attribuées aux critères.

14.3.1. Détermination d'indices de vulnérabilité

Les critères aboutissent à la création d'un niveau de vulnérabilité qui prend la forme d'un coefficient ou d'un indice et amène une spatialisation de la vulnérabilité. L'indice Vulnérabilité Intrinsèque Extrême (V.I.E) par exemple propose d'évaluer la vulnérabilité humaine face à la submersion marine [CRE 15]. Des modèles graphiques émerge « une modélisation en dynamique des systèmes » [PRO 07]. La création d'un indice suppose une hiérarchisation et une pondération des critères. Différentes méthodes existent qu'il s'agisse de vulnérabilité structurelle, humaine ou territoriale [CRE 15, DER 09, VIN 15]. L'exemple de la vulnérabilité structurelle dont le tableau 14.2 montre un extrait de hiérarchisation de critères et indicateurs illustre une méthode possible (tableau 14.2).

Facteurs	Valeur critère	Critères	Indicateurs	Pondération indicateur	
Type de bâti	4	Nature des matériaux	Béton	1	– vulnérable
			Bois	4	



					+ vulnérable
			Tôle	6	
	2	Niveau/chaussée	Au-dessus	1	- vulnérable
			Au même niveau	4	↓
			Sous le niveau	8	+ vulnérable

Tableau 14.2. Extrait d'un exemple de grille de lecture à la construction d'un indice de vulnérabilité applicable à un bâtiment

Les points attribués à chaque indicateur sont ensuite additionnés en fonction du poids de chaque critère.

Vulnérabilité = Valeur critère 1 (Valeur Indicateur associé) + V critère 2 (VI associé) + V3 (VI associé)...

Exemple pour une maison en tôle située sous le niveau de la route à partir de l'extrait ci-dessus : $V = 4(6) + 2(8) + \dots$

Une échelle numérique de hiérarchisation de ces facteurs donne un niveau de vulnérabilité (faible, moyenne, fort par exemple) et rend possible sa spatialisation. Des limites doivent encore être dépassées. Les critères intégrés à l'indice sont de différentes natures (nature de matériau, accessibilité...) donc parfois difficiles à agréger. Il subsiste une part de subjectivité dans l'attribution de notes ou de points pour chaque critère. Malgré ces limites, les résultats sont profitables qu'il s'agisse de diagnostics menés *a priori* (sans événement « marquant ») ou *a posteriori* (retour d'expérience après un événement « marquant »). Cette approche permet de dépasser la segmentation des types de vulnérabilités pour les intégrer dans un système global en spatialisant l'information à diverses échelles. Le diagnostic a ainsi une vocation opérationnelle.

14.3.2. Un concept opérationnel ?

Les recherches scientifiques investissent cette opérationnalité du concept. Ces démarches ont pour objectif dans un premier temps d'évaluer puis dans un second

temps d'adopter des stratégies de réduction de la vulnérabilité. Les institutions œuvrent également en ce sens. Le SMAGE Gardons (Syndicat Mixte d'Aménagement de Gestion Équilibrée des Gardons) a développé dans le Gard la procédure ALABRI qui propose des diagnostics de vulnérabilité aux particuliers. L'objectif est de disposer pour les propriétaires « d'une vision claire sur le risque encouru, les travaux à réaliser et les coûts qu'ils représentent ». C'est aussi une démarche d'accompagnement financier puisque le propriétaire bénéficie, s'il réalise des travaux, d'une aide financière. Dans le Var, les inondations de juin 2010 ont suscité le déploiement de diagnostics des entreprises lancés en 2013 afin de réduire la vulnérabilité spécifique des entreprises et des exploitations agricoles. Ce type de diagnostic de vulnérabilité est de plus en plus fréquent, sans être systématique. La démarche post-événement domine alors que l'opérationnalité de ce concept mise sur l'anticipation. La définition même de la vulnérabilité la rend opérationnelle, mais des freins doivent être dépassés.

14.4. Conclusion

Malgré quelques confusions encore fréquentes notamment entre exposition et vulnérabilité, les contours du concept de vulnérabilité se sont stabilisés dans la sphère experte et scientifique. Néanmoins, aucune méthode standardisée pour son évaluation n'existe encore, ce qui complique les analyses comparatives entre divers sites étudiés par différents experts.

Les exemples de diagnostics de vulnérabilité se multiplient, mais quels sont les résultats de leur application sur le territoire ? Les mesures de réduction de la vulnérabilité, qu'elles soient collectives ou individuelles, préconisées par les diagnostics sont-elles effectives ? Des freins parfois financiers ou techniques, souvent psychologiques, expliquent la timidité des mises en œuvre de ces mesures [VIN 15]. De plus, la connotation négative du terme même de vulnérabilité n'incite pas les responsables de la gestion du risque à la mobiliser. La phase post-événement représente une opportunité de diagnostics et d'adaptation. Dans les faits, la phase de reconstruction (au sens strict reconstruction du bâti et des infrastructures) se solde le plus souvent par une reconstruction à l'identique. La demande émane des assurances, mais répond aussi à une véritable attente sociale de reconstruire rapidement, alors que reconstruire « autrement » et « mieux » (*build back better*), en incluant des mesures préventives, prend du temps. Cela demande de la réflexion et surtout de la concertation entre les acteurs. Dans l'éventualité de réduire certains facteurs de vulnérabilité humaine extrinsèque (voir supra), des évacuations anticipées ou la mise en sécurité des personnes identifiées vulnérables sont organisées. En revanche, les facteurs de vulnérabilité intrinsèque apparaissent plus difficiles à contrôler (l'âge ou

l'état de santé). Plus délicate encore est l'anticipation des comportements face à l'événement.

La vulnérabilité territoriale reste peu représentée dans les diagnostics institutionnels alors qu'elle s'impose dans les recherches scientifiques. Le diagnostic de vulnérabilité bute sur ses limites en termes de modélisation et peine à trouver sa traduction opérationnelle. Une approche idiosyncrasique est nécessaire si l'on veut saisir les subtilités de la vulnérabilité d'un territoire. De plus, les objectifs d'évaluation et de réduction de la vulnérabilité ne sont finalement pas toujours clairement définis. La sauvegarde des vies humaines s'affiche comme une priorité, mais dans les faits, les efforts sont portés plus encore sur la réduction du coût des dommages. La vulnérabilité des biens coûte cher à la collectivité [JOU 04]. Les institutions, gestionnaires et citoyens sont-ils prêts à s'investir (personnellement) et à investir (financièrement) dans ce type d'actions ?

Cette approche sociale du risque, non-aléa centrée, reste nécessaire à l'appréhension du système risque et de la catastrophe. Mais la notion de vulnérabilité garde une connotation négative. Ainsi le paradigme du risque s'est-il enrichi avec l'introduction des concepts de « résilience » et de « capacités » encore multifformes, mais à connotation plus positive que celui de vulnérabilité.

14.4. Bibliographie

- [ADG 06] ADGER W.N., "Vulnerability", *Global Environmental Change*, vol. 16, pp. 268–281, 2006.
- [BAR 05] BARROCA B., POTTIER N., LEFORT E., "Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval", *Proceedings of the Seventh Théo Quant Meeting*, Besançon, 2005.
- [BAR 13] BARROCA B., DI NARDO M., MBOUMOUA M., "De la vulnérabilité à la résilience: mutation ou bouleversement?", *Echogéo*, vol. 24, 2013.
- [BEC 12] BECERRA S., "Vulnérabilité, risques et environnement: l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain", *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 12, no. 1, 2012.
- [BLA 94] BLAIKIE P., CANNON P., DAVIS I. *et al.*, *At Risk: Natural Hazards. People's Vulnerability and Disasters*, Routledge, London, 1994.
- [BUR 83] BURTON I., "The vulnerability of cities", *Approaches to the Study of the Environmental Implications of Contemporary Urbanization*, UNESCO, Paris, 1983.

Cette bibliographie est identique à celle de l'ouvrage correspondant en anglais publié par ISTE.

- [CER 16] CEREMA, Référentiel national de vulnérabilité aux inondations, MEEM, CEPRI, CEREMA, 2016.
- [CRE 15] CREACH A., Cartographie et analyse économique de la vulnérabilité du littoral atlantique français face au risque de submersion marine, PhD Thesis, University of Nantes, 2015.
- [DAU 03] DAUPHINE A., *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Colin, Paris, 2003.
- [DEM 09] DEMORAES F., “De l’intérêt d’une étude sur la vulnérabilité des réseaux routiers et de transport pour la compréhension des vulnérabilités territoriales. Le cas du District Métropolitain de Quito (Équateur)”, *Cybergéo European Journal of Geography*, document 446, 2009.
- [DER 94] D’ERCOLE R., THOURET J.-C., DOLLFUS O. *et al.*, “Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d’analyse”, *Revue de géographie Alpine*, vol. 82, no. 4, pp. 87–96, 1994.
- [DER 09] D’ERCOLE R., METZGER P., “La vulnérabilité territoriale: une nouvelle approche des risques en milieu urbain”, *Cybergéo European Journal of Geography*, document 447, 2009.
- [DRE 15] DREAL RHONE-ALPES, Le Guide ‘ReViTeR’: Réduction de la vulnérabilité aux inondations des territoires rhodaniens, Mission Rhône, 2015.
- [EAK 06] EAKIN H., LUERS A.L., “Assessing human and biophysical vulnerability to global environmental change”, *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 31, pp. 365–394, 2006.
- [FAB 87] FABIANI J.-L., THEYS J., *La société vulnérable. Evaluer et maîtriser les risques*, Presses de l’Ecole Normale Supérieure, Paris, 1987.
- [FAT 07] FATTAL P., ROBIN M., POTTIER P., “Evaluation de la vulnérabilité côtière face aux pollutions par hydrocarbures: application à l’île de Noirmoutier”, *Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement*, vol. 1, 2007.
- [GIL 09] GILBERT C., “La vulnérabilité: une notion vulnérable? A propos des risques naturels”, in BECERRA S., PELTIER A. (eds.), *Risque et environnement: recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, L’Harmattan, Paris, 2009.
- [HEL 13] HELLEQUIN A.-P., FLANQUART H., MEUR-FEREC C. *et al.*, “Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien: contribution à l’analyse de la vulnérabilité côtière”, *Natures, Sciences, Sociétés*, vol. 21, pp. 385–399, 2013.
- [HES 12] HESTERBERG U.W., HUERTAS G., APPLEBY M.C., “Perceptions of pet owners in urban Latin America on protection of their animals during disasters”, *Disaster Prevention and Management*, vol. 21, no. 1, pp. 37–50, 2012.
- [HEW 83] HEWITT K., *Interpretations of Calamity*, Allen and Unwin, New York, 1983.
- [JOU 04] JOUSSEAUME V., LANDREIN J., MERCIER D., “La vulnérabilité des hommes et des habitations face au risque d’inondation dans le Val nantais (1841-2003)”, *Norois*, vol. 192, pp. 29–45, 2004.

- [JOU 09] JOUSSEAUME V., MERCIER D., “Evaluer la vulnérabilité architecturale de l’habitat en zone inondable”, in BECERRA S., PELTIER A. (eds.), *Risque et environnement: recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*, L’Harmattan, Paris, 2009.
- [KUH 11] KUHLICKE C., SCOLOBIG A., TAPSELL S. *et al.*, “Contextualizing social vulnerability: findings from case studies across Europe”, *Natural Hazards*, vol. 58, no. 2, pp. 789–810, 2011.
- [LAM 12] LAMMEL A., DUGAS E., GUILLEN GUTTIERREZ E., “L’apport de la psychologie cognitive à l’étude de l’adaptation aux changements climatiques: la notion de vulnérabilité cognitive”, *VertigO - la revue électronique en sciences de l’environnement*, vol. 12, no. 1, 2012.
- [LEO 96] LEONE F., Concept de vulnérabilité appliqué à l’évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain, PhD Thesis, University of Grenoble, 1996.
- [LEO 06] LEONE F., VINET F., *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, Publications de l’université Paul-Valéry, Montpellier, 2006.
- [LEO 10] LEONE F., MESCHINET DE RICHEMOND N., VINET F., *Aléas et gestion des risques*, PUF, Paris, 2010.
- [LEO 13] LEONE F., PEROCHE M., LAGAHE E. *et al.*, “Territorial accessibility modeling for tsunami crisis management in French-Administered Mayotte (Indian Ocean)”, *Annales de géographie*, vol. 693, pp. 502–524, 2013.
- [LEO 14] LEONE F., COLAS A., GARCIN Y. *et al.*, “The snow avalanches risk on Alpine roads network”, *Journal of Alpine Research*, pp. 102–4, 2014.
- [MAG 12] MAGNAN A., DUVAT V., GARNIER E., “Reconstituer les ‘trajectoires de vulnérabilité’ pour penser différemment l’adaptation au changement climatique”, *Natures, sciences, sociétés*, vol. 20, no. 1, pp. 82–91, 2012.
- [MEU 03] MEUR FEREC C., La vulnérabilité des territoires côtiers: évaluation, enjeux et politiques publiques, Contrat IFREMER, Final Report, 2003.
- [PRO 07] PROVITOLO D., “Vulnérabilité aux inondations méditerranéennes en milieu urbain: une nouvelle démarche géographique”, *Annales de géographie*, vol. 653, pp. 23–40, 2007.
- [PRO 15] PROVITOLO D., REGHEZZA-ZITT M., “Résilience et vulnérabilité: de l’opposition au continuum”, in REGHEZZA-ZITT M., RUFAT S. (eds.), *Resilience Imperitive: Uncertainty, Risks and Disasters*, ISTE Ltd, London and Elsevier Ltd, Oxford, 2015.
- [REG 06] REGHEZZA M., Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine: la métropole parisienne face au risque de crue centennale, PhD Thesis, University of Nanterre, 2006.
- [RUF 15] RUFAT S., TATE E., BURTON C.A. *et al.*, “Social vulnerability to floods: review of case studies and implications for measurement”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 13, pp. 369–394, 2015.
- [TAP 02] TAPSELL S. M., MCCARTHY S., FAULKNER H. *et al.*, *Social Vulnerability to Natural Hazards*, Flood Hazard Research Centre (FHRC), Middlesex University, 2002.

- [THO 96] THOURET J.-C., D'ERCOLE R., "Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain: effets, facteurs et réponses sociales", *Cahiers des sciences humaines*, vol. 32, no. 2, pp. 407–422, 1996.
- [VIN 15] VINET F., LEONE F., LAHACHE G. *et al.*, "La protection du bâti individuel et des commerces contre l'inondation. Opportunités et obstacles", *Norois*, vol. 236, pp. 69–90, 2015.
- [VIN 17] VINET F., *Floods 2: Risk Management*, ISTE Press, London and Elsevier, Oxford, 2017.
- [WHI 45] WHITE G., *Human Adjustments to Flood*, University of Chicago Press, Chicago, 1945.
- [ZAN 14] ZANINETTI J.-M., NGO A.T., GRIVEL S., "La construction sociale de la vulnérabilité face au risque d'inondation au Viêt Nam", *Mappemonde*, no. 114, 2014.

Capacité, 2, 4, 5, 7, 12, 13, 16
Indice, 7, 13, 14
Modéliser, 13
Opérationnalité, 13, 15

Résilience, 2, 5, 13, 16
Système, 4, 5, 12, 13, 14, 16
Temporalité, 5