

INTRODUCTION AUX RISQUES NATURELS



PIERRE OZER

Année Académique 2007-2008

© Ozer P., DSGE, ULg, Mai 2008

I. INTRODUCTION

L'intérêt porté aux risques naturels et aux catastrophes naturelles ne cesse de croître. Par catastrophes naturelles, on entend les sinistres provoqués par les forces de la nature. Ces catastrophes sont très diverses tant par leur étendue géographique que par leur échelle de temps.

D'après les responsables de la Veille Météorologique Mondiale, notre planète subit d'innombrables assauts au cours d'une année : de l'ordre de 100 000 orages, 10 000 inondations, des milliers de séismes, d'incendies de forêts, de glissements de terrain, d'avalanches et de tornades, et des centaines d'éruptions volcaniques, de cyclones tropicaux, d'épisodes de sécheresse et d'infestations acridiennes. Seules les plus dramatiques de ces catastrophes font les gros titres de la presse internationale, mais toutes causent des pertes en vies humaines et des dégâts matériels.

Les grandes catastrophes naturelles¹ de ces quinze dernières années (1991-2005) ont provoqué des pertes économiques d'un montant supérieur à 1040 milliards de US\$, soit près de 70 milliards de US\$ annuellement, et des pertes couvertes par les assurances de l'ordre de 262 milliards de US\$ ou 17 milliards de US\$ par an (Tab. 1, Fig. 1 et 2). D'autres catastrophes moins importantes ont fait doubler au moins le montant de ces pertes. Par rapport aux années soixante, la charge des pertes économiques a été multipliée par six, et celle des pertes couvertes par les assurances, par 32. Avant 1987, un seul sinistre avait coûté plus de deux milliards de US\$ au secteur des assurances. Depuis, ce montant a été atteint pour 32 catastrophes naturelles dont 9 se sont produites au cours de ces deux dernières années (2004 et 2005) (Swiss Re, 2006²).

Tableau 1 : Grandes catastrophes naturelles (1950-2005). Source : Munich Re, 2006³.

	1950-59	1960-69	1970-79	1980-89	1990-99	2000-05	Rapport 2000s:60s
Nombre annuel de grandes catastrophes naturelles	2,1	2,7	4,7	6,3	9,1	4,3	1,6
Pertes économiques annuelles	4,8	8,8	15,2	24,7	72,9	56,7	6,4
Pertes annuelles couvertes par les assurances	0,2	0,7	1,5	3,0	13,8	22,7	32,4

¹ Selon la Munich Re, une catastrophe naturelle est qualifiée de 'grande' si la capacité du pays ou de la région touché est dépassée, rendant l'aide interrégionale ou internationale nécessaire. C'est souvent le cas lorsque des milliers de personnes perdent la vie, quand des centaines des milliers de personnes se retrouvent sans-abri ou quand un pays souffre de pertes économiques trop lourdes à assumer. A titre d'exemple, pour 2000, les terribles inondations ayant affecté le Mozambique et les pays limitrophes sont la seule grande catastrophe naturelle comptabilisée.

² Swiss Re, 2006. Natural catastrophes and man-made disasters 2005: high earthquake casualties, new dimension in windstorm losses. Sigma No 2/2006. 39 p.

³ Munich Re, 2006. Annual review : Natural catastrophes 2005. Topics Geo 2006. 55 p.

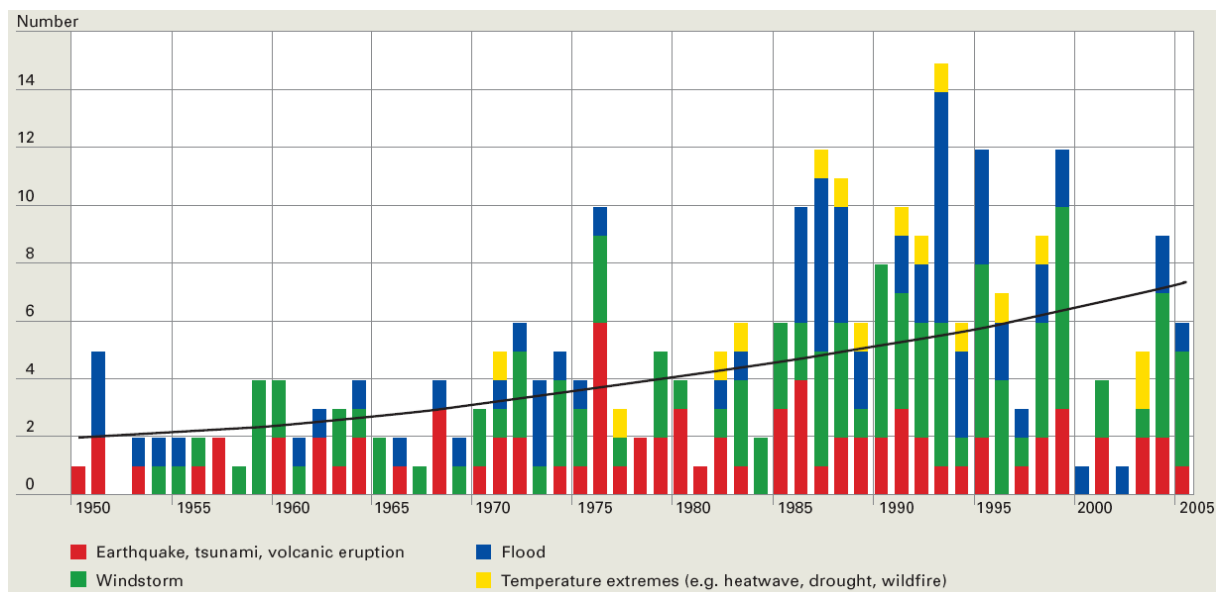


Figure 1 : Evolution des grandes catastrophes naturelles, par type, répertoriées dans le monde (1950 – 2005). Source : Munich Re, 2006.

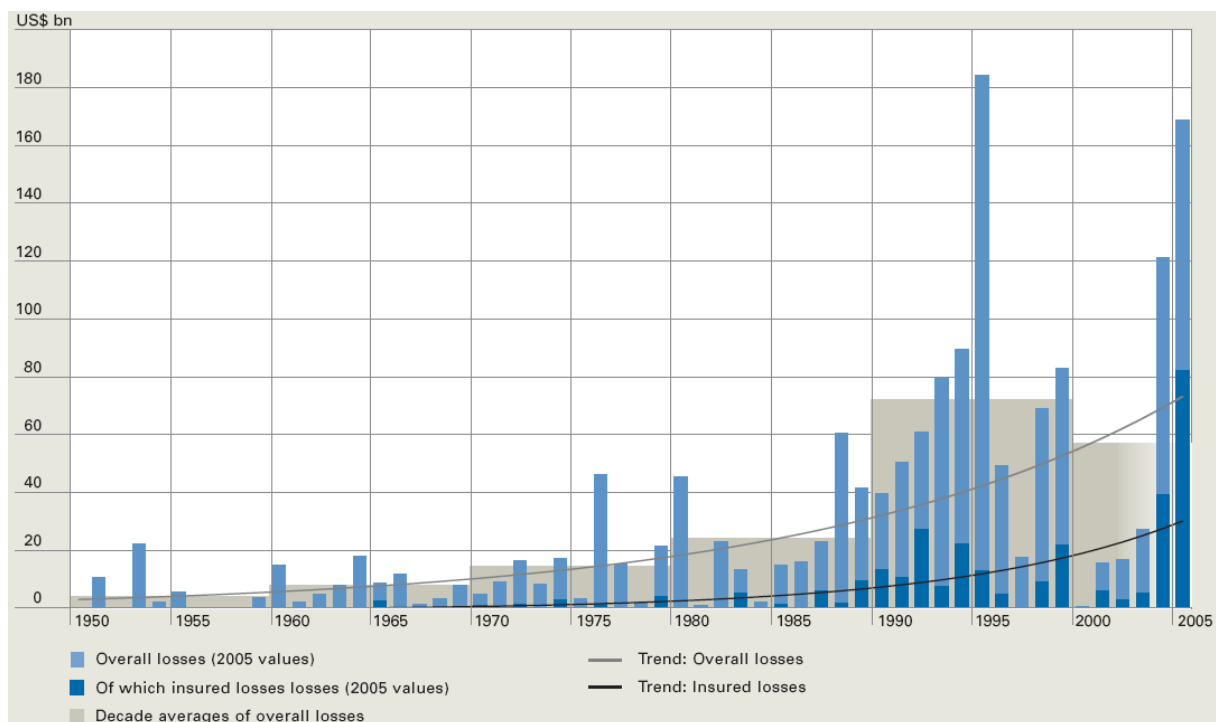


Figure 2 : Evolution des pertes financières totales et assurées, avec tendances, engendrées par les grandes catastrophes naturelles répertoriées dans le monde (1950 – 2005). Source : Munich Re, 2006.

Au cours des trente dernières années, les catastrophes naturelles ont coûté la vie à plus de trois millions de personnes et laissé plus d'un milliard d'individus malades ou sans abri, dont 95% dans les pays en voie de développement. Ceci fait dire à plusieurs spécialistes que tant les catastrophes naturelles que la dégradation croissante de l'environnement au niveau mondial sont des menaces sérieuses pour le développement. En effet, la part du PIB perdu est, d'après les estimations, 20 fois plus importante dans les pays en voie de développement que dans les pays industrialisés.

Sur le plan économique, les interconnexions qui se développent rapidement ont exacerbé la transmission de la vulnérabilité aux catastrophes. Lors d'une catastrophe naturelle, on estime que le nombre de personnes touchées est approximativement 1000 fois supérieur à celui des personnes tuées. Les pertes peuvent se propager sur les marchés de capitaux par des fuites de capitaux, des dépréciations de monnaies nationales, des dettes accrues, etc. Les pays en voie de développement sont particulièrement sensibles aux caprices des flux de capitaux sur le plan international qui les rendent encore plus vulnérables aux effets bouleversants des catastrophes naturelles. La croissance économique d'un pays ou d'une région repose notamment sur l'investissement, sur une bonne gestion et sur la stabilité sociale et, malheureusement, les catastrophes naturelles provoquent exactement l'inverse. La perte de capital (naturel ou créé par l'homme) provoque subitement [i] un désinvestissement ; [ii] les activités de secours consécutives aux catastrophes accroissent la charge financière et administrative des gouvernements ; et [iii] les catastrophes sont déstabilisantes sur le plan social.

Le sort des habitants de notre planète est donc inégal devant les effets des catastrophes naturelles. Les figures 3 et 4 montrent ainsi, respectivement, la répartition géographique des quarante plus grandes catastrophes ayant affecté le globe de 1970 à 2000⁴ selon le nombre de victimes (voir aussi Tab. 3) et les pertes financières supportées par les assurances. La figure 5 regroupe ces deux classements par continent. L'analyse de ces figures montre sans équivoque que les pertes humaines les plus dramatiques et les pertes financières assurées les plus fortes ne se situent pas dans les mêmes régions. Un simple rapport entre le nombre de victimes et les pertes financières supportées par les assurances pour l'année 2005 est éloquent (Tab. 2).

En effet, si les pertes assurées par victime s'élèvent approximativement à 0,9 10⁶ US\$ au niveau mondial, des contrastes importants existent selon les continents. Ainsi, en Amérique du Nord, en Europe et en Océanie, ce rapport varie entre 10 et 20 10⁶ US\$ (17,2 10⁶ US\$ en moyenne) alors que chaque victime des continents en développement coûte 30 000 US\$ en moyenne. En 2005 donc, une victime du Nord aura coûté au secteur des assurances plus de 600 fois plus qu'une victime du Sud. Il est à noter que cet écart serait beaucoup plus important (1600) si l'Europe occidentale et l'Europe de l'Est ou encore le Japon du reste de l'Asie (Ozer & de Longueville, 2006⁵).

Tableau 2 : Nombre de victimes, pertes financières supportées par les assurances et rapport coût/victime selon les continents en 2005. Source : Swiss Re, 2006

	Nombre de victimes	Pertes financières supportées par les assurances (10⁶ US\$)	Coût / Victime (10⁶ US\$)
Amérique du Nord	3781	72633	19,2
Europe	659	7039	10,7
Asie	89633	2660	<0,05
Amérique du Sud	943	47	<0,05
Afrique	1851	49	<0,05
Océanie/Australie	26	359	13,8
Monde	96893	82787	0,9

⁴ Les données proviennent de la compagnie de réassurance suisse, Swiss Re. Chiffres mis à jour jusque 2000. Source : Swiss Re, 2001. Catastrophes naturelles et techniques 2000: malgré les inondations catastrophiques, le nombre de dommages a diminué. 19 p.

⁵ OZER P. & DE LONGUEVILLE F., 2006. Pour 80 milliards de dollars de catastrophes naturelles. *La Libre Belgique* (Belgique), 16 janvier 2006, 20.

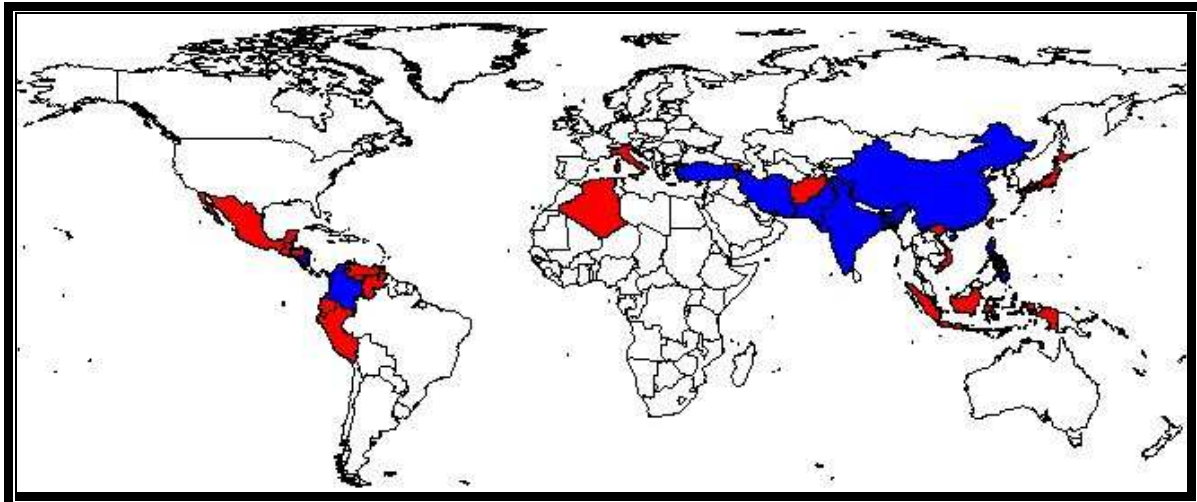


Figure 3 : Répartition géographique des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de victimes (1970 – 2000).

Rouge = 1. Bleu ≥ 2 . Voir Tableau 3 pour les valeurs utilisées. Source : SwissRe, 2001.

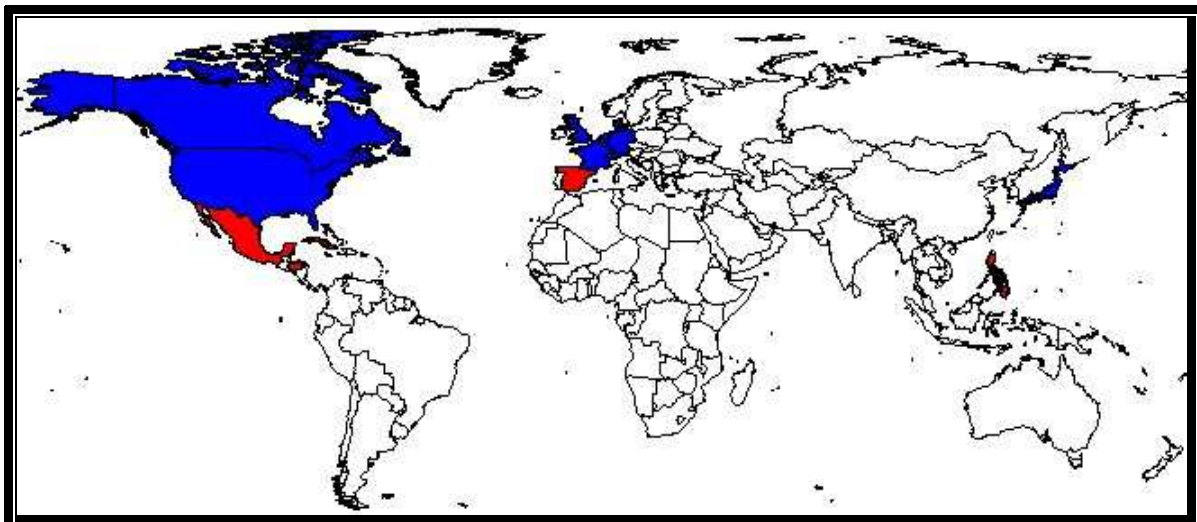


Figure 4 : Répartition géographique des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de pertes financières supportées par les assurances (1970 – 2000).

Rouge = 1. Bleu ≥ 2 . Voir Annexe sur CD-Rom pour les valeurs utilisées. Source : SwissRe, 2001.

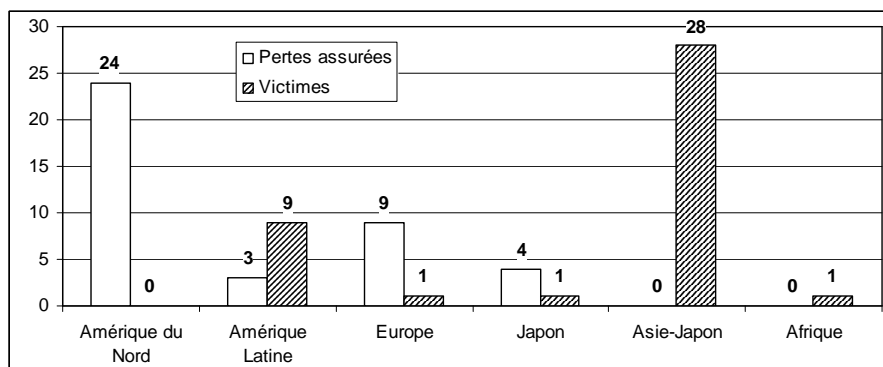


Figure 5 : Répartition, par région, des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de victimes et de pertes financières supportées par les assurances (1970 – 2005). Source : SwissRe, 2006.

Pour les pertes financières assurées, 57% des quarante plus grandes catastrophes se trouvent aux Etats-Unis. Les sept premiers rangs sont occupés par des cataclysmes ayant touché l'Amérique du Nord. L'ouragan Katrina (2005) est de loin la catastrophe la plus coûteuse de l'histoire des réassureurs avec approximativement 45 milliards de US\$. Il est également intéressant de noter que les catastrophes naturelles dont le coût est supérieur à 10 milliards de US\$ sont toutes localisées aux Etats-Unis, et que 4 de ces 6 catastrophes se sont produites récemment en 2004 et 2005 (Swiss Re, 2006). Plus de 80% des catastrophes ayant coûté plus de deux milliards de US\$ au secteur des assurances sont liées aux phénomènes atmosphériques soudains et violents. Suivent les tremblements de terre (3), les inondations (1) et les incendies de forêt (1).

Par contre, en ce qui concerne les catastrophes naturelles en termes de victimes, le classement obtenu (Tab. 3) est totalement différent. Les trois plus graves catastrophes, avec systématiquement plus de 100 000 victimes sont localisées en Asie ; continent qui, à lui seul, détient le triste record de 70% des quarante plus grandes catastrophes. Ces trois catastrophes totalisent 688 000 morts contre seulement 3 millions de US\$ de pertes financières couvertes par les assurances ! Les Etats-Unis n'apparaissent plus dans ce classement.

De manière surprenante, l'Afrique n'apparaît pas dans cette banque de données de la compagnie de réassurance suisse, *Swiss Re*. Par contre, si on se réfère à d'autres sources d'information de la compagnie de réassurance allemande, *Munich Re*, on se rend compte que la seule crise de sécheresse du début des années septante au Sahel aurait provoqué la mort de 250 000 personnes en Afrique de l'Ouest (*Munich Re*⁶) et 900 000 autres en Ethiopie (*CRED*⁷). L'Ethiopie, le Soudan et le Tchad seront encore touchés en 1984 par la sécheresse causant plus de 450 000 morts.

D'autre part, toujours selon la *Munich Re*, si toute la période de l'après guerre est considérée, la terrible sécheresse qui a touché l'Inde de 1965 à 1967 aurait fait approximativement 1.5 million de victimes. Quant à la catastrophe la plus meurtrière, elle est attribuée à une inondation exceptionnelle qui a noyé 2 millions de personnes dans le nord de la Chine en 1957. Ainsi, le fait d'être à la fois à proximité d'un phénomène naturel extrême et au bas de l'échelle économique ou sociale (au sens large du terme) aura des conséquences dramatiques, souvent mortelles, sur les populations. Actuellement, les risques de décès dus à des catastrophes naturelles par million d'habitants sont 12 fois plus élevés dans les pays en voie de développement qu'aux Etats-Unis d'Amérique. La figure 6 donne un aperçu de ce décalage. D'après les chiffres, les perspectives sont sombres. D'ici l'an 2025, 80% de la population mondiale résidera dans les pays en voie de développement et, d'après les estimations, pas moins de 60% de cette population sera extrêmement vulnérable aux inondations, aux tempêtes violentes et aux tremblements de terre, etc.

Tous ces chiffres peuvent donner l'impression que les épisodes destructeurs se multiplient. Il est cependant plus probable que le monde est devenu plus vulnérable. Dans les pays en voie de développement, en particulier, la densité démographique des zones sinistrées où l'urbanisation croissante est souvent exacerbée par la fragilité des infrastructures matérielles et les effets des modifications de l'environnement, peut être à l'origine du problème. Cette vulnérabilité apparaît clairement quand on pense à la facilité avec laquelle les systèmes de communication peuvent être paralysés, à la manière dont les codes de la construction et les mesures de sécurité peuvent être négligés, à l'insuffisance des programmes d'information et d'éducation du public et à l'inconsistance des plans d'urgence conçus pour assurer la survie en cas de catastrophe. Pour illustrer ce propos, l'exemple du terrible séisme en Inde du 25 janvier 2001 sera développé ultérieurement.

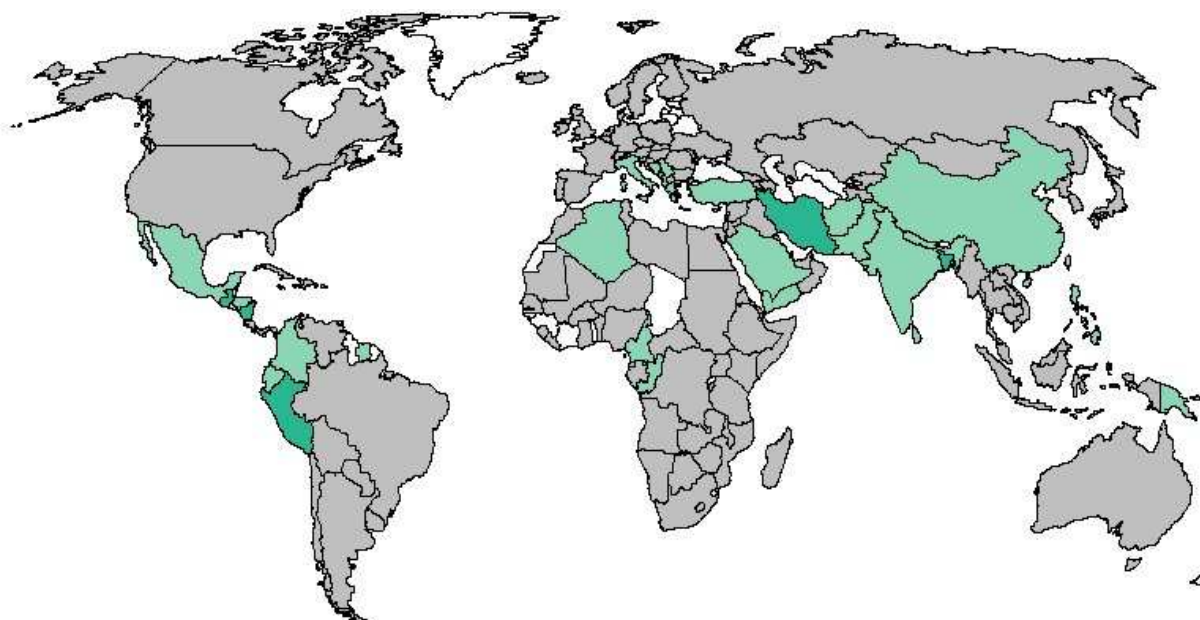
⁶ <http://www.munichre.com/>

⁷ <http://www.cred.be/>

Tableau 3 : Les 20 plus graves catastrophes naturelles en termes de victimes, 1970 – 2005

Source : SwissRe, 2001

	Victimes	Pertes assurées (10⁶ US\$)	Date	Événement	Pays
1	300 000	-	14 Nov 70	Storm and flood catastrophe	Bangladesh
2	255 000	-	28 Jul 76	Earthquake in Tangshan (8.2 Richter scale)	China
3	220 000	2068	26 Dec 2004	Earthquake and tsunami	Indian Ocean
4	138 000	3	29 Apr 91	Tropical cyclone Gorky	Bangladesh
5	73 300	-	8 Oct 2005	Earthquake	Pakistan
6	66 000	-	31 May 70	Earthquake (7.7 Richter scale)	Peru
7	50 000	152	21 Jun 90	Earthquake in Gilan	Iran
8	26 271	-	26 Dec 2003	Earthquake in Bam	Iran
9	25 000	-	16 Sept 78	Earthquake in Tabas	Iran
10	25 000	-	7 Dec 88	Earthquake in Armenia	Armenia
11	23 000	-	13 Nov 85	Volcanic eruption on Nevado del Ruiz	Colombia
12	22 084	257	4 Feb 76	Earthquake (7.4 Richter scale)	Guatemala
13	19 118	1 173	17 Aug 99	Earthquake in Izmit	Turkey
14	15 000	110	26 Jan 2001	Earthquake in Gujarat	India, Pakistan
15	15 000	103	29 Oct 99	Cyclone 05B devastates Orissa state	India, Bangladesh
16	15 000	-	1 Sept 78	Flooding following monsoon rains	India
17	15 000	-	11 Aug 79	Dyke burst in Morvi	India
18	10 800	-	31 Oct 71	Flooding in Bay of Bengal and Orissa state	India
19	10 000	-	25 May 85	Tropical cyclone in Bay of Bengal	Bangladesh
20	10 000	-	20 Nov 77	Tropical cyclone in Bay of Bengal	India



Nombre annuel moyen de victimes par million d'habitants de 1970 à 1996

- 0, aucune donnée
- faible
- moyen
- élevé

Figure 6 : Nombre annuel moyen de victimes par million d'habitants (1970 – 1996).

Source : Munich Re, 1997.

Le plus dramatique et récent exemple de catastrophe qui aurait pu être évitée dans une région du Sud reste bien évidemment le terrible tsunami qui a dévasté les littoraux de l'Océan Indien en décembre 2004 (Ozer et de Longueville, 2005⁸). Et on est en droit de se demander ce que pourrait donner un séisme de magnitude supérieure à 6.0 dans les environs de Téhéran. En effet, étant donné que moins d'1% des bâtiments sont construits selon les normes parasismiques, les experts estiment que le décompte des victimes pourrait commencer à 1 million de morts. Mais une forte vulnérabilité due au non-respect des codes de la construction et des mesures de sécurité ainsi qu'à l'inconsistance des plans d'urgence conçus pour assurer la survie en cas de catastrophe n'est pas l'exclusivité des pays du Sud. L'exemple du chaos qui a suivi le passage de l'ouragan Katrina dans le golfe du Mexique en août 2005 en est la preuve (Davis, 2005⁹).

D'autre part, l'incapacité de lutter contre la dégradation de l'environnement résultant de l'intervention humaine accroît la vulnérabilité aux risques qui découlent des catastrophes naturelles. Jakarta, Manille et Rio de Janeiro sont des exemples typiques de villes dont le développement incontrôlé, ajouté à la déforestation et au déversement des déchets dans les fleuves et canaux, ont accru le ruissellement et provoqué de graves inondations. Les risques spécifiques aux villes seront abordés dans la suite de ce document.

En 1990, dans l'objectif de mieux connaître ces problématiques, les Nations Unies ont lancé une décennie internationale de la prévention des catastrophes naturelles (IDNDR). A l'issue de cet effort à l'échelle mondiale, la meilleure connaissance des risques et catastrophes, le développement de la culture de la prévention, la mise en place de politiques adéquates et la diffusion rapide de l'information durant les périodes de crises pour la gestion et l'évaluation des catastrophes sont autant de points essentiels à développer dans les années à venir pour limiter les impacts humains et financiers de tels désastres.

Depuis 2000, l'Université de Liège coordonne l'enseignement d'un diplôme d'études spécialisées (DES) en gestion des risques naturels. L'objectif de ce cours est de cerner les risques de manière globale et d'introduire les différents cours qui vous seront dispensés dans les disciplines spécialisées.

⁸ OZER P. & DE LONGUEVILLE F., 2005. Tsunami en Asie du Sud-Est : retour sur la gestion d'un cataclysme naturel apocalyptique. *Cybergeo: Revue Européenne de Géographie*. No.321, 14/10/2005, 14 p. (<http://www.cybergeo.presse.fr>).

⁹ DAVIS M., 2005. A la Nouvelle-Orléans, un capitalisme de catastrophe. *Le Monde Diplomatique*, Octobre 2005, p. 1, 4-5. (<http://www.monde-diplomatique.fr/2005/10/DAVIS/12817>).

II. CONCEPTS ET DEFINITION : ALEA, VULNERABILITE ET RISQUE

Le risque est une notion composite. Le risque est le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité. C'est pourquoi il est d'abord nécessaire de définir ces termes avant de préciser la notion de risque puis celle de hasard.

1. L'aléa

L'aléa est un concept relativement récent qui désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène. L'aléa est principalement fonction de l'intensité du phénomène et de son occurrence.

Par exemple, pour des précipitations pouvant provoquer des inondations brutales, des courbes de quantité-durée-fréquence peuvent être dressées à partir des lois de Gumbell. Une fois ces courbes obtenues, il est possible de définir un aléa à partir d'un seuil donné. Le problème de ce genre d'analyse provient du fait que les données statistiques disponibles sont souvent trop brèves. Dans le cas 'optimal', quand les séries de données ont une longueur satisfaisante, il est souvent bon de remettre à jour les résultats d'analyses précédemment obtenus car la relation précipitations extrêmes – fréquence des inondations peut changer pour deux raisons : [i] la fréquence des précipitations extrêmes peut évoluer avec le temps et [ii] l'aménagement du territoire peut être modifiée dans le temps.

2. La vulnérabilité

La vulnérabilité, au sens large du terme, exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux. Les enjeux sont les domaines affectés par le risque : les hommes, leurs biens et les milieux dans lesquels ils vivent. Cette palette des enjeux varie suivant la nature de l'aléa. Ainsi, lors d'une invasion acridienne, l'habitat n'est pas un enjeu tandis que c'est un enjeu primordial lors d'un séisme. Pour chaque enjeu reconnu, une évaluation des dommages est établie en fonction des niveaux d'aléa. Les enjeux peuvent évidemment être décomposés plus ou moins précisément. Ainsi, au niveau des biens économiques, il est possible d'estimer les dommages pour l'agriculture, l'industrie, et les services, ou d'être encore plus précis en distinguant différentes filières d'élevage et types de cultures au sein même du secteur agricole.

Ceci dit, depuis quelques années, on ajoute à cette définition la capacité de réponse des sociétés analysées face à des crises potentielles. Ceci traduit la fragilité d'un système dans son ensemble et, de manière indirecte, sa capacité à surmonter une crise provoquée par un aléa. A titre d'exemple, le Centre Régional Agrhymet, Niamey, Niger, dans son projet Alerte Précoce et Prévision des Productions Agricoles, définit la vulnérabilité comme étant le produit de la probabilité de manifestation du risque (aléa) par la capacité de la population d'y faire face. En clair, plus un système est apte à se rétablir après une catastrophe, moins il est vulnérable.

Il existe plusieurs mesures de la vulnérabilité : vies humaines, importance financière, impacts économiques, intérêts culturels, etc.

Quelle que soit la vulnérabilité envisagée, il est clairement établi que, pour un même aléa, les conséquences d'une catastrophe varient selon les catégories de personnes atteintes. Ainsi, les personnes aisées sont généralement moins touchées que les pauvres car elles vivent dans des sites moins dangereux, à l'écart des zones inondables et des zones industrielles, et dans des résidences souvent plus résistantes aux agressions extérieures. De plus, leur

patrimoine peut être assuré et une partie de leur richesse est préservée hors du site touché par la catastrophe sous forme de compte en banque ou d'action. En revanche, les démunis vivent quotidiennement dans des sites plus vulnérables et concentrent toute leur maigre fortune dans leur maison, sur le lieu même qui est emporté par les cataclysmes. En général, la vulnérabilité est donc fonction du statut socioéconomique des populations frappées par une catastrophe tant au niveau local (une ville, par exemple) que sur le plan international. C'est ce qui explique en partie l'écart considérable entre les pertes humaines comptabilisées dans les pays développés et celles qui sont relevées dans les pays en voie de développement.

D'autres critères influent sur la vulnérabilité, en particulier l'âge et le sexe. Les enfants et les personnes âgées sont bien plus fragiles que les hommes dans la force de l'âge. Dans les camps de fortune mis sur pied à la suite de grandes catastrophes naturelles comme les récents séismes au Pakistan en octobre 2005, les enfants en bas âge sont de loin les plus vulnérables. Plusieurs enquêtes semblent indiquer que la survie des adolescents, représentant le futur, est privilégiée par rapport à celle des enfants ou des vieillards. Une autre distinction oppose des hommes et les femmes. Généralement, les hommes sont moins vulnérables, entre autres car ils sont plus mobiles que les femmes responsables des enfants. Dans le cas des famines en Afrique, c'est l'inverse qui s'observe : les hommes semblent moins résistants que leur conjointes.

3. Le risque

Le risque est le produit de l'aléa par la vulnérabilité (Fig. 7). Cette équation montre qu'un même risque peut correspondre à un aléa fort et une vulnérabilité faible, un aléa moyen et une vulnérabilité moyenne, ou un aléa faible et une vulnérabilité forte. En effet, un séisme de magnitude 7.7 n'est qu'un risque mineur dans le désert de Gobi alors qu'il devient un des cataclysmes majeurs de ces 100 dernières années lorsqu'il se produit dans une région densément peuplée comme au Cachemire, Pakistan (octobre 2005), avec 88 000 victimes, des dizaines de milliers de blessés et près de 3 millions de sans abri.

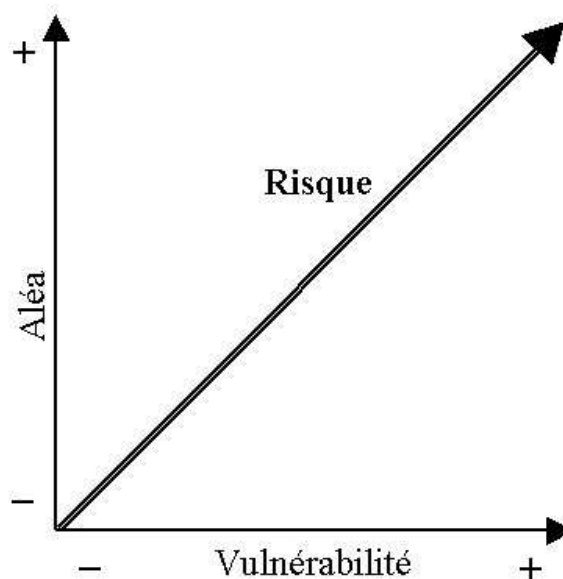


Figure 7 : Représentation du risque en fonction de l'aléa et de la vulnérabilité.

En représentant l'aléa et la vulnérabilité en abscisse et en ordonnée, on peut donc obtenir des courbes d'isorisque (Fig. 8). Aux points A et B de ce schéma correspondent deux risques de même intensité mais fort différents. Le premier (A) est le résultat d'un aléa fort et d'une vulnérabilité faible alors que le second correspond à un aléa faible mais avec une vulnérabilité forte. Il y a évidemment différentes courbes isorisques. Cependant, une de ces courbes a un intérêt majeur car elle trace la limite entre le risque acceptable et le risque inacceptable. C'est à ce moment précis qu'intervient la notion de gestion des risques naturels. Le choix de cette courbe 'limite' appartient aux décideurs politiques compétents en la matière et est souvent le résultat d'un consensus entre ces décideurs, les scientifiques, les opérateurs techniques et les sociétés exposées, en tenant compte des facteurs socio-économiques propres à ces sociétés. Mais avant cela, il faudra faire percevoir le risque en décrivant les conséquences directes et indirectes d'un événement ciblé.

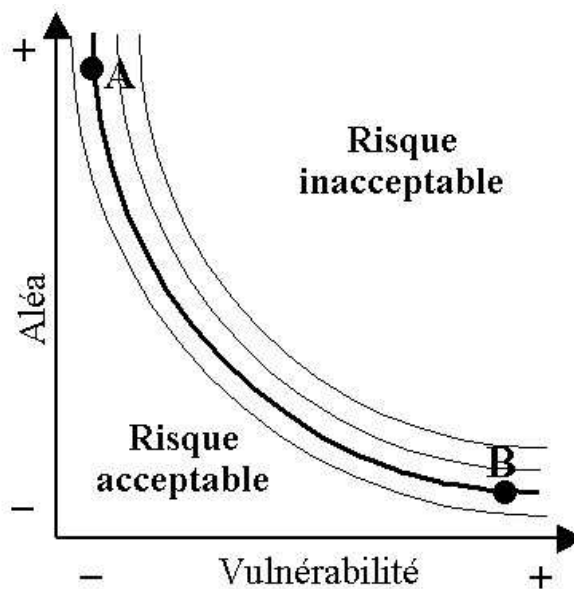


Figure 8 : Représentation du risque acceptable et inacceptable à partir des courbes isorisques.

Etant donné que tant l'aléa que la vulnérabilité sont des notions sans cesse changeantes, le risque n'est jamais définitif et son appréciation varie dans le temps. Ceci soulève la difficulté de la gestion de certains risques naturels sur le long terme.

De manière simpliste, et sans rentrer dans le détail, prenons l'exemple des risques liés aux facteurs pluviométriques. Pour prévenir une région plus ou moins grande des risques de sécheresse et d'inondation, le décideur optera pour la construction d'un ou de plusieurs barrages dans le but d'assurer une gestion efficace des ressources hydriques (Fig. 9). Le dimensionnement des barrages sera réalisé en fonction de l'analyse des données historiques disponibles. Cependant, si certains facteurs ne sont pas pris en compte, cette gestion s'avérera bientôt inefficace. C'est en effet le cas si, par exemple, la zone doit connaître un déficit pluviométrique prononcé sur le long terme (Fig. 10). Ainsi, l'édification de ces barrages ne serait pas justifiée sur le long terme puisque la probabilité d'inondation devrait être fortement réduite et que les ouvrages d'art seraient probablement surdimensionnés. C'est ce qui se passe actuellement dans les pays méditerranéens (par exemple au Maroc ou en Sardaigne) où bon nombre de barrages sont remplis à moins d'un tiers de leurs capacités depuis plusieurs années consécutives. La question qui se pose est dès lors de savoir si cette situation n'est que momentanée ou si elle persistera, peut-être en s'accroissant, dans les décennies voire les siècles à venir. C'est alors ici qu'interviennent les scénarios climatiques possibles qui sont

actuellement synthétisés à l'échelle globale par l'IPCC (*International Panel on Climate Change*). A partir des données et des recherches existantes, l'IPCC est chargé, entre autres choses, de synthétiser les connaissances sur le fonctionnement du climat, sur l'appréciation du climat actuel et à venir, et sur la vulnérabilité de la biosphère et de nos systèmes socio-économiques face aux évolutions possibles du climat. Cependant, il est certain que les conclusions ainsi produites pour la gestion des risques naturels sur le long terme ne sont pas des certitudes mais plutôt des projections qui dérivent de plusieurs étapes (Fig. 11).

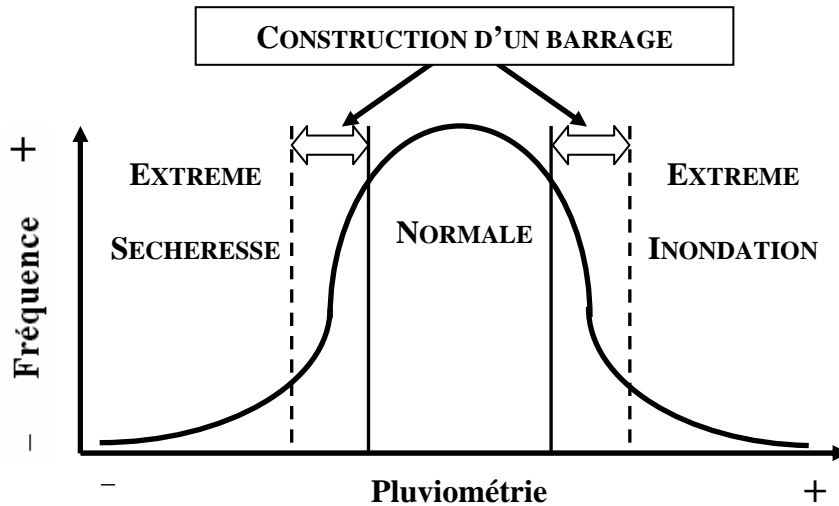


Figure 9 : Exemple de gestion d'un risque naturel lié aux aléas pluviométriques.

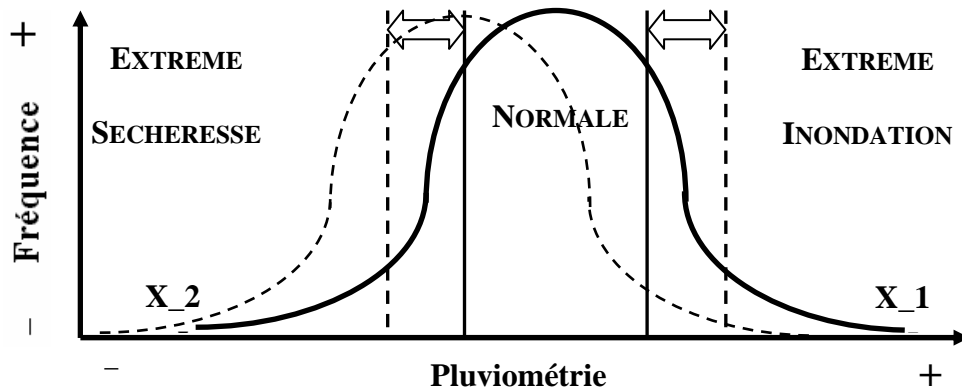


Figure 10 : Exemple de gestion inefficace d'un risque naturel lié aux aléas pluviométriques dans le cadre d'un changement climatique (X_2) non pris en considération.

En outre, les risques sont souvent inégalement perçus. Ainsi, certaines ethnies africaines ont longtemps attribué les phénomènes naturels à des forces 'supérieures' ou se résignent face à certaines catastrophes étant convaincus que c'est la volonté de 'Dieu'. Alors que le risque d'érosion éolienne en Afrique de l'Ouest est perçu par les chercheurs occidentaux comme étant la cause principale de la dégradation des terres, les agriculteurs estiment plutôt que ce processus présente principalement un risque pour leur santé (pollution de l'air). Partout, la perception d'un risque exprimée lors d'une enquête avant ou après un désastre est fort différente. Pour parler d'un exemple, non naturel certes mais récent, personne ne parlait d'un risque de bio-terrorisme avant le 11 septembre. Actuellement...

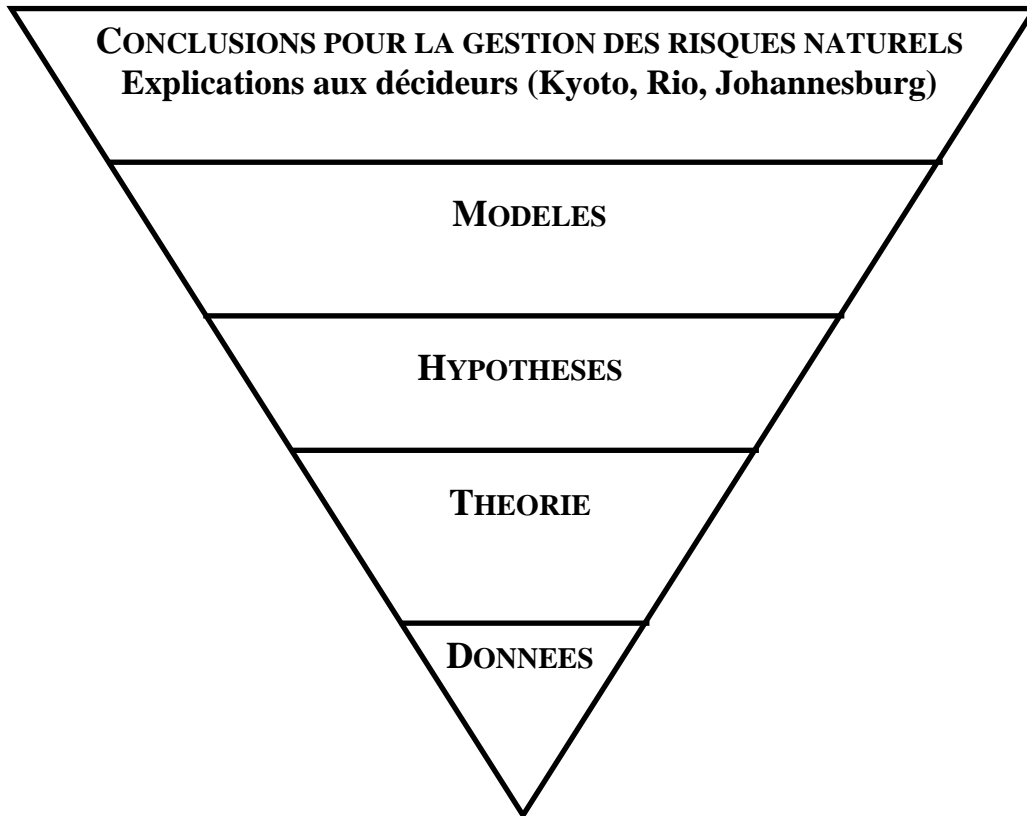


Figure 11 : Répartition schématique des différentes étapes nécessaires à la gestion des risques naturels.

Malgré ces différentes perceptions, quelques règles générales existent. Ainsi, la perception d'un risque diminue tant en fonction de la distance qu'en fonction du temps (Fig. 12).

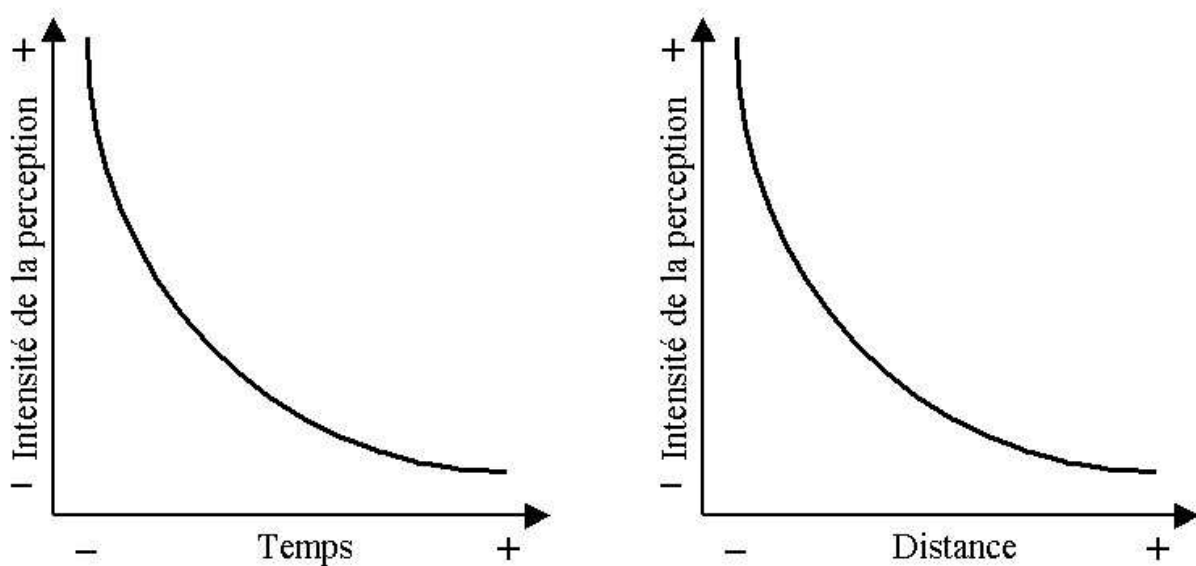


Figure 12 : Evolution de la perception du risque en fonction du temps et de la distance.

Ainsi, pour ce qui est de la distance, les processus de désertification n'intéressent l'Europe que depuis le début des années nonante car on les pensait cantonnés au continent africain. Pour la fonction temporelle, suite à la sécheresse qui sévit au Sahel depuis ces trente dernières années, les décideurs ont oublié que les inondations étaient un risque fréquent dans les années cinquante et soixante. Ainsi, la ville de Nouakchott a été inondée et partiellement détruite en 1950 par la crue du fleuve ... Sénégal, distant de 200 kilomètres. De ce fait, tout le monde s'étonne maintenant lorsque 200 000 personnes pataugent durant deux semaines dans un mètre d'eau à Dakar en août et septembre 2005.

La perception du risque est de plus en plus façonnée par les médias. En effet, les médias grand public diffusent trop souvent des informations fragmentaires et erronées ; surtout pour les risques autres que naturels. Anthrax, vache folle et dioxine en sont des exemples criants. La manière dont le tsunami dans l'Océan Indien a été traité par la presse en comparaison avec les séismes de Bam en 2003 ou au Cachemire en 2005 laisse perplexe. Globalement, 57 pages ont couvert le tsunami dans le quotidien *Le Monde* alors que l'intérêt pour le tremblement de terre en Iran se limitait à 3,5 pages. Autant les thèmes abordés dans la presse relatifs à la vague dévastatrice étaient diversifiés (explications scientifiques des tsunamis, polémique sur l'absence de systèmes d'alerte, témoignages de touristes et inquiétude des pays européens vis-à-vis de leurs ressortissants, évocation des risques sanitaires, nécessité de reconstruction et surtout évaluation du nombre de victimes et répartition dans les différentes zones touchées ainsi que mise en place de l'aide internationale), autant les articles consacrés au séisme de Bam s'attachaient essentiellement à rappeler les relations tendues entre l'Iran et les États-Unis. Un mois après le passage du tsunami, plusieurs articles étaient encore présents dans le quotidien. À titre de comparaison, une petite dizaine de jours après le tremblement de terre survenu dans le sud-est de l'Iran, plus aucune trace de cette catastrophe n'était perceptible. En outre, un an après le séisme de Bam, aucune évocation de ce fléau n'apparaissait, aucun bilan sur les suites, les aides perçues, la reconstruction de la ville, le retour de la population à une vie « normale »... Par contre, dans *Le Monde* du 26 décembre 2004, alors que les informations sur le tsunami de l'océan Indien ne tapissaient pas encore les pages du quotidien, 6 articles décrivaient l'impact des tempêtes qui avaient affecté la France cinq ans auparavant, avec une panoplie de chiffres, principalement liés au nombre d'hectares de forêts ravagées, aux pertes enregistrées, aux dédommagements versés et aux zones restaurées (de Longueville & Ozer, 2005¹⁰).

Autre exemple... A l'heure actuelle, tout coup de chaleur, toute inondation, toute sécheresse, etc. sont mis sur le compte du changement climatique, surtout pendant les semaines avant, pendant, et après les grandes conférences internationales sur l'environnement. Les médias grand public cherchent avant tout à disposer d'une audience importante, ceci conditionnant évidemment leurs rentrées comme les ventes et les recettes publicitaires. Pour cela, des affirmations sensationnelles que l'on ne cherchera pas spécialement à vérifier ont souvent plus de poids que la véracité des faits ou la qualité du raisonnement, souvent simplifiée à l'extrême voire volontairement déformée par les journalistes.

Pour illustrer ce fait, revenons au réchauffement climatique et ses conséquences possibles sur certains risques météorologiques. Les journalistes sont-ils capables de faire la part des choses ? La réponse est clairement négative. Les rapports d'évaluation de l'IPCC sont de volumineux documents (plus de 800 pages) en langue anglaise et purement techniques faisant référence, entre autres choses, à des notions avancées de chimie et de physique de l'atmosphère et ayant recours à des méthodes statistiques pointues. Ils sont donc peu lus,

¹⁰ DE LONGUEVILLE F. & OZER P., 2005. Tsunami en Asie du Sud-Est : analyse de son importance dans la presse écrite, des coûts assurés et du nombre de victimes à Sumatra. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 46 : 63-70.

sinon pas du tout, par les journalistes. Quant aux résumés de ces documents, moins volumineux et plus accessibles, qui sont rédigés à l'attention des décideurs, ils sont rarement parcourus intégralement par les journalistes. Ainsi, lorsque le grand public croit être objectivement informé de ce que contiennent les conclusions de l'IPCC, il est généralement informé de ce que le journaliste en a compris sans les avoir lus, faute de maîtrise des notions nécessaires et/ou de temps. Et lorsque le Politique s'en mêle... Il est évident que lorsque, de surcroît, le Secrétaire d'Etat belge à l'Energie et au Développement Durable, Olivier Deleuze, crie, haut et fort juste après le Sommet de la Terre de Johannesburg, que les orages du mois d'août 2002 ayant occasionnés quelques inondations dans le centre du pays sont dus au réchauffement climatique, cela donne clairement du crédit au mythe populaire et à la presse à sensation qui voudraient que tous les 'bouleversements climatiques' que nous avons connus ces dernières années ('Lothar', 'Martin', les inondations de l'Elbe et consorts, 'Katrina', etc.) sont les événements précurseurs d'une catastrophe quasi inéluctable... Pourtant, ces dires vont à l'encontre des conclusions scientifiques de l'IRM (Institut Royal Météorologique). Mais les dires d'une personnalité connue ont plus de poids.

Notons également que, dans certains pays, les médias, contrôlés par le pouvoir politique en place, peuvent volontairement minimiser l'importance d'une catastrophe naturelle nationale. Ce fut le cas au Mexique lors du séisme de 1985 (15 000 victimes). Chez nous également, les médias peuvent passer sous silence certaines catastrophes humanitaires bien réelles comme des sécheresses par exemple.

4. Conclusion

Un événement potentiellement dangereux, l'aléa (Fig. 13) n'est un risque que s'il s'applique à une zone où des enjeux humains, économiques ou environnementaux sont en présence (vulnérabilité). Ces deux notions d'aléa et de vulnérabilité sont sans cesse changeantes, c'est la raison pour laquelle le risque n'est qu'une notion relative évoluant dans le temps et dans l'espace.

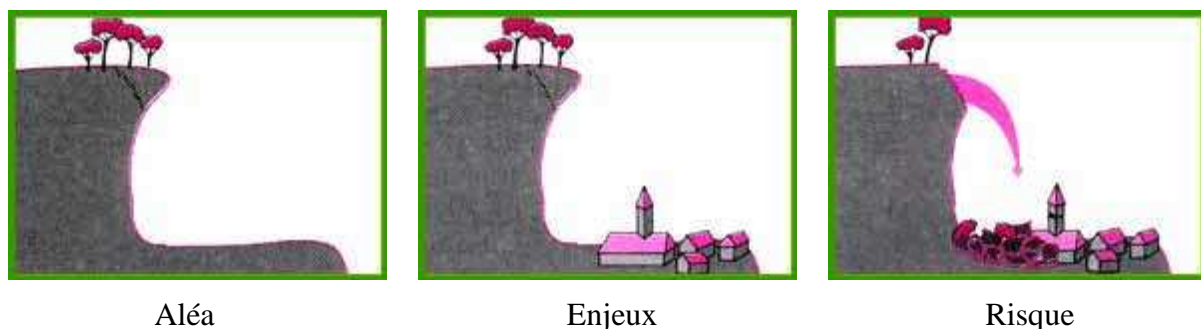


Figure 13 : Schéma retraçant les composantes menant au risque.

III. LES DIFFERENTS RISQUES ET CATASTROPHES : TECHNIQUES, SOCIALES ET POLITIQUES, DU VIVANT, ET NATURELLES

Avant d'aborder les différents types de risques naturels, ce chapitre introduit brièvement les quatre grandes familles de risques et les catastrophes qui en découlent. Celles-ci sont d'origine technique, d'origine sociale et politique, relevant du vivant et, finalement, d'origine naturelle. Après un bref descriptif, les différents liens entre les trois premières grandes familles et les risques naturels seront abordés.

1. Risques et catastrophes d'origine technique

Les risques d'origine technique sont, en règle générale, les moins meurtriers. Cependant, l'année 2000 est l'exception, les catastrophes d'origine technique auraient fait plus de victimes que les catastrophes naturelles.

Pour la société de réassurance suisse, *Swiss Re*, les catastrophes techniques intègrent¹¹ :

- les grands incendies et les explosions,
- les catastrophes aériennes,
- les catastrophes maritimes et fluviales,
- les catastrophes routières et ferroviaires,
- les accidents de mines et carrières,
- les effondrements de bâtiments et d'ouvrages d'art, et
- les sinistres majeurs divers.

Pour ce qui est des grands incendies et des explosions, ces catastrophes ont tué approximativement 6100 personnes de par le monde au cours de ces cinq dernières années. L'Europe occidentale est relativement épargnée par ce type de désastre. Différentes directives européennes existent et sont en vigueur (cf. *Seveso 1* [24 juin 1982] et *Seveso 2* [9 décembre 1996]). Cependant, nul n'est à l'abri. L'exemple s'est malheureusement produit le 21 septembre 2001, à Toulouse, dans l'un des complexes industriels les plus surveillés de France. L'explosion de l'usine AZF, spécialisée dans la production d'engrais chimiques, a causé la mort de 29 personnes, blessé 2500 individus et engendré des dégâts matériels extrêmement élevés évalués à $1.8 \cdot 10^9$ US\$. Or, les sites dangereux ne sont pas rares... La France compte aujourd'hui un demi million d'installations considérées comme 'assez dangereuses' et qui ont nécessité une simple déclaration avant leur mise en fonctionnement. Au-dessus, 65 000 autres sites 'plus dangereux' ont été soumis à une autorisation. Reste enfin, les 1249 usines dites 'Seveso' depuis l'application de la directive *Seveso 2*, les 'plus dangereuses' faisant l'objet de mesures spécifiques.

Les catastrophes naturelles peuvent être indirectement responsables de grands incendies. Ainsi, lors du tremblement de terre de Kobe en 1995, l'essentiel des victimes ne fut pas touché par le séisme lui-même, mais brûlé et asphyxié par les incendies allumés après la rupture des canalisations de gaz. La figure 14 et les quatre photographies (Photo 1) illustrent cet impact indirect.

¹¹ Tous les rapports annuels de la *Swiss Re* intitulés 'Catastrophes naturelles et techniques' de 1996 à 2006 peuvent être téléchargés à l'adresse : <http://www.swissre.com/>.



Figure 14 : Zones dévastées par les incendies lors du séisme de Kobe, Japon, 1995



Photo 1 : Incendies déclenchés par le séisme de Kobe, Japon, 1995

En ce qui concerne les catastrophes aériennes, elles ont tué approximativement 6500 personnes en 120 accidents au cours de ces cinq dernières années. Ces événements sont souvent super médiatisés, surtout lorsque des films ou des photographies témoignent de l'accident, comme ce fut le cas pour le Concorde en 2000 ou récemment, ce 12 novembre 2001, avec le crash de l'Airbus A-300 à New York. Ce qui est le plus intéressant, par rapport aux risques naturels, c'est que près de 20% des catastrophes aériennes sont provoquées par les très mauvaises conditions climatiques (brouillard, tempête de sable, tempête de neige, pluies très abondantes, etc.). C'est ainsi que 118 personnes ont perdu la vie à Milan le 9 octobre 2001 suite à une collision au sol entre deux avions. La cause de cet accident était l'épais brouillard.

Ce sont toujours les mauvaises conditions climatiques (tempêtes, tempêtes tropicales, mer très agitée, fleuve en crue, etc.) qui sont la cause principale des catastrophes maritimes et fluviales (près de 11000 morts de 1996 à 2000). C'est précisément par temps de tempête que le pétrolier Erika s'est brisé en deux en décembre 1999, provoquant la marée noire que l'on connaît. Par ailleurs, les différents naufrages des pétroliers représentent un risque certain pour la faune, la flore et l'activité touristique aux alentours des zones touchées par les pollutions engendrées.

Si les catastrophes ferroviaires sont souvent purement techniques, en revanche, les catastrophes routières sont, une fois de plus, le résultat de mauvaises conditions climatiques comme les pluies violentes, la neige, le verglas, le brouillard, etc. (près de 12000 morts ces cinq dernières années). En Arizona, par exemple, la fréquence des accidents de la route dus aux tempêtes de sable était tellement élevée sur les autoroutes 8 et 10 (91 accidents, 147 blessés et 20 morts de 1969 à 1979), que le *Department of Transportation* de l'Arizona a mis en place un *Dust Storm Alert System* qui consiste, sur un tronçon de 132 kilomètres, en une quarantaine de signaux contrôlés à distance et informant les automobilistes du risque potentiel de tempêtes de sable. Notons également que les accidents de la route individuels ne sont pas repris ici. Ils sont pourtant très meurtriers, faisant approximativement 60 000 victimes par an en Europe et 500 000 morts de par le monde. Ce risque est dès lors accepté, il devient routinier et chronique. La société en accepte le prix à payer.

Quant aux accidents de mines et carrières (2300 victimes), ils sont essentiellement techniques. Ceci dit, lors de certains séismes, les terrains miniers peuvent engendrer des dégâts plus importants que prévu. Ainsi, comme l'a montré la répartition des dégâts occasionnés à l'agglomération liégeoise par le tremblement de terre du 8 novembre 1983, la fragilisation du sous-sol découlant d'une importante activité minière passée a représenté un facteur non négligeable d'accroissement local des destructions.

Les effondrements de bâtiments et d'ouvrages d'art (900 victimes) sont, eux, totalement techniques.

Dans la catégorie 'sinistres majeurs divers' (5300 victimes), on retrouve les intoxications alimentaires de grande envergure, les actes terroristes et les troubles sociaux que nous envisagerons dans la partie suivante consacrée aux risques et les catastrophes d'origine sociale et politique. Notons que, depuis peu, le piratage informatique est considéré par les analystes comme un risque technique. Ainsi, le virus informatique 'ILOVEYOU' a-t-il été le plus important risque technique de l'année 2000. Il aurait provoqué 2.6 milliards de US\$ de pertes économiques.

Cependant, certains risques technologiques non repris ci avant sont réels et agissent souvent de façon insidieuse. C'est la cas, par exemple, de la pollution de l'air par l'ozone, des matériaux contenant de l'amiante utilisés dans le secteur de la construction, etc. Certaines

catastrophes techniques font parfois peu de victimes immédiates et il est ensuite difficile d'établir des relations de cause à effet. C'est le cas de l'après Tchernobyl, par exemple.

2. Risques et catastrophes d'origine sociale et politique

Toutes les sociétés engendrent des risques qui parfois dégènèrent en catastrophe. Leur origine peut être d'ordre économique, politique, religieux ou culturel. Les violences urbaines, la drogue, le crime organisé, les actes terroristes et les différentes formes de guerres sont les principaux risques et catastrophes d'origine sociale et politique. Ces événements sont bien plus meurtriers que les catastrophes d'origine naturelle. Le seul génocide au Rwanda a probablement fait plus de morts que les catastrophes d'origine naturelle de ces vingt dernières années.

Ces risques engendrent indirectement de nouvelles catastrophes. L'exemple le plus évident est celui de la famine. Actuellement, les effets des récentes sécheresses dévastatrices et les troubles civils et les conflits actuels et du passé continuent de menacer la sécurité alimentaire de quelque 60 millions de personnes de par le monde¹². Une ou plusieurs récoltes successives déficitaires dues à une sécheresse persistante peuvent être compensées par un apport massif et rapide de nourriture. Mais dans les pays en guerre, les vivres expédiés par les secours internationaux parviennent rarement aux populations civiles. Ils sont détournés par les miliciens de chaque camp. Le cas de plusieurs pays d'Afrique de l'Est (Soudan, Somalie, Ethiopie) montre le rôle minime de la sécheresse dans les famines en cours. Malheureusement, dans ces pays en guerre, non seulement les famines ne sont pas enrayerées, mais elles sont trop souvent utilisées comme arme contre des ethnies 'indésirables'.

Les guerres frappent souvent, de manière durable, la nature et les écosystèmes. Ainsi, au Vietnam par exemple, les défoliants déversés par les américains ont ravagé le couvert végétal et entraîné une dégradation environnementale de régions riches. Lors des guerres 'propres' récentes dont on nous montre peu de choses, comme la 'Guerre du Golfe' et –fort probablement– la guerre actuelle en Afghanistan, les bombardements des 'alliés' se concentrent certes sur quelques objectifs militaires mais surtout sur des objectifs stratégiques non avoués. Dans ces zones arides, les bombardements ont souvent pour but la destruction des infrastructures agricoles comme les réseaux d'irrigation. Le but est évidemment d'affamer les civils et de déstructurer une société qui se base sur la gestion de l'eau.

L'afflux brutal et massif de réfugiés ou la présence plus ou moins prolongée de camps d'hébergement compromettent l'équilibre des écosystèmes locaux et le bien-être des populations avoisinantes. Les camps de réfugiés sont souvent situés dans des zones écologiquement fragiles, par exemple dans des régions arides ou semi-arides qui ne peuvent absorber d'un seul coup des milliers de familles accompagnées de leur bétail. La présence des réfugiés a sur les ressources naturelles renouvelables des effets d'autant plus préoccupants qu'ils risquent d'avoir des conséquences durables pour la survie quotidienne. La destruction et la détérioration des forêts est le problème numéro un. L'érosion des sols, la pollution des eaux, l'épuisement des ressources en eau, et l'atteinte à la biodiversité locale sont d'autres sujets d'inquiétude. Tout autour des camps de réfugiés, les arbres sont abattus pour construire des abris, amputés pour faire du bois à brûler et du charbon de bois, défeuillés pour nourrir le bétail. Le tapis végétal est arraché pour dégager des terres arables; dans les situations les plus critiques, les souches d'arbres sont déterrées pour trouver du bois à brûler. L'expérience a démontré que la pression exercée par les réfugiés sur l'environnement était également un

¹² FAO, 2001. Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide sur l'Alimentation et l'Agriculture. Perspectives de l'Alimentation, #3, juin 2001. 53 p.
<http://www.fao.org/WAICENT/faoinfo/economic/giews/french/smiar.htm>.

facteur de tensions sociales. Dans des régions où le bois à brûler et l'eau sont des denrées rares, les populations locales ne voient pas d'un bon œil l'arrivée d'innombrables miséreux qui s'empressent de tout couper et de tout arracher. De plus, les nouveaux venus ignorent souvent tout des traditions locales ou des lois de protection des espèces sauvages et des sites sacrés, ce qui ne manque pas de provoquer de nombreux conflits.

A titre d'exemple, de 1988 à 1992, 200 000 réfugiés somaliens se sont établis à Hartisheik, un des plus grand camp de réfugiés situé dans l'est de l'Ethiopie. La pression de ces réfugiés sur les ressources aquifères était très forte, près de 800 000 litres par jour. Ainsi, la conséquence de cette exploitation excessive de l'eau fut que le niveau de la nappe aquifère était descendu si bas que les puits traditionnels utilisés par les populations locales étaient devenus totalement secs¹³. D'autre part, malgré la fourniture de bois à brûler par le HCR en vue de contrôler l'exploitation de ressources forestières, les processus de déforestation se déroulent régulièrement autour des majeurs camps de réfugiés. Ainsi, toujours à Hartisheik, Ethiopie, une auréole de près de 10 km de rayon a été totalement déboisée en moins de cinq années.

Certains risques naturels peuvent également être à la source de certains conflits sociaux ou politiques. Ainsi, dans un récent document préfacé par le Secrétaire général des Nations Unies, M. BOUTROS BOUTROS-GHALI, on peut lire¹⁴: "*La désertification a également joué un rôle dans le déclenchement de dix conflits armés qui se déroulent actuellement dans les régions arides*". Mais la désertification affecte également le niveau local. Notons ainsi que le besoin de nouveaux territoires agricoles se réalise grâce à un déboisement partiel des terrains situés à proximité des villages mais également en supprimant l'accès des champs anciennement en jachère aux éleveurs et à leurs troupeaux. Ces nouvelles pratiques rompent l'équilibre traditionnel entre les activités pastorales et agricoles, et peuvent dégénérer en luttes tribales mortelles entre sédentaires et pasteurs. Ainsi, en mai 1997, différentes querelles ont tourné à l'affrontement entre éleveurs Fulani et agriculteurs Zarma dans les arrondissements de Tera et Birni N'Gaouré (région de Niamey) faisant 7 morts et 43 blessés. A la même difficile période de soudure en 1998, 14 personnes ont perdu la vie et 10 autres ont été blessées lors d'une dispute entre éleveurs et agriculteurs à propos de l'attribution d'un terrain à une centaine de kilomètres au sud-est de la capitale, Niamey.

3. Risques et catastrophes du vivant

Les catastrophes dites du vivants sont, de loin, les plus meurtrières. Souvent, elles sont plus étendues dans l'espace et dans le temps que les autres catastrophes. Quand une maladie gagne plusieurs continents, l'épidémie prend le nom de pandémie. Ainsi, le virus Ebola, apparu en RDC en 1976, semble être cantonné en Afrique. C'est donc une épidémie. Par contre, le sida, touche la planète entière (Fig. 15). C'est donc une pandémie dont la rapidité d'expansion est alarmante (Fig. 16) qui a tué approximativement 2.8 millions de personnes de par le monde en 1999. Actuellement, plus de 35 millions de personnes ont contracté la maladie. Dans certains pays d'Afrique du Sud, près d'une personne sur trois est maintenant touchée par cette pandémie. En 1999, près d'une femme enceinte sur quatre était atteinte du sida en Afrique du Sud.

¹³ CRED, 1996. The environmental impact of sudden population displacements. Priority policy issues and humanitarian aid. 100 p.

¹⁴ CAT / CCD, 1995. Cap sur Terre. Une introduction à la Convention sur la lutte contre la désertification – sa raison d'être et ce qu'elle apporte de nouveau. CAT. 32 p.

Les trois principales causes de décès sur le continent africain sont actuellement le résultat des risques du vivant, à savoir le sida (20.6%), les infections respiratoires diverses (10.3%) et la malaria (9.1%).

Cependant, les changements climatiques peuvent favoriser la propagation de certaines catastrophes du vivant. Ainsi, un réchauffement du climat peut avoir de multiples répercussions quant à la santé humaine. Des conséquences indirectes du réchauffement climatique sont possibles: on craint ainsi que des agents pathogènes (par exemple, ceux de la malaria et de la fièvre jaune) ne se répandent vers l'Europe, rencontrant de meilleures conditions climatiques pour eux.



Figure 15: Adultes et enfants vivant avec le VIH/SIDA. Estimations à fin 1999. Total : 34.3 millions
 Source : ONUSIDA, <http://www.unaids.org/>

De fait, des effets indirects sont essentiellement provoqués par des changements au niveau des écosystèmes, avant tout par la modification de la composition de la faune et de la flore. Pour ce qui intéresse la santé, se sont surtout les vecteurs d'agents pathogènes comme la malaria ou la fièvre jaune qui sont importants. La propagation d'agents pathogènes dépendant de l'eau (pour l'hépatite, la dysenterie, le typhus et le choléra, entre autres) et de maladies infectieuses transmises par des vecteurs (malaria, dengue, fièvre jaune et méningite virale) dépend entre autre du climat. Le taux de multiplication et la fréquence des repas sanguins d'insectes vecteurs et de tiques porteurs de germes sont par exemple influencés par les cycles d'inondations et de sécheresses. Des études en Suède démontrent après deux années de printemps et d'étés anormalement longs, une augmentation des méningites transmises par les tiques. D'autres études estiment qu'une augmentation de 3 degrés de la température mondiale pourrait doubler l'incidence des maladies transportées par les moustiques dans les régions tropicales et les multiplier par dix dans les zones tempérées.

Avec un réchauffement général du climat, des porteurs de germes (comme par exemple des moustiques infectés par la malaria) peuvent plus facilement envahir des régions actuellement presque pas touchées, également en Europe. Ainsi, par exemple, au cours du chaud été 1994, on a enregistré à Paris une augmentation de la malaria d'aéroport. Pendant des périodes de conditions climatiques extrêmes en relation avec El Niño, on a constaté une augmentation des épidémies de malaria dans de nombreux pays (en Amérique du sud, mais également au Rwanda, au Pakistan et au Sri Lanka). Les premières estimations pour

l'ensemble de la planète tablent sur 50-80 millions de cas supplémentaires de malaria en l'an 2100, sur la base d'un réchauffement climatique. La maladie s'est par exemple dernièrement également répandue dans les massifs montagneux de l'Afrique.

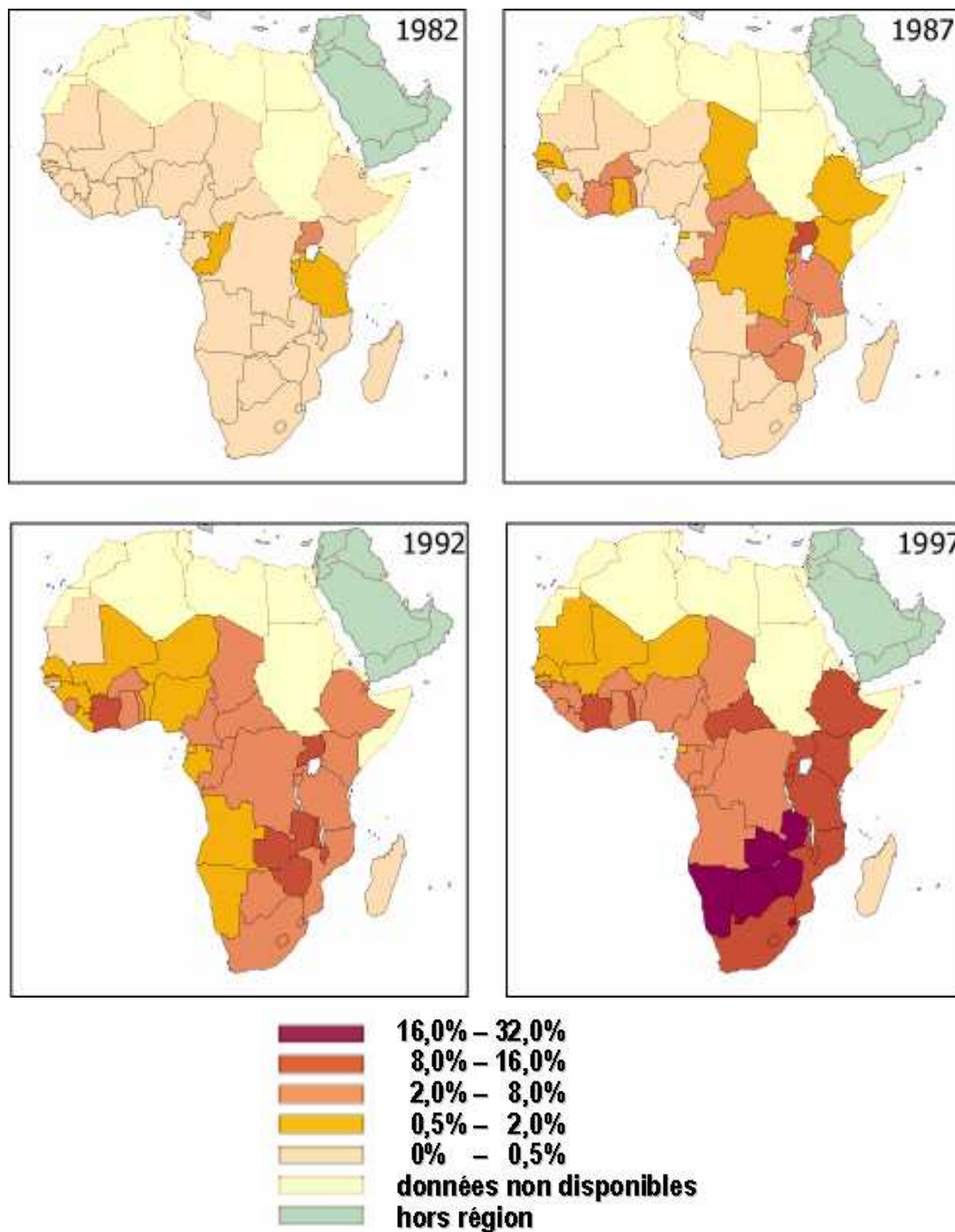


Figure 16: Pourcentage d'adultes (de 15 à 49 ans) infectés par le VIH – Estimations

Source : ONUSIDA, <http://www.unaids.org/>

D'autres maladies peuvent aussi se développer. Une augmentation de la température de la surface océanique et la croissance des algues qui lui est liée peut provoquer des épidémies de choléra dans de vastes régions côtières, comme par exemple au Bangladesh.

D'autre part, la recrudescence de la méningite cérébro-spinale en Afrique de l'Ouest serait en relation avec la sécheresse du début des années septante. La propagation de méningite serait ensuite favorisée par une conséquence de la désertification : les poussières dans l'atmosphère dérivant de l'érosion éolienne. En effet, les épidémies sont de courtes durées, ne se présentent qu'en saison sèche avec un maximum en février-mars et s'effacent dès le retour de la saison des pluies. Certains facteurs climatiques propres à cette saison propice au déclenchement de ces épidémies sont connus. L'humidité atmosphérique diminue au-dessous de 10%. La muqueuse rhino-pharyngée se dessèche, est irritée par les vents de sable et de poussière, et perd ses capacités de défense contre l'infection. Ainsi va être multipliée à grande échelle la contamination et des cas cliniques de méningites éclatent.

4. Risques et catastrophes d'origine naturelle

Les risques d'origine naturelle occupent le troisième rang, en terme de victimes, loin derrière les risques sociopolitiques et ceux du vivant. Mais ces catastrophes sont très ressenties. Cette forte perception explique en partie le fait que chaque catastrophe soit relatée avec un luxe de détails par les médias (« le choc des images »). Le public est en quête de sensationnel. Les catastrophes naturelles sont également subites, ce qui joue fortement en faveur des couvertures médiatiques courtes, avant que le public ne se lasse de l'événement. De plus, dans les pays occidentaux, le public s'identifie d'une certaine manière aux victimes des catastrophes naturelles car '*cela pourrait être moi*'. Ce comportement n'est pas le même face à des épidémies ou à des guerres qui nous semblent trop lointaines, même quand elles touchent l'Europe...

Les risques naturels sont très nombreux et très variés. Leur occurrence est très difficile à appréhender et, très souvent, leur danger est accru par des effets imprévus. On peut distinguer les risques rapides des risques lents, les risques localisés des risques étendus, les risques spécifiques des risques répandus, la répétitivité des risques, etc.

La figure 17 présente la distribution géographique du nombre de personnes affectées par les catastrophes naturelles par grande région et par type de phénomène (volcan, séisme, sécheresse, avalanche et glissement de terrain, inondation, tempête, et divers). Il apparaît que les catastrophes touchant le plus grand nombre d'individus de par le monde sont directement liées à la rareté ou à l'excès d'eau. L'Afrique étant le continent des sécheresses chroniques et l'Asie, celui des inondations incontrôlables.

Si l'on se réfère aux données des cinquante dernières années de la *Munich Re*, il apparaît que les séismes, inondations et tempêtes représentent 94% grandes catastrophes naturelles (Fig. 18).

Toutefois, le risque naturel majeur est la chute de corps célestes. La centaine de cratères dus à l'impact de corps célestes qui existent à la surface de la Terre permettent d'affirmer qu'un tel danger existe réellement. Si une comète devait entrer en collision avec la Terre, elle provoquerait probablement la disparition de nombreuses formes de vie sur la Terre, d'une manière semblable à ce qui s'est peut-être produit à la fin du Crétacé. La possibilité de voir se produire une telle catastrophe serait estimée à 1 par 10 000 ans.

Une certaine zonalité existe dans la structure spatiale des risques et catastrophes naturels. Les cyclones affectent principalement les régions tropicales alors que les tremblements de terre sont majoritairement localisés aux aires de contact entre les plaques. Les différentes catastrophes naturelles seront vues dans le détail au chapitre suivant.

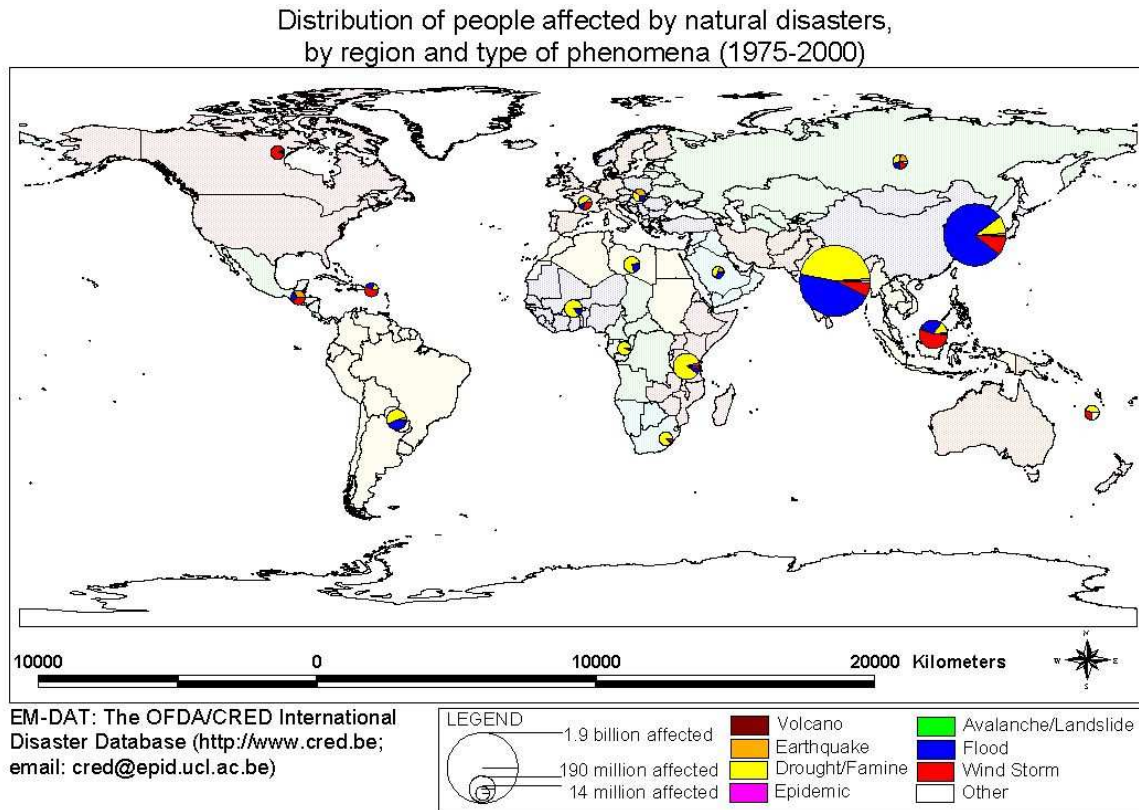


Figure 17 : Distribution géographique du nombre de personnes affectées par les catastrophes naturelles par grande région et par type de phénomène

Source : CRED, 2001. <http://www.cred.be/emdat/mapcentr.htm>

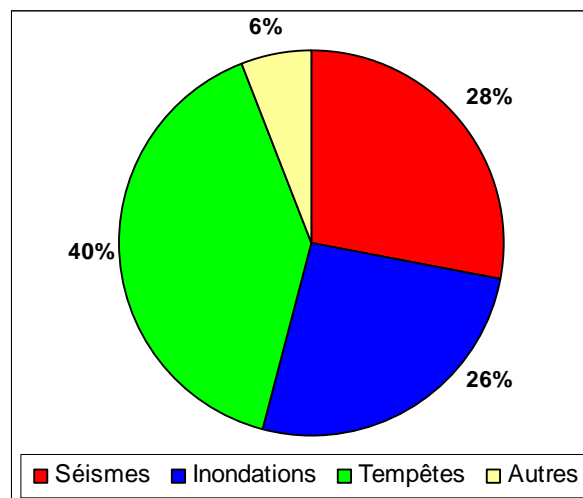


Figure 18 : Type de grandes catastrophes naturelles (Munich Re, 2001).

IV. LES DIFFERENTS RISQUES ET CATASTROPHES NATURELS

Ce chapitre a pour but d'introduire les différents types de risques naturels et les catastrophes qui en découlent. Un bref descriptif est souvent accompagné de certaines échelles de mesure universelles et des mesures souvent dictées par les pouvoirs publics pour limiter tant les pertes humaines que matérielles. Les risques décrits sont :

- Phénomènes atmosphériques soudains et violents ;
- Phénomènes climatiques lents et insidieux : sécheresse et désertification ;
- Incendies de forêt ;
- Inondations ;
- Risques sismiques ;
- Volcanisme ;
- Mouvements de terrain ;
- Tsunami ;
- Avalanches.

1. Phénomènes atmosphériques : tempêtes extratropicales, cyclones tropicaux et tornades

La plupart des catastrophes climatiques sont le résultat d'un phénomène atmosphérique soudain et violent qui provoque des pertes économiques et/ou humaines importantes. Les catastrophes de ce type les plus médiatisées sont les tempêtes extra tropicales, les cyclones tropicaux et les tornades. Elles sont, il est vrai, les plus meurtrières et les plus dramatiques sur le plan économique.

Cependant, plusieurs autres risques existent. Ainsi, la rupture de câbles à haute tension à cause du gel peut isoler des villages, quartiers ou zones industrielles causant des pertes économiques parfois relativement importantes.

Une fonte des neiges trop brutale peut entraîner des inondations catastrophiques sans chute de pluie ; ce type d'événement peut causer des pertes importantes en vies humaines puisqu'il survient par surprise.

Un hiver sans neige peut provoquer des pertes économiques importantes dans des régions qui vivent essentiellement des sports d'hiver. De même, un été relativement froid et pluvieux peut sensiblement ralentir le flux de touristes vers les régions ad hoc. Par contre, un été trop chaud peut avoir des conséquences imprévues sur le comportement des populations humaines et engendrer un nombre invraisemblable de victimes. Ainsi, la vague de chaleur qui a frappé la Russie occidentale en juillet 2001 avec des températures supérieures à 30 degrés a entraîné la mort par noyade de 276 personnes à Moscou. En Ukraine, ces fortes températures ont incité des millions de personnes à se rafraîchir dans les cours d'eau du pays ; bilan : près de 800 personnes dont 139 enfants se sont noyés.

Des périodes –même brèves– de sécheresse ou d'excès pluviométrique, des gelées tardives, des grêles, des verses de céréales provoquées par le vent ou des précipitations excessives peuvent également provoquer des pertes économiques considérables.

D'autres exemples de ce type sont encore très nombreux.

Seules les catastrophes climatiques accompagnées de vents violents, les tempêtes, sont abordées ci-après. Sous le terme 'tempêtes' se regroupent trois types de phénomènes climatiques différents : les tempêtes extra tropicales, les cyclones tropicaux et les tornades.

Leurs effets sur les hommes, les biens et l'environnement sont brièvement décrits ci-après :

- Effets sur les hommes : les tempêtes peuvent faire de nombreuses victimes ; personnes blessées, sans abri, déplacées...
- Effets sur les biens : destructions, détériorations et dommages aux habitations, aux ouvrages (ponts, routes...), au bétail, aux cultures ; paralysie des services publics avec endommagement ou destruction des réseaux (eau, électricité, téléphone).
- Effets sur l'environnement : endommagement, destruction de la faune et de la flore (incendies de forêts attisés), pollutions diverses (rupture de transporteurs : bateaux...), dépôts de déchets, boues, débris... voire accidents technologiques.

Les tempêtes extra tropicales

Les tempêtes extra tropicales, ou tempêtes d'hiver, touchent de très grandes surfaces (1000 à 2000 km de diamètre). Les tempêtes correspondent à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, où se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes (température, humidité...). Cette confrontation engendre un gradient de pression très élevé, à l'origine de vents violents et le plus souvent de précipitations intenses (pluies...). Elles ont surtout lieu en automne-hiver, car les océans sont encore chauds et l'air polaire déjà froid : il y a un important gradient de température entre ces deux masses d'air. Les tempêtes sont localisées le long du front polaire, aux alentours du 45° parallèle. On enregistre de l'ordre de 180 zones de basses pressions par an au-dessus de l'Atlantique Nord, dont 2 à 3 en moyenne tournent en tempêtes hivernales importantes. Leur espérance de vie oscille entre 2 et 5 jours et la durée locale de temps de tempête varie de 3 à 24 heures. Les tracés des principales tempêtes d'hiver de ces quarante dernières années en Europe¹⁵ sont représentés à la figure 19.

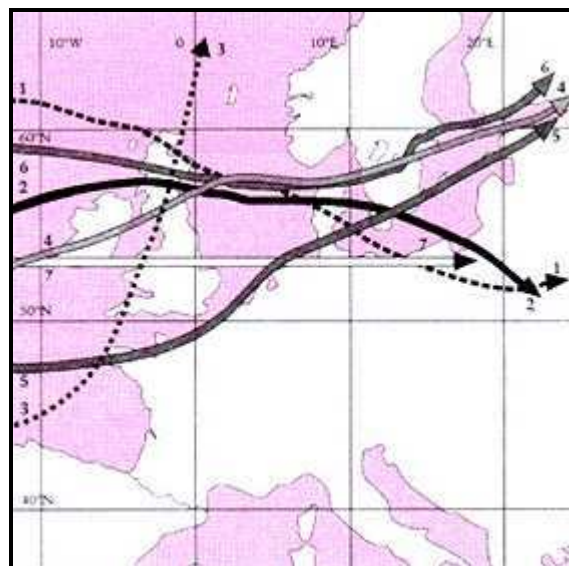


Figure 19 : Principales tempêtes d'hiver en Europe depuis 1950.

¹⁵ Les tracés des récentes tempêtes d'hiver ('Lothar' et 'Martin') qui ont touché l'Europe occidentale, et la France en particulier, les 25 et 27 décembre 1999, se sont pas indiqués.

Les risques naturels associés sont les raz de marée en mer, et inondations, glissements de terrain, coulées de boue sur terre. On désigne les tempêtes extra tropicales en fonction de la vitesse du vent. Celles-ci sont reportées sur l'échelle de Beaufort à partir de 10 Beaufort, lorsque la vitesse moyenne du vent sur 10 minutes atteint ou dépasse 89 km.h⁻¹. On parle d'ouragan lorsque cette même vitesse est supérieure à 117 km.h⁻¹ (Tab. 4).

Tableau 4 : Echelle de Beaufort.

Force	Appellation	Vitesse du vent (km.h ⁻¹)	État de la mer	Effets à terre
0	Calme	1	Mer d'huile, miroir.	La fumée monte droit.
1	Très légère brise	1 à 5	Mer ridée.	La fumée indique la direction du vent. Les girouettes ne s'orientent pas.
2	Légère brise	6 à 11	Vaguelettes. Hauteur des vagues : 0.2 mètre.	On sent le vent au visage, les feuilles bougent.
3	Petite brise	12 à 19	Petits "moutons". Hauteur des vagues : 0.6 mètre.	Les drapeaux flottent, Les feuilles sont sans cesse en mouvement.
4	Jolie brise	20 à 28	Nombreux "moutons". Hauteur des vagues : 1 mètre.	Le sable s'envole, les petites branches plient.
5	Bonne brise	29 à 38	Vagues, embruns. Hauteur des vagues : 2 mètres.	Les petits arbres balancent, le sommet de tous les arbres sont agités.
6	Vent frais	39 à 49	Lames, crêtes d'écume étendues. Hauteur des vagues : 3 mètres.	Les fils électriques sifflent.
7	Grand frais	50 à 61	Lames déferlantes. Hauteur des vagues : 4 mètres.	On peine à marcher contre le vent, tous les arbres s'agitent.
8	Coup de vent	62 à 74	Les avertissements de coup de vent sont lancés pour la navigation maritime. Les crêtes de vagues partent en tourbillons d'écume. Hauteur des vagues respectivement de 5.5 et > 7 mètres.	On ne marche plus contre le vent, quelques branches cassent, le vent peut endommager les bâtiments.
9	Fort coup de vent	75 à 88		
10	Tempête	89 à 102	Les avertissements de tempête sont lancés pour la navigation maritime. Les embruns obscurcissent la vue, on ne voit plus rien. Hauteur des vagues respectivement de 9, 11.5 et > 14 mètres.	Le vent déracine les arbres et endommage sérieusement les bâtiments. Les dégâts sont considérables en fonction de la vitesse du vent.
11	Violente tempête	103 à 117		
12	Ouragan	118 et plus		

Avant, pendant et après ce type de catastrophe, certaines consignes de sécurité sont données pour limiter les dégâts matériels et les pertes humaines¹⁶ :

Avant, il est recommandé de connaître les consignes de sauvegarde et les messages météo ; rentrer à l'intérieur les objets susceptibles d'être emportés ; gagner un abri en dur ; fermer portes et volets ; rentrer les bêtes et le matériel ; s'éloigner des bords de mer et des lacs ; annuler les sorties en mer ou en rivière ; arrêter les chantiers, rassembler le personnel ; mettre les grues en girouette ; etc.

¹⁶ D'après le Ministère français de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

Pendant, il est conseillé de s'informer du niveau d'alerte, des messages météo et des consignes des autorités ; se déplacer le moins possible : en voiture, rouler lentement ; débrancher les appareils électriques et les antennes de télévision ; etc.

Après, il est préconisé de réparer ce qui peut l'être sommairement (toiture notamment) ; couper branches et arbres qui menacent de s'abattre ; faire attention aux fils électriques et téléphoniques tombés ; etc.

Les cyclones tropicaux

Les cyclones tropicaux sont de moindre dimension que les tempêtes d'hiver (500 à 1000 km de diamètre) mais le vent souffle fort, très fort, en s'enroulant autour de l'œil, avec des rafales pouvant aller jusqu'à 350 km.h⁻¹. Après le passage de l'œil, les rafales recommencent brusquement en venant de la direction opposée.

Les cyclones tropicaux ne se développent que dans les zones tropicales et subtropicales, en été, lorsque la température de la mer est supérieure à 26°C. Les régions côtières sont les plus affectées car l'intensité des cyclones décroît rapidement au-dessus des terres. Ceci explique de les îles soient les plus vulnérables à cet aléa. Leur espérance de vie peut être supérieure à dix jours et la durée locale du passage du cyclone varie de 2 à 6 heures. La répartition et les tracés des principaux cyclones tropicaux de ces vingt dernières années dans le monde sont représentés à la figure 20.

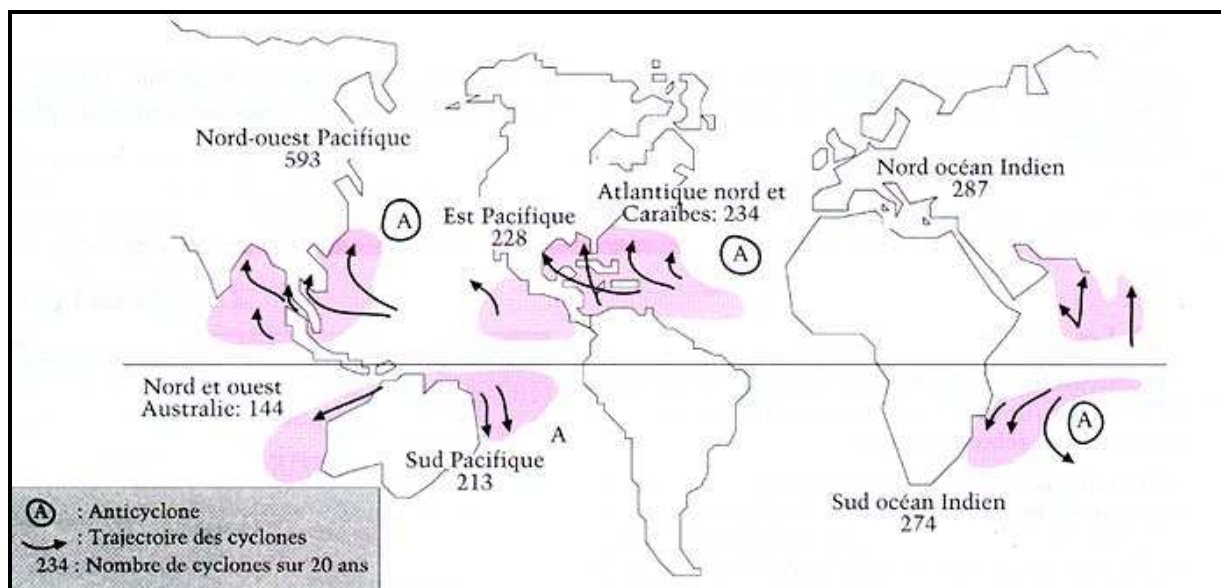


Figure 20 : Répartition des cyclones tropicaux au cours de ces vingt dernières années.

Les risques naturels associés sont nombreux.

Les pluies, souvent diluviennes, occasionnent de grands dommages par les crues et inondations. De plus, une partie est constituée par de l'eau de mer emportée dans le mouvement, donc corrosive. Elle peut être également à l'origine de coulées de boue et de glissements de terrain.

La marée de tempête, provoquée par l'élévation brutale temporaire du niveau de la mer lors du passage d'un cyclone, peut atteindre dans certains cas 10 à 12 mètres et être très meurtrière. C'est dire l'importance encore de la prévision météorologique, pour permettre aux décideurs de planifier l'évacuation des populations des régions côtières menacées.

Comme les tempêtes extra tropicales, les cyclones tropicaux sont classés en fonction de la vitesse du vent. Les vents accompagnant les cyclones tropicaux étant beaucoup plus violents que ceux caractérisant les tempêtes d’hiver, l’échelle de Saffir-Simpson (Tab. 5) est alors utilisée. Elle classe les cyclones suivant cinq catégories basées sur leur capacité à engendrer des dommages et des inondations sur les habitations côtières. Celle-ci commence à des vitesses moyennes du vent sur 10 minutes dans l’intervalle 118-153 km.h⁻¹. On parle alors d’un cyclone tropical faible (SS1), alors qu’un cyclone tropical est qualifié de destructeur (SS5) lorsque le vent est supérieur à 250 km.h⁻¹.

Tableau 5 : Echelle de Saffir-Simpson.

Catégorie	Désignation	Vitesse km h ⁻¹	Coût moyen (US\$)	Type de dégâts
SS1	Faible	118-154	24 10 ⁶	Pas de réels dommages sur les habitations. Quelques dégâts probables sur les caravanes et les arbres. Quelques routes côtières inondées et dégâts mineurs sur les jetées.
SS2	Modéré	155-177	220 10 ⁶	Les toits, les portes et les fenêtres des habitations subissent quelques dommages. Dégâts conséquents sur la végétation, les caravanes, les jetées. Les routes proches de côtes sont évacuées 2 à 4 heures avant l’arrivée du centre du cyclone. Les petits bateaux mal amarrés sont emportés.
SS3	Fort	178-209	1.1 10 ⁹	La structure même des constructions est endommagée et les caravanes sont détruites. Les petites habitations côtières sont détériorées par les inondations et les constructions un peu plus solides sont endommagées par les débris emportés par les eaux. Les sols dont l’altitude se situe à 1,5 mètre au-dessus du niveau de la mer sont inondés sur 13 km à l’intérieur des terres. Evacuation conseillée des habitations dans le premier km des côtes.
SS4	Violent	210-248	2.3 10 ⁹	Les murs extérieurs sont fissurés et le toit des petites habitations est effondré. Erosion des plages et dégâts aux pieds des habitations près du littoral sont à craindre. Les sols à une altitude de 3 mètres au-dessus du niveau de la mer sont probablement inondés et les habitations situées à moins de 10 km sont évacuées.
SS5	Destructeur	>249	5.9 10 ⁹	Les toits de nombreuses habitations et constructions industrielles sont complètement effondrés et la destruction totale de petits locaux est probable. Des dégâts sont envisageables sur des localités dont l’altitude par rapport au niveau de la mer est inférieure à 4,5 mètres. L’évacuation des résidences situées à moins de 16 km des côtes est conseillée.

Les consignes de sécurité données pour limiter les dégâts matériels et les pertes humaines avant, pendant et après les cyclones tropicaux sont ^{17, 18}:

Avant, il est recommandé de renforcer les structures (comme les toitures) ; occulter les ouvertures avec des panneaux de bois cloués ; poser des bandes de papier collant sur les baies vitrées ; démonter les grandes baies vitrées ; stocker les outils nécessaires ; enlever ce qui peut

¹⁷ D’après le Ministère français de l’aménagement du territoire et de l’environnement.

¹⁸ De plus amples informations sur le site : http://www.icarisk.gp/html/body_protection_des_populations.html

devenir un projectile ; constituer des réserves de serpillières et de seaux ; placer ses réserves dans des sacs étanches (aliments, vêtements, médicaments) ; rentrer les animaux ; amarrer les canots le plus loin possible ; et gagner les abris municipaux.

Pendant, il est conseillé de repérer les endroits les plus résistants du local et s'y tenir (pièce centrale, wc, placard, cage d'escalier...) ; s'éloigner des baies vitrées ; surveiller la résistance de l'abri ; ouvrir sous le vent au cas où une ouverture céderait ; surveiller le risque d'inondation ; se méfier du calme de l'œil du cyclone (il y aura inversion et renforcement des vents après l'œil) ; la nuit, redoubler de vigilance ; attendre impérativement la fin d'alerte pour sortir.

Après, il est préconisé de faire attention à la marée de tempête qui peut intervenir après le cyclone ; évaluer les dangers : s'éloigner des points bas, ne pas toucher aux fils électriques ou téléphoniques à terre, faire attention aux objets prêts à tomber (tôles, planches, arbres...), vérifier l'état des aliments... ; réparer et conforter la maison ; prêter secours pour dégager les voies de communication ; éviter les déplacements ; conduire avec prudence ; ramasser et évacuer les animaux morts.

Les tornades

Associées à des cellules orageuses violentes, les tornades se déplacent à grande vitesse (près de 100 km.h⁻¹) sur de longues distances. Les tornades sont des tourbillons d'air violents qui deviennent souvent visibles sous la forme d'un entonnoir s'étirant de la base d'un nuage jusqu'au sol. Cette perturbation atmosphérique tourbillonnante, de petite dimension mais aux effets destructeurs, crée des vents qui peuvent atteindre des vitesses allant jusqu'à 500 km.h⁻¹. Elles prennent naissance à des latitudes comprises entre les 20° et 60° parallèles. Et sont le plus souvent observées dans le centre des Etats-Unis (environ 100 tornades par année). Comme pour les tempêtes extra tropicales et les cyclones tropicaux, les tornades ont leur propre échelle de classification élaborée sur base des dommages causés, l'échelle de Fujita (Tab. 6). Celle-ci commence à des vitesses estimées moyennes du vent sur 10 minutes de l'ordre de 62 km.h⁻¹ (F0 - faible), à plus de 420 km.h⁻¹ (F5 - catastrophique).

Tableau 6 : Echelle de Fujita.

Force	Désignation	Vitesse km h ⁻¹	Type de dégâts
F0	Faible	62-117	Dommages mineurs aux cheminées, antennes TV tordues, petites branches d'arbres cassées, etc.
F1	Modérée	118-180	Maisons mobiles abîmées ou renversées, voitures en mouvement poussées hors des routes, petits arbres isolés arrachés, etc.
F2	Forte	181-253	Destruction des maisons mobiles, déracinement des grands arbres isolés, projectiles de petite dimension.
F3	Destructrice	254-332	Trains renversés, murs des maisons démolis, arbres cassés dans les forêts; projectiles de grande dimension.
F4	Dévastatrice	333-418	Maisons soulevées (voir « le Magicien d'Oz... »), autos projetées, quelques arbres emportés par le vent gros projectiles.
F5	Catastrophique	>418	Désintégration des maisons, arbres emportés par le vent, gros projectiles à grande vitesse (voitures projetées à plus de 100 mètres).

Quand une tornade menace, il est conseillé de¹⁹ :

- Se mettre immédiatement à l’abri ;
- S’écloigner des fenêtrés, des portes et des murs extérieurs ;
- A l’extérieur, s’il n’y a pas d’abri, de s’allonger dans un fossé, un ravin ou tout autre terrain bas et de se couvrir la tête avec les bras ;
- Ne pas rester enfermé dans une voiture ou une maison mobile, la tornade risque de les soulever. Il est préférable de se mettre à l’abri et, s’il n’y en a pas, un fossé offre une meilleure protection. Plus de la moitié des décès imputables aux tornades surviennent dans des maison mobiles ;
- Faire attention aux débris projetés à grande vitesse. Même de petits objets comme un bâton ou une baguette peuvent devenir de dangereux missiles ;
- En cas de pluie violente, se méfier des inondations soudaines ;
- Dans l’eau ou en bateau, se diriger toujours vers le rivage au premier signe d’orage ;
- Ne pas oublier que les constructions endommagées et fragilisées, les débris tombés au sol, les fils électriques arrachés et les fuites de gaz sont des dangers potentiels après une tornade.

Dans le cas des tornades, les meilleurs abris sont :

- Dans une maison, descendez au sous-sol et abritez-vous sous un escalier ou sous une table solide ;
- Dans une maison sans sous-sol, l’endroit le plus sûr est le rez-de-chaussée, au centre de la maison, dans un corridor, une petite pièce, un placard ou une salle de bains. Les petites pièces ont généralement une structure plus solide. Vous allonger dans la baignoire en vous recouvrant d’un matelas peut vous donner une bonne protection ;
- Si vous êtes dans un véhicule ou une maison mobile, sortez-en et trouvez un autre abri. En dernier recours, couchez-vous dans un fossé ;
- Évitez les bâtiments à grande portée, comme les granges, les centres commerciaux et les supermarchés très vastes. Rendez-vous dans un abri proche et robuste, de préférence, ou à un étage inférieur, dans une pièce, une salle de bains ou un corridor de l’intérieur de l’immeuble, ou placez-vous sous un meuble robuste. Éviter les endroits proches de hauts murs ou de grosses cheminées, car ils pourraient s’effondrer ;
- Dans les immeubles en hauteur, rendez-vous aux étages inférieurs, dans des cages d’escalier ou de petites pièces de l’intérieur. Éloignez-vous des ascenseurs et des fenêtrés.

2. Phénomènes climatiques lents et insidieux : sécheresse et désertification

Si la plupart des catastrophes climatiques sont le résultat d’un phénomène atmosphérique soudain et violent, les longues périodes de sécheresse et les processus de désertification sont des phénomènes lents, insidieux et quasi invisibles à court terme. Ces phénomènes climatiques provoquent des pertes économiques et/ou humaines non négligeables. Cependant, contrairement aux autres catastrophes, les pertes sont souvent très difficiles à évaluer car il n’est pas aisé de délimiter précisément les zones touchées tant par la sécheresse que la désertification.

¹⁹ D’après Environnement Canada.

Les sécheresses

La sécheresse est assez insidieuse. Elle frappe progressivement une région et maintient son emprise au fil du temps. Dans les cas graves, elle peut durer de nombreuses années, envahir une grande partie d'un continent, anéantir l'agriculture et engendrer la famine. Elles peuvent engendrer des pertes considérables. Ainsi, en 1998, au Texas, une sécheresse dont vous n'avez probablement jamais entendu parlé, a causé plus de 3.7 milliards de US\$ de pertes économiques.

Un des exemples les plus représentatifs de la sécheresse est la diminution de la superficie des lacs et la chute du débit des fleuves. Ainsi, en 1968, la superficie du lac Tchad était approximativement de 23500 km², mais après une trentaine d'années de sécheresse, cette zone est réduite actuellement [septembre 1995] à 1355 km².

Contrairement à une idée répandue, la sécheresse n'est pas simplement synonyme de faibles précipitations. La pluie n'est pas équitablement répartie sur la planète, et certaines régions seront toujours moins arrosées que d'autres. Les déserts, par définition, enregistrent une faible pluviométrie. Les régions tropicales ont une saison sèche et une saison des pluies, et ne reçoivent presque pas de pluie pendant la saison sèche. La sécheresse est donc un terme relatif, fondé sur la pluviométrie moyenne pour une zone donnée à un moment de l'année. Les périodes de sécheresse peuvent être accentuées du fait de l'activité humaine, mais ce sont des phénomènes naturels auxquels il faut toujours s'attendre.

Les définitions précises de la sécheresse varient énormément d'un pays à l'autre. Aux États-Unis, le terme est utilisé quand une zone étendue reçoit 30 % ou moins de précipitation qu'en temps normal sur un minimum de 21 jours. En Australie, on parle de sécheresse quand une région reçoit moins de 10% de précipitations par rapport à la moyenne annuelle, alors qu'en Inde la sécheresse est déclarée quand les précipitations annuelles sont inférieures de 75 % aux normales saisonnières. On dit qu'il y a sécheresse en France quand moins de 0,2 mm de pluie est tombé sur une période d'au moins quinze jours.

La définition de la sécheresse varie également selon le secteur de l'économie concerné. En agriculture, la sécheresse est définie comme un déficit marqué et soutenu des précipitations qui réduit significativement les productions agricoles par rapport à la normale ou les valeurs attendues pour une région de grande étendue. En météorologie, la sécheresse se caractérise par une absence prolongée, un déficit marqué ou une faible distribution des précipitations par rapport à la normale. La sécheresse en hydrologie survient quand il y a occurrence soutenue, à l'échelle régionale, de précipitations en dessous de la moyenne se traduisant par un niveau d'approvisionnement anormalement bas des cours d'eau et/ou des réservoirs de surface ou souterrains. La sécheresse socio-économique apparaît quand les précipitations insuffisantes ont un impact significatif sur les communautés et leur économie.

Les risques naturels associés sont les inondations, les incendies de forêt et les feux de brousse, et la désertification. Les autres risques de types sociaux, économiques et politiques sont les famines, la réduction des activités agricoles et pastorales ainsi que la baisse des rendements, les mouvements massifs des populations affectées et les conflits qui en découlent.

Une période de sécheresse prolongée peut avoir des effets catastrophiques. La pénurie d'eau va décimer les cultures et le bétail, mettant ainsi en péril la survie économique des agriculteurs. Ainsi, en Afrique sahélienne, la population bovine a perdu plus d'un tiers de son effectif en passant de 14.1 à 9.3 millions de têtes de bétail durant la période de sécheresse 1972-1974. Au Niger, 80% du bétail fut décimé durant cette période. De même, lors de la période 1983-1985, alors que la population bovine totale avait quasi égalé le niveau de 1971,

une autre crise aiguë de sécheresse a engendré la perte de 4.5 millions de têtes de bétail (soit 32% du cheptel bovin) durant ces trois années.

La végétation recouvrant les sols se contracte et la végétation subsistante sèche et devient hautement inflammable, ce qui crée les conditions parfaites pour déclencher des tempêtes de sable et des incendies. Le premier cas de figure s'est présenté dans différentes régions du globe. Un des plus connus reste la sécheresse des années 1930 dans le Middle West aux Etats-Unis. Durant près de dix ans une pluviosité bien au-dessous des normales saisonnières affecta cette région et provoqua un développement jusqu'alors inconcevable des tempêtes de sable puisque leur fréquence fut multipliée par vingt. L'exemple récent illustrant les incendies de forêt est plus que certainement la véritable catastrophe qui a touché l'Indonésie. Plusieurs mois durant, un incendie gigantesque a ravagé en Septembre 1997 près de 800 000 hectares.

Dans les pays en développement, la sécheresse est parfois encore plus grave et entraîne la famine. Le caractère cyclique de la sécheresse se conjugue souvent avec ses effets, surtout dans les régions arides et semi-arides. Une période prolongée de pluie supérieure à la moyenne risque de donner aux habitants d'une région une idée trop optimiste de la fertilité du sol. Les nomades et les agriculteurs vont étendre leurs pâturages et s'établir sur des terres auparavant inhabitables. Quand la sécheresse resurgit inéluctablement, ces personnes n'y sont pas préparés. C'est ce qui s'est passé dans les années 1950 et 1960 au Sahel. En général, la pluviosité y est extrêmement faible, mais, dans les années 1950 et 1960, il y eut une suite de saisons exceptionnelles qui ont favorisé le peuplement du désert. Puis, à la fin des années soixante, a commencé une période de sécheresse qui se poursuit encore de manière quasi ininterrompue et a entraîné la mort de centaines de milliers de personnes, victimes de la famine.

Une période de sécheresse peut se poursuivre pendant plusieurs mois avec un retour progressif précipitations normales. Elle peut aussi être interrompue par de fortes pluies qui provoquent inondations. L'équilibre entre la sécheresse et les inondations qui se produisent dans de nombreuses régions du globe fait dire aux météorologues que la moyenne des précipitations est égale à une sécheresse plus une inondation divisées par deux.

Actuellement, la planète entière est sous l'œil des satellites et des systèmes d'alerte précoce existent et sont performants dans presque toutes les grandes régions du monde. Il est donc possible de prévoir où se localiseront les poches de famine dans les mois à venir.

La désertification

Le terme *désertification* fut utilisé pour la première fois par AUBREVILLE en 1949 pour décrire le processus de changement de végétation menant à des sols dégradés et/ou dénudés en Afrique tropicale et repris par TRICART en 1954 pour désigner la remise en mouvement des dunes dues à la dégradation anthropique (surpâturage et 'l'extension inconsidérée d'une culture spéculative').

Le terme *désertification* n'a été introduit dans le langage français qu'à partir de 1960. Il n'est d'ailleurs, pour le grand public, que la "*transformation d'une région en désert sous l'action de facteurs climatiques ou humains*" (Petit Robert). Mais ce n'est pas aussi simple que cela. La définition de ce large concept a déjà fait couler beaucoup d'encre et chaque discipline, chaque école, a sa propre définition de la désertification. La preuve en est que l'on estime à 130 le nombre de définitions de la désertification.

Beaucoup de choses ont été dites et écrites à propos de la désertification. En 1975, LAMPREY estima que le sud du Sahara avançait à une vitesse de 5.5 kilomètres par an. Le mythe de l'avancée du désert était ainsi relancé. Cette idée sera suivie avec intérêt dans les

années quatre-vingts, essentiellement par les décideurs et bailleurs de fonds. La désertification deviendra une arme politique nationale et internationale. A titre d'exemple, on se rappellera que "le 16 mars 1986, le Vice-Président BUSH a alloué une aide d'urgence au Soudan car la désertification avançait à raison de 9 kilomètres par an". Dernièrement, le président du Niger, Ibrahim Baré Maïnassara, déclarait encore: "le désert poursuit son avancée à raison de 200.000 hectares en moyenne par an". Cette théorie a été finalement scientifiquement rejetée après plusieurs mises au point bien nécessaires.

Il n'y a qu'une dizaine d'années que l'on se préoccupe des problèmes de désertification en Europe. En 1986, GROVE soutient pour la première fois que la désertification menace le sud de l'Europe. Depuis 1996, la désertification est devenue un "chapitre prioritaire de la recherche environnementale européenne".

Rappelons néanmoins à ce sujet que, conscientes que la désertification devenait un problème majeur peu étudié et, interpellées par la première grande sécheresse sahélienne des années septante, les Nations Unies ont organisé la première Conférence sur la désertification et y ont adopté en 1977 un Plan d'action de lutte contre la désertification. Cependant, en dépit de cette initiative et de tant d'autres efforts, le PNUE²⁰ devait conclure en 1991 que la dégradation des sols et la désertification s'étaient aggravées dans le monde. Ainsi, la problématique de la lutte contre la désertification était-elle à l'ordre du jour lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement mieux connue sous le nom de Conférence de Rio 1992. De cette Conférence, il est ressorti (i) qu'il fallait adopter une nouvelle approche intégrée de la problématique visant à promouvoir le développement durable et (ii) la nécessité de mettre sur pied une Convention sur la lutte contre la désertification dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique (PNUE/CCD 1995).

Contemporainement à cette nouvelle vision et à ce nouvel intérêt pour la désertification, en 1993, la *Geographical Association* anglaise présente un numéro thématique intitulé "Environmental hazards: the challenge of change" dans lequel on retrouve la désertification parmi les huit risques naturels majeurs du XXI^e siècle. Dans le même ordre d'idées, notons que la désertification fait maintenant partie des risques naturels étudiés en Europe au même titre que les tremblements de terre ou que les inondations par exemple. La tendance actuelle est, dès lors, de considérer la désertification comme un risque naturel en tant que tel alors que, jusqu'au début des années nonante, il n'en était rien car les différents processus liés à la désertification étaient trop lents probablement par rapport aux autres bien connus pour leur échelle de temps très courte.

Lors de la Conférence de Rio en 1992, la *Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CCD) dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique*²¹ a été rédigée et ratifiée par un groupe d'experts provenant de la majeure partie des nations mondiales (touchées ou non par la désertification) et de toutes les sensibilités (scientifiques, institutionnelles, organisationnelles, etc.). Il en est ressorti une définition du concept de désertification relativement vaste que nous retiendrons ici pour la recherche d'un indicateur qui soit cohérent avec l'optique des Nations Unies (PNUE/ CCD 1995, p. 7):

Désertification: dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

Définition dans laquelle les termes suivants sont spécifiés:

²⁰ PNUE: Programme des Nations Unies pour l'Environnement.

²¹ L'intégralité de la *Convention* est disponible sur internet à l'adresse: <http://www.unccd.ch/>

Dégradation des terres: diminution ou disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts, ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que:

- *L'érosion des sols causée par le vent et/ou l'eau;*
- *La détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économique des sols;*
- *La disparition à long terme de la végétation naturelle.*

Zones arides, semi-arides et subhumides sèches: zones, à l'exclusion des zones arctiques et subarctiques, dans lesquelles le rapport entre les précipitations annuelles et l'évapotranspiration possible se situe dans une fourchette allant de 0.05 à 0.65.

3. Incendies de forêts

Les feux de forêts sont des sinistres qui se déclarent et se propagent dans des formations, d'une surface minimale d'un hectare pouvant être des forêts ou des formations subforestières.

Véritable bête noire des risques naturels en Europe méditerranéenne, ces feux de forêts sont courants en période estivale. Ils touchent également différentes parties du globe, comme de vastes étendues aux Etats-Unis, au Canada, au Brésil, en Chine, en ex-URSS, et les zones tropicales. Ils peuvent entraîner des pertes humaines et financières importantes, mais c'est essentiellement les atteintes à la faune et à la flore qui sont redoutées.

En Europe, les données recueillies par la FAO permettent d'établir la surface forestière brûlée annuellement, entre 1980 et 1988, à 585 000 ha. L'Amérique du Nord totalise environ 3.5 millions d'ha forestiers brûlés par an pendant la même période, dans laquelle le pourcentage du total des incendies connus attribués à des causes humaines était d'environ 97 % en Europe, 91 % aux États-Unis et 66 % au Canada. Les données équivalentes sont très mal appréhendées au niveau mondial. La surface des forêts et autres terres boisées touchées par le feu chaque année serait de l'ordre de 10 millions d'ha, ce qui représente environ 0.3 % de la surface totale des terres boisées dans le monde. Mais l'impact de ces incendies est plus important que ne le fait penser ce faible rapport de surface. En effet, dans les zones où la fréquence des incendies est forte, le caractère destructeur de ceux-ci est aggravé car les peuplements forestiers n'ont pas le temps de se restructurer entre deux passages du feu.

Si les éléments naturels qui favorisent les incendies de forêts sont la sécheresse et les vents forts, les conséquences indirectes sur les autres risques naturels sont assez importants. Ainsi, les risques d'érosion hydrique sont extrêmement importants sur les terrains pentus dont la couverture arbustive ou végétale est partie en fumée. Les sols et la végétation n'absorbent plus l'eau en cas de précipitations violentes, ce qui provoque des inondations ou les rend encore plus désastreuses. Les glissements de terrains sont également un des résultats ultérieurs des incendies de forêts.

En Afrique, ce sont les feux de brousses qui préoccupent le plus les décideurs et les écologistes. Si la plupart des feux de brousse sont le fait de paysans voulant défricher la terre pour l'agriculture, certains braconniers, qui mettent le feu pour faire sortir les animaux afin de pouvoir les tuer plus facilement, sont également responsables de ces catastrophes qui, parfois deviennent incontrôlables. Ces feux de brousse peuvent être une des nombreuses causes

menant progressivement aux processus de désertification et, sans aucun doute, contribuent à une réduction substantielle de la biodiversité des zones touchées. De plus, lorsque ces feux sont localisés dans les parcs nationaux, les pertes économiques dérivant du tourisme peuvent être extrêmement importantes.

En Europe méditerranéenne, les incendies sont liés à diverses transformations socio-économiques :

- exode rural et déclin des activités agropastorales avec abandon des zones boisées, progression des friches, écobuage mal contrôlé ; les écobuages agricoles et forestiers mal contrôlés (brûler sur pied la végétation);
- développement du tourisme avec arrivée massive, l'été, de personnes peu sensibilisés au risque de feux de forêts ;
- développement de l'urbanisation diffuse avec "mitage" de la forêt, multipliant les sources potentielles d'incendie ;
- prolifération des dépôts d'ordures (autorisés ou sauvages) dont le volume, en période estivale, nécessite, pour des raisons d'hygiène et d'économie, leur destruction par le feu (7% des causes connues).

4. Inondations

Comme nous l'avons vu préalablement, les inondations représentent plus d'un quart des grandes catastrophes naturelles de par le monde. Ces inondations touchent toutes les régions du globe, depuis les régions désertiques, jusqu'à la Sibérie, en passant par les zones tropicales où le nombre de victimes est le plus élevé. Les pays développés n'échappent pas à ce type de risque comme nous l'avons vu récemment dans le nord de l'Italie ou sur la Somme, en France.

L'inondation est définie comme étant une submersion (rapide ou lente), lors d'une crue, d'une zone souvent déjà reconnue comme critique : la plaine inondable (Fig. 21). Une crue correspondant à l'augmentation du débit ($m^3 \cdot s^{-1}$) d'un cours d'eau, dépassant plusieurs fois le débit moyen : elle se traduit par une augmentation de la hauteur d'eau. La plaine inondable est cette étendue relativement plate, attenante à un lac ou à une rivière, et susceptible d'être envahie par les eaux de crues. Elle fait partie intégrante de l'espace vital du cours d'eau que celui-ci peut occuper périodiquement.

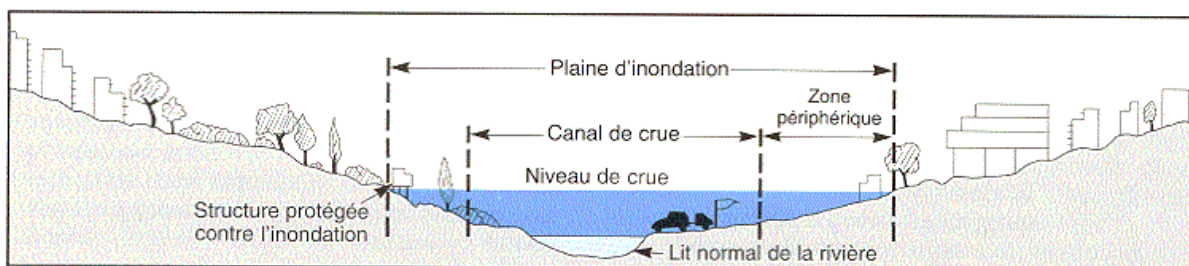


Figure 21 : Schéma d'une zone inondable.

Il existe différents types d'inondations :

- Par débordement direct : Le cours d'eau sort de son lit mineur pour occuper son lit majeur.
- Par débordement indirect : Les eaux remontent (syphonage) par les nappes alluviales, les réseaux d'assainissement, d'eaux pluviales.

- Par stagnation d'eaux pluviales : Liée à une capacité insuffisante d'infiltration, d'évacuation des sols ou du réseau d'eaux pluviales lors de pluies anormales.
- Par ruissellement en secteur urbain : En secteur urbain, des orages intenses (plusieurs dizaines de mm de pluie par heure) peuvent occasionner un très fort ruissellement (peu d'infiltration à cause des aires goudronnées), qui va saturer les capacités du réseau d'évacuation des eaux pluviales et conduire à des inondations aux points bas.
- Par crues torrentielles : Ce phénomène se rencontre dans les zones montagneuses, mais aussi sur des rivières alimentées par des pluies de grande intensité. C'est ce qui s'est passé dans le nord de l'Italie en automne 2000.
- Par submersion de zones littorales (ou lacustres) : Phénomène liée à la présence de facteurs anormaux (fortes marées, marées de tempête, raz-de-marée).
- Par dépressions tropicales et cyclones avec des précipitations pouvant atteindre jusqu'à 2000 mm en 24 heures et conduisant à des crues soudaines et violentes.
- Par destruction d'ouvrages (digues, barrages, levées).

Grâce à l'analyse des crues historiques (dates, secteurs concernés, débits, laisses...), il est possible de procéder à une classification des crues en fonction de leur fréquence. Le retour des crues de forte amplitude est ainsi mis en évidence: la crue centennale est une crue qui, chaque année, a une probabilité sur cent de se produire.

Certains facteurs aggravent l'importance des inondations. Ainsi, sur les bassins versants, le déboisement (parfois provoqué par les feux de forêts), la modification des écoulements agricoles, la suppression des haies, l'imperméabilisation des sols (routes, parkings...) sont autant de facteurs qui empêchent la pénétration des eaux dans le sol et qui aggravent ou provoquent des inondations, et spécialement des crues torrentielles ou des crues subites (*flash floods*).

Dans les zones d'écoulement, les constructions dans la plaine inondable et les obstacles à la circulation des eaux (arbres morts, déchets de toutes sortes, etc.) contrarient l'écoulement et augmente le risque d'inondation.

L'écoulement d'averse en milieu urbain peut également provoquer ou aggraver la crue des rivières qui y coulent et l'inondation de la zone urbaine. L'urbanisation modifie radicalement le drainage des bassins versants naturels, car elle accroît le volume et le débit du ruissellement (Fig. 22). Bien que les conséquences sur les gros réseaux fluviaux soient minimales, la capacité de transport des petits cours d'eau peut rapidement être dépassée, ce qui cause des problèmes d'inondation et d'érosion. Il arrive souvent que le ruissellement après une forte pluie dépasse la capacité de transport du réseau d'égouts, ce qui fait refluer l'eau dans le réseau et provoque l'inondation des sous-sols et des routes.

Un réchauffement rapide peut induire la fonte des neiges qui peut s'avérer être un facteur aggravant. En haute montagne, on notera qu'il y a un risque de crue important dû aux débâcles glaciaires (destruction subite d'un barrage naturel formé par une moraine ou un glacier).

Leurs effets sur les hommes, les biens et l'environnement sont nombreux. Chaque année, des dizaines de milliers d'individus périssent par noyade. Le nombre de personnes déplacées peut être extrêmement élevé. Les effets sur les biens se traduisent par de vastes destructions, détériorations et dommages aux habitations, au bétail, aux cultures, aux ouvrages (ponts, routes et rues, voies ferrées...), paralysie des services publics, etc. Alors que les effets sur l'environnement sont l'endommagement, voire lors des grandes inondations, la destruction de la flore et de la faune, pollutions diverses (poissons morts, déchets toxiques...), pouvant aller jusqu'au déclenchement d'accidents technologiques.

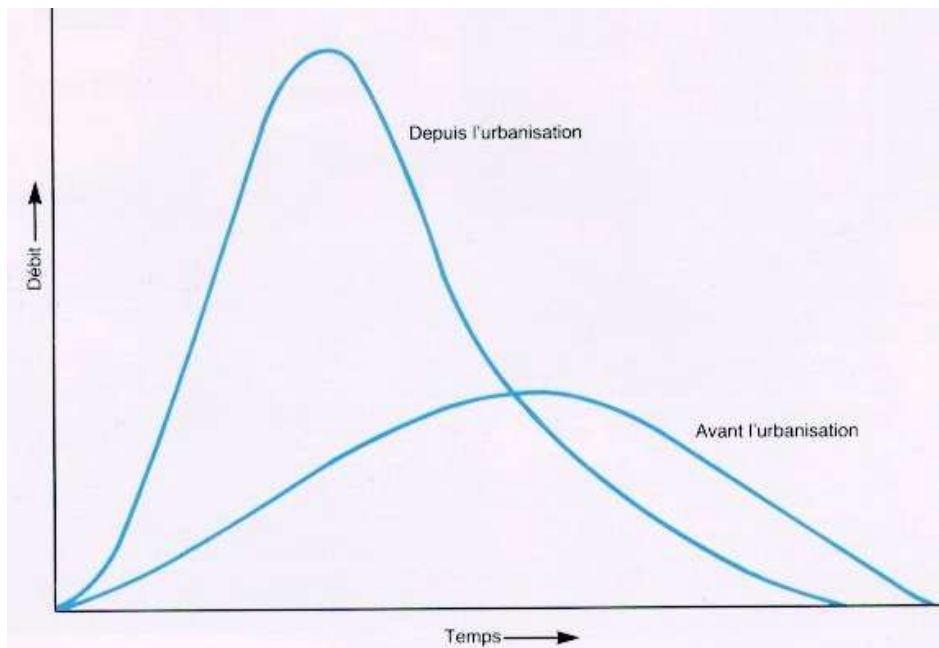


Figure 22 : Effet de l'urbanisation sur le volume et le débit de ruissellement.

La prévention des risques d'inondation et la protection des populations nécessitent que soient prises des mesures collectives et des mesures individuelles.

Une des mesures fréquemment utilisée dans les pays développés est l'aménagement du cours d'eau (rectification, nettoyage et curage du lit, etc.) avec la construction de barrages de crue et de digues de protection appelées également levées ou encore murs anticrues (barrière étanche entre la rivière et la zone habitée). Notons ici que la construction de tels barrages bloque le transit des sédiments. Ceci a pour conséquence une augmentation sensible de l'érosion des plages pouvant être dramatique à proximité de l'embouchure des fleuves.

En raison des dommages causés aux personnes, aux biens et à l'environnement, on voit l'intérêt de ne pas construire d'équipements onéreux ou dangereux (habitations, constructions, usines...) dans les zones inondables. Il existe dès lors des plans d'aménagement du territoire sur lesquels sont indiquées les zones non constructibles qui sont celles situées au dessous d'une cote d'altitude correspondant à la crue de référence choisie (10, 20 ou 50 ans). Le problème réside dans le fait que ces plans ne sont pas souvent strictement appliqués, certains décideurs irresponsables (maires, etc.) offrant souvent des dérogations pour diverses raisons. Ce type de comportement se produit essentiellement dans et aux alentours des villes en forte expansion (cf. Alger, le 12 novembre 2001) ou dans les zones connaissant une pression touristique intense. Ainsi, la presse française divulguait ce 21 novembre 2001 que près d'un terrain de camping français sur deux est situé dans une zone présentant des risques naturels, dont les inondations et les crues torrentielles représentent respectivement 50.2% et 10.7%.

La prévention des risques d'inondation et la protection des populations passent également par la surveillance des cours d'eau et les alertes aux populations potentiellement affectées. Dans les pays développés et, de plus en plus, dans certains pays en voie de développement fréquemment touchés par les inondations, des services d'annonces des crues sont mis en place et disposent d'un réseau automatisé de collecte de données. Les informations sont transmises aux autorités compétentes (par téléphone, par radio ou par satellite) qui décident alors d'alerter ou non les populations et prennent les mesures de protection immédiates. Souvent, des plans de secours spécialisés pour les inondations existent. En France, il porte le nom de plan ORSEC pour les grandes catastrophes.

Les consignes de sécurité données pour limiter les dégâts matériels et les pertes humaines avant, pendant et après les inondations sont ^{22, 23}:

Avant, il est recommandé de prévoir les gestes essentiels, comme surélever ou déménager des meubles, objets ou produits ; obturer des entrées d'eau potentielles (portes, soupiraux, etc.) ; garer son véhicule le plus loin possible du cours d'eau ; faire une réserve d'eau potable et d'aliments ; et, éventuellement, prévoir des moyens d'évacuation.

Pendant, il est conseillé de s'informer par radio ou auprès des autorités compétentes de la montée des eaux ; couper l'électricité ; aller sur les points hauts préalablement repérés (étages des maisons, collines) ; n'entreprendre une évacuation que si vous en recevez l'ordre des autorités ou si vous êtes forcés par la crue.

Après, il est préconisé d'aérer et désinfecter les pièces ; chauffer les pièces inondées dès que possible ; rétablir le courant électrique que si l'installation est sèche.

5. Risques sismiques

Les tremblements de terre représentent 28% des grandes catastrophes naturelles de par le monde (voir Fig. 18) et sont probablement les catastrophes les plus meurtrières (voir Tab. 3). Ces séismes ne sont pas répartis de façon uniforme à la surface de la Terre. On les retrouve essentiellement dans les zones de frontières entre plaques (zone de subduction, ride médio-océanique, rift continental, faille transformante, zone de collision) présentées à la figure 23. Les pays développés n'échappent pas à ce type de risque, comme en attestent les catastrophes de Noarthridge en Californie et Kobe au Japon.

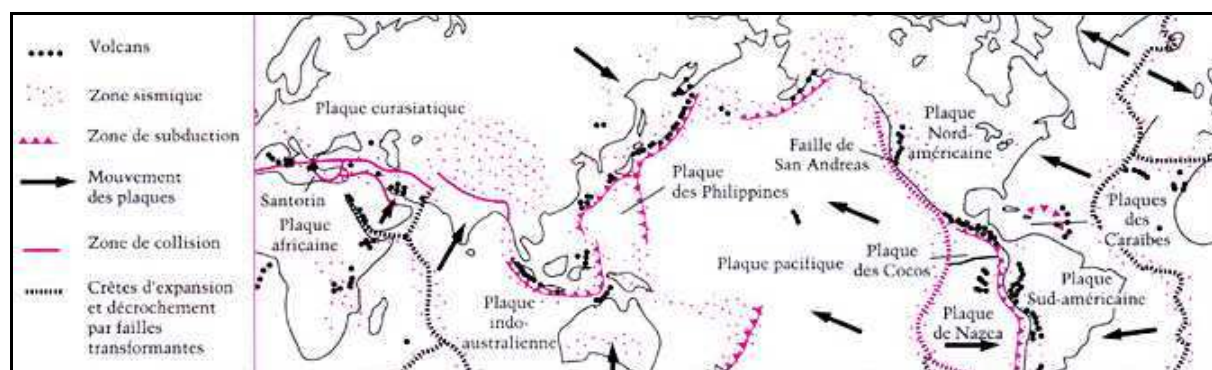


Figure 23 : Localisation des plaques lithosphériques, des principaux volcans et des principales zones sismiques.

Un séisme ou tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Il provient de la fracturation des roches en profondeur ; celle-ci est due à l'accumulation d'une grande énergie qui se libère, créant des failles, au moment où le seuil de rupture mécanique des roches est atteint. Les dégâts observés en surface sont fonction de l'amplitude, la fréquence et la durée des vibrations.

De manière très simpliste et schématique, la plupart des séismes sont concentrés au voisinage des frontières des plaques lithosphériques (Fig. 23). Ce sont dans les zones de subduction (où une plaque s'enfonce sous une autre, pour plonger dans le manteau) que l'on voit les séismes de plus grande magnitude.

²² D'après le Ministère français de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

²³ Pour en savoir plus : <http://www.environnement.gouv.fr/dossiers/risques/guide-inondation/default.htm>

Dans la partie supérieure de la croûte, la température étant trop basse, le mouvement n'est pas continu. Les failles restent bloquées pendant de longues périodes de temps, contrairement aux couches inférieures où le mouvement régulier des plaques se poursuit de part et d'autre. La région de la faille bloquée se déforme alors progressivement, se charge, jusqu'à ce qu'elle cède brutalement, couissant sur toute sa surface : c'est la rupture sismique, provoquant le tremblement de terre, qui relâche les contraintes tectoniques et rattrape le retard au mouvement des plaques (Fig. 24). Après la secousse principale, il y a des répliques, parfois meurtrières, qui correspondent à des petits réajustements des blocs au voisinage de la faille.

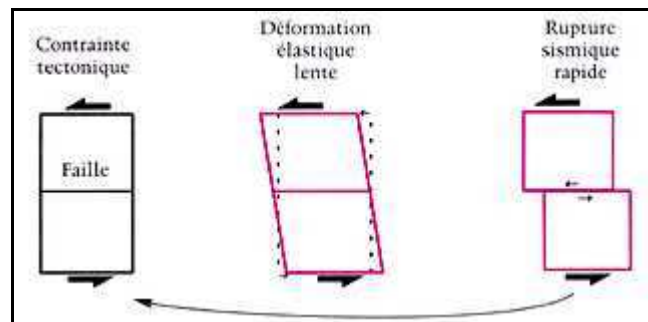


Figure 24 : Représentation schématique de la rupture sismique

Les caractéristiques des séismes sont les suivantes (Fig. 25) :

- Le foyer (ou hypocentre) est la région de la faille d'où partent les ondes sismiques.
- L'épicentre est le point de la surface terrestre, à la verticale du foyer, et où l'intensité du séisme est la plus importante.
- La magnitude (M) est la mesure de l'énergie libérée par le séisme. Elle est fonction de la longueur de la faille et elle est donnée par la mesure de l'amplitude maximale mesurée par les sismographes à 100 km de l'épicentre. La magnitude est mesurée sur l'échelle de Richter comportant 9 degrés. Augmenter la magnitude d'un degré revient à multiplier l'énergie libérée par 30.
- L'intensité (I), que l'on écrit en chiffres romains pour bien la différencier de la magnitude, est la mesure des effets et dommages du séisme en un lieu donné. Pour un séisme de magnitude donnée, elle est maximale à l'aplomb de la faille (intensité épiscopentrale) et décroît avec la distance (sauf lorsque des effets de site entrent en jeu, sur terrain sédimentaire ou minier par exemple). Elle est d'autant plus importante que le foyer est plus superficiel. L'intensité correspond donc à la quantification, sur une échelle spécifique, des conséquences d'un séisme en un lieu donné, à partir de ses effets sur la population, les constructions et l'environnement. Les échelles d'intensité les plus courantes sont l'échelle MM (Mercalli) (Tab. 7) modifiée par l'échelle MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) (Tab. 8), comportant toutes deux douze degrés (I à XII).
- On distingue différents types de failles : les failles verticales qui couissent horizontalement et les failles inclinées où un bloc s'affaisse ou monte par rapport à l'autre. Lors d'un séisme, la rupture peut se propager en surface : les failles verticales vont alors décaler la surface du sol de part et d'autre de la faille (jusqu'à plusieurs mètres) ; les failles inclinées vont créer des escarpements pouvant former des murs de plusieurs mètres de haut (6 mètres à El Asnam en 1980). La répétition du phénomène sur une même faille, au cours des millénaires, peut provoquer des décalages verticaux ou horizontaux de plusieurs kilomètres.

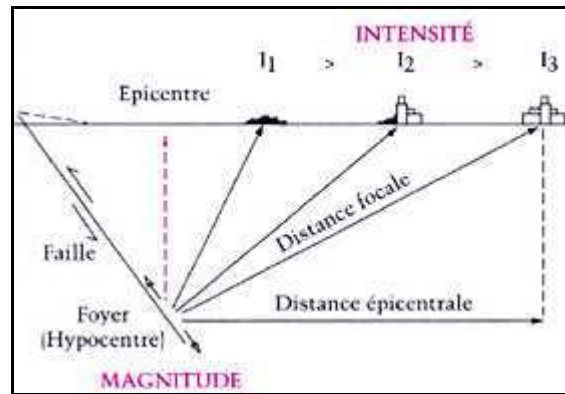


Figure 25 : Caractéristiques des séismes

Tableau 7 : Echelle d'intensité sismique de « Mercalli ».

ÉCHELLE D'INTENSITÉ DE MERCALLI	MAGNITUDE À L'ÉCHELLE RICHTER
I Séisme perçu uniquement par quelques personnes dans des circonstances particulières; détecté seulement par des instruments très sensibles.	2
II Perçu par quelques personnes au repos et se trouvant aux étages supérieurs; balancement d'objets suspendus.	3
III Perçu principalement par des personnes à l'intérieur des édifices. Les automobiles stationnées peuvent bouger.	
IV Perçu par la plupart des gens à l'intérieur des édifices et par certains à l'extérieur; suffisant pour réveiller certaines personnes. Bruits de vaisselle, fenêtres et portes.	4
V Perçu par presque tout le monde; plusieurs personnes sont réveillées. Bris de vaisselle et de fenêtres; les objets instables sont renversés.	5
VI Perçu par tout le monde; plusieurs personnes sont effrayées et courent à l'extérieur; quelques meubles sont déplacés; quelques morceaux de plâtre tombent et quelques dommages aux cheminées. Dommages légers.	
VII La plupart des gens paniquent et courent à l'extérieur; dommages minimes aux constructions conçues pour les zones sismiques, de minimes à moyens chez les bonnes constructions ordinaires, importants chez les mauvaises constructions. Meubles renversés.	6
VIII Dommages légers aux constructions conçues pour les zones sismiques, importants chez les bonnes constructions ordinaires avec des effondrements possibles, catastrophiques chez les mauvaises constructions.	7
IX Dommages considérables aux constructions conçues pour les zones sismiques. Edifices déplacés sur leurs fondations. Fissuration du sol. Bris des canalisations souterraines.	
X Quelques bonnes constructions en bois et la plupart des constructions en maçonnerie sont détruites. Sol fortement fissuré. Plusieurs glissements de terrain se produisent.	8
XI Très peu de constructions en maçonnerie restent debout; rails tordus; ponts détruits. Grandes fissures dans le sol.	
XII Destruction quasi totale. Ondulations visibles à la surface du sol. Objets projetés dans les airs.	9

Tableau 8 : Echelle d'intensité sismique « MSK ».

Degré	Effets
I	Imperceptible, inscrit par les sismographes
II	Ressenti seulement aux étages supérieurs des maisons élevées
III	Vibration analogue à celle provoquée par un camion
IV	Vibration des fenêtres, des portes, de la vaisselle ; craquement des planchers, des charpentes
V	Réveil des dormeurs, tremblement général des constructions, balancement des objets suspendus
VI	Chute des petits objets, fissures dans les plâtres, petites crevasses dans les sols détrempés, frayeur
VII	Cloches mises en branle ; fissures dans la maçonnerie et en travers des routes ; frayeur généralisée
VIII	Mobilier renversé, lézardes larges et profondes, crevasses de quelques centimètres, panique
IX	Destruction des habitations rudimentaires, routes endommagées, larges crevasses sur les pentes, chute de rochers, panique générale
X	Destruction des maisons, dommages aux ponts, aux lignes de chemin de fer, crevasses de plus de 1 mètre dans le sol, glissements de terrain
XI	Dommages sévères aux ponts, lignes de chemin de fer, digues, barrages ; déformations du terrain
XII	Destructions généralisées, changement du paysage, topographie bouleversée

Les effets des tremblements de terre sur les hommes, les biens et l'environnement sont nombreux, d'autant plus qu'ils provoquent un nombre incroyable d'effets indirects tant naturels que techniques. Le tremblement de terre est le risque naturel le plus meurtrier. La majeure partie des victimes périssent suite à la chute d'objets, dans les effondrements de bâtiments, dans des incendies, ou sont emportées par des mouvements de terrain ou des tsunamis. Le nombre de personnes blessées, sans abri et déplacées peut être considérable. Les atteintes aux biens se traduisent par de vastes destructions, détériorations et dommages aux habitations, aux ouvrages (ponts, routes et rues, voies ferrées, etc.) et aux usines. Suite aux ruptures des conduites d'eau, de gaz et d'électricité, ils peuvent provoquer incendies, explosions et électrocutions. Les effets sur l'environnement sont variés pouvant parfois provoquer un changement total de paysage (vallées barrées et transformées en lacs, rivières déviées...).

L'aléa sismique est bien connu. L'analyse de la sismicité historique (réurrence des séismes), de la sismicité instrumentale et l'identification des failles actives, permettent de définir l'aléa sismique d'une région.

Cependant, il est quasi impossible de déterminer actuellement avec précision quand et où la terre va trembler. Certes, il est bien connu que la Californie, par exemple, attend le "*big one*", mais sera-ce demain, dans six mois ou dans dix ans ? Nul ne sait le dire.

Même s'il n'existe pas actuellement de système fiable de prévision des tremblements de terre et si les phénomènes « précurseurs » ne sont pas toujours présents, des recherches mondiales sont entreprises pour mieux prévoir les séismes. Ainsi, certains chercheurs se penchent sur la prédiction des séismes à court et à moyen terme. Celle-ci est axée sur la surveillance et l'observation des phénomènes précurseurs comme la variation anormale de la microsismicité locale ou régionale, la déformation du sol, la variation du niveau d'eau dans les puits, les courants électromagnétiques souterrains, les réactions de fuite des animaux, etc.

Dans ces conditions, il est donc préférable de diminuer la vulnérabilité des régions concernées. Ainsi, des pays, comme le Japon ou les Etats-Unis, s'orientent de plus en plus vers une prévention active. Une telle stratégie s'appuie sur une politique d'éducation des populations, une bonne connaissance des effets des séismes sur les constructions et la mise en œuvre d'une réglementation pour des constructions parasismiques. Ceci passe par

l'application des règles parasismiques pour les constructions neuves des particuliers. Par contre, les ouvrages d'art, comme les barrages, les établissements industriels et l'industrie nucléaire, sont soumis à des règles spécifiques de construction parasismique, à effet rétroactif (elles s'appliquent aux ouvrages existants).

Capables de résister aux tremblements de terre, les constructions parasismiques permettent de réduire considérablement les dommages en cas de séisme. Plusieurs aspects interviennent dans la réalisation d'un projet de construction parasismique : la nature du sol, la qualité des matériaux, la conception générale associant une rigidité du bâti (résistance) et une élasticité suffisante (déformabilité), l'assemblage des différents éléments composant le bâtiment (chaînages) et la qualité de l'exécution des travaux. Le coût des constructions parasismiques est bien moins élevé qu'on ne le suppose : généralement entre 3 et 5% du coût total d'une construction.

Au delà de 24 heures, les chances de retrouver des survivants diminuent rapidement. C'est souligner la nécessité d'une intervention rapide qui commence par [i] la localisation de la région touchée par un réseau national ou international de surveillance sismique, [ii] l'alerte et la mobilisation des moyens et [iii] l'organisation de la chaîne des secours (de la détection à la médicalisation).

Malheureusement, ce n'est pas toujours le cas... L'exemple du séisme qui a dévasté la région de Gujarat²⁴, Inde, le 26 janvier 2001 est édifiant et montre les limites des beaux discours théoriques et les difficultés d'application en cas de réelle catastrophe. Un petit dossier est présenté en annexe sur CD-Rom et est résumé à la figure 26. Il aura fallu plus de 48 heures avant de voir les premiers secours opérationnels arriver sur place. A ce moment, les locaux avaient déjà mis sur pied un immense brasier brûlant en permanence pour incinérer les corps rapidement pour éviter les épidémies.

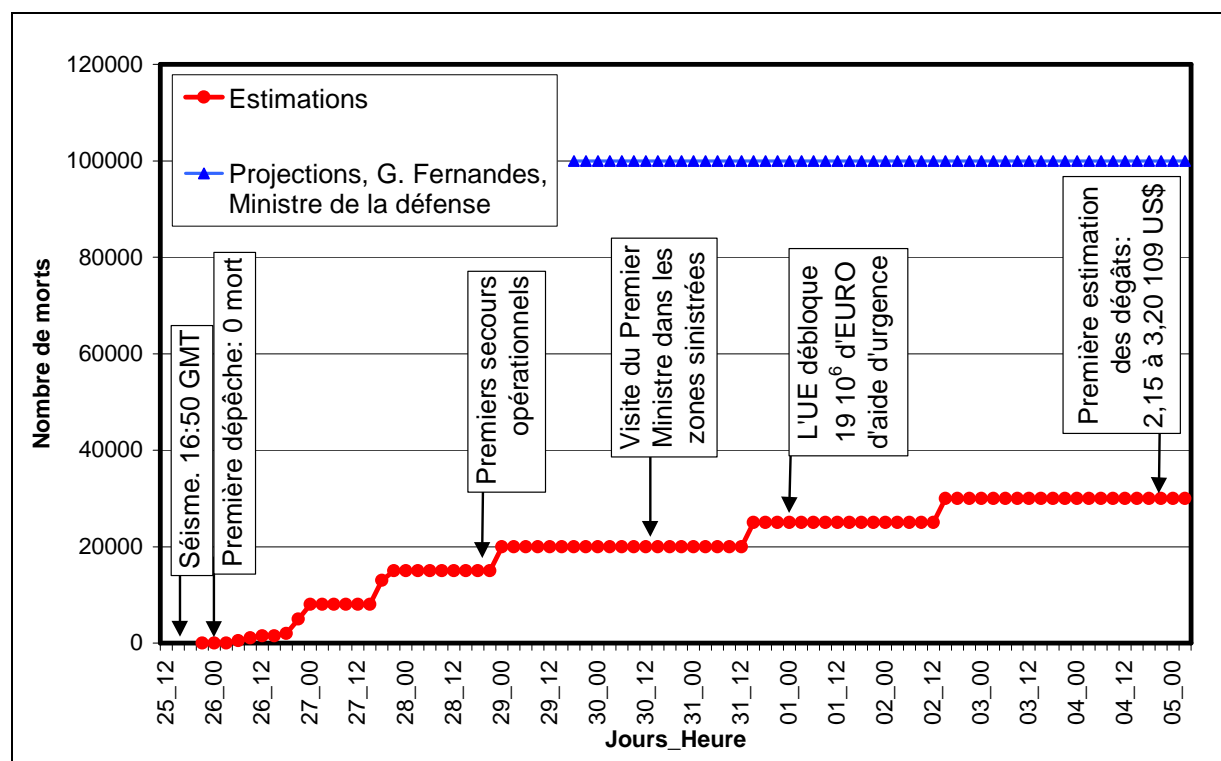


Figure 26 : Evolution, heure par heure, du bilan du séisme de Gujarat, Inde, le 26 janvier 2001

²⁴ Source : Munich Re, 2001. Gujarat (India) earthquake of 26.1.2001. MRNatCat Poster #15. <http://www.munichre.com/>. Voir aussi en annexe sur CD-Rom.

Certaines consignes de sécurité données pour limiter les pertes humaines avant, pendant et après les inondations sont ²⁵:

Avant, il est recommandé de repérer les points de coupure du gaz, de l'eau et de d'électricité ; de fixer les appareils et les meubles lourds ; de préparer un plan de regroupement familial.

Pendant, il est conseillé de rester où l'on est. A l'intérieur : se mettre près d'un mur, une colonne porteuse, ou sous des meubles solides ; s'éloigner des fenêtres ; se protéger la tête avec les bras ; ne pas allumer de flamme. A l'extérieur : ne pas rester sous des fils électriques ou ce qui peut s'effondrer (ponts, corniches, toitures, etc.). En voiture : s'arrêter et ne pas descendre avant la fin des secousses.

Après la première secousse, se méfier des répliques : il peut y avoir d'autres secousses. Ne pas prendre les ascenseurs pour quitter un immeuble. Vérifier l'eau, l'électricité : en cas de fuite, ouvrir les fenêtres et les portes, se sauver et prévenir les autorités. S'éloigner des zones côtières, même longtemps après la fin des secousses, en raison d'éventuels tsunamis.

6. Volcanisme

Un volcan est une ouverture mettant en relation la surface du globe avec les profondeurs, permettant à des matériaux terrestres de venir s'épancher en surface (sous forme de laves, gaz...). Ce phénomène est intermittent, les phases d'émission alternant avec des phases de sommeil qui peuvent être très longues (jusqu'à plusieurs centaines d'années) : le volcan est dit vivant. On recense actuellement 500 volcans vivants, dont 90% se situent autour du Pacifique (cercle de feu du Pacifique) (voir Fig. 20). Un volcan est considéré comme éteint si le temps écoulé depuis sa dernière éruption est de loin supérieur à la moyenne des périodes de sommeil passées : cela ne veut pas dire qu'il ne puisse se réveiller un jour.

Si, par rapport à d'autres catastrophes naturelles, la mortalité imputable aux volcans n'est pas très élevée (en moyenne 2 000 personnes par an), certaines éruptions peuvent être très meurtrières : Tambora (1815) : 92.000 morts ; Krakatoa (1883) : 36.000 morts ; Nevado del Ruiz (1985) : 28.000 morts.

Nous ne rentrerons pas ici dans les détails relatifs à la formation des volcans, mais plutôt aux différents types d'éruption et des risques qui en découlent.

Eruptions magmatiques

Lors d'une éruption, le magma, roche fondue contenant des gaz dissous, monte à la surface où il se sépare en lave et en gaz. Les gaz sont les véritables "moteurs" de l'éruption.

Si les gaz s'échappent facilement, la lave s'écoule sous forme de coulées. On parle d'éruptions effusives. Peu meurtrières (la lave avance en général de quelques centaines de mètres par jour), ces coulées sont, par contre, très difficiles à arrêter ou à dévier et peuvent causer de gros dégâts matériels.

Si les gaz s'échappent de manière brutale, la lave, mais aussi les roches constitutives de la cheminée volcanique, sont fragmentées et projetées dans les airs, parfois très loin. Ces projections, appelées pyroclastites, sont de tailles variables : de quelques millimètres (cendres, lapilli) à plusieurs mètres (bombes, blocs). On parle d'éruptions explosives. Violentes, elles sont beaucoup plus dangereuses. Les écoulements pyroclastiques, mélange de gaz et de particules solides, constituent le risque humain majeur (Tab. 8): auto-entretenus par une

²⁵ D'après le Ministère français de l'aménagement du territoire et de l'environnement.

expansion gazeuse continue, ils dévalent les flancs du volcan très rapidement et sur de longues distances (nuées ardentes, coulées de ponces, etc.).

Eruptions phréatiques

Libération soudaine d'une grande quantité de vapeur d'eau, à pression et température élevées, provoquant l'éjection de matériaux de toutes tailles (blocs et poussières). Parfois meurtrières, elles peuvent être :

- isolées, en relation probable avec une crise sismique,
- suivies d'éruptions magmatiques, annoncées par des crues anormales des rivières (vaporisation de l'aquifère au contact du magma).

Éruptions phréatomagmatiques

Elles sont dues à la rencontre du magma ascendant avec une nappe phréatique ou une eau superficielle (lac, cours d'eau...) : le magma sort en même temps que l'eau. La vaporisation très rapide de l'eau rend ces éruptions très explosives qui donnent naissance à des cratères d'explosion.

Lahars

Coulées boueuses volcaniques : elles peuvent produire des dégâts importants et loin du volcan. Ces écoulements sont des phénomènes directement induits par une activité volcanique (lahars syn-éruptifs) ou naissent à la suite d'une précipitation longue et/ou intense (lahars post-éruptifs). Les masses d'eau et de sédiments mises en mouvement possèdent une forte énergie cinétique permettant de parcourir jusqu'à 120 km. Leur occurrence régulière et leur mobilité importante font des lahars la deuxième cause de mortalité (environ 32000 décès depuis le début du siècle) après les écoulements pyroclastiques (nuées ardentes) (Tab. 9).

Eruptions gazeuses carboniques

Elles peuvent intervenir dans le cadre d'un volcanisme actif ou non, et sont parfois très meurtrières.

Tableau 9 : Tableau récapitulatif des principales causes de décès sur les flancs des volcans

Nature du risque	Décès	%
Coulées pyroclastiques et avalanches de débris	36847	46.3
Lahars	31438	39.4
Chutes de cendres et lapillis	3369	4.2
Famines	3163	4.0
Causes diverses ou non identifiées	2133	2.7
Gaz et pluies acides	1983	2.5
Tsunamis	407	0.5
Coulées de laves	285	0.3
Coulées de laves	285	0.3
Activité sismique	32	0.04
Effets atmosphériques	3	0.004

Les dégâts peuvent être importants en raison de la forte densité humaine sur les flancs des volcans (richesse du sol, exigüité des lieux notamment dans les îles...), des difficultés à se protéger physiquement, et de l'absence de système de surveillance pour les pays du tiers-

monde. Certaines éruptions peuvent être très meurtrières directement ou non : personnes tuées ou blessées, sans abri, déplacées, famine, etc. Les atteintes aux biens se matérialisent par des destructions, détériorations et dommages aux habitations, aux ouvrages (ponts, routes...), au bétail, aux cultures et par la paralysie des services publics. L'environnement est également touché. En particulier, via la destruction de la faune et de la flore, les dépôts de boues et de cendres. Les émissions de grandes quantités de gaz (SO₂, CO₂) et de poussières avec des répercussions sur le climat et l'environnement (couche d'ozone).

Tout comme l'aléa sismique, l'aléa volcanique est bien connu. Cependant, chaque volcan est différent et a sa propre histoire. Évaluer les risques potentiels d'un volcan nécessite donc de bien connaître son activité éruptive passée. Ainsi, l'outil principal de la prévision générale est l'approche géologique. Confirmée par l'étude des éruptions antérieures, elle aboutit à la réalisation d'une carte du risque, très utile pour la prise en compte du risque dans l'aménagement, et pour l'établissement des plans de secours.

Contrairement aux séismes, il est possible de déterminer actuellement avec précision quand un volcan entrera en phase éruptive. Les méthodes de surveillance des volcans sont basées sur l'étude des phénomènes qui accompagnent la montée du magma : augmentation de la sismicité, déformation du volcan, variation de la composition chimique des gaz, fumerolles, sources phréatiques, etc.

Pour les volcans actifs les plus menaçants, cette surveillance est assurée par des observatoires installés sur les flancs des volcans. L'action de ces observatoires est coordonnée par un organisme spécialisé. Quand une activité anormale est enregistrée, les autorités sont mises en alerte. Les plans de secours comportent deux niveaux d'alerte :

- Alerte n°1 : Préparation de l'évacuation ; situation préoccupante. Les populations doivent alors continuer, jusqu'à nouvel ordre, leurs occupations habituelles en restant à l'écoute des médias. En outre, elles doivent prévoir un véhicule personnel pour une éventuelle évacuation.
- Alerte n°2 : Évacuation dans les meilleurs délais possibles de la zone menacée. Il est alors recommandé aux populations de respirer à travers un linge humide si l'air est trop chargé en gaz ou cendres. Elles doivent quitter la zone menacée ou rejoindre les points de ralliement et d'évacuation pour ceux ne disposant pas de moyen de transport particulier. Elles ne doivent pas se réfugier dans le fond des vallées ou dans les sous-sols. Gagner un endroit abrité et solide pour écouter les consignes de sécurité à la radio.

La diffusion de l'information, qui revêt une importance essentielle en période de crise, est assurée par le préfet, le gouverneur ou une autre autorité. Les plans de secours prévoient l'organisation des transports, de la circulation, de l'accueil et de la protection des réfugiés, de la surveillance contre le pillage, etc.

7. Mouvements de terrain

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique (occasionnée par l'homme). Les mouvements de terrain provoquent la mort de 800 à 1000 personnes par an, mais ce chiffre ne prend pas en compte les glissements dus aux séismes, probablement les plus meurtriers, ni même ceux qui sont provoqués par les cyclones.

Les zones soumises aux mouvements de terrain sont surtout les régions de montagne, en raison de l'existence de reliefs très contrastés et de conditions climatiques rigoureuses. Ceci étant dit, certaines régions à relief moins contrasté sont également affectées, si les conditions

géologiques sont réunies (glissement sur les pentes argileuses ou marneuses des massifs anciens, effondrement de carrières ou de cavités naturelles en plaine...).

On distingue généralement les risques liés à des mouvements lents et continus de ceux liés à des mouvements rapides et discontinus.

Les risques liés à des mouvements lents et continus

Lorsque la déformation est progressive, on distingue :

Les affaissements, qui résultent de l'évolution de cavités souterraines dont l'effondrement est amorti par le comportement souple des terrains superficiels. Ces cavités peuvent être soit des vides naturels par dissolution de roches solubles, calcaires, gypse, etc. ; soit des ouvrages souterrains exécutés sans précaution ; soit des carrières souterraines (calcaire, craie, mines de sel, mines de charbon...).

Les tassements, qui se produisent avec la diminution de volume de certains sols (vases, tourbes, argiles...), sous l'effet des charges appliquées et de l'abaissement du niveau des nappes aquifères par surexploitation. Ces phénomènes peuvent être de grande extension et peuvent affecter des agglomérations entières (Mexico, construite sur des alluvions, s'est tassée de 7 mètres depuis le début du siècle par exploitation excessive de la nappe ; Osaka, Bangkok, Ravenne, Venise...), ou être plus limités (par exemple, la tour de Pise).

Les phénomènes de gonflement-retrait. Ils sont liés aux changements d'humidité des sols très argileux, qui sont capables de fixer l'eau disponible, mais aussi de la perdre en se rétractant en cas de sécheresse. Ce phénomène, accentué par la présence d'arbres à proximité, peut provoquer des dégâts importants sur les constructions. Plusieurs dizaines de milliers de constructions ont ainsi été endommagées au cours de la sécheresse qui a affecté la France de 1989 à 1992.

Les glissements de terrain peuvent être le résultat de processus lents qui peuvent, dans certains cas, se transformer en mouvements rapides. Ils sont la conséquence de déplacements par gravité d'un versant instable. De vitesse lente (de quelques mm à quelques dm par an), ils peuvent cependant s'accélérer en phase paroxysmale (jusqu'à quelques mètres par jour) pour aller même jusqu'à la rupture. Ils peuvent intéresser les couches superficielles ou être très profonds (plusieurs dizaines de mètres). Dans ce dernier cas, les volumes de terrain en jeu peuvent être considérables (plusieurs millions de m³).

Les risques liés à des mouvements rapides et discontinus

Les effondrements. Ils procèdent de déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles (effondrements karstiques) ou artificielles (mines ou carrières), avec ouverture d'excavations grossièrement cylindriques.

Les écroulements et chutes de blocs. Ils résultent de l'évolution de falaises allant, selon les volumes de matériaux mis en jeu, de la simple chute de pierres (inférieur à 0.1 m³), à l'écroulement catastrophique (supérieur à 10 millions de m³) avec, dans ce dernier cas, une extension importante des matériaux éboulés et une vitesse de propagation supérieure à 100 km.h⁻¹.

Les coulées boueuses et torrentielles. Phénomènes caractérisés par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide : coulées boueuses sur des pentes, par dégénérescence de certains glissements avec afflux d'eau ; coulées torrentielles dans le lit de torrents au moment des crues ; lahars liés à l'activité volcanique ; etc.

Les effets sur les hommes sont relativement limités et résultent essentiellement des mouvements rapides liés aux cyclones, tremblements de terre et éruptions volcaniques. Les effets sur les biens sont plus importants : endommagement et destruction de bâtiments ; interruption d'activité et perte de production ; obstruction de voies de communication ; gel de terrains pouvant toucher, en montagne, des villages entiers qu'il faut parfois abandonner ; etc. Les effets sur l'environnement sont la destruction de forêts, la modification des systèmes d'écoulement superficiel, etc.

Généralement, ce type d'aléa est bien cerné par les spécialistes et, contrairement aux tremblements de terre, il est possible de diminuer l'importance de l'aléa. Les parades les plus souvent utilisées sont la suppression ou stabilisation de la masse instable (piliers, ancrage, injection de béton, mur de soutènement, reboisement, etc.) ; collecte des eaux de surface, drainage ; et mise en place de systèmes de déviation, de freinage et d'arrêt des éboulis (grillage, filets, murs, fossés, plage de dépôts, etc.).

Fréquemment, sous nos latitudes, des cartes de zones exposées aux risques de mouvements des sols permettent d'effectuer un zonage du territoire en fonction de l'intensité, de la gravité et de la probabilité d'apparition des mouvements de terrain redoutés. Ce zonage nécessite une analyse des événements passés et des facteurs d'instabilité (pente, géologie, météorologie...). Ces cartes servent de base à l'établissement des plans d'exposition aux risques, qui ont pour mission d'intégrer le risque mouvement de terrain dans les documents d'urbanisme, en définissant trois zones : [i] une zone inconstructible ; [ii] une zone à risque moyen, où des mesures de protection peuvent être prises (maîtrise des eaux de ruissellement, respect de la stabilité précaire des pentes...) ; et [iii] une zone présumée sans risque.

Normalement, des plans locaux d'alerte, d'information des populations, d'évacuation et de secours sont réalisés pour les communes menacées (populations concernées, itinéraires et moyens d'évacuation, lieux d'hébergement, secours...). Des mesures de surveillance peuvent être mis en place. Face à des mouvements de terrain déclarés, la surveillance consiste, à partir du suivi des déformations internes et de surface, et de la structure géologique, à élaborer un modèle interprétatif. Il peut y avoir schématiquement trois types d'évolution : [i] un état stationnaire : la déformation évolue régulièrement ; le risque de rupture soudaine est très faible, mais il faut continuer à surveiller le mouvement car il peut s'accélérer ; [ii] l'amortissement : la déformation diminue ; le risque de rupture diminue, mais le mouvement peut reprendre ; et [iii] l'aggravation : le mouvement évolue vers la rupture ; en prenant en compte les facteurs hydrométéorologiques, l'expert doit juger de la gravité de la situation, des délais de rupture et donc de l'opportunité d'une évacuation.

8. Tsunami

Les tsunamis sont d'immenses vagues marines causées par certains volcans sous-marins, glissements de terrain sous-marins ou tremblements de terre qui se produisent au fond de l'océan. Il sont en quelque sorte sournois parce qu'ils peuvent survenir plusieurs heures après le séisme et très loin de l'épicentre. Les vagues du tsunami se propagent de façon circulaire à partir du site de l'événement, et ce, sur de grandes distances (Fig. 27). La vitesse de ces vagues peut atteindre plus de 800 km/h. En eau profonde, la hauteur des tsunamis s'élève à moins d'un mètre. Quand ils atteignent les eaux peu profondes près des côtes, l'eau de la vague se rétracte et forme un grand mur, puis elle se jette ensuite sur la côte en détruisant tout sur son passage. Pour en savoir plus sur les tsunamis et la répartition des zones exposées à ce risques, il est bon de consulter le site web interactif²⁶.

²⁶ Site : <http://www.nerc-bas.ac.uk/tsunami-risks/> puis cliquez sur 'Risk Atlas'.

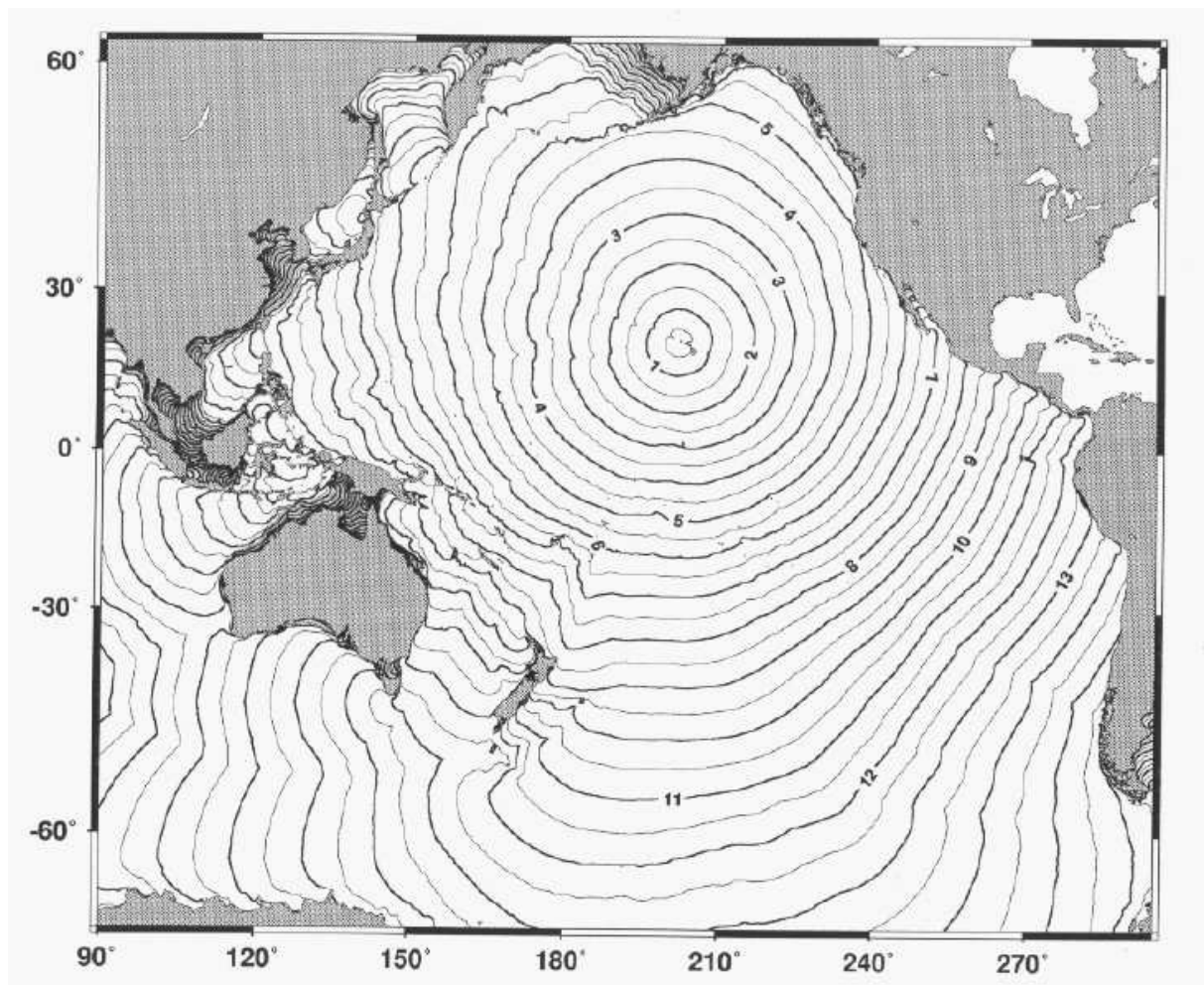


Figure 27 : Temps de propagation des tsunamis si un séisme se produisait à Hawaï.

Le plus grand tsunami jamais enregistré est celui survenu le 8 juillet 1958, en Alaska. Ce jour-là, une vague submergeait la baie de Lituya, sur la côte méridionale de l'Alaska. Elle avait 160 mètres de hauteur et progressa sur la rive jusqu'à 524 mètres d'altitude en la dénudant de ses forêts. Après plus de quarante ans, les traces du ravage sont encore visibles. Un séisme avait secoué le flanc instable de la baie. Trente millions de mètres cubes de roche et de terre tombèrent d'une hauteur de plus de 900 mètres dans la baie. La masse d'eau refoulée submergea la rive à très grande vitesse, avant de refluer et de se perdre dans la mer. Ce fut la plus haute vague jamais mesurée dans l'histoire.

Le tsunami le plus meurtrier est bien sûr celui qui a dévasté les côtes de l'Océan Indien en décembre 2004. Plus de 220 000 personnes y ont perdu la vie.

9. Avalanches

Une avalanche correspond à un déplacement rapide, à une vitesse supérieure à 1 m.s^{-1} , d'une masse de neige sur une pente, provoqué par une rupture du manteau neigeux. Cette masse varie de quelques dizaines de mètres cubes à plusieurs centaines de milliers.

Dans le monde, les avalanches sont les catastrophes naturelles les moins meurtrières : 500 victimes par an.

Dans les pays développés, comme en France, les accidents dus aux avalanches ne concernaient autrefois que les habitants de la montagne et de façon rarissime. Le

développement du ski alpin, et l'aménagement de la montagne avec apparition de stations de sports d'hiver, plus près des neiges, au niveau des alpages, ont rendu ces accidents plus fréquents et essentiellement liés aux activités de loisirs. Ainsi, dans les Alpes françaises, seuls 5 % des victimes des avalanches sont des « non-skieurs ». Le risque d'avalanche, à l'inverse des autres risques, apparaît aujourd'hui dans 95% des cas comme un risque individuel lié aux loisirs (sports d'hiver...).

Comme pour les mouvements de terrain, l'aléa est bien connu et plusieurs mesures de prévention existent. Dans la zone de départ des avalanches, des filets, barrières à vent, et des plantations permettent de stabiliser la neige. Dans la zone d'arrêt des avalanches, la construction d'ouvrages de déviation, de freinage et d'arrêt (paravalanches) permettent la protection des routes, des habitations et d'autres ouvrages d'art.

Souvent, surtout dans les zones touristiques, des plans de prévention des risques avalanche existent. En cas de risque d'avalanche, des avis spéciaux sont diffusés et les autorités peuvent prendre des mesures de protection comme la fermeture des pistes de ski et des remontées mécaniques. Parfois, le déclenchement artificiel d'avalanche au moyens d'explosifs est envisagé.

En cas d'avalanche, les chances de survie diminuent de moitié toutes les heures. C'est souligner la nécessité d'une intervention rapide : alerte, mobilisation des moyens (le plus souvent hélicoptés), chaîne des secours (détection, équipe cynophile, médicalisation...).

V. LES ZONES A HAUT RISQUE

Ce chapitre a pour but de présenter trois zones à « haut risque ». Il s'agit des villes, où se concentrent massivement des populations suite à l'exode et, dans certains cas, à la natalité galopante. Mais il s'agit également des zones littorales qui sont souvent hautement menacées par la majeure partie des risques naturels, qui abritent une grande partie de la population mondiale et qui sont directement concernées par l'inéluctable augmentation du niveau de la mer.

Villes à risque

Les villes grossissent de façon démesurée. Quelques chiffres... En 1950, l'agglomération de New York était le seul centre urbain à avoir une population de plus de 10 millions d'habitants ; il y en a 19 aujourd'hui. Pendant cette même période de cinquante ans, le nombre de villes de plus d'un million d'habitants a quadruplé, passant de 80 à 365. Actuellement, près de la moitié de la population mondiale vit dans les métropoles, sur 3% de la superficie des terres émergées. D'ici l'an 2025, le nombre de citoyens devrait avoisiner les 5 milliards. Durant la dernière décennie, au moins 80% de la croissance démographique mondiale a eu lieu dans les zones urbaines.

Cette urbanisation rapide touche particulièrement les pays en voie de développement. Le nombre de villes de plus d'un million d'habitants a été multiplié par sept entre 1950 et 2000. Actuellement, 17 des 20 plus grandes agglomérations du monde se trouve dans les pays en voie de développement (Fig. 28). De plus, la plupart de ces villes se trouvent dans des régions particulièrement exposées aux tremblements de terre, inondations (cyclones), glissements de terrain, ou d'autres aléas. D'ici l'an 2025, 80% de la population urbaine vivra dans les pays en voie de développement.

Cette croissance non contrôlée des villes augmente le nombre de personnes vulnérables. Les autorités municipales de nombreux pays en voie de développement ont du mal à satisfaire les besoins en infrastructures et services de base. Par conséquent, 30 à 60% de la population des plus grandes agglomérations du monde en voie de développement vit dans des habitats spontanés densément peuplés. La demande de terrains dans les villes a entraîné l'utilisation de terres marginales fortement exposées aux risques naturels, telles que les plaines d'inondation ou les pentes instables. Le développement urbain accroît le risque de crues en perturbant les canaux de drainage naturels. La concentration de complexes industriels et de substances dangereuses dans les zones urbaines augmente les risques : en cas de catastrophe naturelle, elle peut causer des catastrophes secondaires telles des incendies ou des explosions.

Si les risques naturels concernent toutes les parties du globe, la plupart d'entre eux sont exacerbés dans les villes.

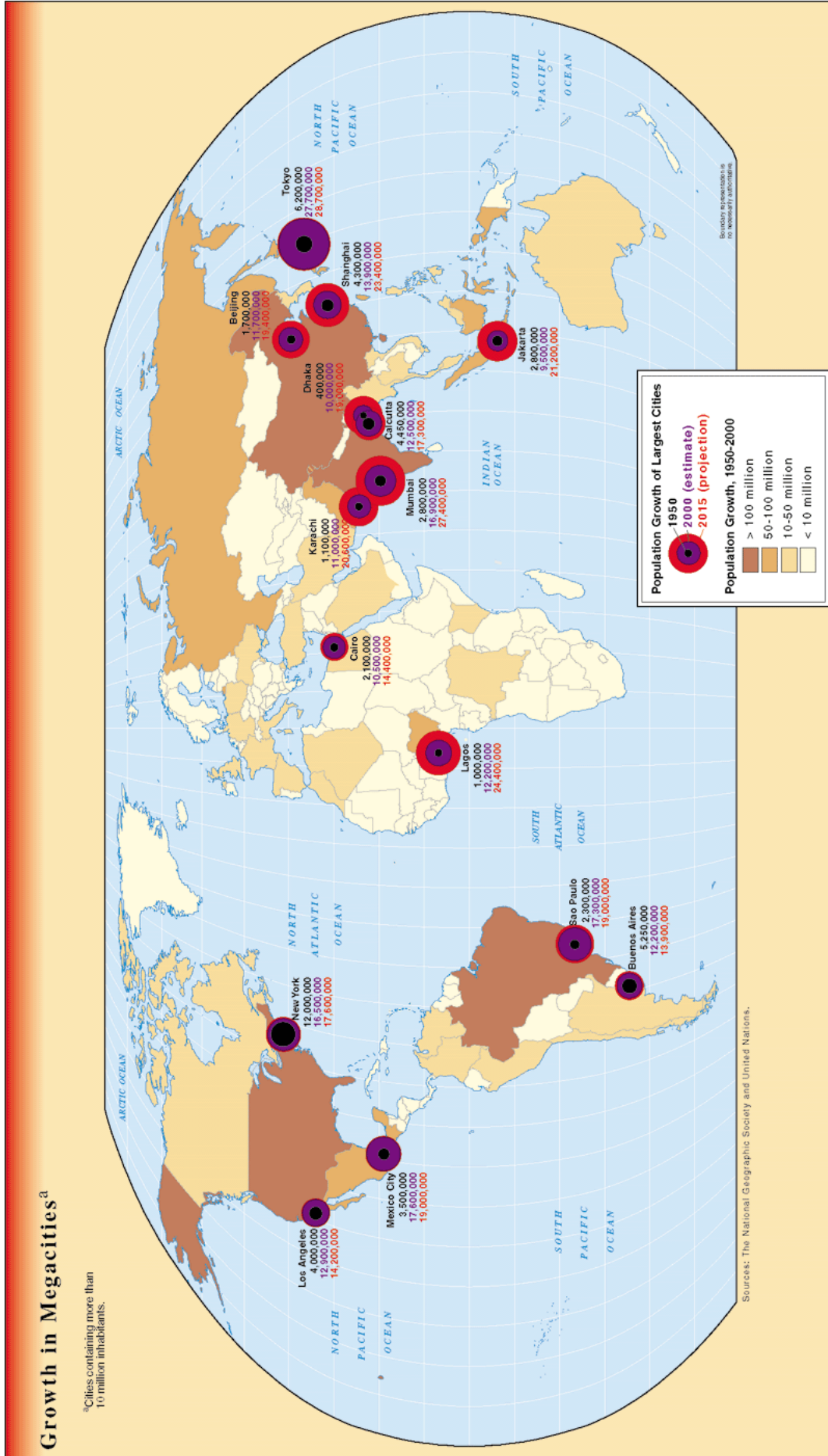
- Les tremblements de terre sont la cause des plus grandes catastrophes urbaines. De nombreuses villes très densément peuplées sont situées en bordure de plaque.
- Les glissements de terrain représentent également une grande menace puisqu'ils sont déclenchés par les tremblements de terre, les tempêtes, les éruptions volcaniques, et les excès de constructions. Dans les villes, de plus en plus de logements sont situés sur des terres occupées de façon illicite. Ces habitations ignorent les codes d'aménagement du territoire (lorsqu'ils existent) et les normes de construction. Mal construits sur des pentes raides, ces logements sont particulièrement sensibles aux glissements de terrain.

- Les éruptions volcaniques présentent également un risque lors de l'expansion urbaine. Souvent, les nouveaux établissements humains s'installent sur les flancs des volcans ou sur des trajectoires historiques des coulées de boue ou de lave.
- De nombreuses agglomérations sont situées le long des côtes. Bon nombre d'entre elles sont donc exposées aux tsunamis et aux ravages causés par les cyclones. Dans les pays en voie de développement, les bidonvilles construits le long des côtes constituent un grave péril.
- Comme nous l'avons vu, les inondations ont des causes à la fois d'origine naturelle et humaine, notamment, les pluies torrentielles, les réseaux d'assainissement obstrués, la rupture de barrages, etc. Les inondations sont la calamité la plus fréquente et qui augmente le plus vite, surtout avec l'urbanisation galopante. Les crues soudaines sont un problème grandissant à cause du béton qui réduit la capacité d'absorption, mais aussi à cause de la faiblesse des systèmes de drainage urbains, de la déforestation et du déversement des déchets dans les fleuves et canaux. Les logements mal situés ou mal construits sur les rives des fleuves ou à proximité des deltas sont une autre grave préoccupation. Ainsi, Buenos Aires illustre l'absence de maîtrise de l'espace et de la croissance urbaine : les inondations sont accélérées par l'extension anarchique des habitations dans les zones marécageuses, l'accroissement des surfaces imperméabilisées, l'encombrement des lits des cours d'eau, les aménagements mal intégrés y compris les ouvrages de génie civil.
- Les incendies urbains sont causés par des explosions industrielles mais également par des phénomènes naturels comme les tremblements de terre. Les risques de feux augmentent avec la forte densité de construction.
- Finalement, les sécheresses peuvent déclencher un exode rural massif qui augmente la pression exercée sur les logements dans certaines villes. Suite à cela, les villes peuvent perdre leurs sources d'approvisionnement alimentaire provenant des campagnes environnantes.

Ceci dit, vivre dans une ville n'a pas que des impacts négatifs. Parfois, pour des catastrophes qui s'étendent sur de vastes espaces, les populations urbaines sont relativement avantagées dans leur détresse. Ainsi, lors d'une catastrophe, les secours concentrent leurs efforts de préférence sur les aires urbaines, plus faciles d'accès. De même, les citoyens sont souvent plus rapidement reconnectés à certaines infrastructures 'vitales', comme le raccordement à l'électricité, à l'eau potable, au téléphone, etc. Finalement, lors de grandes inondations, par exemple, les autorités préfèrent dévier des eaux vers des régions peu peuplées pour ne pas causer le chaos dans les grandes villes.

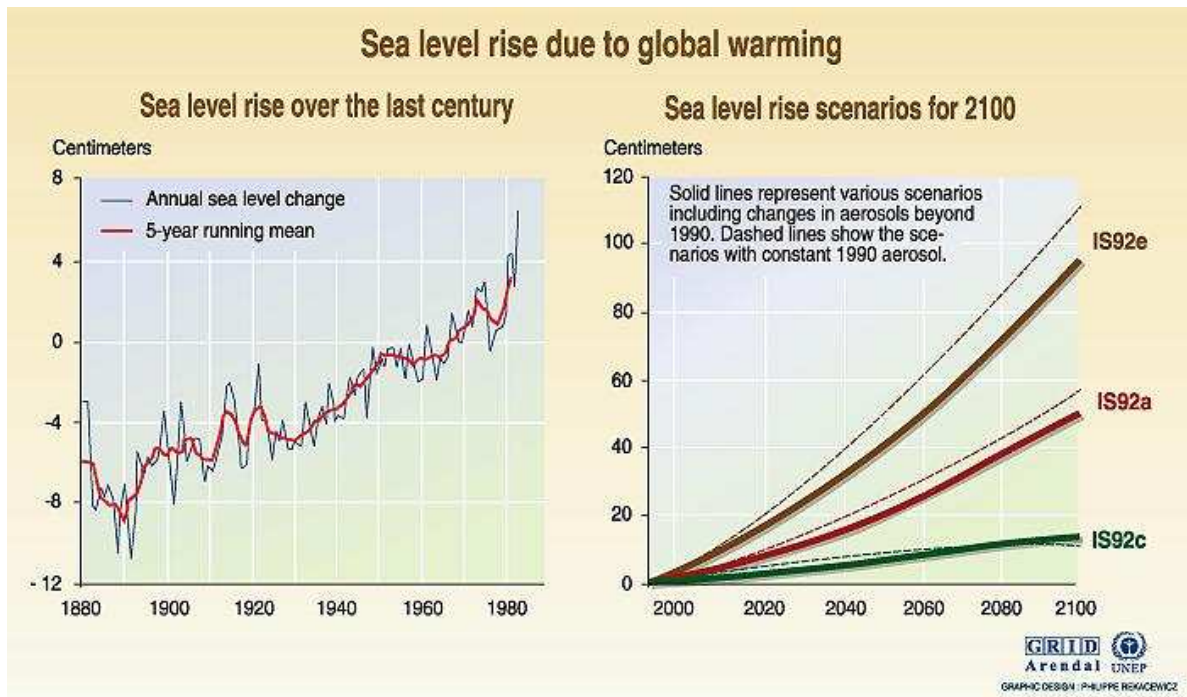
Growth in Megacities^a

^aCities containing more than 10 million inhabitants.



Risques littoraux

Le niveau global de la mer est monté de 10 à 15 cm au cours du XXe siècle (Fig. 29). Il est probable que cette élévation soit due en grande partie à une augmentation de 0.4 à 0.8°C de la température moyenne globale de la basse atmosphère depuis 1860. Les modèles prévoient une élévation supplémentaire du niveau de la mer de 15 à 95 cm d'ici à l'an 2100 (Fig. 29). Ce phénomène devrait se produire à cause de la dilatation thermique de l'eau des océans et d'un apport d'eau douce provenant de la fonte des calottes glaciaires et des glaciers (Fig. 30). L'élévation prévue serait deux à cinq fois plus rapide que celle qui s'est produite au cours des 100 dernières années.



Source: Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge university press, 1995; Sea level rise over the last century, adapted from Gornitz and Lebedeff, 1987.

Figure 29 : Elévation du niveau de la mer au cours du XXe siècle et prévisions pour le XXIe siècle.

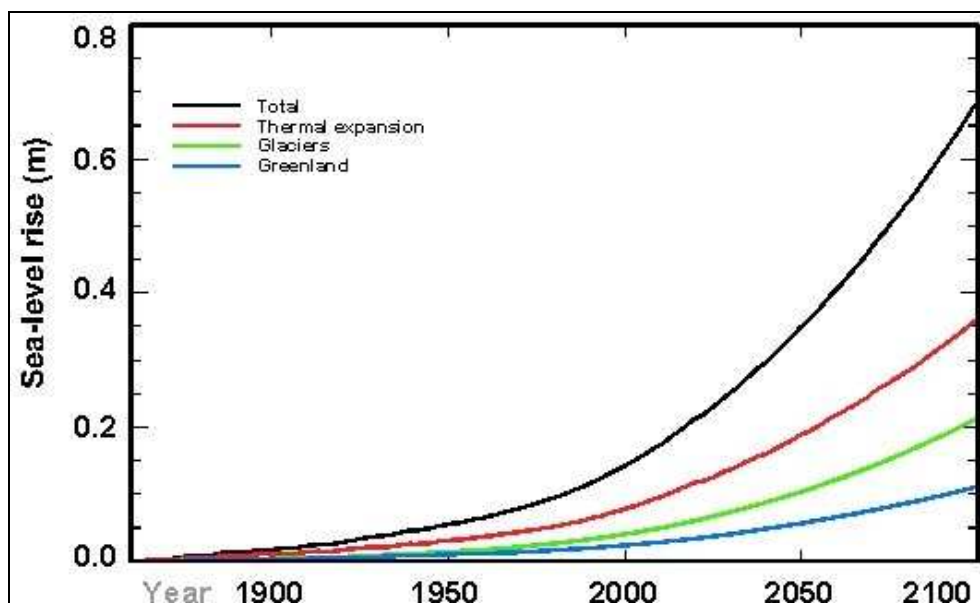


Figure 30 : Causes de l'élévation du niveau de la mer.

Les conséquences pour les zones côtières sont multiples : déplacement des marécages et des terres inondables, érosion des côtes, accroissement des inondations et des dégâts causés par les tempêtes, problèmes accrus de salinisation et de drainage. En Europe, ces perspectives sont d'autant plus préoccupantes qu'un tiers de la population européenne vit sur une bande de 50 kilomètres le long des mers - une proportion qui peut aller jusqu'à 100% (par exemple au Danemark). Les régions les plus à risques sont celles qui se situent d'ores et déjà sous le niveau des eaux, comme l'ouest des Pays-Bas ou le delta du Pô.

Les solutions sont limitées. Les infrastructures de défense et de drainage peuvent être renforcées, mais il faudra souvent envisager le retrait des activités à l'intérieur des terres, même si cette décision entre en conflit avec un développement socio-économique local.

Le débit, l'ampleur et l'orientation du changement varieront aux plans local et régional en fonction des particularités du littoral, des changements dans la circulation des courants océaniques, des différences dans les régimes de marée et la densité de l'eau de mer ainsi que des affaissements ou soulèvements tectoniques. On s'attend à ce que le niveau de la mer continue de s'élever pendant des centaines d'années après que les températures se seront stabilisées. Les zones côtières et petites îles sont extrêmement vulnérables. Les côtes ont été modifiées et aménagées de façon intensive au cours des décennies qui viennent de s'écouler et sont de ce fait encore plus vulnérables à l'élévation du niveau de la mer.

Les pays en développement dont les économies et institutions sont fragiles sont les plus menacés mais les zones côtières basses des pays développés pourraient aussi être gravement touchées. Compte tenu des mesures actuelles de protection, une élévation du niveau de la mer de 1 mètre entraînerait des pertes de terre de 0,05 % en Uruguay, 1 % en Égypte, 6 % aux Pays-Bas, 17,5 % au Bangladesh (Fig. 31) et jusqu'à 80 % environ dans l'atoll Majuro (îles Marshall).

Les inondations et l'érosion côtière pourraient s'aggraver. L'intrusion d'eau salée réduira la qualité et la quantité de l'eau douce. Une hausse du niveau de la mer pourrait également provoquer des phénomènes extrêmes tels que marées hautes, ondes de tempête et vagues provoquées par un séisme (tsunami), entraînant des dégâts supplémentaires. Les inondations dues aux marées de tempête touchent déjà, lors d'une année moyenne, quelques 46 millions de personnes, la plupart vivant dans des pays en développement. Si la mer montait de 50 cm, ce chiffre pourrait passer à 92 millions et à 118 millions si le niveau des océans montait de un mètre.

L'élévation du niveau de la mer pourrait avoir des répercussions négatives sur des secteurs économiques essentiels. Une grande partie des denrées alimentaires sont produites dans les zones côtières, ce qui rend la pêche, l'aquaculture et l'agriculture particulièrement vulnérables.

Les autres secteurs les plus menacés sont le tourisme, les établissements humains et les assurances (qui ont déjà subi des pertes sans précédent à cause de conditions climatiques extrêmes). La hausse attendue du niveau de la mer inonderait une grande partie des terres de faible élévation, provoquant des dommages aux cultures côtières et entraînant le déplacement de millions de personnes habitant le littoral et de petites îles. Le déplacement des collectivités touchées par les inondations, en particulier celles ne disposant que de ressources limitées, accroîtrait le risque de maladies infectieuses, psychologiques et autres. Les insectes et autres vecteurs pourraient se propager vers de nouvelles régions. La désorganisation des systèmes d'assainissement, de drainage des eaux de pluie et d'évacuation des eaux usées aurait également des répercussions sur la santé.

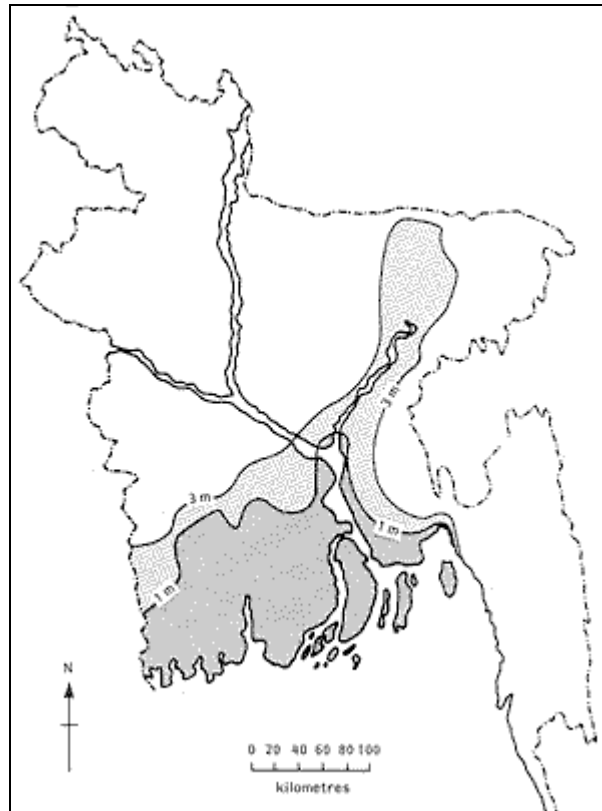


Figure 31 : Etendue des pertes de terre au Bangladesh dans le cas d'une augmentation moyenne du niveau de la mer de 1 et 3 mètres.

Des écosystèmes côtiers précieux seront gravement menacés. Les zones côtières abritent certains des écosystèmes les plus variés et les plus productifs du monde, tels que forêts de mangrove, récifs coralliens et algues marines. Les deltas plats (Camargue, Gange, Nil) et les atolls et récifs coralliens sont particulièrement sensibles aux changements affectant la fréquence et l'intensité des précipitations et orages. Les coraux croissent en général suffisamment vite pour s'adapter à l'élévation du niveau de la mer mais risquent d'être endommagés par le réchauffement de la température de l'eau.

Les écosystèmes océaniques pourraient aussi être touchés. Outre la hausse du niveau de la mer, les changements climatiques pourraient entraîner une réduction de la couverture glaciaire de la mer et altérer la circulation des courants océaniques, le mélange vertical des eaux et le déplacement de masses d'eau. Cela pourrait avoir une incidence sur la productivité biologique, les disponibilités en éléments nutritifs ainsi que sur la structure écologique et les fonctions des écosystèmes marins. Les variations de température pourraient aussi provoquer des modifications géographiques au niveau de la biodiversité, en particulier dans les régions de latitude élevée, où la période de croissance devrait augmenter (en supposant que la lumière et les éléments nutritifs restent constants).

VI. CONCLUSION

La connaissance des risques et des catastrophes est inégale. Des risques naturels comme le volcanisme sont bien connus et maîtrisés. Des systèmes d'alerte peuvent être mis en place pour ce type de risque. Pour les tremblements de terre, si la localisation des zones à haut risque est bien connue elle aussi, il est pour l'instant quasi impossible de prévoir exactement quand et où ils se produiront. Par contre, des parades existent, comme les constructions parasismiques. Les mécanismes provoquant les sécheresses sont, par contre, mal appréhendés mais des solutions peuvent être envisagées pour limiter les pertes en vies humaines (acheminement de l'aide humanitaire d'urgence, par exemple). Par contre, les processus menant à la désertification sont bien connus mais aucune solution n'est avancée pour ralentir les processus de dégradation des terres.

Un clivage Nord-Sud existe réellement tant sur le plan des pertes en vies humaines que sur le plan des pertes financières. Les pays en voie de développement sont beaucoup plus sensibles aux catastrophes essentiellement car les moyens ne sont pas mis en œuvre pour diminuer la vulnérabilité des populations et des infrastructures face à certains risques naturels.

Les liens étroits existants entre les types de risques (naturels – techniques, naturels – sociaux politiques, et naturels – relevant du vivant) doivent être pris en compte dans les politiques futures pour atténuer les impacts (effet domino) des différentes catastrophes.

Différentes politiques doivent être rendues effectives dès à présent pour prévenir les risques à venir dérivant du réchauffement climatique, de la dégradation environnementale, de l'élévation du niveau de la mer, etc.

TABLE DES MATIERES

I. Introduction.....	1
II. Concepts et définition : Aléa, vulnérabilité et risque.....	8
1. L'aléa.....	8
2. La vulnérabilité.....	8
3. Le risque.....	9
4. Conclusion.....	14
III. Les différents risques et catastrophes : techniques, sociales et politiques, du vivant, et naturelles.....	15
1. Risques et catastrophes d'origine technique.....	15
2. Risques et catastrophes d'origine sociale et politique.....	18
3. Risques et catastrophes du vivant.....	19
4. Risques et catastrophes d'origine naturelle.....	22
IV. Les différents risques et catastrophes naturels.....	24
1. Phénomènes atmosphériques : tempêtes extratropicales, cyclones tropicaux et tornades.....	24
2. Phénomènes climatiques lents et insidieux : sécheresse et désertification.....	30
3. Incendies de forêts.....	34
4. Inondations.....	35
5. Risques sismiques.....	38
6. Volcanisme.....	43
7. Mouvements de terrain.....	45
8. Tsunami.....	47
9. Avalanches.....	48
V. Les zones à haut risque.....	50
Villes à risque.....	50
Risques littoraux.....	53
VI. Conclusion.....	56
Table des matières.....	57
Liste des tableaux.....	58
Liste des figures.....	58

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Grandes catastrophes naturelles (1950-1999).	1
Tableau 2 : Nombre de victimes, pertes financières supportées par les assurances et rapport coût/victime selon les continents en 2001.	3
Tableau 3 : Les 40 plus graves catastrophes naturelles en termes de victimes, 1970 – 2000	6
Tableau 4 : Echelle de Beaufort.	26
Tableau 5 : Echelle de Saffir-Simpson.	28
Tableau 6 : Echelle de Fujita.	29
Tableau 7 : Echelle d'intensité sismique de « Mercalli ».	40
Tableau 8 : Echelle d'intensité sismique « MSK ».	41
Tableau 9 : Tableau récapitulatif des principales causes de décès sur les flancs des volcans	44

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Evolution des grandes catastrophes naturelles, par type, répertoriées dans le monde (1950 – 2001).	2
Figure 2 : Evolution des pertes financières totales et assurées, avec tendances, engendrées par les grandes catastrophes naturelles répertoriées dans le monde (1950 – 2001).	2
Figure 3 : Répartition géographique des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de victimes (1970 – 2000).	4
Figure 4 : Répartition géographique des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de pertes financières supportées par les assurances (1970 – 2000).	4
Figure 5 : Répartition, par région, des 40 plus grandes catastrophes naturelles en termes de victimes et de pertes financières supportées par les assurances (1970 – 2000).	4
Figure 6 : Nombre annuel moyen de victimes par million d'habitants (1970 – 1996).	6
Figure 7 : Représentation du risque en fonction de l'aléa et de la vulnérabilité.	9
Figure 8 : Représentation du risque acceptable et inacceptable à partir des courbes isorisques.	10
Figure 9 : Exemple de gestion d'un risque naturel lié aux aléas pluviométriques.	11
Figure 10 : Exemple de gestion inefficace d'un risque naturel lié aux aléas pluviométriques dans le cadre d'un changement climatique (X_2) non pris en considération.	11
Figure 11 : Répartition schématique des différentes étapes nécessaires à la gestion des risques naturels.	12
Figure 12 : Evolution de la perception du risque en fonction du temps et de la distance.	12
Figure 13 : Schéma retraçant les composantes menant au risque.	14
Figure 14 : Zones dévastées par les incendies lors du séisme de Kobe, Japon, 1995	16
Figure 15: Adultes et enfants vivant avec le VIH/SIDA. Estimations à fin 1999. Total : 34.3 millions	20
Figure 16: Pourcentage d'adultes (de 15 à 49 ans) infectés par le VIH – Estimations	21

Figure 17 : Distribution géographique du nombre de personnes affectées par les catastrophes naturelles par grande région et par type de phénomène.....	23
Figure 18 : Type de grandes catastrophes naturelles (Munich Re, 2001).	23
Figure 19 :Principales tempêtes d’hiver en Europe depuis 1950.	25
Figure 20 :Répartition des cyclones tropicaux au cours de ces vingt dernières années.	27
Figure 21 : Schéma d’une zone inondable.	35
Figure 22 : Effet de l’urbanisation sur le volume et le débit de ruissellement.	37
Figure 23 : Localisation des plaques lithosphériques, des principaux volcans et des principales zones sismiques.	38
Figure 24 : Représentation schématique de la rupture sismique	39
Figure 25 : Caractéristiques des séismes	40
Figure 26 : Evolution, heure par heure, du bilan du séisme de Gujarat, Inde, le 26 janvier 2001	42
Figure 27 : Temps de propagation des tsunamis si un séisme se produisait à Hawaï.	48
Page suivante : Figure 28 : Croissance des mégacités.	51
Figure 29 : Elévation du niveau de la mer au cours du XXe siècle et prévisions pour le XXIe siècle.	53
Figure 30 : Causes de l’élévation du niveau de la mer.....	53
Figure 31 : Etendue des pertes de terre au Bangladesh dans le cas d’une augmentation moyenne du niveau de la mer de 1 et 3 mètres.	55