



# Introduction aux risques et à leurs perceptions : le cas du nucléaire et de ses déchets

**Jean-Marc Cavedon**



[www.imdr.eu](http://www.imdr.eu)

Institut pour la **Maîtrise des Risques**  
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindyniques

Physicien nucléaire et ingénieur

Vice-président de l'Institut pour la Maîtrise des Risques - IMdR

Ancien directeur de la protection et de la sûreté nucléaire au CEA

SFP Journée nucléaire  
Paris Jussieu 17-18 mars 2022

# Danger n'est pas Risque



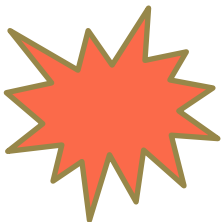
**Danger** = Menace



**Risque** = Exposition à un danger



**Prévention** = Parades au danger et réduction du risque



**Damage** = Conséquence de la réalisation de l'évènement redouté : blessure, destruction...

# Danger n'est pas Risque



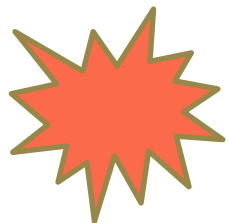
**Danger** = Menace



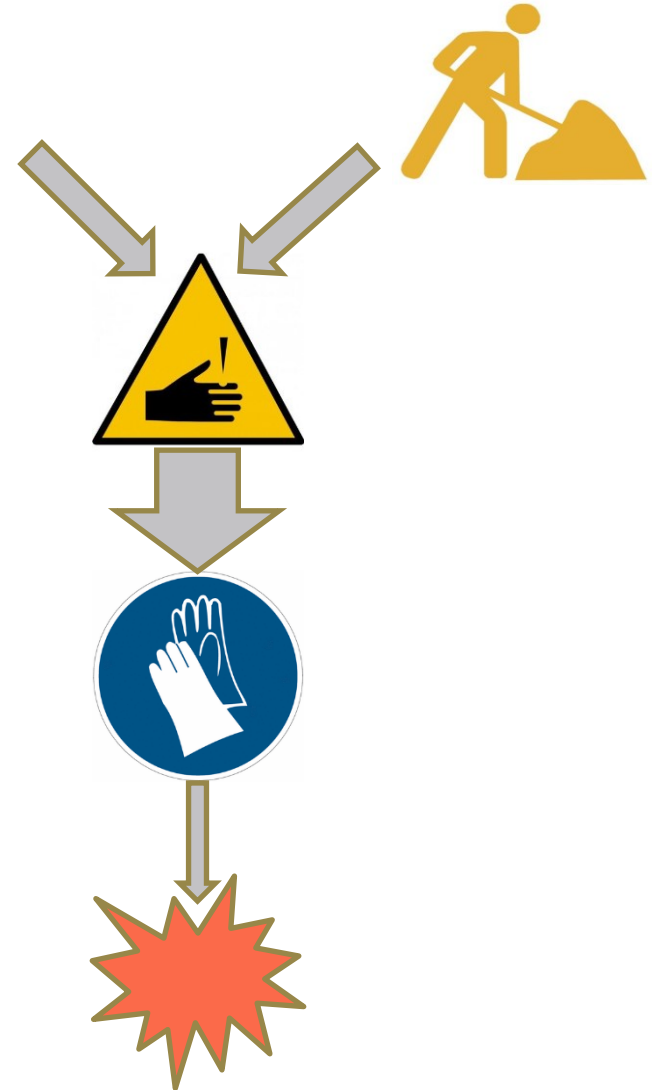
**Risque** = Exposition à un danger



**Prévention** = Parades au danger et réduction du risque



**Domage** = Conséquence de la réalisation de l'évènement redouté : blessure, destruction...



# Les 5 risques des rayonnements ionisants

Par ordre d'apparition :

1. Bénéfice/risque du rayonnement en thérapie : *Pythie*
2. Risque du nucléaire militaire : *Cyclope*
3. **Risque des faibles doses de rayonnement** : *Méduse*
4. **Risque d'utilisation de l'électronucléaire** : *Damoclès*
5. **Risque de renoncement à l'électronucléaire** : *Cassandra*

# Mnémotechnique des risques en six figures mythologiques

Source :  
Klinke & Renn, 2000

Pandore



Cassandre



Méduse



Pythie

Cyclope



Damoclès





# Mnémotechnique des risques en six figures mythologiques

Forte

Source :  
Klinke & Renn, 2000

Pandore



Cassandra



Probabilité

Méduse



Pythie

Cyclope



Damoclès



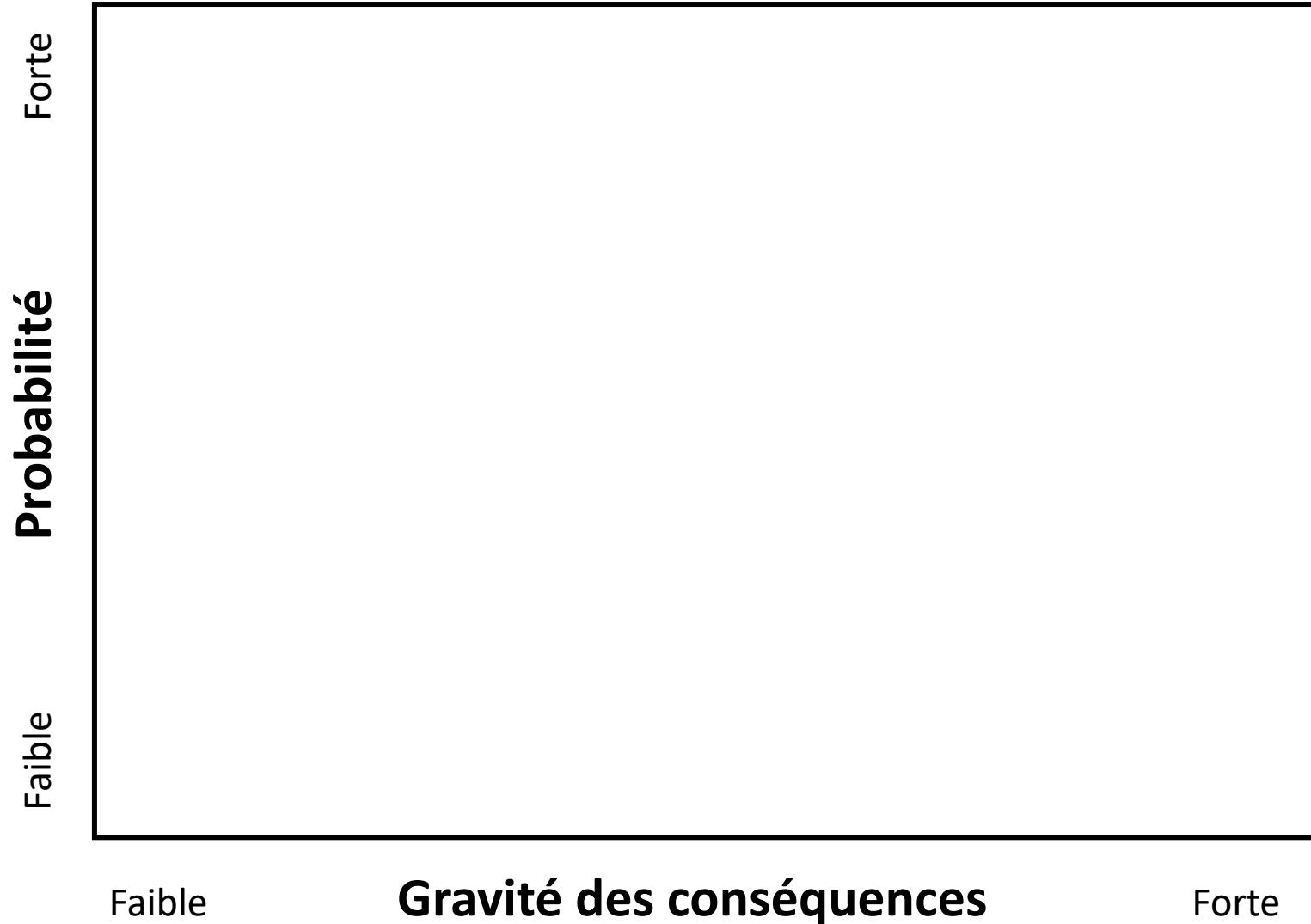
Faible

Faible

**Gravité des conséquences**

Forte

# Risque et mythologie

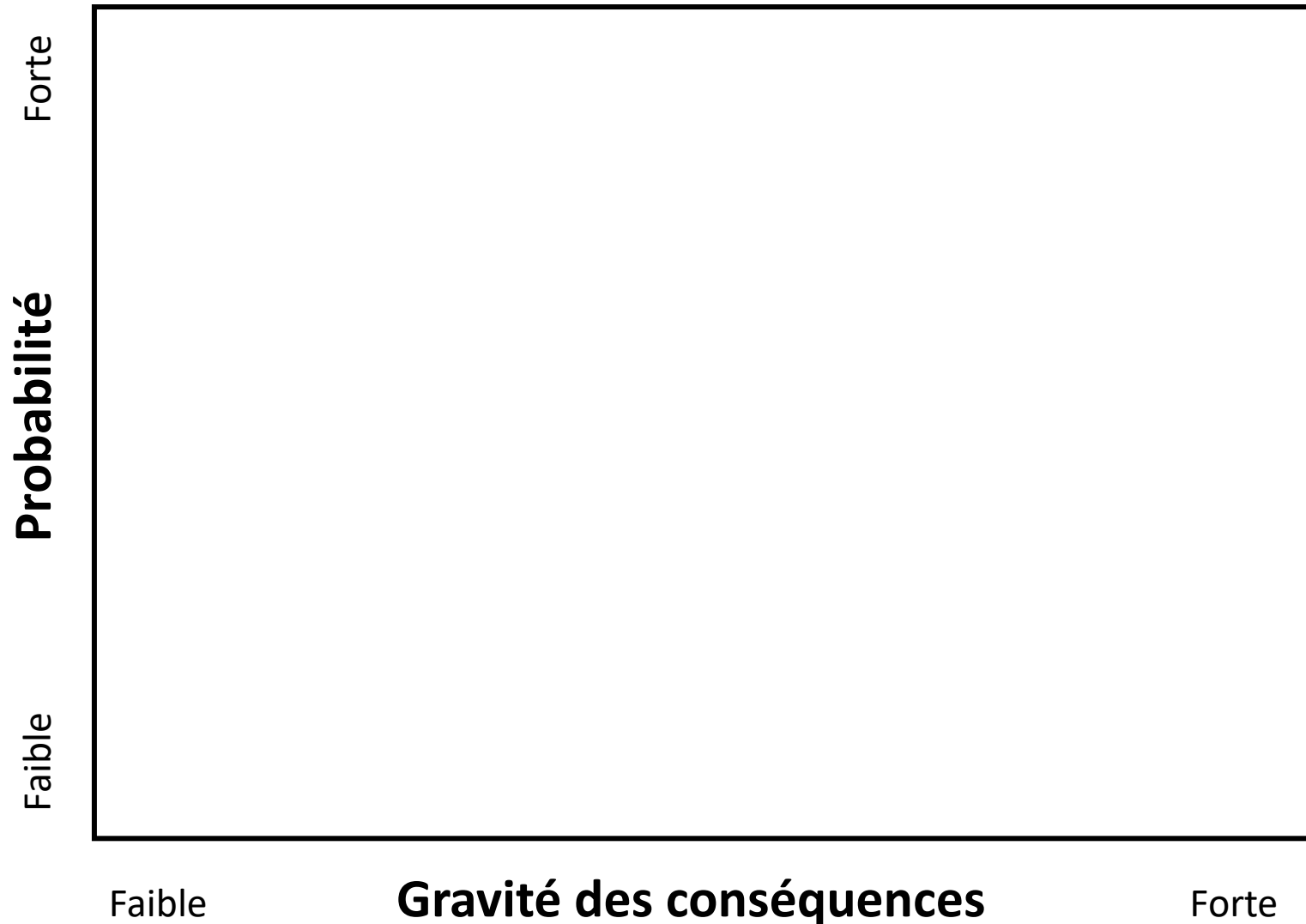


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?

Source : Klinké & Renn, 2000

# Risque et mythologie



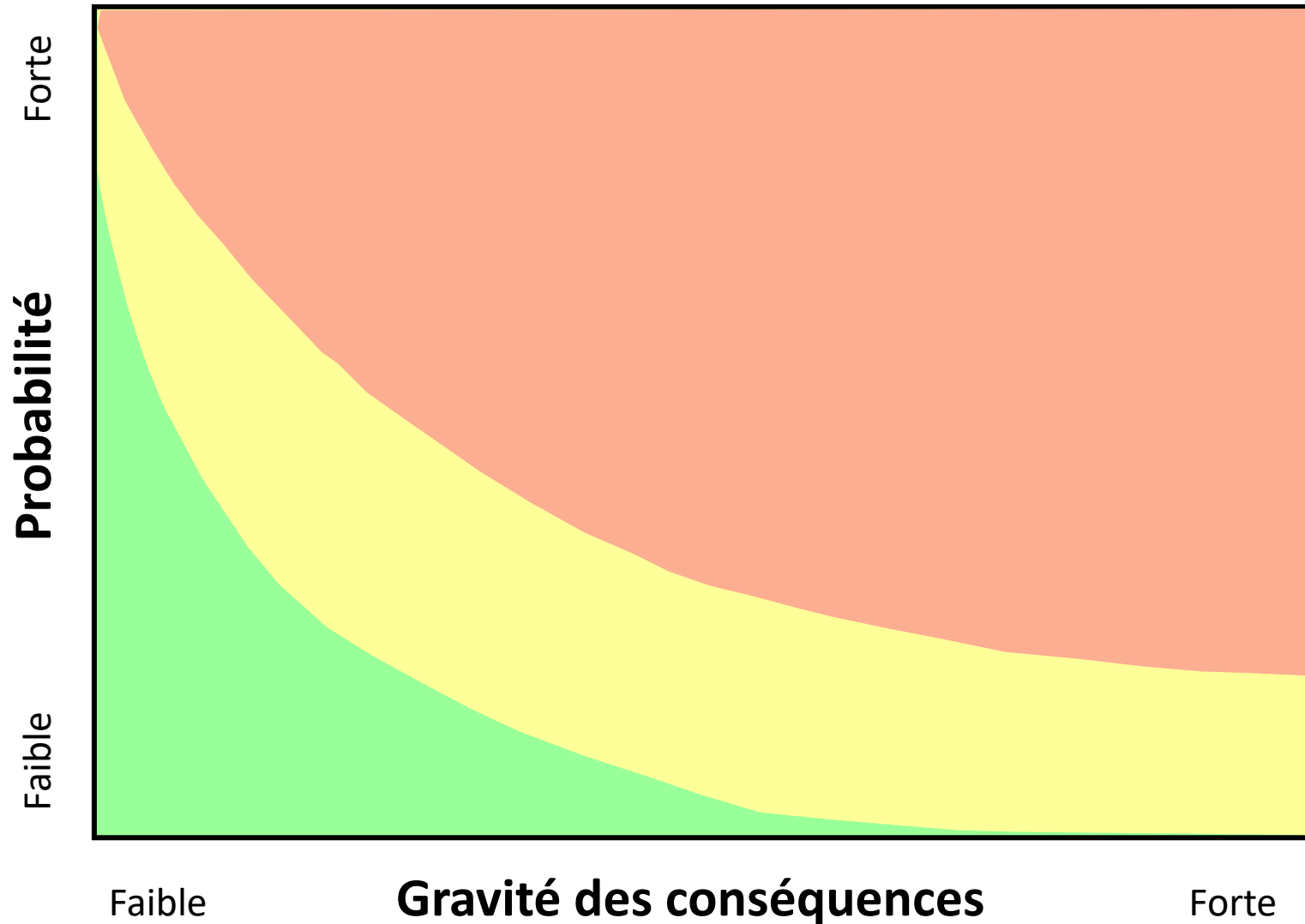
Les neuf questions à se poser  
sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinké & Renn, 2000



# Risque et mythologie

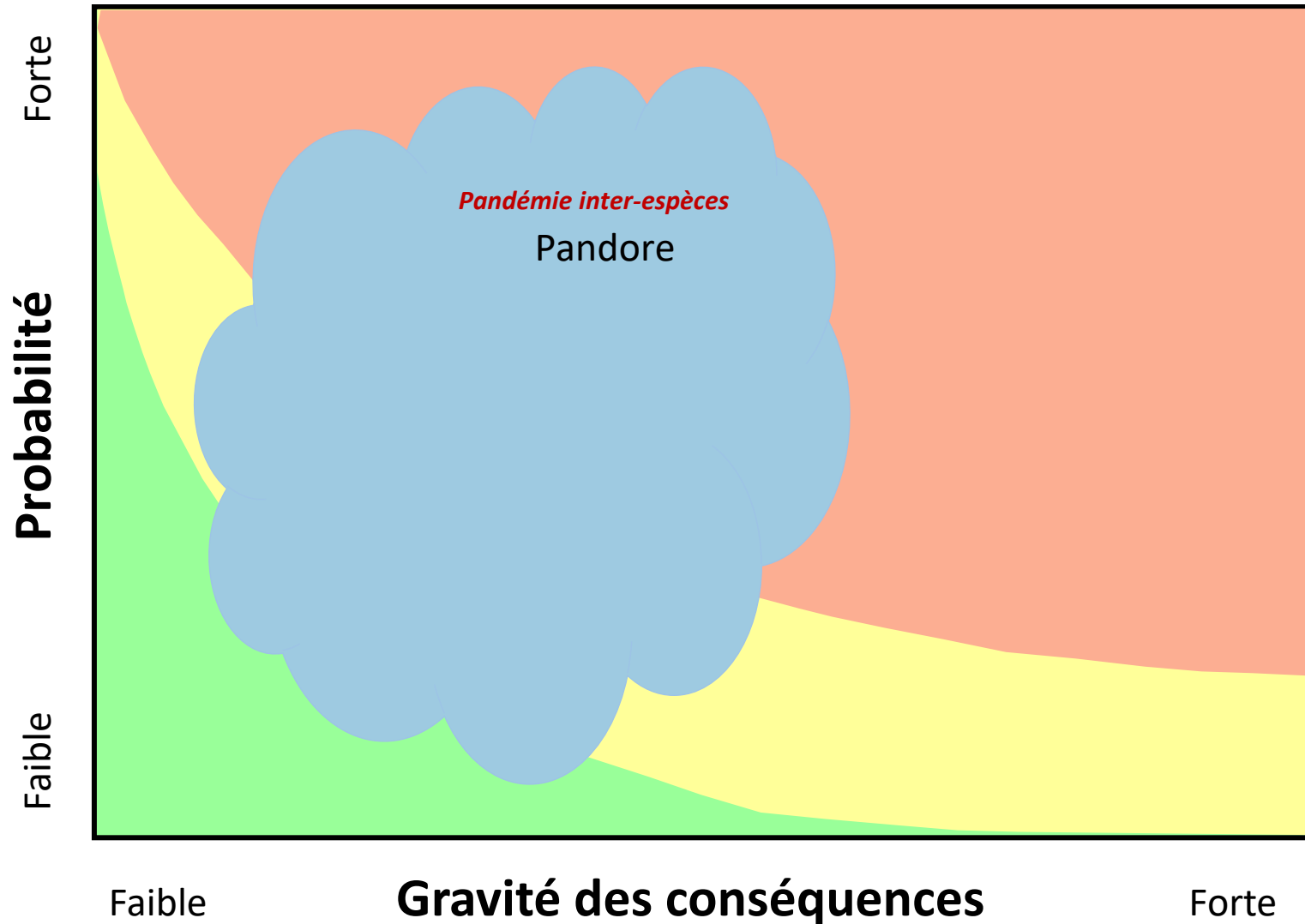


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinke & Renn, 2000

# Risque et mythologie

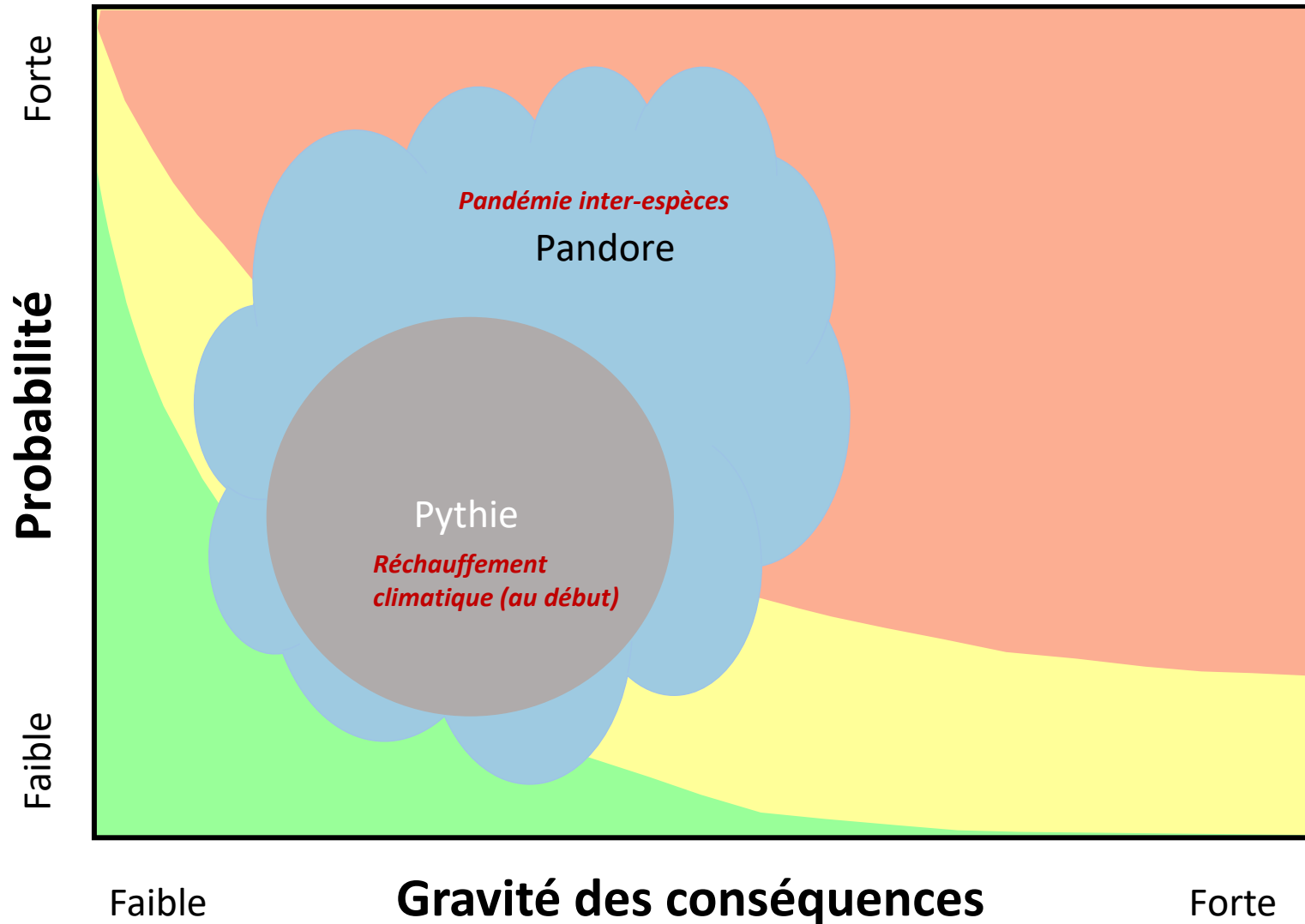


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinke & Renn, 2000

# Risque et mythologie

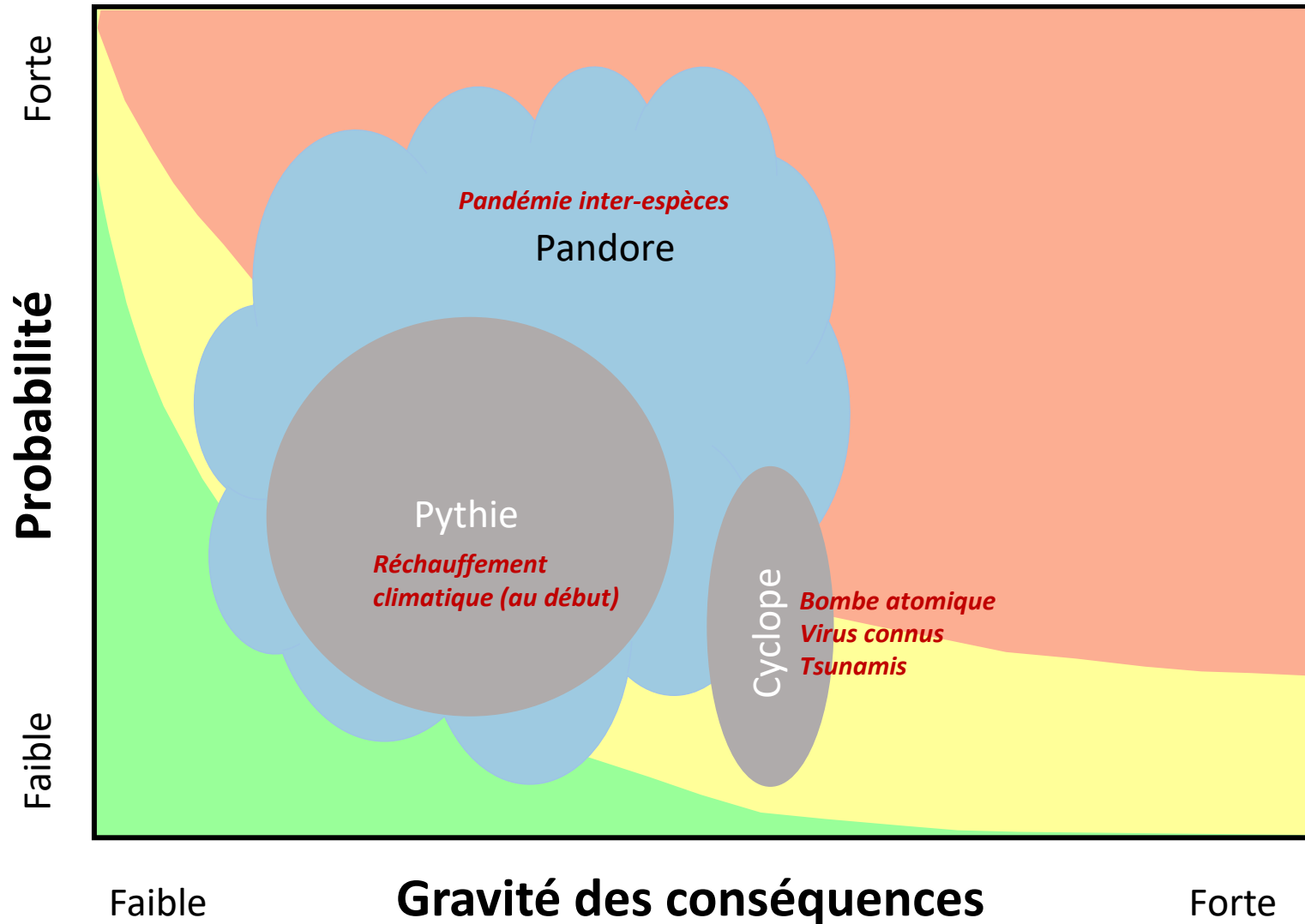


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinke & Renn, 2000

# Risque et mythologie

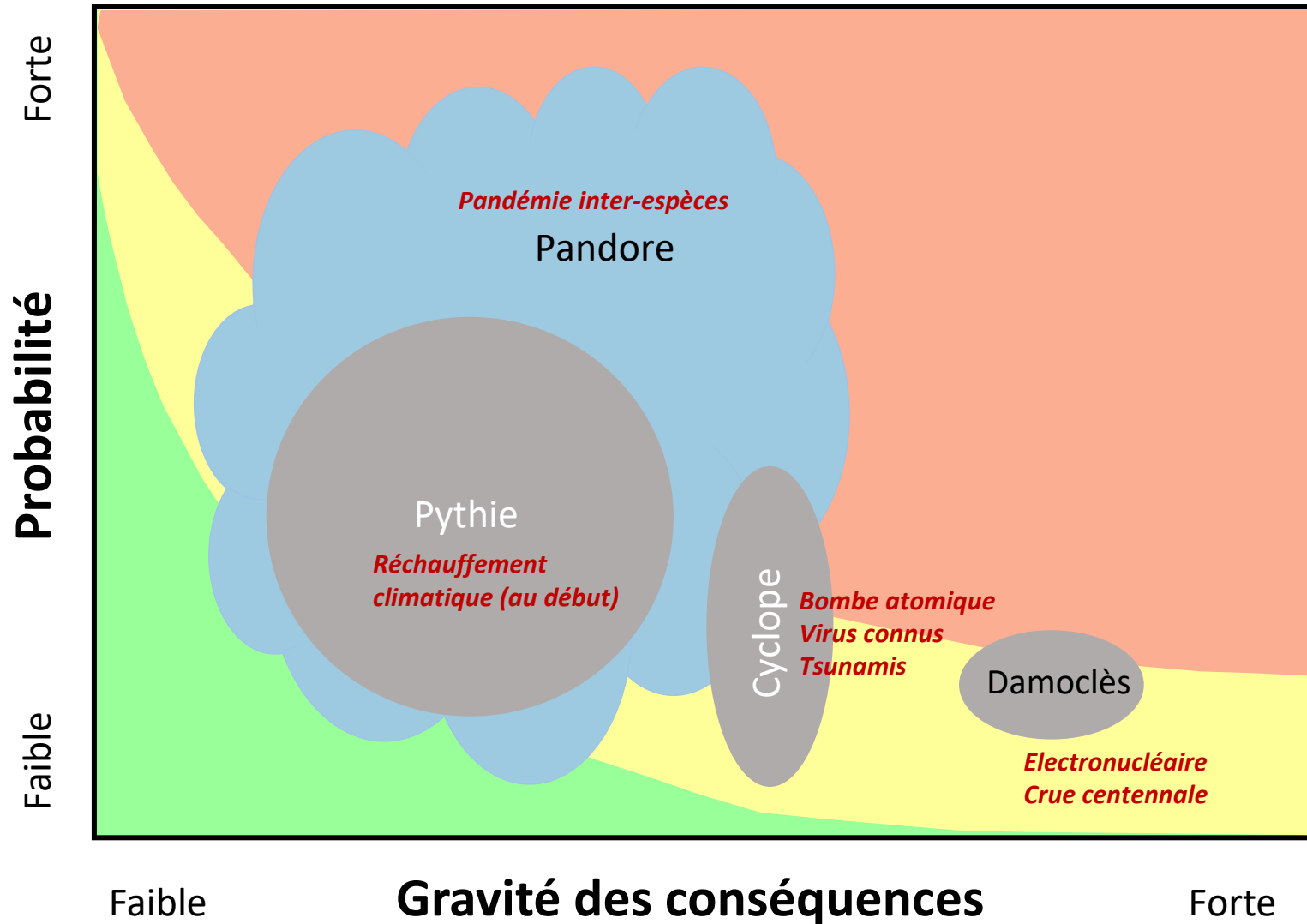


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinke & Renn, 2000

# Risque et mythologie



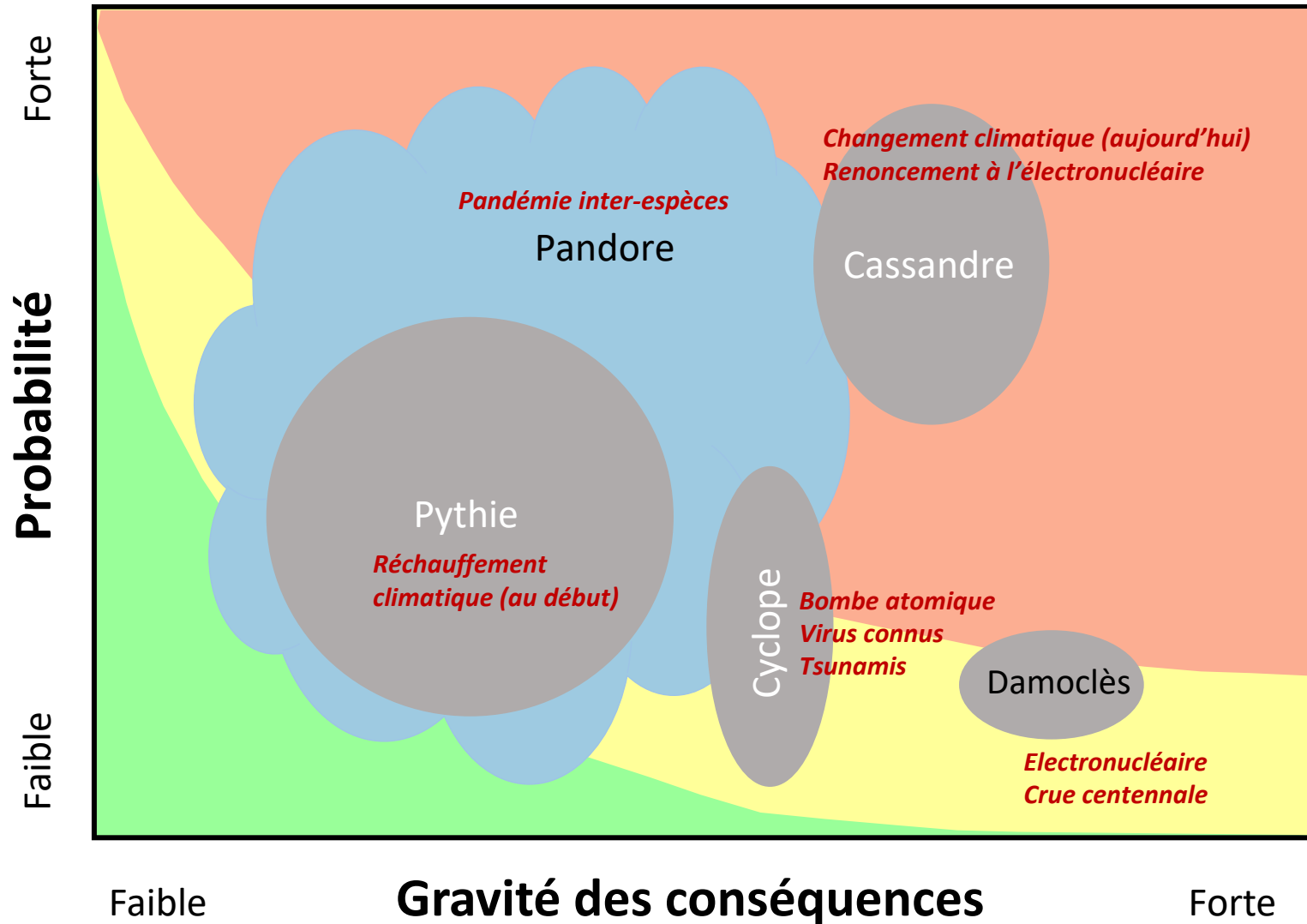
Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinké & Renn, 2000



# Risque et mythologie

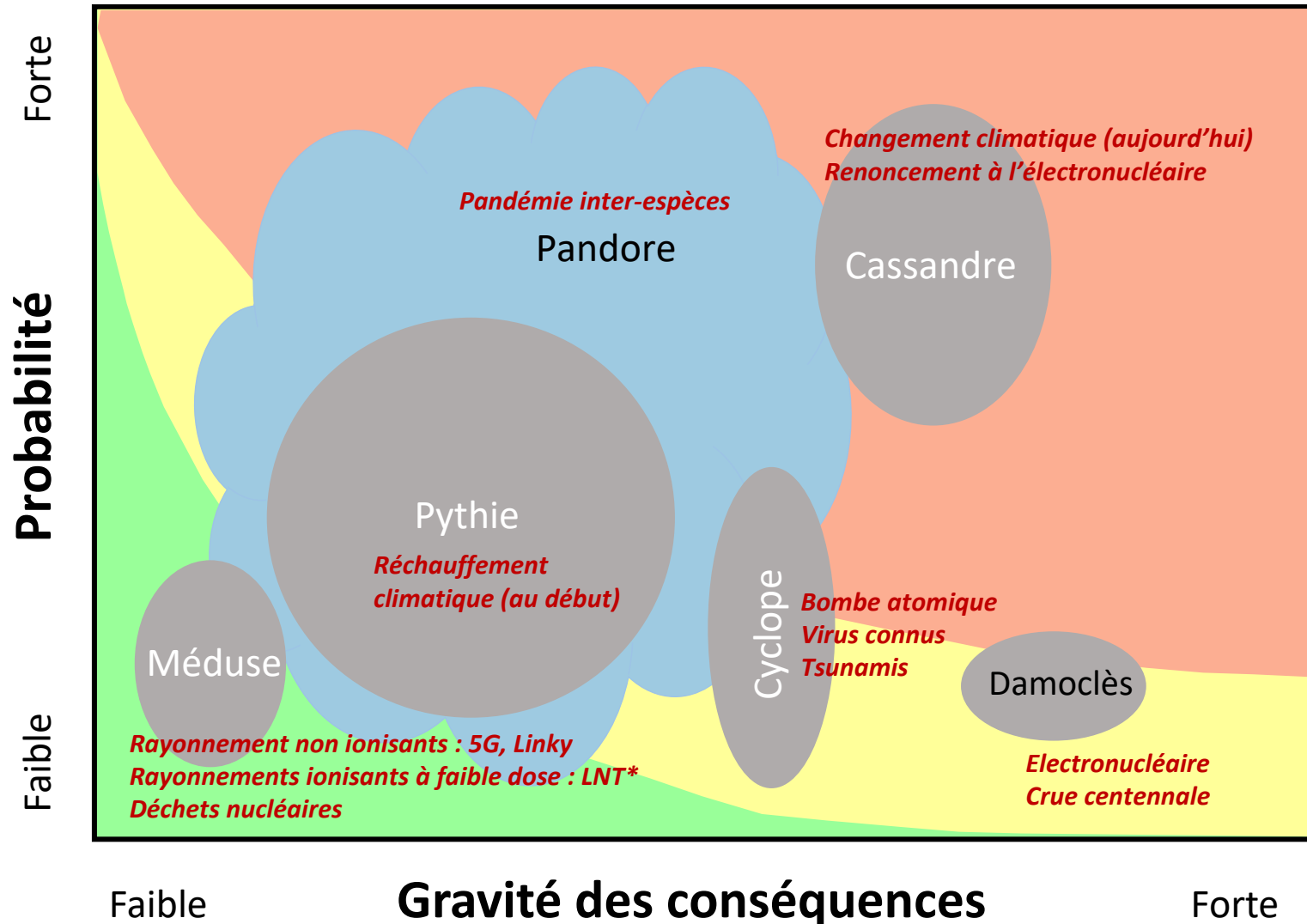


Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

Source : Klinké & Renn, 2000

# Risque et mythologie



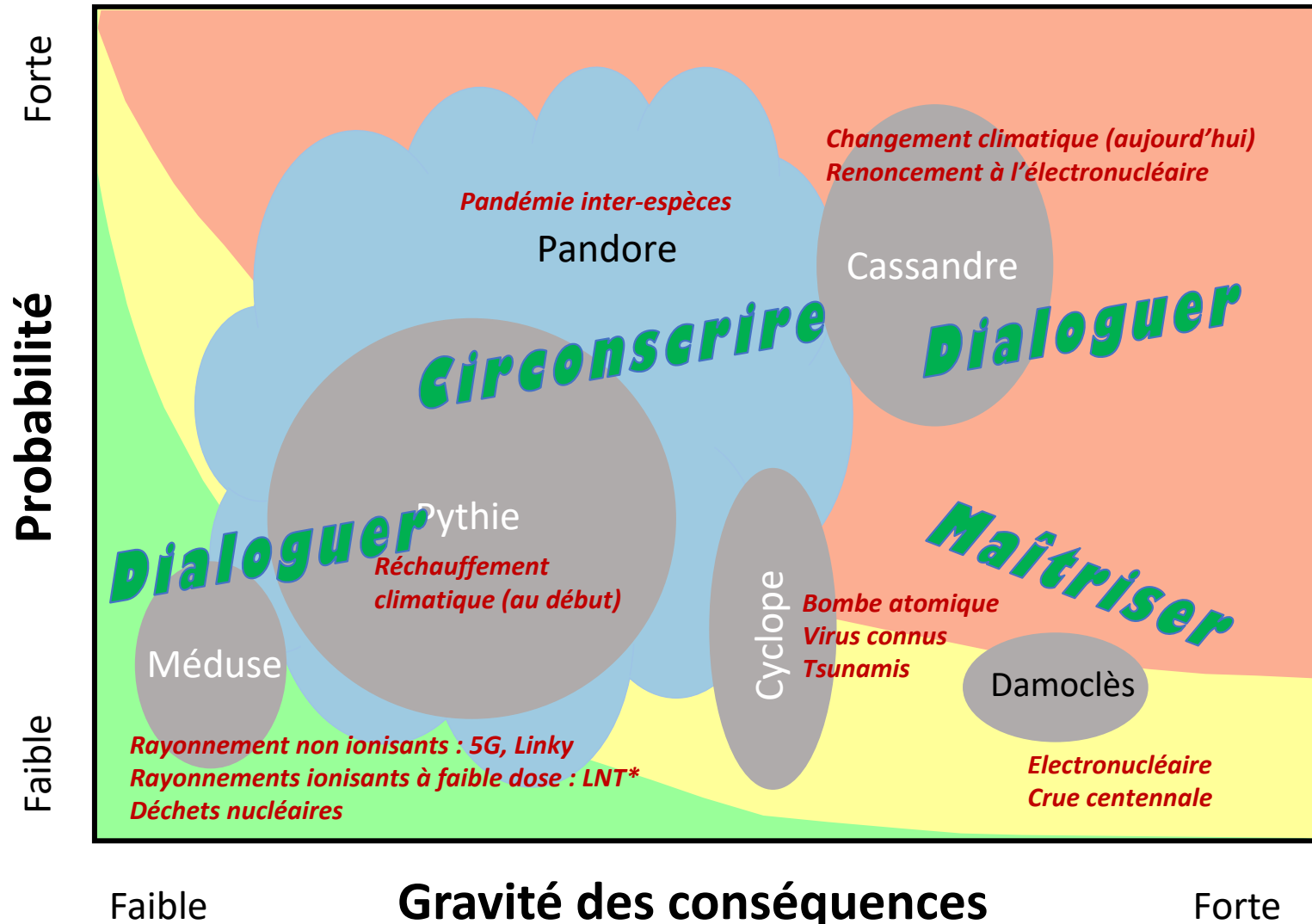
Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

**\* LNT : relation dose-effet supposée linéaire et sans seuil**

Source : Klinké & Renn, 2000

# Risque et mythologie



Les neuf questions à se poser sur un risque

1. Est-ce grave ?
2. Est-ce que cela va arriver ?
3. Qui sera concerné ?
4. En est-on vraiment sûr ?
5. Est-ce que cela va durer longtemps ?
6. Est-ce que cela redeviendra comme avant ?
7. Est-ce que cela arrivera tout de suite ?
8. Pourquoi dois-je payer pour les autres ?
9. Ce risque est-il supportable ?

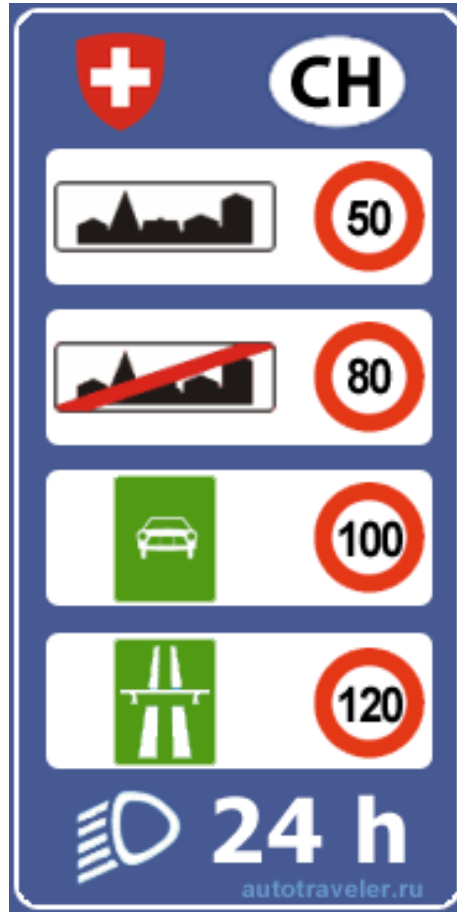
**\* LNT : relation dose-effet supposée linéaire et sans seuil**

Source : Klinké & Renn, 2000

# Maîtriser : Conduite routière et prévention



Damoclès

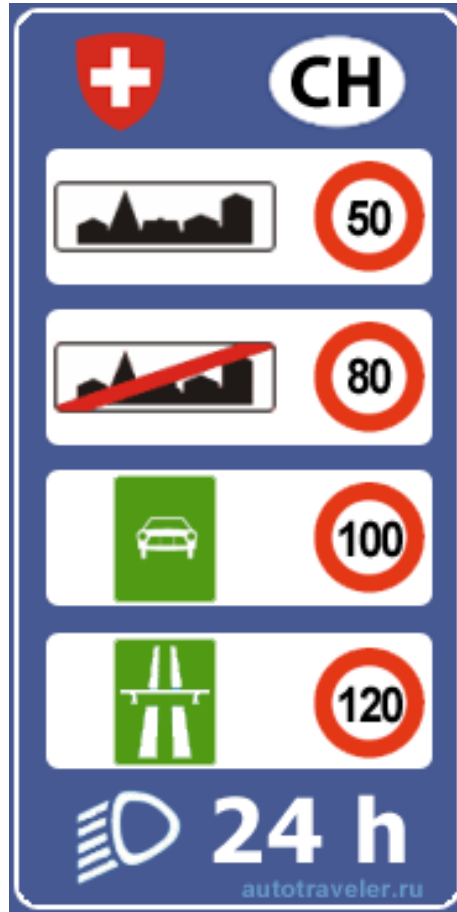


Maîtrise proportionnée  
aux enjeux

# Maîtriser : Conduite routière et prévention



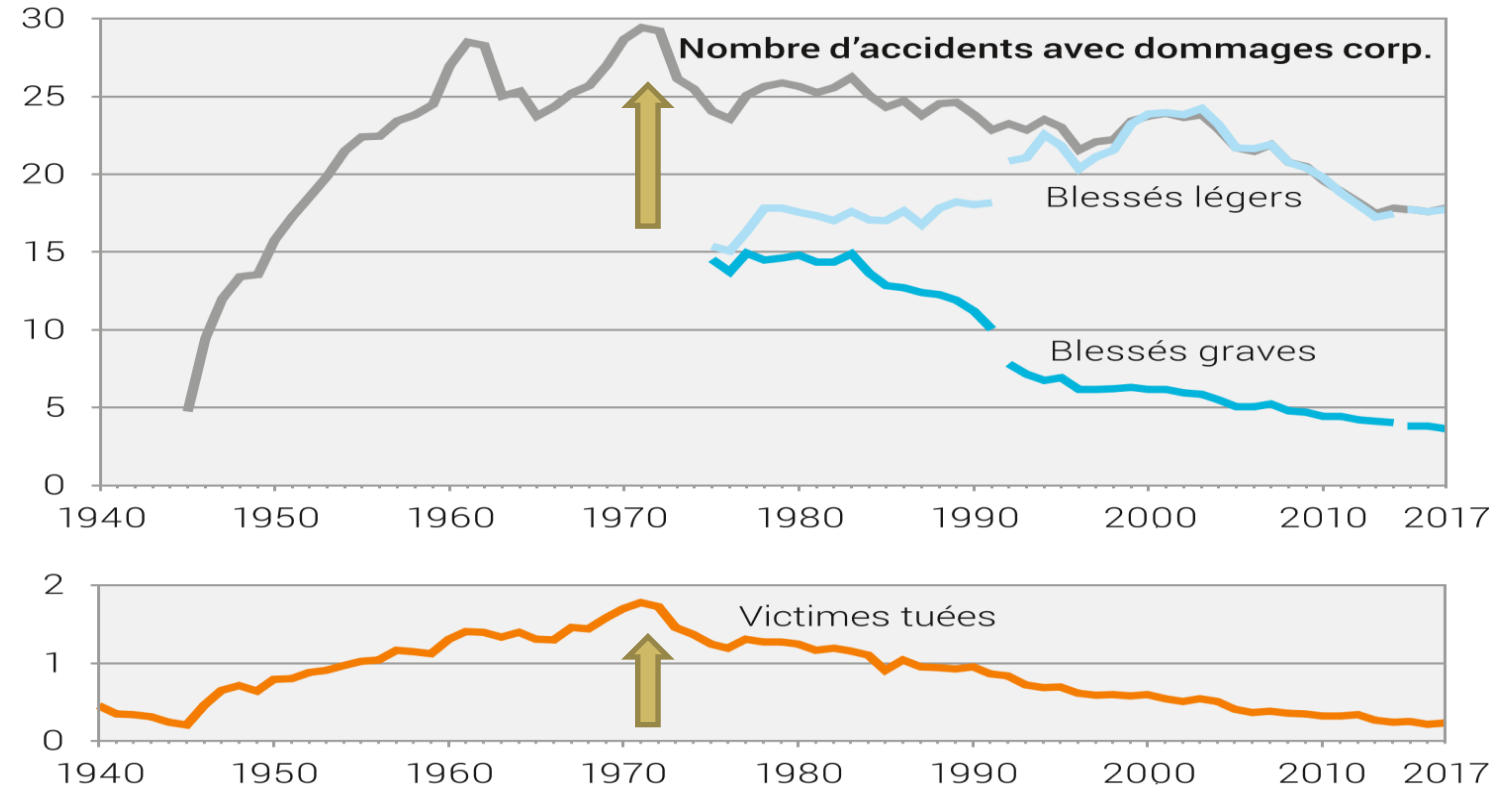
Damoclès



Maîtrise proportionnée  
aux enjeux

## Accidents et victimes de la circulation routière

En milliers



Modifications des définitions des blessés en 1992 et 2015

Source: OFROU, OFS – Accidents de la circulation routière (SVU)

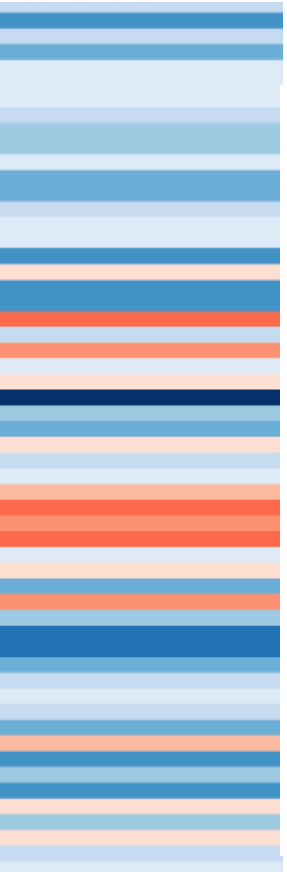
© OFS 2018



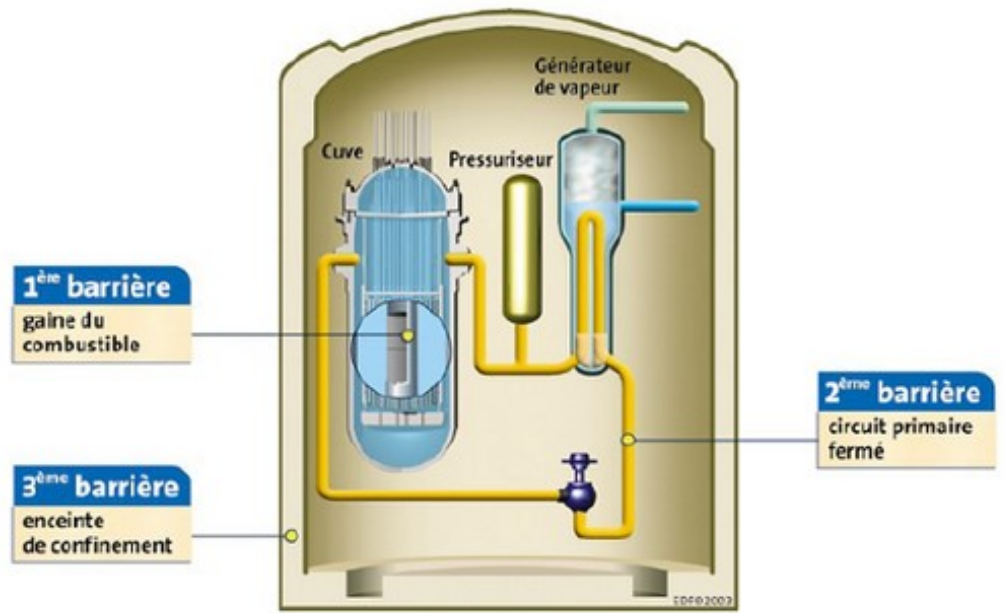
# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur



Damoclès



## Les trois barrières de sûreté



# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur



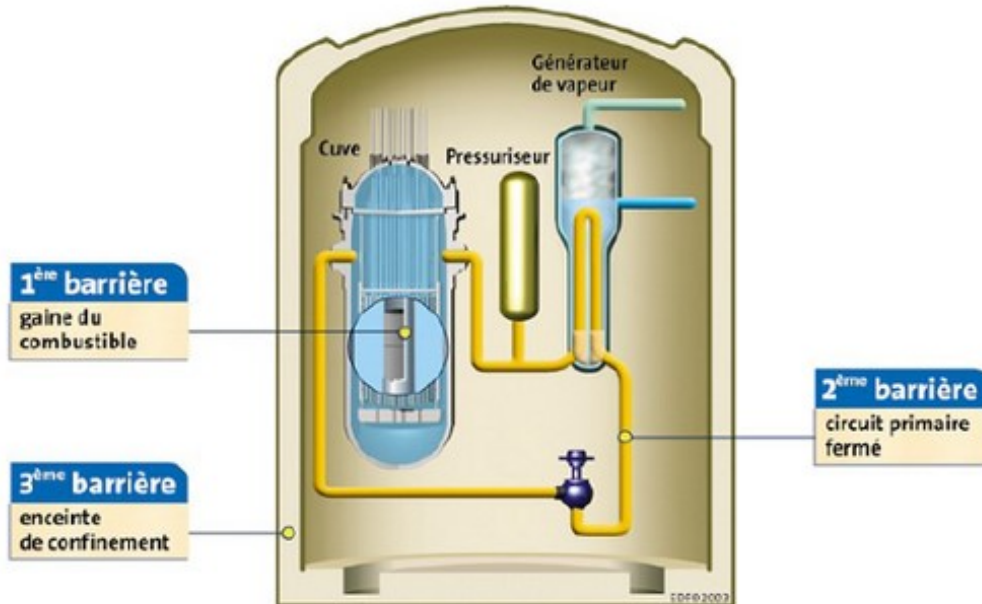
Damoclès



## Les trois principes constructifs

- Indépendance des barrières
- Redondance des éléments de sûreté
- Diversité des composants

## Les trois barrières de sûreté



# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur



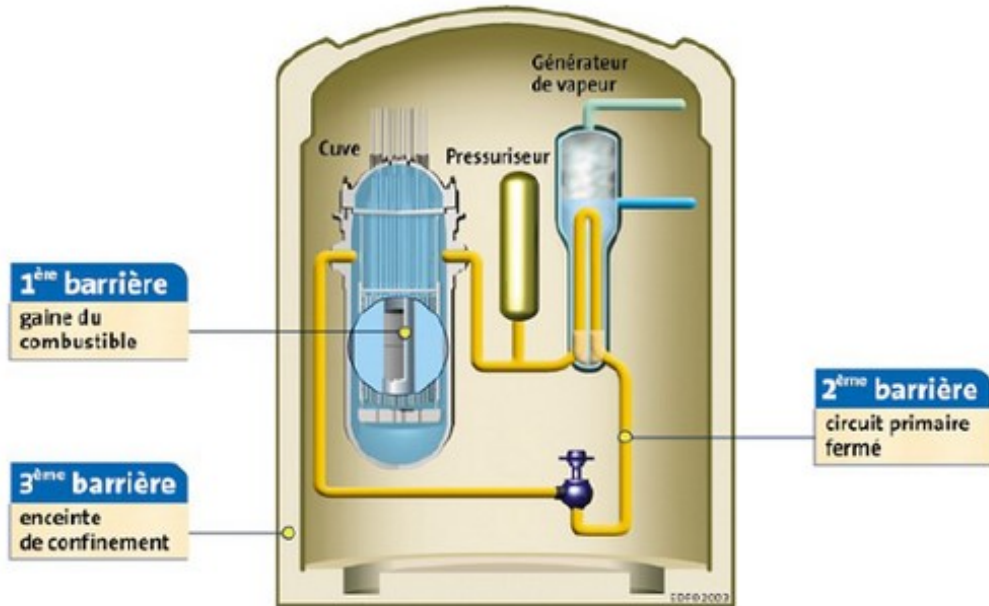
Damoclès



## Les trois principes constructifs

- Indépendance des barrières
- Redondance des éléments de sûreté
- Diversité des composants

## Les trois barrières de sûreté



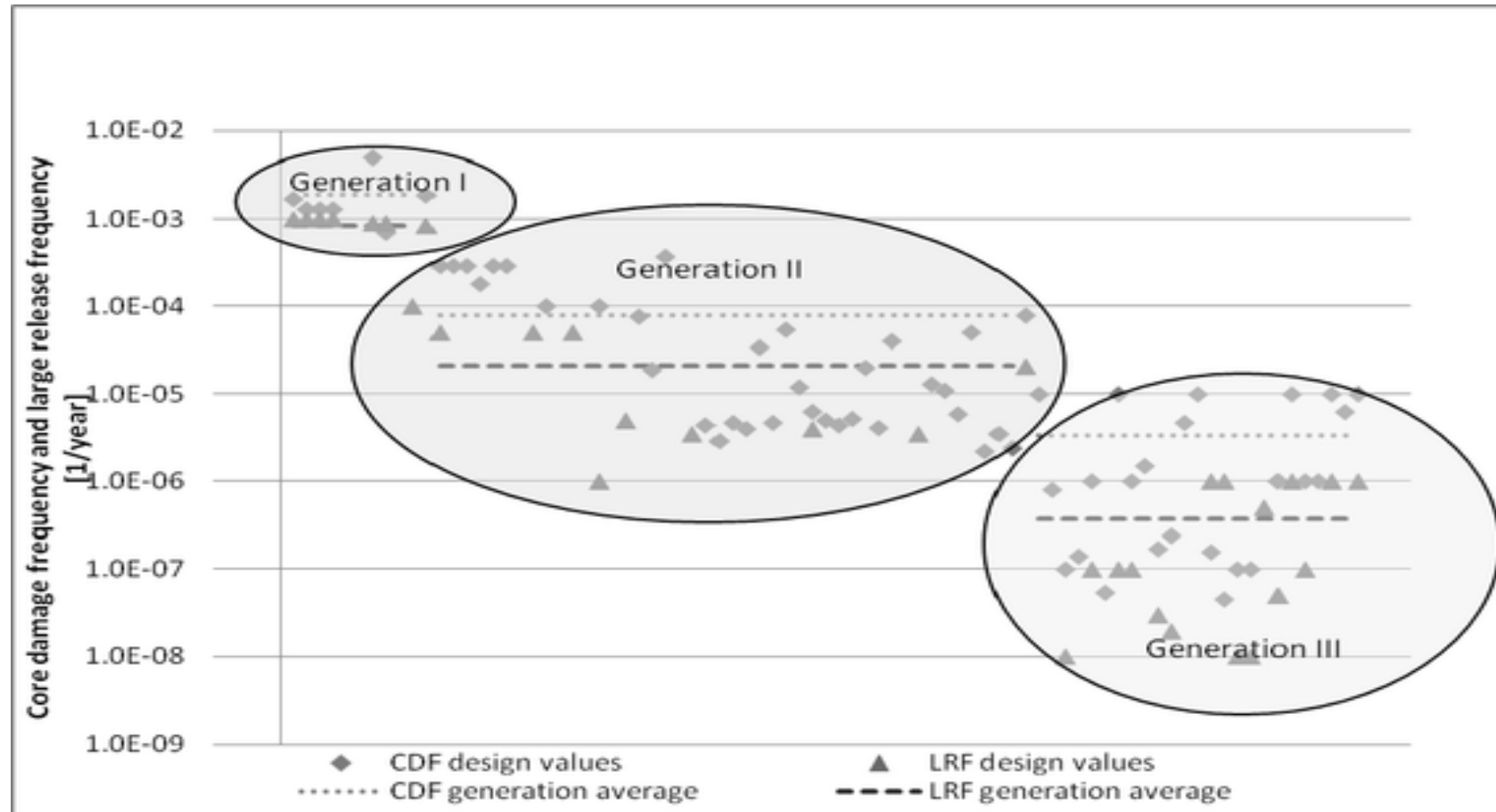
## Les cinq niveaux d'action



# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

Amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires :  
**10 fois plus sûrs tous les 10 ans**

Damoclès

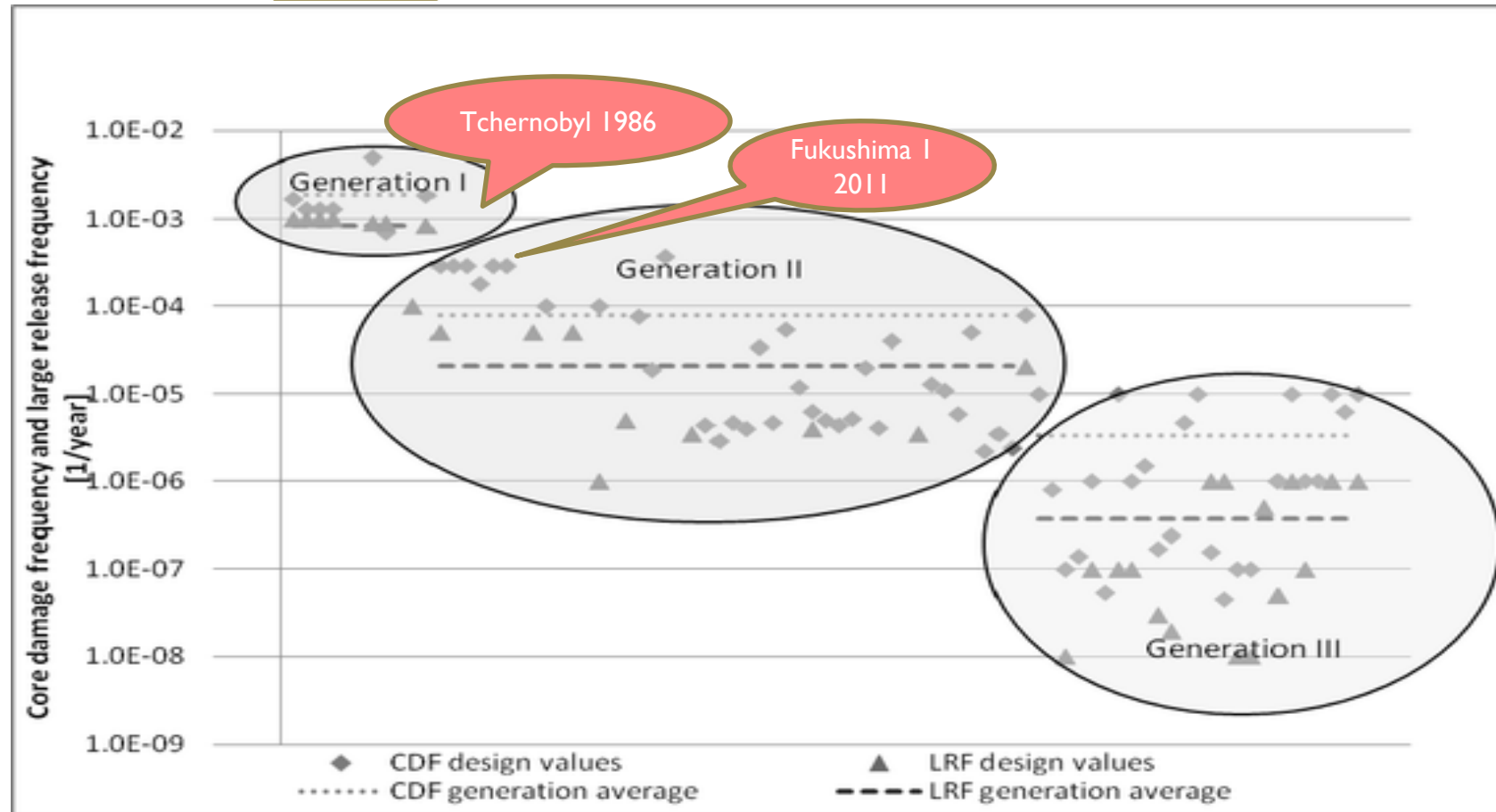


Source :  
A.V. Wendland,  
nuklearia.de, 2016

# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

Amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires :  
**10 fois plus sûrs tous les 10 ans**

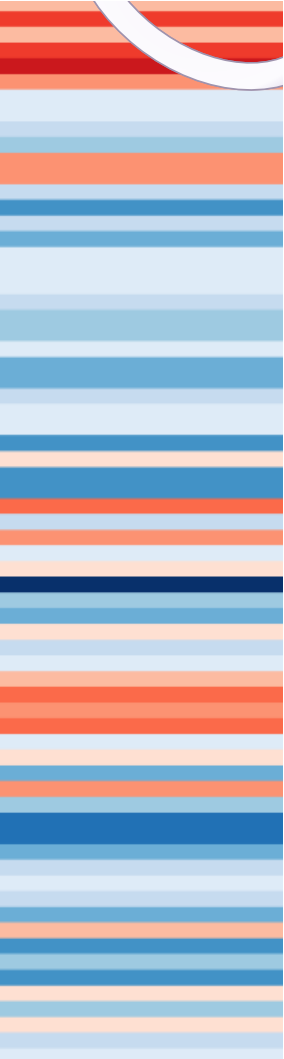
dépassés



Source :  
A.V. Wendland,  
nuklearia.de, 2016



Damoclès



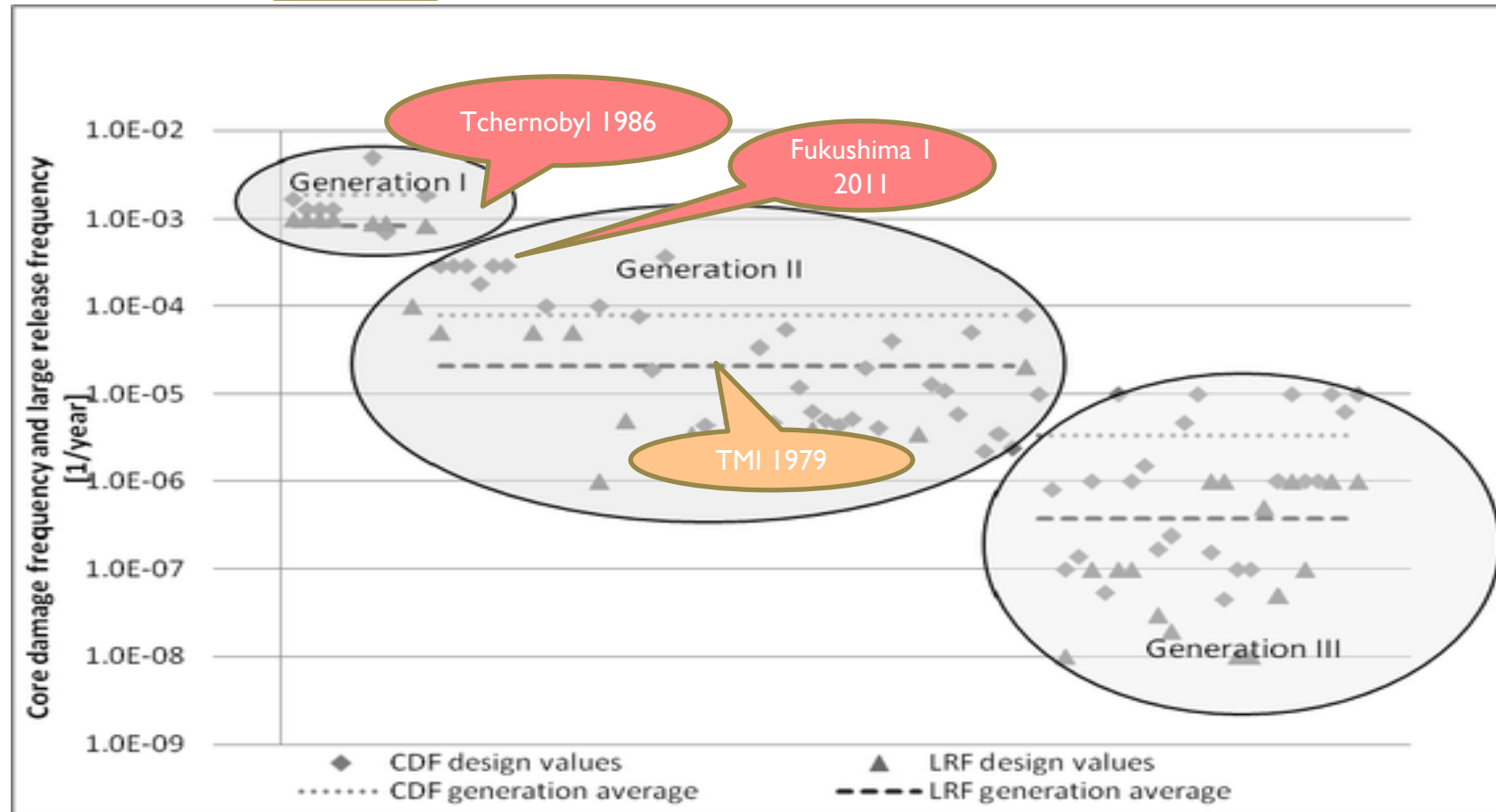


# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

Amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires :  
**10 fois plus sûrs tous les 10 ans**

dépassés

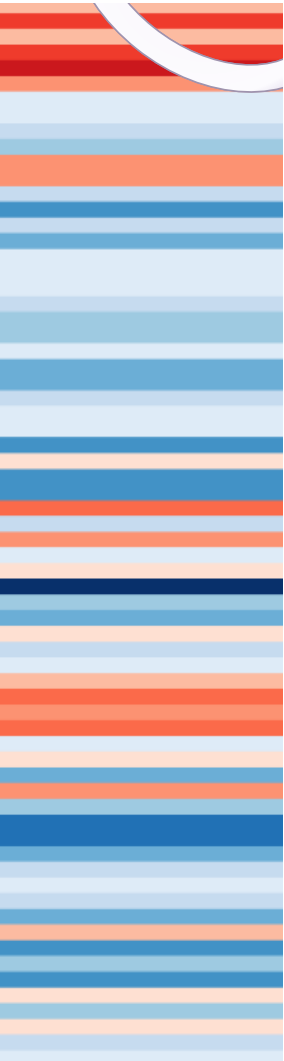
état de  
l'art



Source :  
A.V. Wendland,  
nuklearia.de, 2016



Damoclès



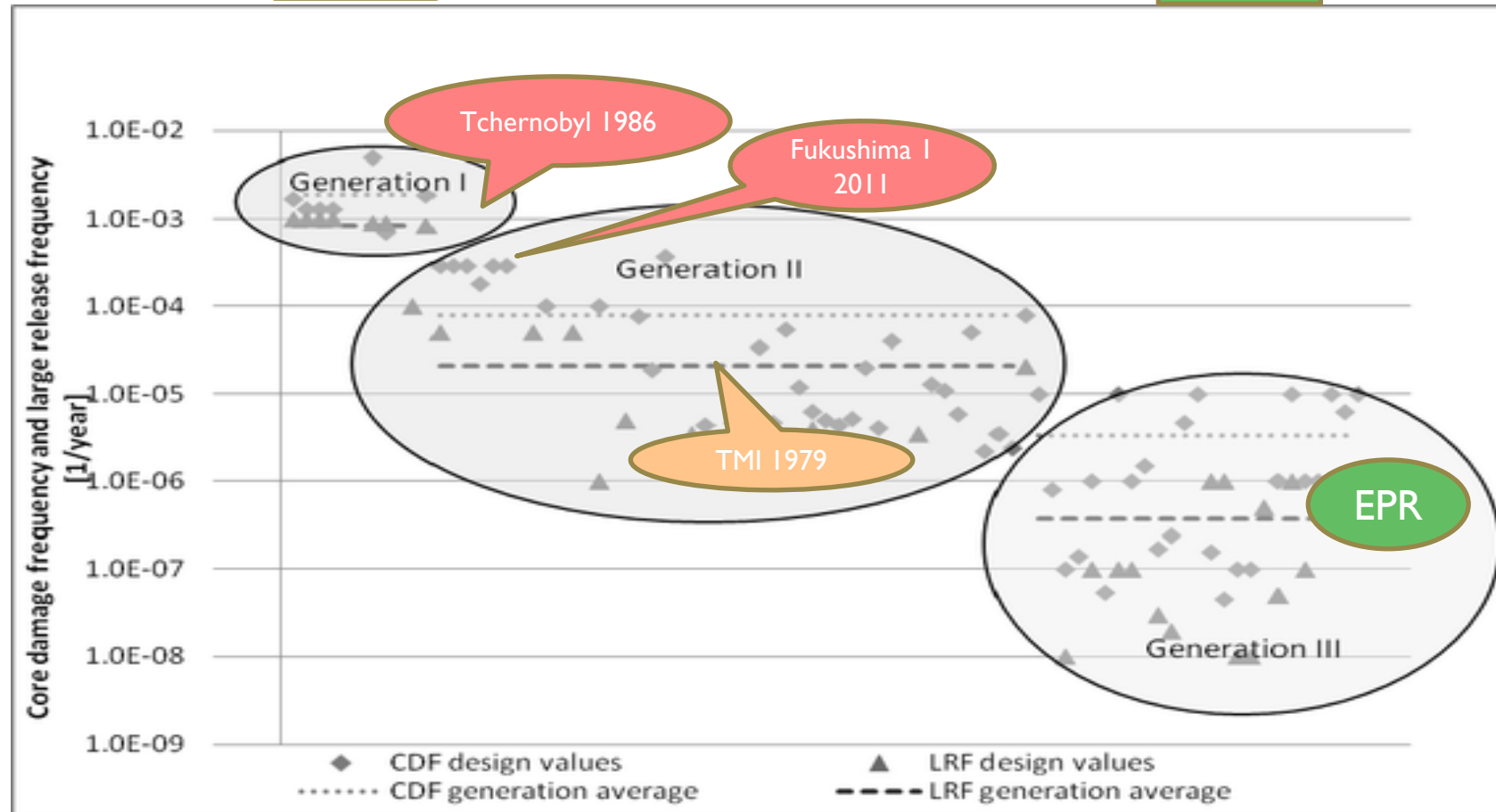
# Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

Amélioration de la sûreté des réacteurs nucléaires :  
**10 fois plus sûrs tous les 10 ans**

dépassés

état de  
l'art

avancés



Source :  
A.V. Wendland,  
nuklearia.de, 2016

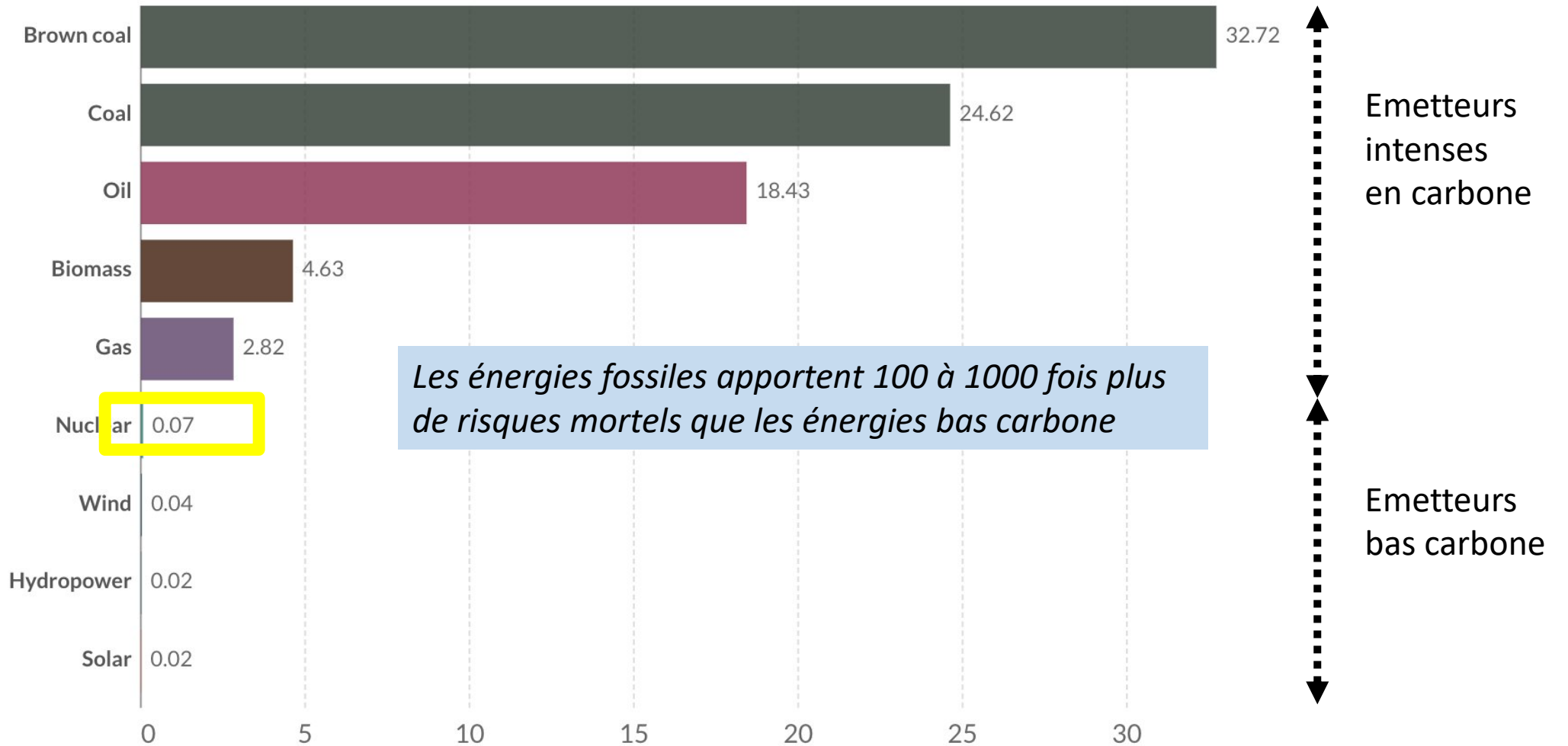
# Morts par Téra watt-heure d'énergie consommée

## Death rates from energy production per TWh

Death rates are measured based on deaths from accidents and air pollution per terawatt-hour (TWh).

Our World in Data

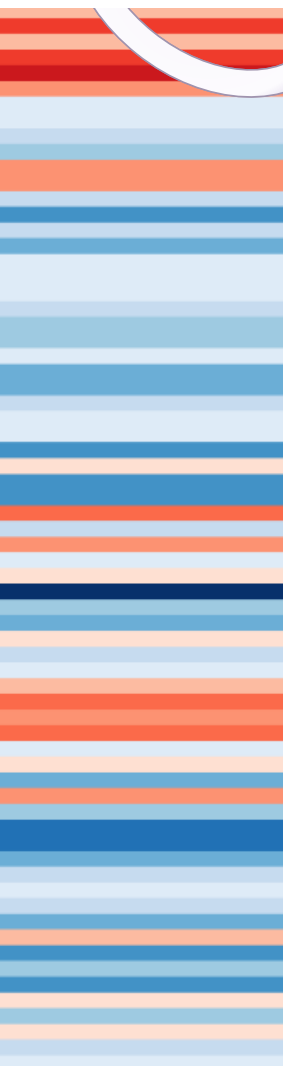
Damoclès



# Emissions CO<sub>2</sub>eq par Gigawatt-heure d'énergie consommée

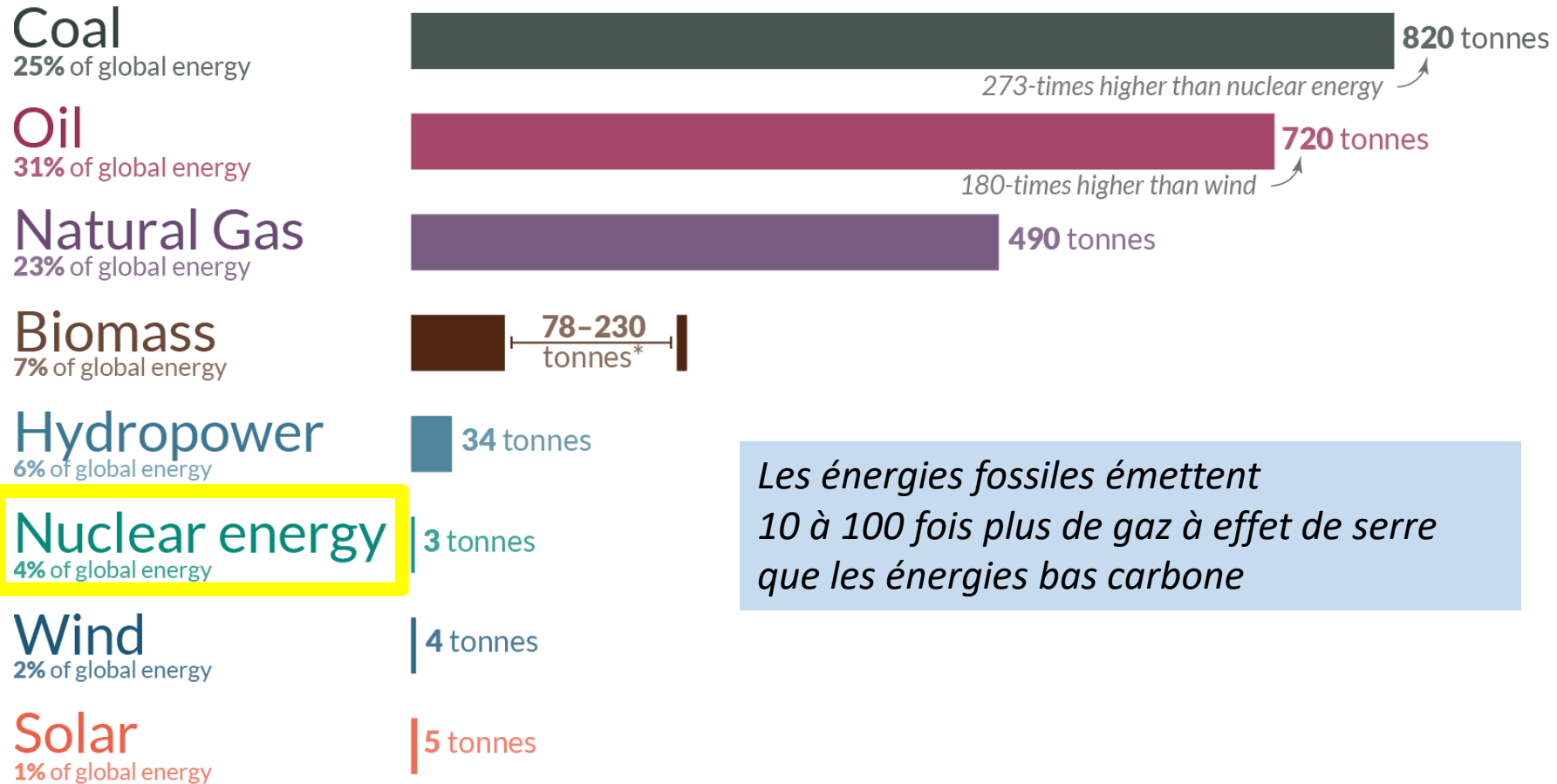


Damoclès



## Greenhouse gas emissions

Measured in emissions of CO<sub>2</sub>-equivalents per gigawatt-hour of electricity over the lifecycle of the power plant.  
1 gigawatt-hour is the annual electricity consumption of 160 people in the EU.



*Les énergies fossiles émettent 10 à 100 fois plus de gaz à effet de serre que les énergies bas carbone*

Our World in Data

Emetteurs intenses en carbone

Emetteurs bas carbone

# Dialoguer : Changement climatique



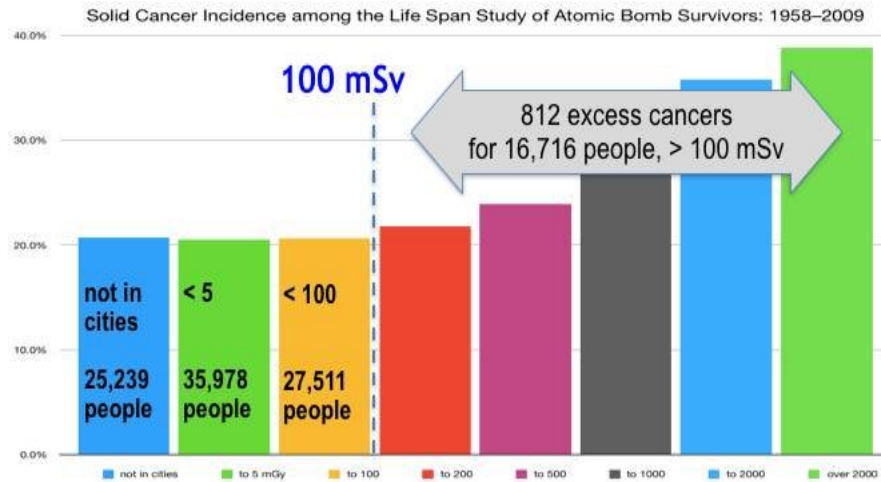
Cassandra

- Messages du GIEC en 2018 :
  - La baisse à zéro émissions nettes de CO<sub>2</sub> entre 2020 et 2050 est possible et limite le réchauffement à +1,5°C
  - Plus la baisse est tardive, plus les correctifs sont drastiques
- Il faut pour réussir cette baisse
  - Arrêter complètement la consommation de charbon
  - Diviser celle de pétrole par 1.5 à 4
  - Diviser celle de gaz par 2 à 4
  - Multiplier la production électronucléaire par 1.5 à 5
  - Multiplier celle des ENR hors biomasse par 8 à 11
- ... et nous aurons donné tort à Cassandra !



# Circonscrire : Rayonnements ionisants à dose < 100 mSv

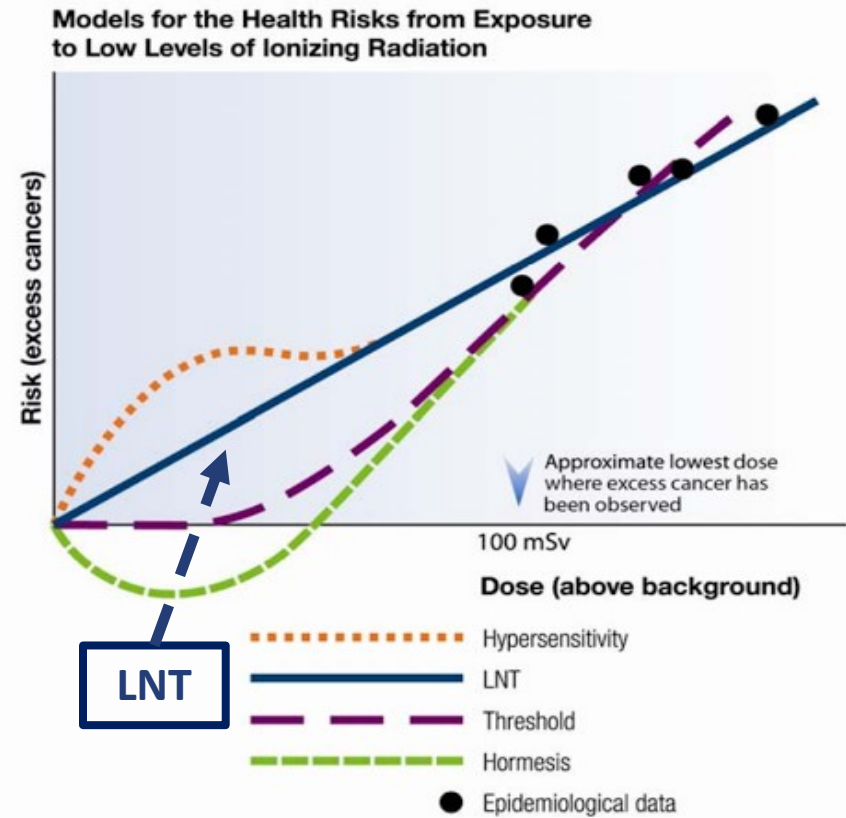
Atom bomb survivors exposures < 100 mSv caused no observed cancers.



Dose reçue

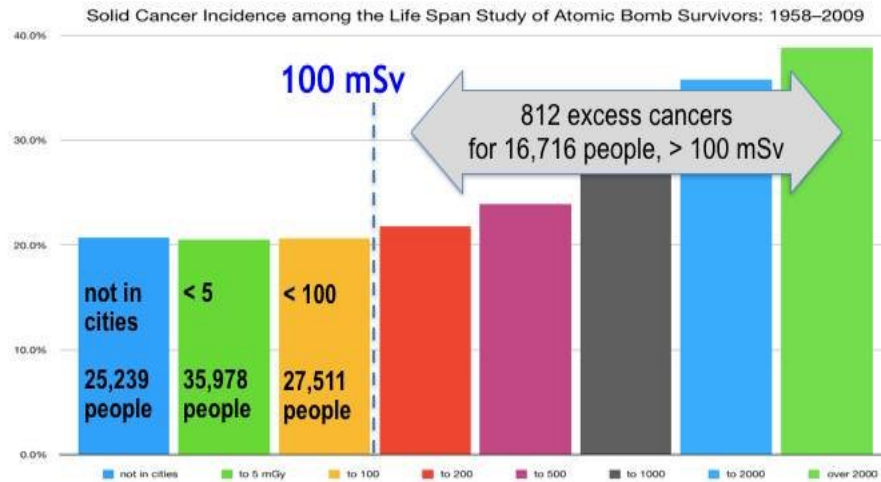
très faible   faible   moyenne   forte

Figure 1: Radiation Risk Models



# Circonscrire : Rayonnements ionisants à dose < 100 mSv

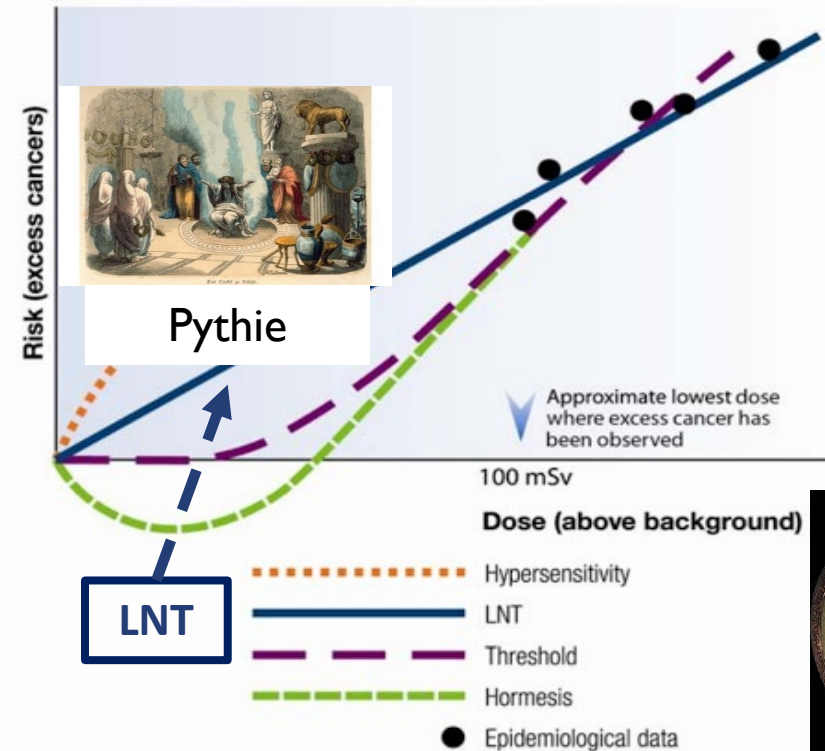
Atom bomb survivors exposures < 100 mSv  
caused no observed cancers.



Dose reçue  
très faible   faible   moyenne   forte

Figure 1: Radiation Risk Models

Models for the Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation



ALARA

BANANA



Méduse

# Doses maximales au long de 1 million d'années

Réglementation : inférieur à  $10^{-1}$  mSv/an

Cigeo : entre  $10^{-6}$  et  $10^{-2}$  mSv/an



Damoclès

Source : IRSN, dossier d'options  
de sûreté Cigeo 2017

		Biosphère tempérée		Biosphère chaude	
		Dose maximale (mSv/an)	Date de dose maximale (milliers d'années)	Dose maximale (mSv/an)	Date de dose maximale (milliers d'années)
Situation de référence	Pompage au Barrois 150 L.min <sup>-1</sup>	$4,2 \cdot 10^{-07}$	≥1000	$4,8 \cdot 10^{-07}$	≥1000
	Pompage au Dogger (zone de fracturation diffuse) 100 L.min <sup>-1</sup>	$1,0 \cdot 10^{-03}$	800	$1,1 \cdot 10^{-03}$	≥1000
Situation enveloppe	Pompage au Barrois 150 L.min <sup>-1</sup> Stockage implanté avec une garde supérieure de 50 m	$1,6 \cdot 10^{-03}$	340	$1,9 \cdot 10^{-03}$	340
	Pompage au Dogger (zone de fracturation diffuse) 100 L.min <sup>-1</sup> Stockage implanté avec une garde inférieure de 50 m	$1,3 \cdot 10^{-02}$	210	$1,8 \cdot 10^{-02}$	250

Tableau 30 - Doses maximales estimées par l'Andra aux exutoires du Barrois et du Dogger pour les biosphères chaude et tempérée.





Damoclès

Débites de radionucléides sur 1 million d'années : comparables pour les scénarios d'évolution normal, altéré et *what-if*

Source : IRSN, dossier d'options de sûreté Cigeo 2017

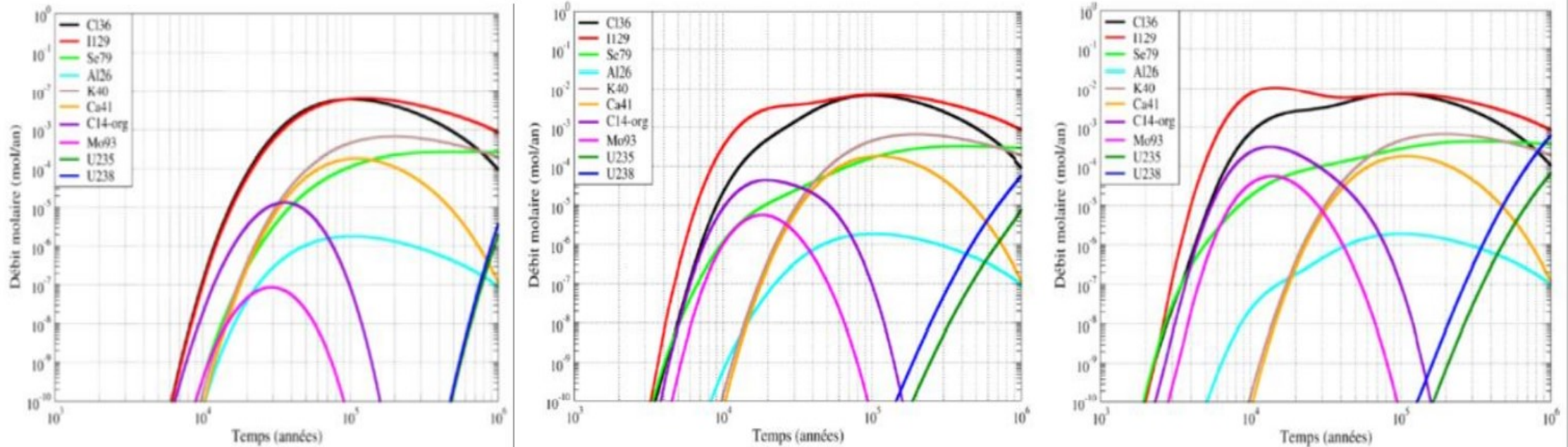


Figure 81 : Débites molaires au cours du temps au toit et au mur du Callovo-Oxfordien en situation « *enveloppe* » (de gauche à droite : SEN, SEA de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défailants), Scénario *What-if* de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défailants))



Damoclès

Débits de radionucléides sur 1 million d'années : comparables pour les scénarios d'évolution normal, altéré et *what-if*

Source : IRSN, dossier d'options de sûreté Cigeo 2017

Réglementation INB

Cigeo débit max

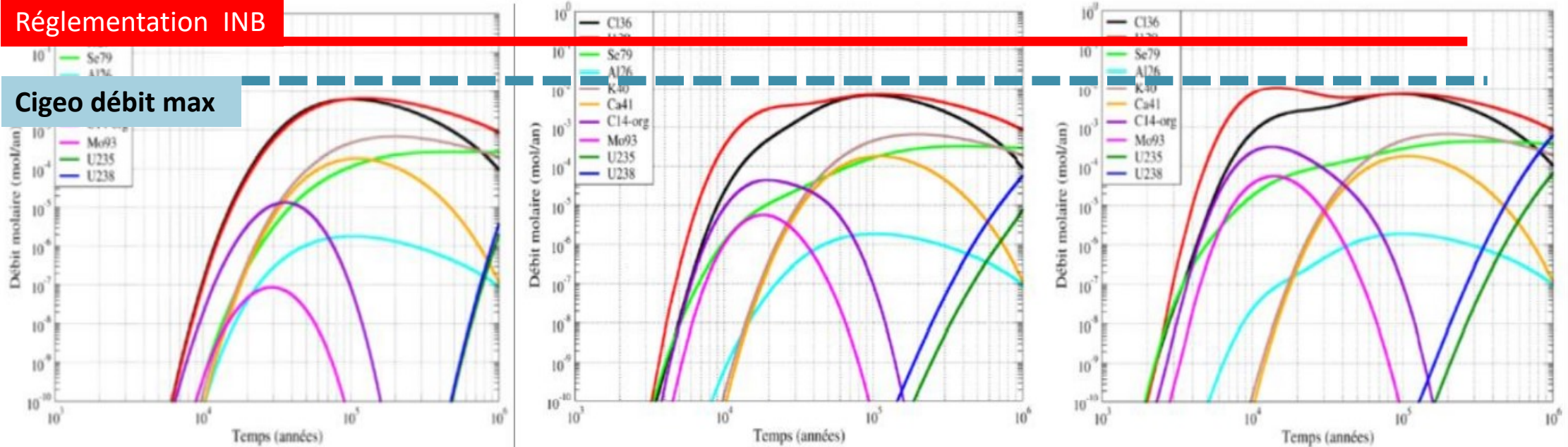


Figure 81 : Débits molaires au cours du temps au toit et au mur du Callovo-Oxfordien en situation « *enveloppe* » (de gauche à droite : SEN, SEA de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défectueux), Scénario *What-if* de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défectueux))



# Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose



Damoclès

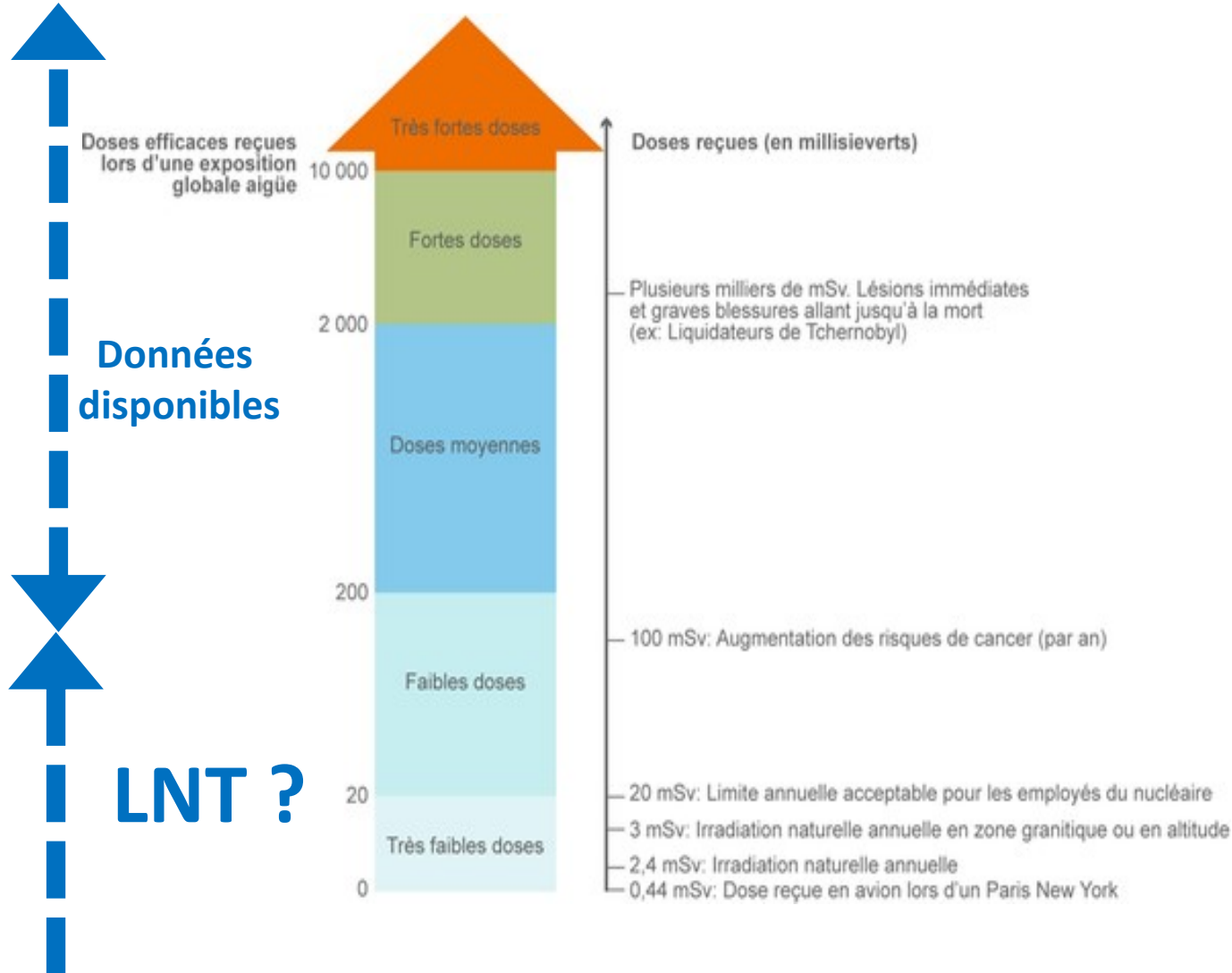


Données  
disponibles

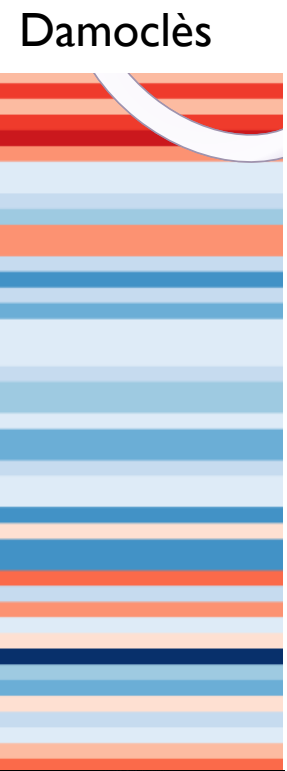
LNT ?



Méduse



# Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose



Damoclès

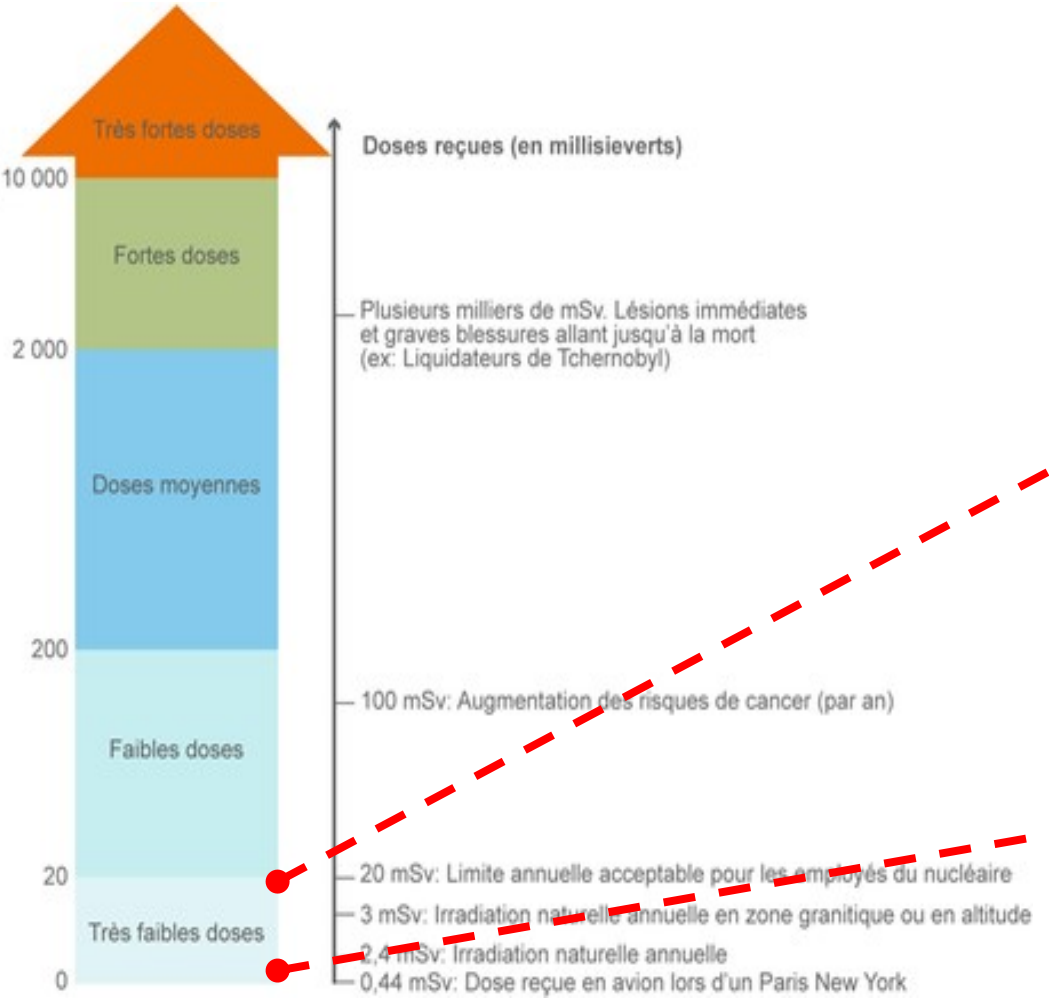
Méduse



Doses efficaces reçues lors d'une exposition globale aigüe

Données disponibles

LNT ?



Réglem. Travail

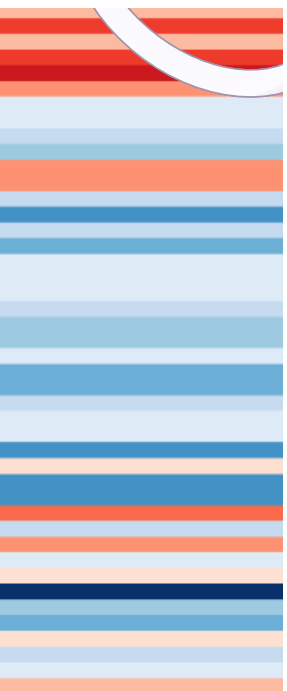
Réglem. Public

Dérog. Public

# Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose

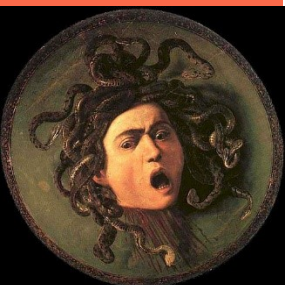


Damoclès

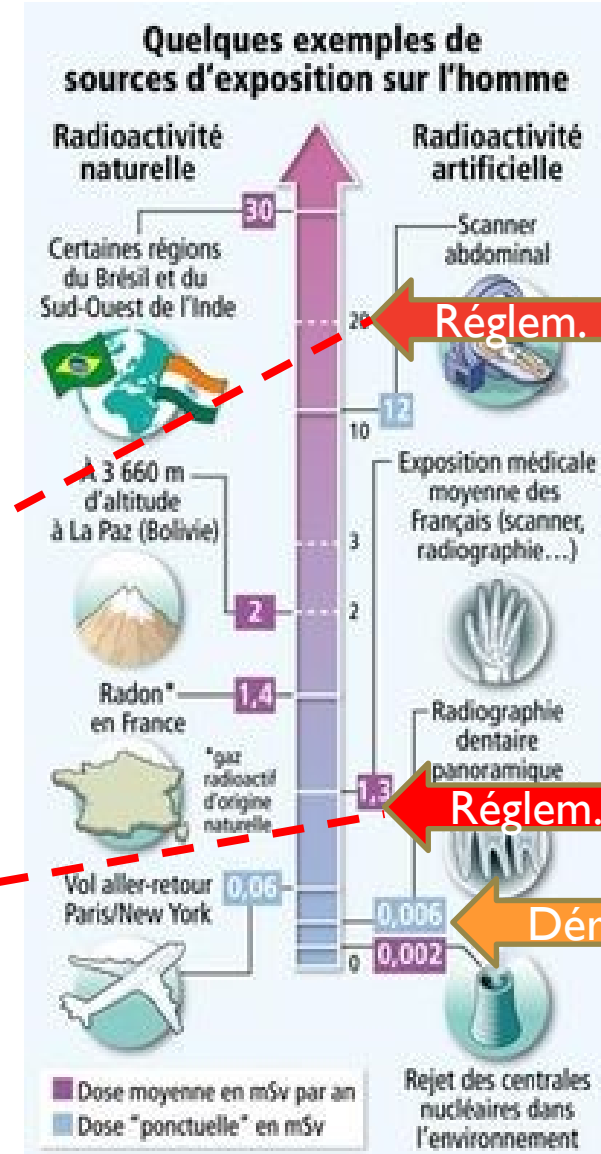
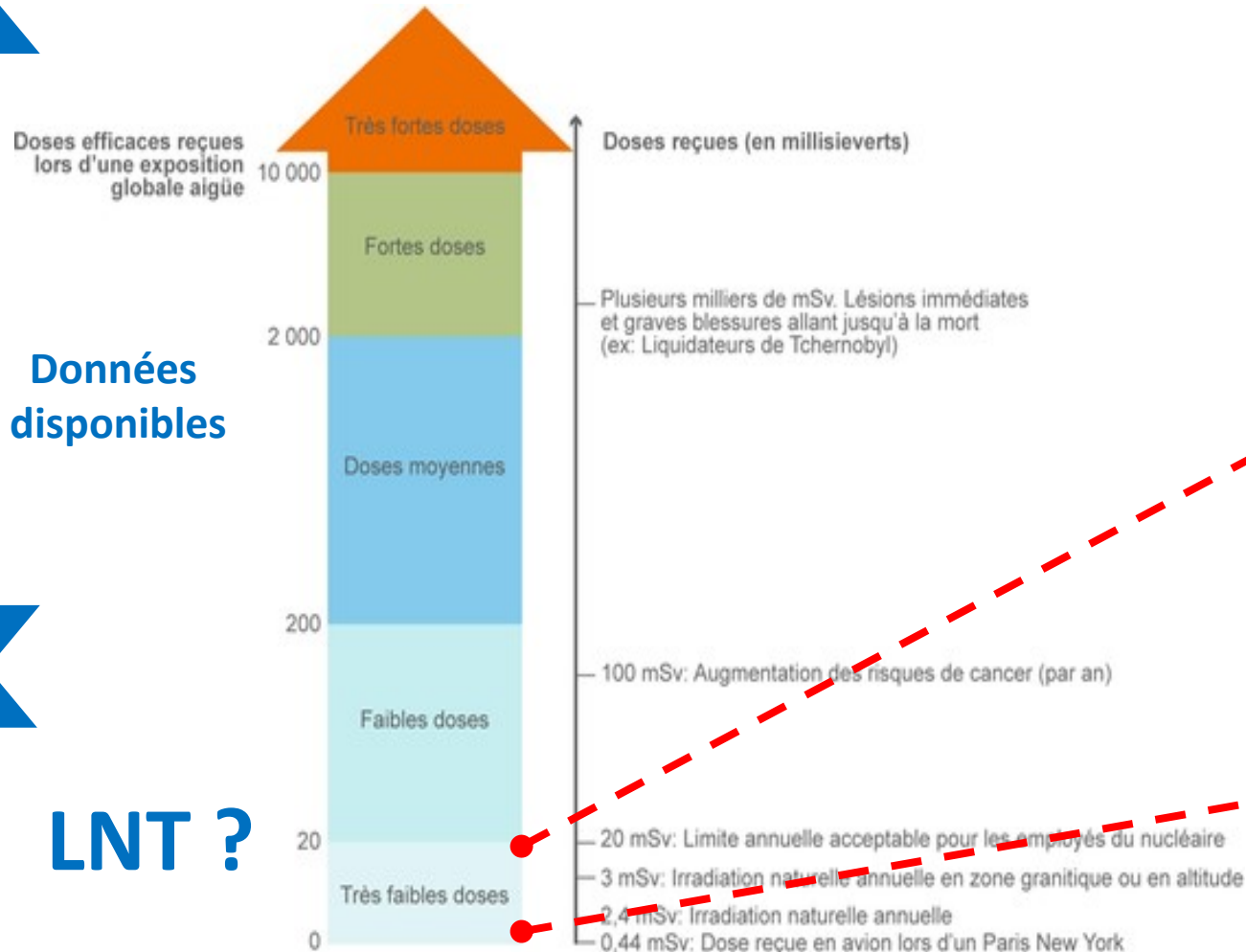


Données disponibles

LNT ?



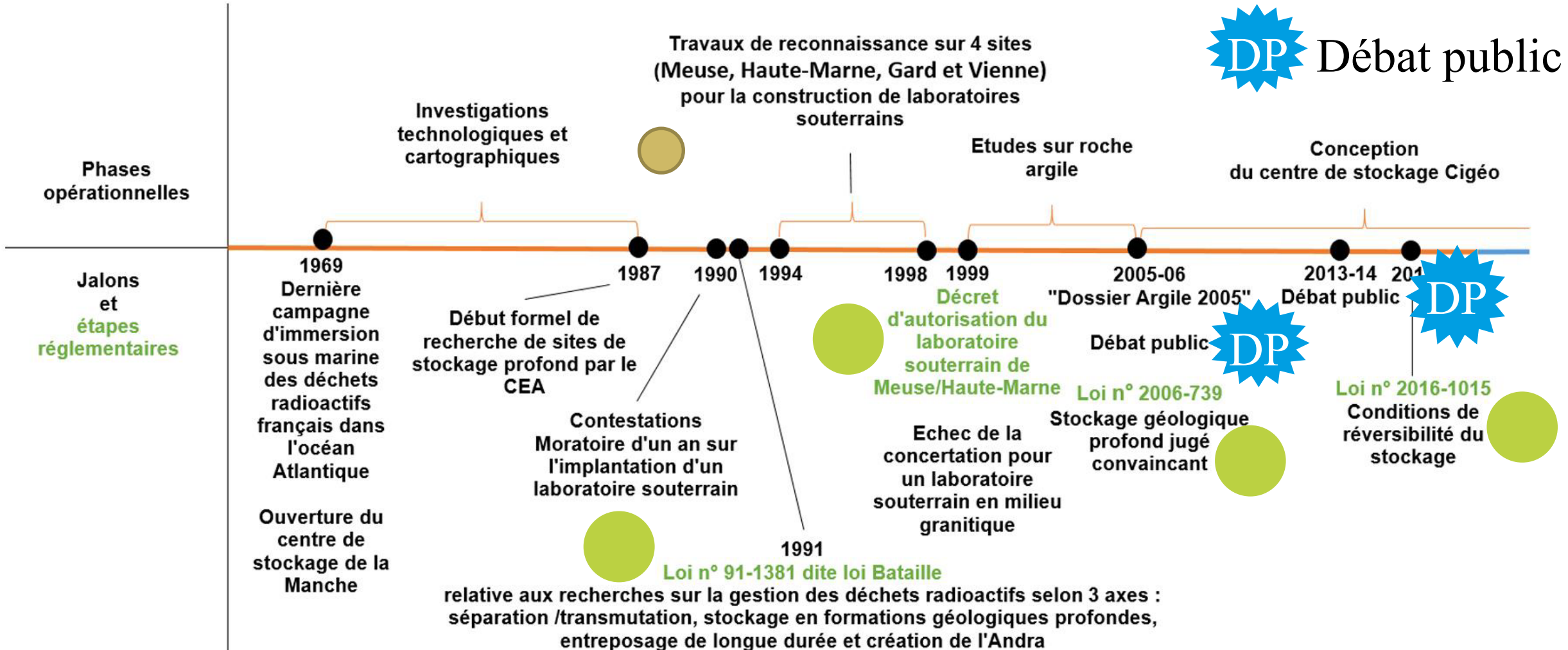
Méduse



# Dialoguer et maîtriser : du débat démocratique ...

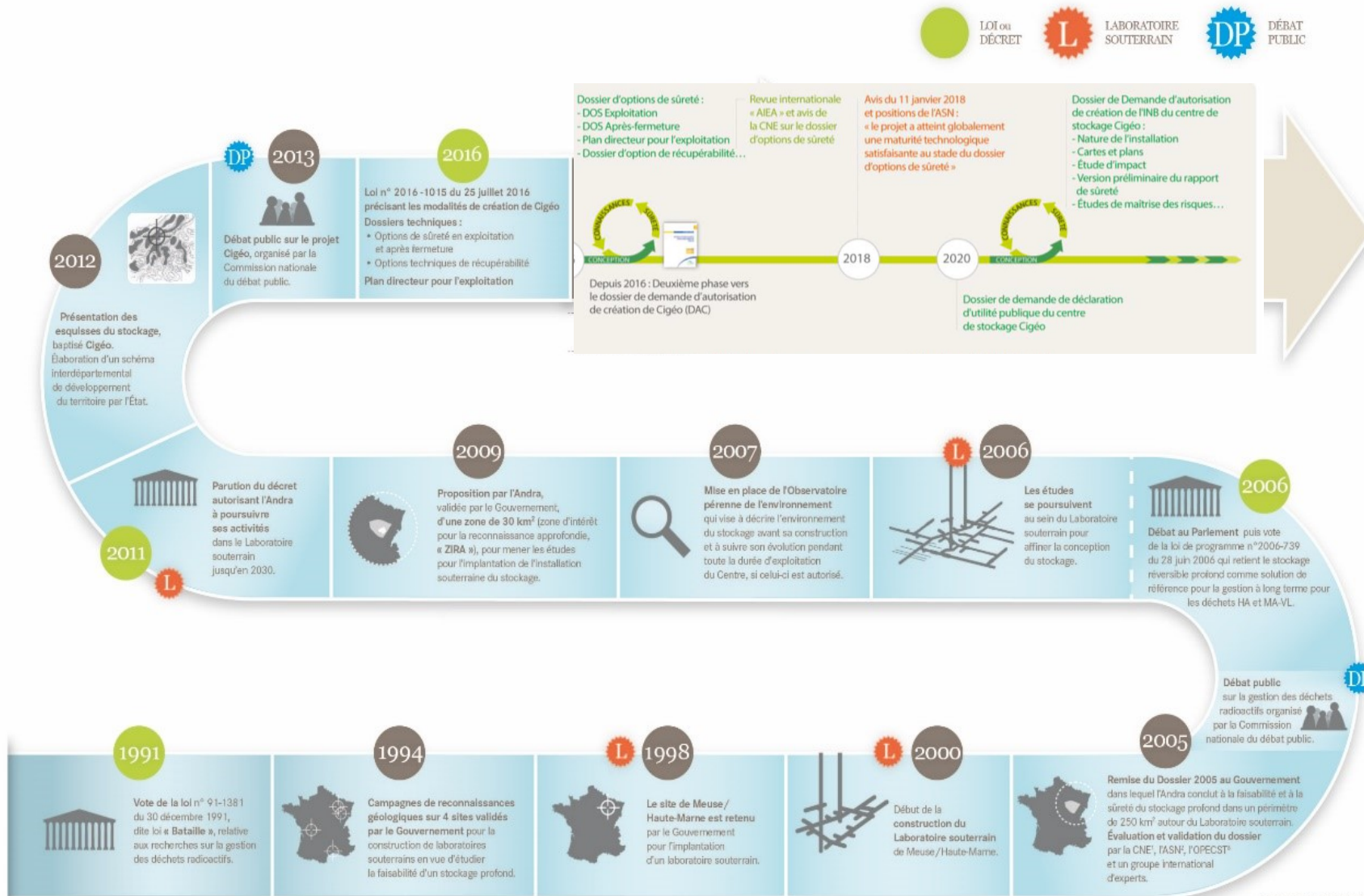
## Recherche d'un site de stockage géologique profond

● Loi ou décret  
 DP Débat public

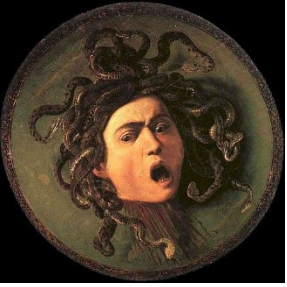




# Histoire du projet Cigéo depuis 1991



<sup>1</sup> Commission nationale d'évaluation  
<sup>2</sup> Autorité de sûreté nucléaire  
<sup>3</sup> Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques



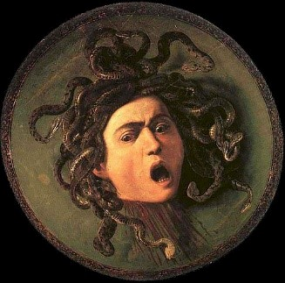
Méduse

# Dialoguer : ... au combat asymétrique

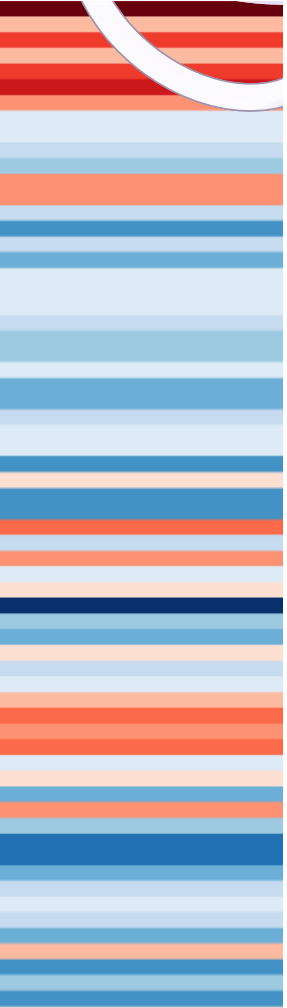
- Le risque réel des déchets radioactifs reste négligeable
- Loi de Brandolini :
  - il est dix fois plus long et plus difficile  
de réfuter une erreur ou un mensonge que de l'affirmer*
- Des *fake-news* qui sont propagées plus souvent, plus vite et plus loin
- Des positions de plus en plus dogmatiques, ONG comprises
- Une désinformation professionnalisée, jusqu'à la « post-vérité »
- Des opposants qui refusent de débattre
  - ... et dénie aux autres la possibilité de débattre



# De l'humour grinçant à la prison ferme



Méduse



Déchets nucléaires : manifestation à Nancy contre la poubelle Cigéo



Publié le Mercredi 2 octobre 2019 à 10h30.



Hebdo L'Anticapitaliste - 491 (03/10/2019)



## Procès « Bure » : deux militants antinucléaires condamnés à de la prison ferme

Le tribunal correctionnel de Bar-le-Duc a rendu son délibéré mardi, trois mois après le procès de sept opposants au projet Cigéo d'enfouissement de déchets nucléaires à Bure, dans la Meuse.

Par Rémi Dupré (Bar-le-Duc, envoyé spécial)

**Le Monde**

Publié le 21 septembre 2021 à 23h46 - Mis à jour le 22 septembre 2021 à 10h26 · Lecture 3 min.

# Conseils pour réduire nos risques

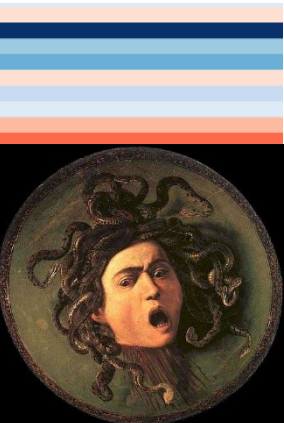
- Réduisons nos risques au travail
- Réduisons nos risques au volant
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière



Damoclès






Cassandre



Méduse



# Conseils pour réduire nos risques

- Réduisons nos risques au travail 
- Réduisons nos risques au volant 
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière 



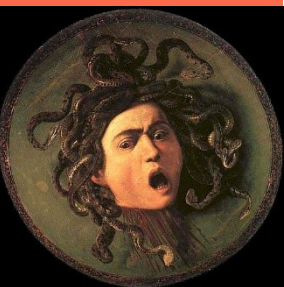
- Connaissons et réduisons notre empreinte CO<sub>2</sub>  
*énergie, transports, alimentation, achats*
  - Consommons moins de tout, moins souvent
  - Electrifions notre énergie, nos transports et notre chauffage
  - **Augmentons nos électricités nucléaire et renouvelable**



Damoclès







Cassandra



Méduse

# Conseils pour réduire nos risques

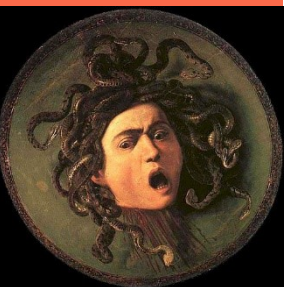
- Réduisons nos risques au travail 
- Réduisons nos risques au volant 
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière  
- Connaissions et réduisons notre empreinte CO<sub>2</sub>
  - énergie, transports, alimentation, achats
  - Consommons moins de tout, moins souvent
  - Electrifions notre énergie, nos transports et notre chauffage
  - **Augmentons nos électricités nucléaire et renouvelables**



Damoclès







Cassandra



Méduse

# Conseils pour réduire nos risques

- Réduisons nos risques au travail 
- Réduisons nos risques au volant 
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière  
- Connaissions et réduisons notre empreinte CO<sub>2</sub>
  - énergie, transports, alimentation, achats
  - Consommons moins de tout, moins souvent
  - Electrifions notre énergie, nos transports et notre chauffage
  - **Augmentons notre électricité nucléaire et renouvelable**
- **Écoutons Cassandre, écoutons-la maintenant !**
- **N'ayons pas peur de Méduse**, elle n'est que notre peur de la peur...
- ...et nous nous porterons mieux !



Damoclès



Cassandre

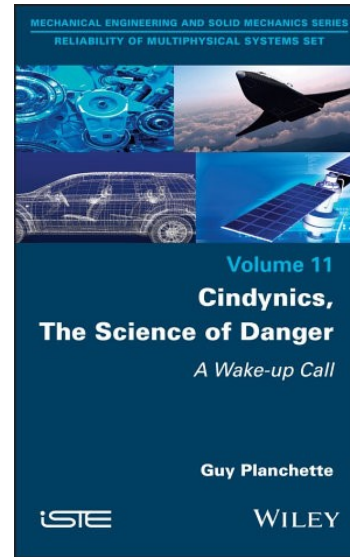


Méduse



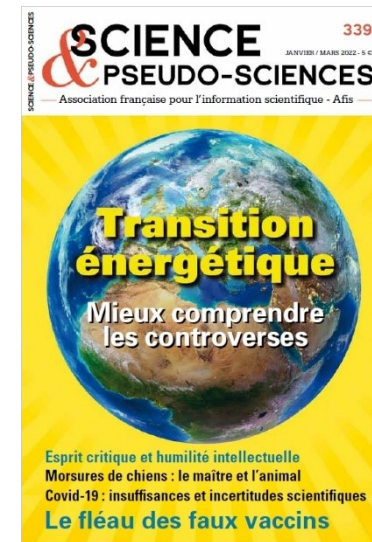
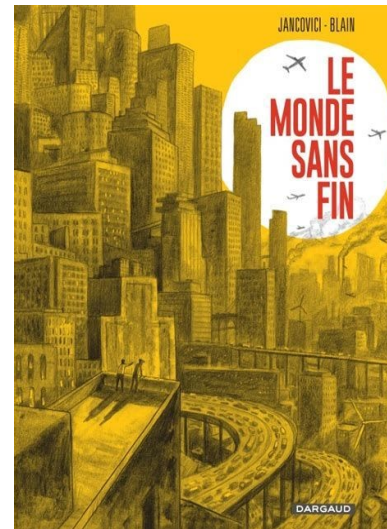
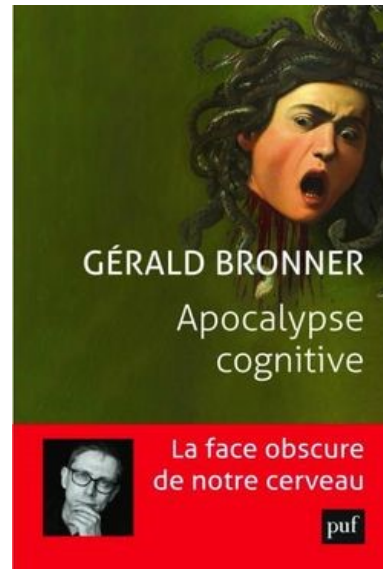
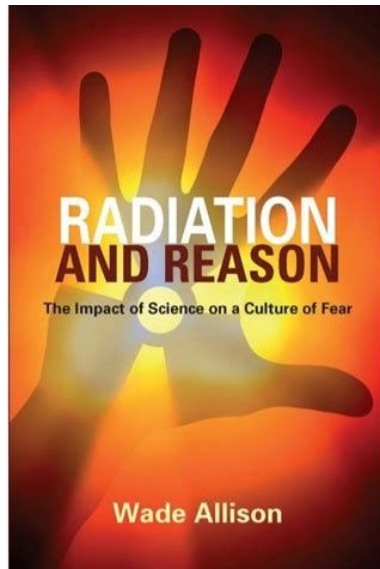


# Pour en savoir plus...



[www.imdr.eu](http://www.imdr.eu)

Institut pour la **Maîtrise des Risques**  
Sûreté de Fonctionnement - Management - Cindynics



**WIKIPÉDIA**  
L'encyclopédie libre