

# **Analyse et gestion de risque**

*Risk Analysis and Management*

**Semaine 5bis : Fréquences et gravité**

**Chapitre 1/2**

# Point sur le programme

No	Date	Descriptif	Ens.
1	04.11	<p><b>Introduction et Notions de base</b> Objectifs, organisation générale et évaluation du cours. Introduction au sujet des risques, échanges avec étudiants. Notion de gestion intégrée des risques. Le rôle des ingénieurs face au risque. Les types de risques. Courte histoire de la gestion des risques en ingénierie. Nature aléatoire des phénomènes &amp; sources d'incertitudes. Distributions et rappels de statistique. Approches déterministes et probabilistes. Méthodes de Monte Carlo</p>	RD
2	11.11	<p><b>Principes de l'analyse de risque</b> Phases de l'analyse et évaluation des risques. Événements et scénarios. Barrières de sécurité. Nécessité de l'analyse de risque (systèmes complexes, systèmes simples). Rôle de l'environnement. Analyse fonctionnelle. Organisation pratique de l'analyse de risque. Quels types de risques faut-il gérer ? Établissement de grilles de cotation. Cotation en fréquence / en gravité. Biais liés aux seuils. Limites et difficultés de l'analyse de risque <i>Intervention de J.Messerli et E.Garin – Gestion des incertitudes dans le Génie Civil</i></p>	RD
3	18.11	<p><b>Méthodes d'analyse de risque (partie I)</b> Les familles de méthodes (déductives / inductives, qualitatives / quantitatives). L'Analyse Préliminaire des Risques (APR). Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets et Criticité (AMDEC). HAZard and OPerability study (HAZOP)</p>	RD
4	25.11	<p><b>Méthodes d'analyse de risque (partie II) et estimation des conséquences</b> Arbres des causes (Arbre des défaillances). Arbres des événements. Le nœud papillon Évaluations des conséquences. Types de pertes. <u>Effets sur</u> : Milieux physiques et infrastructures, Écosystèmes, Santé et société, Économie. Vulnérabilité.</p>	RD
5	02.12	<p><b>Quantification et représentation des risques</b> Représentation de l'aléa. Cartes de risque et de danger Risque individuel / collectif. Fatal Accident Rate (FAR). Statistiques des catastrophes et accidents <i>Intervention K.Essyad – Gestion des risques naturels</i></p>	RD

# Contenu

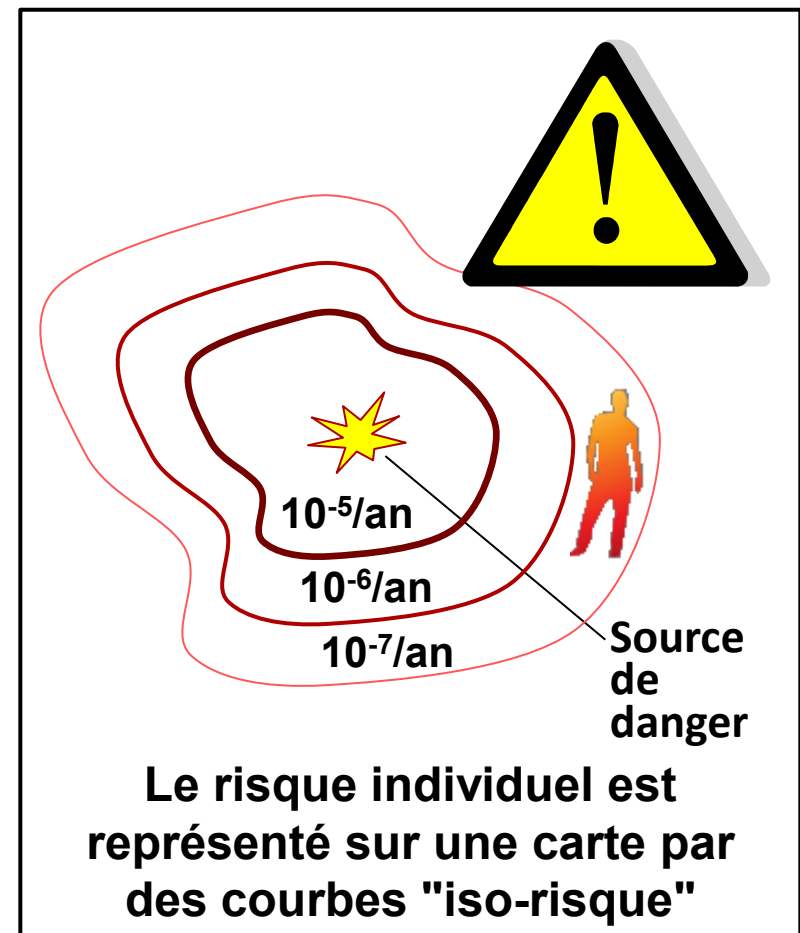
- **Risque individuel / collectif**
- **Fatal Accident Rate (FAR)**
- **Statistiques des catastrophes et accidents**

## Quantification du risque

## Risque individuel

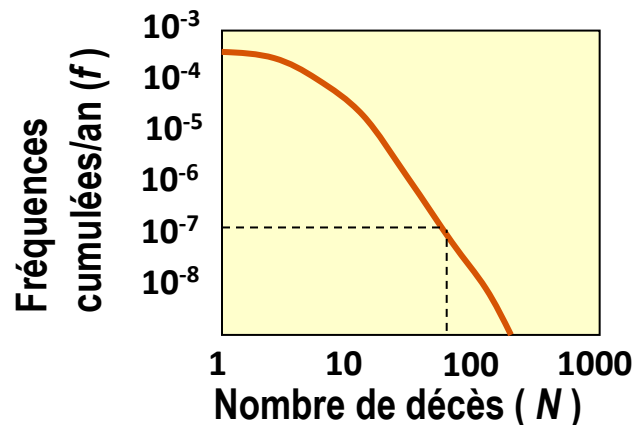
Le *risque individuel* est défini comme la probabilité annuelle qu'un citoyen, vivant en permanence près d'une source de danger, perde la vie suite à un accident

Le risque individuel dépend de la *position géographique* de cette personne (et de sa *vulnérabilité*), mais pas du *nombre de personnes* autour de la source de dangers



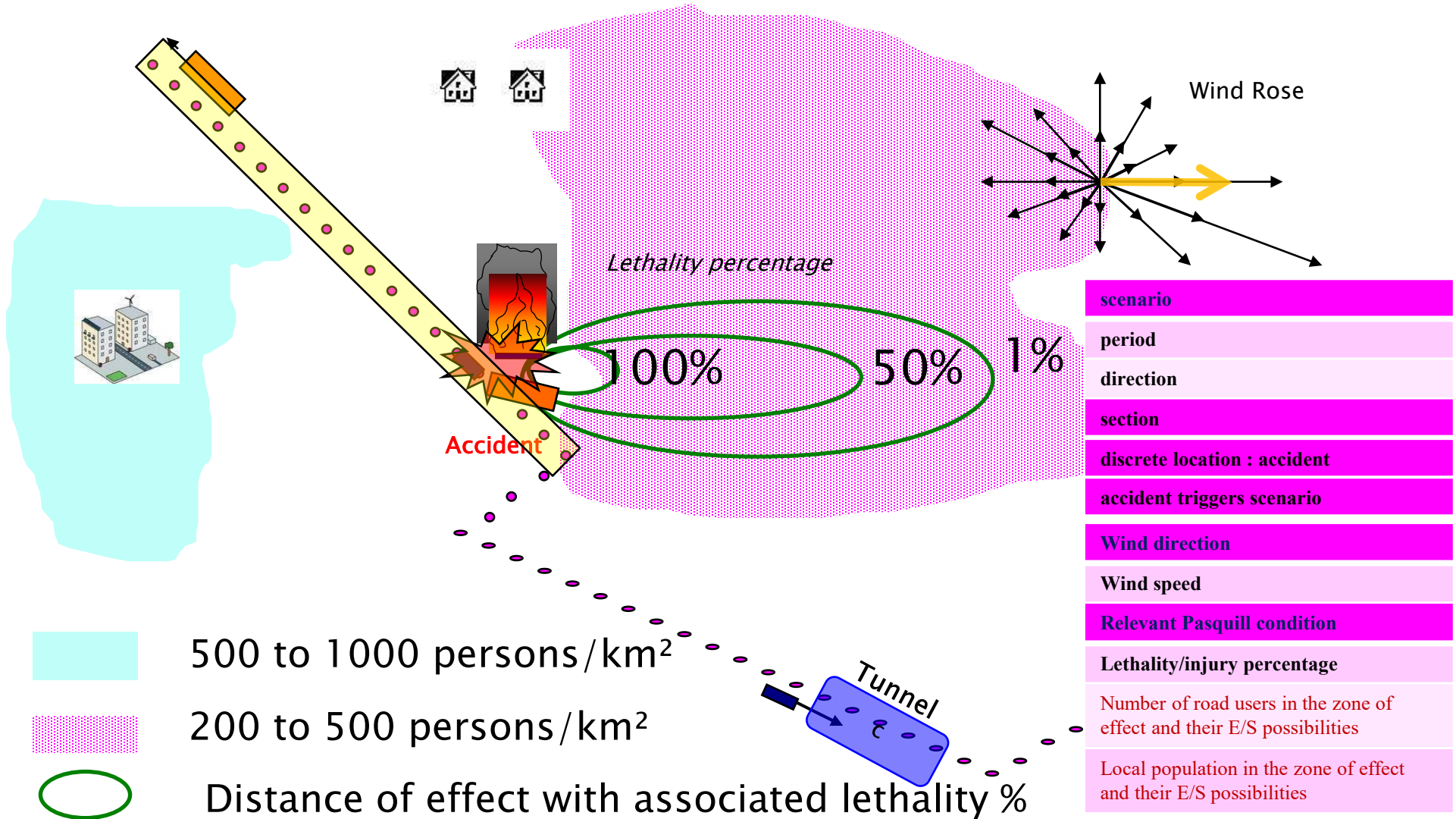
## Quantification du risque

## Risque collectif

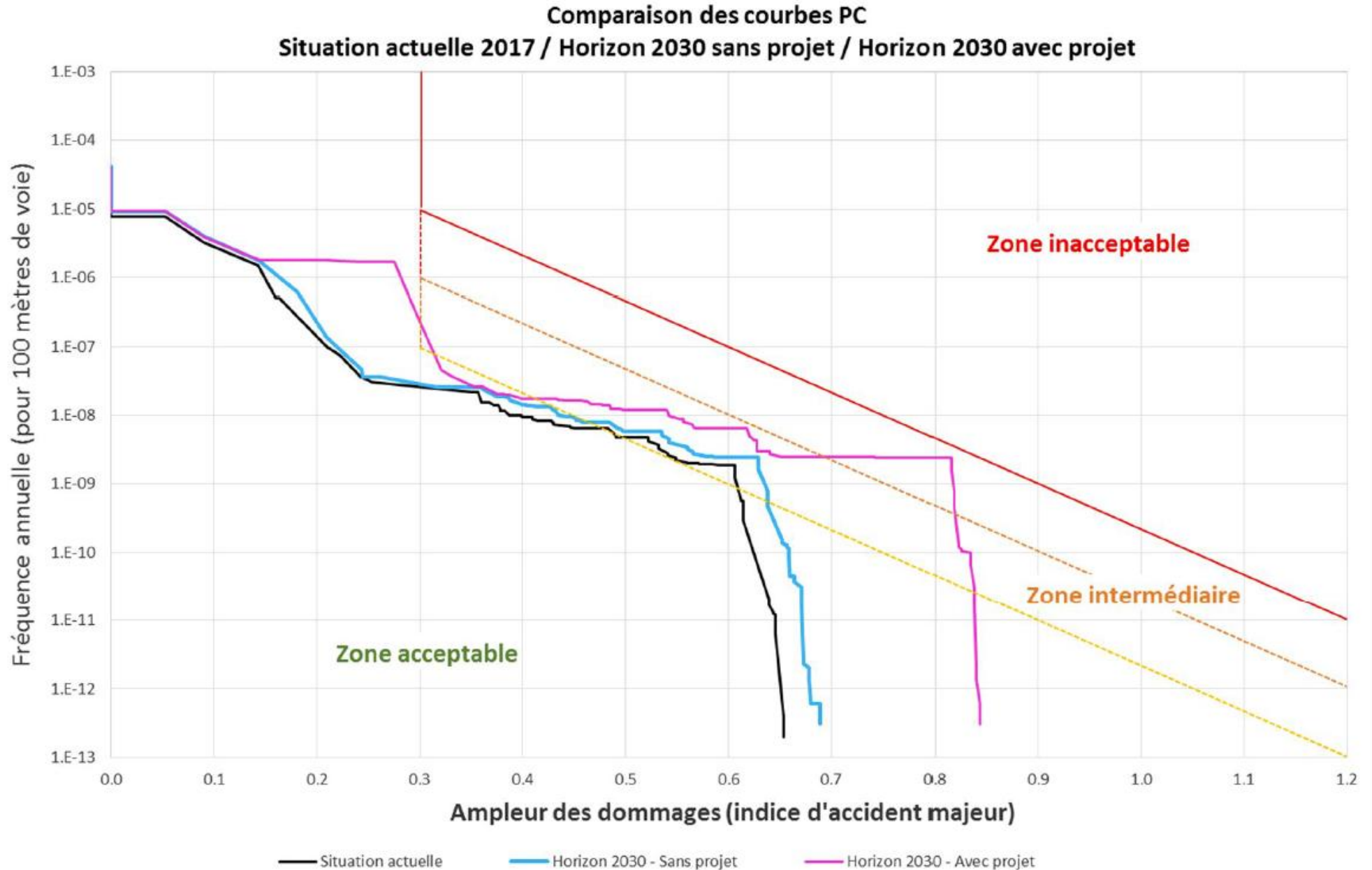


Le **risque collectif** est défini comme la probabilité (fréquence) que N personnes ou plus décèdent à cause d'une source de risques

Une façon usuelle de représenter le risque collectif est la **courbe "F-N"** sur un graphique de Farmer, qui est construite sur la base de **points/couples (Fréquence, Gravité)** sur une échelle log/log



**... and matching frequency assessed at each step**



## Expressions mathématiques :

**Risque individuel:**  $RI(x,y) = \sum_{i=1}^m f_i \cdot \mathcal{P}(\text{décès en } (x,y) | \mathcal{A}_i)$



Fréquence d'occurrence de  $\mathcal{A}_i$   
(annuelle)

accident de type  $i$

**Risque collectif:**  $RS = \iint_A RI(x,y) \cdot d(x,y) dx dy$



Densité de personne en  $(x,y)$

## Exemple d'application :

Pour une population donnée ( $N$ ) ou une zone géographique ( $A$ ), l'expression  $RS$  est parfois appelée “*Potential Loss of Life*” (PLL)

Lorsque les  $N$  personnes sont soumis aux mêmes risques :

$$RI = \frac{RS}{N}$$





Exemple:

Décès sur la route (CH)  $\rightarrow 200 \text{ an}^{-1}$

$RI = 200 \text{ décès/an} / 7.10^6 \text{ pers.} = 2.85 \cdot 10^{-5} \text{ décès/(pers.an)}$









## Ordres de grandeur de Risques Individuels :

	<b>Sexe &amp; âge</b>	<b>Risque (décès)</b>
	<b>Homme, 35 - 44</b>	<b><math>1.7 \cdot 10^{-3}</math></b>
	<b>Homme, 55 - 64</b>	<b><math>1.4 \cdot 10^{-2}</math></b>
	<b>Femme, 35 - 44</b>	<b><math>1.1 \cdot 10^{-3}</math></b>
	<b>Femme, 55 - 64</b>	<b><math>8.3 \cdot 10^{-3}</math></b>
	<b>Garçon, 5 - 14</b>	<b><math>2.0 \cdot 10^{-4}</math></b>
	<b>Filles, 5 - 14</b>	<b><math>1.5 \cdot 10^{-4}</math></b>
	<b>Population</b>	<b><math>1.1 \cdot 10^{-2}</math></b>

### Espérance de vie

	1997	2007	2017	
A la naissance				
Hommes	76.3	79.4	81.4	
Femmes	82.1	84.2	85.4	
A 30 ans				
Hommes	47.6	50.3	52.1	← Soit 82.1 ans
Femmes	52.9	54.8	55.9	
A 50 ans				
Hommes	28.9	31.3	32.9	← Soit 82.9 ans
Femmes	33.7	35.4	36.3	
A 65 ans				
Hommes	16.5	18.5	19.7	← Soit 84.3 ans
Femmes	20.4	21.9	22.5	
A 80 ans				
Hommes	7.2	8.2	8.8	← Soit 88.8 ans
Femmes	9.0	10.0	10.3	

## Ordres de grandeur, $RI [h_{\text{expos.}}^{-1}]$ :

Activité	RI par heure	Activité	RI par heure
<b>Montagne</b> 	$4.0 \cdot 10^{-5}/h$	<b>Avion</b> 	$2.4 \cdot 10^{-7}/h$
<b>Avions de tourisme</b> 	$2.7 \cdot 10^{-5}/h$	<b>Voiture</b> 	$6.0 \cdot 10^{-7}/h$
<b>Canoé</b> 	$1.0 \cdot 10^{-5}/h$	<b>Train</b> 	$5.0 \cdot 10^{-8}/h$

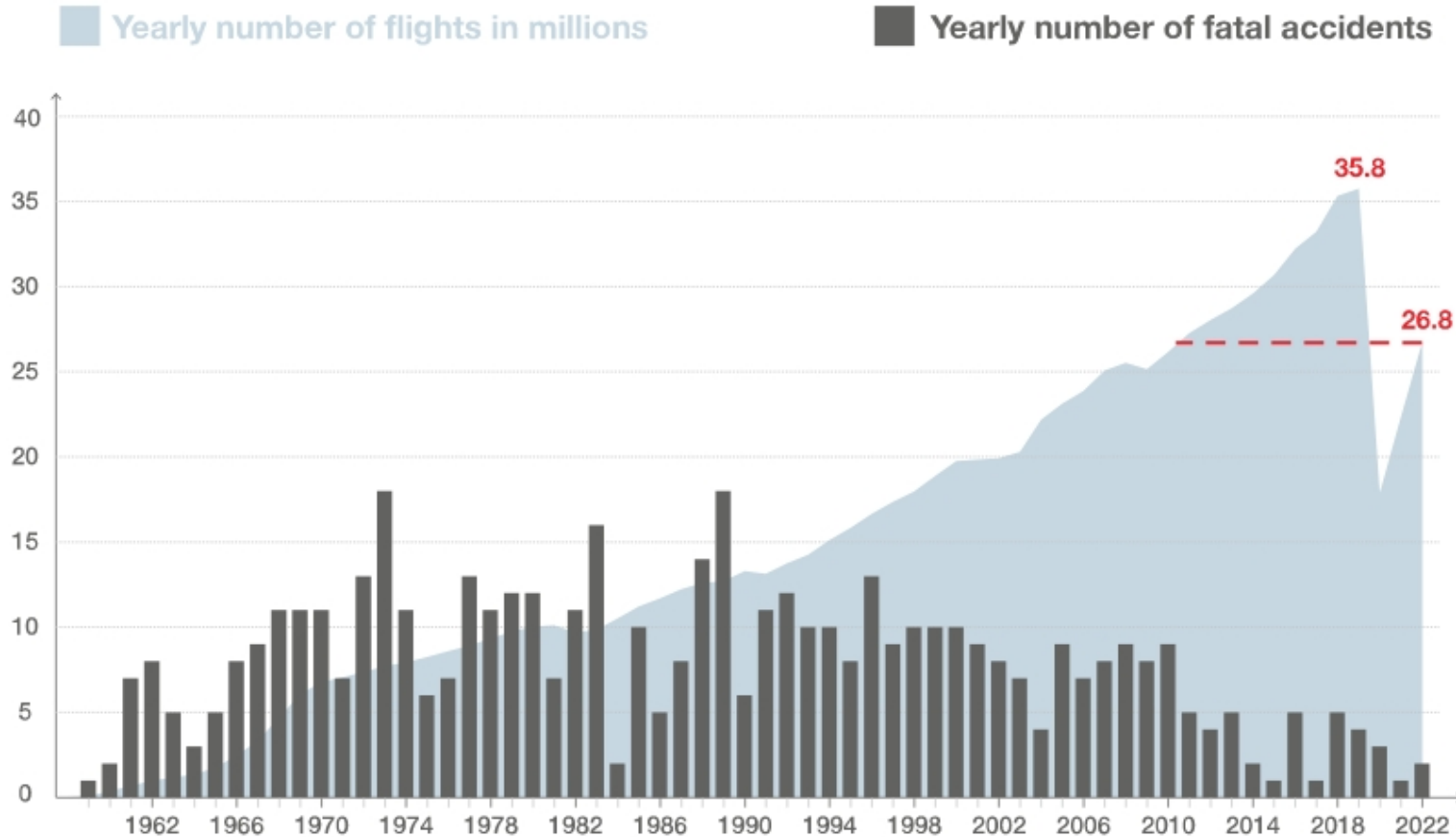
## Exemple d'évolution pour le transport aérien (Airbus) :

Yearly fatal accident rate per million flights



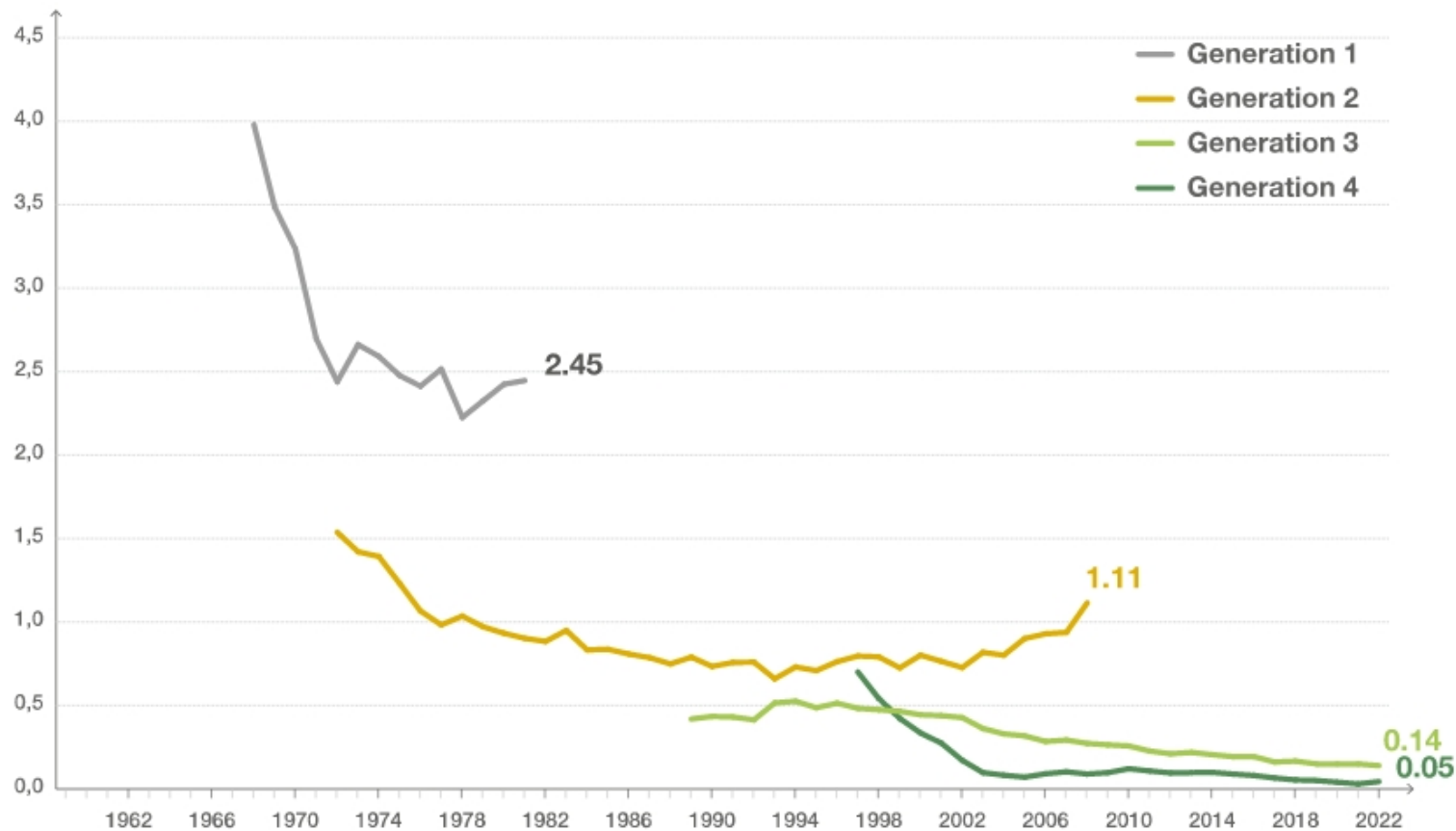
# Exemple d'évolution pour le transport aérien (Airbus) :

Yearly number of fatal accidents 1959-2022



# Exemple d'évolution pour le transport aérien (Airbus) :

10 year moving average fatal accident rate (per million flights) per aircraft generation



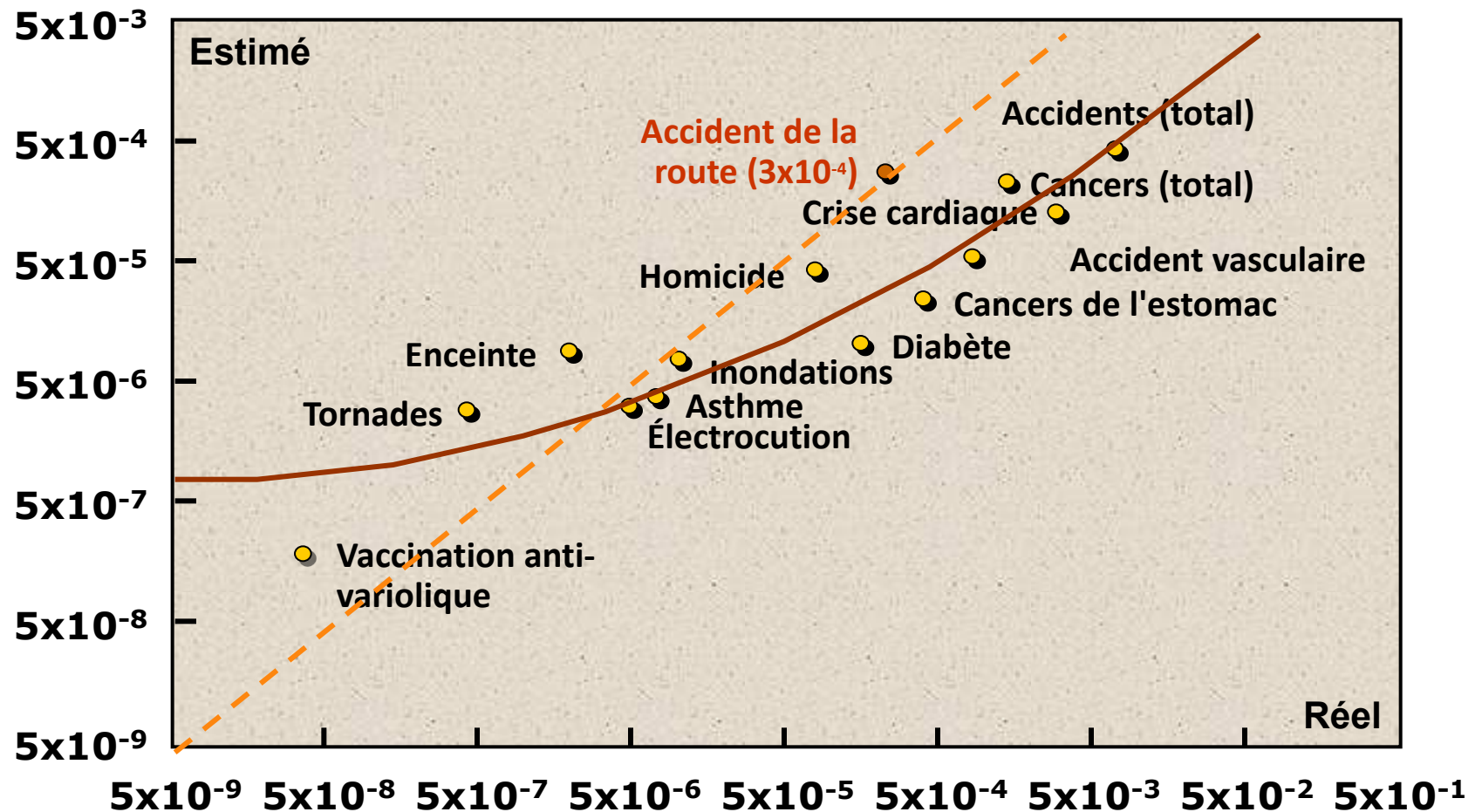
## Attention aux interprétations !!!

Quel est le lieu où l'on décède le plus ?

*"Le lit est l'endroit le plus dangereux du monde. 80% des gens y meurent"*



# Le RI est mal estimé par le grand public



## Ordres de grandeur, $R/I$ [ $\text{an}_{\text{expos.}}^{-1}$ ]:

Cause naturelle	Risque de décès par personne et par an
Grippe	$2000 \times 10^{-7}$
Leucémie	$800 \times 10^{-7}$
Inondation (USA)	$22 \times 10^{-7}$
Tornade (USA)	$22 \times 10^{-7}$
Tremblement de terre (Californie)	$17 \times 10^{-7}$
Tempête (USA)	$8 \times 10^{-7}$
Météorite	$6 \times 10^{-7}$
Morsure animal venimeux	$2 \times 10^{-7}$
Foudre (UK)	$1 \times 10^{-7}$
Rayons cosmiques dus à l'explosion d'une supernova	$10^{-8}$ à $10^{-11}$

## Ordres de grandeur, $R/ [an_{\text{expos.}}^{-1}]$ :

Risque involontaire	Risque de décès par personne et par an
Etre renversé par une voiture (UK)	$600 \times 10^{-7}$
Etre renversé par une voiture (USA)	$500 \times 10^{-7}$
Chute d'avion (USA)	$1 \times 10^{-7}$
Rupture des digues (NL)	$1 \times 10^{-7}$
Emanation de centrale nucléaire aux limites du site (USA)	$1 \times 10^{-7}$
à 1 km du site (UK)	$1 \times 10^{-7}$
Explosion d'un récipient sous pression (USA)	$0,5 \times 10^{-7}$
Transport d'essence et de produits chimiques (USA et UK)	$0,5 \times 10^{-7}$
Transport de produits pétroliers	$0,2 \text{ à } 0,5 \times 10^{-7}$
Transport de chlore	$0,014 \times 10^{-7}$

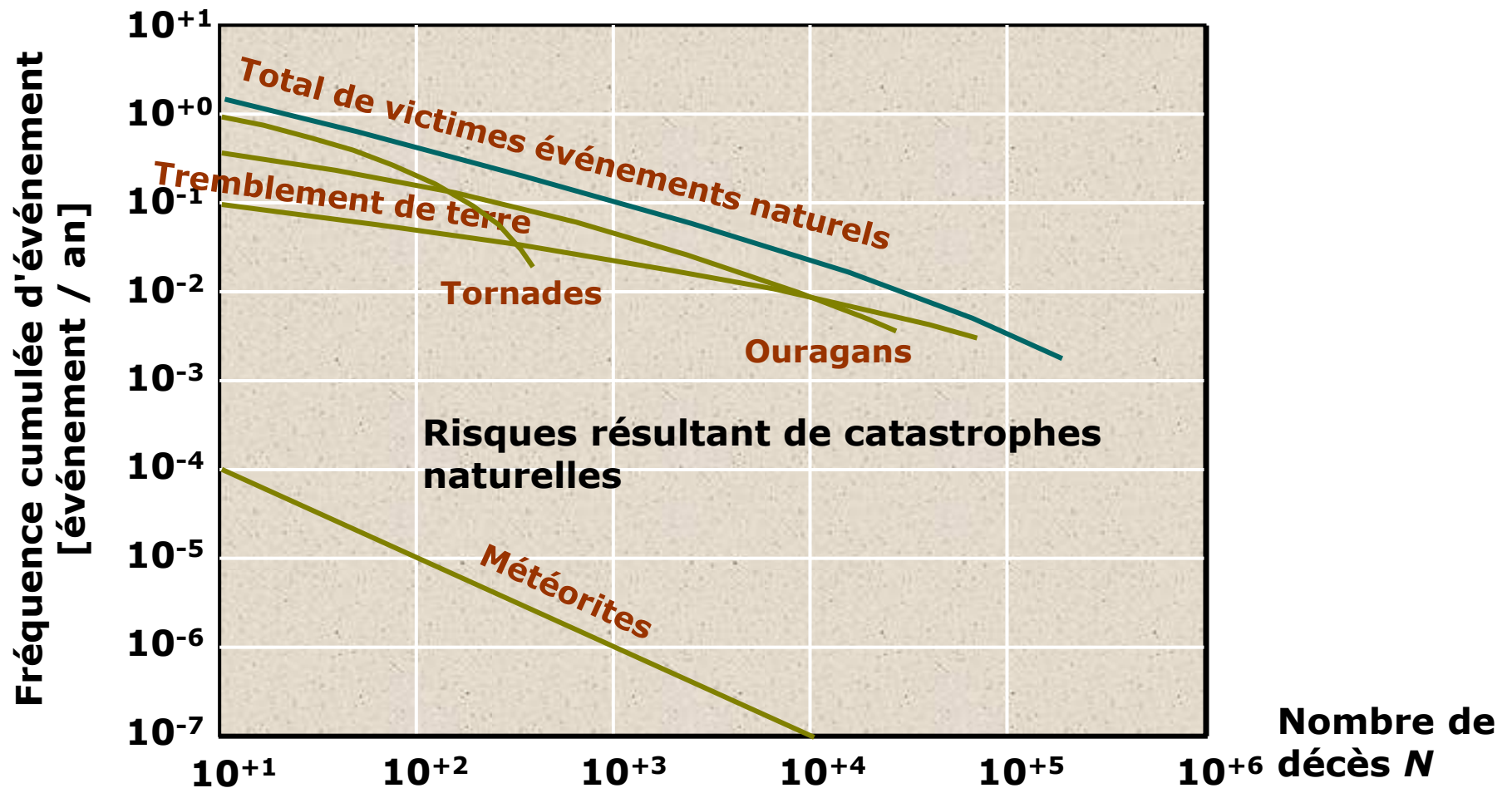
## Ordres de grandeur, $R/I$ [ $\text{an}_{\text{expos.}}^{-1}$ ]:

Table 3. Examples of the annual individual risk of fatality due to various background risks and modes of transport [34].

Cause of death	Individual risk of fatality per year
<b>Natural background risks</b>	
Being struck by lightning	$1.0 \cdot 10^{-7}$
Fire	$1.4 \cdot 10^{-3}$
Workplace accident (fulltime workers)	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Accidents in the home and during leisure activities	$2.2 \cdot 10^{-4}$
All causes, individuals aged 20-40 y	$1.0 \cdot 10^{-3}$
All causes, individuals aged 60 y	$1.0 \cdot 10^{-2}$
<b>Other modes of transport, gender, age range<sup>1</sup></b>	
Car, male, 15-24 y	$8.2 \cdot 10^{-3}$
Car, male, 65-84 y	$7.4 \cdot 10^{-3}$
Car, male, 25-64 y	$5.1 \cdot 10^{-3}$
Car, female, 65-84 y	$3.2 \cdot 10^{-3}$
Car, female, 15-24 y	$2.4 \cdot 10^{-3}$
Walking, male, 65-84 y	$2.3 \cdot 10^{-3}$
Cycling, male, 65 -84 y	$2.1 \cdot 10^{-3}$
Car, female, 25-64 y	$1.9 \cdot 10^{-3}$
Walking, female, 65-84 y	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Motorbike, male, 25-64 y	$1.3 \cdot 10^{-3}$
Moped, male, 15-24 y	$1.0 \cdot 10^{-3}$

<sup>1</sup>Only groups for whom the risk is greater than  $1.0 \cdot 10^{-5}$  are included

## Ordres de grandeur risque collectif, *RS* (Monde) :



## Différence entre cyclone et tornade :

- **CYCLONE** → vents violents (jusqu'à 300km/h) tourbillonnaires avec pluies torrentielles. **Diamètre de plusieurs centaines de km**

Différence entre **cyclone, ouragan, hurricane, typhon... ?**

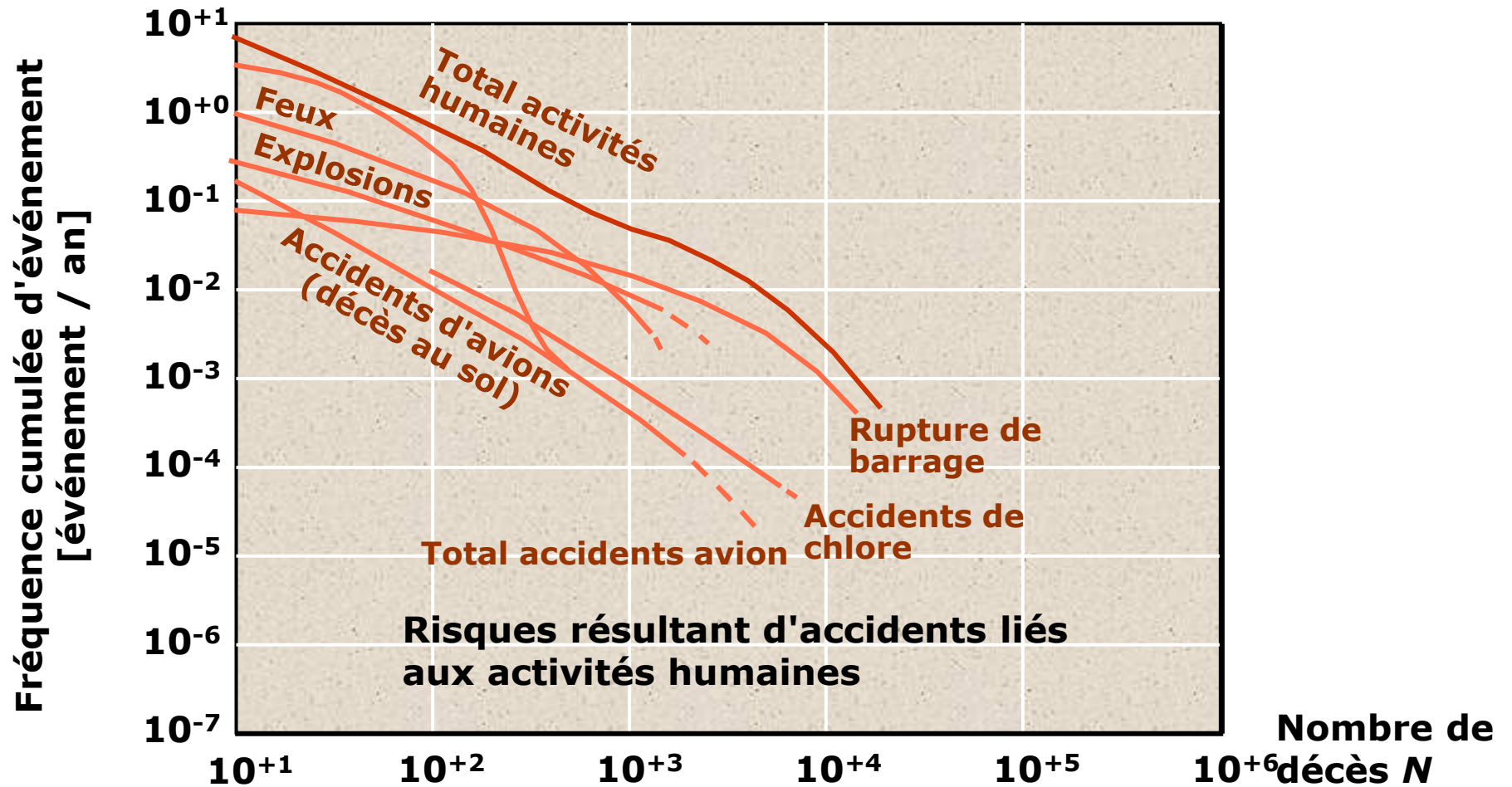
N'est pas scientifique mais **géographique !**

- **Cyclone** ↔ Pacifique Sud-Ouest et Est
- **Ouragan/ Hurricane** ↔ Atlantique Nord / Pacifique Nord-Est & Sud-Ouest
- **Typhon** ↔ sud-est asiatique
- **Willie-Willie** ↔ océan Indien et en Australie
- **Kamikaze** ↔ Japon !

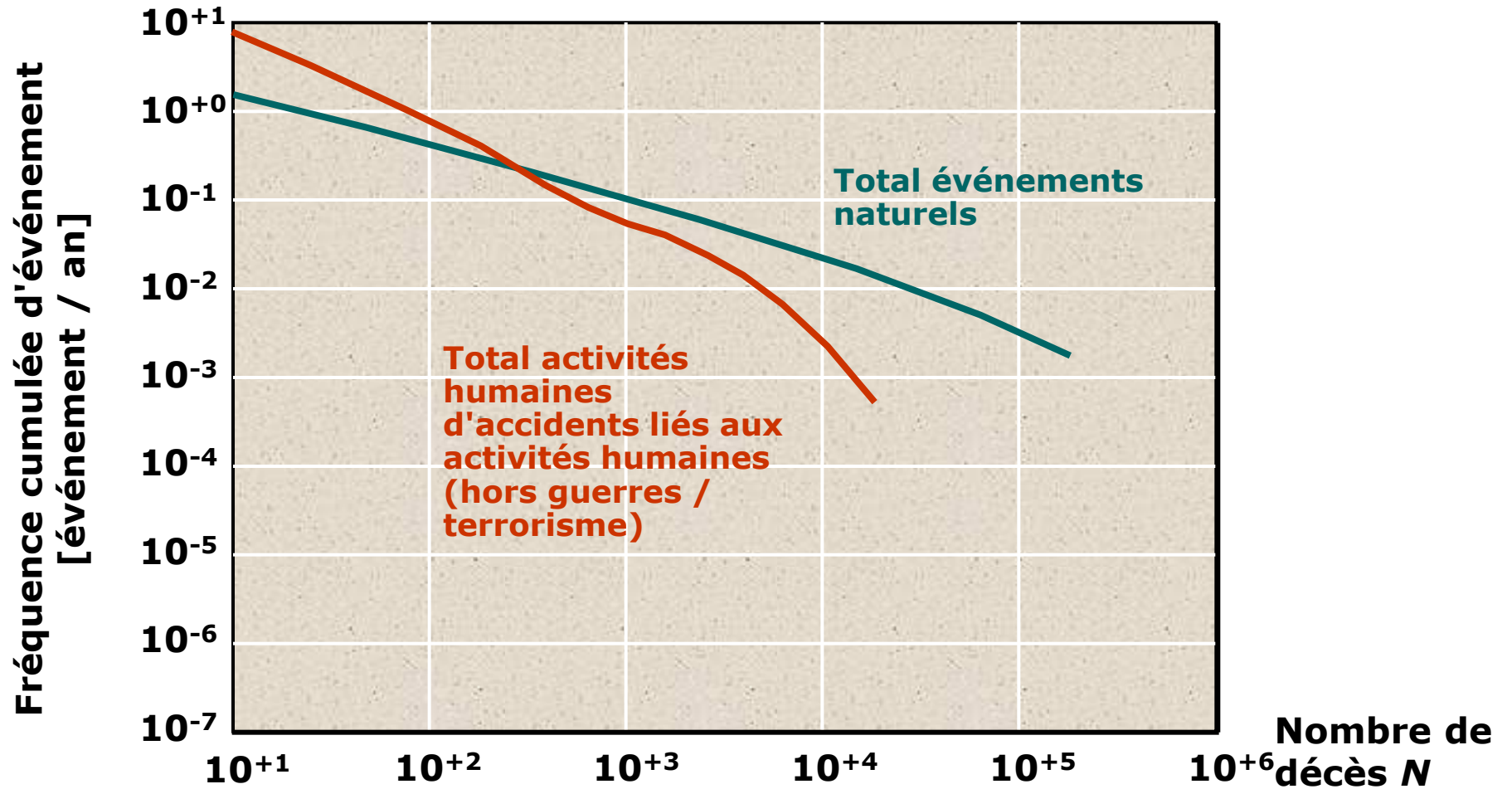
- **TORNADE** → vents très violents mais prenant naissance dans les nuages orageux. Elle correspond à un **mini-cyclone (centaine de mètres)** par sa taille et sa durée, mais est plus intense et plus destructrice.



## Ordres de grandeur risque collectif, *RS* (Monde) :



## Ordres de grandeur risque collectif, *RS* (Monde) :



## Quantification du risque



Pourquoi  $10^8$  heures ?

## Fatal Accident Rate

Le Fatal Accident Rate (*FAR*) est défini comme le nombre "attendu" de décès causé par une activité professionnelle durant une exposition de  $10^8$  heures

$10^8$  heures:

- 1000 personnes
- travaillant 2500 h/an
- durant 40 ans

## Expression mathématique :

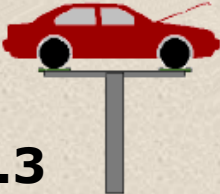





$$FAR = \frac{\text{Nombre de décès attendu}}{\text{Nombre d'heures d'exposition}} \cdot 10^8$$

Le *FAR* est en fait une mesure du **risque professionnel**

C'est le nombre de personne susceptibles de **décéder au travail durant leur vie**, sur un panel de 1000 personnes ayant la même activité



## Ordres de grandeur *FAR* (monde) :

Activité industrielle	FAR (G.B.) Décès pour 10 <sup>8</sup> h d'exposition	Activité industrielle	FAR (G.B.) Décès pour 10 <sup>8</sup> h d'exposition
Automobile	 <b>1.3</b>	Agriculture	 <b>10.0</b>
Industrie chimique	 <b>4.0</b>	Pêche	 <b>36.0</b>
Métallurgie	 <b>8.0</b>	Construction	 <b>67.0</b>

## Attention aux interprétation du *FAR* :

- FAR Voiture = 25 (selon European Transport Safety Council)
- FAR Avion = 16 (selon European Transport Safety Council)

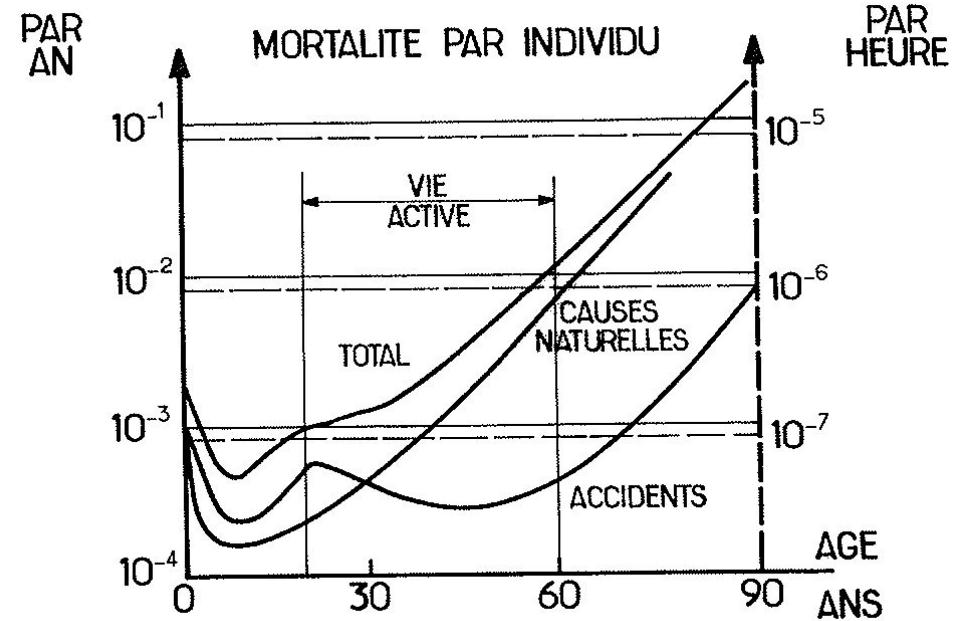
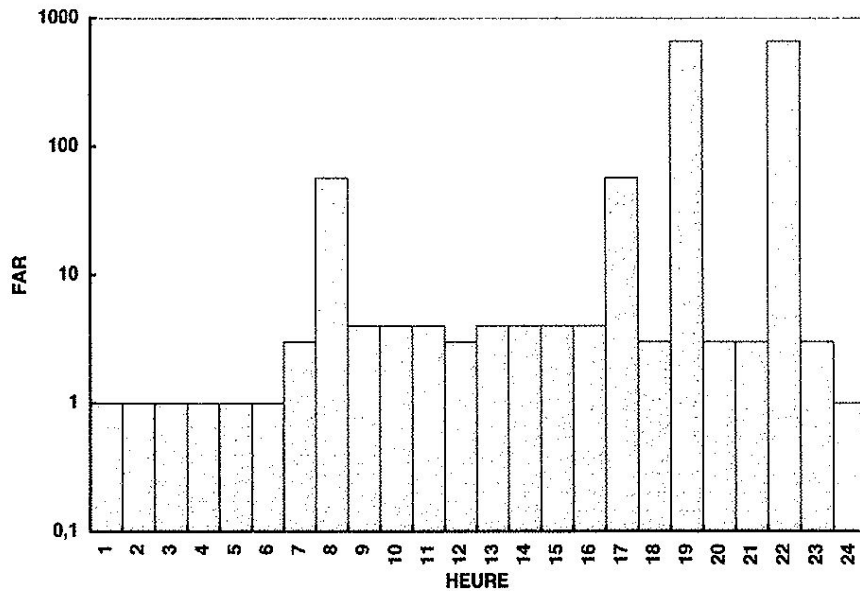
→ Avion **aussi** dangereux que la voiture ?

→ Réflexion : "*Avion plus dangereux car lors d'un accident d'avion, on a plus de chance de mourir que dans un accident de voiture*". **Vrai ? Pertinent ?**

→ Imaginons un trajet "Lausanne → Vienne" :

- 1000 km / 10h00 en voiture → 1 chance / 400'000 de décès
- 1000 km / 1h30 en avion → 1 chance / 4'170'000 de décès





Évolution du FAR dans la journée

Évolution du FAR dans la vie

## Prémices de la gestion des risques

Lorsque différents risques ont été quantifiés (fréquence et gravité), il devient possible de les **comparer** les uns aux autres et de les **trier** pour gérer les **priorités**.

Représentation des risques (matrices, courbes F-N) : surtout utile pour présenter au responsable de l'entreprise / gestionnaire une **vision d'ensemble des risques** identifiés, mais peu exploitable

→ doit être réduite en un classement unidimensionnel pour identifier les priorités ("inacceptable", "négligeable", etc.)

- Les risques jugés **inacceptables** doivent impérativement être réduits, et les opérations nécessaires pour réaliser ces réductions sont normalement suivies au plus haut niveau
- Les risques de niveau **intermédiaire** peuvent être gérés de manière plus déléguée, et seront réduits ou pas en fonction des budgets et des opportunités (arbitrages coût-efficacité)
- En queue de classement, les risques jugés **négligeables** seront acceptés en l'état, sans aller plus loin dans l'analyse

# Exercice 5bis.1