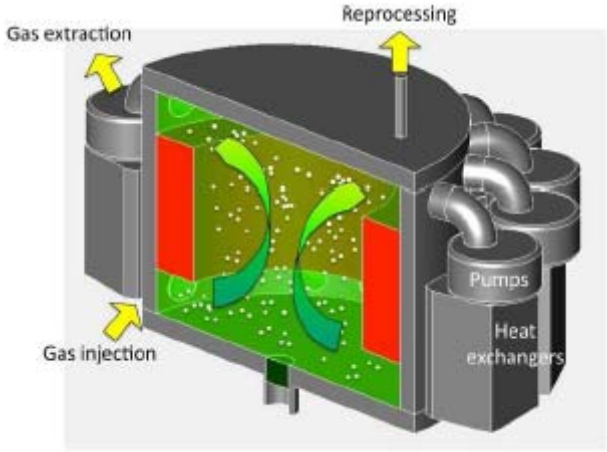
AREVA

l'avenir pour énergie

Atelier Sûreté MSFR

Eléments de démarche sûreté pour les réacteurs GENIV

Ingénierie & Projets (E&P)



Stéphane BEILS
AREVA NP
Fontenay-aux-roses, le 20 octobre 2015

DIFFUSION LIMITEE AREVA
L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci

Direction Ingénierie & Projets

AREVA
l'avenir pour énergie

Plan de la présentation

- **Participation d'AREVA à la définition des démarches de sûreté des réacteurs GENIV**
- **Enjeux des démarches de sûreté en phase de préconception**
- **Eléments de démarche de sûreté mis en œuvre sur ASTRID et présentant un intérêt pour les MSFR**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Participation d'AREVA aux démarches de sûreté des réacteurs GEN IV

- **AREVA est consulté en tant qu'industriel par le GIF et a notamment dans ce cadre, au sein du "Risk & Safety Working Group", participé à l'élaboration de "safety design criteria" and "safety design guidelines" pour les SFR GENIV**
- **Sur ASTRID (démonstrateur vers une filière de SFR GENIV) AREVA participe, au côté du CEA (maître d'ouvrage), à la définition de la démarche de sûreté et des orientations de sûreté pour la chaudière**
- **Avec le CEA et EDF, AREVA a contribué aux examens de sûreté des filières GENIV faits par l'IRSN et soumis à l'avis du Groupe Permanent en 2014**
- **AREVA participe ou a participé à des projets de R&D européens sur les autres concepts GENIV, notamment les MSFR, les LFR, les GFR et les V/HTR**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Enjeux des démarches de sûreté en phase de préconception

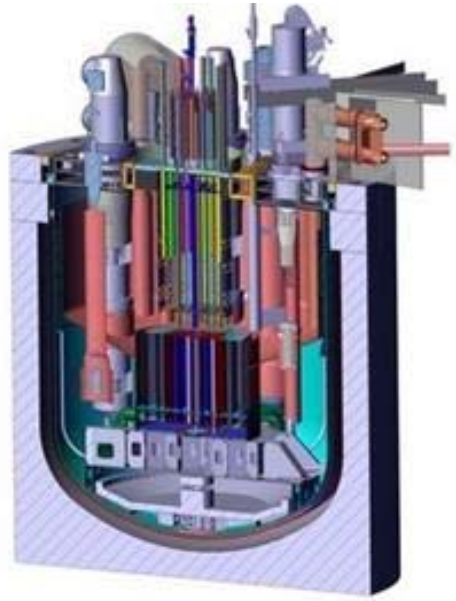
- **La prise en compte de la sûreté est un élément structurant pour la conception**
- **Pour les réacteurs GENIV, c'est un thème à intégrer dès le début pour être en mesure de justifier d'un niveau de sûreté à la hauteur des attentes**
- **Il s'agit notamment de mettre en lumière les principales problématiques de sûreté qui méritent un effort de R&D et un effort de conception prioritaires**

→ Cela est particulièrement vrai pour des réacteurs en phase de préconception et sur des concepts avec relativement peu de REX

→ L'enjeu est de se doter de démarches de sûreté pour orienter la conception qui soient suffisamment structurantes et puissent être déclinées dès la phase de préconception

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Eléments de la démarche de sûreté ASTRID présentant un intérêt pour les MSFR



- **Identification des risques**
- **Défense en profondeur**
  - **Diagramme des risques**
  - **Situations enveloppes prises en compte**
  - **Identification des Situations Eliminées en Pratique**

→ Méthode des lignes de défense (et lignes de mitigation)

- **Apport des méthodes déterministes et probabilistes**
- **Prise en compte des enseignements de l'accident de Fukushima à la conception**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Identification des risques

- **Risques de différentes natures à recenser**
  - **Méthodes d'étude qui peuvent être différenciées en fonction des risques (e.g. risque radiologique et risque chimique sur ASTRID)**
  - **Apport du PIRT**
- **Focus sur les risques majeurs du concept en phase de préconception**
- **Recensement des événements initiateurs (mettant en jeu ces risques) basé sur le retour d'expérience d'installations comparables, et des méthodes de type « top down » voire « bottom-up »**
- **Effets globaux et locaux**
- **Ensemble de l'installation à couvrir**
- **Différents états de l'installation à prendre en compte**
- **Facteurs organisationnels et humains**
- **Agressions internes et externes**
- **Malveillance**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Défense en profondeur (WENRA)

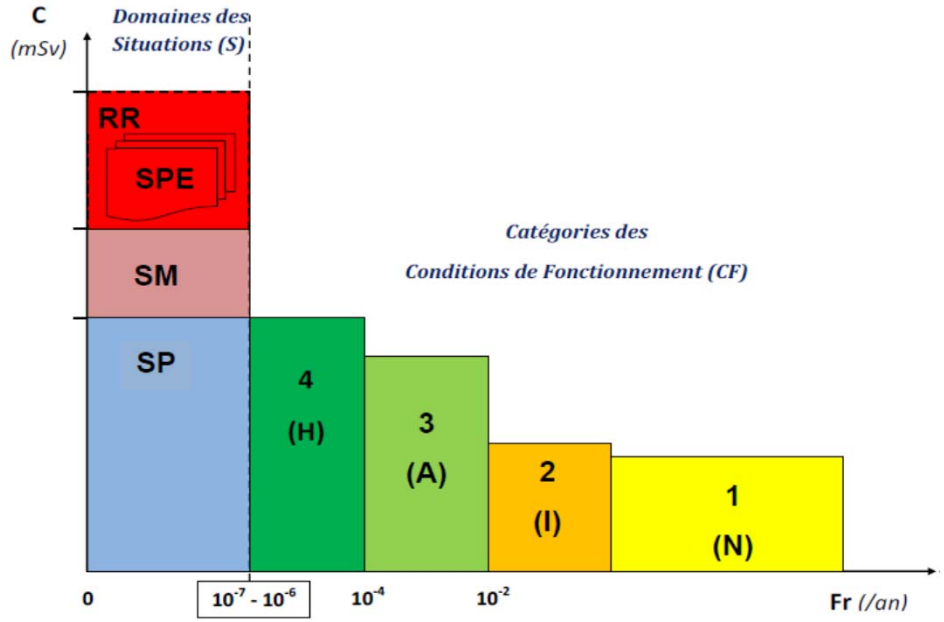
Levels of defence in depth	Objective	Essential means	Radiological consequences	Associated plant condition categories
Level 1	Prevention of abnormal operation and failures	Conservative design and high quality in construction and operation, control of main plant parameters inside defined limits	No off-site radiological impact (bounded by regulatory operating limits for discharge)	Normal operation
Level 2	Control of abnormal operation and failures	Control and limiting systems and other surveillance features		Anticipated operational occurrences
Level 3 (1) 3.a	Control of accident to limit radiological releases and prevent escalation to core melt conditions (2)	Reactor protection system, safety systems, accident procedures	No off-site radiological impact or only minor radiological impact (4)	Postulated single initiating events
Level 3 (1) 3.b		Additional safety features(3), accident procedures		Postulated multiple failure events
Level 4	Control of accidents with core melt to limit off-site releases	Complementary safety features(3) to mitigate core melt, Management of accidents with core melt (severe accidents)	Off-site radiological impact may imply limited protective measures in area and time	Postulated core melt accidents (short and long term)
Level 5	Mitigation of radiological consequences of significant releases of radioactive material	Off-site emergency response Intervention levels	Off site radiological impact necessitating protective measures(5)	-

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Diagramme des risques (radiologiques)

- **Modalités d'application du « diagramme de Farmer » à définir**
- **Les événements aux conséquences les plus graves doivent avoir la probabilité la plus faible.**
- **Règles d'analyse déterministe à définir**
- **Exemple sur ASTRID :**



L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Situations enveloppes et Situations Eliminées en Pratique

- **Au titre de la défense en profondeur, identification des situations qui mettent en jeu les risques caractéristiques du concept, et qui peuvent être retenues voire postulées en dépit des dispositions de prévention, détection et limitation des conséquences mises en œuvre en amont**
  - **e.g. sur ASTRID prise en compte de l'accident de fusion du cœur au titre du 4ème niveau de la défense en profondeur**
- **Les situations susceptibles de mettre en jeu des risques caractéristiques du concept sans qu'il soit possible à la conception de les gérer sont à identifier, et doivent le cas échéant faire l'objet d'une attention toute particulière pour, soit les rendre physiquement impossibles, soit démontrer qu'elles sont hautement improbables avec un haut niveau de confiance**
  - **e.g. sur ASTRID démonstration d'élimination en pratique réalisées au cas par cas et qui structurent fortement le design**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Méthode des lignes de défense

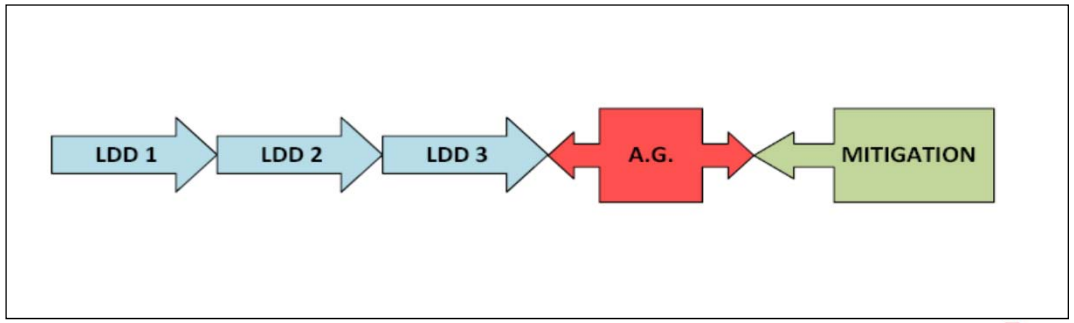
- **Réglementation, options et critères de sûreté par M. Laverie (SCSIN), 1982 :**
  - **Méthode des lignes de défense :**
    - *« Elle consiste à identifier les diverses dispositions prises envers les principaux risques (…), à quantifier très sommairement la valeur de ces dispositions et à vérifier que toute évolution accidentelle de l'état du réacteur sera toujours combattue par un ensemble minimal homogène (en quantité et qualité) de lignes de défense avant que puisse intervenir une situation aux conséquences inacceptables »*

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Bases de la méthodologie (telle qu'appliquée sur ASTRID)

- **Pour chaque événement initiateur, on met en place l'équivalent de trois lignes de défense (a minima deux lignes fortes et une ligne moyenne, « 2.a + b ») en amont d'une situation hypothétique d'accident de fusion généralisée du cœur**
- **Les LDD doivent être indépendantes, sans possibilité de mode commun de défaillance**
- **Trois types de lignes de défense :**
  - Mesures de prévention de l'occurrence de l'événement initiateur
  - Mesures de limitation des conséquences des événements initiateurs par des équipements spécifiques
  - Comportement intrinsèque et résistance naturelle à la progression de l'accident



L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Caractérisation des LDD fortes

LDD forte (a) :

- Système ayant un haut classement de sûreté
- Conçu selon le critère de défaillance unique
- Calculé avec des marges de conservatisme importantes
- Probabilité de défaillance de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-4} à la demande (ou par an)

Typiquement :

→ Systèmes actifs conçus avec les normes de l'industrie nucléaire et possédant des redondances internes

→ Equipements passifs conçus avec les normes de l'industrie nucléaire

→ Comportement intrinsèque qui alloue un long délai pour des actions correctives

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Caractérisation des LDD moyennes

LDD moyenne (b) :

- Marges de conservatisme moindres
- Bénéfice d'actions humaines à court ou moyen terme possible
- Probabilité de défaillance de l'ordre de 10^{-1} à 10^{-2} à la demande (ou par an)

Typiquement :

→ Systèmes actifs généralement conçus avec les normes de l'industrie nucléaire sans redondance interne

→ Actions de l'opérateur requises dans le cadre d'une procédure

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Principes d'analyse

- **Pour chaque événement redouté (par ex. risque de fusion du cœur), identifier les événements initiateurs susceptibles de conduire à cet événement**
- **Pour chaque événement initiateur, identifier les LDD à interposer**
- **Les LDD doivent être indépendantes (pas de mode commun de défaillance)**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Principes d'utilisation de la méthode des LDD pour l'analyse de sûreté d'ASTRID

Total des LDD effacés	Catégorie considérée pour l'analyse de sûreté et les objectifs de sûreté
b	3ème catégorie
a	4ème catégorie
2a	Situation de Prévention
2a+b	Situation de Mitigation de l'accident grave

- **Objectif de conception :**
  - **Perte d'un « b » équivalent à une CF3**
  - **Perte d'un « a » équivalent à une CF4**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Fonction de confinement

- **Notion de « barrières » indépendantes**
- **Vérification que les événements générés par la méthode des lignes de défense sont gérés efficacement**
- **Analyses spécifiques pour les agressions internes et externes (et les cumuls possibles associés)**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

Apport des méthodes déterministes et probabilistes

- **La déclinaison d'une démarche de type déterministe, adossée notamment sur l'emploi de la méthode des lignes de défense, permet de structurer l'architecture de sûreté**
- **Le recours à des études probabilistes, d'un niveau de détail proportionné à l'avancement du projet, fournit un éclairage complémentaire, notamment dans les cas suivants :**
  - **Cas où la réparabilité ou l'étalement des défaillances au cours du temps sont à prendre en compte**
  - **Cas des séquences complexes**
  - **Vérification du niveau suffisant d'indépendance et de diversification des systèmes, notamment les systèmes support**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

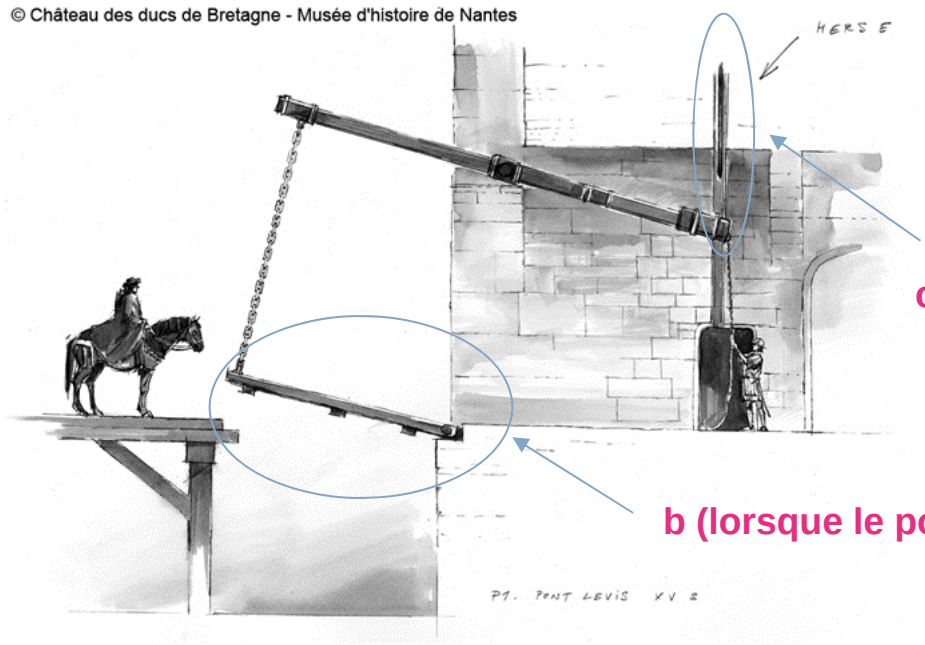
AREVA
l'avenir pour énergie

Prise en compte des enseignements de Fukushima à la conception

- **Notion de défense en profondeur y compris vis-à-vis des agressions**
- **Recherche d'une conception peu sensible aux événements externes d'origine naturelle**
  - **e.g. sur ASTRID recours à des appuis parasismiques**
- **Dispositions pour pallier des agressions externes d'intensité extrême et leurs effets possibles (pertes électriques, de source froide eau…)**
- **Facilitation à la conception des possibilités d'intervention**

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

MERCI POUR VOTRE ATTENTION



b (attention au mode commun « opérateur » !)

b (lorsque le pont est baissé)

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires. La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

ANNEXES

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie

Indépendance des niveaux de défense en profondeur et lien avec la méthode des lignes de défense (illustration sur un cas possible)

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3a	Niveau 3b	Niveau 4
Fonctionnement normal	Incident	Accident	Défaillances multiples	Accident grave
	a	a	b	
				Mitigation de l'accident grave

L'information contenue dans ce document est propriété AREVA et est à l'usage des seuls destinataires.
La reproduction et la rediffusion sont interdites. Merci DIFFUSION LIMITEE AREVA

AREVA
l'avenir pour énergie