

# **Analyse et gestion de risque**

*Risk Analysis and Management*

**Semaine 5 : Conséquences et représentation**

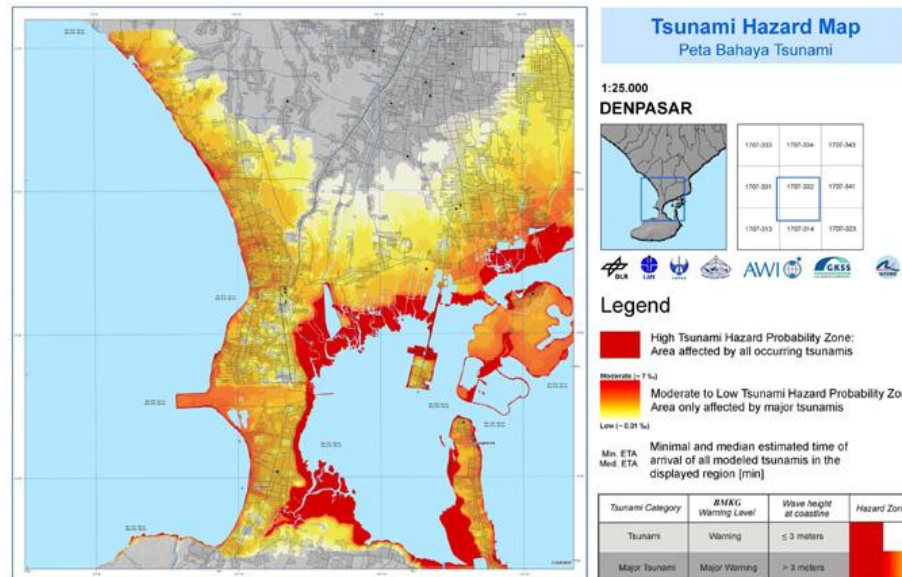
**Chapitre 2/2**

## Évaluation de l'aléa

**Aléa** : probabilité qu'un phénomène accidentel produise en un point donné des effets d'une intensité donnée, au cours d'une période déterminée

Exemple : à un endroit donné, il existe 1 chance sur 100 par an qu'une inondation engendre une hauteur de 50 cm d'eau

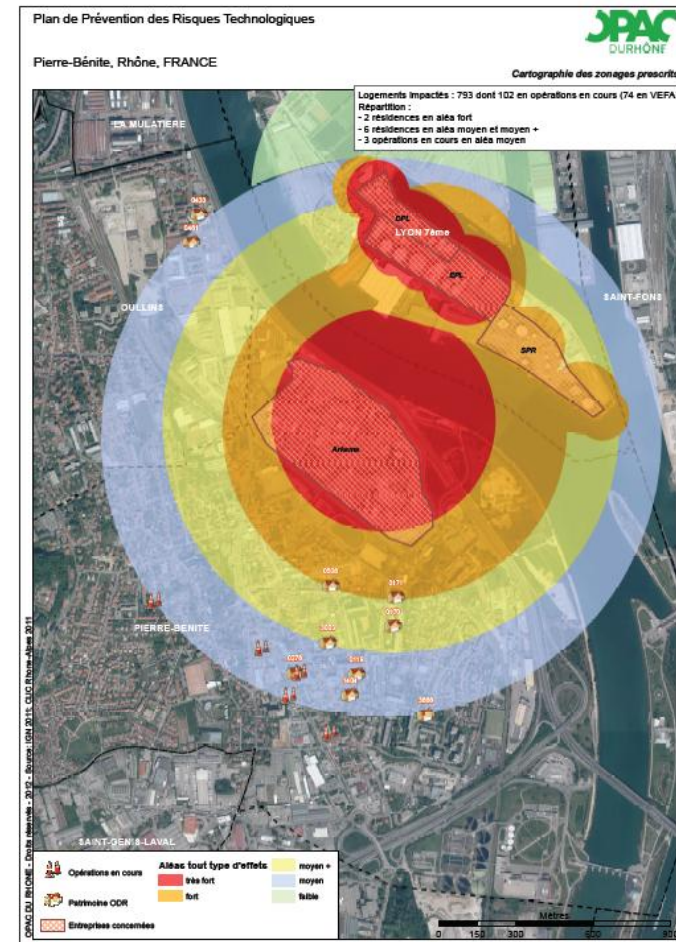
La probabilité des aléas varie d'un endroit à l'autre → méthode usuelle pour l'illustrer = carte des aléas



## Quantification de l'aléa / danger

En toute rigueur : carte des aléas → en 1 point donné, probabilité de survenance d'un niveau de danger considéré

Dans la pratique, carte des aléas = carte des dangers → en 1 point donné, intensité d'un danger (pour une probabilité donnée, ex. crue décennale, centennale...)



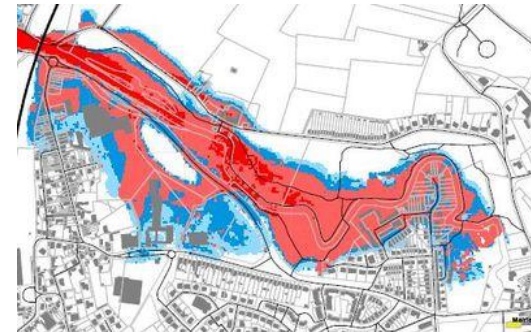
## Quantification de l'aléa

### Exemples :

**Aléas d'inondations** : surfaces maximales d'inondations, selon différentes périodicités (crues décennales, centennales, etc.)

**Aléas des volcans** : moins facilement quantifiables.

- Zone **d'aléa 1** (environ 20 km de diamètre) : exposition aux projections pyroclastiques (débris volcaniques projetés à travers les airs) et aux flots de lave
- Zone **d'aléa 2** : parties de la pente inférieure du volcan = passages pour les écoulements de boue



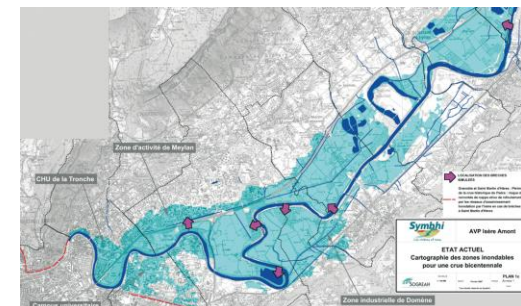
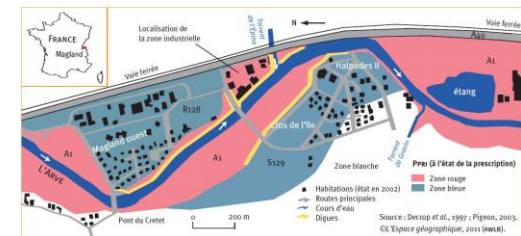
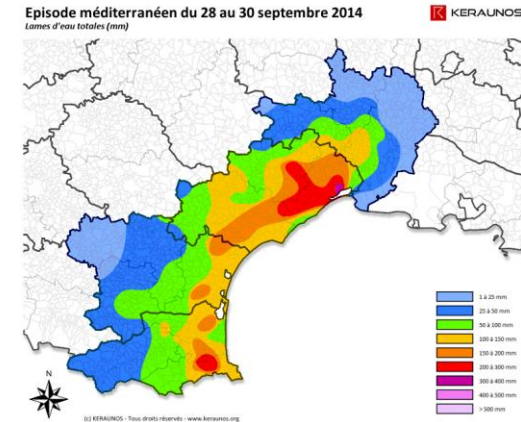
## Quantification de l'aléa

Échelle appropriée pour les cartes des aléas dépend à la fois de :

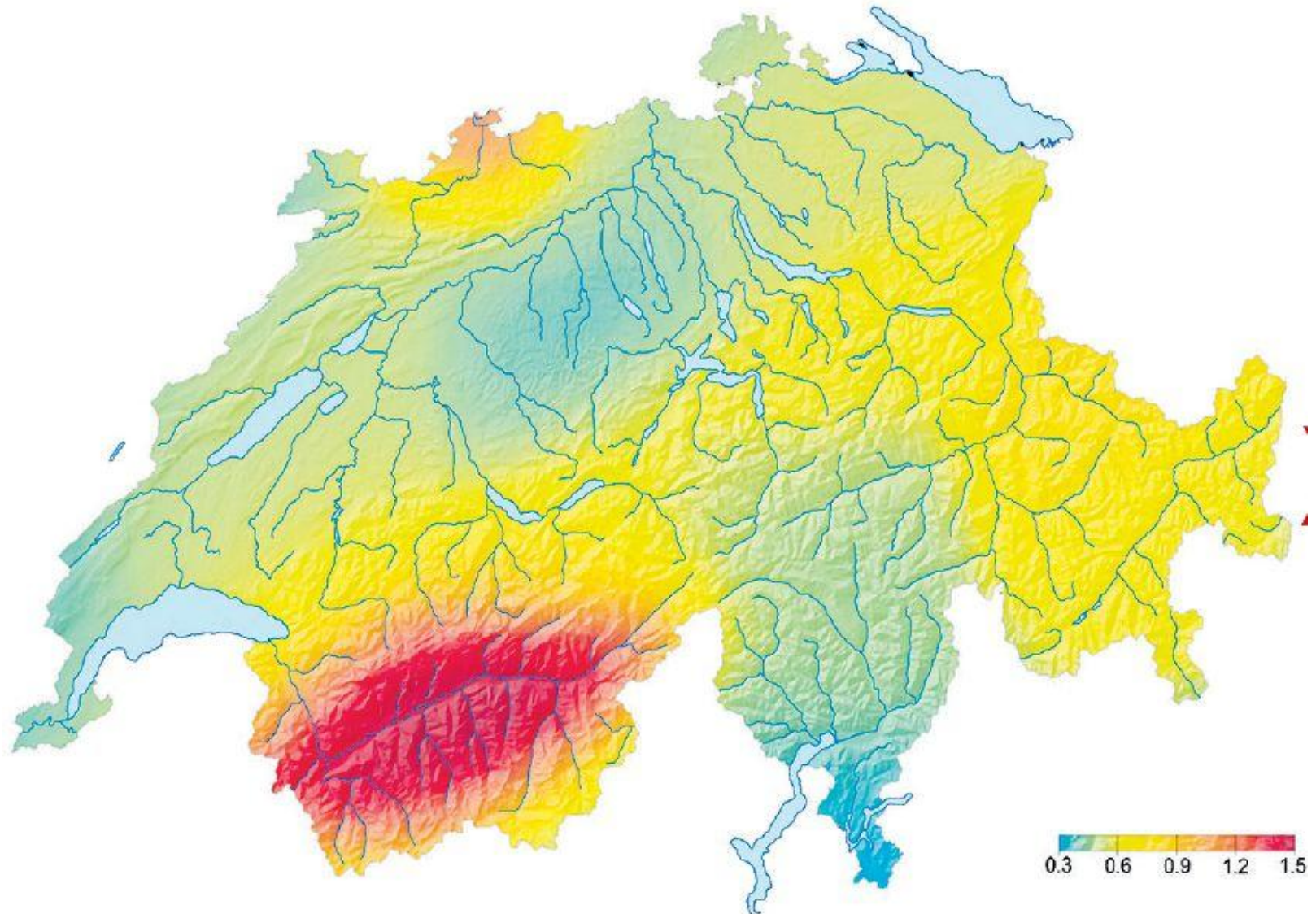
- leur futur usage
- la quantité et la nature des données disponibles

Aujourd'hui, la connaissance de la répartition dans l'espace de certains aléas (glissements de terrain, inondations...) a atteint un tel niveau que les risques courus par **une petite communauté** peuvent être reportés sur une carte

De telles cartes **de micro-zones** jouent un rôle important dans la **planification de l'usage du sol**. Ces cartes peuvent être basées sur **un seul aléa** ou tenter de combiner les impacts de **plusieurs aléas différents**



## Évaluation de l'aléa - Cartes de danger



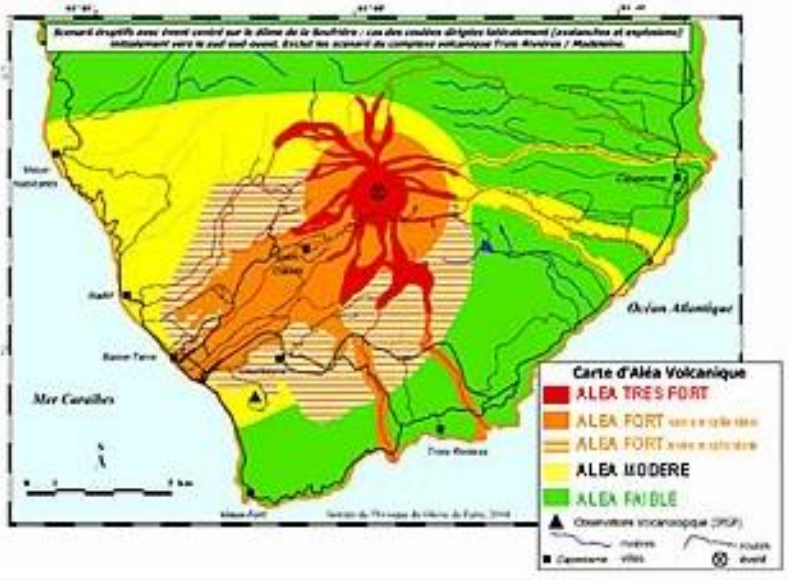


# Évaluation de l'aléa - Cartes de danger

Cartographie de l'aléa :  
 Plusieurs scénarii éruptifs

(c) 2005 IPGP, modifié d'après [Komorowski et al., 2004]

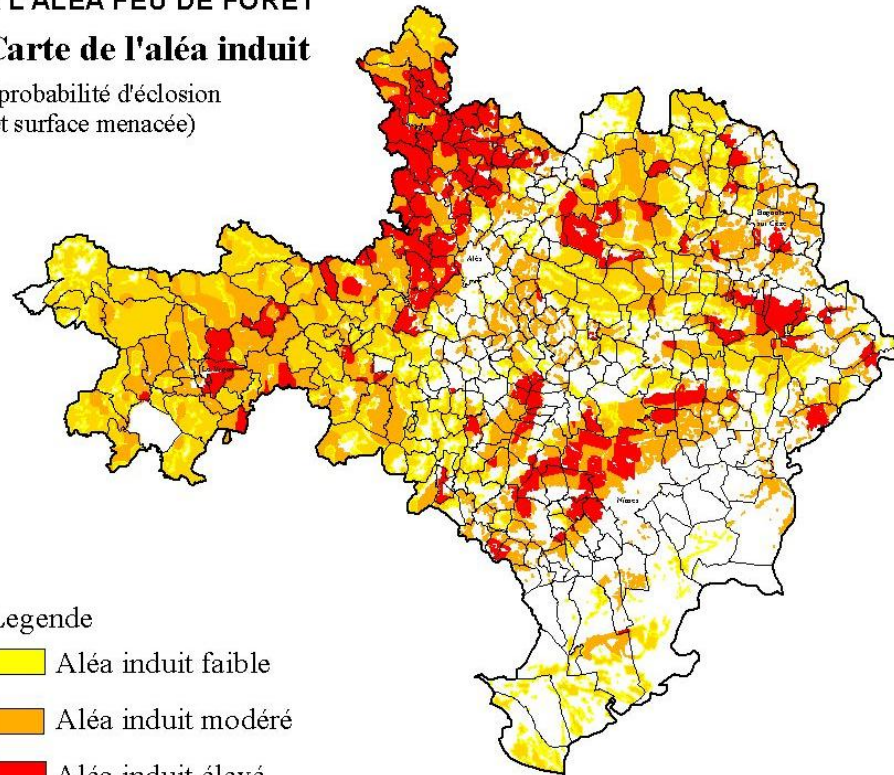
IPGP



Département du Gard  
 ATLAS DEPARTEMENTAL  
 DES ZONES EXPOSEES  
 A L'ALEA FEU DE FORET

## Carte de l'aléa induit

(probabilité d'écllosion  
 et surface menacée)



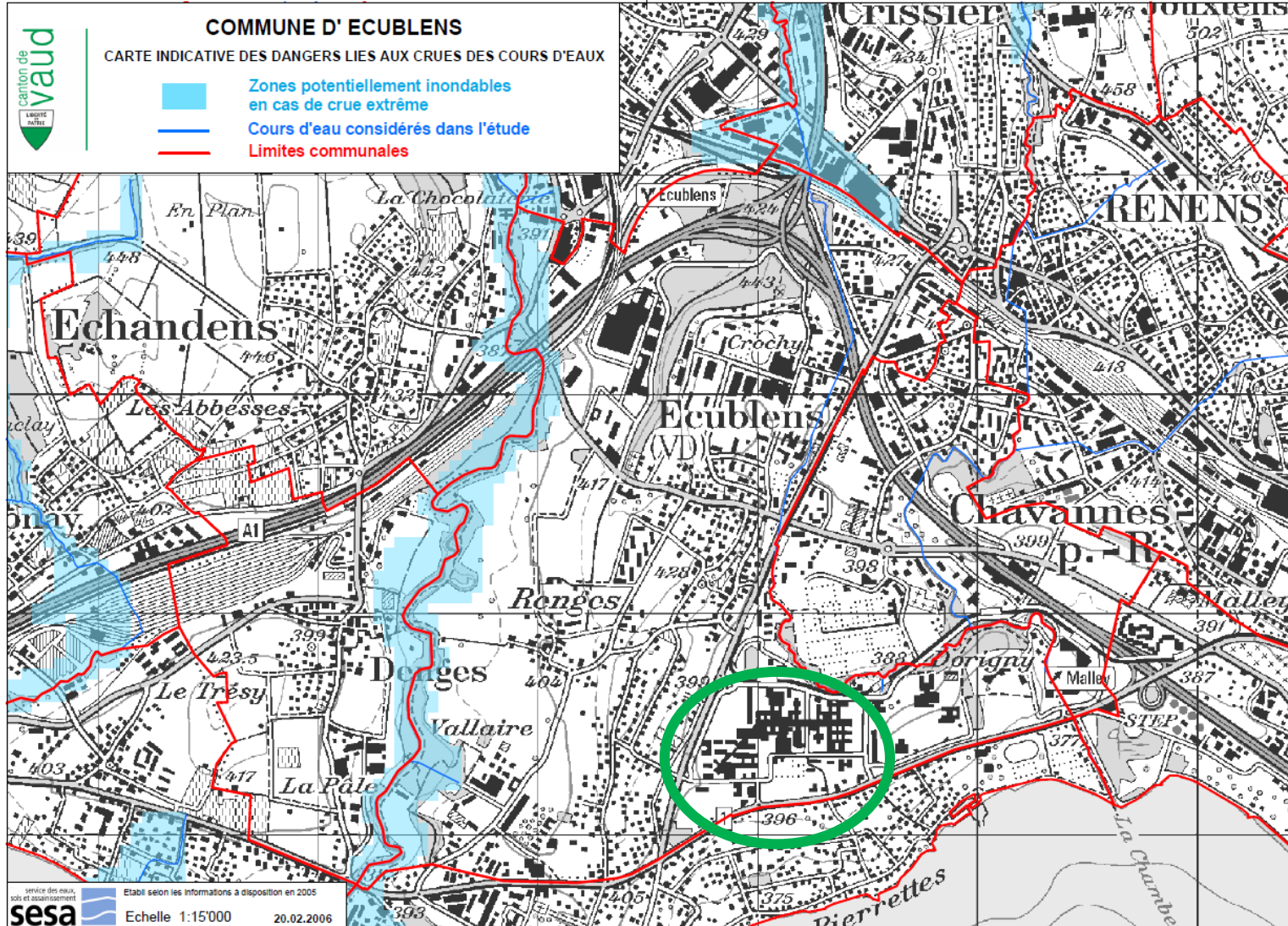
Legende

- Aléa induit faible
- Aléa induit modéré
- Aléa induit élevé



# Évaluation de l'aléa - Cartes de danger

<http://www.vd.ch/themes/environnement/eaux/rivieres/dangers-naturels/cartes-indicatives-des-dangers/>



# Évaluation de l'aléa - Cartes de danger



PPRT de Grandpuits-Bailly-Carrois, Aubepierre-Ozouer-le-Repos, Quiers (77) (TOTAL & GPN)  
 Carte d'aléa des effets thermiques - BLEVE des wagons-citerne en probabilité D et E



Sources: Cartographies IGN 2003  
 Dossier: Calculs du\_20100330\_2 / Calculs du\_20110414\_1\_Bleve\_wagons\_E  
 Rédaction/Édition: DRIEE Ile-de-France / LB

300 m



## Évaluation de l'aléa - Cartes de danger

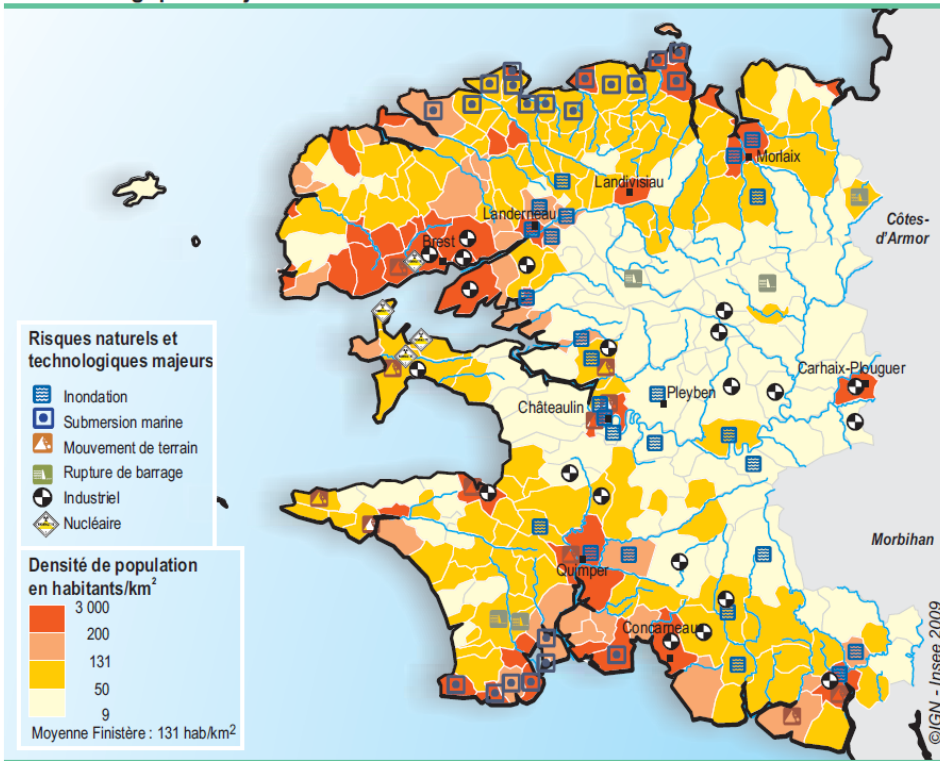
| Intensité des Effets  | Très grave (létalement significatif 5%) |        |     | Grave (létalement 1%) |        |     | Significatif (irréversible) |        |     | Indirect |
|-----------------------|---|--------|-----|-----------------------|--------|-----|-----------------------------|--------|-----|----------|
|                       | >D                                      | 5E à D | <5E | >D                    | 5E à D | <5E | >D                          | 5E à D | <5E | Tous     |
| Cumul des PhD & Proba | >D                                      | 5E à D | <5E | >D                    | 5E à D | <5E | >D                          | 5E à D | <5E | Tous     |
| Niveau d'aléa         | TF+                                     | TF     | F+  | F                     | M+     | M   | Fai                         |        |     |          |

- Interdit**
- Interdit** sauf infrastructures ou extension industrielle sous réserve
- Autorisé avec prescriptions**  
ERP et habitat collectif proscrits
- Autorisé**  
sauf certains ERP

|                     |                               | Niveau d'aléa | TF+ | TF | F+ | F | M+ | M | Fai |
|---------------------|-------------------------------|---------------|-----|----|----|---|----|---|-----|
| Urbanisation future | Effets toxiques et thermiques |               |     |    |    |   |    |   |     |
|                     | Effets de surpression         |               |     |    |    |   |    |   |     |

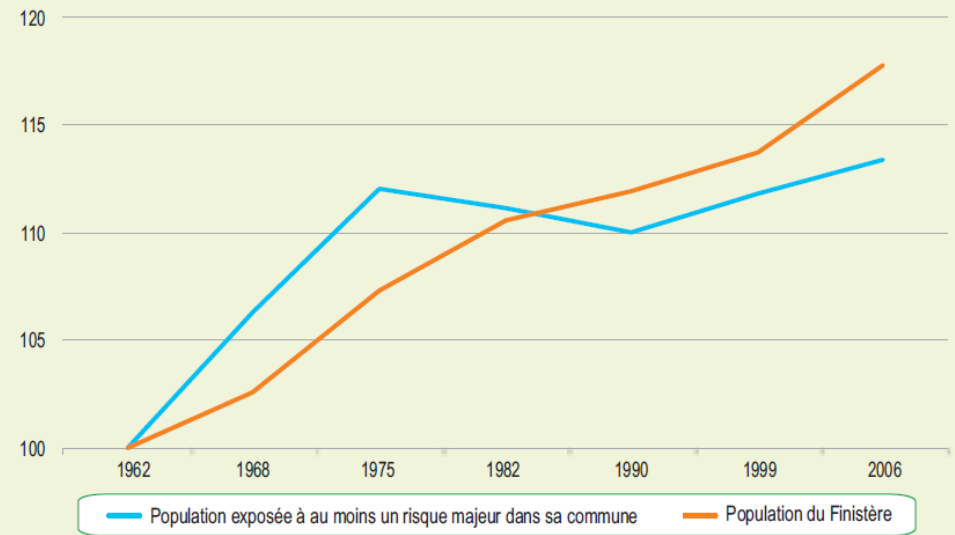
# Évaluation de l'aléa - Cartes de danger

Répartition géographique des risques naturels et technologiques majeurs dans le Finistère en 2008



Source : préfecture du Finistère - Insee, recensement de la population 2006 (exploitation principale)

Évolution de la population dans les communes classées à risques majeurs en 2008 (base 100 en 1962)



Source : préfecture du Finistère - Insee, recensements de population

## Évaluation de la **vulnérabilité**

2 étapes dans la détermination de la vulnérabilité (indépendantes) :

- 1) **Recensement des éléments menacés** : identification et inventaire des personnes / bâtiments / autres éléments qui seraient affectés par l'aléa, s'il se concrétisait
- 2) **Détermination de leur vulnérabilité** : quels dommages ces éléments subiraient s'ils avaient à subir un certain niveau de désastre

## Évaluation de la vulnérabilité

**Vulnérabilité** : propre à chaque élément menacé

Vulnérabilité = relation entre la **sévérité de l'aléa** et le **niveau des dommages causés**



## Évaluation de la vulnérabilité

La vulnérabilité est une "tendance des cibles à être **endommagées** par les aléas"

La *vulnérabilité* est définie par le **degré de perte** subi par un élément exposé à un risque, imputables à un aléa donné

Elle est en général exprimée en **% de perte** (ou indice entre 0 et 1) pour un niveau donné de sévérité d'un aléa

La mesure utilisée **dépend de l'élément menacé**; elle peut par exemple être mesurée par la proportion de personnes tuées ou blessées par rapport à la population totale :

*"5% tués et 20% blessés par un séisme d'intensité VIII"*



## Évaluation de la vulnérabilité

Pour la **construction**, la perte peut être définie en termes de proportion des bâtiments ayant subi un certain niveau de dommage.

La **vulnérabilité** d'un groupe de bâtiments à un ouragan de 130 km/h peut être définie ainsi :

*"20% des bâtiments subissant de lourds dommages ou pire, sous l'effet de vents de 130 km/h"*

Ou :

*"taux moyen de 5% de coûts des réparations sous l'effet de vents de 130 km/h"*



## Évaluation de la vulnérabilité

### Japon

- Magnitude du séisme du 11 mars 2011 : **9** sur l'échelle de Richter par l'Institut de géophysique américain (USGS)
- Epicentre : dans l'océan, à **130 km** à l'est de Sendai et 300 km de Tokyo.



### Haïti (île d'Hispaniola)

- Magnitude du séisme du 12 janvier 2010 : entre **7 et 7,3** sur l'échelle de Richter.
- Epicentre : Léogane, **16 km** au sud-ouest de la ville de Port-au-Prince



## *Évaluation de la vulnérabilité*

### Japon

Environ **18'000 morts** (dont 90% provient du tsunami consécutif au séisme)

### Haïti

Environ **230'000 morts**, mais le nombre de morts n'est pas connu avec exactitude : en effet, dans les jours qui ont suivi le séisme, des Haïtiens ont été enterrés par milliers dans des fosses communes. Or, une partie de la population n'a pas de papiers d'identité.

Selon le gouvernement haïtien : 1,2 million de sans-abri.



## Évaluation de la vulnérabilité

### Japon

Selon Crédit Suisse : environ **171 milliards €**

(Nota = PIB Ukraine)

### Haïti

- La Banque interaméricaine de développement a estimé le coût total à une fourchette comprise entre **6 et 10 milliards €**
- **400 000 bâtiments** ainsi que **180 000 maisons** ont été rasés
- 60% de bâtiments gouvernementaux, administratifs, économiques et infrastructures de base sont détruits dans la région de Port-au-Prince
- Un an plus tard, on ne dénombre que **1000 maisons** reconstruites, 800'000 personnes sont encore sans abris, vivant dans 1150 camps



## Évaluation de la vulnérabilité

*Pourquoi ces différences ?*

### Japon :

- subit chaque année environ **20% des séismes** les plus violents recensés sur Terre
- **3<sup>ème</sup> puissance économique mondiale**, le Japon a eu les moyens de faire de la **lutte anti-sismique** une priorité. Les normes de construction ainsi que les techniques parasismiques et systèmes d'alerte au tsunami sont très avancés



### Haïti :

- **Pays le plus pauvre** de l'Amérique et l'un des plus pauvres au monde, avec un PNB par habitant de **520 €** en 2008 contre **28'000 €** pour le Japon selon l'ONU



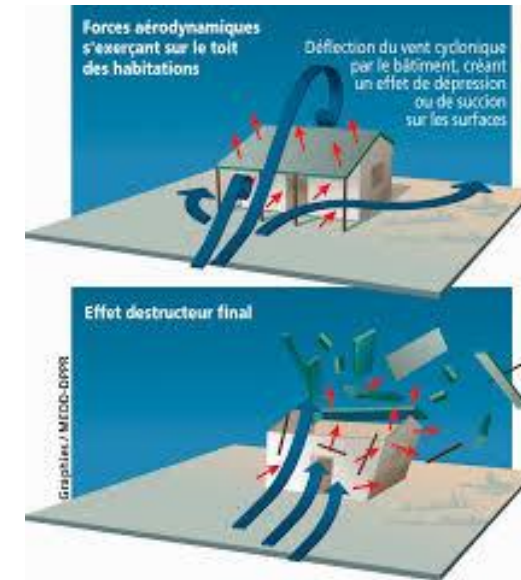
## Évaluation de la vulnérabilité

Sévérité croît → niveau des dommages va croître aussi

Ex :

- Vents à 130 km/h → 20% de bâtiments subissent de lourds dommages
- Vents à 160 km/h → 50% de bâtiments...

C'est l'ingénieur spécialiste qui va déterminer cette relation de vulnérabilité aléa ↔ dommages



## Évaluation de la vulnérabilité

Expression complète de la vulnérabilité : **niveau des dommages** devrait être défini pour **tous les niveaux de sévérité de l'aléa**.

Lorsque c'est possible, une **fonction continue**, conjuguant les valeurs des dommages et les valeurs de la sévérité de l'aléa, peut être définie graphiquement :

- Par **l'observation, l'analyse du retour d'expérience**
- Par **le calcul**, mathématiquement sous forme d'une équation

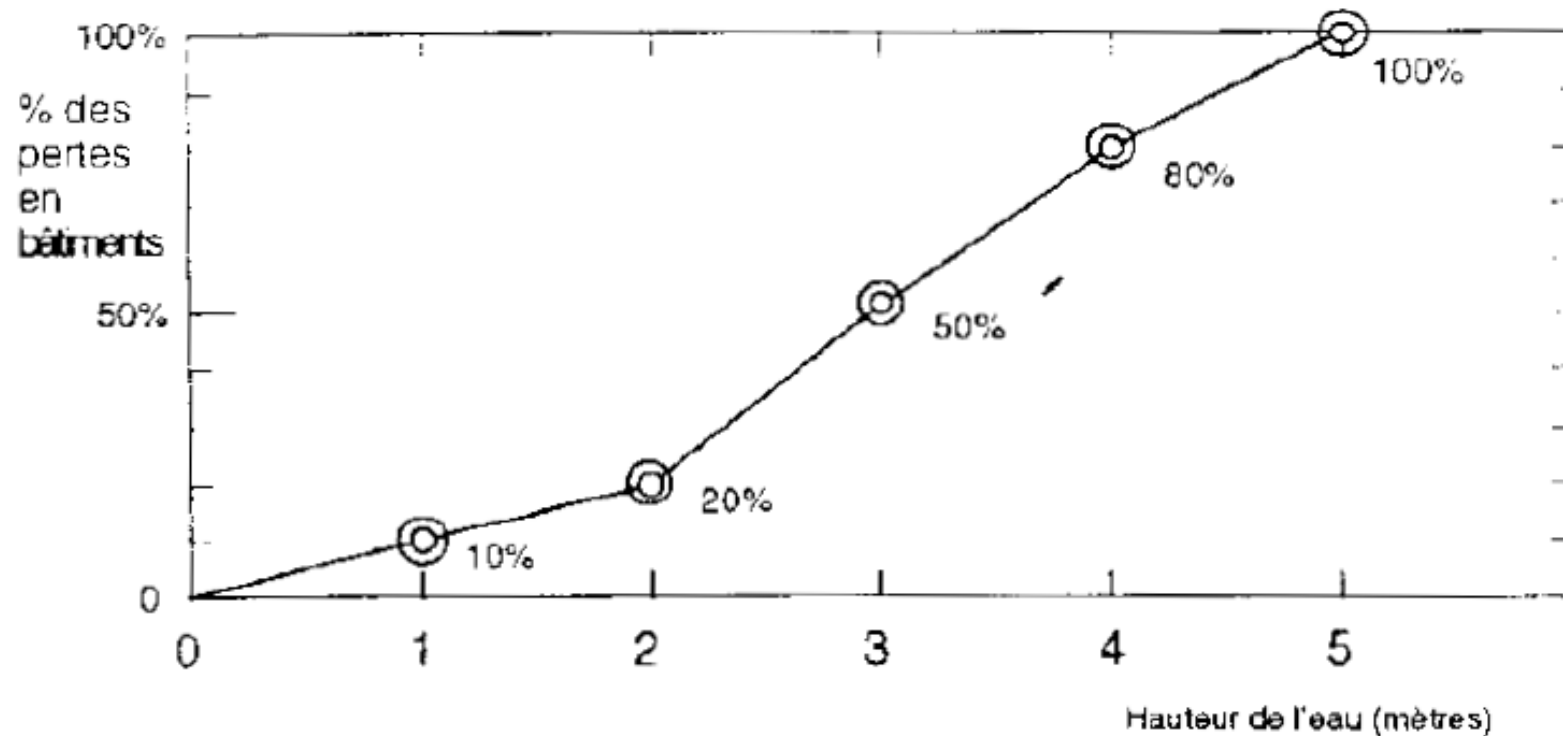


$$\begin{aligned}
 Q &= mc\Delta t & R &= \frac{U}{2} & v &= \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)} & \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} &= \mu_0 \sum I_i \\
 \beta &= \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} & E &= \frac{1}{2} \rho v^2 & \omega &= 2\pi f & \vec{C} &= \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \Phi = \frac{\sum I_i \mu_0 \Delta l_i}{\lambda} \\
 f_0 &= \frac{1}{2\pi R L} & \vec{S} &= \frac{1}{\mu_0} (\vec{E} \times \vec{B}) & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I} & \vec{p} &= \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \Phi = \frac{\sum I_i \mu_0 \Delta l_i}{\lambda} \\
 R &= \rho \frac{v}{f} & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I} & \vec{p} &= \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \Phi = \frac{\sum I_i \mu_0 \Delta l_i}{\lambda} & v &= c/\lambda \\
 F_v &= \int \frac{F_n}{R} & E &= mc^2 & E &= h\nu & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I} \\
 \sigma &= \frac{Q}{S} & I &= U^2 \left[ \frac{1}{R^2} + \left( \frac{v}{c} - \frac{1}{v} \right)^2 \right] & F_g &= \frac{m_1 m_2}{r^2} & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I} \\
 M &= Fd \cos \alpha & T &= \frac{h}{\lambda} & E &= \frac{h^2 k^2}{2m} & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I} \\
 \oint \vec{D} \cdot d\vec{S} &= Q^* & F_h &= Shp g & F_h &= \frac{m_1 m_2}{r^2} & \vec{A} &= \frac{\vec{L} \cdot \vec{m}}{I}
 \end{aligned}$$

## Évaluation de la vulnérabilité

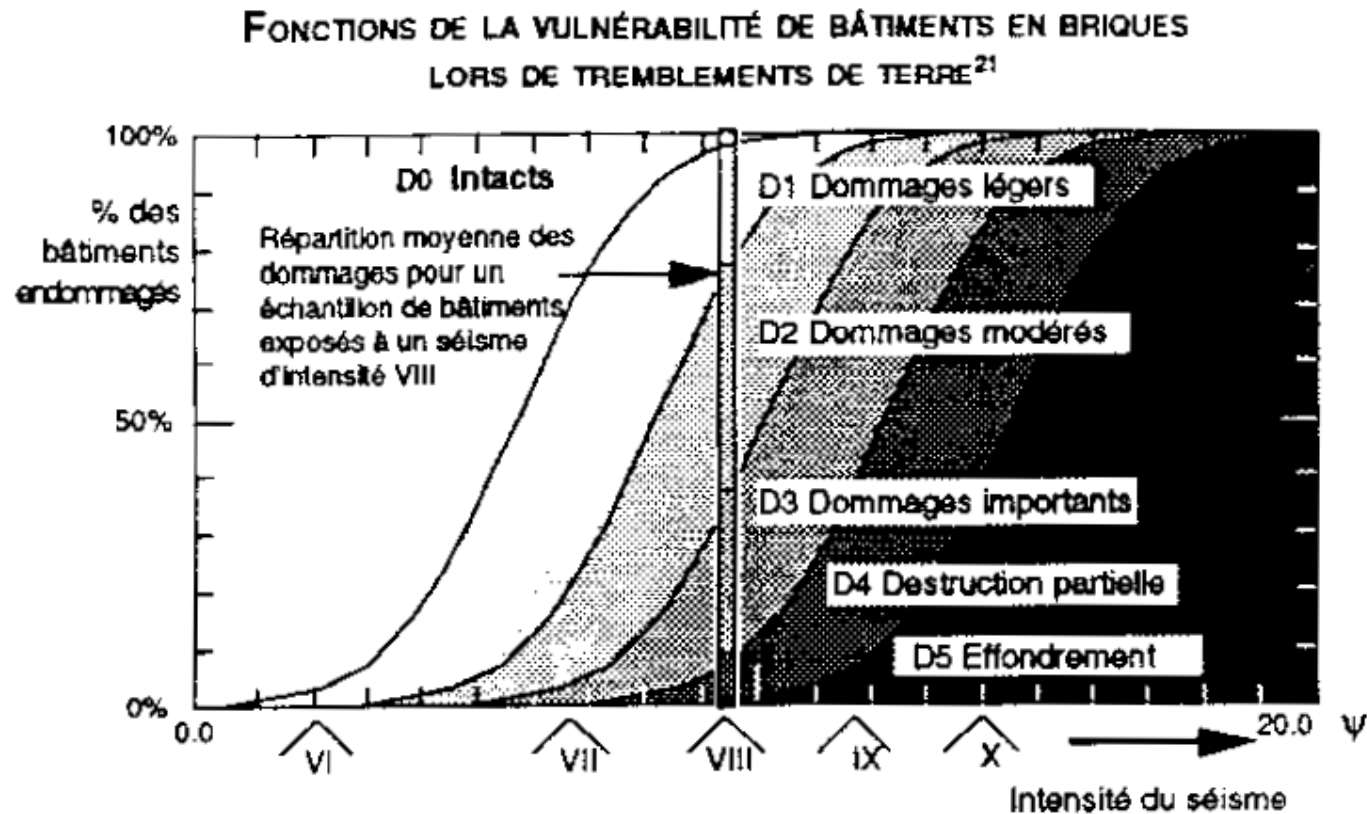
Exemple vulnérabilité relative de bâtiments par rapport à la sévérité d'inondations (statistiques sur les dommages)

FONCTION DE LA VULNÉRABILITÉ DE BÂTIMENTS  
AFFECTÉS PAR DES INONDATIONS<sup>22</sup>



## Évaluation de la vulnérabilité

Exemple vulnérabilité relative d'un type de bâtiments par rapport à la sévérité de séismes (statistiques sur les dommages)



## Cartes

Carte des **dangers** : répartition spatiale d'un **aléa / danger**

Carte des **gravités** : répartition spatiale des **conséquences**  
→ **aléa + (cibles + vulnérabilité)**

Carte des **risques** : répartition spatiale des **risques**  
→ **aléa + (cibles + vulnérabilité) + fréquence**

## Cartes – Exemple risque sismique en Turquie

Carte des dangers et exposition établies à partir de :

- Carte d'aléa du tremblement de terre en terme d'intensité, basé sur des informations historiques
- Carte des cibles/éléments menacés : population (cercles dont la surface correspond à la population). Information tirée des données du recensement national.

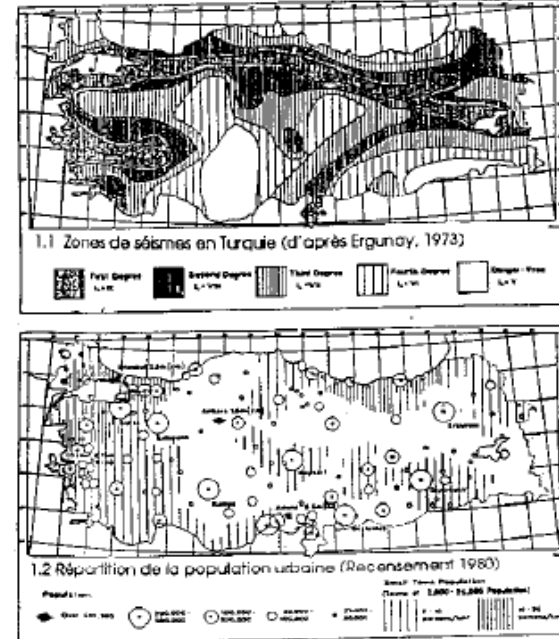


Figure 6  
 Exemple 2: Etude des pertes  
 potentielles

1  
 Aléa

2  
 Eléments menacés  
 (Population)

## Cartes

- **Carte de la vulnérabilité** : les décès sont causés par **l'effondrement des bâtiments**.  
 Vulnérabilité des bâtiments  $\leftrightarrow$  type de construction. Classification en 3 types (analyse des séismes passés) :
  - **Type A** : murs en moellons et adobes (1% s'effondre à l'intensité VII, 5% à VIII, 50% à IX)
  - **Type B** : murs en briques et poutres (1% s'effondre à l'intensité VIII, 5% à IX)
  - **Type C** : structure en béton armé (5% s'effondre à IX)

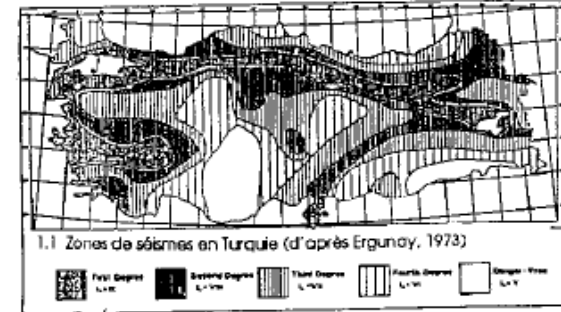
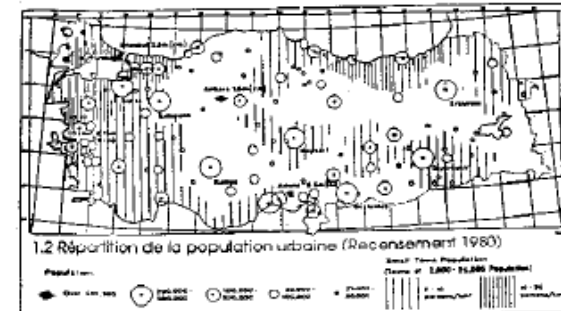
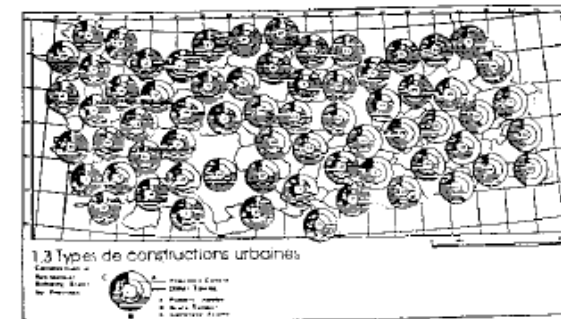


Figure 6  
 Exemple 2: Etude des pertes potentielles

1  
 Aléa



2  
 Eléments menacés (Population)



3  
 Vulnérabilité

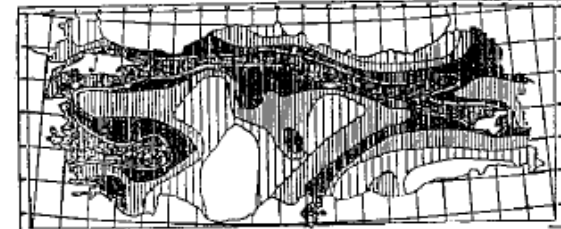
# Cartes

→ Carte des gravités : combinaison des 3 cartes précédentes pour chaque emplacement.

Niveau local de gravité =  $f(\text{nb personnes, \% de bâtiments effondrés selon intensité locale séisme})$

La représentation géographique des pertes potentielles permet d'identifier les **priorités pour une planification à l'échelle nationale**

Dans ce cas, les grandes villes de l'ouest présentent les pertes potentielles les plus élevées (**population plus nombreuse**) mais les pertes potentielles dans les grandes villes de l'est sont aussi significatives (**bâtiments plus fragiles**)



1.1 Zones de séismes en Turquie (d'après Ergunoy, 1973)

Figure 6  
 Exemple 2: Etude des pertes potentielles

1  
 Aléa



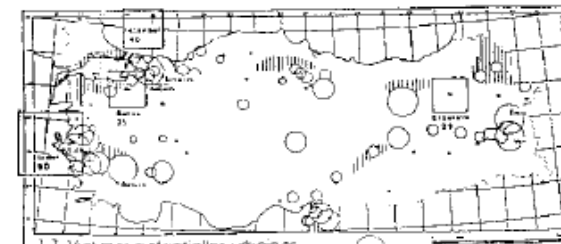
1.2 Répartition de la population urbaine (Recensement 1983)

2  
 Eléments menacés (Population)



1.3 Types de constructions urbaines

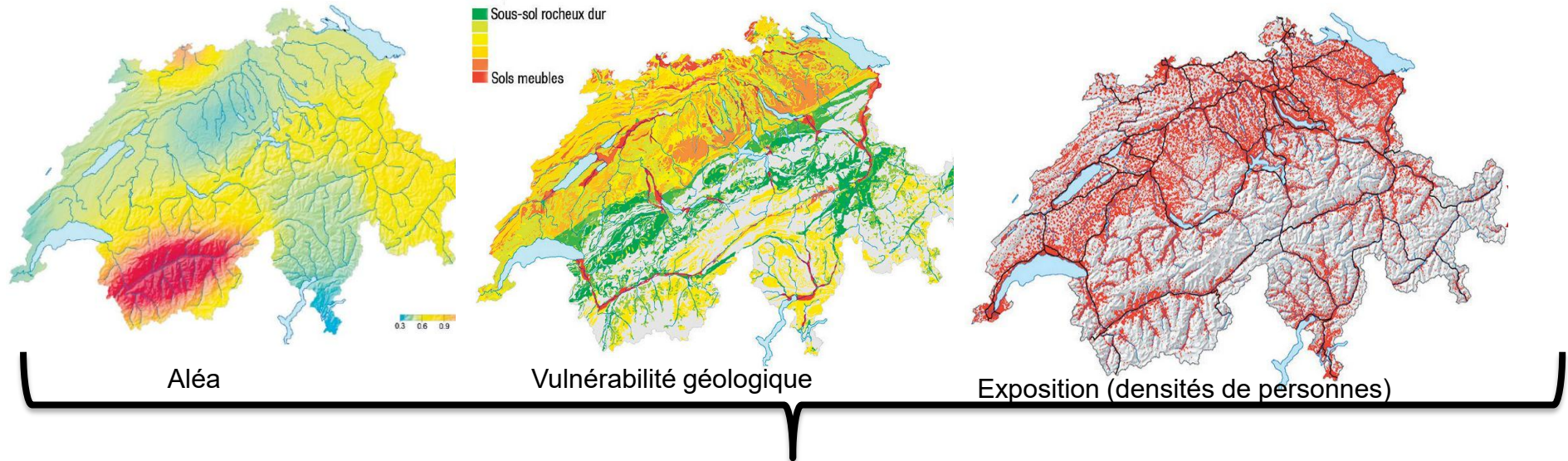
3  
 Vulnérabilité



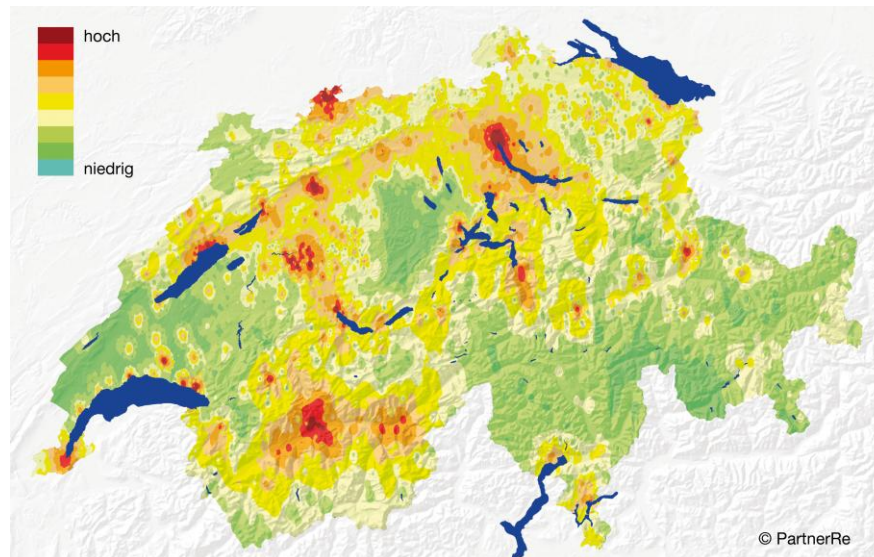
1.7 Vies mises potentielles urbaines

4  
 Risque Annuel (Pertes possibles de vies)

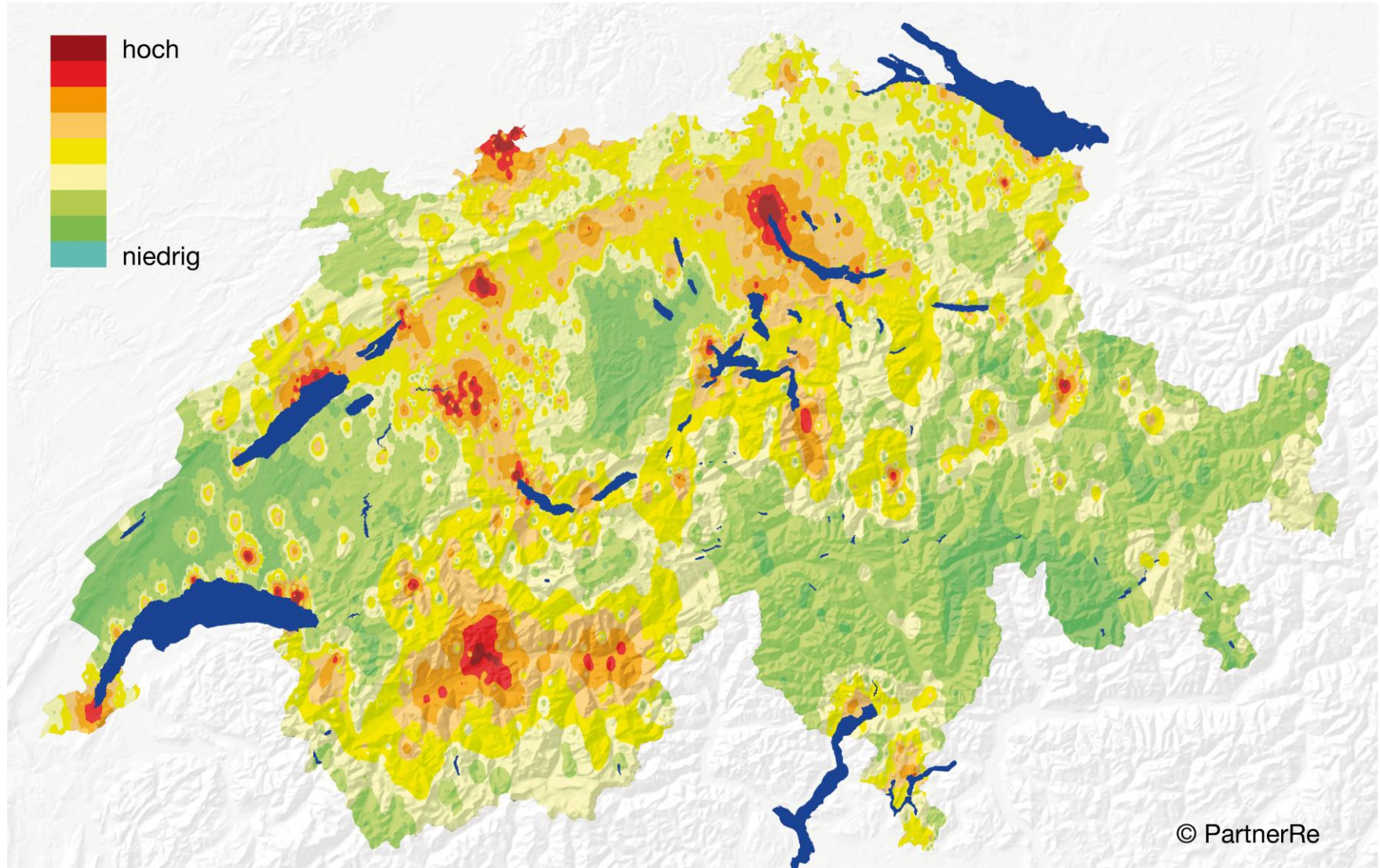
# Évaluation de l'aléa - vulnérabilité - exposition → conséquences (risque sismique en Suisse)



Le niveau de conséquences du risque sismique est la combinaison de l'aléa sismique (probabilité de survenue d'un séisme), de la nature du terrain, des valeurs exposées (densité de l'habitat) ainsi que de la vulnérabilité des bâtiments et des infrastructures.



## Cartes des gravités



## Limites de l'estimation des risques

Les manifestations **extrêmes** d'aléas naturels sont **difficiles à prévoir**. Elles se produisent de façon **irrégulière** : il y a très peu de processus récurrents accompagnant l'apparition d'aléas naturels

Parce qu'elles se produisent rarement, il n'existe pas un grand nombre de cas dans les bases de données → **prédiction statistique fondée sur les événements passés peu sûre**

Un volcan qui n'a été en éruption **qu'une fois le siècle dernier** n'est peut-être actif **qu'une fois tous les mille ans**; ou il peut avoir en moyenne une éruption **tous les cent ans**, et sa tranquillité récente se trouve être une longue pause exceptionnelle dans le rythme de ses éruptions.

Une estimation de la vraisemblance d'une autre éruption dans un proche futur demande ainsi beaucoup plus que cent ans de statistiques sur ses éruptions.



# **Exercice 5**

## **Conceptions de sécurité de tunnels routiers selon 3 normes nationales**