

## >> Le concept de vulnérabilité

Jean-Paul NICOLAÏ, Directeur Général

Nos travaux sur le risque environnemental nous ont naturellement conduits à un concept très utilisé dans ce champ d'étude : la vulnérabilité. Ce concept, déjà très étudié dans les années 80, est depuis une vingtaine d'années au cœur de nombreuses analyses sur les risques liés aux grandes catastrophes, ou à la pauvreté et à la malnutrition. De fait, le terme vulnérabilité est très souvent utilisé, mais ne renvoie pas toujours à un concept théorisé. L'approche « systémique » qui est fondamentalement celle de l'écologie a permis des avancées en la matière. Curieusement, ce concept, que l'on retrouve parfois dans l'analyse des risques des systèmes d'information, est très absent de l'analyse des risques bancaires, et, plus généralement, des risques des entreprises. Après avoir présenté l'intérêt du concept de vulnérabilité, nous exposons une réflexion sur son usage et sa mesure. Nous nous intéressons dans un second article à son application dans l'univers bancaire. Au-delà, nous préconisons une réflexion plus large sur son usage comme mesure des risques systémiques du secteur financier.

### >> La vulnérabilité au sens large

Il existe de nombreuses définitions de ce concept, et nous le verrons, l'usage encore restreint de la vulnérabilité dans des études appliquées vient de ce manque d'unification. Plusieurs études commanditées par des organismes internationaux<sup>(1)</sup> ont essayé récemment de faire le point sur les différentes approches. Mais la rapidité avec laquelle les travaux se multiplient aujourd'hui autour de ce concept réclame encore un grand pragmatisme dans sa définition à des fins d'application : **la vulnérabilité est la prédisposition d'un système à souffrir d'un choc ou d'un stress.**

Bien sûr, la plupart des travaux considère des chocs ou des stress externes comme les aléas météorologiques, ou les tremblements de terre ou les éruptions volcaniques, mais le principe peut être étendu à des facteurs de risque technologiques (explosion d'une centrale nucléaire) ou socio-économiques (prix des denrées de base, mais aussi terrorisme ou guerre civile), éventuellement endogènes. L'endogénéité des facteurs socio-naturels (changement climatique, émission de gaz à effet de serre, déforestation,...) est également considérée lorsque le « système » étudié est assez large pour intégrer cette endogénéité.

Par ailleurs, et nous développerons ce point tout au long de cet article, la question de la vulnérabilité englobe la capacité de réaction du système au moment du choc (résistance) ou après le choc (résilience). Il s'agit donc d'un état à un instant *t*, mais qui intègre des considérations dynamiques.

Dans ce type de travaux, la notion de *risque* est associée à la perte redoutée, celle de *sinistralité* comme étant la probabilité d'occurrence de tels désastres (ou leur possibilité). D'autres concepts, comme celui d'*exposition* ou de *capacité à gérer la situation* (*coping capacities*) sont également au cœur de la vulnérabilité.

Souvent, la vulnérabilité est vue comme la dimension interne du facteur de risque, le risque lui-même représentant le facteur externe. Mais il est aussi fréquent de séparer la vulnérabilité

elle-même entre une face externe (exposition à une catastrophe) et une face interne (capacité à gérer la situation).

La vulnérabilité peut être considérée comme une fragilité, définie comme l'opposée de la sécurité. Toutes ces subtilités de vocabulaire sont chaque fois motivées par des travaux en profondeur sur le développement des pays les plus pauvres ou les plus exposés à des catastrophes humaines et ne sont pas le fruit de jeux de mots inutiles. Cependant, il serait utile qu'une théorie du risque synthétise quelque peu ces concepts.

Par ailleurs, nous pensons que le concept de vulnérabilité doit encore être élargi : d'une part à des événements non « naturels » et d'autre part à des situations plus souterraines, où la matérialisation du risque n'est pas l'élément causal de la catastrophe.

L'exemple le plus simple à comprendre – et le moins dramatique ! – est celui des « embouteillages » : la « cause » (au sens où les voitures sont à l'arrêt) n'est pas due à un coup de frein spécifique, mais à l'ensemble du système atteignant un stade de congestion qui l'expose à la matérialisation du risque sous forme d'embouteillage, voire de carambolage. La transposition est aisée, selon nous, à l'étude de la criminalité, mais aussi à de nombreux désastres socio-économiques.

#### définition

#### VULNÉRABILITÉ

Nous reprendrons la définition la plus large de Wisner (2005) :

« *By vulnerability we mean the characteristics of a person or group and their situation that influence their capacities to anticipate, cope with, resist and recover from the impact of a natural hazard (an extreme natural event or process). It evolves a combination of factors that determine the degree to which someone's life, livelihood, property and other assets are put at risk by a discrete and identifiable event (or series or « cascade » of such events) in nature and in society.* »

(1) Comme l'*Institute for Environment and Human Security* des Nations Unies, avec l'étude de Juan Carlos Villagran de Leon.

## >> Une logique de systèmes

Il est important pour comprendre l'utilité et la portée du concept de vulnérabilité de raisonner dans le cadre de systèmes. La pensée écologique<sup>(2)</sup> est née après guerre au travers d'une récupération des travaux en matière d'automatique. Penser un système, c'est penser l'ensemble de ses rétroactions stabilisantes ou déstabilisantes (*feedback* négatif ou positif) face à toute impulsion, interne ou externe. La modélisation d'un système est d'emblée complexe et nécessite une pensée « d'équilibre » ou de « retour à l'équilibre ». La difficulté avec un système « à l'équilibre », c'est que sa dynamique de correction des déséquilibres n'est pas facilement mesurable si elle est efficace. Un système régulé ne montrera jamais de l'extérieur son mécanisme de régulation s'il est suffisamment efficace pour que le système apparaisse toujours « à l'équilibre ». Bien sûr, les constantes de temps longues vont parfois permettre à l'œil humain, ou à des mesures électroniques, de constater les écarts « à l'équilibre » et la chaîne de réaction du *feedback* négatif permettant le « retour à l'équilibre ».

Pour revenir à la vulnérabilité, il s'agit bien de mesurer la capacité d'un système à encaisser plus ou moins bien un choc. Si le système est très résistant (pas de souffrance en deçà d'un seuil de choc élevé) ou très résilient (forte réaction de retour à l'équilibre effaçant les souffrances causées par le choc), il ne sera pas facile de mesurer sa vulnérabilité. Ou plutôt, il ne sera pas aisé d'identifier dans sa faible vulnérabilité (puisque les chocs ne l'affectent que peu) ce qui ressort de sa résistance ou de sa résilience, de l'importance du choc, des mécanismes de « défense », etc.

Il faut donc dans cette logique de systèmes avoir une démarche de modélisation, de façon à espérer comprendre et mesurer la vulnérabilité.

L'intérêt de cette approche est de penser la vulnérabilité à différents niveaux. Il peut s'agir de la vulnérabilité d'un individu, d'une unité économique (ménage, entreprise, ferme, ...), d'un village, d'une région, d'un pays, d'un système. Curieusement, le système financier, malgré ses crises à répétition et leur dimension systémique (effet domino des crises de crédit ou encore diffusion des krachs boursiers) ne bénéficie pas d'une réelle approche en termes de vulnérabilité. Nous y revenons dans l'article suivant.

## >> Une mesure difficile

Les tentatives pour mesurer la vulnérabilité se heurtent donc naturellement à la difficulté d'évaluer la capacité de réaction d'un système à l'équilibre. Il est nécessaire d'observer des crises et d'en inférer un modèle de réaction qui doit valoir pour d'autres situations catastrophiques.

Il est important de comprendre cette dimension systémique. Elle est à l'origine de ce flou sémantique : certains vont mesurer la vulnérabilité pour expliquer la difficulté à gérer les catastrophes, d'autres vont expliquer la vulnérabilité à partir d'une mesure des difficultés à gérer les crises.

Nous avons identifié trois familles de travaux en matière de mesure de la vulnérabilité. La première a une approche que nous qualifions d'analytique et d'explicite. La seconde approche, dominante a priori, s'appuie sur une mesure de la vulnérabilité au travers d'indicateurs, choisis comme

susceptibles de représenter la vulnérabilité du système à un type de choc donné. Entre les deux, nous avons isolé une « famille » spécifique parce qu'elle met le doigt sur une dimension qui est essentielle en matière de vulnérabilité : l'imprévisibilité. On est d'autant plus vulnérable qu'on ne sait pas bien prévoir ce qu'il risque de nous arriver.

Mais il existe de nombreux autres aspects importants liés à la mesure de la vulnérabilité. Avant d'étudier ces trois grandes familles, nous allons nous attarder sur ces difficultés.

### Quelques difficultés générales

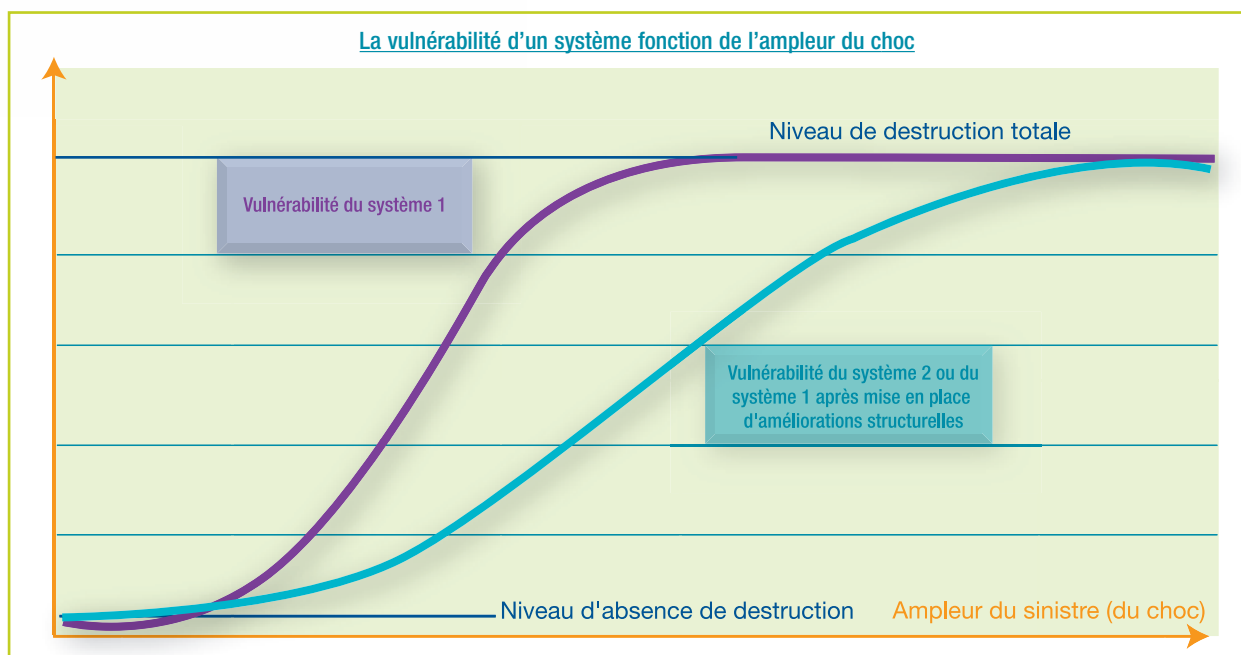
Certains travaux en matière d'économie du développement posent la vulnérabilité inconditionnellement au type de risque, et s'attachent à mesurer une forme générale de vulnérabilité issue de la pauvreté, des relations de pouvoir au sein de la société, de l'accès et du contrôle de la richesse, des structures sociales, de l'insécurité, etc. Retenir cette option n'est pas anodin. Si on souhaite souvent disposer d'une mesure unique de vulnérabilité d'un système face à différents facteurs de risque, on comprend qu'un arbitrage doit avoir lieu entre l'efficacité de la mesure et son usage pratique. La finalité de la mesure de la vulnérabilité est un vrai sujet aux contours parfois éminemment politiques.

Une seconde difficulté en matière de mesure de la vulnérabilité est qu'elle est fonction de l'intensité des sinistres. Dès lors, la vulnérabilité devient une fonctionnelle et non une simple valeur. L'idée est la suivante : pour de petits chocs, le système peut résister, et pour de plus grands chocs, il va souffrir, et ce de manière pas forcément linéaire en fonction de l'amplitude du choc. L'intérêt de cette approche est de définir des seuils d'absence de souffrance véritable. Toutefois, la difficulté est de rendre comparables deux systèmes, ce qui est le moins qu'on puisse demander à une mesure ! De fait, il est possible de comparer deux « vulnérabilités » construites comme fonctionnelles, à deux dates différentes, ou pour deux pays différents, mais il ne sera pas toujours réalisable de hiérarchiser les vulnérabilités. Souvent, les seules comparaisons pertinentes sont les évolutions de la qualité du système suite à des mesures structurelles de sécurisation. La relation d'ordre dont on peut convenir selon nous est celle de la dominance stochastique, comme les courbes du graphique (cf. schéma page 4) le laissent imaginer, mais on peut « résumer » de telles courbes à l'ampleur du sinistre source, par exemple, d'une destruction à hauteur de 90 %.

Enfin, soulignons la difficulté venant de l'ambition de disposer d'un indicateur de vulnérabilité qui vaudrait aux différents niveaux de granularité du système : les individus, les familles, les fermes, les villages, les régions, les pays, avec la volonté de zoomer à loisir au sein du système. Si une telle perspective est riche de potentialités, nous n'avons pas trouvé d'exemples convaincants à ce jour. En matière d'entreprises, on imagine toutefois assez bien ce que pourrait être une vulnérabilité d'un secteur qui serait construit à partir des vulnérabilités des entreprises composant le secteur, elles-mêmes issues des vulnérabilités des différentes unités de production, elles-mêmes issues des différents process... La difficulté vient de la modélisation des systèmes eux-mêmes.

Il existe une approche de la vulnérabilité qui propose une telle ambition analytique et explicite. Elle est issue de travaux de cartographie en matière de changements climatiques.

(2) Voir Gregory Bateson, *Vers une écologie de l'esprit*, par exemple.



### L'approche analytique

Marc J. Metzger et Æ Dagmar Schröter<sup>(3)</sup> notamment sont à l'origine d'ambitieux travaux de cartographie, s'appuyant sur les méthodes de cartographie de GIS<sup>(4)</sup>, mis en avant par Kaspersen. Ces travaux s'inscrivent dans le projet ATEAM<sup>(5)</sup>. Il s'agit de décrire précisément pour chaque type de stress la réaction locale de chaque type de contributeur à l'écosystème<sup>(6)</sup> (positive ou négative, directe ou indirecte, c'est-à-dire des réactions aux réactions des contributeurs) dans le cadre d'un grand nombre de scénarios de contextes et de stress. Des modélisations explicites des mécanismes de réaction, calibrées sur chaque lieu unitaire de la cartographie permettent d'obtenir une vision globale simulée décomposant les boucles de réaction positives et négatives<sup>(7)</sup>.

La *Sensibilité* est mesurée au travers de la réponse des écosystèmes aux changements.

L'*Exposition* est un ensemble cohérent de scénarios (géographiques) des principaux facteurs de changement (variables socio-économiques, concentration en dioxyde de carbone, climat, utilisation des terres) pour trois grandes tranches temporelles (2020, 2050, 2080) avec les conditions initiales de 1990. Le recours à ces multiples scénarios engendre un large éventail de futurs, à partir desquels on peut construire mesures et comparaisons.

Les *Impacts Potentiels* sont des fonctions de la *Sensibilité* et de l'*Exposition*, et se traduisent par des modifications des « services » fournis par l'écosystème.

La *Capacité d'Adaptation* s'appuie sur des indices socio-économiques comme le PIB par tête, le taux d'activité féminin, les inégalités salariales, le nombre de brevets, etc. On trouve là une approche par les indicateurs décrite plus loin. Les efforts de modélisation des « coping capacities » ont été considérables ces dernières années et mériteraient une revue de littérature à part entière, mais ne permettent toujours pas une modélisation directe sauf cas particulier.

Les auteurs renoncent ensuite à quantifier le lien entre les *Impacts Potentiels* et les *Capacités d'Adaptation*, qui donneraient leur mesure de la *Vulnérabilité*. Ils les combinent visuellement dans la cartographie sans quantifier leur liaison. A aujourd'hui, l'approche analytique explicite bute encore sur la complexité du sujet.

### L'imprévisibilité comme source/indicateur de vulnérabilité

Une dimension de la vulnérabilité est celle de l'incertitude, ou plus précisément de l'imprévisibilité. Ce n'est pas le lieu de développer l'importance de la prévisibilité dans le bien-être, mais soulignons les travaux de Laura Schechter (cf. *Focus*) et ceux avec Ethan Ligon.

#### focus

#### VULNERABILITY AS A MEASURE OF CHRONIC POVERTY, 2006

Laura Schechter

« We argue that using a measure of chronic poverty based on the average level of expenditures still misses an important portion of economic well-being.

For *Voices of the Poor*, the 2000/01 World Development Report, the World Bank interviewed tens of thousands of poor people in countries across the globe. These poor people stated that part of what makes poverty so unbearable is the instability and unpredictability they face, leading to a feeling of vulnerability. Thus, we propose a measure of chronic poverty, which we call vulnerability, which incorporates the risk households face as well as their average level of expenditures ».

(3) Voir par exemple « Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe » dans *Regional Environment Change*, 2006 - (4) GIS : *Geographical Information System* - (5) ATEAM : *Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling* - (6) L'approche retenue dans ces travaux s'appuie sur la notion de « services » fournis par les contributeurs à l'écosystème, comme approximation du bien-être humain impacté par les changements. (7) La concentration de dioxyde de carbone ainsi que la température de surface peuvent être projetées en hausse dans différents scénarios à horizons de plusieurs décennies. L'utilisation des terres va également être changée, impliquant d'importants effets sur l'agriculture, les forêts, les communautés rurales, la biodiversité, la qualité des paysages, etc. Ces changements ne sont pas sans retour sur le carbone et l'évolution du climat. Mais les acteurs ne vont pas non plus rester sans réaction.

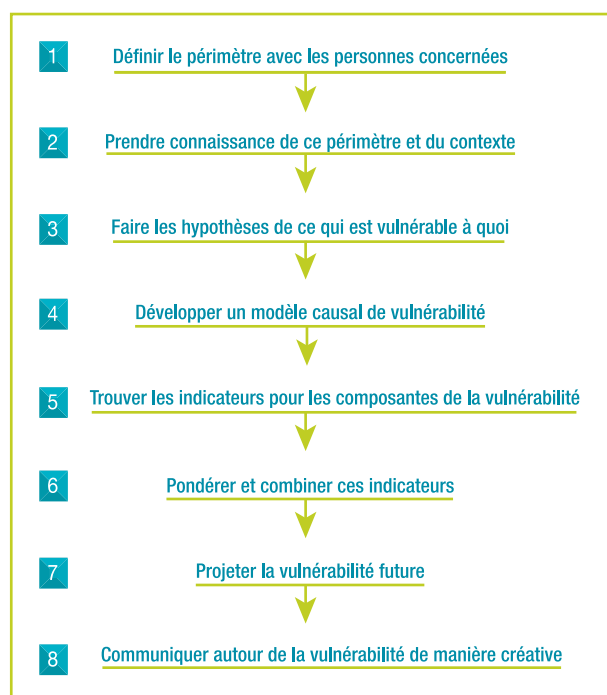
Si l'approche retenue par Laura Schechter pose quelques difficultés pour être un véritable indicateur prévisionnel, elles sont explorées et conduisent à de bons résultats. Surtout, il nous importe à ce stade de conserver cette idée majeure d'imprévisibilité dans le cœur même de la vulnérabilité.

## Les indicateurs

La plupart des chercheurs butent sur la mesurabilité elle-même. Les travaux se sont orientés vers le choix d'indicateurs servant de *proxies* pour donner une dimension quantitative à ce concept. Avant de donner quelques exemples, il est important de souligner la difficulté dans le choix de ces indicateurs qui, souvent, sont autant la résultante que la cause de la vulnérabilité. La dimension « systémique » rend délicate l'interprétation de ces indicateurs.

Pensons à un indicateur comme le PIB<sup>(8)</sup> d'un pays, qui mesure sa richesse ou le PIB par habitant. Celui-ci, indiquant la pauvreté relative d'une région ou d'un pays, est sans doute également un bon indicateur de sa capacité à survivre à des désastres comme des sécheresses, des ouragans, des inondations, etc. ne serait-ce que parce que l'infrastructure du pays est souvent fonction de sa richesse. Mais il est le premier affecté en cas de sinistre... Il est donc nécessaire de bien poser le « modèle causal » avant d'avoir recours à des indicateurs.

Polski et alii (2003) proposent une démarche en pas moins de huit étapes :



Si on note non sans sourire un côté « consulting » à une telle démarche, on doit également souligner les points 3 et 7. Il s'agit de poser un modèle causal et de l'utiliser en prévision. Une telle démarche est celle de l'inférence statistique, à condition de la compléter par une étape 7bis de « test » du modèle. C'est hélas le plus délicat, dans tout ce qui touche aux sciences de l'homme d'ailleurs, où les expériences ne peuvent être totalement contrôlées (et donc répétées à des

fins de validation scientifique). Mais cela n'a jamais empêché la mise en œuvre d'une telle démarche d'inférence.

L'art du modélisateur est de trouver à la fois le modèle suffisamment fin et détaillé pour faire apparaître les liaisons causales entre les variables et suffisamment parcimonieux pour ne pas proposer une « usine à gaz » qui ne pourra jamais être maîtrisée dans les phases de simulation.

Le Groupe Environnement de l'OCDE<sup>(9)</sup> propose un cadre pour identifier les indicateurs qui découpe en trois les variables d'intérêt : *Pressure - State - Response* (PSR). Les premières (*Pressure*) visent à définir les indicateurs causes directes du sinistre, les deuxièmes (*State*) les conditions courantes de l'environnement, et les troisièmes (*Response*) les efforts de la société pour gérer ces difficultés.

Dans le cas de problèmes environnementaux, un exemple donné est une mesure des émissions toxiques comme *Pressure*, une mesure du taux de concentration courant de NOx ou de CO<sub>2</sub> comme *State*, et des indicateurs mesurant l'équipement en pots catalytiques, la part des carburants verts, de l'énergie solaire, etc. comme *Response*. Reste à adapter ce modèle PSR à d'autres types de sinistres ou de stress subis par d'autres systèmes (tremblements de terre, famines, sécheresses, épidémies, inondations,...). D'une part, il n'est pas toujours aussi évident de trouver les bons indicateurs « d'état », c'est même là la difficulté de la mesure de la vulnérabilité, d'autre part, cette approche sépare peut-être un peu trop arbitrairement l'Etat et la Réponse, l'état de vulnérabilité étant d'une certaine manière la capacité à répondre...

Parfois, l'indicateur de vulnérabilité retenu est directement lié au montant du sinistre lui-même (c'est le cas de l'indicateur de risque de l'UNDP-BCPR ou de l'indice de vulnérabilité de la Banque Mondiale). On considère comme indice le nombre de morts dans la région ou le pays victime d'un type de sinistre et on le divise par le nombre de personnes exposées (on y ajoute également les montants des pertes matérielles). On accepte de mesurer ainsi une vulnérabilité historique, ce qui n'est pas l'idée de base qui cherche plutôt à anticiper et à mesurer une vulnérabilité *ex ante*. Le recours à une approche statistique historique pourrait toutefois permettre de conditionner par d'autres variables et d'avoir un modèle « prédictif ». Le taux de décès pour un type de sinistre dans un pays donné conditionné par le niveau de vie par habitant, ou par le niveau de dépenses en infrastructures, etc. permettrait d'obtenir un tel modèle. Nous n'avons pas trouvé d'exemple dans la littérature de tels modèles en dehors des travaux de Briguglio issus des approches spécifiques aux *Small Island States*. Le modèle explicatif reste très simple. Pourtant, cette approche nous semblerait assez légitime, au sens où elle est pratiquée dans d'autres domaines.

Reste la difficulté majeure... il s'agit presque toujours d'étudier des événements que l'on souhaite les plus rares possibles, et donc essentiellement ce qu'on appelle les « queues de distribution », pour lesquelles postuler des comportements probabilistes traditionnels (normalité, stationnarité...) n'est pas si facile.

Des indices comme le HDI<sup>(10)</sup>, le ratio de service de la Dette, les dépenses publiques de santé, le taux d'illettrisme adulte, la stabilité des populations, la structure démographique (ratio des dépendants sur les actifs, ratios des actifs atteints du SIDA, ...), le nombre de téléphones par habitant, les termes de l'échange, le pourcentage de la population rurale, et parfois même des indices de corruption... sont associés au PIB par tête pour être agrégés en un seul indice de vulnérabilité. La pondération est souvent arbitraire. A défaut de modèles économétriques, des approches statistiques d'analyse des données permettraient de justifier l'identification d'axes principaux interprétables en termes d'indices agrégés. Il faudrait pour cela identifier qualitativement ou à l'aide de variables projetées les axes principaux de ces analyses de données. On comprend bien toutefois que l'expertise visant à trouver les « bonnes variables » représentatives de la vulnérabilité à tel ou tel type de sinistre (puis à en obtenir des mesures fiables et que l'on peut mettre à jour) constitue l'essentiel du travail.

Certains assureurs (Munich Re est cité dans cette littérature) quantifient naturellement cette vulnérabilité. Pour les mégapoles, Munich Re a développé un indice autour de trois axes :

- > La vulnérabilité structurelle (en fonction des types de construction prédominants dans ces cités),
- > La préparation à l'éventualité (en fonction des règles de sauvegarde mises en place et des plans de secours existants pour les différents types de catastrophe),
- > La qualité générale des constructions et la densité de celles-ci.

Nous renvoyons aux différents travaux et à l'imagination des lecteurs le nombre d'indicateurs envisageables pour expliquer : la prédisposition à souffrir d'une catastrophe, la résistance et la capacité à gérer la crise instantanément et la capacité à récupérer vite du mal subi (résilience).

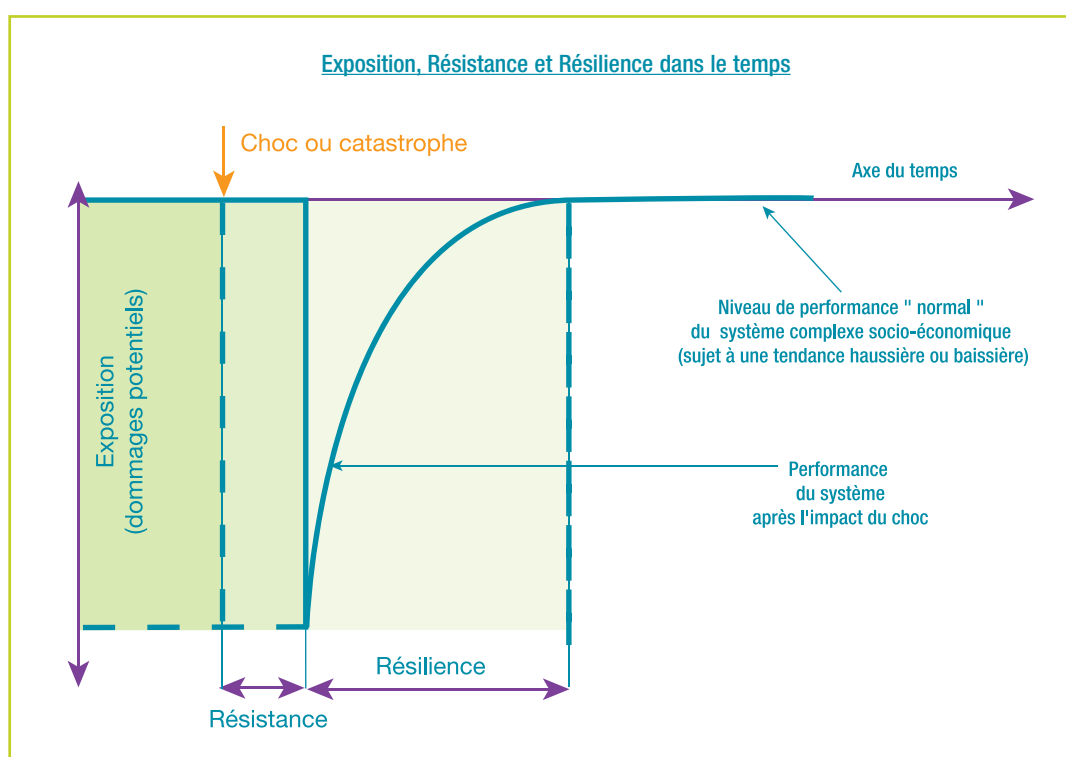
## >> Exposition, Résistance et Résilience

Nous reprenons à notre compte la description graphique proposée par Bogardi en renommant le premier temps de la vulnérabilité, qu'il nomme vulnérabilité/dommage potentiel, par le terme d'exposition. Les second et troisième temps étant la résistance et la résilience (*cf. graphique ci-dessous*). Nous ajoutons également un temps zéro pour faire de la vulnérabilité un concept à quatre composantes, chacune étant par ailleurs multidimensionnelle. Ce temps zéro est l'endogénéisation de la probabilité d'occurrence du sinistre. Formellement, cela revient à faire dépendre la loi de survenance du sinistre d'un paramètre propre au système. C'est assez traditionnel en théorie de l'assurance d'essayer de séparer les « bons et les mauvais risques » et en tout cas, de faire payer le juste prix à chaque « risque ».

Si nous butons encore sur la dépendance de ces trois composantes à l'ampleur du choc lui-même, nous pensons que ce cadre d'analyse est le bon. Nous avons vu plus haut que cette dépendance est non linéaire et que des fonctionnelles rendent mieux compte qu'un simple chiffre de la vulnérabilité.

Nous verrons dans le cas bancaire qu'il est même peut-être astucieux de renverser ces dépendances et d'utiliser une classification des risques (au sens de « hazard » ou de sinistre) en fonction de la vulnérabilité du système.

Nous ajouterons deux pistes qui nous semblent devoir être explorées, sur lesquelles nous reviendrons sans doute dans un prochain article. La première est la dimension temporelle de la vulnérabilité. La seconde est l'endogénéisation de la probabilité de survenance du sinistre. Cette loi de probabilité apparaît alors de manière duale dans la mesure de la vulnérabilité.



(10) HDI : Human Development Index

## >> Un concept riche et puissant

Au total, ce concept, encore insuffisamment normé, nous paraît prometteur et puissant. Il doit être l'opportunité de mieux lier les systèmes à leur environnement, tout en étant capable de rendre compte d'un état allant des process les plus locaux à des pays voire des systèmes globalisés mondiaux. Il force à la modélisation des systèmes (qui dit modélisation dit capacité à simplifier pour rendre intelligible tout système qui par définition est complexe). Il force à une approche non linéaire. Il est peut-être une forme de « beta » généralisé au sens où il est la sensibilité à un facteur de risque. Mais il repose sur des endogénéisations, et en particulier la réaction du système face à une perturbation ou à un choc. Enfin, il prend en considération la dimension temporelle, et ce, de façon non linéaire, avec le concept de

résistance, puis de résilience. On comprend l'importance des différentes constantes de temps liées à ces différents concepts. Nous travaillons par ailleurs suffisamment sur l'optimisation dynamique, qui intègre les réactions optimales à des aléas, pour connaître l'importance de cet aspect de la réactivité et de la dimension temporelle. La vulnérabilité doit pouvoir intégrer cette capacité de réaction optimale et en donner une mesure dans le temps. Enfin, ces concepts nous offrent la possibilité de mieux lier ce qui relève de l'aléa et de sa mesure, et ce qui relève de l'impact des catastrophes sur un système.

Dans la suite, nous allons étudier les possibilités d'application de ces concepts au secteur financier, allant du process à l'établissement bancaire, et pourquoi pas jusqu'au système financier dans son ensemble ●

### POUR EN SAVOIR PLUS

- *Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India*  
Karen O'Brien et alii, *Global Environmental Change* 14 (2004) 303–313
- *Insight on common/key indicators for Global Vulnerability Mapping*  
Pascal Peduzzi, UNEP/GRID-Geneva, Expert Meeting on Vulnerability and Risk Analysis and Indexing, septembre 2000
- *Assessing the vulnerability to natural hazards on the provincial/community level in Mozambique: the contribution of giscience and remote sensing*  
Stefan Kienberger, Z\_GIS, Centre for Geoinformatics - Salzburg University, 2007
- *Vulnerability, a conceptual and methodological review*  
Juan Carlos Villagran de Leon, SOURCE (Studies of the University: Research, Counsel, Education) - Publication Series of UNU-EHS No.4/2006
- *The Vulnerability Index and Small Island Developing States, a review of conceptual and methodological issues*  
Lino Briguglio, Université de Malte, septembre 2003
- *Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods*  
Richard S.J. Tol, *Environmental Science & Policy* 8 (2005) 572–578, octobre 2005
- *The Vulnerability Concept and its Application to Food Security*  
P.L. Lucas et H.B.M. Hilderink, RIVM report 550015004/2004, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) Global Sustainability and Climate (KMD)
- *Climate Change in the Context of Multiple Stressors and Resilience*  
James J. McCarthy, Marybeth Long Martello et alii, Arctic Climate Impact Assessment
- *Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe*  
Dagmar Schröter et alii, *SCIENCE* VOL 310 25 novembre 2005
- *Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe*  
Marc J. Metzger et Dagmar Schröter, *Reg Environ Change* (2006) 6:201–216
- *Measuring Vulnerability*  
Ethan Ligon et Laura Schechter, *The Economic Journal*, 113, mars 2003
- *Vulnerability as a Measure of Chronic Poverty*  
Laura Schechter, octobre 2006
- *Measuring and forecasting stress in the banking sector: evidence from Switzerland*  
Elke Hanschel et Pierre Monnin, BIS Paper No 22
- *Mesure de la vulnérabilité du secteur bancaire luxembourgeois*  
Abdelaziz Rouabah, Banque Centrale du Luxembourg, Working Paper n°24, avril 2007
- *Measuring Vulnerability to Food Insecurity*  
Pasquale Scaramozzino, FAO, ESA Working Paper No. 06-12 octobre 2006
- *Scenario Selection for Financial Stability Stress Tests*  
Mathias Drehmann, Bank of England, IMF expert forum, 2003
- *An Option-Based Approach to Bank Vulnerabilities in Emerging Markets*  
Jorge A. Chan-Lau, Arnaud Jobert, et Janet Kong, IMF Working Paper, février 2004
- *Can bank supervisors rely on market data? A critical assessment from a Swiss perspective*  
Urs W. Birchler et Matteo Facchinetti, Swiss National Bank WP, 2006-8
- *Investigating the relationship between the financial and real economy*  
Monetary and Economic Department, BIS Paper No 22, avril 2005 - Working Paper 2003-14
- *An Index of Financial Stress for Canada*  
Mark Illing et Ying Liu, Banque du Canada, Working Paper No 2003-14