

## Prise en compte des agressions internes et externes dans les études de sûreté EPR

Les agressions internes et externes ne doivent pas constituer une part importante du risque de fusion du cœur ni de rejet radioactif inadmissible. L'atteinte de cet objectif est rendu possible par la prise en compte dès la conception de l'ensemble des agressions susceptibles d'affecter la sûreté du réacteur, avec tous les effets de modes communs qu'elles peuvent potentiellement induire.

**Important :** Toutes les informations du présent document sont disponibles dans le Rapport préliminaire de sûreté version publique consultables sur [www.edf.fr/html/epr/rps/index.pdf](http://www.edf.fr/html/epr/rps/index.pdf)

### Les agressions internes

Les agressions internes prises en compte dans le dimensionnement sont les suivantes :

- l'incendie,
- l'inondation,
- les ruptures de tuyauteries haute énergie, de réservoirs, pompes et vannes,
- les missiles et explosions internes,
- les chutes de charge.

Remarque : les agressions internes sont considérées de la même manière que les conditions de fonctionnement de référence (initiateurs simples) car le critère de défaillance unique leur est appliqué selon les mêmes principes. En cumulant cette approche avec la réalisation systématique d'opérations de maintenance en puissance, la prise en compte des agressions internes selon des principes identiques à ceux des initiateurs conduit obligatoirement à une installation de l'îlot nucléaire à quatre trains de sûreté.

### Les agressions externes

Les agressions externes considérées dans la conception de l'installation et dans la démonstration de sûreté sont les suivantes :

- Les séismes,
- Les chutes d'avion,
- Les explosions externes,
- La foudre et les interférences électromagnétiques,
- Les remontées de nappe phréatique
- Les inondations externes,
- La sécheresse et la formation de glace,
- Les gaz toxiques, corrosifs ou inflammables
- Les conditions météorologiques extrêmes (température, neige, vent, pluie, ...),

### La démarche retenue : dans la continuité de celle du parc nucléaire en exploitation et avec des améliorations

Elle reste basée sur une approche « Cas de charge » qui, sur la base de mesures de prévention ou de protection, vise à découpler l'étude d'une agression de l'analyse détaillée des conséquences sur le process chaudière.

Quelques différences qui vont dans le sens du renforcement de la sûreté :

- **Cas de charge supérieurs :** Les niveaux de ces « cas de charge » retenus pour le dimensionnement de l'EPR sont au moins égaux à ceux pris en compte sur le Parc en exploitation, et souvent significativement supérieurs notamment pour les agressions externes (séisme, explosion externe, avion).
- **Approfondissement de certaines approches événementielles :** La démarche de conception de l'EPR intègre des problématiques événementielles au travers de démarches « événementielles » identifiées comme telles (démarche séisme événement) et/ou des règles de cumul entre agressions et événements internes ou externes (perte des alimentations électriques externes et séisme, inondation externe ou conditions météorologiques extrêmes notamment). Le retour d'expérience des événements rencontrés sur les tranches est pris en compte dans le cadre des réflexions menées à la lumière des événements passés et en particulier du retour d'expérience
- **Cumuls entre agressions et événements internes ou externes** La prise en compte de cumuls d'événements est développée. Elle se traduit par le renforcement de certaines des exigences de conception des matériels (élargissement des critères de classement, permettant d'exclure le risque) ou des études de scénarios.
- **Anticipation des évolutions climatiques** De manière générale, la problématique liée à l'évolution du climat est prise en compte dès la conception sur EPR. L'anticipation des évolutions climatiques permet notamment de retenir des cas de charge suffisamment enveloppes vis-à-vis des agressions externes de type « météorologiques » (grands chauds, grands froids, grand vents, inondations, autres agressions de site). Compte tenu de la durée de

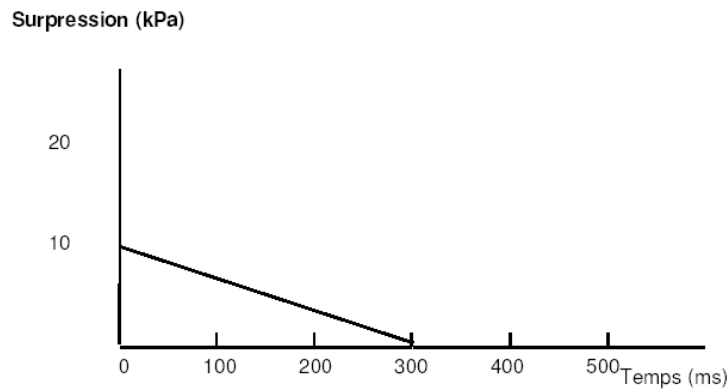
fonctionnement envisagée d'une tranche EPR (60 ans) ce sont des projections « fin de siècle » qui sont analysées sur la base des modèles climatiques nationaux et internationaux disponibles à ce jour.

### Principaux cas de charges pour les agressions externes

- **Séisme** Le niveau de séisme, caractérisé par l'accélération horizontales en champ libre, est pris égal à 0,25g contre 0,15g pour le Parc. Cette a été retenue à l'origine pour permettre au réacteur EPR d'être construit dans des pays où les risques sismiques sont nettement supérieurs à ceux encourus en France. Pour les sites en France, ce choix induit une robustesse supplémentaire.

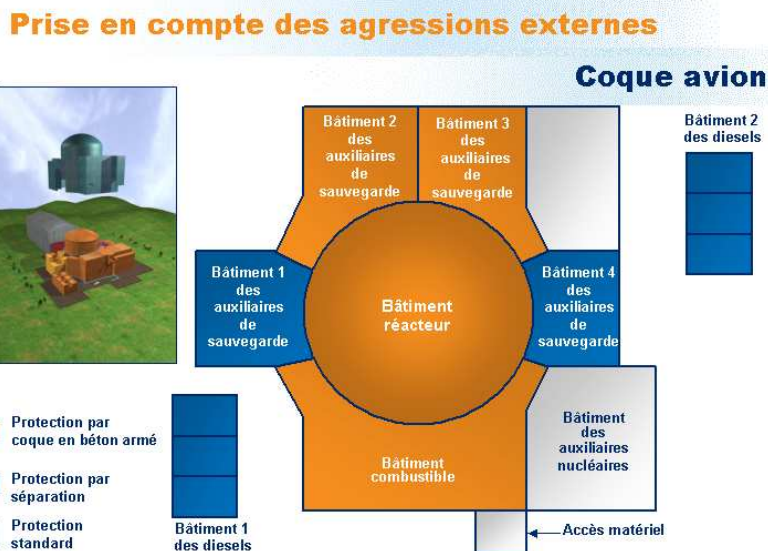
- **Explosions externes** Le cas de charge retenu correspond à une onde de pression significativement plus contraignante que sur le Parc : Le cas de charge retenu correspond à une onde de pression triangulaire à front raide de 100 mbar / 300 ms

FIG 3 : DIAGRAMME DE CHARGEMENT DE L'ONDE DE SURPRESSION



### • Chute d'avion

La prise en compte de la chute d'avion sur EPR conduit à la conception d'une « Coque avion » destinée à protéger l'îlot nucléaire de cet événement.



Quelques extraits du RPS Chapitre 3 (version publique) en annexe

## Conclusion

L'amélioration de la défense en profondeur du réacteur EPR permet d'atteindre une fréquence globale de fusion du cœur inférieure à 10-5 par année et par réacteur, en prenant en compte toutes les incertitudes et tous les types de défaillances et d'agressions internes et externes.

Extrait du chapitre 18 du RPS version publique :

Agressions internes	Fréquence de fusion du cœur. (r.a.)	Agressions externes	Fréquence de fusion du cœur. (r.a.)	
Missiles internes :	résiduelle sur la base d'une analyse qualitative	Séisme	$\approx 5.10^{-7}$ (1)	
- missile turbine		Chute d'avion	$6,6.10^{-8}$	
- autres		Risques industriels	$5.10^{-10}$	
Chute de charge	analyse qualitative	Inondation externe	résiduelle	
Explosions internes	sera analysé ultérieurement (caractère résiduel à confirmer)	Condition climatiques extrêmes :	résiduelle	
Incendie	$6,4.10^{-8}$	- canicule		$4.10^{-8}$
Inondation interne	$2.10^{-8}$	- grands froids, neige et vent		$3.10^{-8}$
		- frasil		résiduelle sur la base d'une analyse qualitative
		- prise en glace		résiduelle sur la base d'une analyse qualitative
		Foudre	inclus dans le résultat de l'EPS N1	
		Colmatage station de pompage		
Total	$8,4.10^{-8}$	Total	$6,4.10^{-7}$	
<b>Total</b>		<b><math>7,2.10^{-7}</math></b>		

(1) évaluation du risque sismique pour l'îlot nucléaire uniquement.

Le positionnement de l'EPR par rapport au Parc peut se résumer en deux points, qui confirment la réduction significative des conséquences radiologiques en cas d'accident grave :

- Les accidents de fusion du cœur fortement énergétiques qui sont susceptibles de conduire à des conséquences inacceptables sur le Parc sont pratiquement éliminés sur EPR.
- les calculs de conséquences radiologiques réalisés sur EPR pour les accidents graves pris en compte à la conception mettent en évidence un gain significatif par rapport au Parc\* avec notamment un effet de seuil sur l'absence de confinement ou d'évacuation des populations pour EPR.

\* Ces objectifs probabilistes pour EPR correspondent grossièrement à un gain d'une décade par rapport aux cibles retenues pour le Parc nucléaire EDF en exploitation. De même les le gain en terme de conséquences radiologiques est estimé à un facteur 10 pour un accident comme la RTGV (accident rupture GV) par rapport au Parc.

## Annexe : Extrait du RPS chapitre 3 sur la prise en compte du risque de chute avion

L'approche de la protection contre la chute d'avion est d'abord déterministe et basée sur des cas de charge associés à différentes familles d'avions. La protection est obtenue par un dimensionnement vis-à-vis de ces cas de charge, des bâtiments classés sûreté ou par séparation géographique des systèmes redondants.

Les ouvrages de l'îlot nucléaire EPR renfermant les équipements nécessaires à l'atteinte de l'état sûr du réacteur et à la prévention de la fusion du cœur sont protégés vis-à-vis des risques induits par le trafic aérien.

Conformément aux termes de la RFS I.2.a, la prise en compte de ce risque s'appuie sur la répartition du trafic aérien en trois familles d'avions qui sont l'aviation générale (avions de masse inférieure à 5,7 tonnes), l'aviation militaire et l'aviation commerciale. La probabilité d'un dégagement inacceptable en limite de site à la suite d'une agression de ce type sert de base à la définition du cas de charge servant au dimensionnement de l'installation.

Pour l'EPR, la démarche générale d'amélioration significative de la sûreté a conduit à considérer le risque aérien dans sa totalité (à savoir militaire et commercial) indépendamment de la probabilité d'occurrence de l'événement, la protection de l'installation étant assurée soit par séparation géographique soit par l'existence d'un écran physique appelé « coque avion ».

**Dans le cadre de l'aviation militaire** qui constitue le cas de charge initial, l'orientation retenue au niveau de la protection de l'installation vis-à-vis de l'impact direct est la suivante :

- Protection complète pour les bâtiments susceptibles de contenir du combustible. Cette protection est assurée par une « coque avion » : c'est le cas du bâtiment réacteur et du bâtiment combustible,
- Protection pour les bâtiments renfermant des systèmes de sauvegarde, soit par leur protection par la coque avion, soit par

une séparation géographique suffisante des systèmes de sauvegarde redondants,

- Intégration des équipements classés F1 et non redondants dans les bâtiments protégés par la coque avion : cela concerne principalement la salle de commande.

L'exigence de protection vis-à-vis du risque aérien est décrite dans le chapitre 3.5.0. Elle distingue les bâtiments protégés par séparation géographique et ceux protégés par la « coque avion ». Pour le dimensionnement des structures de protection de ces derniers bâtiments, l'impact de l'avion a été modélisé au travers de deux courbes (force en fonction du temps) C1 et C2.

Ces diagrammes de charge (figures de la section 3.5.0) ont pour objectif de représenter deux types d'effet qui sont, d'une part, un effet local de perforation au droit de l'impact et, d'autre part, un effet global de vibrations induites dans les bâtiments. Ils sont utilisés de la manière suivante :

- La courbe C1 sert au dimensionnement des structures internes des bâtiments vis-à-vis des vibrations induites. En prenant l'hypothèse, d'une part, d'un comportement élastique linéaire du matériau et, d'autre part, de différents points d'impact de l'avion sur chaque mur extérieur de protection, le spectre de réponse de la structure est déduit et est utilisé pour le dimensionnement des équipements concernés. Le découplage des structures internes des bâtiments concernés vis-à-vis des murs extérieurs supportant l'impact permet de réduire la sollicitation des équipements qui doivent être protégés.
- Pour les mêmes bâtiments, la courbe C2 est utilisée pour le dimensionnement des murs extérieurs vis-à-vis des charges générées par l'impact direct de manière à assurer, d'une part, qu'il n'y a ni pénétration ni création de missiles secondaires et, d'autre part, que les déformations des armatures et du béton restent limitées.

- La courbe C2 est, quant à elle, représentative d'un impact sur cible rigide et est utilisée pour vérifier la résistance ultime locale à la perforation des murs extérieurs avec une marge réduite. La démonstration de sûreté correspondante peut s'appuyer sur l'existence de murs ou parois situés sous la coque avion dans les bâtiments protégés.

**Dans le cadre de l'aviation commerciale** qui constitue un cas de charge complémentaire introduit à la suite des événements du 11 septembre 2001, la conception initiale a été vérifiée et adaptée pour tenir compte de l'ensemble des conséquences directes, indirectes et différées de l'agression. La définition d'un cas de charge correspondant a permis de confirmer la capacité de l'îlot nucléaire EPR et de son architecture générale à résister à une telle agression. Par contre, elle a conduit à un renforcement généralisé de la protection de l'installation vis-à-vis de l'impact direct et de ses conséquences.

En conclusion, les risques induits par l'ensemble du trafic aérien issus de l'aviation générale, militaire et commerciale sont pris en compte dans la conception de l'EPR.

### 3.2. ANALYSES DE SURETE

La vérification que les dispositions de dimensionnement sont suffisantes en termes de sûreté et d'exigences réglementaires est réalisée en suivant une méthodologie similaire à celle utilisée pour d'autres réacteurs français à eau sous pression. Le résultat de l'étude est présenté au § 8.

La vérification que les dispositions de dimensionnement sont suffisantes concernant les exigences complémentaires est réalisée dans un document spécifique à usage restreint.

FIG 2 : DIAGRAMME DE CHARGEMENT DE L'AVIATION MILITAIRE

