

## T.4 Le calcul de l'exposition physique

### T.4.1 Description générale

Deux méthodes sont disponibles pour le calcul de l'exposition physique. Premièrement, en multipliant la fréquence des aléas par la population vivant dans chaque zone exposée. La fréquence des aléas a été calculée pour les différentes magnitudes du phénomène, et l'exposition physique a été calculée comme dans l'Équation 4.

Une autre méthode a été utilisée lorsque les données sur la fréquence annuelle de retour d'un phénomène d'une magnitude spécifique n'étaient pas disponibles. Dans ce cas (tremblements de terre), l'exposition physique a été calculée en divisant la population exposée par le nombre d'années où s'étaient produites un événement particulier, tel que montré dans l'Équation 5.

Une fois le calcul de l'exposition effectué pour la zone d'un aléa – en utilisant les méthodes du PNUE/GRID-Genève pour les tremblements de terre, les inondations, les cyclones et en se servant pour les sécheresses d'une méthode de l'Institut de recherche internationale pour la prévision du climat (IRI) – il a été procédé au calcul de la population exposée pour

#### ÉQUATION 5 EXPOSITION PHYSIQUE SANS LA FRÉQUENCE

$$\text{EQ 5} \quad \text{ExpPh} = \sum \frac{\text{Pop}_i}{\text{An}_n}$$

Où:

$\text{Pop}_i$  est le total de la population vivant dans une zone particulière dont le rayon à partir de l'épicentre varie selon la magnitude

$\text{An}_n$  est la durée en années

$\text{ExpPh}$  est l'exposition physique totale d'un pays, entre d'autres termes la somme de toutes les données relatives à l'exposition physique de ce pays

#### ÉQUATION 6 CALCUL DE L'EXPOSITION PHYSIQUE ACTUELLE

$$\text{EQ 6} \quad \text{ExpPh}_i = \sum \frac{\text{Pop}_i}{\text{Pop}_{1995}} \cdot \text{ExpPh}_{1995}$$

Où:

$\text{ExpPh}_i$  est l'exposition physique pour l'année en cours

$\text{Pop}_i$  est la population du pays pour l'année en cours

$\text{Pop}_{1995}$  est la population du pays pour 1995

$\text{ExpPh}_{1995}$  est l'exposition physique calculée avec la population telle qu'elle était en 1995

chaque zone exposée. Ce chiffre a été ensuite additionné au niveau national, pour parvenir à la population exposée au cours des 21 dernières années pour chaque type d'aléa.

Selon le type d'aléa et la qualité des données, différentes méthodes ont été appliquées à l'estimation de la taille des populations exposées à des aléas individuels. Les données relatives à la population ont été obtenues auprès du CIESIN, de l'IFPRI et de WRI Gridded population of the World (Maillage de la population mondiale) (GPW, Version 2), à une résolution de 2.5<sup>f</sup> (équivalente à 5 x 5 km à l'équateur). Ces données ont été complétées par la Base de données sur la population humaine et sur les frontières administratives pour l'Asie (PNUE) pour Taiwan, et par La Population mondiale Version 2 (données au niveau national) du CIESIN, pour l'Ex-Yougoslavie. Ces groupes de données reflètent une estimation de la répartition de la population pour 1995. Dans la mesure où la croissance de la population a parfois été très forte dans la période 1980-2000, un facteur correctif utilisant les totaux par pays ont été appliqués, afin d'estimer l'exposition physique actualisée pour chaque année, comme suit.

En raison de la résolution du groupe de données, il n'a pas été possible d'extraire la population pour certaines petites îles. Cela signifie que ces dernières ont dû être écartées de certains aspects de cette analyse. C'est un sujet qui appelle des recherches supplémentaires (voir recommandations dans les Conclusions de l'Annexe technique).

La principale difficulté réside dans l'évaluation des zones exposées à une fréquence et à une intensité particulière pour un aléa spécifique. Au niveau mondial, les données n'étaient pas entièrement disponibles. Des opinions d'experts ont été utilisées pour le suivi du processus d'élaboration des sets de données. Sur les quatre aléas étudiés, ce n'est que dans le cas des inondations qu'il n'a pas été possible de trouver un set de données avec une couverture globale. Un tel set a été établi en associant les informations du CRED avec les informations relatives aux bassins hydrographiques du Service Géologique des Etats-Unis (USGS). L'identification des sécheresses ont été fournies par l'IRI. Pour les autres aléas, des sets de données globales et indépendantes avaient déjà été mis à jour, compilées ou modélisées par le PNUE/GRID-Genève et utilisées pour extraire la population. La projection à intervalles égaux Mollweide a été utilisée lorsqu'il a été nécessaire de faire des calculs de surface.

f. GPW2 a été préféré au groupe de données relatif à la population ONRL Landscan malgré sa résolution spatiale cinq fois plus basse (2.5' contre 30") parce que l'information originale sur les frontières administratives et sur les recensements de population sont presque deux fois plus précis (127.093 unités administratives, contre 69.350). De plus la base de données Landscan dataset est le résultat d'un modèle complexe, qui n'est pas entièrement expliqué, et qui est fondé, entre autres, sur des données environnementales (utilisation des sols). Cela la rend difficile à utiliser pour d'autres comparaisons comprenant des facteurs environnementaux (problème de circularité).

**TABLEAU T.5 LIMITES DU RAYON POUR LE RISQUE DE TREMBLEMENT DE TERRE**

Distance (km)	Magnitude						
	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
10	8	12	19	26	31	34	35
25	4	9	15	24	28	30	32
50	2	3	10	22	26	28	29
75	1	1	5	10	14	16	17
100	0	0	1	4	5	6	7
125	0	0	1	2	2	3	3
150	0	0	0	1	2	2	3
175	0	0	0	0	1	2	2
200	0	0	0	0	0	1	2

Source : [Bolt et al. 1975] Accélération > 0.05 g = ~ 0,49 m/s<sup>2</sup>, fréquence > 2 Hz

#### T.4.2 Le cas des tremblements de terre

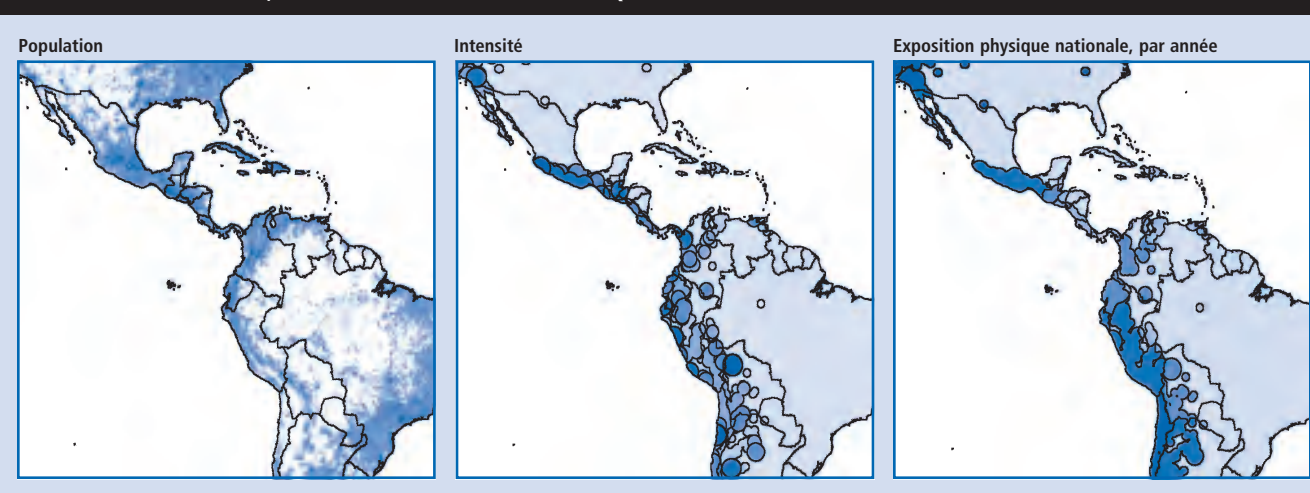
Un choix a été opéré pour produire des zones d'aléa sismique en utilisant le catalogue sismique du Council of the National Seismic System (Conseil du Système sismique national). Les relevés de tremblements de terre des 21 dernières années (1980-2000) ont été groupés en cinq classes de magnitude, en utilisant une zone dont le rayon à partir de l'épicentre variait selon la magnitude (voir Tableau T.5).

Les valeurs figurant dans le Tableau T.5 montrent la durée estimée des mouvements du sol pour des variations d'accélération et de fréquences spécifiques, selon la magnitude et la distance à partir de l'épicentre.<sup>8</sup> Les chiffres en gras dans le Tableau T.5 expriment la durée pour une accélération et une amplitude de fréquence particulière, entre la première et la dernière accélération des secousses enregistrées dépassant un niveau d'amplitude donné (par exemple, 0,05 g).<sup>9</sup>

A partir de ces chiffres, une distance tampon spécifique a été définie pour chaque classe de magnitude afin de limiter la zone affectée par les mouvements du sol : 75km pour une Magnitude ≤ 6.2, 125 km pour M = 6.3 – 6.7, 150 km pour M = 6.8 – 7.2, 175 km pour M = 7.3 – 7.7, 200 km pour M ≥ 7.8. Cette approche n'a pas pris en compte les conditions locales, par exemple les caractéristiques du sol ou géotectoniques.

Prenant en compte les contraintes inhérentes à un modèle conceptuel basé sur la mortalité, trois difficultés clefs ont été rencontrées dans le calcul de l'indice de risque de catastrophe.

La première et principale difficulté a été la nécessité d'utiliser un délai déterminé pour l'analyse du risque (1980-2000). Vingt ans représentent un délai bref pour analyser la fréquence de phénomènes géologiques tels que les tremblements de terre, qui sont des phénomènes à faible fréquence et à fort impact. Pour cette raison, les risques sont surestimés par le modèle et sous-estimés pour d'autres. L'Arménie fournit l'exemple d'un tremblement de terre unique de grande ampleur dans un petit Etat (29'000 km<sup>2</sup>), avec une forte densité de population (117 par km<sup>2</sup>). Le tremblement de terre qui a touché cette ex-République soviétique en 1998 a fait 25'000 victimes, 514'000 sans abris, et provoqué l'évacuation de près de 200'000 personnes. Les fortes pertes enregistrées lors de cet événement paraissent exagérer le calcul du risque à long terme de l'Arménie, en comparaison de pays exposés au risque, mais pour lesquels aucun événement n'est intervenu pendant la période utilisée pour calculer le modèle de risque. Un exemple de cela peut être trouvé dans le tremblement de terre en Algérie en 2003, ultérieur à la période couverte dans l'IRC. Afin de surmonter cette contrainte, au moins en partie, la fréquence a été dérivée de données de 1964-2000, afin de tirer parti de la période de temps disponible de façon globale.

**SCHÉMA T.3 POPULATION, INTENSITÉ ET EXPOSITION PHYSIQUE POUR LES TREMBLEMENTS DE TERRE**

**TABEAU T.6 VÉLOCITÉ DES VENTS ET DÉNOMINATIONS**

Vélocité des vents	Dénomination du phénomène
≥ 17 m/s	Tempête tropicale
≥ 33 m/s	Ouragans, typhons, cyclones tropicaux, cyclone tropical violent (selon les lieux <sup>9</sup> )
≥ 65 m/s	Super-typhons

Deuxièmement, dans la délimitation des zones exposées au risque des zones spécifiques d'activité sismique, il n'a pas été possible de prendre en compte de facteurs intermédiaires (tels que le type de sol et la géologie) dans la transmission de l'énergie du choc sismique. Les caractéristiques du sol jouent un rôle de premier plan pour expliquer les mouvements du sol dans les tremblements de terre, et pour expliquer en conséquence la gravité de l'impact. L'incorporation de ces données aurait permis une délimitation plus précise de ces données, et ainsi des populations exposées aux risques de tremblement de terre de diverses magnitudes et intensités. Bien que les données pour l'accélération maximum du sol soient disponibles auprès du Programme mondial d'évaluation du risque sismique, elles ne permettent pas le calcul des fréquences. En conséquence l'analyse a été fondée uniquement sur des valeurs relatives à la magnitude obtenues auprès du Conseil du Système sismique national (CNSS).

Une troisième difficulté plus générique posée par le modèle de risque concerne le manque de données relatives au contexte socio-économique et environnemental pour certains pays. Cela est particulièrement problématique pour la cartographie du risque de tremblement de terre au niveau mondial, parce que certaines carences dans les données au niveau national ont conduit à l'exclusion de certains pays – connus pour être particulièrement exposés au risque de tremblement de terre – du calcul des indicateurs de vulnérabilité. Cela a été le cas de l'Afghanistan, du Soudan, du Tadjikistan, et de la Guinée. Les améliorations à venir des données statistiques permettront d'accroître la portée des évaluations.

**T.4.3 Le cas des cyclones tropicaux**

Les données utilisées pour cartographier les zones exposées au risque de cyclone tropical ont été produites par le Centre d'analyse de l'information relative au gaz carbonique.<sup>10</sup> L'unité spatiale est une cellule de 5 x 5 degrés décimaux. Des exceptions ont été faites pour plusieurs valeurs attribuées aux zones qui peuvent présenter une activité marginale, mais dans lesquelles aucun cyclone tropical n'a été observé au cours de la période d'étude.

La classification des cyclones tropicaux Saffir-Simpson est fondée sur l'intensité maximum des vents de surface. Les systèmes comportant des vents de moins de 17 m/s sont appelés Dépression tropicale. Si la vitesse du vent est d'au moins 17 m/s, le système est appelé Tempête tropicale. Si la vitesse du vent est égale ou supérieure à 33 m/s, le système est appelé, selon les lieux:<sup>9</sup> Ouragan, Cyclone tropical violent ou Cyclone tropical. Les systèmes comportant des vents atteignant la vitesse de 65 m/s ou plus sont appelés Super-typhons.<sup>11</sup>

La CDIAC a fourni la probabilité de l'intervention de chacun de ces trois types d'événements. La fréquence moyenne (par année) a été calculée en utilisant l'Équation 7.

Pour obtenir l'exposition physique, une fréquence annuelle a été produite pour chaque cellule. Les cellules ont été divisées pour suivre les frontières des Etats, puis la population a été extraite et multipliée par la fréquence afin d'obtenir l'exposition physique moyenne pour chaque cellule. Cette exposition physique a été additionnée pour chaque pays, pour les trois types de cyclones.

L'exposition physique aux cyclones tropicaux de chaque magnitude a été calculée pour chaque pays, en utilisant l'Équation 5.

Il existe une marge d'amélioration des calculs de l'exposition humaine, si l'on pouvait délimiter de façon plus précise les zones d'exposition des populations, pour les trajectoires des cyclones tropicaux. Même si un zonage précis était possible pour de nombreux pays exposés aux cyclones tropicaux, les données concernant les trajectoires, la pression centrale (central pressure) et les vents soutenus n'étaient pas disponibles pour certains pays fortement peuplés et à haut risque, tels que l'Inde, le Bangladesh et le Pakistan. Bien que ces données existent, elles n'étaient pas disponibles.

**T.4.4 Le cas des inondations**

La seule base de données mondiale relative aux inondations identifiée est celle de l'Observatoire de Dartmouth, mais

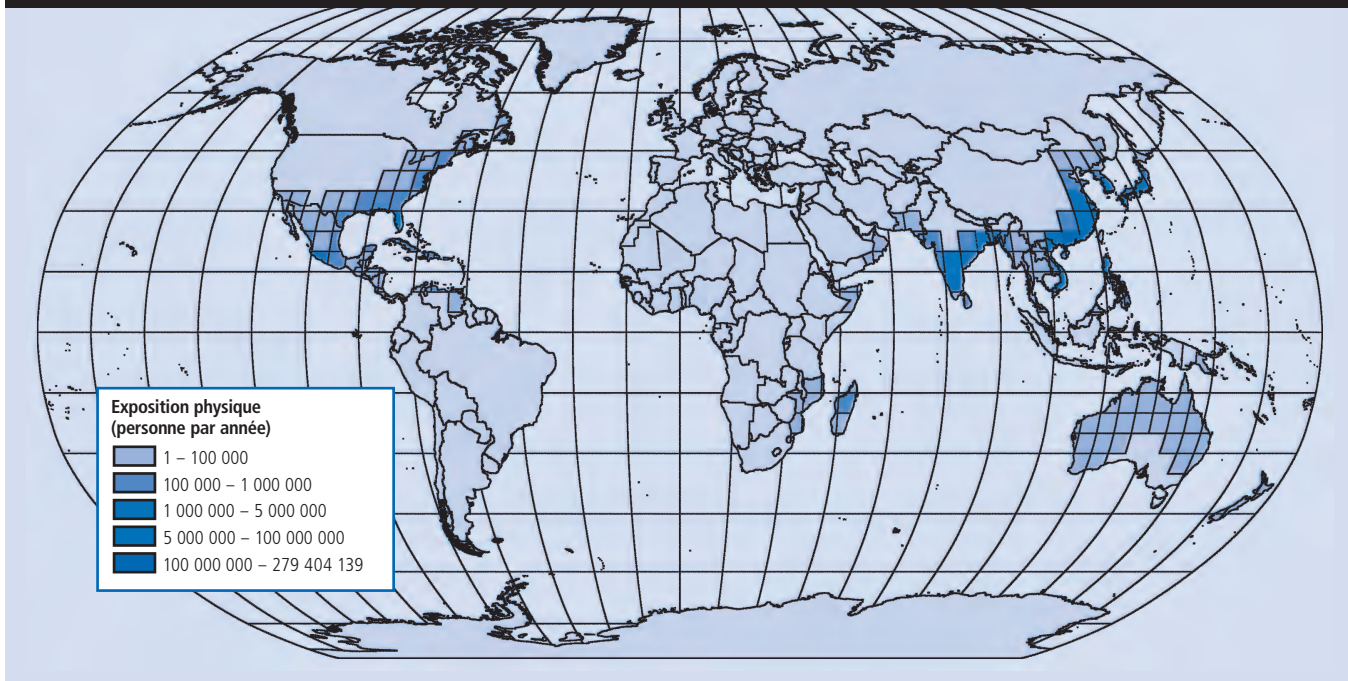
**ÉQUATION 7 DE LA PROBABILITÉ À LA FRÉQUENCE ANNUELLE DES CYCLONES**

EQ 7  $E(x) = \lambda = -\ln(1 - P(x \geq 1))$

Où  
 E(x) est l'espérance mathématique, c'est-à-dire le nombre moyen de phénomènes par an = λ  
 P(x) est la probabilité de l'événement

g. Ouragan : Océan Atlantique Nord, Océan Pacifique Nord-Est à l'est de la Ligne de changement de date, ou Océan Pacifique Sud, à l'Est de 160E ; Typhon : Océan Pacifique Nord-Ouest à l'ouest de la Ligne de changement de date ; Cyclone tropical violent : Océan Pacifique Sud-Ouest à l'ouest de 160E et Océan Indien Sud-Est, à l'est de 90E ; Tempête cyclonique violente : Océan Indien Nord ; Cyclone tropical : Océan Indien Sud-Est. Source : NOAA/AOML, FAQ : Hurricanes, Typhoons and Tropical Cyclones, www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/tcfaqA.html#A1

## SCHÉMA T.4 UN EXEMPLE D'EXPOSITION PHYSIQUE POUR LES CYCLONES TROPICAUX



Source : Centre d'analyse et d'information sur le dioxyde de carbone ; Consortium du réseau international d'information sur les sciences de la Terre ; Institut international de recherche sur les politiques alimentaires ; World Resources Institute : WRI Gridded population of the World (Maillage de la population mondiale, Version 2) ; calculé par PNUÉ/GRID-Genève

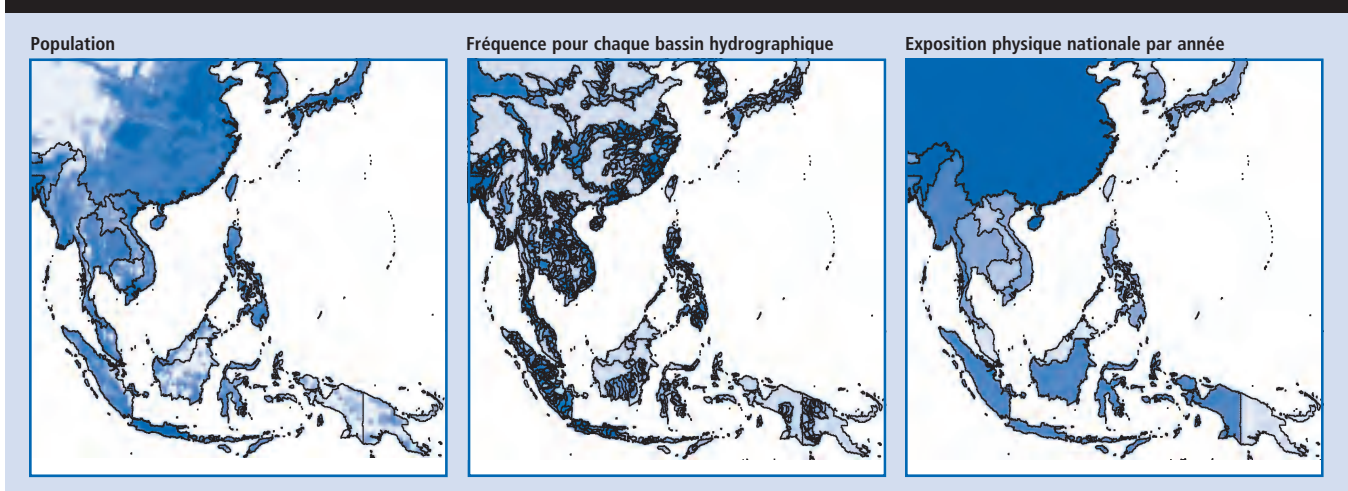
cette base de données ne couvre pas la période étudiée (du moins au moment de l'analyse). En raison du manque d'information sur la durée et la gravité des inondations, une seule catégorie d'intensité a été établie. Utilisant la base de données EM DAT, une géo-référence de chaque inondation enregistrée a été produite, et le bassin hydrographique lié à chaque inondation a été identifié. Les bassins hydrographiques affectés ont été cartographiés pour la période 1980-2000. Une fréquence annuelle a été calculée pour chaque bassin hydrographique, en divisant le nombre total d'événements par le chiffre de 21 années. Les bassins ont ensuite été divisés pour suivre les frontières entre les pays. Puis la population a été extraite et multipliée par la fréquence de l'événement.

Considérant les limitations inhérentes à un modèle fondé sur la mortalité, deux contraintes clefs ont entravé la mesure des risques d'inondation.

Premièrement, il reste à affiner le calcul de l'exposition et de la vulnérabilité des populations dans la formulation de l'IRC. L'utilisation des bassins hydrographiques affectés par les inondations en vue de délimiter les aléas surestime l'étendue des zones exposées aux inondations, et donc surestime en conséquence l'exposition humaine et diminue les indicateurs indirects de vulnérabilité.

Deuxièmement, en l'absence de données historiques sur les phénomènes d'inondation, les probabilités annuelles relatives

## SCHÉMA T.5 POPULATION, FRÉQUENCE ET EXPOSITION PHYSIQUE POUR LES INONDATIONS



**TABLEAU T.7 DÉFINITION DE LA SÉCHERESSE**

Durée	Gravité
3 mois	90% des précipitations médianes 1979-2001 (-10%)
3 mois	75% des précipitations médianes 1979-2001 (-25%)
3 mois	50% des précipitations médianes 1979-2001 (-50%)
6 mois	90% des précipitations médianes 1979-2001 (-10%)
6 mois	75% des précipitations médianes 1979-2001 (-25%)
6 mois	50% des précipitations médianes 1979-2001 (-50%)

aux inondations devraient être fondées sur des modèles hydrologiques plutôt que d'être inférés par des données relatives aux inondations dans la base de données EMDAT.

#### T.4.5 Le cas des sécheresses

##### Identification des sécheresses

Les données utilisées dans cette analyse ont été tirées du maillage des précipitations mensuelles pour le monde, pour la période 1979-2001. Ce set de données a été fondé sur un mélange d'observations des stations au sol et d'estimations de précipitations enregistrés par des satellites. La première étape de l'évaluation de l'exposition pour la sécheresse météorologique a été de calculer, pour chaque mois de l'année, la précipitation médiane pour tous les points de grille, entre les latitudes 60S et 70N sur la période de base 1979-2001 (la période de 23 ans pour laquelle les données étaient disponibles). Puis, pour chaque point de grille, le pourcentage des précipitations médianes à long terme a été calculé pour chaque mois au cours de la période entre janvier 1980 et décembre 2000. Pour un mois donné, les points du maillage correspondant aux précipitations médianes à long terme de moins de 0,25 mm/jour ont été exclus de l'analyse. Des

précipitations médianes aussi basses peuvent intervenir soit au cours de la « saison sèche » dans un endroit déterminé, soit dans les régions désertiques. Dans les deux cas, notre définition de la sécheresse n'est pas applicable.

On considère l'existence d'un phénomène de sécheresse météorologique lorsque le pourcentage des précipitations médianes est égal ou inférieur à un seuil donné pour au moins trois mois consécutifs. Les différents seuils considérés ont été de 50%, 75% et 90% des précipitations médianes à long terme, le pourcentage le plus faible indiquant la sécheresse la plus grave, selon cette méthode. Le nombre total d'événements au cours de la période 1980-2000 a donc été déterminé pour chaque point du maillage, et les résultats furent ensuite utilisés pour le reste de l'analyse.

##### Calcul de l'exposition physique

Utilisant le groupe de données de l'IRI/Université de Columbia, l'exposition physique a été estimée en multipliant la fréquence des aléas par la population vivant dans une zone exposée. Les événements ont été identifiés en utilisant différentes mesures, fondées sur la gravité et la durée telle que décrite dans le Tableau T.7. Pour chacune des six définitions, la fréquence a alors été obtenue en divisant le nombre d'événements par 21 années, produisant ainsi une fréquence annuelle moyenne des événements.

## T.5 Analyse statistique : Méthodes et résultats

### T.5.1 Définition d'un modèle multiplicateur

L'analyse statistique est fondée sur deux hypothèses de base. Premièrement, que le risque peut être estimé par le nombre de victimes durant événements intervenus par le passé. Deuxièmement, que l'équation du risque suit un modèle multiplicateur, comme dans l'Équation 8.

Utilisant les propriétés logarithmiques, l'équation a été reformulée tel que suit (Équation 9).

Cette équation établit une relation linéaire entre des groupes de données logarithmiques. Cela permet de déterminer des paramètres socio-économiques significatifs  $V_i$  (avec des transformations lorsque cela est approprié) et des exposants  $\alpha_i$  en utilisant des régressions linéaires.

### ÉQUATION 8 ESTIMATION DU NOMBRE DE DÉCÈS

$$\text{EQ 8 } T = C \cdot (\text{ExpPh})^{\alpha} \cdot V_1^{\alpha_1} \cdot V_2^{\alpha_2} \dots \cdot V_p^{\alpha_p}$$

Où

T est le nombre de personnes décédées du fait d'un certain type d'aléa

C est la constante multiplicative

ExpPh est l'exposition physique: la population vivant dans les zones exposées multipliée par la fréquence de l'intervention de l'aléa

$V_i$  sont les paramètres socio-économiques

$\alpha_i$  est l'exposant de  $V_i$ , qui peut être négatif (pour le ratio)

### ÉQUATION 9 PROPRIÉTÉS LOGARITHMIQUES

$$\text{EQ 9 } \ln(T) = \ln(C) + \alpha \ln(\text{ExpPh}) + \alpha_1 \ln(V_1) + \alpha_2 \ln(V_2) + \dots + \alpha_p \ln(V_p)$$