

The logo for IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) features the letters 'IRSN' in a bold, sans-serif font. The 'I', 'R', and 'S' are red, while the 'N' is blue. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect.

INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Faire avancer la sûreté nucléaire

Séminaire ANCCLI- IRSN du 24 novembre 2011

Gestion des situations accidentelles sur les réacteurs EDF

Aspects « prévention de la fusion »

Patricia DUPUY, IRSN

A large, solid light-blue rectangular area occupies the bottom right portion of the slide, likely serving as a placeholder for an image or additional content.

Plan de la présentation

Présentation ciblée sur la prévention de la fusion du cœur sur les réacteurs EDF
Réacteurs en exploitation - Spécificités EPR abordées

Les situations postulées
dans le cadre des ECS

Demande de l'ASN - Situations prises en compte par EDF
Commentaires de l'IRSN

Gestion
« fonctionnelle » des
situations postulées

Démarche d'analyse de l'IRSN et exemple
Délais avant fusion dans les situations postulées
Investigations supplémentaires à mener selon l'IRSN

Robustesse aux
agressions des
équipements clé pour
gérer les situations

Gestion des situations induites par un séisme / une
inondation (du référentiel, au-delà)
Synthèse des attendus de l'IRSN : le « Noyau Dur »

Actions à mener / Points de vigilance

Demande de l'ASN : situations à analyser

Événements initiateurs

Inondation

Séisme

Autres phénomènes
naturels extrêmes

Pertes induites de fonctions

Perte des alimentations
électriques

Perte de la source de
Refroidissement ultime

Cumul des 2 pertes

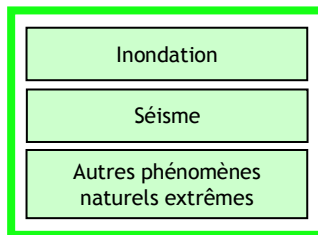
Gestion des accidents
graves



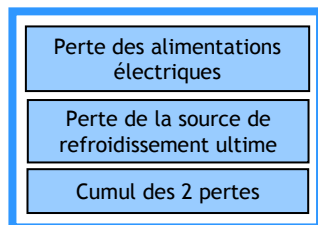
Demande de l'ASN : situations à analyser



Événements initiateurs



Pertes induites de fonctions



Étudier les agressions mais aussi les pertes induites de systèmes de sûreté :

- **Perte des alimentations électriques** : réseau, alimentations de secours conventionnelles (groupe électrogène diesel, turbine à combustion...), dans certains cas autres sources de secours
- **Perte de la source froide ultime** qui sert à évacuer la chaleur résiduelle du réacteur : mer ou rivière, dans certains cas autre source froide alternative (lac ...)
- **Cumul des deux.**

Prendre en compte la perte successive de ces sources.

A postuler sur les réacteurs et les piscines d'entreposage, sur une tranche puis sur toutes les tranches d'un CNPE.

Situations postulées par EDF dans les ECS

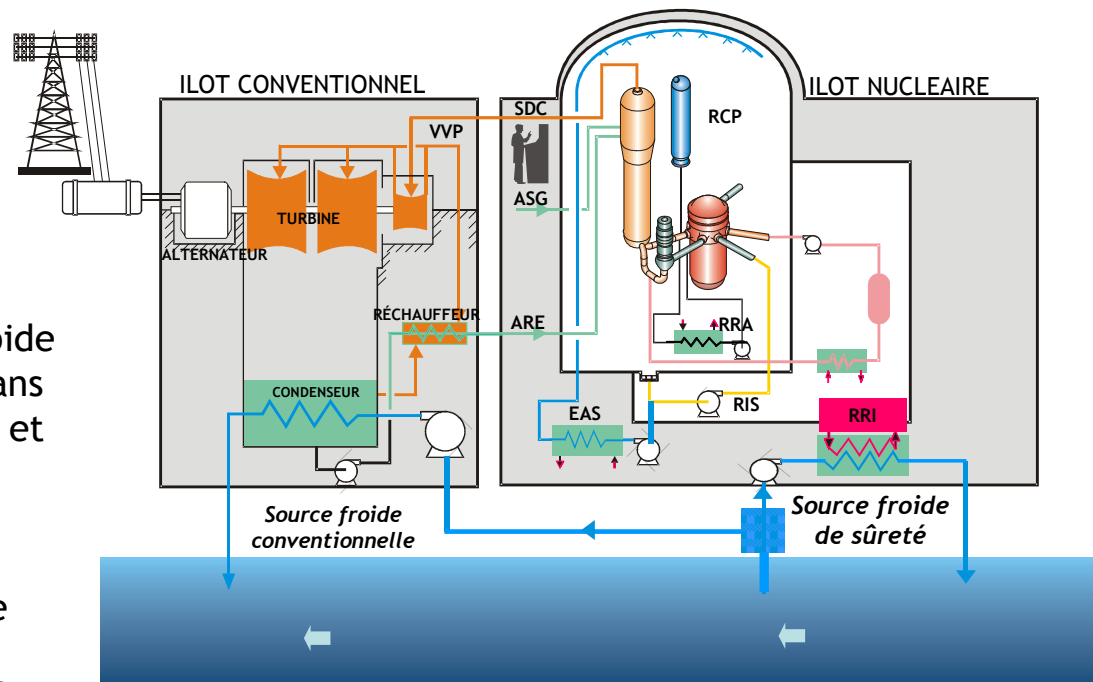
Perte totale de la source froide de sûreté = Situation dite « H1 »

→ Caractérisée par la perte d'alimentation en eau (mer, fleuve, retenue sur certains sites : CAT, CIV) du système de sûreté (généralement « SEC ») assurant le refroidissement des auxiliaires de sûreté (ex : aspersion enceinte)

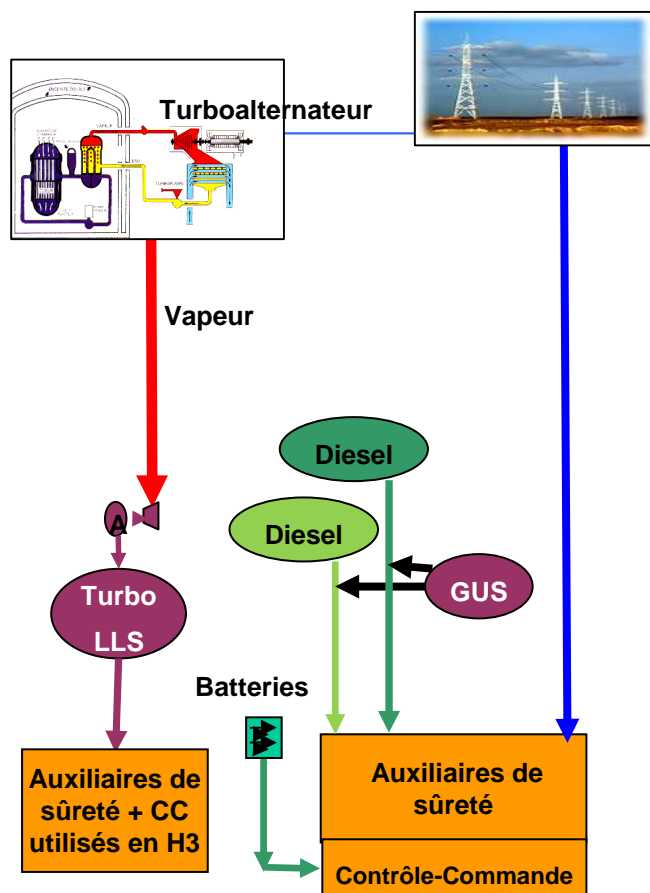
Nota :

Généralement une seule source froide « classée de sûreté » (aspiration dans mer, fleuve, retenue sur CAT, CIV) et un circuit intermédiaire RRI

EPR FA3 : une prise d'eau dans le canal et une prise d'eau diversifiée par galerie de rejet en mer.
En plus du SEC, le système ultime SRU refroidit certains auxiliaires de sûreté



Situations postulées par EDF dans les ECS



Manque de tension externe (perte du réseau) = MDTE

→ Alimentation des auxiliaires de sûreté par diesel (2 par tranche), batteries

Perte des alimentations électriques externes et internes = H3

→ TAC (turbine à combustion) ou GUS (groupe électrogène)

→ Des équipements alimentés par la vapeur du circuit secondaire (turboalternateur de secours LLS, turbopompe ASG), batteries

Situations de cumuls :

- H3 + perte des moyens (TAC/GUS, LLS, TPS ASG)
- H1+H3 : équivalent à H3 seule d'un point de vue thermohydraulique (récupération + complexe)

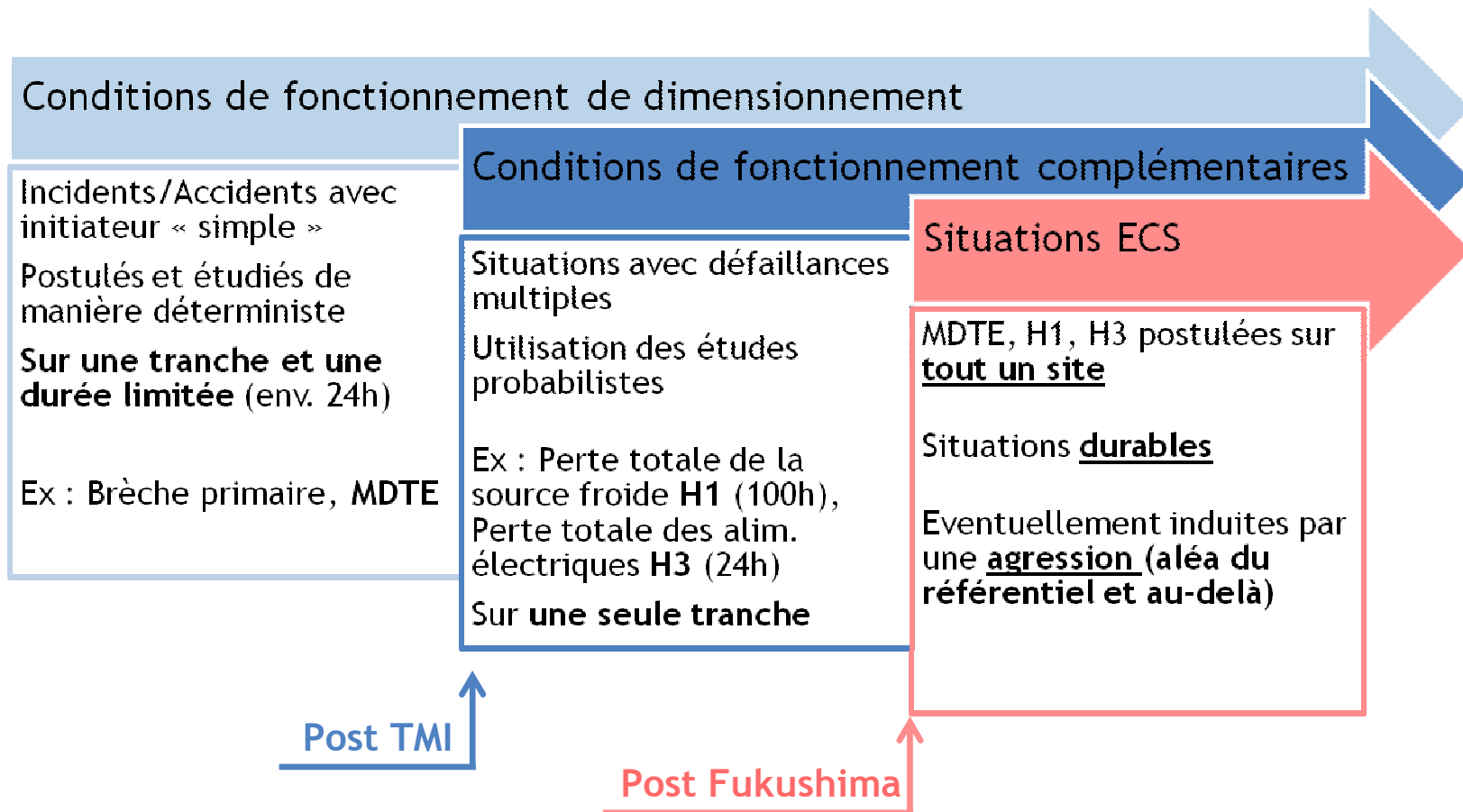
Commentaires IRSN sur les situations postulées par EDF

Définition des situations ECS : conforme au cahier des charges de l'ASN

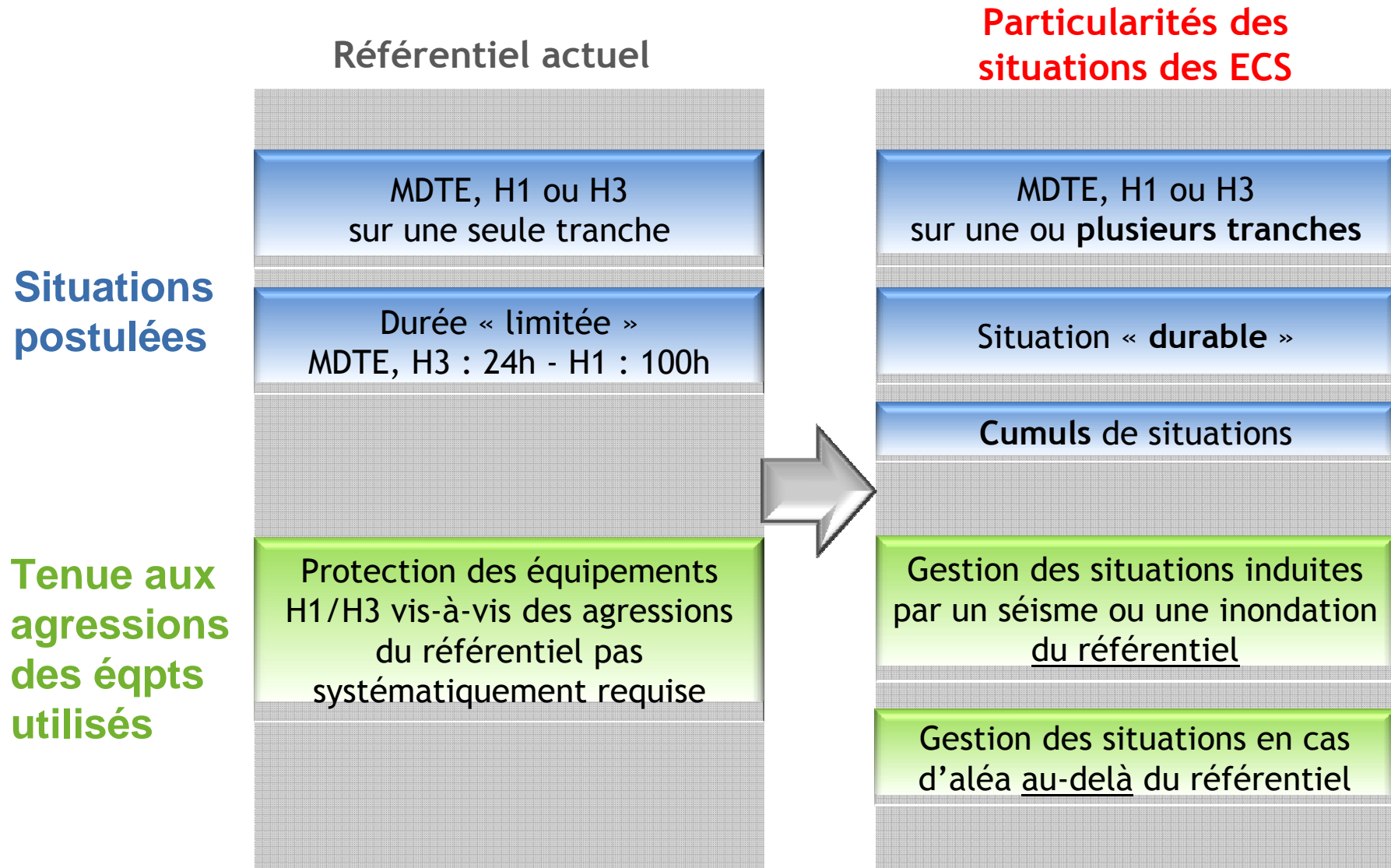
- Prise en compte de pertes de sources graduelles
- Situations postulées sur une puis toutes les tranches d'un CNPE
- Situations postulées sur les réacteurs et sur les piscines d'entreposage
- Situations étudiées fonctionnellement + des éléments sur la robustesse au séisme et à l'inondation des moyens de gestion (RECS § 2, 3, 5)
- Situation de cumul H3 + perte (TAC/GUS, LLS, TPS ASG) = situation extrême postulant la perte d'équipements non électriques
- Analyse EDF plus détaillée pour la situation H3 : situation plus pénalisante que H1 en termes de matériels disponibles

Commentaires IRSN sur les situations des ECS

Les situations ECS par rapport au référentiel de sûreté actuel



Commentaires IRSN sur les situations des ECS



Gestion « fonctionnelle » des situations postulées

Démarche d'analyse de l'IRSN

Exemple d'analyse : situation H3 de site, état « circuit primaire fermé »

Synthèse des délais avant fusion dans les situations postulées

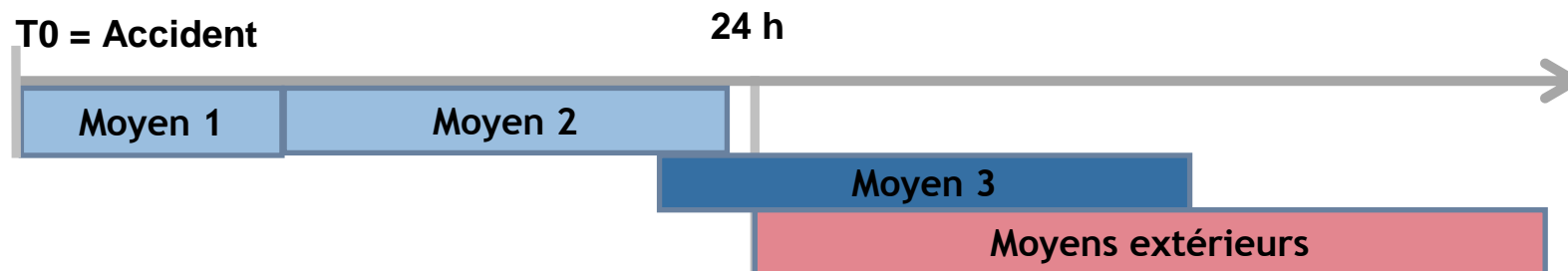
Investigations supplémentaires à mener selon l'IRSN

Gestion « fonctionnelle » des situations postulées : Démarche d'analyse

Appréciation par IRSN de la robustesse en fonction :

- Du délai avant fusion procuré par les moyens existants sur site (fixes, mobiles)
- Des dispositions extérieures prévues pour « prendre le relai »
- Des dispositions complémentaires proposées par EDF dans les ECS

Dans l'objectif d'éviter des rejets radioactifs significatifs, il importe de mettre en œuvre des moyens permettant en premier lieu d'éviter la fusion ainsi que des moyens permettant de gérer une éventuelle fusion (défense en profondeur).



Proposition EDF : Force d'action Rapide nucléaire (FARN)

Intervenir au bout de 24h « pour limiter la dégradation de la situation : rétablir ou pérenniser le refroidissement du réacteur, éviter le relâchement conséquent de substances radioactives dans l'environnement et, si possible, éviter la fusion du cœur ».

Démarche d'analyse pour la situation H3 (perte totale des alim. électriques)

	Référentiel actuel
	H3 Tranche 24 h
Moyens prévus à la conception	Bâches ASG et PTR, Turbopompe (TPS) ASG, Etc.
+	Turboalternateur LLS, Injection aux joints par pompe de test, TAC/GUS, Réalimentation gravitaire de bâche ASG par SER, Motopompe thermique sur 1300/N4, RCV tranche voisine 900, Procédure de conduite ...
Dispositions spécifiques introduites post-TMI pour gérer H3 tranche	

Gestion actuelle d'un H3 de tranche 24h

Etats primaire pressurisable

Arrêt automatique réacteur - Puissance résiduelle évacuée par les générateurs de vapeur (TPS ASG, bâches ASG+SER, GCT-atm)

Injection aux joints des GMPP pour éviter une brèche primaire (LLS + pompe test + bâche PTR)

Contrôle-commande sur batteries puis LLS

Primaire non pressurisable (ouvert)

Evacuation puissance résiduelle par évaporation : nécessité d'un appoint au primaire

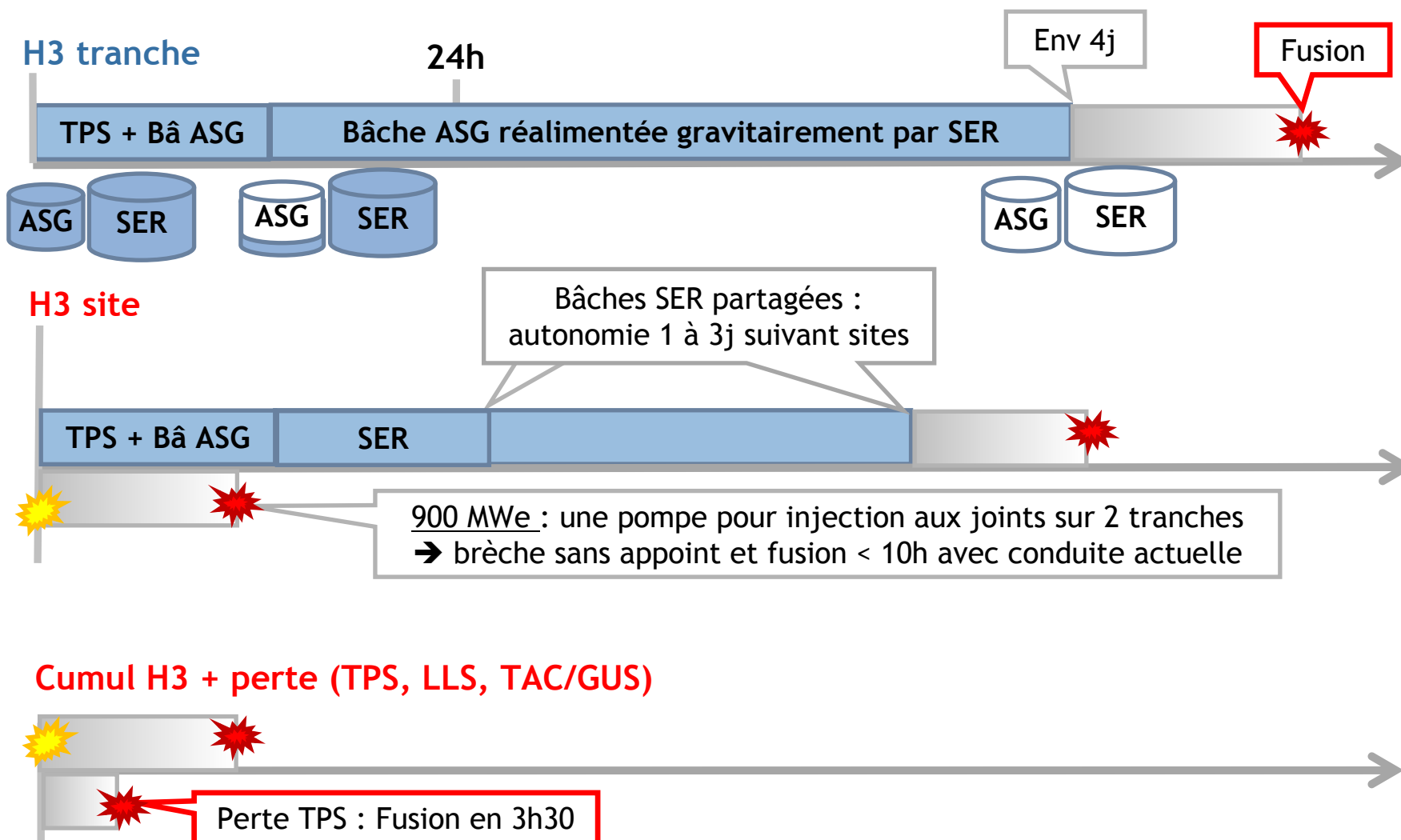
Piscine BR pleine

Inertie > délai de 24h de récupération

Démarche d'analyse pour la situation H3 (perte totale des alim. électriques)

	Référentiel actuel	Au-delà du référentiel = ECS		
	H3 Tranche 24 h	H3 Site	H3 Durable	H3 + perte LLS-TPS-TAC-GUS
Moyens prévus à la conception	Bâches ASG et PTR, Turbopompe TPS ASG, Etc.	Idem	Réserves en eau ASG, PTR limitées	TPS postulée indisponible
+ Dispositions spécifiques introduites post-TMI pour gérer H3 tranche	Turboalternateur LLS, Injection aux joints par pompe de test, TAC/GUS, Réalimentation bache ASG par bache SER, Motopompe thermique sur 1300/N4, RCV tranche voisine 900, Procédure de conduite ...	<p>Moyens communs : Pompe de test 900 (1 pour 2 tranches), TAC/GUS (site), Motopp thermique (site), RCV tr. voisine. Bâ. SER partagées.</p> <p>Procédure non adaptée à H3 site.</p>	Idem Réserves en eau ASG+SER et PTR limitées	Idem LLS et TAC/GUS postulés indisponibles
		↓	↓	↓
		Impact sur le délai avant fusion en H3		

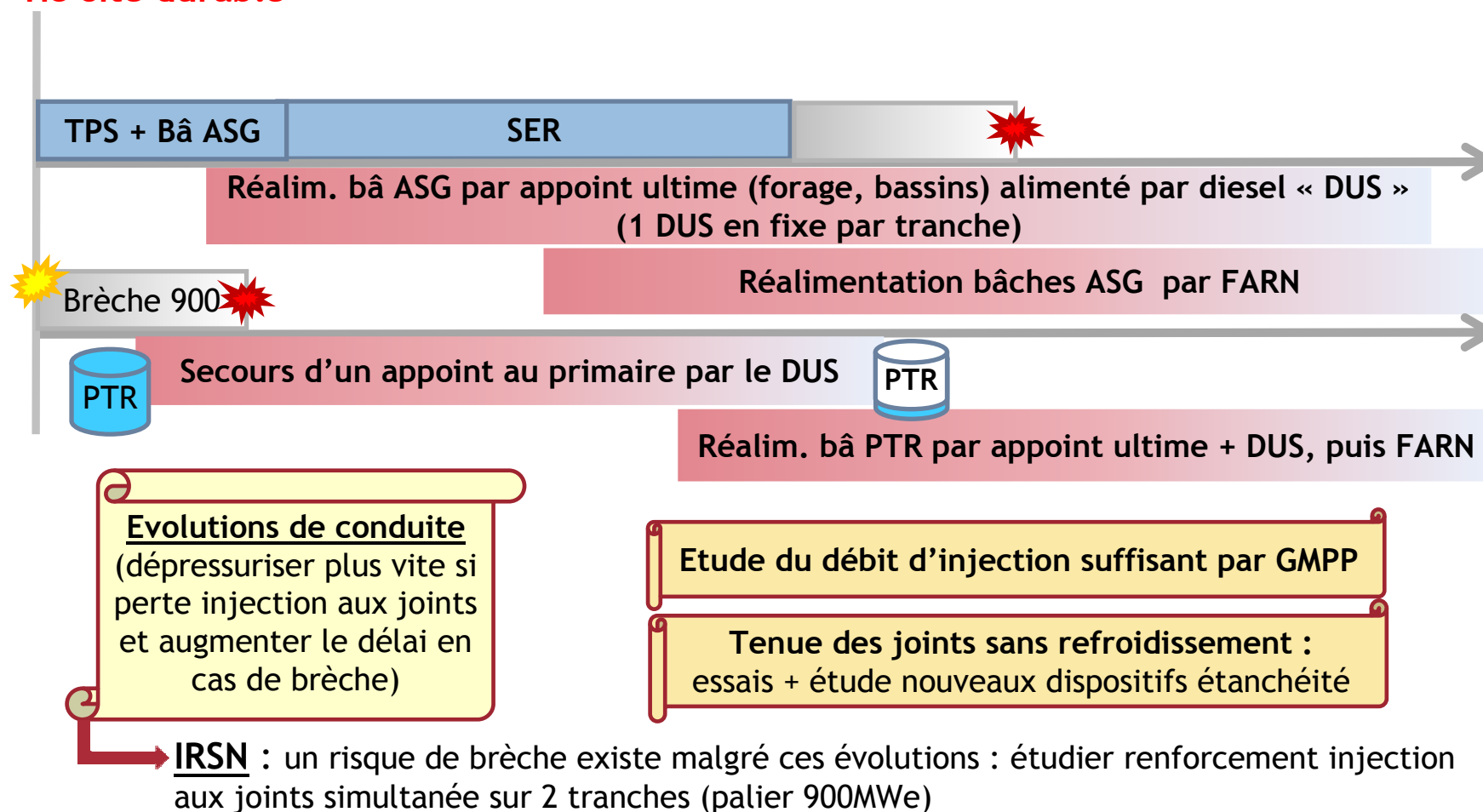
Exemple : H3 dans les états « circuit primaire fermé »



Exemple : H3 dans les états « circuit primaire fermé »

⇒ Dispositions envisagées par EDF dans ECS

H3 site durable



Exemple : H3 dans les états « circuit primaire fermé »

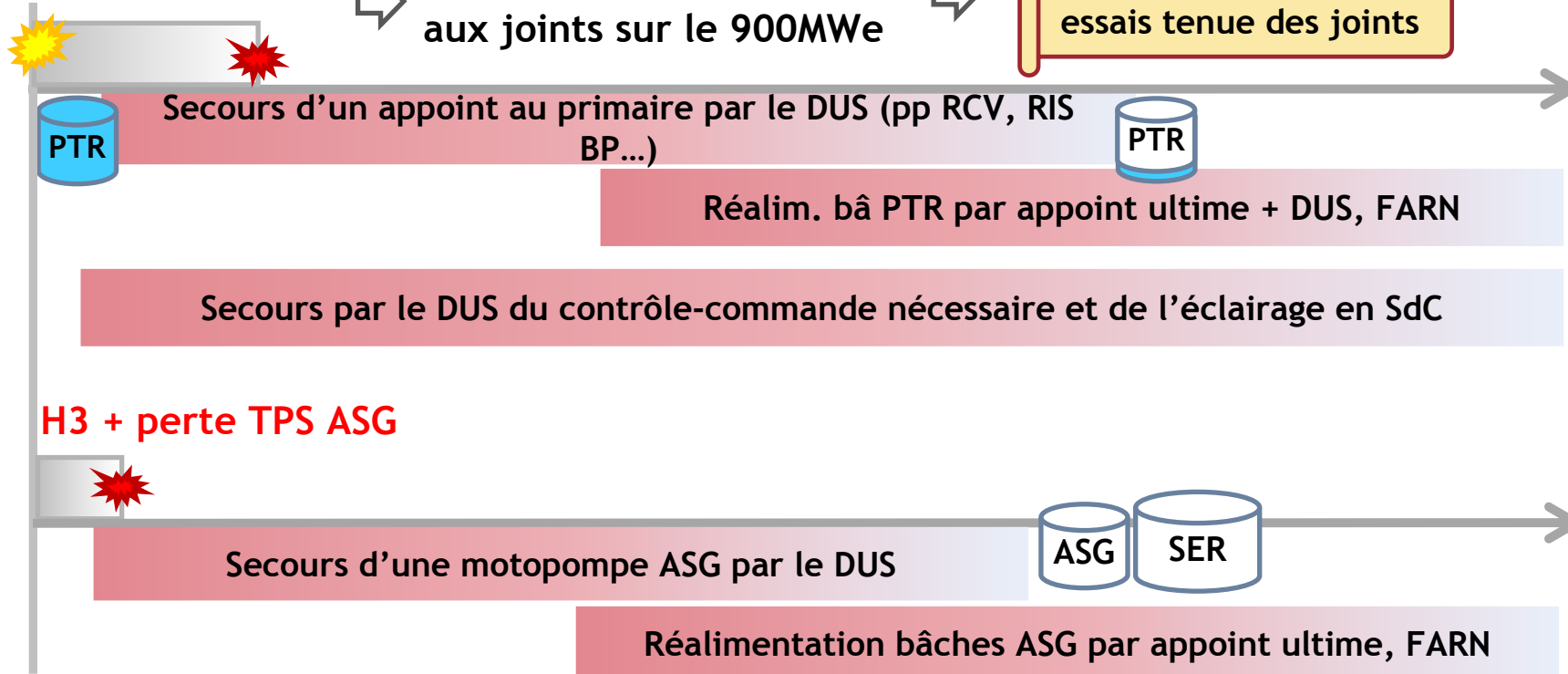
⇒ Dispositions envisagées par EDF dans ECS

Cumul H3 + perte (TPS, LLS, TAC/GUS)

H3 + perte LLS

⇒ Idem scénario de brèche aux joints sur le 900MWe

Etudes, conduite, essais tenue des joints



Synthèse des délais avant fusion dans les situations postulées

Des configurations identifiées où le délai avant fusion est court :

➤ Cumul H3 + perte TPS ASG - Tous paliers (qq h)	DUS + motopompe ASG
➤ H3 site 900MWe, primaire ouvert (qq h)	Motopp thermique
➤ H3 site 900MWe, primaire fermé (<10 h conduite actuelle)	Conduite, essais joints DUS + appoint primaire
➤ Cumul H3 + perte LLS - Tous paliers (idem)	
➤ H3 site, primaire entrouvert - Tous paliers (env 10 h)	Conduite, DUS appoint primaire

Des dispositions sont nécessaires selon l'IRSN pour augmenter le délai avant fusion dans tous ces scénarios et permettre l'utilisation de moyens extérieurs qui devront être définis en conséquence

- ➔ Des améliorations proposées par EDF sur sites pour tous ces scénarios
- ➔ Des dispositions également proposées pour augmenter l'autonomie en eau (primaire, secondaire) dans tous les scénarios H1/H3 : dispositions sur sites (appoint ultime...) puis extérieurs (FARN)

Synthèse des dispositions complémentaires vis-à-vis de H1/H3

	H3 Tranche 24 h	H3 site	H3 site durable	+ Perte LLS, TPS
Existant	Bâches ASG et PTR, TPS ASG ...	Idem	Réserves en eau ASG, PTR limitées	TPS indispo
Dispos pour gérer H3 tr.	LLS, pp de test, TAC/GUS, réalim ASG par SER, motopp therm. 1300/N4, RCV tr. voisine 900, procédure...	Moyens communs : pp test 900 (2 tr), TAC/GUS, SER, RCV tr. voisine, procédure non adaptée	Idem + Réserves en eau ASG+SER, PTR limitées	Idem + LLS indispo TAC/GUS indispo

Réalimentation par diesel DUS du C-C nécessaire + éclairage SdC (états où LLS non utilisable)
Moyens autonomes éclairage locaux

Dispositions complémentaires ECS

Motopompe therm. 900MWe (ré interrogation sur pp1300/N4)
Joints : essais tenue, étude dispositifs étanchéité, évolutions conduite, étude Q nécessaire pour 2 tr. 900MWe
Secours par DUS d'un appoint primaire (RCV ou RIS)
Evolution conduite en entrouvert
Procédure H3 site, FARN

Appoint ultime bâches ASG, PTR + FARN
Etude tenue T° LLS, TPS > 24h
Ventil./filtration SdC (FARN puis DUS)

MPS ASG sur DUS

Situations accidentelles : investigations supplémentaires à mener selon l'IRSN

Etats du réacteur couverts, hypothèses :

Etats possibles du réacteur pris en compte par EDF, délais avant fusion établis sur des hypothèses pénalisantes (niveau d'eau initial...)

Mais quelques configurations non particularisées qu'EDF devra étudier

→ Engagement d'EDF, études et propositions d'amélioration

Problématique d'échauffement dans les locaux et de tenue en température des équipements (ventilations arrêtées, refroidissement RRI indisponible...)



EDF envisage un secours par le DUS de la ventilation/filtration de la salle de commande et étudiera la tenue en température du LLS et de la TPS ASG

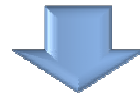
L'IRSN estime qu'EDF devra vérifier la tenue en température de tous les composants des équipements valorisés dans les scénarios des ECS (pompes existantes, nouveaux équipements...) et définir des dispositions complémentaires si besoin

Situations accidentelles : investigations supplémentaires à mener selon l'IRSN

De nombreuses actions à réaliser en situations H1/H3 (SdC, locaux), dans des conditions d'intervention particulières

Locaux non éclairés, températures élevées, accessibilité limitée (agressions), ressources à partager, tranches voisines pouvant être dégradées

⇒ Moyens autonomes d'éclairage



Conforter capacité à gérer ces situations sur toutes les tranches en tenant compte des conditions d'intervention et des ressources (aspects FOH) → **Engagement EDF**

Si une autre tranche du site est en accident avec fusion, ou très dégradée :

- Montrer que les actions nécessaires en MDTE/H1/H3 pourront être réalisées, compte tenu des débits de dose (notamment si ouverture du filtre U5)
 - Définir stratégie de passage en état sûr des tranches en fonctionnement normal
- **Engagement EDF**

Robustesse aux agressions des équipements clé pour gérer les situations

Hypothèses du référentiel

Gestion des situations induites par un **séisme** (du référentiel, au-delà)

Gestion des situations induites par une **inondation** (du référentiel, au-delà)

Synthèse des attendus de l'IRSN : le « Noyau Dur »

Lien entre situations H1/H3 et agressions, dans le référentiel



Démarche :
Pas de cumul postulé
agression + situation H1/H3 dans
le référentiel actuel
(situations complémentaires
aux accidents de
dimensionnement)



Pas de requis systématique de
protection des équipements
H1/H3 en cas de séisme ou
d'inondation externe
du référentiel

Requis sismique pour des
équipements utilisés à court
terme en H3 (ex : LLS sismique)
Mais certains équipements
H1/H3 non sismiques
(ex: TAC/GUS, bâches SER)

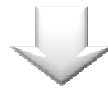
Pas de cumul inondation + H1
(si site non vulnérable au H1)
Pas de cumul inondation + H3

Mais la plupart des équipements
H1/H3 situés dans la « protection
volumétrique » donc protégés



Gestion d'une situation H3 induite par un séisme du référentiel

D'après les rapports EDF : des équipements clé utilisés en H1/H3 non classés sismiques : bâches SER, TAC et GUS, motopompe thermique (états ouvert)



Délai avant fusion en situation H3 : quelques heures (états primaire ouvert) à 1j / 1,5j (primaire fermé)



Proposition EDF : assurer la tenue au séisme des dispositions permettant de gérer ces situations

Commentaires IRSN :

Des effets falaise court terme identifiés dans les ECS, en cas de **séisme du référentiel**, (en H3 de site ou de tranche) : **nécessité de renforcer certains équipements ou d'ajouter des matériels complémentaires robustes.**

Liste d'équipements H1/H3 identifiés par EDF comme non classés au séisme = non exhaustive (ex : certains coffrets électriques) : **nécessaire d'investiguer tous les équipements utilisés en H1/H3.**



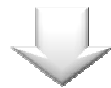
Impact d'un séisme au-delà du référentiel

Éléments fournis dans RECS :

- Des marges sur la tenue sismique affichées par type d'équipements
- Des inspections sismiques sur un échantillon d'équipements H3 (env. 40 éqpts)

Commentaires IRSN :

- Marges affichées : éclairage intéressant, mais marges non démontrées
- Inspections ciblées : ne couvrent pas tous les équipements H3 à ce stade
- Peu d'éléments sur les résultats des inspections : en cours d'analyse par EDF



Les RECS apportent des éclairages sur la robustesse au-delà du référentiel d'équipements H3, mais insuffisants à ce stade pour en tirer des conclusions
➔ **Etudes complémentaires à mener pour identifier les renforcements nécessaires**

Complexe de garantir la robustesse « au-delà » du référentiel de l'ensemble des équipements H1/H3 ➔ Vers la notion d'un « Noyau Dur » ciblé et robuste ...



Gestion des situations induites par une inondation

Éléments fournis par EDF dans les RECS :

- **Inondation du référentiel** : équipements H1/H3 protégés (bâtiments protégés, niveau d'implantation)
- **Au-delà du référentiel** : impact sur les équipements H1/H3 non détaillé, mais :



EDF étudiera les moyens pour protéger les matériels H3 pour un niveau d'inondation au-delà du référentiel

Commentaires IRSN :

- **Inondation du référentiel** : le concept actuel de protection volumétrique apporte de la robustesse pour la plupart des équipements H1/H3 (sous réserve de sa conformité)
- **Au-delà du référentiel** :
 - Renforcement de la protection des équipements H1/H3 nécessaire sur certains sites (lame d'eau sur la plate-forme en cas d'aléas extrêmes)
 - Outre la protection des équipements H1/H3, attention à porter aux risques d'entrée d'eau dans autres locaux (court-circuits, gestion de la situation à long terme ...)



Synthèse des éléments attendus par l'IRSN



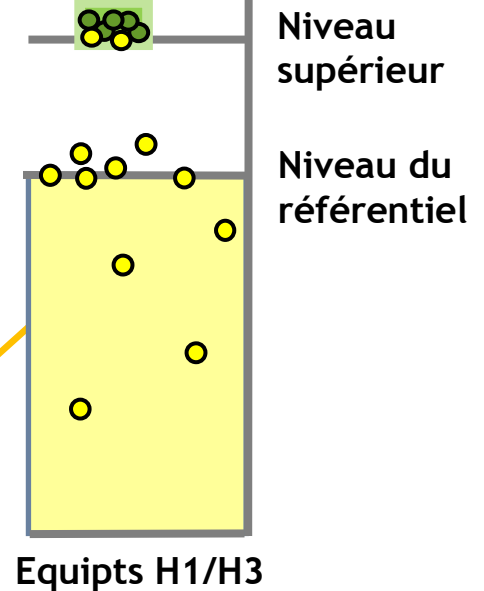
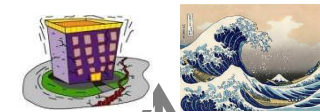
Mettre en place un Noyau Dur ECS :

- Visant la limitation des rejets significatifs par : la prévention des accidents graves dans les situations postulées, la maîtrise des AG et la gestion de la crise
- Englobant les équipements/structures garantissant les fonctions vitales pour maîtriser les fonctions de sûreté
- Ultra-protégé contre les aléas séisme/inondation

→ Engagement EDF

Equipements hors Noyau Dur mais utilisés en MDTE/H1/H3 :

Réflexions nécessaires sur leur robustesse aux aléas du référentiel actuel : intégration des situations H1/H3 de site durables dans le référentiel de sûreté



Spécificités de l'EPR Flamanville 3

Des spécificités de conception qui apportent de la robustesse

- 4 diesels principaux au lieu de 2 - Gestion de la perte des 4 diesels par 2 diesels ultimes diversifiés (utilisables dans tous états de tranche)
- Système ultime SRU (2 trains) en cas de perte du SEC (4 trains) pour alimenter certains auxiliaires - Prise d'eau diversifiée par rapport à la prise d'eau principale
- Des moyens d'appoint au primaire restant disponibles en situation « H3 » (dite MDTG)
- Equipements clé H1/H3 globalement sismiques et protégés de l'inondation + propositions EDF de renforcer la protection de certains locaux et engagement de vérifier la robustesse au séisme de la diversification SRU

Démarche d'analyse : idem

Faiblesse identifiée vis-à-vis de la prévention de la fusion = autonomie 24h des bâches à fioul des diesels ultimes → Des dispositions proposées par EDF

Améliorations proposées par EDF : FARN, Appoint ultime depuis bassins SEA

Définir également un Noyau Dur de dispositions robustes à des aléas au-delà du référentiel : des éléments EDF « rassurant », mais à détailler et consolider

Actions à mener / Points de vigilance

Actions à court terme suivant trois axes :

Conformité au référentiel

- Corriger au plus vite les écarts relevés pouvant affaiblir la capacité à gérer les accidents du référentiel = Condition indispensable à la robustesse

Evolution des référentiels

- Intégrer les situations H1/H3 de site et durables
- Reconsidérer le postulat selon lequel une situation H1/H3 ou d'AG ne peut pas être engendrée par un phénomène naturel

« Noyau dur » ultime

- Identifier les équipements (existants, nouveaux) indispensables aux fonctions de sûreté dans les situations postulées
- Assurer leur robustesse à des aléas au-delà du référentiel

Actions à mener / Points de vigilance

Fiabilité, robustesse des dispositions du Noyau Dur

La parade ultime s'appuie sur des matériels nouveaux mais également existants (bâches, tuyauteries...) → Les dispositions du Noyau Dur devront être **fiables et robustes**, présenter de **faibles risques de modes communs** avec les autres équipements. Dans la mesure du possible, **rechercher indépendance et diversification**.

Le Noyau Dur devra être robuste vis-à-vis d'**agressions/effets induits** par le séisme (incendie, explosion notamment).

FARN

Critères d'activation et moyens de la FARN à définir pour lui permettre effectivement de « prendre le relai » dans la gestion des situations.

Réflexions sur la gestion long terme : stratégie des appoints en eau, restauration refroidissement pérenne du réacteur, gestion des eaux contaminées ...

→ *Réunion de présentation de la FARN à ASN-IRSN début 2012*

Actions à mener / Points de vigilance

Les dispositions proposées par EDF sont au stade des principes → A décliner et à concrétiser



Les exigences associées aux modifications devront rapidement être définies par EDF et faire l'objet d'échanges avec ASN-IRSN (= première étape indispensable) → Proposition EDF de Noyau Dur pour mi-2012



Evolutions de conduite : EDF devra montrer qu'elles apportent le gain attendu (études thermohydrauliques), analyser les risques associés.



Planning de réalisation des modifications : devra être adapté aux enjeux de sûreté, tenir compte des configurations et sites les plus sensibles → A discuter sur la base du calendrier qui sera proposé par EDF début 2012, des dispositions transitoires pourraient être nécessaires



Phase de définition détaillée et instruction des modifications