

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

Jean-Marc Cavedon



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



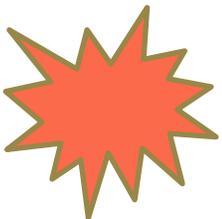
Danger = Menace



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



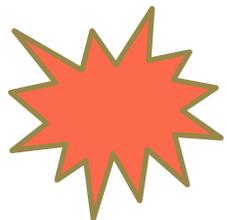
Danger = Menace



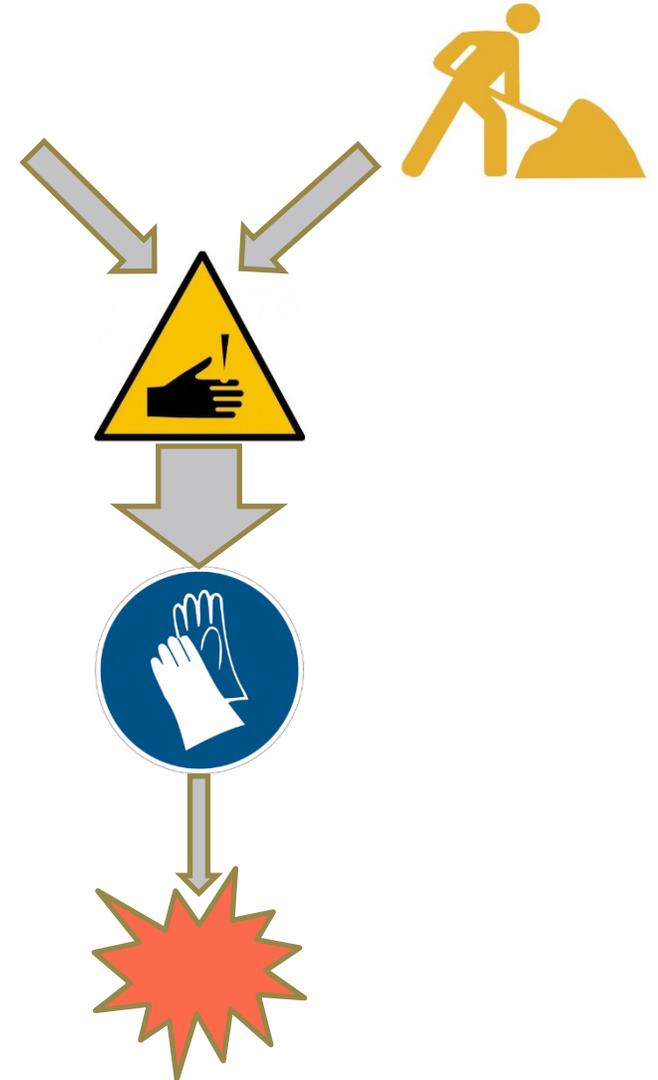
Risque = Exposition à un danger



Prévention = Parades au danger et réduction du risque



Damage = 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



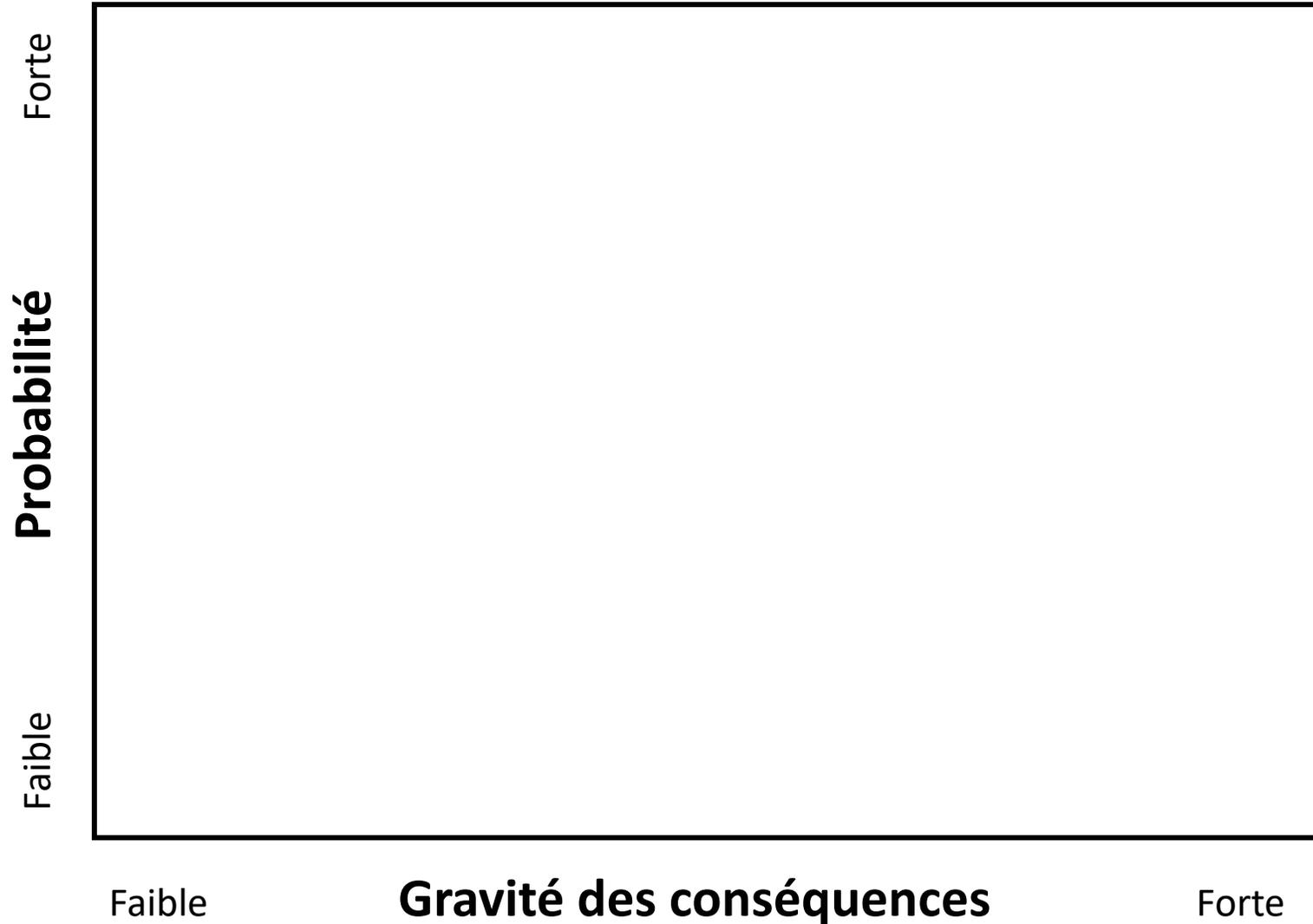
Faible

Faible

Gravité des conséquences

Forte

Risque et mythologie

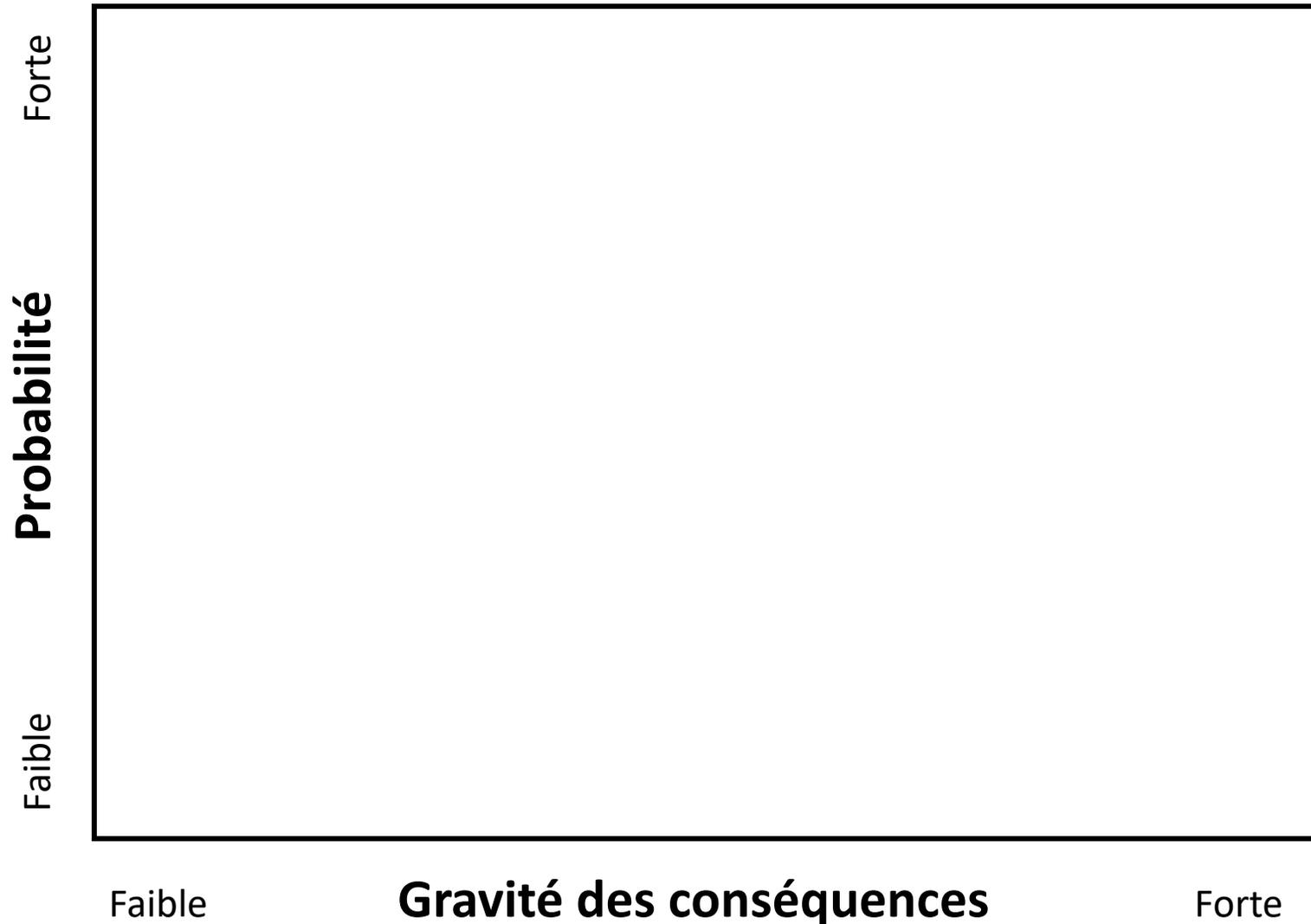


Les neuf questions à se poser
sur un risque

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

Source : Klinke & Renn, 2000

Risque et mythologie

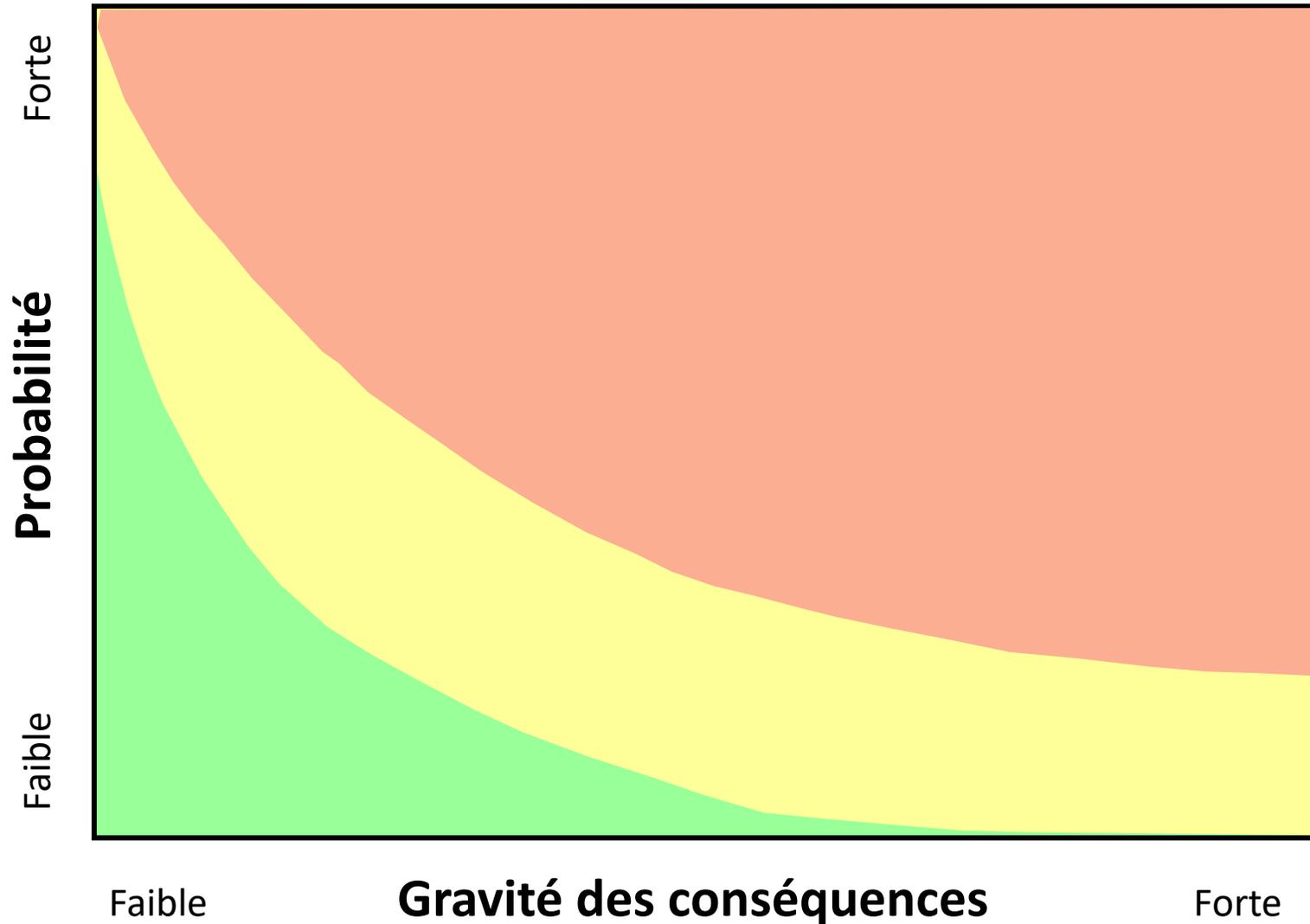


Les neuf questions à se poser
sur un risque

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

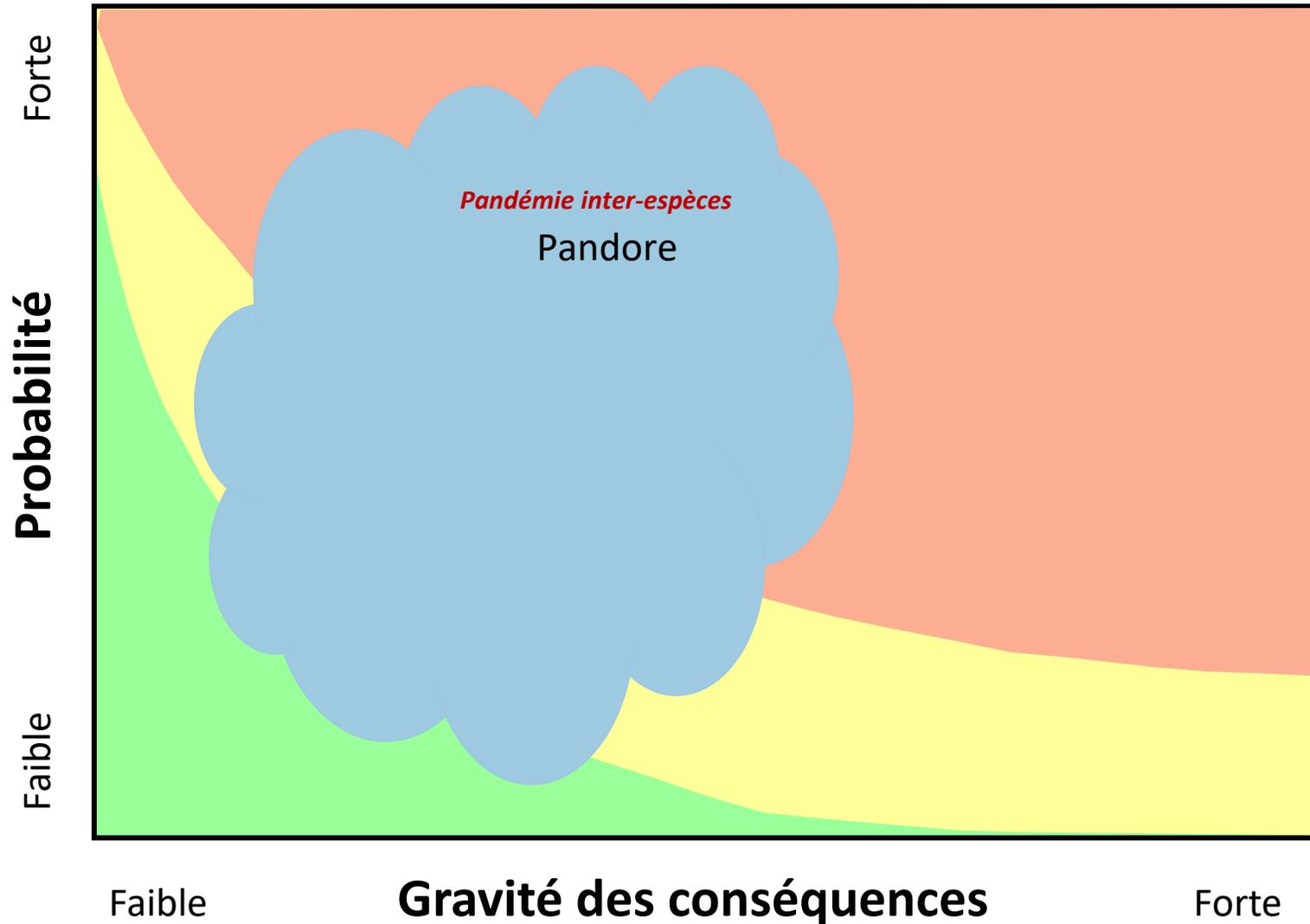


Les neuf questions à se poser sur un risque

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 : Klinke & Renn, 2000

Risque et mythologie

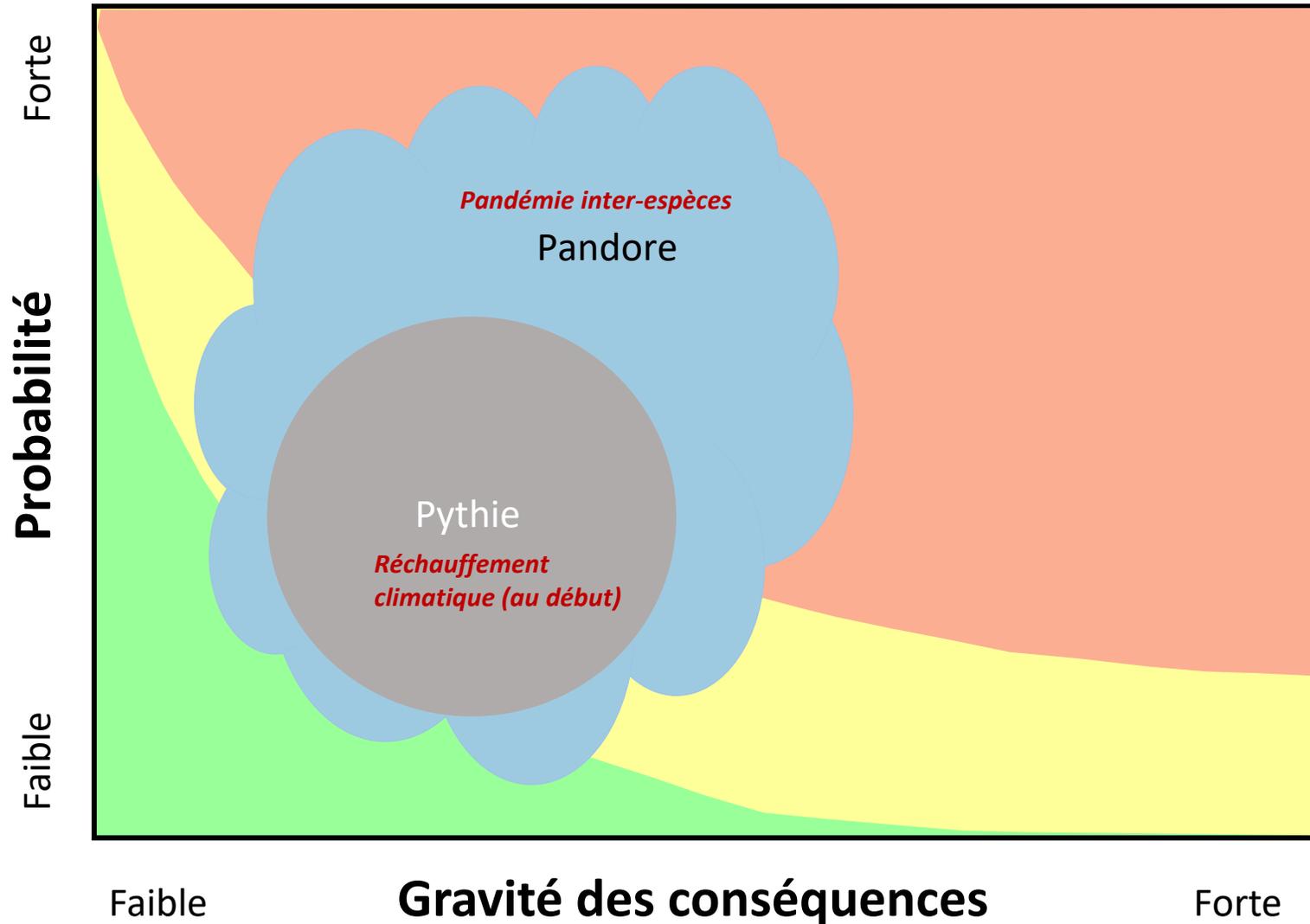


Les neuf questions à se poser sur un risque

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

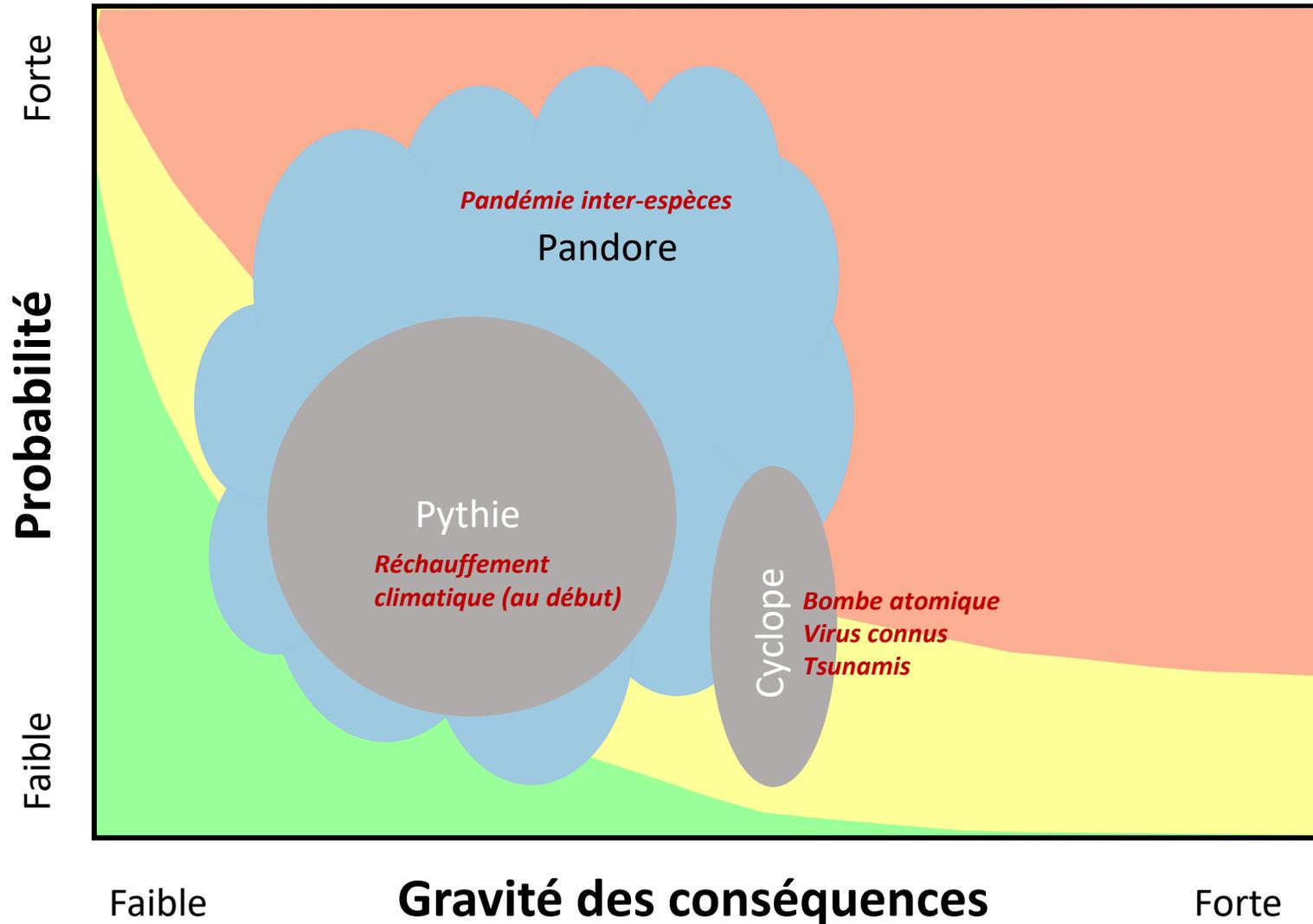


Les neuf questions à se poser sur un risque

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

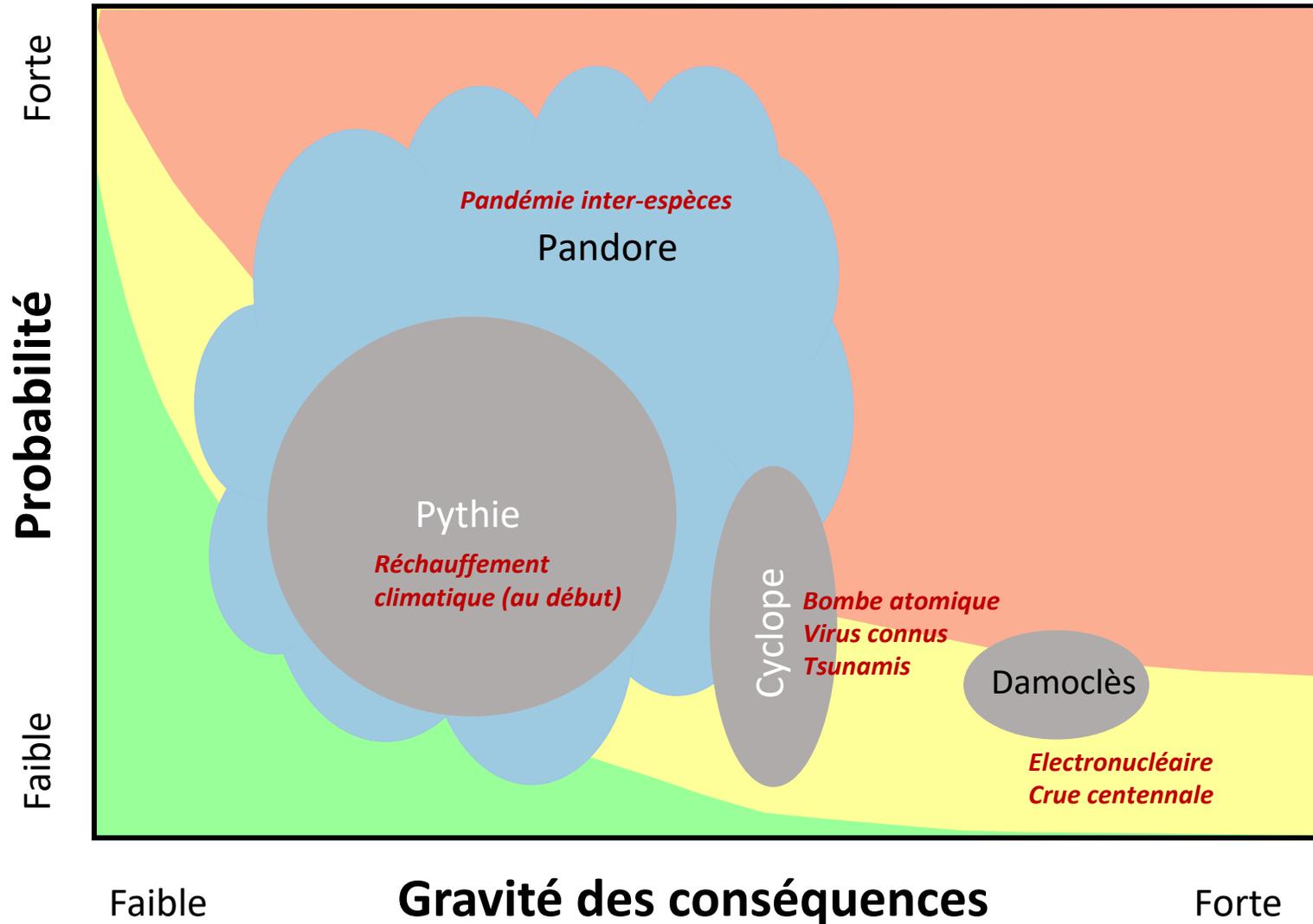


Les neuf questions à se poser sur un risque

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

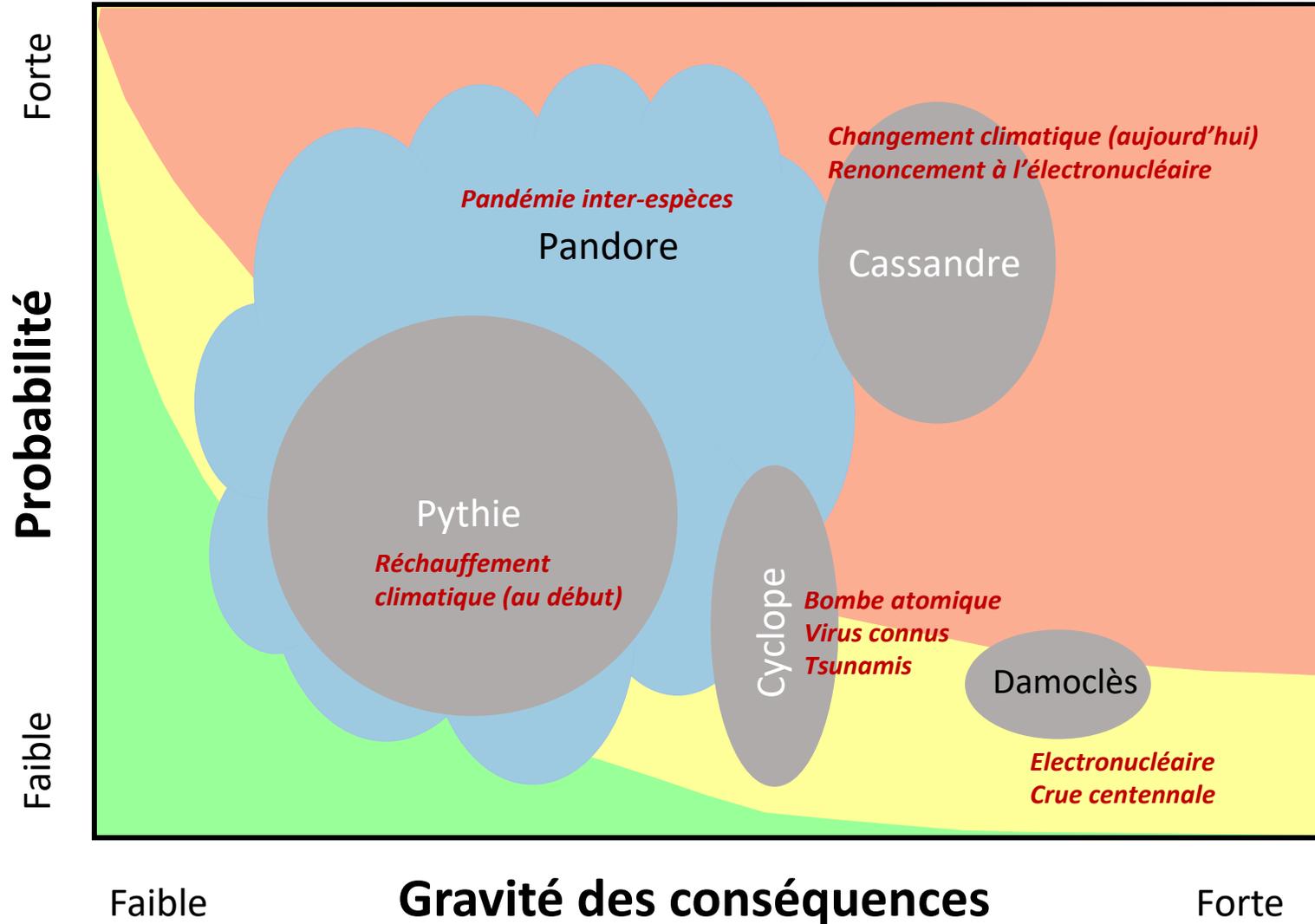


Les neuf questions à se poser sur un risque

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

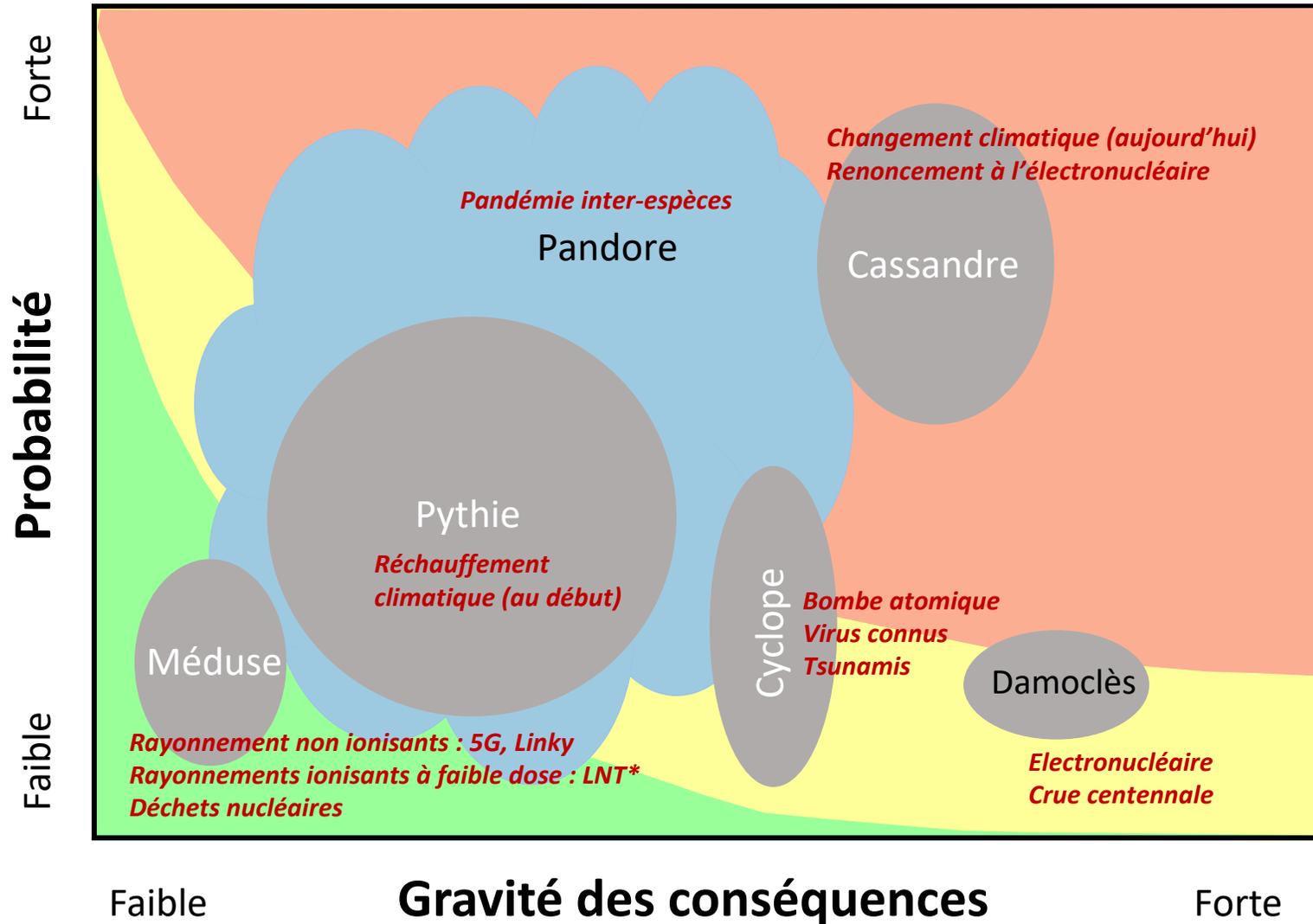


Les neuf questions à se poser sur un risque

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



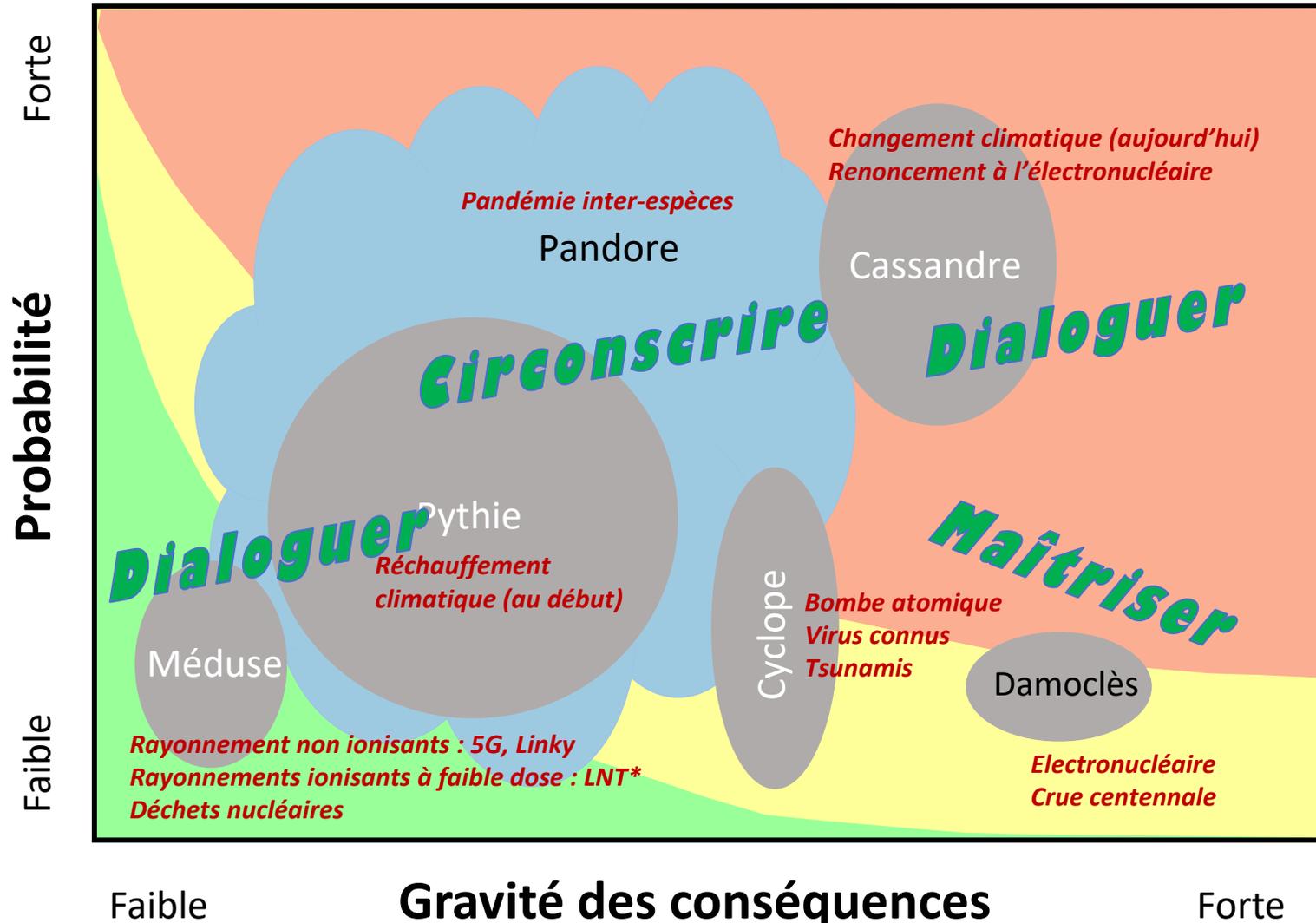
Les neuf questions à se poser sur un risque

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 ?

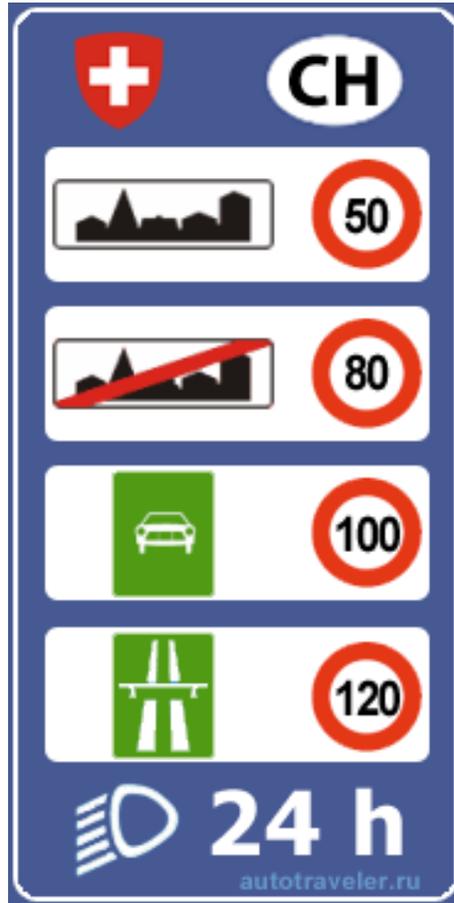
** LNT : relation dose-effet supposée linéaire et sans seuil*

Source : Klinké & Renn, 2000

Maîtriser : Conduite routière et prévention



Damoclès

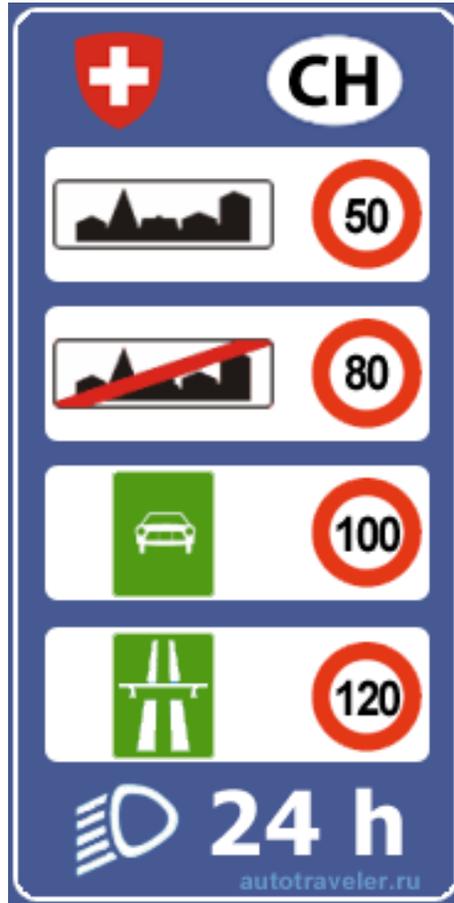


Maîtrise proportionnée
aux enjeux

Maîtriser : Conduite routière et prévention



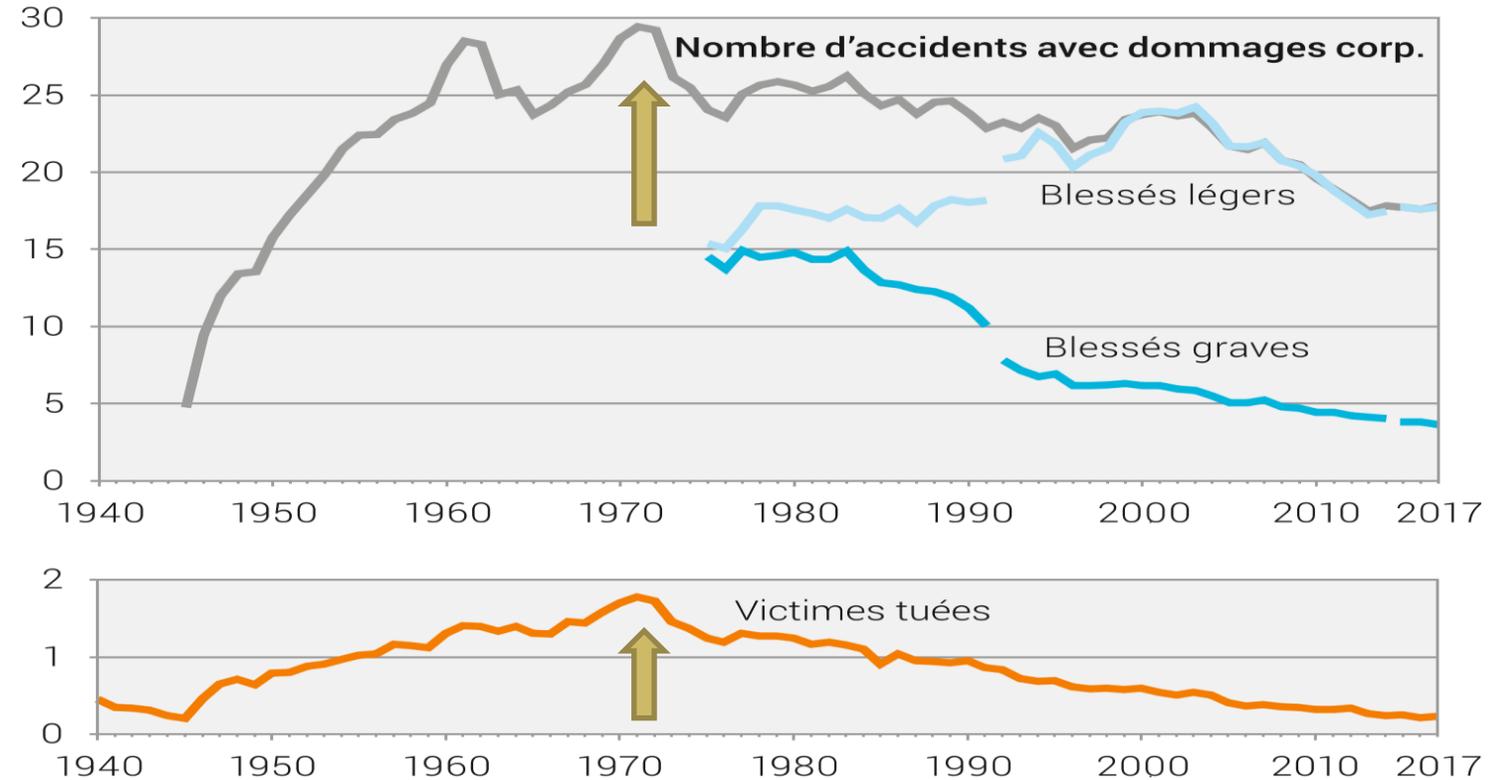
Damoclès



Maîtrise proportionnée
aux enjeux

Accidents et victimes de la circulation routière

En milliers



Modifications des définitions des blessés en 1992 et 2015

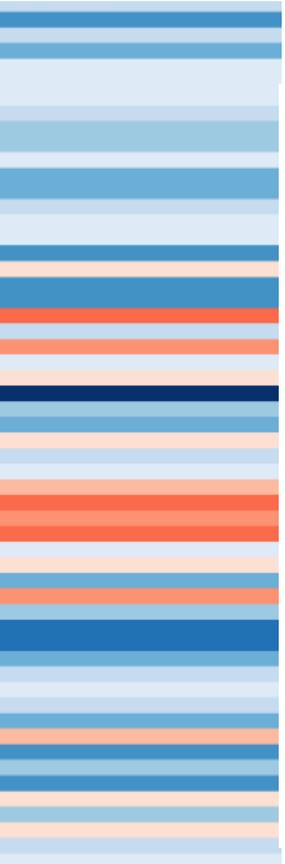
Source: OFROU, OFS – Accidents de la circulation routière (SVU)

© OFS 2018

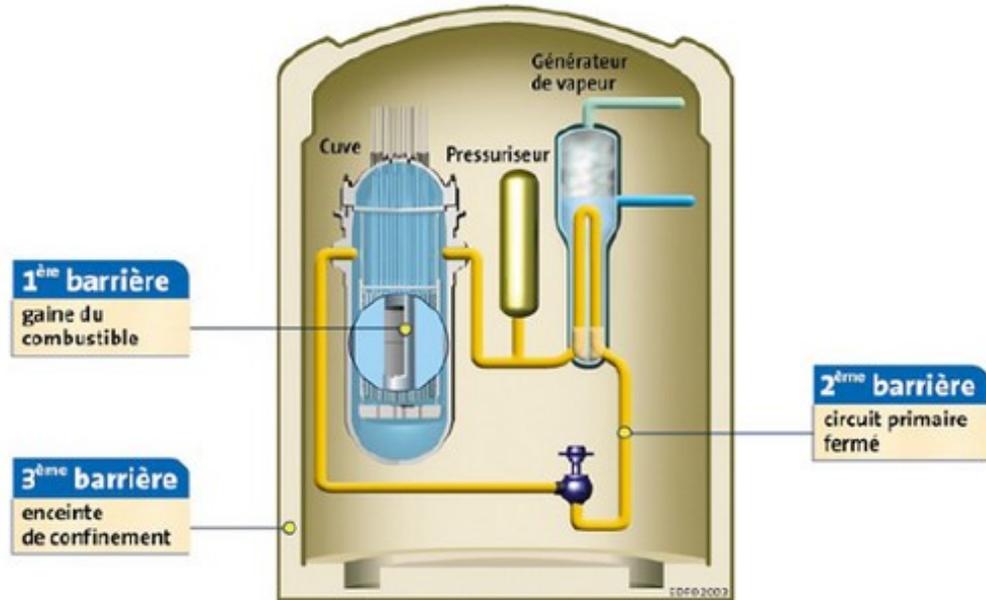
Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur



Damoclès



Les trois barrières de sûreté



Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur



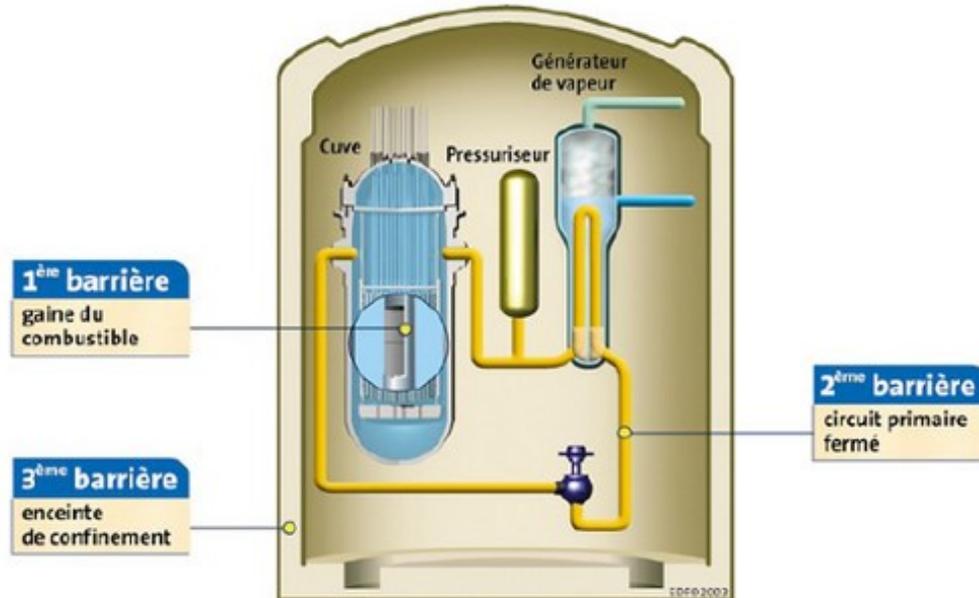
Damoclès



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



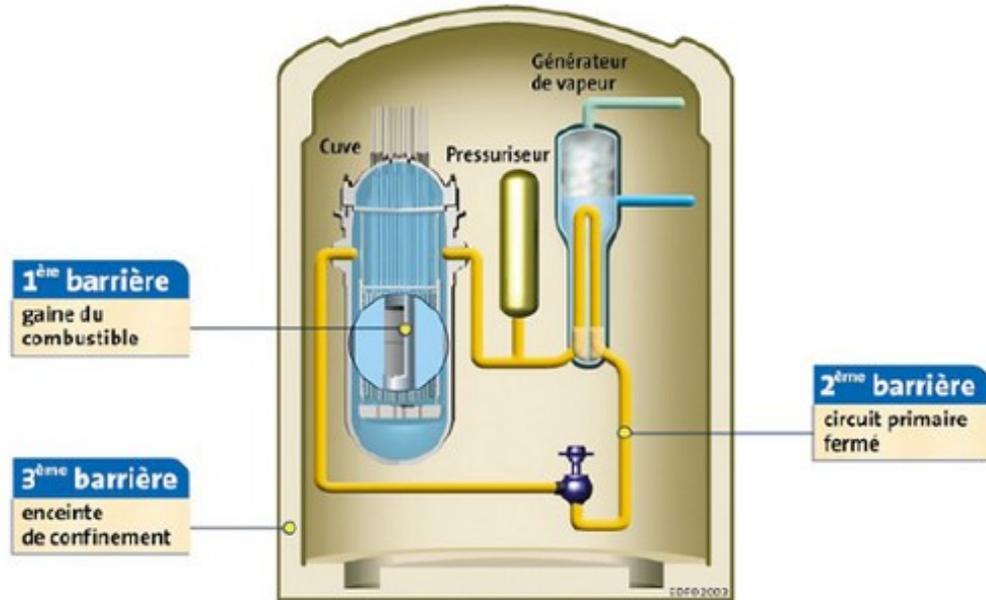
Damoclès



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

Limitation des conséquences radiologiques pour les populations en cas de rejets importants

Limitation des dégradations de l'installation et des conséquences en cas d'accident grave

Détection et maîtrise des défaillances dans l'installation

Maintien dans le domaine normal de fonctionnement

Prévention des défaillances
Conception robuste
Qualité de construction

Régulation & contrôles périodiques

Systèmes de sauvegarde et procédures de conduite accidentelle

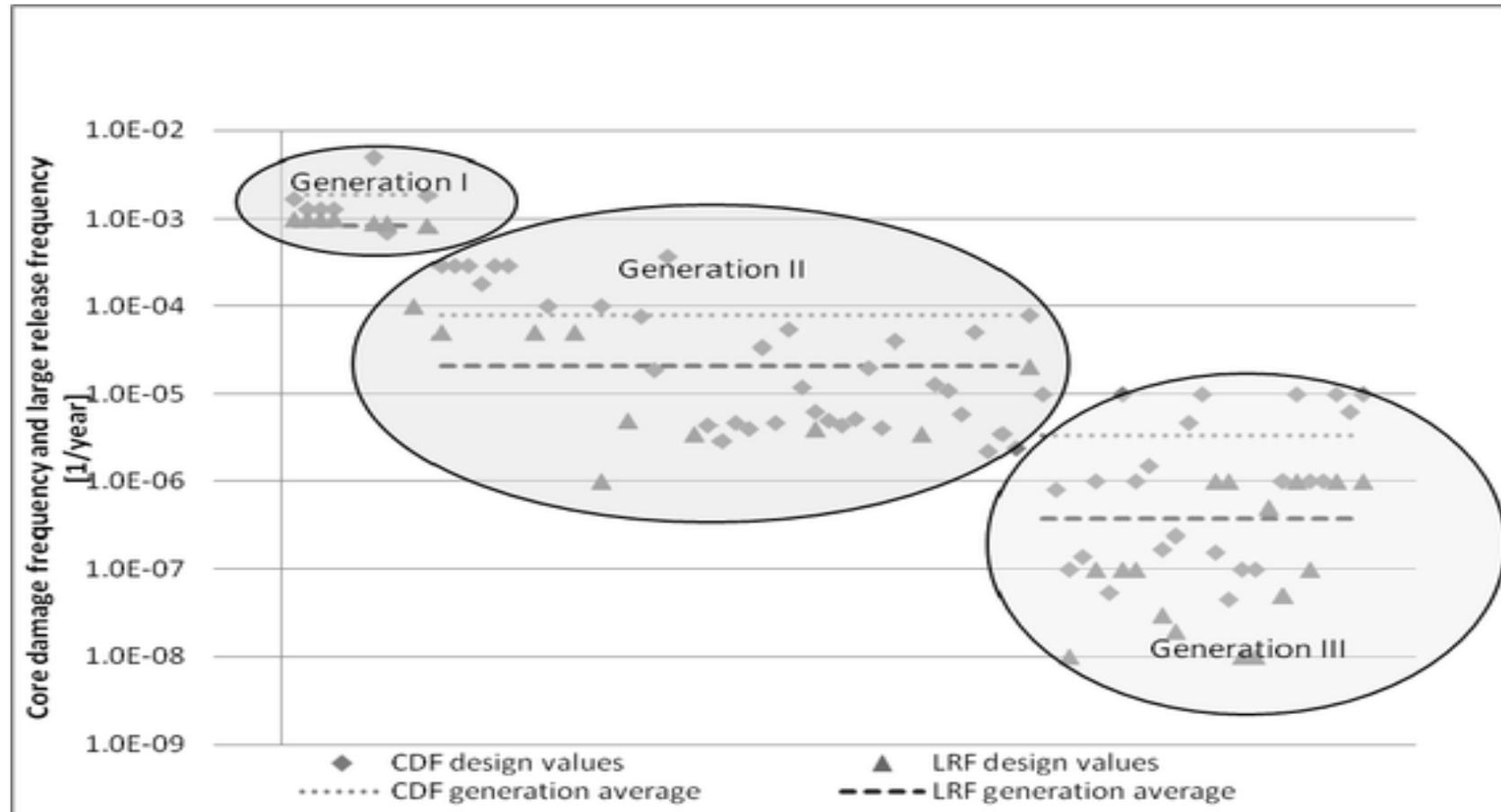
Procédures de conduite accidentelle complémentaires & Plan d'urgence interne

Plans d'intervention d'urgence à l'extérieur du site

Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

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

Damoclès



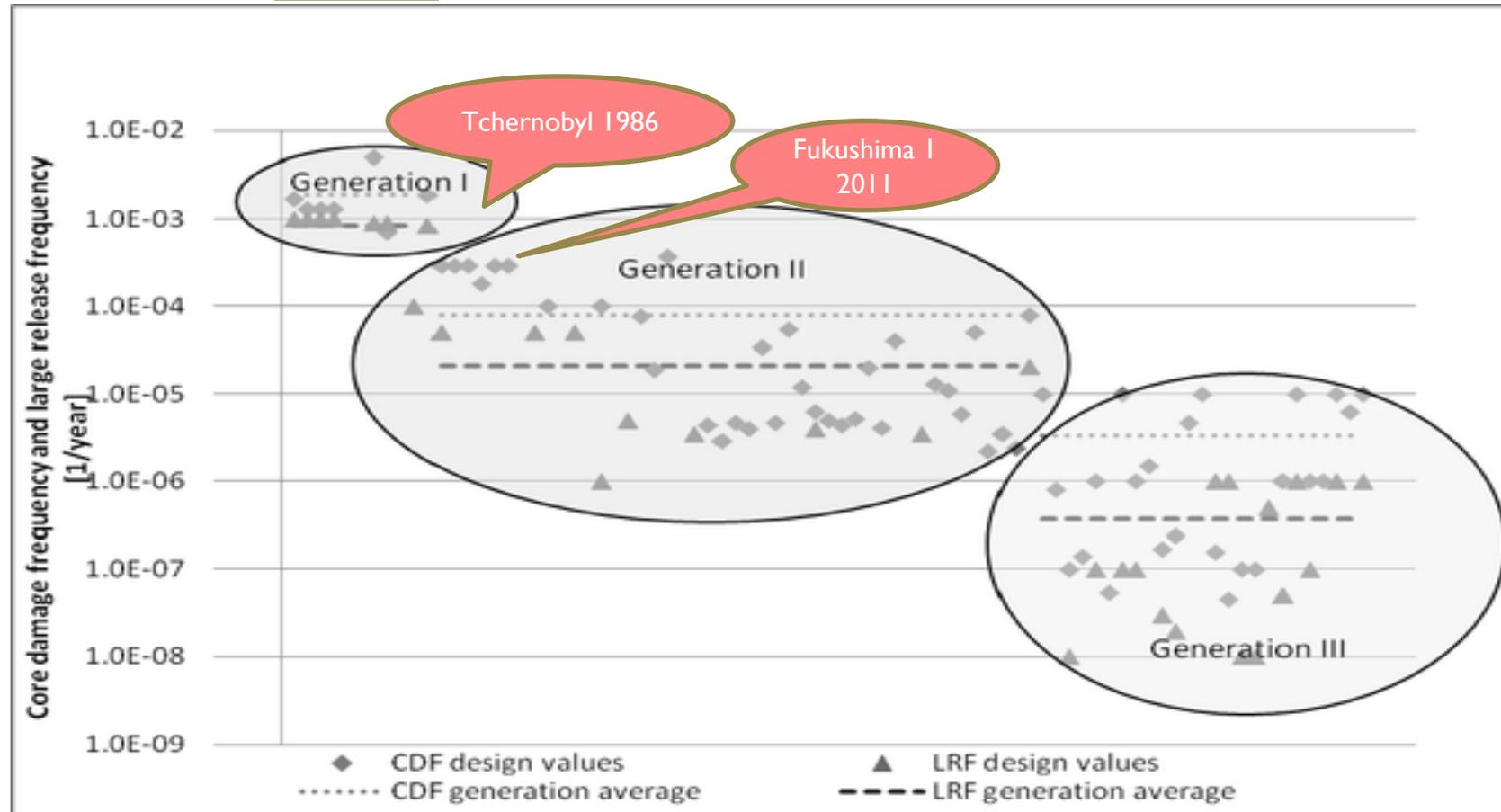
Source :
A.V. Wendland,
nuklearia.de, 2016

Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

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

dépassés

Damoclès



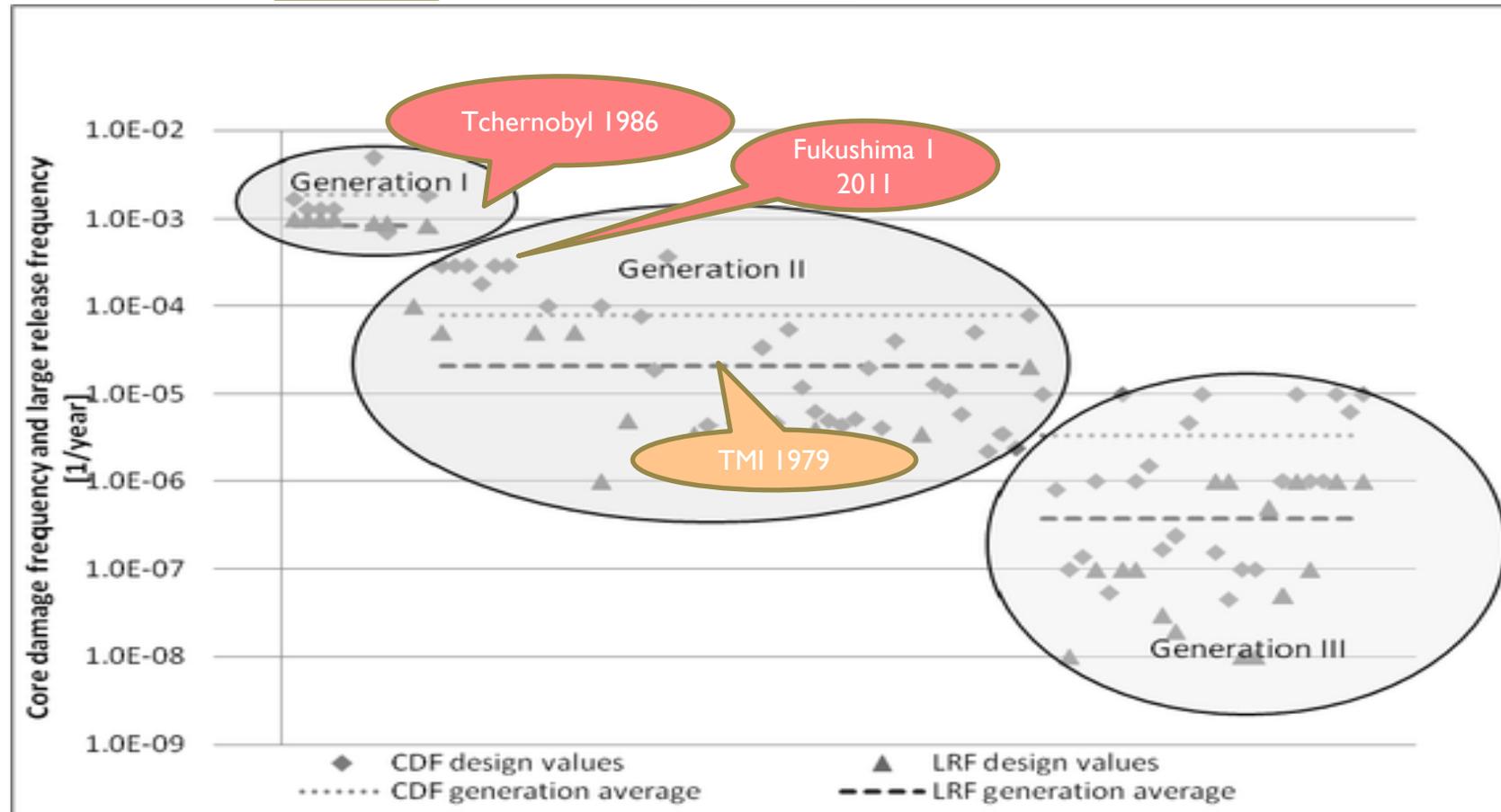
Source :
A.V. Wendland,
nuklearia.de, 2016

Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

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

dépassés

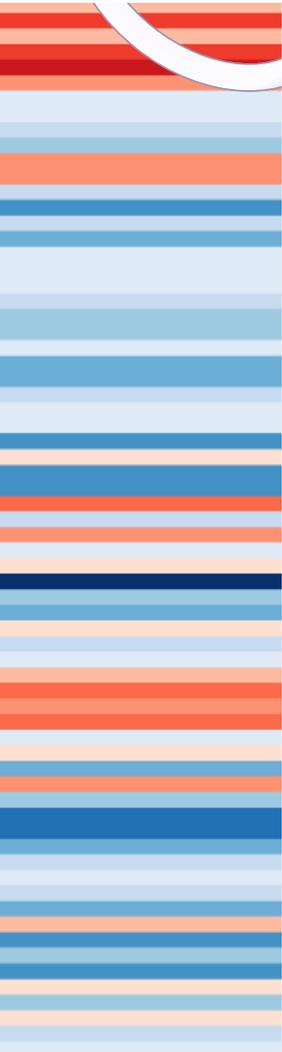
état de
l'art



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



Damoclès



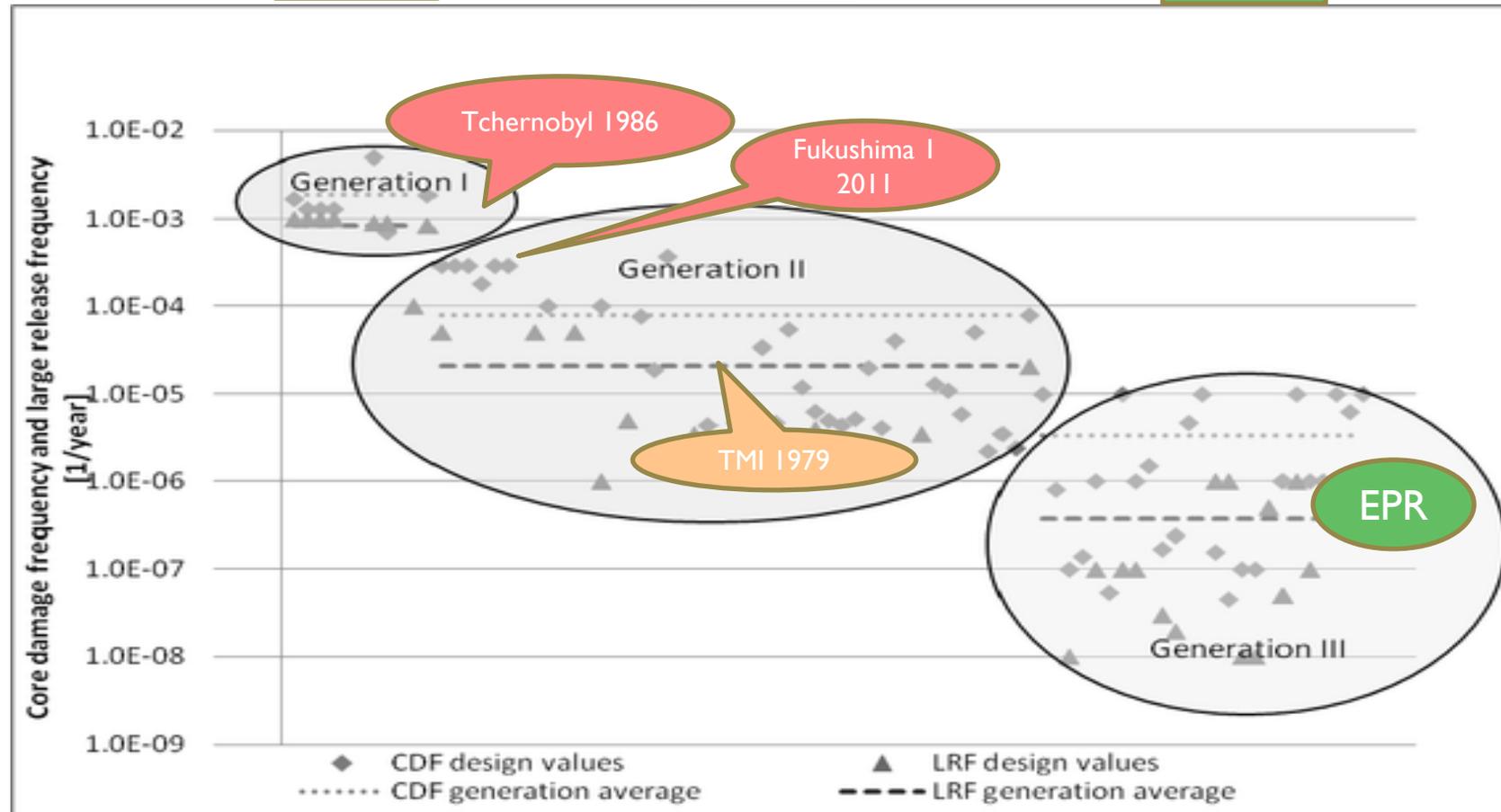
Maîtriser : Nucléaire et défense en profondeur

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

dépassés

état de
l'art

avancés



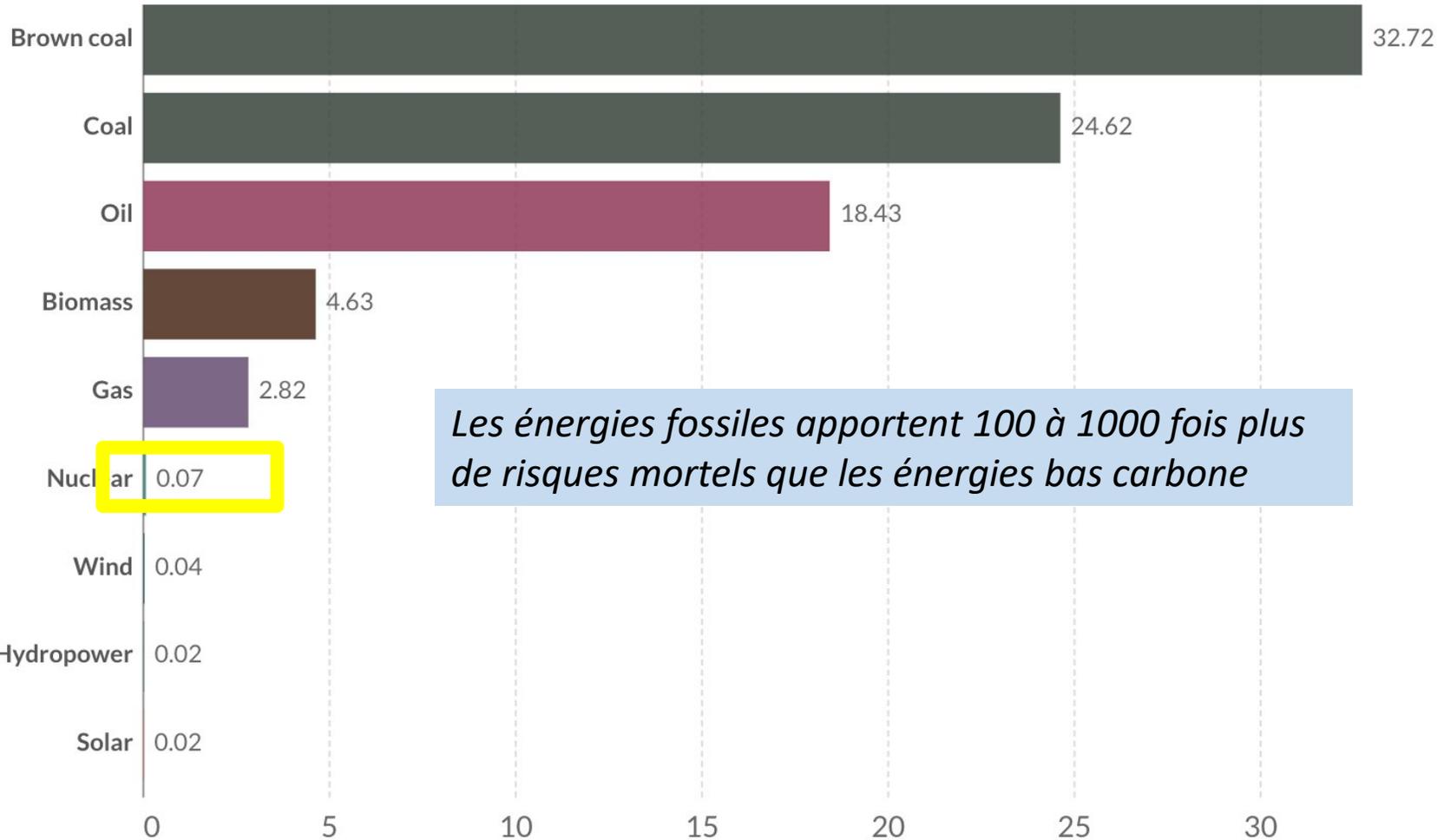
Source :
A.V. Wendland,
nuklearia.de, 2016

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



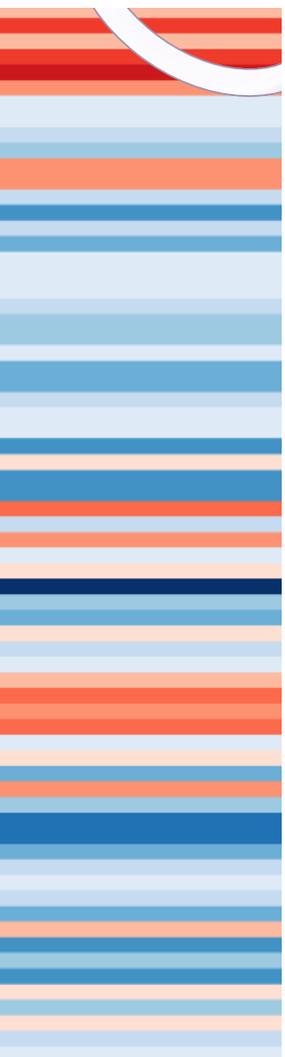
Les énergies fossiles apportent 100 à 1000 fois plus de risques mortels que les énergies bas carbone

Emetteurs intenses en carbone

Emetteurs bas carbone



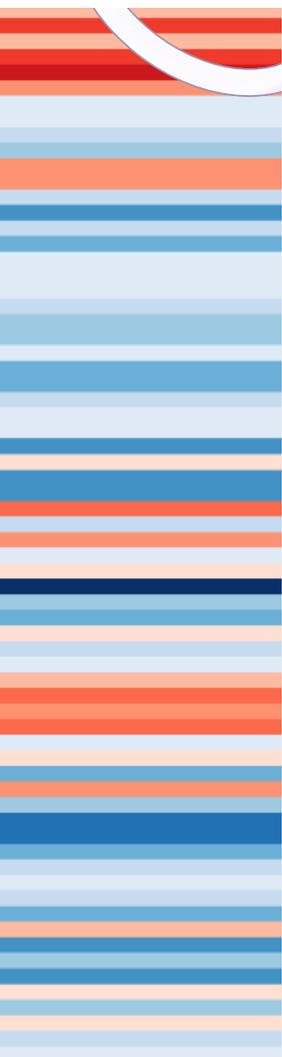
Damoclès



Emissions CO₂eq par Gigawatt-heure d'énergie consommée

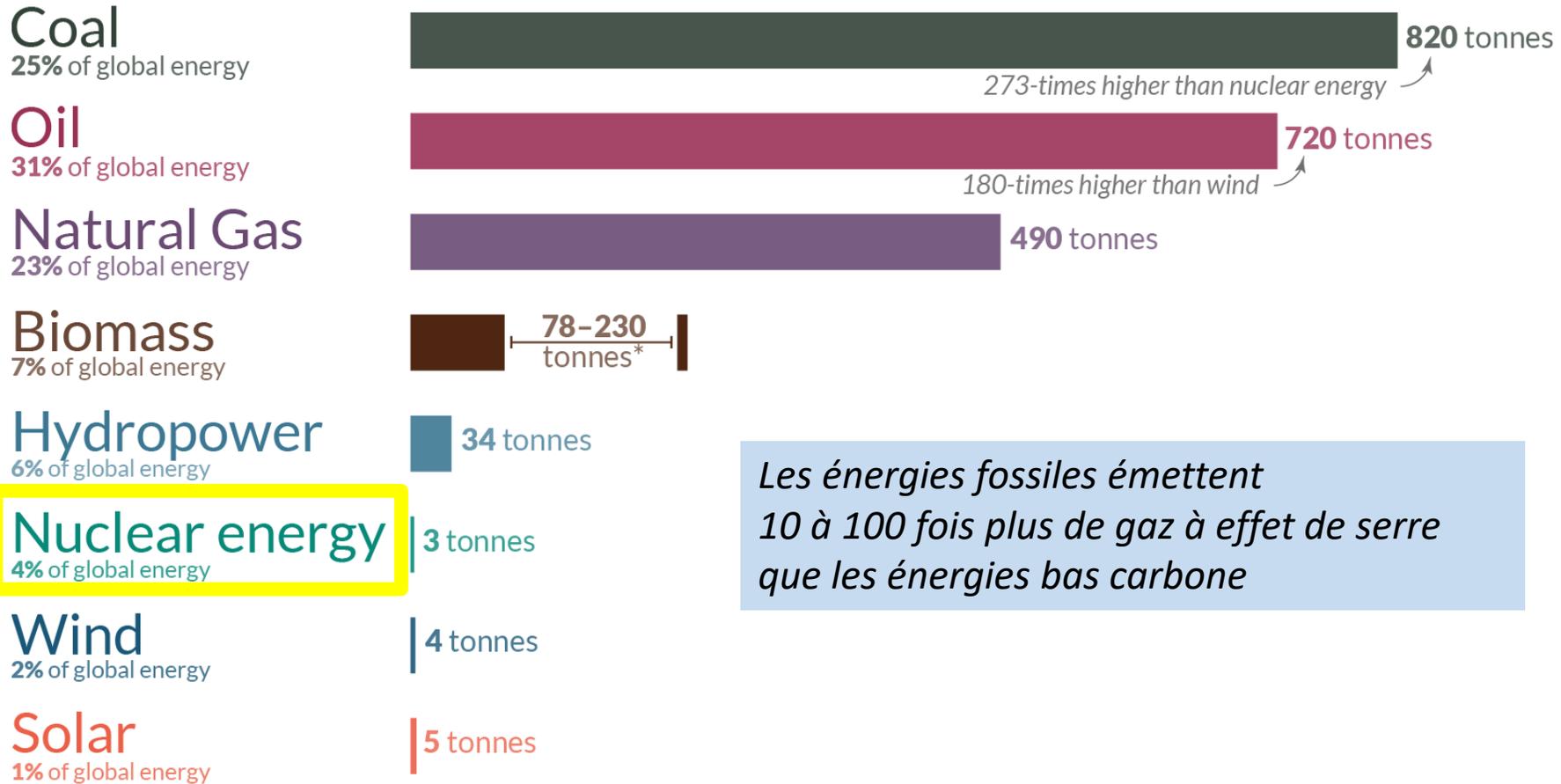


Damoclès



Greenhouse gas emissions

Measured in emissions of CO₂-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

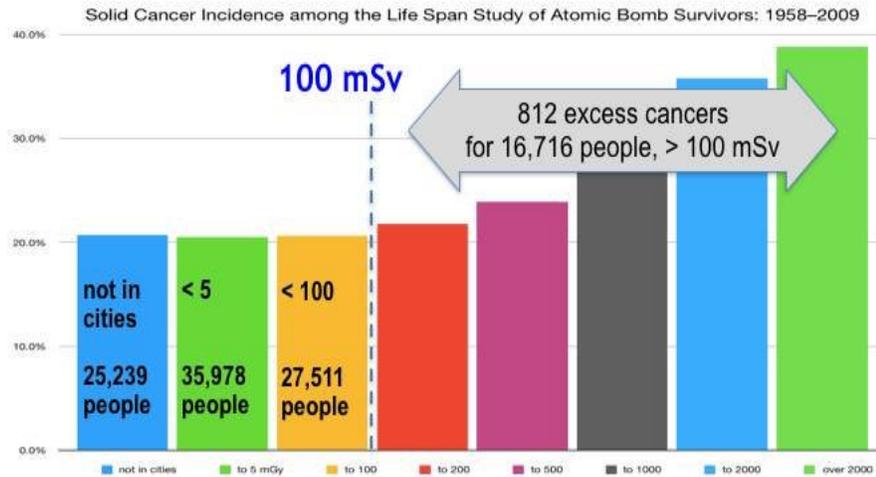


Cassandra

- Messages du GIEC en 2018 :
 - La baisse à zéro émissions nettes de CO₂ 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.

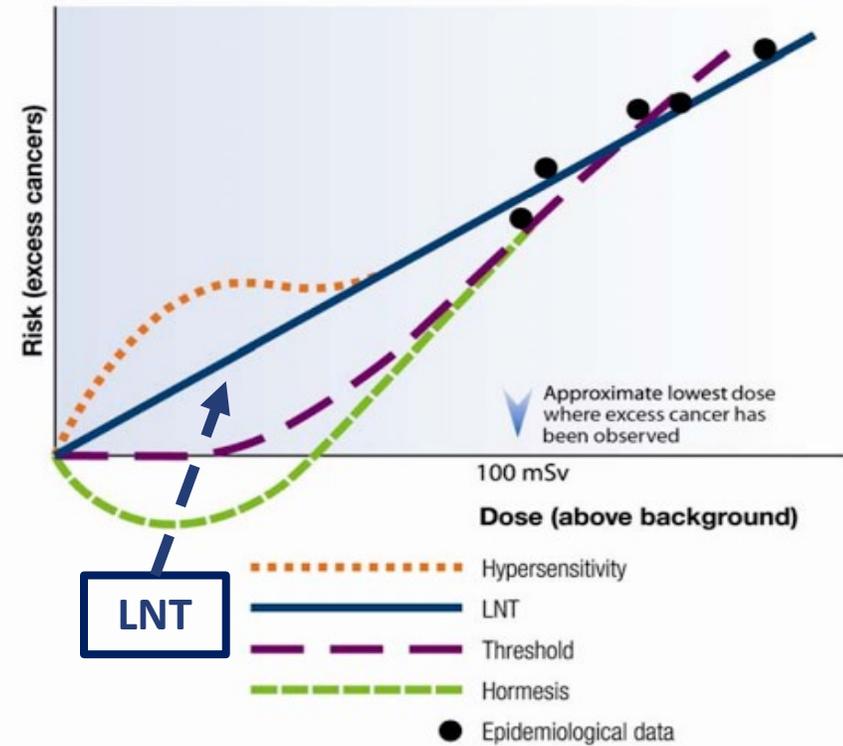


Dose reçue

très faible faible moyenne forte

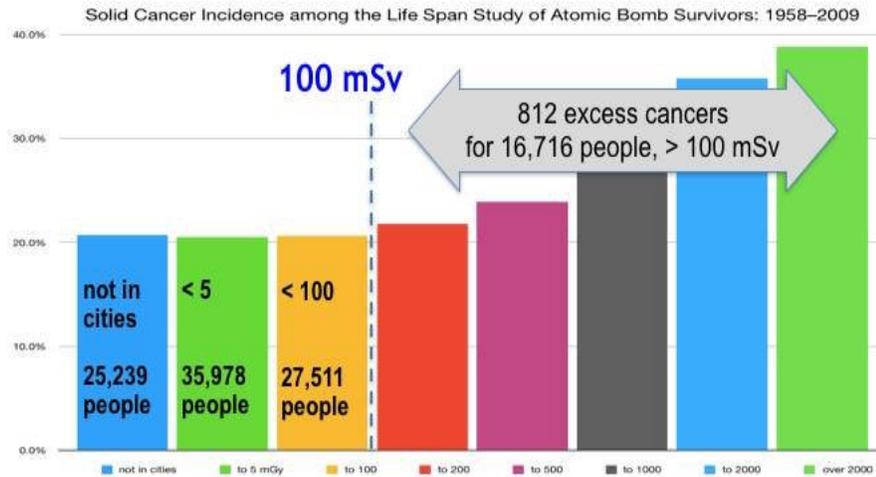
Figure 1: Radiation Risk Models

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



Circonscrire : Rayonnements ionisants à dose < 100 mSv

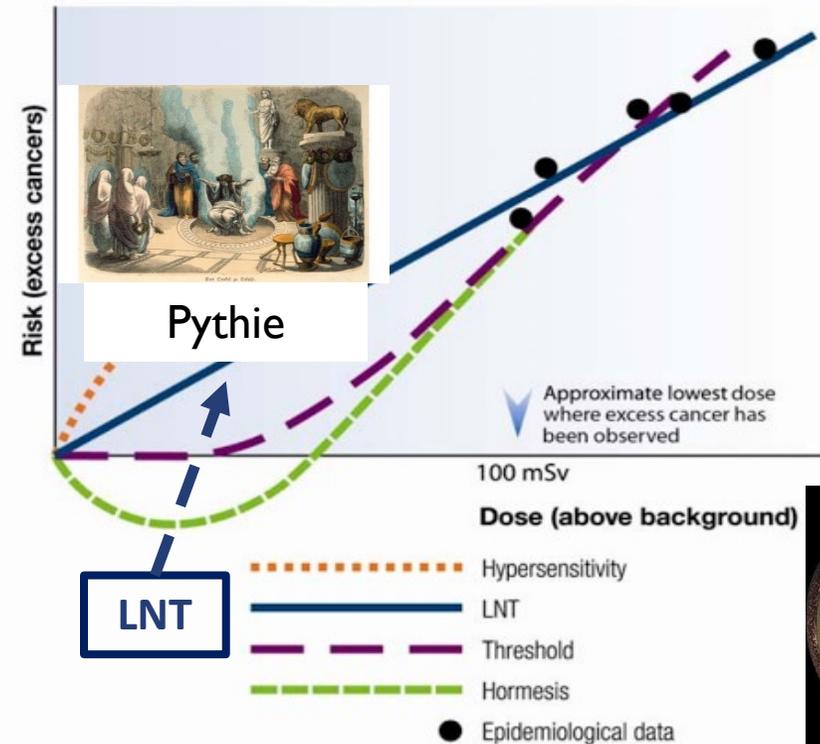
Atom bomb survivors exposures < 100 mSv caused no observed cancers.



Dose reçue
très faible faible moyenne forte

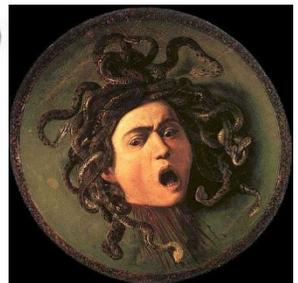
Figure 1: Radiation Risk Models

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 ⁻¹	$4,2 \cdot 10^{-07}$	≥1000	$4,8 \cdot 10^{-07}$	≥1000
	Pompage au Dogger (zone de fracturation diffuse) 100 L.min ⁻¹	$1,0 \cdot 10^{-03}$	800	$1,1 \cdot 10^{-03}$	≥1000
Situation enveloppe	Pompage au Barrois 150 L.min ⁻¹ 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 ⁻¹ 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

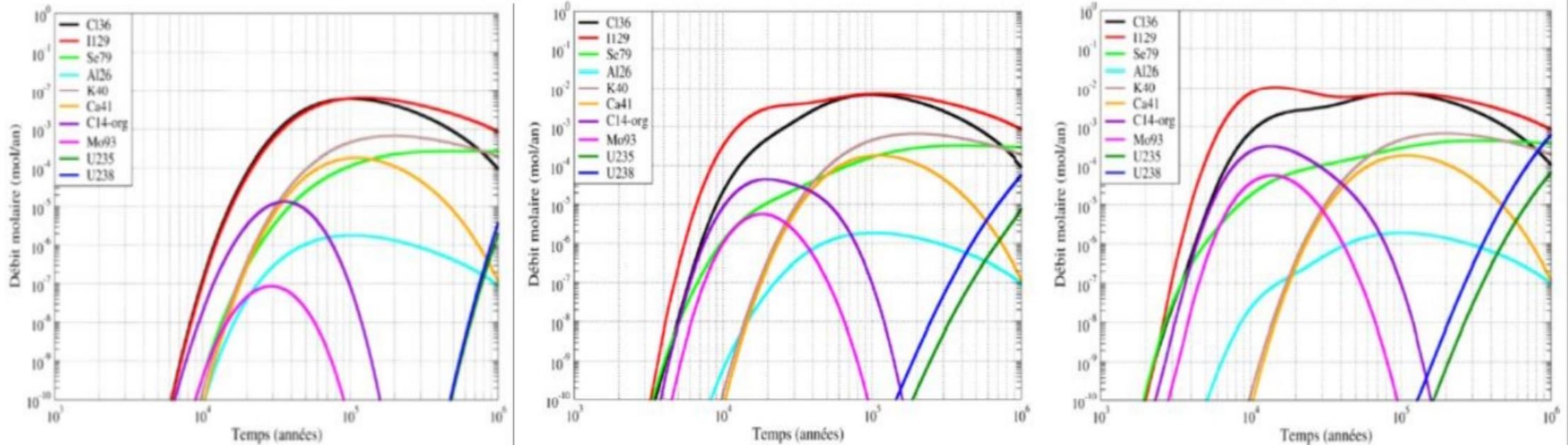


Figure 81 : Débites molaires au cours du temps au toit et au mur du Callovo-Oxfordien en situation « *enveloppe* » (de gauche à droite : SEN, SEA de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défailants), Scénario *What-if* de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements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

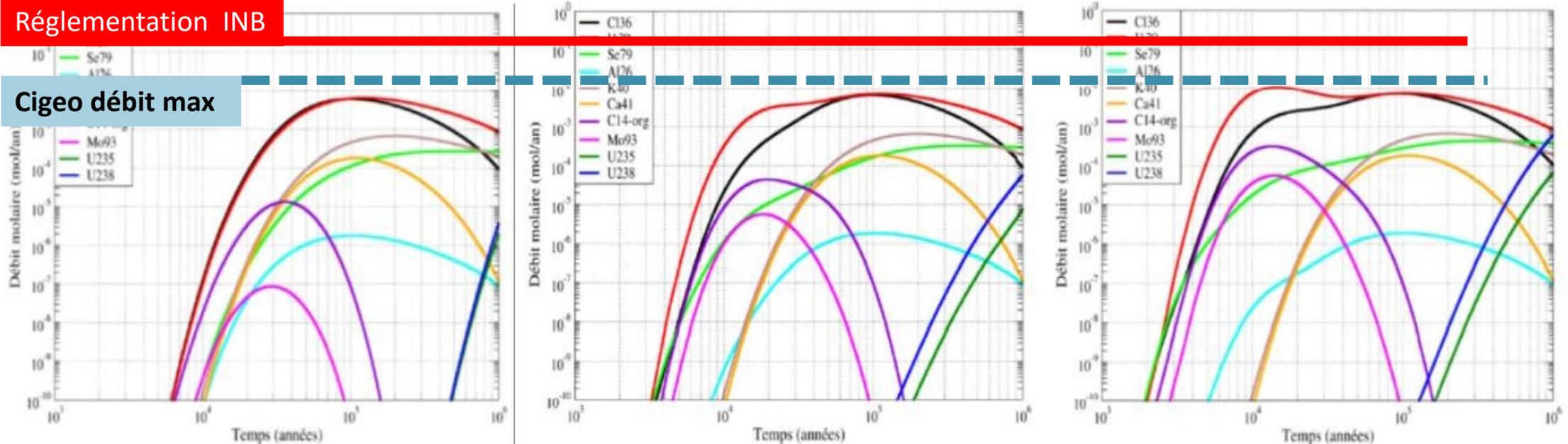
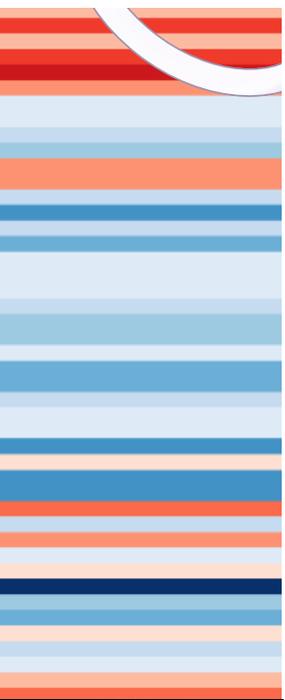


Figure 81 : Débits molaires au cours du temps au toit et au mur du Callovo-Oxfordien en situation « *enveloppe* » (de gauche à droite : **SEN**, **SEA** de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous scellements défailants), Scénario **What-if** de dysfonctionnement des ouvrages de fermeture (tous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

Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose



Damoclès

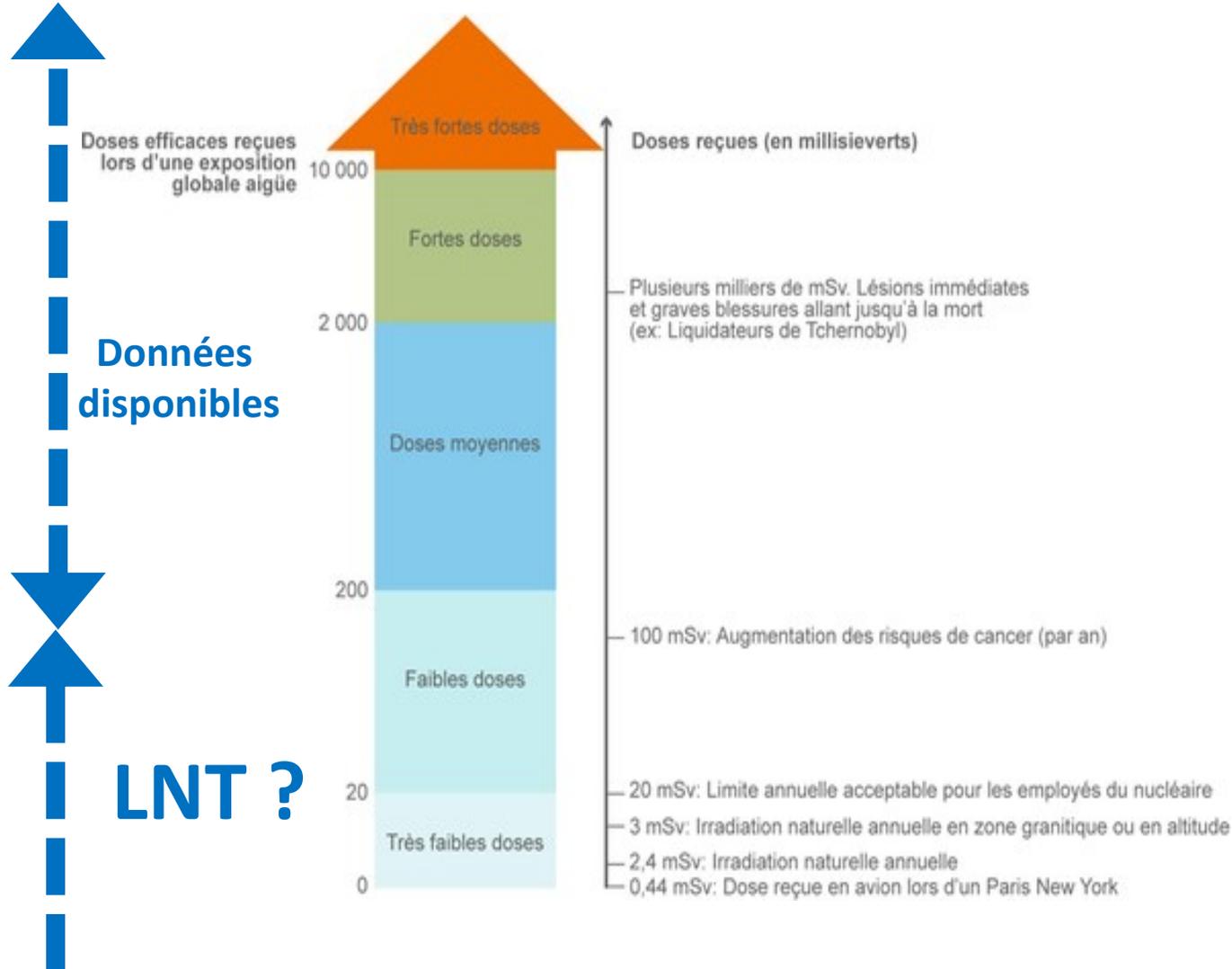


Données
disponibles

LNT ?



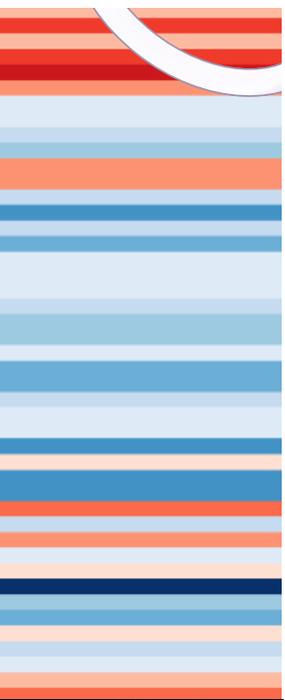
Méduse



Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose

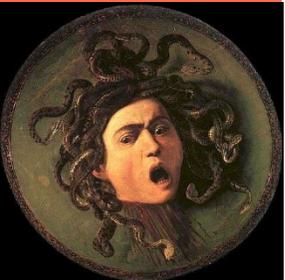


Damoclès

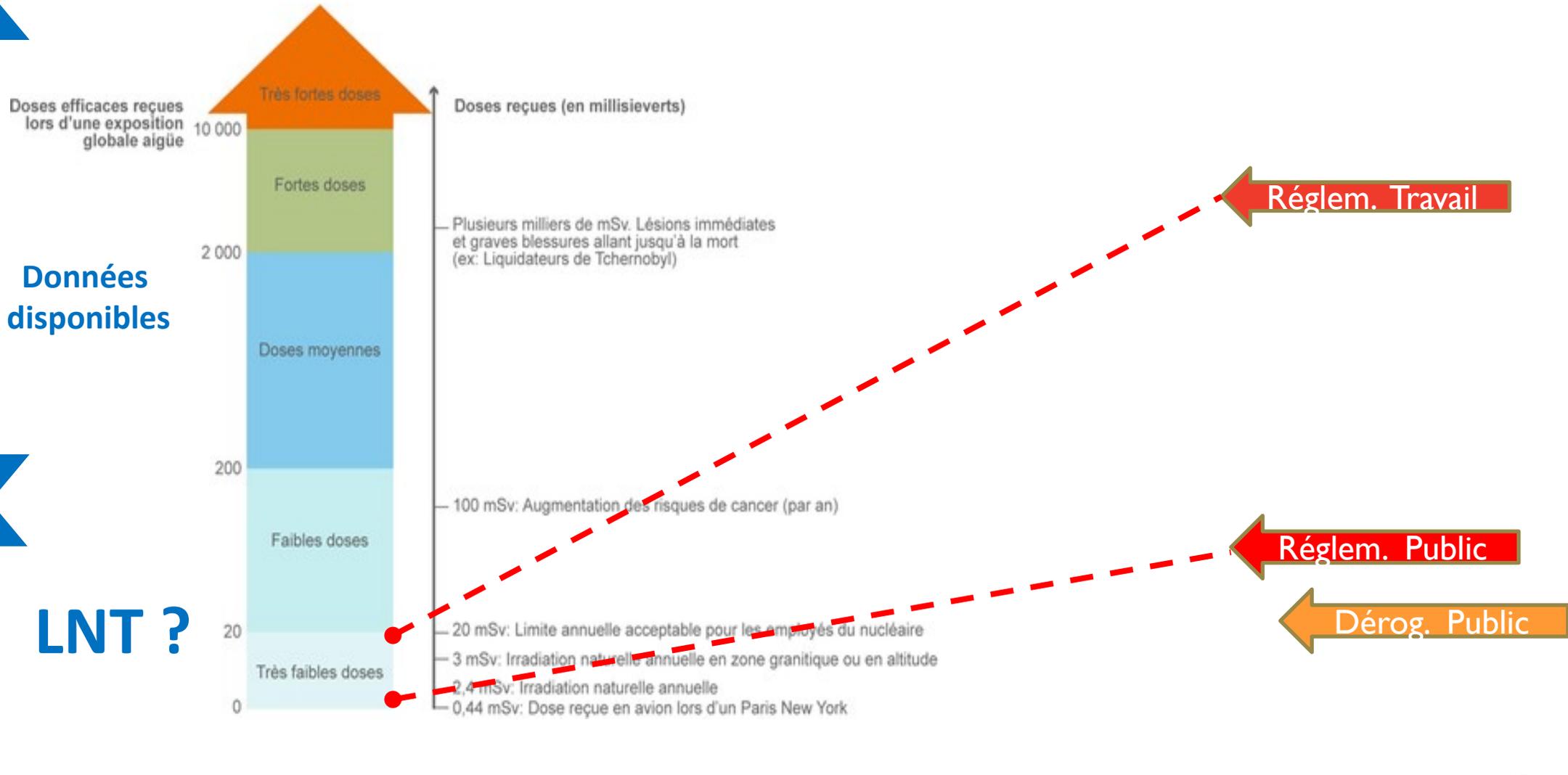


Données disponibles

LNT ?



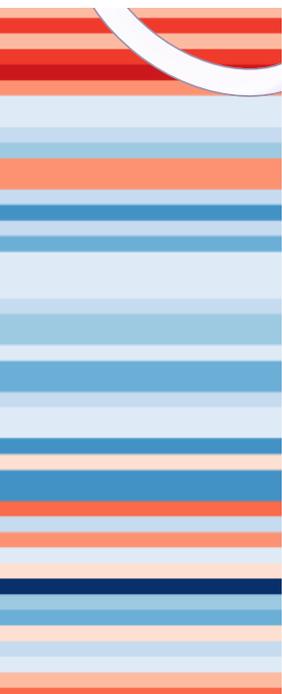
Méduse



Dialoguer : Rayonnements ionisants à faible dose

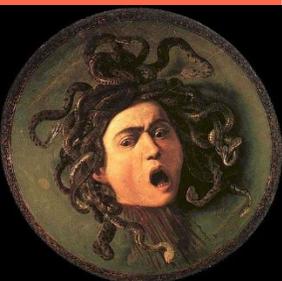


Damoclès

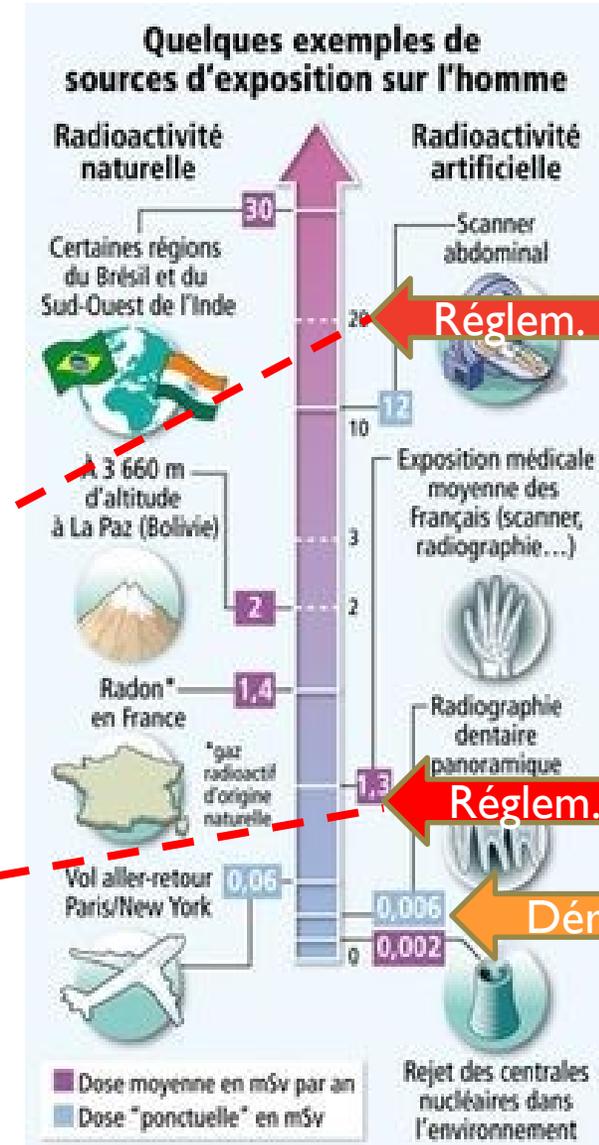
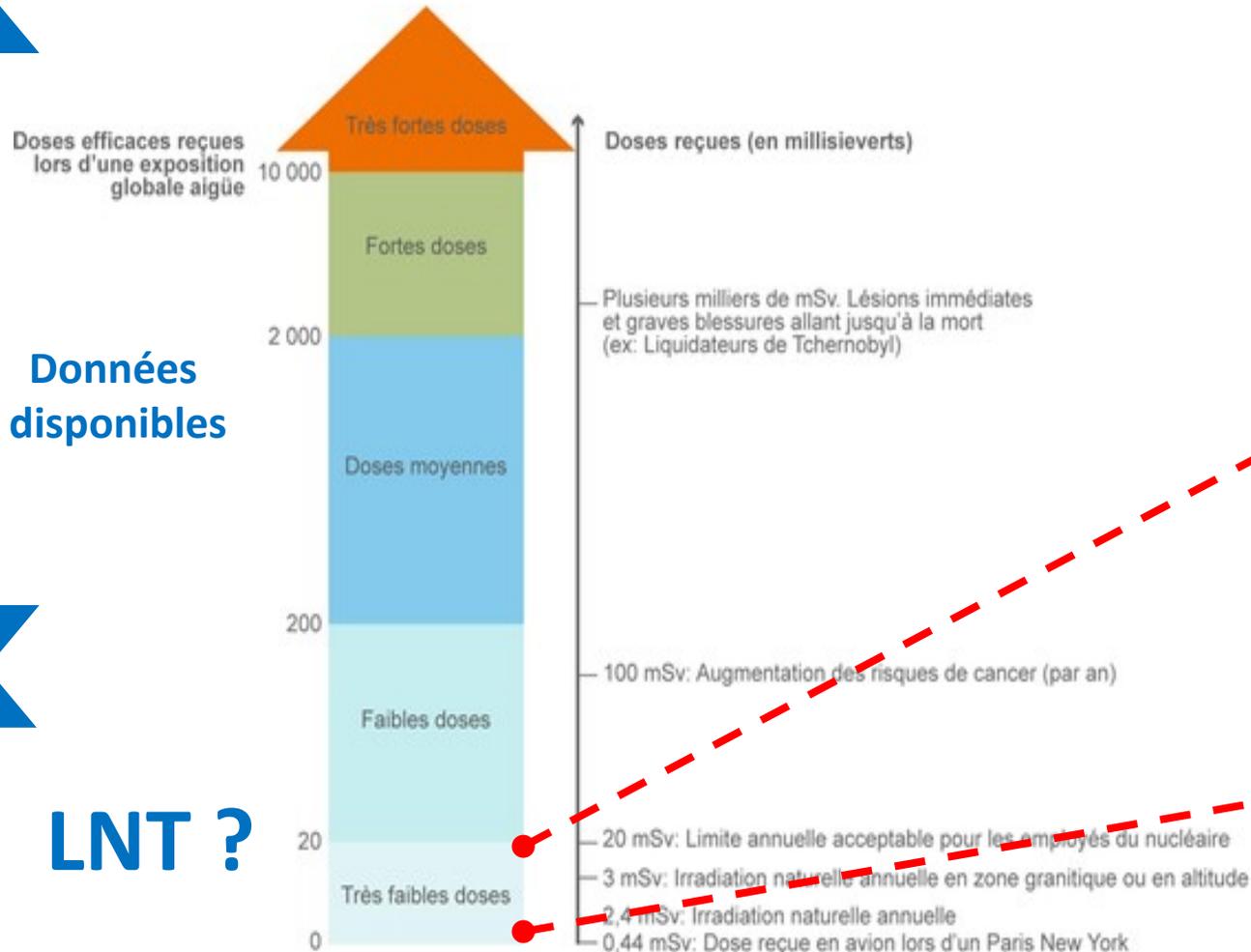


Données disponibles

LNT ?



Méduse



Réglem. Travail

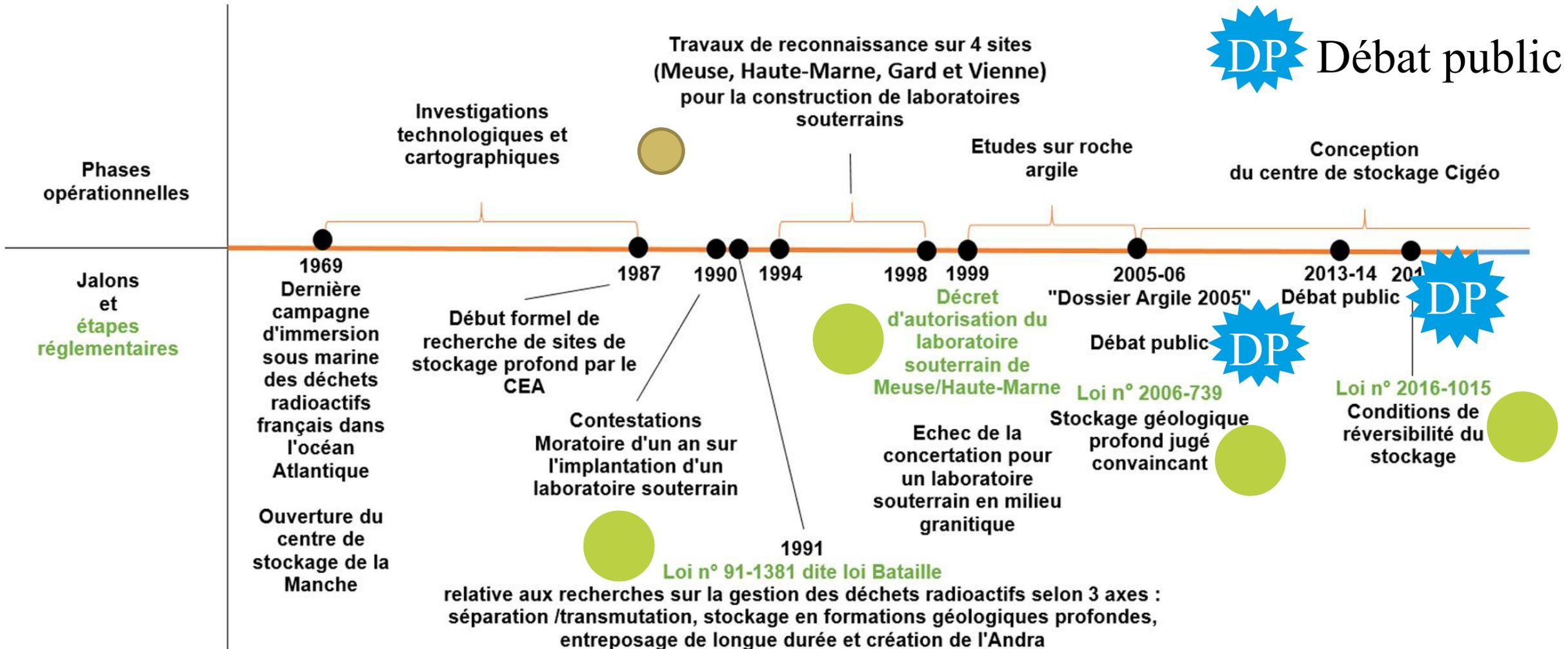
Réglem. Public

Dérog. Public

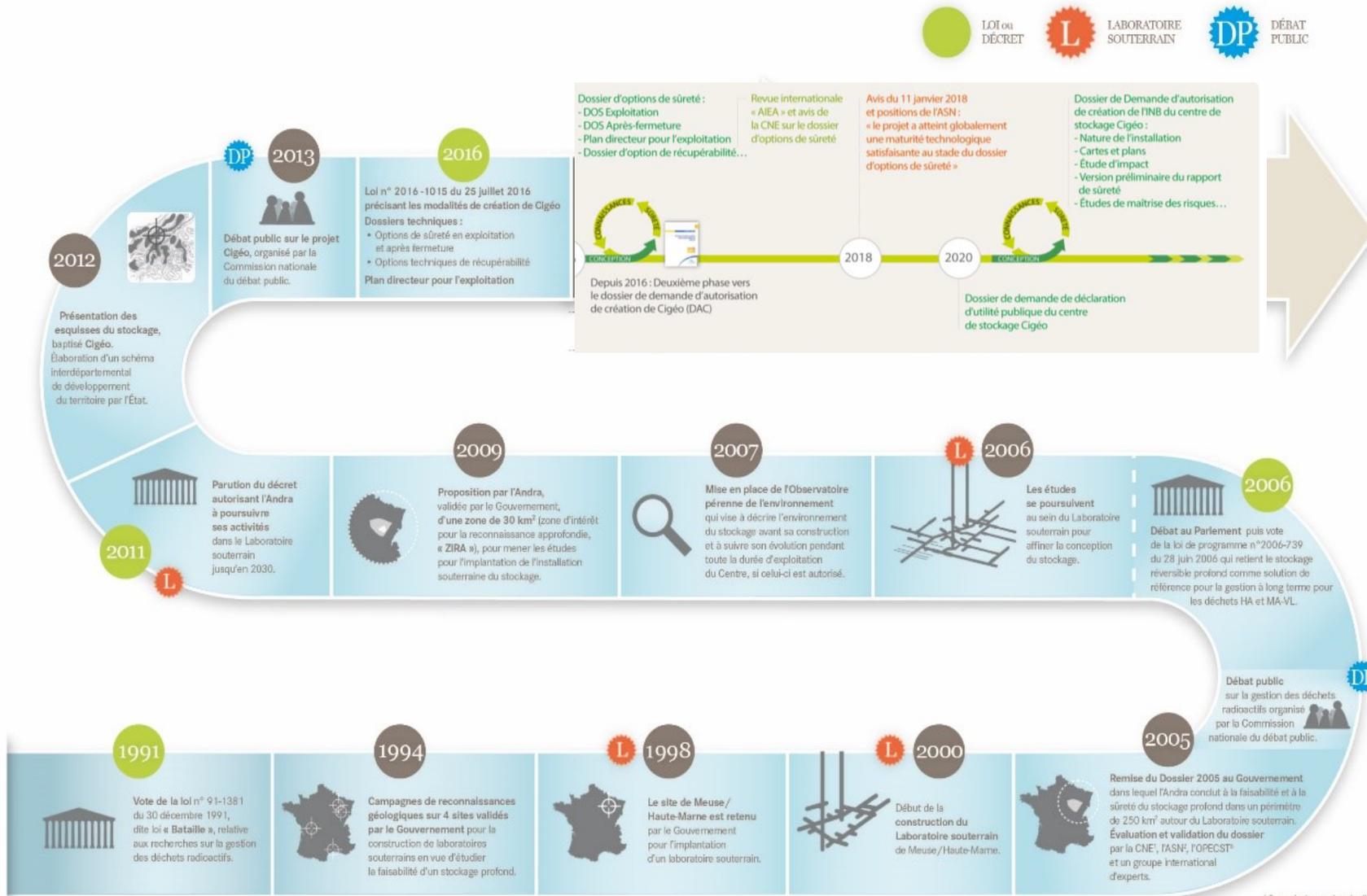
Dialoguer et maîtriser : du débat démocratique ...

Recherche d'un site de stockage géologique profond

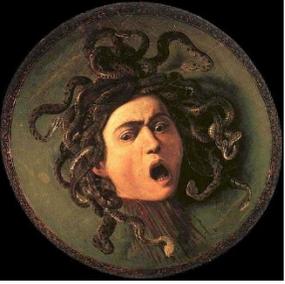
● Loi ou décret
 DP Débat public



Histoire du projet Cigéo depuis 1991



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

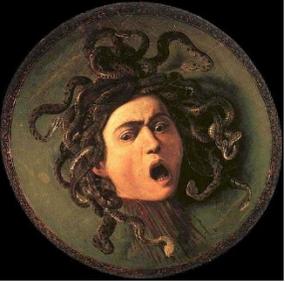


Méduse

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



Publié le Mercredi 2 octobre 2019 à 10h30.

Déchets nucléaires : manifestation à Nancy contre la poubelle Cigéo



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

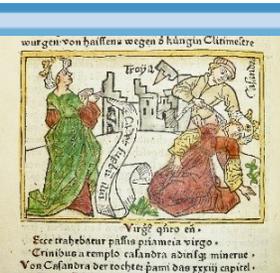
Publié le 21 septembre 2021 à 23h46 - Mis à jour le 22 septembre 2021 à 10h26 · Lecture 3 min.

Conseils pour réduire nos risques

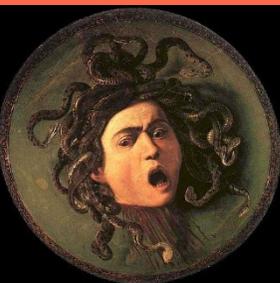
- Réduisons nos risques au travail
- Réduisons nos risques au volant
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière



Damoclès



Cassandre



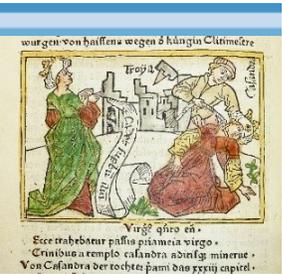
Méduse

Conseils pour réduire nos risques

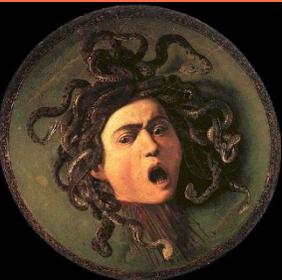
- Réduisons nos risques au travail 
- Réduisons nos risques au volant 
- Faisons-nous vacciner et respectons les gestes barrière  
- Connaissions et réduisons notre empreinte CO₂
 - énergie, transports, alimentation, achats
 - Consommons moins de tout, moins souvent
 - Electrifions notre énergie, nos transports et notre chauffage
 - **Augmentons nos électricités nucléaire et renouvelables**



Damoclès



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  

- Connaissions et réduisons notre empreinte CO₂
 - énergie, transports, alimentation, achats*

- Consommons moins de tout, moins souvent
- Electrifions notre énergie, nos transports et notre chauffage
- **Augmentons notre électricité nucléaire et renouvelable**

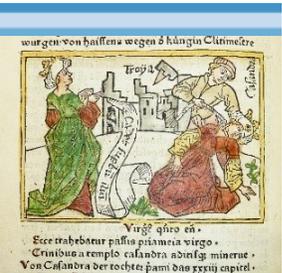
- **Écoutons Cassandre, écoutons-la maintenant !**

- **N'ayons pas peur de Méduse**, elle n'est que notre peur de la peur...

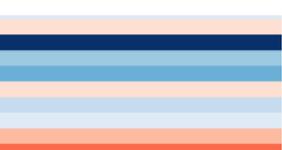
- ...et nous nous porterons mieux !



Damoclès

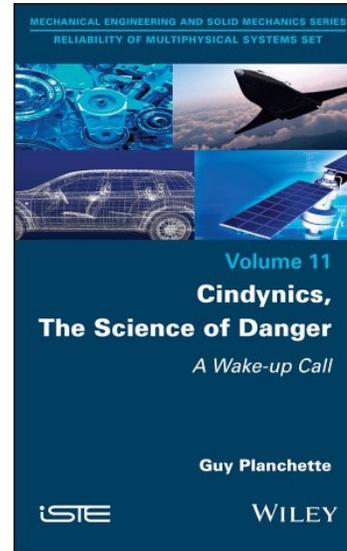


Cassandre



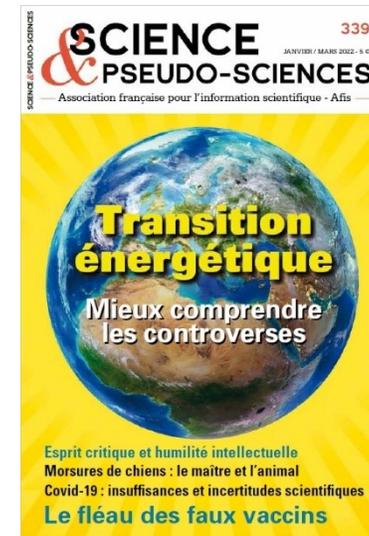
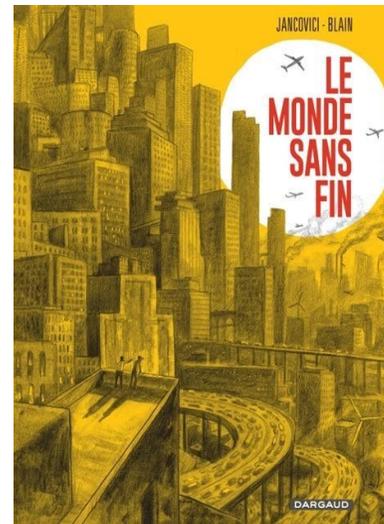
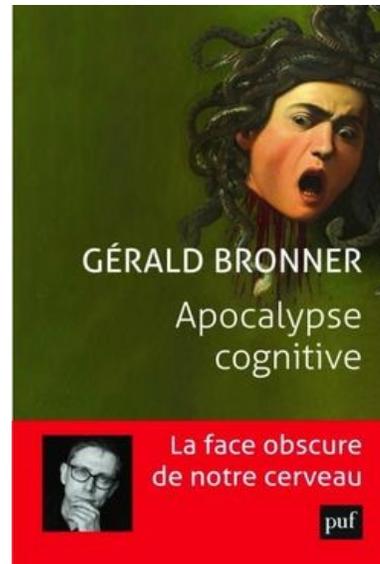
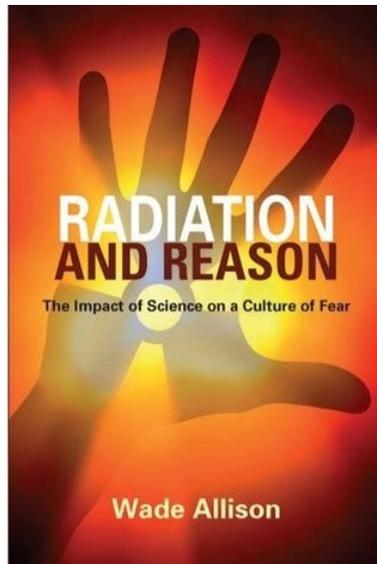
Méduse

Pour en savoir plus...



www.imdr.eu

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



WIKIPÉDIA
L'encyclopédie libre