

Modélisation des accidents  
nucléaires civils :  
Prévision à l'horizon 2030

Stage effectué en août-septembre 2011 par  
**Arnaud de Myttenaere**

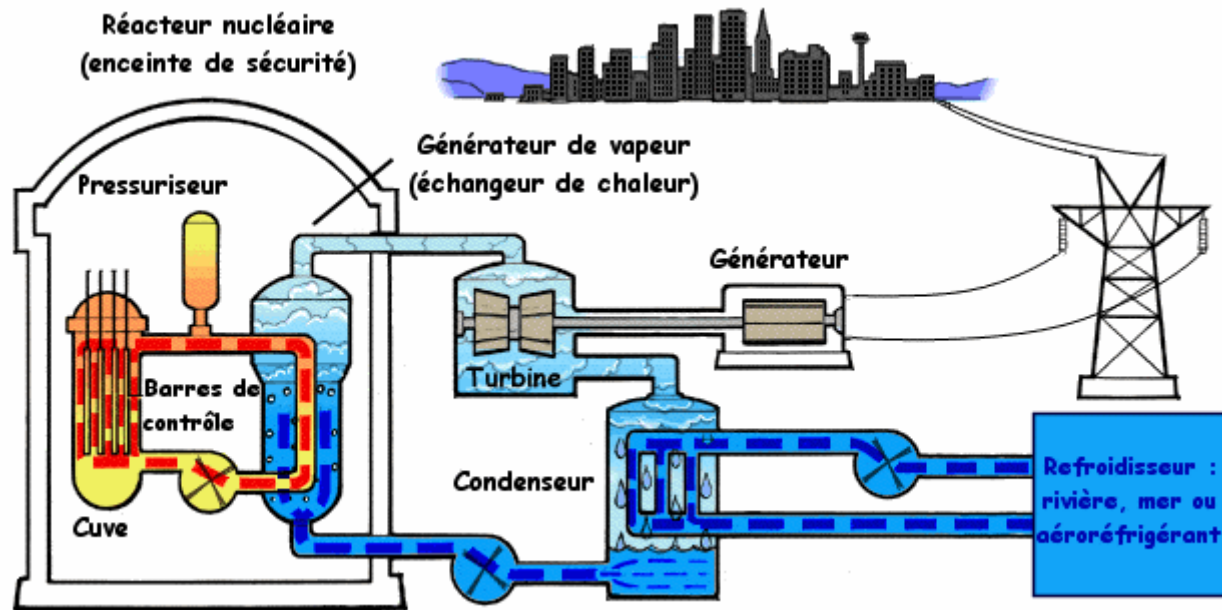
encadré par  
Minh Ha-Duong  
Venance Journé

# Motivations

- Accident de Fukushima, les pays adoptent des politiques opposées (France, Finlande, Allemagne, Italie, Autriche, Chine, Inde)
- Presse : des affirmations peu crédibles : article Dessus et Laponche annoncent une probabilité d'accident de plus de 100%... à cause d'une erreur de calcul. Etienne Ghys reprend les calculs et trouve un risque d'accident de 72% dans les 30 prochaines années. Mais les calculs ont été menés avec des données incomplètes, hypothèses critiquables, et ne donnent pas d'intervalle de confiance.

# Réacteur nucléaire

fission > chaleur > eau > vapeur > pression > tourner turbine > entrainer alternateur



# Réacteur nucléaire

- Bouilloire avec combustible nucléaire
- Fission : explosive : une fission en produit 2-3 etc...
- Fission contrôlée : pilotage : maintenir le coef de multiplication égal à 1 strictement, avec des absorbeurs de neutrons (barres de contrôle)
- Après l'arrêt d'un réacteur, chaleur décroît mais il faut refroidir
- Piscines de stockage des combustibles usés

# Perspectives

- 2011 : 437 réacteurs dans le monde, cst / 1990
- 135 fermés, 64 en construction
- Ex Chine : 14 en fonctionnement, 25 en construction, < 25 planifiés (restera très minoritaire 7-8 %)

# Causes d'accidents

- erreurs de conception
- problèmes de construction
- défaut/matériaux, défaillances/équipement
- évts extérieurs (accident d'avion, catastrophes naturelles, ...)
- evts internes (feux, problèmes de tuyaux, ...)
- ***erreurs humaines : +++ (manipulation, manquement sécurité, manque infos)***
- pbs documentation
- Souvent combinaison de plusieurs causes > imprévisibilité

# Échelle Ines

*International Nuclear Event Scale (1990)*

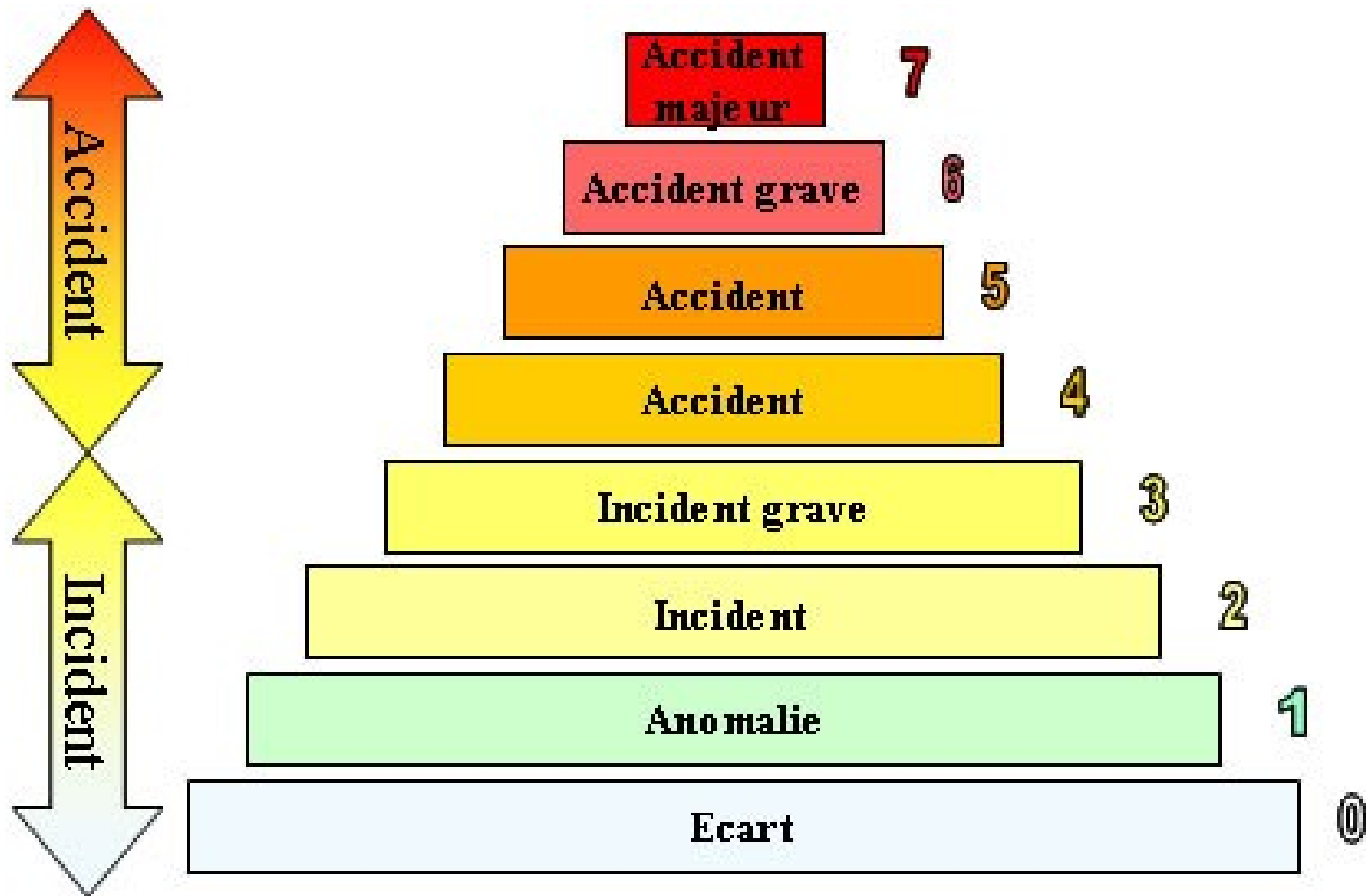
- Indique la gravité d'un accident/incident
- Sur le modèle de l'échelle de Richter
- Créée après l'accident de la centrale de Tchernobyl (Ukraine, 1986) et afin d'aider la **population et les médias à comprendre immédiatement la gravité** d'un incident ou d'un accident nucléaire
- pour tout évt dans les Installations Nucléaires de Base civiles et militaires, et transport des matières nucléaires.

## • **Trois critères de classement :**

- conséquences à l'extérieur du site : rejets radioactifs / public et environnement ;
- conséquences à l'intérieur du site, qui peuvent toucher les travailleurs et l'installation elle-même ;
- dégradation des lignes de défense en profondeur de l'installation : moyens successifs de protection (systèmes de sûreté, procédures, contrôles techniques...) / limiter les effets d'un incident ou accident et garantir le confinement de la radioactivité.



# Échelle Ines



INES	Incidence hors site	Incidence sur site	Dégradation de la défense en profondeur
7	Rejet majeur : effet étendu sur la santé et l'environnement.		
6	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues.		
5	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues.	Endommagement grave du réacteur ou des barrières radiologiques.	
4	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites.	Endommagement important du réacteur ou des barrières radiologiques, ou exposition létale d'un travailleur.	Perte des défenses et contamination
3	Très faible rejet : exposition du public représentant une fraction des limites prescrites.	Contamination grave ou effets aigus sur la santé d'un travailleur.	Accident évité de peu. Perte des lignes de défense.
2	<i>pas de conséquence</i>	Contamination importante ou surexposition d'un travailleur	Incident assorti de défaillance importante des dispositions de sûreté.
1		<i>pas de conséquence</i>	Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé.
0			Anomalie sans importance du point de vue de la sûreté.

# Classement Ines - exemples

7 - Accident majeur : **1986 - Tchernobyl (Ukraine)** : un essai incontrôlé a conduit à la destruction du réacteur et à la dispersion dans l'atmosphère du combustible. La contamination s'est étendue à toute l'Europe. >30000 morts + cancers et autres maladies

6 - Accident grave : 1957 - Kyshtym (URSS) : l'explosion chimique d'une cuve de stockage de déchets de haute activité se produit dans une usine de retraitement. Plusieurs villages ont dû être abandonnés.

5 - Accident entraînant un risque hors du site : 1979 - Three Mile Island (USA) : l'évacuation insuffisante de la chaleur du réacteur a conduit à la fusion du cœur et à sa destruction partielle.

# Classement Ines - exemples

4 - **Accident n'entraînant pas de risque important hors du site :**

Février 1980 - Centrale de Saint-Laurent-des-Eaux (Loir-et-Cher) : une défaillance technique a conduit à l'inflammation locale du combustible. L'accident a endommagé gravement l'installation.

3 - **Incident grave :** 2008 - Toulouse (Haute-Garonne) : irradiation d'un employé intérimaire par une source de Cobalt 60.

1991 - Forbach (Moselle) : 3 employés intérimaires pénètrent dans un accélérateur industriel en fonctionnement et sont fortement irradiés.

2 - **Incident**

2009 - Cruas (Ardèche) : perte du refroidissement des systèmes importants pour la sûreté du réacteur n°4.

2007 - Dijon (Côte d'Or) : irradiation d'un manipulateur lors de la radiothérapie d'un patient.

2006 - ATPu de Cadarache : chargement trop important du broyeur réduisant les rebuts en poudre, en raison de procédures et de consignes inadaptées.

# Limites du classement Ines

- Différences d'interprétation / Inhomogénéité entre les pays
- Ne peut servir de comparaison du niveau de sûreté entre différentes centrales, différents pays
- Échelle de communication : la gravité n'est pas proportionnelle au niveau ines, des événements niveau faible pourraient dégénérer.
- Radioprotection : pas de prise en compte du risque radiologique individuel.

# Évaluation des risques (1)

- Évaluation probabiliste des risques : Évaluation de la sûreté par des systèmes de protection en série : risque est le produit des probabilités de panne : Areva /Epr : « la probabilité d'accident avec fusion du coeur est infime » (1 en 1,6 millions d'année/réacteur)
- Mais : Fukushima : plusieurs systèmes de sécurité ont failli au même moment : perte d'électricité dans la centrale, perte du diesel pour les générateurs, inondation du système de contrôle électrique, rupture des arrivées d'eau: tous les systèmes de refroidissement ont failli en mm tps
- Cette méthode ne prend pas en compte les rétroactions non linéaires, indirectes, dépendances, actions humaines, et .... les pannes inattendues (le futur est encore plus difficile à prévoir que le passé)
- Calculs compliqués (comm) mais manque de fiabilité

# Évaluation des risques (2)

- (/ Charles Perrow) : deux caractéristiques -> risques d'accidents catastrophiques
  - complexité interactive : interaction inattendue et cachée entre plusieurs composantes d'un système complexe
  - couplage serré : séquence d'opérations invariante
- -> leur réduction est limitée quelque soient les efforts des ingénieurs
- Nombreux pays, organisations, types de réacteurs, technologies/vulnérabilités
- + fréquents dans les pays opérant plusieurs types de réacteurs
- Cause les + fréquente : série d'interventions humaines plutôt que faute d'un système de sécurité

# Évaluation des risques (3)

- Fonctionnement opération commerciale <-> amélioration de la sûreté
- Histoire : 15 000 années réacteur : 5 accidents graves (dont 3 à Fukushima)
- Suivant par ce qu'on appelle fusion du cœur, on pourrait rajouter d'autres accidents : 1 en 1400 années réacteur
- -> étude statistique à partir des accidents passés (mais peu d'événements)



# Objectifs de l'étude

- Quelles sont les probabilités d'accidents obtenus en prenant en compte des données plus exhaustives ?
- Qu'en est-il des intervalles de confiance ?
- Comment donner des résultats en fonction de plusieurs scénarios ?

# Scénarios

- Mycle Schneider : baisse du nombre de réacteurs, entre 9 et 12 réacteurs fermés par an en moyenne pendant 30 ans, suivant fermeture avant ou après 40 ans.
- AIEA : ouverture de 4 à 17 nouveaux réacteurs par an en moyenne pendant 20 ans (horizon 2030).

# Constitution de la base de données

- exclure les accidents militaires et de radiologie médicale
- Il ne semble pas qu'il existe une liste internationale à jour des incidents/accidents nucléaires
- Recherche de plusieurs listes d'accidents : AIEA, IRSN, ASN : pas de listes exhaustives. La liste de base a été trouvée sur [climasceptics.com](http://climasceptics.com) .
- complétée à partir de plusieurs autres sites : wikipédia, Guardian, US Nuclear Regulatory Commission, ...
- Événements triés / Ines, date, lieu, entrée en service, type de réacteur

# Difficultés / Base de données

Statistique faible

- Pas de base globale
- Certainement des accidents secrets, même civils
- Différences d'appréciation de la gravité
- Travaux antérieurs : aucun qui prenne en compte divers facteurs.

# Données

• Ines	Période	Nombre	fréquence
• 3	1991-2011	22	0.00256
• 4	1951-2011	8	0.00055
• 5	1951-2011	5	0.00034
• 6	1951-2011	1	7 E-05
• 7	1951-2011	2	0,00014