

IRSN

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire



Système de management
de la qualité IRSN certifié

La sûreté nucléaire

Faits et idées

G.B. Bruna

ESPCI, Paris

19 mai 2011

SOMMAIRE

■ La sûreté nucléaire

- L'Organisation - en France -
- Les principes et les objectifs
- Les fonctions de sûreté
- Les approches : Déterministe vs Probabiliste

■ L'*Experientia*, moteur de progrès

- Les Agressions
- Le Facteur Humain
- La *R&D*

■ *Safety margins & Risk Space*

■ De GEN II à GEN IV - en passant par l'EPR -

■ Et aujourd'hui : Les événements du Japon

1 - LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

I Propositions récentes

- La loi TSN de 2006
- La Directive Européenne 2009/71 EURATOM

I Un *ensemble de mesures techniques et organisationnelles* mis en œuvre

- À la conception
- À la réalisation (fabrication, intégration, montage ...)
- À la mise en service
- À l'arrêt définitif
- Au démantèlement

I Afin de

- Prévenir les accidents
- En limiter les conséquences

1-LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE - en France -

Une partie à 4

■ Les exploitants

- EDF (maintenant SUEZ)
- CEA
- AREVA ...

■ Les pouvoirs publics

- Autorités administratives compétentes

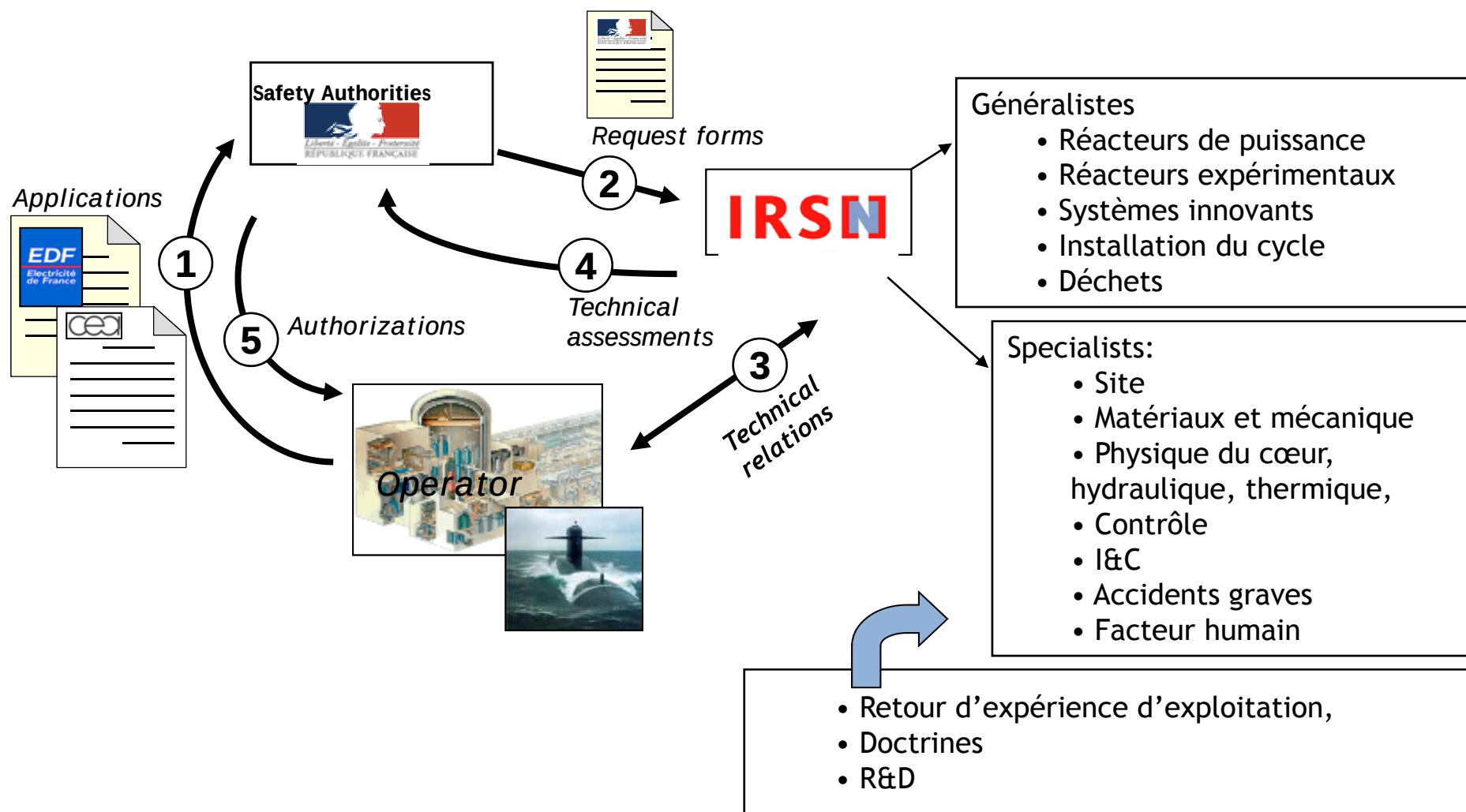
■ Les experts techniques

- IRSN

■ Les parties prenantes

- Les citoyens et leurs représentations (Commissions Locales d'Information, CLI)

La Sûreté Nucléaire en France : une partie à 4



2 - PRINCIPES ET OBJECTIFS DE SÛRETÉ NUCLEAIRE

1. L'exploitant est seul responsable de la sûreté de son installation en toute circonstance.
2. Il en justifie et rend-compte devant une Autorité de Sûreté (Autorité administrative compétente, qui, seule, a un pouvoir d'injonction).
3. Un organisme d'experts - indépendant de la production et de l'Autorité [l'IRSN ou autre] - évalue la sûreté.
4. Sous le regard - et en informant - l'opinion publique.

3 - LES FONCTIONS DE SÛRETÉ

La réactivité

- En réacteur :
 - La maîtrise de la réaction en chaîne,
 - La faculté de ramener le système en état sûr en cas de nécessité,
- Dans les autres installations : la protection contre les accidents de criticité.

Le refroidissement

- En réacteur, un refroidissement maîtrisé en fonction des circonstances,
- Dans les autres installations, en fonction du besoin :
 - Conséquent en usine de retraitement,
 - Important en enrichissement avec la technique de diffusion gazeuse.

Le confinement

- Interposition de barrières, afin d'éviter toute contamination de l'environnement et des hommes,
- Dépressurisation, si nécessaire,
- Filtration, épuration, piégeage ... (effluents, vapeurs, fumées, aérosols).

L'évaluation de sûreté 1/2

L'objectif de l'évaluation de sûreté des installations nucléaires - et, tout particulièrement, des réacteurs - est l'**appréciation**, et chaque fois que cela est possible, **la quantification des risques** potentiels inhérents à leur exploitation, incluant ceux qui tirent leur origine de :

- changements volontaires de la conception, de la gestion du combustible, de l'exploitation et de la conduite,
- ainsi que d'événements non maîtrisables et / ou non maîtrisés, comme les agressions (internes et externes) et les actes de malveillance ...

L'évaluation de sûreté 2/2

- **Pour attendre cet objectif ambitieux, il est nécessaire de :**
 - Identifier toutes les sources de risque et évaluer leur contribution potentielle au risque global (*Analyse Probabiliste de Sûreté - PSA* -),
 - Analyser et comprendre les phénomènes physiques sous-jacents,
 - Maîtriser le comportement et le mode opératoire des systèmes, connaître leur faiblesses ... ;
- **Ceci est obtenu :**
 - En capitalisant l'expérience,
 - En effectuant des études et des expériences,
 - En tenant compte du contexte socio-économique.

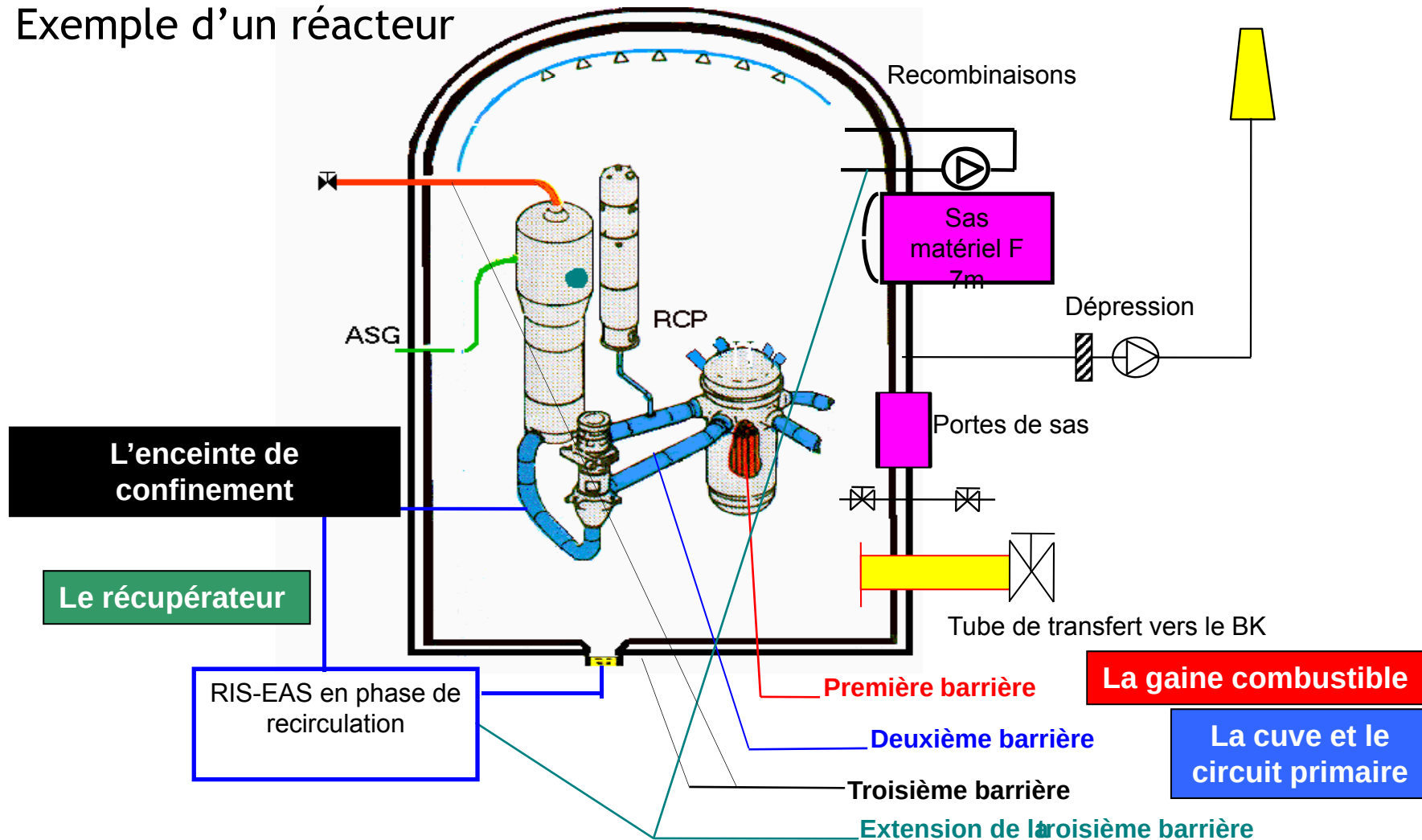
4 - L'APPROCHE DETERMINISTE

L'approche déterministe

- Les barrières de confinement;
- La *Défense en Profondeur - Defense in Depth DiD* - ;
 - Les trois barrières, pour les réacteurs :
 - La gaine du combustible,
 - La cuve et le circuit primaire,
 - L'enceinte de confinement;
 - Les états et les conditions de fonctionnement;
 - La catégorisation des accidents :
 - DBA
 - BDBA
 - Les règles d'études d'accidents.

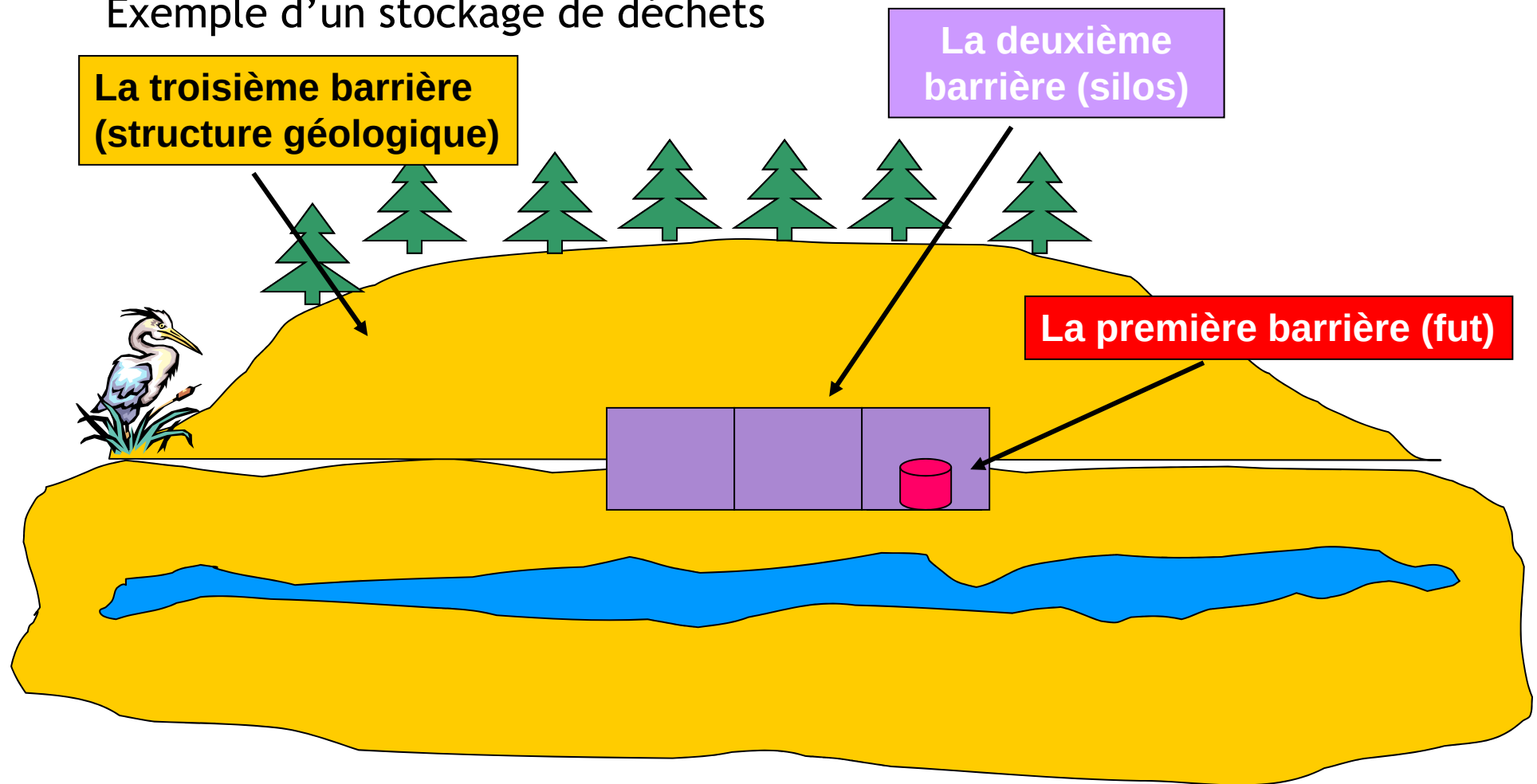
LES BARRIÈRES DE CONFINEMENT

Exemple d'un réacteur

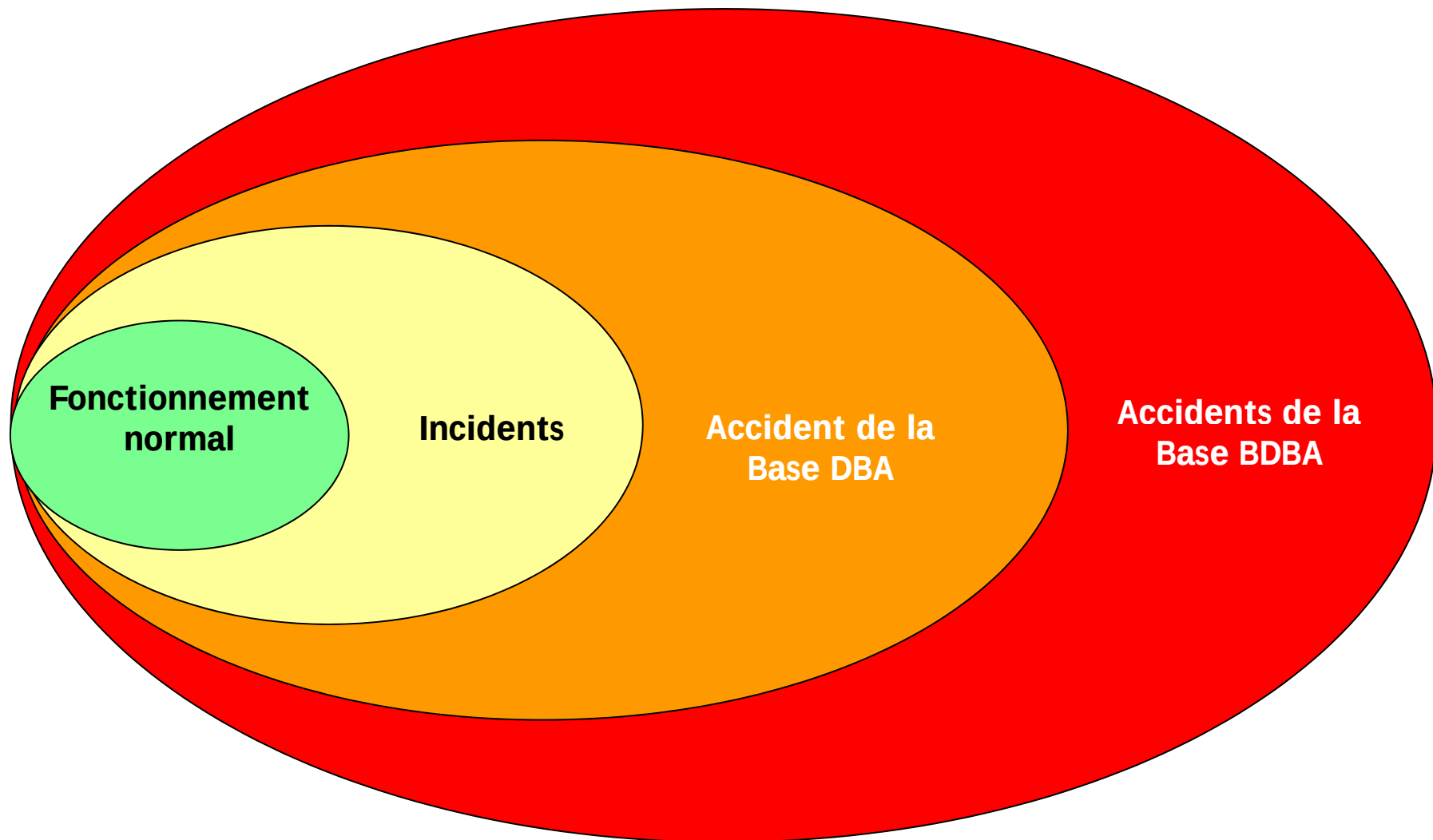


LES BARRIÈRES DE CONFINEMENT

Exemple d'un stockage de déchets



La Défense en Profondeur - DiD -



Pendant toute la durée de vie de l'installation,
à la mise à l'arrêt et au démantèlement

5 - L'APPROCHE PROBABILISTE

Les études de niveau 1 ont été effectuées à partir de 1974.

But : évaluer le risque de dégradation grave du réacteur à partir d'événements d'origine interne

Approche : la détermination d'une dizaine de familles de grands scénarios présentant des analogies

- Petite brèche secondaire
- Petite brèche primaire
- Dilution de l'acide borique par de l'eau non borée ...

Cas par cas, l'analyse quantitative des parades

- Évaluation du risque d'échec
- Recherche des moyens de substitution éventuels

Intérêt majeur : la **comparaison** entre diverses familles de transitoires

Une analyse **a posteriori**

LIMITES & AMELIORATIONS

■ L'état sûr du réacteur : deux fausses bonnes idées

- **On s'occupe avant tout du système lui-même. Les agressions externes sont prises en compte :**
 - Par la prévention (pas d'étude de scénario)
 - Sous un aspect mono-forme
- **Dès que le réacteur est à l'arrêt on est à l'abri (mais quel arrêt?)**
 - Les incidents et accidents se développent à partir des situations de fonctionnement « en puissance »
 - En conséquence, on néglige les états initiaux « réacteur arrêté »

■ Le facteur humain et organisationnel est peu considéré

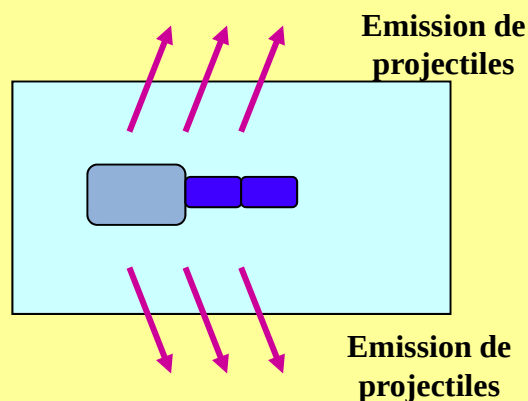
■ Et pourtant

- **Les agressions externes, ça existe ...**
- **Les conditions d'arrêts sont à risque ...**
- **La défaillance est humaine ...**

6. LES AGRESSIONS INTERNES

Les agressions **d'origine interne** retenues sur des bases réglementaires, conventionnelles ou empiriques

PORCHEVILLE : sur un bloc turbine-alternateur de 600 MW, éclatement suite à phénomène de dévirage (vitesse excessive)



ENSEIGNEMENT: Une Nouvelle Conception du Hall des Machines

L'avant 900 :

Fessenheim

Bugey

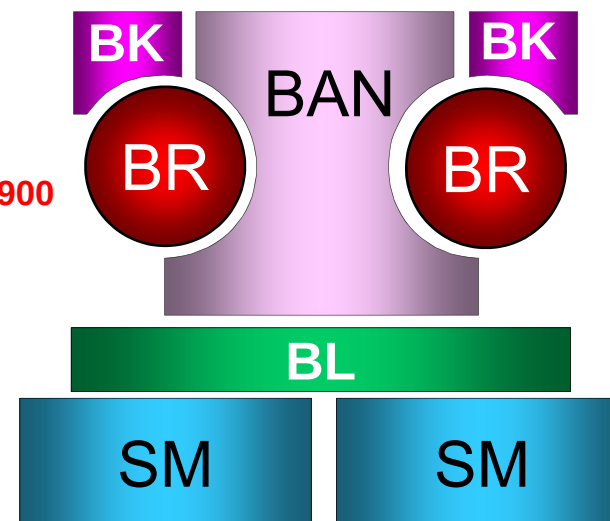
Les premiers 900

Tricastin

Dampierre

Gravelines

Le Blayais

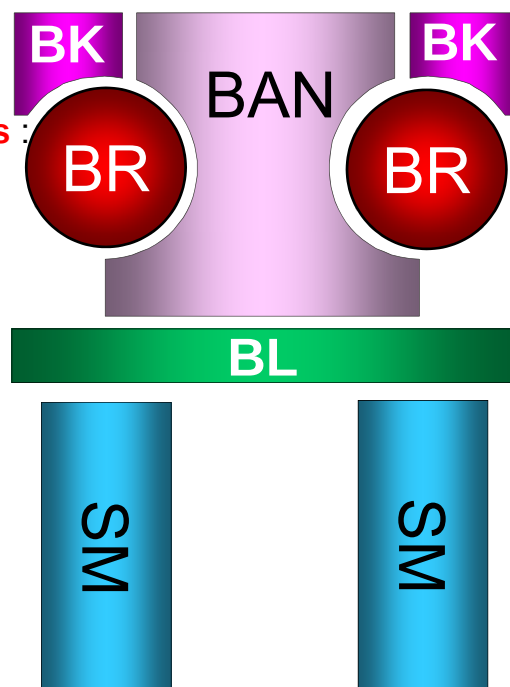


Les 900 suivants :

St Laurent

Cruas

Chinon



BR = enceinte (bâtiment réacteur)

BK = bâtiment combustible

BAN = bâtiment des auxiliaires nucléaires

BL = bâtiment électrique

SM = salle des machines

7 - Le FACTEUR HUMAIN THREE MILES ISLAND (1979)

L'accident est d'origine humaine :

Mauvaise interprétation des informations, conduite erronée

Le management des accidents

- L'introduction de l'approche par états
- L'amélioration de la salle de commande

La conduite et le facteur humain

- La redondance humaine
- La redondance procédurale

LA CONDUITE ACCIDENTELLE - L'APPROCHE PAR ÉTATS

■ Avant TMI : approche « personnalisée »

- La procédure de conduite est fonction d'accidents stéréotypés ;
- Traiter toutes les combinaisons de défaillances multiples relève de la « mission impossible ».

■ Après TMI : approche structurée et structurante

- Les états de refroidissement du réacteur sont faciles à classer, selon deux éléments structurants;
 - Le niveau de l'eau primaire dans la cuve du réacteur,
 - Et la marge à la saturation de l'eau;
- Ce couple de paramètres, notamment le premier d'entre eux, définit les priorités;
- Des procédures sont dédiées aux états d'arrêt.

L'APPROCHE PAR ÉTATS - LA REDONDANCE

La redondance humaine a été renforcée

- Une équipe de conduite (opérateur R et E/V) encadrée par le Coordonnateur (Cadre Technique)
- Un Chef d'exploitation chargé de l'encadrement
- Un Ingénieur Sûreté - IS - indépendant de l'équipe de conduite

La redondance est codifiée

- Les procédures de conduite à la disposition de l'équipe
- Une procédure SPE (Surveillance Permanente par États) est à disposition de l'IS

TCHERNOBYL

La version initiale : "C'est la faute aux opérateurs"...

Mais aussi :

- Une série de dysfonctionnements, comme à TMI...
- L'organisation de la sûreté
 - Des pratiques anormales, mais implicitement - et couramment - admises
- Des défauts de conception
 - Un coefficient de température modérateur très positif à faible puissance
 - Un coefficient de vide qui devient positif quand peu de grappes sont insérées
 - Une chute des grappes
 - Lente
 - Avec insertion de réactivité en début de course
- Le facteur humain
 - Des opérateurs hautement qualifiés ayant tendance à prendre des initiatives ...
 - Une culture de la seule production
 - Une équipe non préparée (retard à l'essai)

TCHERNOBYL - LES LESSONS

D'une installation complexe

- On ne sait jamais "tout" .
- Il faut
 - Tirer profit du retour d'expérience
 - S'opposer à de fausses bonnes idées
 - « Ce n'est jamais arrivé en 20 ans, pas de risque que ça se produise maintenant »
 - « Pas ou peu d'importance, donc pas de conséquences »

Il faut donc:

- Aménager la défense en profondeur à l'exploitation
 - Prévention, détection des anomalies
 - Surveillance des fonctions importantes pour la sûreté
 - Maîtrise des incidents et des accidents
- Aménager des grands rendez vous
 - Les réexamens de sûreté
 - Les grandes visites décennales
- Traiter « en ligne » les événements en exploitation

8 - LES AGRESSIONS EXTERNES - De multiples exemples

Neige et vent

Séisme et incendie

Coefficient de marée + vagues + houle

Impact et incendie

Basse température et agression source froide

Haute température et étiage

...

Séisme et tsunami !!!

SUPERPHÉNIX: Neige et vent

Février 1991. Acte 1 : Il neige

- Environ 40 cm, épaisseur moyenne
- Pas de panique, le toit du hall des machines résiste à 60 cm

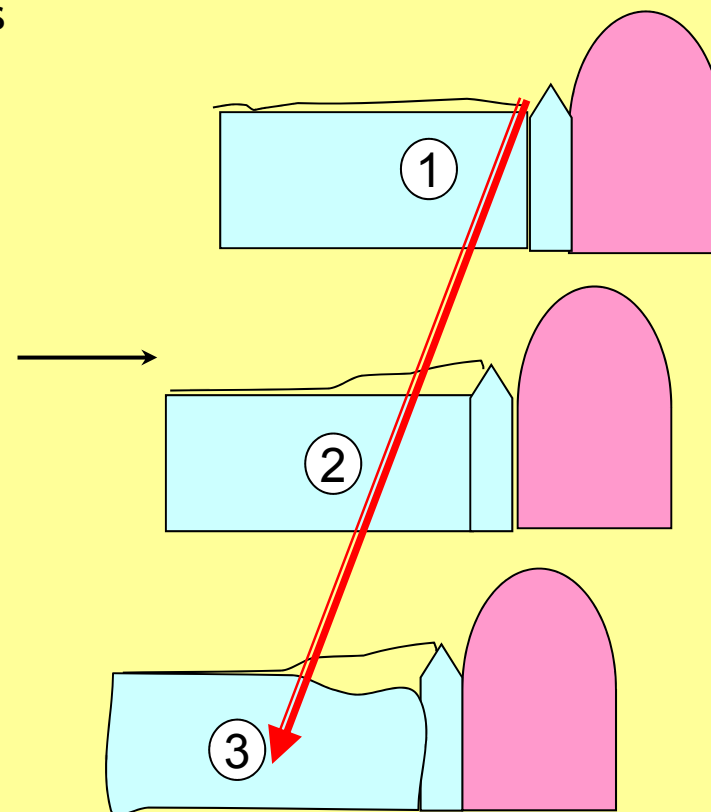
Acte 2 : Le vent de N/NE se lève

- Dans l'axe du hall des machines

Acte 3 : Le vent accumule la neige

- Épaisseur max : 1,20 m

Acte 4 : Le toit s'effondre



BLAYAIS

Coefficient de marée + vagues + houle

Le 27 décembre 1999

Dans la journée, une tempête d'une rare intensité

Le soir : pertes d'alimentations électriques extérieures

Au même moment, présomption d'entrées d'eau sur le site

- Alarme sur un premier marégraphe à 20 h 30
- Alarme sur un second marégraphe à 22 h 30

Alarmes marégraphes non gérées : la priorité est donnée à la perte de sources électriques

Plus tard, retour de l'alimentation principale

- En tranche 4 à 21 h 30
- En tranche 2 à 23 h 20

BLAYAIS

ENSEIGNEMENTS ET AMÉLIORATIONS

- Examen des autres sites
- Actions réalisées en 2002
- Autres situations apparentées
 - Paluel, juin 2005 (envasement de la station de pompage de 2 des 4 tranches)
 - Blayais, 24 janvier 2009 (mise en œuvre préventive de l'organisation de crise face à la tempête, mais pas d'événement significatif pour la sûreté)
 - Cruas et Fessenheim, décembre 2009 (perte partielle de source froide par bouchage partiel)

9 - 11 Septembre 2001

RIEN NE SERA PLUS COMME AVANT

- Renforcement de la prise en compte d'actes terroristes
 - TMI1 était peut-être dans l'axe du *dernier avion*
- Menace difficilement quantifiable
 - Risques dispersés
 - Motivations difficiles à appréhender
- Menace échappant au seul contrôle des exploitants
- Scénarios dérivés
 - Attaque aérienne contre une INB
- Parade mise en œuvre
 - Déploiement de missiles sol-air à proximité des usines de retraitement de La Hague (portée, 20 kms, détection à basse altitude)

10 - LA GÉNÉRATION III et III+

■ Défense en profondeur renforcée

- Intégration de la fusion du cœur en 4^e ligne de défense
- Elimination pratique des scénarios à rejets précoces

■ Réductions de probabilités « cœur découvert »

- Réduction du risque de transitoires à arrêt automatique du réacteur
 - Qui peuvent dégénérer
- Plus grande redondance et diversification des fonctions de sauvegarde
 - 4 voies
 - 1 ultime secours à 2 voies
- Allongement des délais disponibles pour les opérateurs
- Prise en compte des états d'arrêts
- Prise en compte de la piscine de stockage (bâtiment combustible)
- Considération donnée aux « synergies » entre agressions diverses
- Retour d'expérience des EPS intégré à la conception (*Risk Informed*)

11 - LA GÉNÉRATION IV

■ Les ambitieux objectifs du GIF - *Generation IV International Forum* - sont de proposer des concepts de réacteurs innovants permettant de répondre à des exigences fortes de :

■ Développement durable (minimisation de l'impact sur l'environnement)

■ Economie

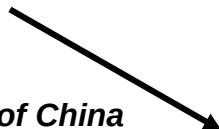
■ Sûreté et sécurité

■ La loi 2006 donne un cadre au développement de la GEN IV en France.

Pays membres du G.I.F.



People's Republic of China



Japan



U.S.A.



France



Russian Confederation



Brazil



Canada



Euratom



Argentina



South Africa



United Kingdom



Switzerland



South Korea

*Accord cadre du Forum
signé le 28 février 2005*

Objectifs des Concepts de GEN-IV

Compétitivité économique

- Coût de l'énergie produite compétitif vs celui des énergies fossiles

Développement durable

- Durée de fonctionnement allongée (au delà de 60 ans)
- Minimisation de l'inventaire de matière fissile
- Réduction des déchets et terme de volume et activité

Sûreté

- Probabilité d'Accidents Graves extrêmement réduite
- Plans d'évacuation strictement limitées au site de la centrale

Sécurité et non prolifération

- Cycle du combustible réduisant l'accumulation de matériaux proliférant
- Protection efficace et accrue contre les agressions et les actes malveillants

Objectifs des Concepts de GEN-IV

Le développement durable

- **Cycle du combustible fermé :**
 - **Optimisation de l'utilisation des ressources et minimisation de l'inventaire de matière fissile,**
 - **Diminution du volume et de l'activité des déchets et réduction des coûts de stockage,**
 - **Gestion des déchets prise en compte dès la conception ;**
- **Multifonctionnalité : production**
 - **d'électricité,**
 - **d'hydrogène,**
 - **de chaleur industrielle.**

Objectifs des Concepts de GEN-IV

Une *sûreté* accrue

- Réduction du nombre de défaillances en fonctionnement normal (inspection, réparation, substitution ...),
- Protection accrue contre les agressions externes (impacts, malveillance ...),
- Probabilité très faible d'accidents entraînant de dommages sévères du cœur (Par la conception robuste, en conformité avec l'approche "*Risk Informed*"),
- Mitigation des transitoires (par les systèmes de protections – passifs),



Les concepts de GEN-IV

☐ HTR/VHTR

☐ SFR

☐ GFR

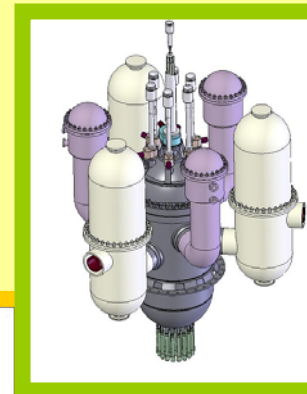
☐ LFR

☐ MSR

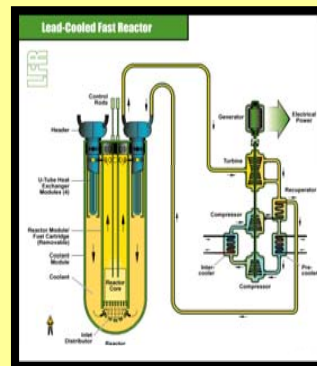
☐ SCWR



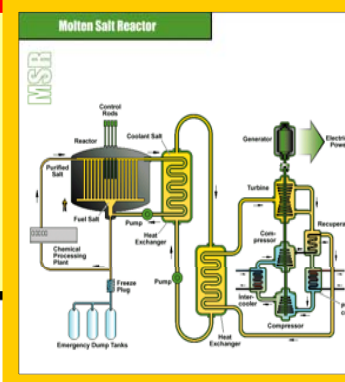
SFR



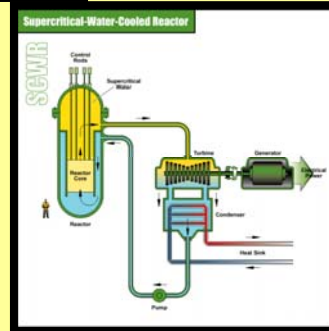
GFR



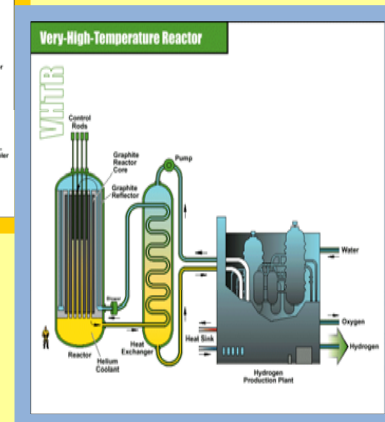
LFR



MSR



SCWR



HTR/VHTR

12 - La R&D 1/2



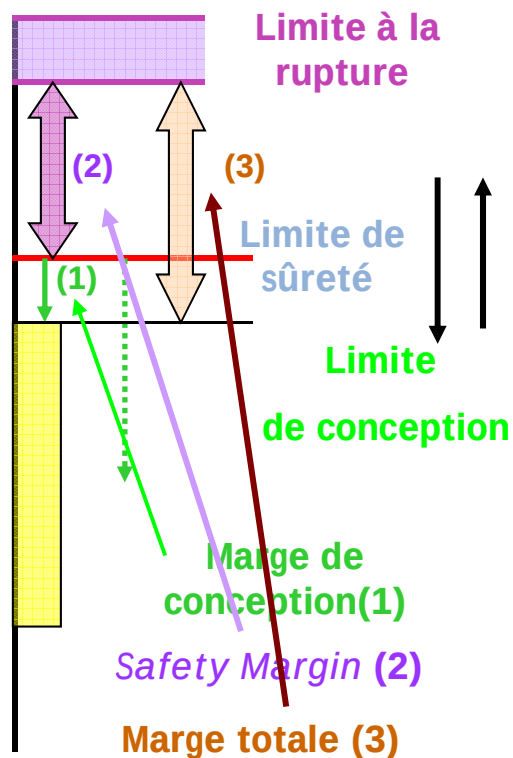
1. **Le combustible** (comportement sous irradiation et/ou en transitoire, les codes et les méthodes et leur validation, les nouveaux matériaux et la conception avancée)
2. **Les nouvelles technologies** permettant une meilleure exploitation des réacteurs (facteur humain et organisationnel, ergonomie, digitalisation ...),
3. **Les conceptions avancées des PWR** (cœur à faible perte de réactivité, gestions innovantes du combustible ...)
4. **La gestion du combustible utilisé et des déchets** (solutions avancées pour le stockage du combustible en piscine, classification des déchets ...)

La R&D 2/2



- **L'impact environnementale des réacteurs** (barrages, cours d'eau, routes, activités commerciales, implantation humaine ...),
- **Les agressions externes** (impacts, malveillance, conditions climatiques extrêmes, changement climatique...) et **internes** (vieillissement, feu et fumée),
- **La démarche de sûreté, l'harmonisation et internationalisation des pratiques,**
- **Les accidents graves** (phénoménologie, mitigation, crise, radioprotection, gestion post-accidentelle ...)

13 - LES SAFETY MARGINS

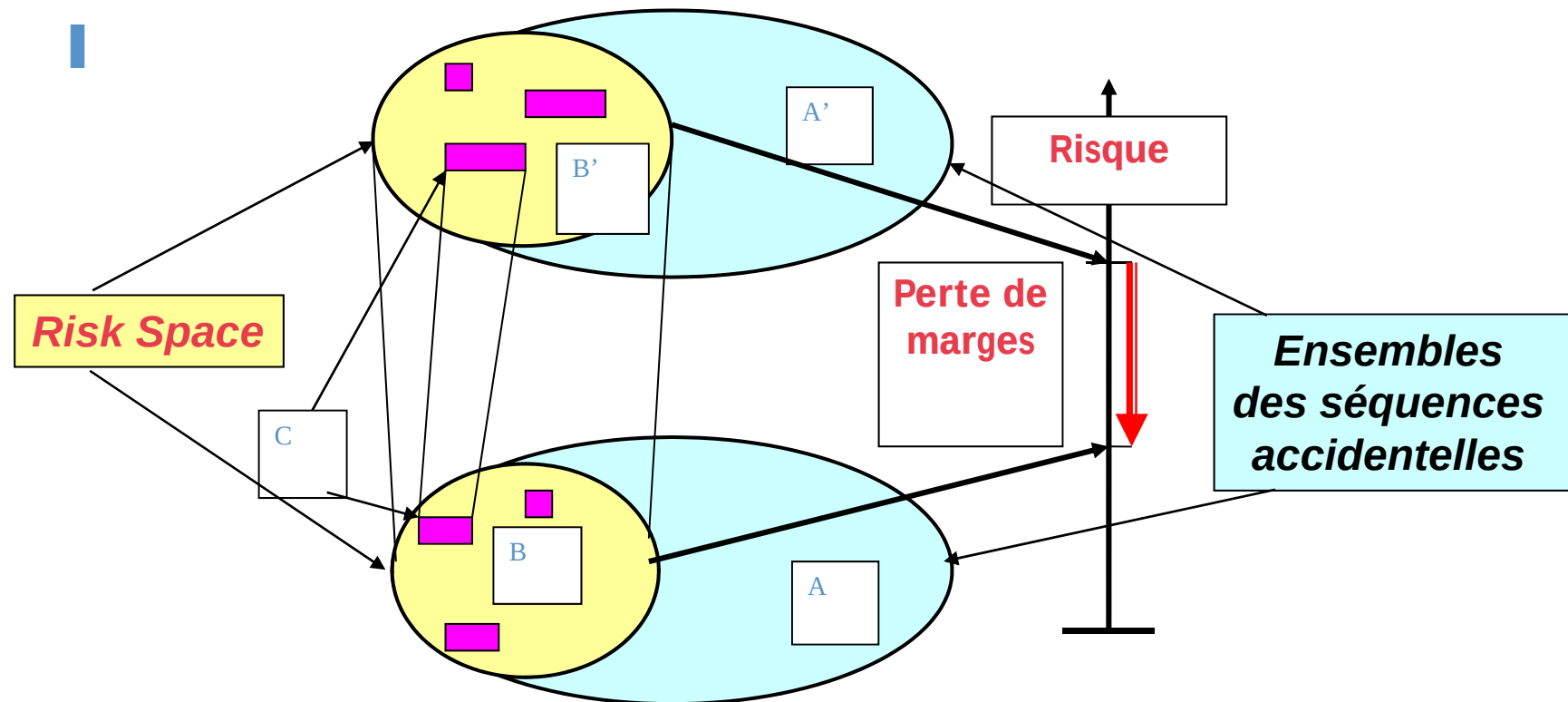


Il existe des marges de nature différente;

Ceux qui intéressent la sûreté ce sont :

- Les *Safety margins* - non consommables -
- Les marges de conceptions - consommables.

Safety margins : l'approche généralisée



L'Espace de Risque - *Risk Space* - et sa sensibilité à la conception et au mode d'exploitation

14 - LES EVENEMENTS DU JAPON

■ Ce qui n'était pas envisagé (ni envisageable ?) est arrivé :

- **Conjonction de deux agressions catastrophiques successives :**
 - **Tremblement de terre**
 - **Tsunami;**
- **Cause commune : le tremblement de terre en mer;**
- **Conditions environnementales extrêmes.**

■ Ceci a engendré :

- **La destruction de certains bâtiments,**
- **L'accumulation de débris,**
- **La perte d'alimentation électrique,**
- **La perte de réfrigération du cœur et des piscines,**
- **La difficulté durable de la reprise de la situation en raison des destructions, des difficultés d'accès ...**

Post FUKUSHIMA : premières considérations

- **Les objectifs généraux de sûreté des Nouveaux Réacteurs sont pertinents, de même que les évolutions vers GEN III et GEN III+.**
- Le retour des plans d'évaluation de la robustesse des réacteurs en exploitation et en construction devra être intégré ;
- Pour les Nouveaux Réacteurs, il faudra notamment :
 - Etendre et approfondir les études d'agressions externes de site avant le choix de l'implantation des centrales,
 - Analyser au deuxième niveau les événements du Japon (REX plus riche) aussi pour le répercuter sur les programmes et les priorités en R&D;
- La priorité doit être donnée :
 - A l'intégration du retour d'expérience à tout niveau,
 - À l'homogénéisation et internationalisation des exigences et des pratiques de sûreté.