

# Les géosciences face aux risques

## Définir le risque et construire une grille d'analyse

**Le risque = (alea x enjeux) x vulnérabilité.**




L'**aléa** est un phénomène dont l'occurrence présente un caractère aléatoire, ou dont les mécanismes ne permettent pas de déterminer le déclenchement avec certitude : il présente donc un caractère « imprévisible », car on ne peut pas dire avec certitude s'il peut ou non se produire en un lieu donné et/ou à un moment donné.

La connaissance de l'aléa vise en particulier à mieux savoir prévoir ou prédire, avec évidemment une certaine marge d'incertitude qui dépend des caractéristiques du phénomène et des méthodes dont on dispose pour effectuer ces prévisions (*les méthodes « astrologiques » de prédiction étant évidemment exclues lorsqu'on traite d'un sujet scientifique !*).

Les aléas ont deux origines :

- **une origine « naturelle » (risques naturels)**, à travers des aléas concernant tous les géosciences ;
- **une origine « anthropique », pour les « risques technologiques »** (pollutions en particulier liées aux transports de matières « dangereuses », aux transformations de matière, à la production d'énergie en particulier à partir du nucléaire...).

Les **enjeux** correspondent à des objets ou des activités humaines susceptibles d'être endommagés ou perturbés si l'aléa survient. On parle de « risque majeur » lorsque les conséquences encourues sont particulièrement importantes, par le nombre de personnes touchées, par l'intensité de ces conséquences impliquant en particulier la vie humaine, les enjeux matériels ou par le caractère difficilement réversible à court terme de ces conséquences. L'estimation des enjeux dépend de l'évaluation que l'on fait de leur importance et des éléments retenus : enjeux pour les personnes, enjeux patrimoniaux, environnementaux, économiques, sociologiques etc.. La caractérisation des enjeux implique des évaluations à la fois qualitatives (enjeux patrimoniaux par exemple, irremplaçables quel que soit l'investissement) et quantitatifs (par exemple financiers).

Risque majeur – définition (source MEDD – 2007 – site prim.net)	
 aléa	Le <b>risque</b> est le produit d'un <b>aléa</b> qui est un événement naturel ou d'un accident technologique susceptible de porter atteinte à des <b>enjeux</b> humains, économiques, environnementaux ou culturels.
 enjeux	L' <b>aléa</b> est qualifié par la <b>fréquence</b> et l' <b>intensité</b> du phénomène prévisible Les <b>enjeux</b> sont caractérisés par leur <b>importance</b> numérique ou sociétale et leur <b>vulnérabilité</b> vis à vis du phénomène ou de l'accident
 risque	Le <b>risque majeur</b> se caractérise par l'incapacité de la société exposée à <b>surpasser</b> l'événement.

On y ajoute parfois la **vulnérabilité**, un paramètre qui caractérise la sensibilité des enjeux au phénomène et qui définit donc, à aléa et enjeux égaux, l'intensité des dommages susceptibles d'être subis. Un même cyclone, passant sur une zone construite avec des habitations sommaires entraîne potentiellement plus de dommages que s'il passe sur une zone prévue pour résister... même si l'exemple de Cytia passant sur la Floride a montré que la vulnérabilité de ce territoire développé était importante. Outre les dommages aux biens et aux personnes, la réactivité des systèmes de réponse (absence des transports publics pour l'évacuation par exemple), a joué un rôle déterminant dans la gravité des conséquences.



Sol latéritique, pente instable, constructions aux fondations absentes... en zone tropicale, l'habitat est très vulnérable au risque « glissement de terrain ». (Mayotte)

## Le risque ZERO n'existe pas !

Le risque ZERO impliquerait que l'on mette à zéro au moins un des ces éléments... comme dans une multiplication !

- ZERO ALEA : cela voudrait dire supprimer totalement l'aléa : pas facile lorsqu'il s'agit de séismes, d'éruption volcanique, de cyclone... d'un point de vu totalement théorique, un aléa « certain » n'est plus un aléa, et l'on ne peut plus parler de risque.
- ZERO ENJEU, et c'est bien le cas pour tout ce qui n'intéresse pas les activités humaines : un séisme en plein milieu d'une zone désertique de l'Arizona, sans aucune présence humaine, sans conséquence environnementale (sauf à effrayer les coyotes ou les petits lézards !) ne présente aucun enjeu et n'est donc pas à l'origine d'un risque.
- ZERO VULNERABILITE, mais comment peut-on être sûrs d'être « invulnérable » même si on pense avoir pris toutes les mesures, toutes les « précautions » (« faire attention... avant ») que, quelle que soit l'intensité ou le moment ou l'aléa survient, tout ce qui est exposé ne subira aucun dommage ?

Bilan : dès qu'il y a présence humaine, le risque zéro n'existe pas ! Il faut s'y faire et les expressions comme « il faut supprimer tout risque de... », « il n'y a aucun risque... » sont d'immenses non-sens.

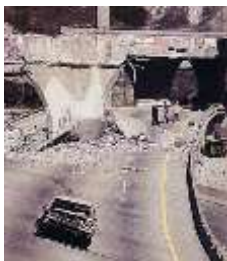
Attention d'autre part aux usages communs des mots : on emploie souvent dans la vie courante et les médias le mot « risque » en lieu et place du mot « aléa » ce qui change le sens. D'autre part, il y a souvent confusion entre « danger » et « risque ».

*Pour bien comprendre la notion de risque et apprendre à en structurer l'analyse, on peut s'entraîner à appliquer de façon rigoureuse la matrice alea/enjeux/vulnérabilité à des situations du quotidien : faire du vélo ou pratiquer un sport, se préparer à manger dans une cuisine..., analyser les questions de santé face aux maladies métaboliques ou d'origine microbienne... L'exercice peut se faire à deux échelles : l'échelle de l'individu (risque individuel), mais aussi celui d'un ensemble de personne (risque collectif). A faire aussi sur les quelques exemples fournis en documents, et bien d'autres.*



### Glissement de terrain et éboulement

- Identifier l'aléa ? Quels facteurs peuvent agir sur le déclenchement et augmenter sa probabilité ? (objectif : prévention)
- identifier les enjeux ;
- comment diminuer la vulnérabilité
  - à long terme
  - à court terme si les conditions laissent penser que la probabilité de l'évènement augmente ?



idem pour un séisme

# Connaître et évaluer les risques associés aux géosciences

## Connaître les aléas

### Diversité des risques d'origine « géologique »

Limitons nous aux aléas liés aux phénomènes « géologiques » au sens le plus large du terme. Ils correspondent à des phénomènes relevant :

- de la « **géodynamique externe** », associés à l'hydrosphère, l'atmosphère et la partie superficielle de la géosphère :
  - o **phénomènes météorologiques** : cyclones, tempêtes, ouragans
  - o **inondations** liés aux eaux continentales, risque de submersion (raz de marées, tsunamis...)
  - o **accidents gravitaires** : éboulements, écroulements, chutes de pierres, glissements de terrains...
- de la « **géodynamiques interne** » :
  - o **volcanisme** (éruptions diverses et phénomènes associés comme les lahars) ;
  - o **séismes** (risque sismique)

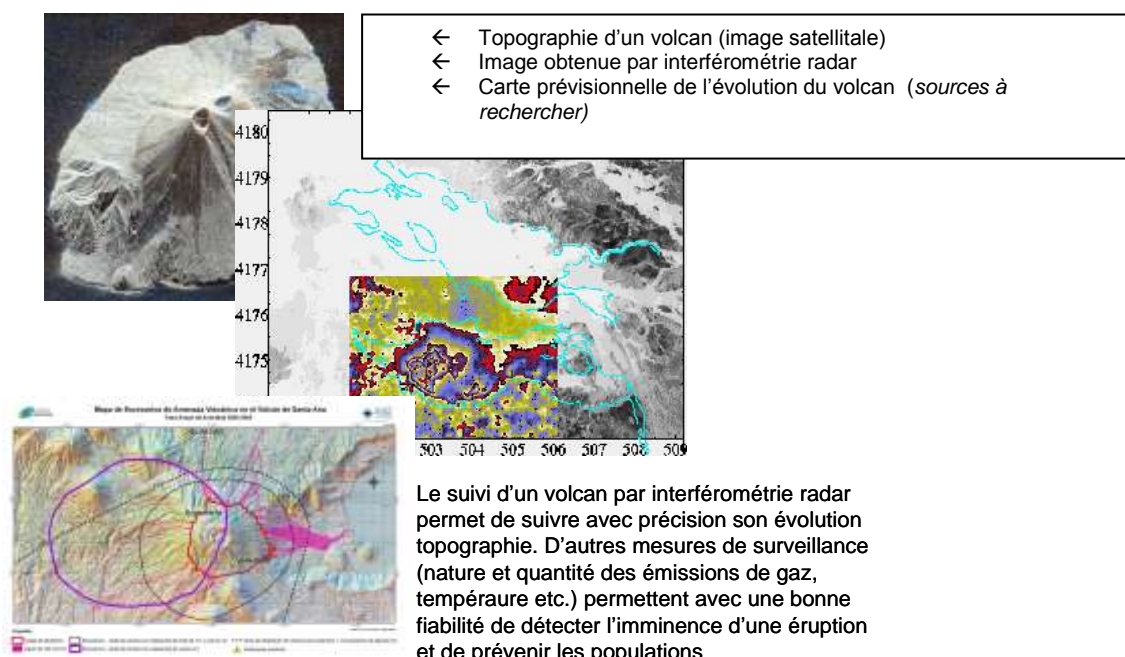
On pourrait ajouter un risque d'origine extra-terrestre : la chute de météorite dont on sait qu'il existe !

Ces différents aléas diffèrent par leurs mécanismes, par les **énergies mises en cause** mais tous peuvent être à l'origine de risques majeurs selon l'endroit et le moment auquel ils surviennent.

### Prévoir ou prédire l'aléa (lieu, date, intensité)

Selon les cas, les possibilités d'anticipation varient. Selon les contextes on parle plutôt de prévision ou de prédiction.

- **prévision** si l'on dispose d'éléments observés ou mesurés suffisamment fiables pour annoncer avec une marge d'incertitude définie les caractéristiques de l'évènement : c'est le cas pour un cyclone, dont on connaît l'intensité de départ, dont on peut calculer la route, et donc avertir les populations de l'imminence de son passage avec une fiabilité qui approche la quasi-certitude. De même, on connaît suffisamment les phénomènes volcaniques pour percevoir l'imminence d'une éruption : quantité et qualité des gaz émis, évolution du flux thermique, bombement localisé mesurable au centimètre près par interférométrie radar. On est « quasiment sûrs » que l'évènement va se produire, suffisamment en tout cas pour que l'on prenne les mesures individuelles et collectives pour « réduire la vulnérabilité » afin bien sûr de préserver les enjeux... mais aussi d'éviter un procès inévitable pour les « décideurs » qui en ne décidant pas de mesures auraient pris la mauvaise décision !

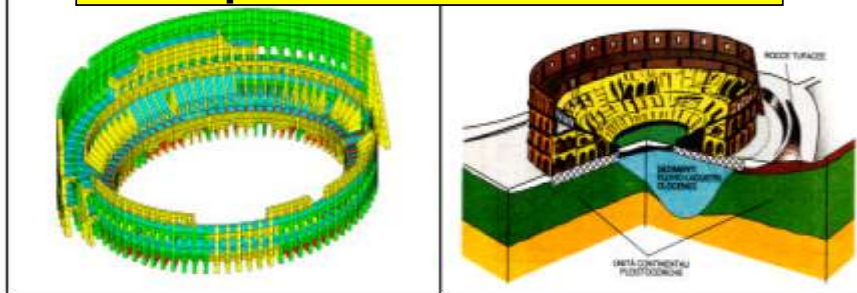




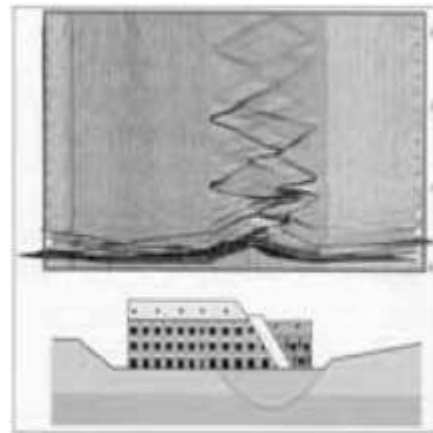
- **prédiction** si l'annonce est entachée d'incertitudes importantes sur la date ou le lieu de l'évènement. Ainsi, dans un pays situé à proximité de zones tectoniques actives comme la faille de San Andreas ou la subduction de l'arc insulaire du Japon, l'application des modèles dit avec certitude (probabilité 1) que des séismes vont se produire, mais sans pouvoir dire, dans l'état actuel des connaissances, quel jour ou quel mois, au niveau de quelle ville ou village, et avec quelle intensité ceux-ci vont se produire. L'analyse de la déformation accumulée dans les plaques, mesurée par GPS, permet d'évaluer la déformation intraplaque et, connaissant les longueurs moyennes rattrapées par les grands séismes, d'en prédire en partie la puissance et l'imminence... On attend le « big one » en Californie, sans dire en quelle année ni ce sera plutôt vers Los Angeles, San Francisco... ou dans le désert chez les coyotes.

A cela, il faut ajouter d'autres éléments de complexité comme les facteurs de site. Les conséquences du séisme de Mexico ont été aggravées par les conditions de substrat, un sable très humide et thixotrope. Ce n'est que la répétition en plus grand d'un évènement survenu à Rome pendant l'antiquité...

## Un risque inconnu des Romains



Seule une moitié du Colisée a été détruite par un séisme en 1349, celle construite sur un ancien affluent du Tibre comblé depuis longtemps par des sédiments, et encore détectable par des méthodes sismiques (encart ci-dessous). Il s'agit là d'un « effet de site » typique. (présentation J-M Lardeaux)



Funiciello et al.

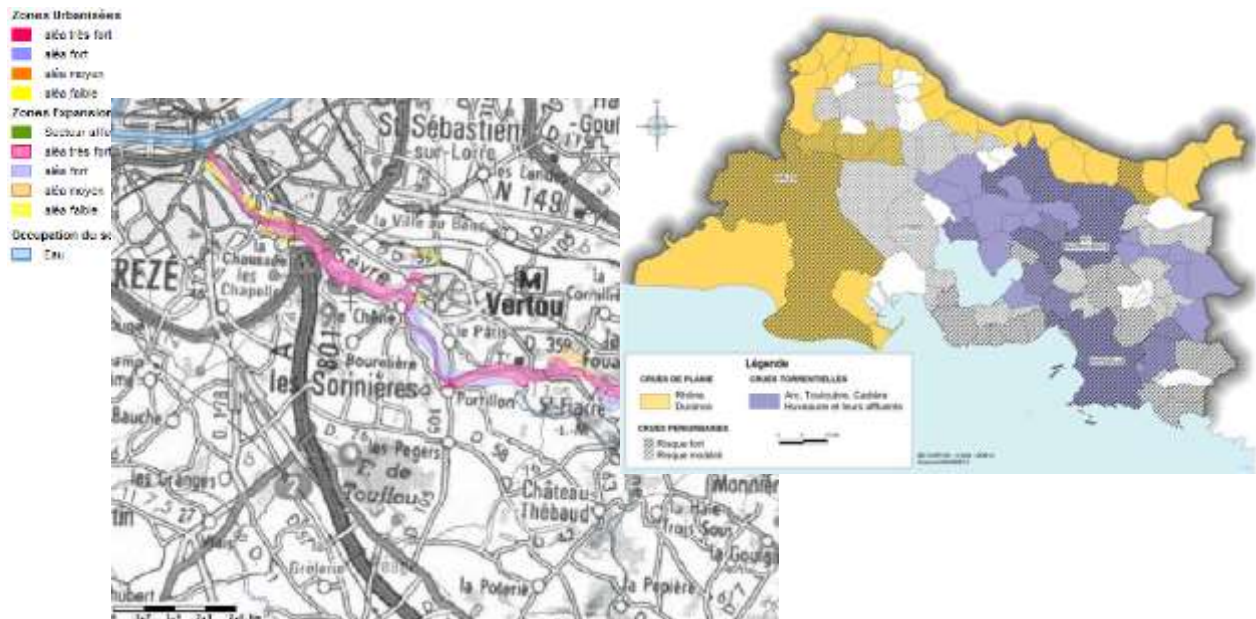
## Améliorer la connaissance des aléas pour mieux gérer le risque

La connaissance intime des mécanismes déterminant les évènements conduit à l'élaboration de « modèles » quantitatifs, souvent numériques, permettant de les prévoir ou de les prédire. D'autres outils, statistiques et en particulier historiques (« sismicité historique » traduisant la fréquence et l'intensité des tremblements de terre) contribuent également à la connaissance de l'aléa, dans des zones précises. Deux paramètres clés doivent être définis : la **fréquence** et l'**intensité** des phénomènes étudiés.

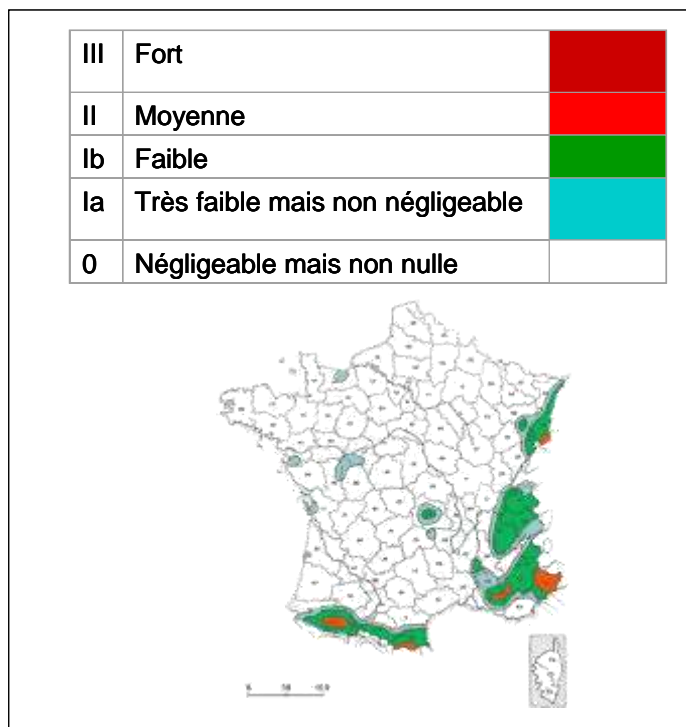
Dans un nombre très limité de cas, il est possible d'**agir sur l'aléa**. Le traitement en amont de l'eau peut limiter les inondations en aval : barrages permettant des régulations du débit et du niveau des cours d'eau, actions sur les bassins versants et limitation du ruissellement) peut limiter les inondations en aval. La consolidation de rochers, la mise en place de dispositifs de fixation, le recours à une végétation fixatrice du substrat, peuvent diminuer les probabilités d'accidents gravitaires.

L'ensemble de ces données, à plus long terme et à différentes échelles d'espace, permettent de construire des **cartes** qui constituent des outils incontournables de gestion du développement du territoire (PPR = Plan de prévention des risques).

Par exemple, les cartes de zones inondables amenant à rendre certaines zones inconstructibles visent à améliorer la gestion des territoires en **limitant les enjeux**.



**La diminution de la vulnérabilité peut se faire à deux échelles de temps.** Lorsque les modèles prévisionnels annoncent la survenue prochaine d'un événement, il est possible de déclencher des réactions d'urgence et de baisser ainsi temporairement **la vulnérabilité instantanée en adoptant des mesures préventives d'urgence** (par exemple face aux inondations, cyclones, tempêtes, ...). D'autres dispositifs visent à **diminuer la vulnérabilité à long terme**. Les Plans de prévention des risques (PPR) sont des outils d'aménagement rationnel des territoires amenant à définir les zones utilisables, leurs destinées ainsi que les préconisations qui doivent accompagner leur occupation. C'est le cas par exemple des cartes de « risque inondation » (ci-dessus), ou de zonage sismique (ci-dessous) ..



## ***Evaluer les enjeux : une question complexe***

L'évaluation des enjeux en tant que telle ne relève pratiquement pas de la compétence des géosciences. Elle est particulièrement complexe car impossible à quantifier totalement, et pourtant une des questions clé est celle du coût : toute perte, destruction, de personne ou de matériel, peut impliquer une procédure de « dédommagement », d'indemnisation de compensation, évaluée en euros (ou en dollars) sonnants et trébuchants ! Les assureurs sont de fins connaisseurs du risque qui constitue le cœur même de leur métier.

A côté de conséquences chiffrables (reconstruire un pont, une route, une maison), bien des dommages sont inévaluables, les pertes en vies humaines bien entendu, mais aussi les pertes d'ordre patrimoniale (la destruction d'un édifice emblématique, d'œuvres d'art), d'ordre environnemental (par exemple dans des cas de pollutions) ne présentent pas de critère simple d'évaluation.

L'évaluation des enjeux est pourtant essentielle :

- en amont de l'évènement, pour décider de « faire ou ne pas faire » (construire, aménager et comment ...), d'estimation des coûts : c'est un élément clé de la décision politique ;
- en aval de l'évènement (indemniser, compenser etc.)

Ainsi, en fonction du degré de sismicité de la zone, les préconisations de constructions peuvent différer selon qu'il s'agit de bâtir une centrale nucléaire ou des habitations individuelles.

## ***Estimer la vulnérabilité et la réduire***

Les géosciences interviennent en particulier dans l'analyse de la vulnérabilité de l'environnement face aux risques technologiques, que ce soit dans le cadre de mesures d'urgence ou de mesures préventives.

Dans le domaine hydrologique et hydrogéologique, il peut s'agir par exemple de :

- la connaissance de la circulation des courants marins (pollution par les hydrocarbures en cas d'accident de transport par les pétroliers, sur des exploitations off shore comme dans le Golfe du Mexique)
- la connaissance de la circulation de l'eau dans le sous-sol (pollution des nappes)

Les questions fondamentales sont celles de la dispersion des substances d'une part, et de leur persistance d'autre part (temps de résidence d'un polluant comme un produit radionucléaire par exemple) dans les sol ou le sous sol. Tous les systèmes géologiques n'ont pas la même « vulnérabilité », par exemple si l'on compare des zones argileuses et des formations calcaires karstiques dans lesquelles l'eau circule vite et loin. Le choix du lieu d'implantation d'usines peut prendre en compte ces éléments ; pour un même aléa, la vulnérabilité moindre d'un environnement diminue le risque.

La vulnérabilité dépend beaucoup des activités humaines et de ses productions. Pour une centrale nucléaire par exemple, la technologie utilisée, le bâti qui l'entoure sont des facteurs de son paramètre « vulnérabilité »... tout comme la réactivité et la compétence des personnes qui y travaillent.

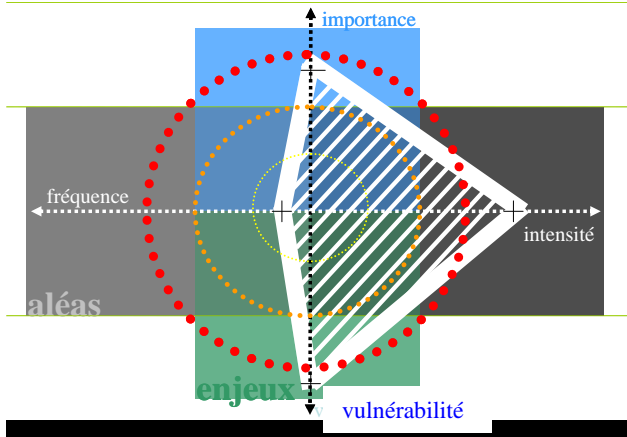
## **Agir sur les risques ?**

### ***En agissant sur...***

Pour construire une réponse, on peut, comme pour l'analyse du risque, s'appuyer sur une grille :

- **agir sur l'aléa**... certes, mais ce n'est pratiquement pas possible lorsqu'il s'agit d'un aléa naturel ; encore que limiter le réchauffement climatique dont un des effets semble être l'augmentation de la fréquence d'éléments climatiques extrêmes (cyclones, ouragans etc., raz de marées) peut être considéré comme une volonté de réduction des aléas à long terme (ou de limitation de leur augmentation !)
- **agir sur les enjeux relève totalement de la responsabilité humaine** et constitue donc le point clé de l'action ;
- **agir sur la vulnérabilité** également.

En abscisse : l'aléa est caractérisé par sa fréquence et son intensité  
 En ordonnée : les enjeux, caractérisés par leur importance et la vulnérabilité  
 La cible symbolise les différentes intensités du risque.  
 On « sort de la cible », dès lors qu'un des éléments dépasse un certain seuil.



Un risque majeur ... si l'intensité potentiel de l'évènement est fort, intervient dans une zone vulnérable où les enjeux sont importants... même si la fréquence des évènements est faible.

Diagramme d'analyse du risque proposé par le MEDD – plus on s'éloigne du centre de la cible, plus le risque augmente, d'un risque faible jusqu'à un risque majeur.

## Urgence et prévention : le court et le long terme

Face aux événements, deux ordres de temps sont en jeu :

- le **court terme** : savoir réagir à une situation d'**urgence**, une situation de **crise** ; c'est une question à la fois de moyens et d'organisation à laquelle les sociétés doivent se préparer.
- Le **moyen et le long terme**, c'est prendre en compte les risques comme un des éléments de décision dans le développement : on rentre bien ici dans une démarche de **développement durable**, car tout développement qui ferait l'impasse sur les risques ne peut pas être durable.



Trajet prévisionnel du cyclone Dean établi au 1<sup>er</sup> jour (11 AM Wed) – la zone blanche correspond au domaine d'incertitude. Vous êtes haut responsable à Puerto Rico, juste à la limite de la zone de passage prévue pour le cyclone Dean. Déclenchez vous les mesures d'urgence visant à diminuer la vulnérabilité ?



Mais toute mesure nécessite des investissements, investissements financiers (*elles ont un coût!*) mais aussi investissement humains. Comme toute situation, les interrelations entre composantes économiques, sociologiques, environnementales, culturelles sont multiples et complexes. Les choix faits résultent d'arbitrages qui, selon les lieux, les moments, les personnes, donnent plus ou moins de poids à tel ou tel facteur.

Enfin, comme toute décision sur le complexe, tout choix, qu'il soit individuel ou collectif, implique qu'on en assume la responsabilité.

Pour sortir du domaine des risques majeurs... prendre son vélo...

- en pleine circulation, un jour de pluie augmente les aléas et la probabilité d'un « accident » : mais on ne peut pas toujours éviter de prendre son vélo ces jours là, et pour ce qui est de jouer sur les aléas... ?
- les enjeux concernent à la fois le vélo (ça se répare... si on de l'argent pour), et la personne (ça se répare parfois moins facilement) ; si le premier est « évaluable » en « valeur de remplacement », les conséquences directes et indirects d'un traumatisme (cranien et éventuellement psychologique) sont plus difficiles à mesurer, sauf en coût des soins.
- un vélo adapté, bien éclairé, avec de bon freins, le port du casque ... réduisent la vulnérabilité... mais quelle sensation de liberté que d'aller par les chemins, la tête à l'air et sur un vélo équipé à minima pour le tout terrain !

Lorsque l'aléa est « supposé » et pas totalement identifié ou argumenté, on peut invoquer le « principe de précaution », un principe selon lequel « *en l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable* ».

Question de choix, question de responsabilité, individuelle mais aussi collective dans un système de santé solidaire. Quoiqu'il en soit, les risques sont partout, et c'est indéniable. Refuser le risque est une absurdité et risque de mener à une inertie paralysante. La connaissance du risque et son évaluation, constituent des éléments de décision, des éléments d'action. Le principe de précaution devrait aussi être un principe d'action, et non un « principe de non action ». Agir en responsable, c'est prendre en compte les risques, et non pas les refuser.

## **L'essentiel sur « géosciences et risques »**

**RISQUE = (alea x enjeux) x ... vulnérabilité)**

**Le risque se définit** à partir de deux éléments :

- **l'aléa**, évènement susceptible de se produire, mais d'une façon plus ou moins imprévisible
- **les enjeux** correspondant aux conséquences potentielles sur les hommes et leurs activités.

Lorsque les enjeux sont particulièrement importants, on parle de risque majeur.

Face aux risques, la **vulnérabilité** des dispositifs humains, c'est-à-dire la sensibilité des enjeux au phénomène, peut varier selon les lieux et les moments.

### **Prévision, prévention...diminuer la vulnérabilité**

La connaissance des phénomènes géologiques à l'origine de risques vise à améliorer en particulier les **possibilités de prévision** avec deux objectifs :

- **à court terme**, si le phénomène est annoncé, prendre les mesures d'urgence permettant de **diminuer la vulnérabilité instantanée** ;
- **à long terme**, de **limiter l'importance des enjeux** dans les zones à risque ou d'adopter des mesures **diminuant sur le long terme la vulnérabilité**.

**La diversité des aléas** repose

- sur l'**origine** du phénomène (géodynamique externe ou interne)
- les énergies mises en jeu (**intensité**)
- la **fréquence** des phénomènes
- leur caractère **plus ou moins prévisible** à différentes échelles d'espace et de temps.

A chaque risque, correspondent des dispositifs réglementaires adaptés. Mais le **caractère fondamentalement indéterminé du risque** impose de **décider** en prenant en compte cette indétermination, que ces **décisions soient individuelles ou impliquent une dimension collective**. Les scientifiques, s'ils sont en capacité d'éclairer les décideurs, ne peuvent se substituer aux prises de responsabilités politiques qu'elles impliquent.