

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

**Réexamen de sûreté  
des réacteurs de 900 MWe d'EDF  
à l'occasion  
des 3<sup>èmes</sup> visites décennales**

**VD3 900**

**9 novembre 2010**

# Réexamen de Sûreté VD3 900

- introduction au réexamen VD3 900
- agressions d'origine interne et externe
- accidents graves
- vieillissement

# Réexamen de Sûreté VD3 900

- **introduction au réexamen VD3 900**
  - **objectifs**
  - **principales études**
  - **calendrier**

# REEXAMEN DE SURETE et Visite Décennale (VD)



rechargement  
combustible



maintenance  
courante



contrôles  
décennaux /  
réglementaires,  
essais périodiques



modifications  
matérielles



modifications /  
mises à jour  
documentaire  
(RGE, conduite,  
RDS...)



contrôles  
spécifiques  
(vieillessement,  
examen de  
conformité, ...)

études :

- ✓ REX
- ✓ thèmes à maturité
- ✓ Réexamen de sûreté



# OBJECTIFS

## 3 types d'évaluation de sûreté donnant lieu à des améliorations (REP) :

- ❑ Analyse de sûreté continue pendant l'exploitation :
  - analyse d'incidents, arrêts de tranche, retour d'expérience français/international, ...
- ❑ Analyse de sujets transverses (GPR) :
  - accidents graves, incendie, inondation externe, combustible, ...
- ❑ Les réexamens de sûreté :
  - Vérifier le niveau attendu de sûreté des tranches (*conformité de l'installation au référentiel de sûreté applicable*),
  - Améliorer la sûreté des tranches, par :
    - ✓ l'analyse du retour d'expérience en exploitation
    - ✓ l'analyse de sujets particuliers pouvant concerner l'ensemble du palier
    - ✓ la prise en compte des nouveaux standards de sûreté (exigences, pratiques...), des nouvelles connaissances ...

# Principales Etudes du Réexamen VD3 900

## Etudes génériques au palier 900 MWe

### ☐ Agressions internes et externes

- incendie
- explosions d'origine interne aux sites
- inondations internes
- agressions externes d'origine climatique ou liées à l'environnement
- autonomie des réacteurs et des sites vis-à-vis des agressions externes
- démarche de vérification sismique

### ☐ Etude des situations accidentelles

- risques de surpression du circuit primaire à basse température
- accidents graves
- confinement (*en situations normale / accidentelle / accident grave*)
- études probabilistes de sûreté de niveaux 1 et 2
- rupture de tubes de générateur de vapeur / non-débordement en eau du GV
- défaillance « passive » des circuits de sauvegarde
- opérabilité des matériels utilisés dans les situations « hors dimensionnement »
- informations utilisées pour la surveillance post-accidentelle

# Principales Etudes du Réexamen VD3 900

## Etudes génériques au palier 900 MWe

- ❑ Conception / dimensionnement des systèmes et des ouvrages de génie civil
  - vérification de la conception des ouvrages de génie civil
  - fonctionnement du système de mesure de la radioactivité
  - vérification des capacités fonctionnelles du système d'injection de sécurité
  - fiabilisation de la fonction « recirculation »
  - fiabilité du système de refroidissement de la piscine de désactivation (*scénarios de vidange accidentelle*)
  
- ❑ Référentiels d'exigences de sûreté déployés en VD3 900
  - criticité
  - conséquences radiologiques
  - nouveau domaine complémentaire
  - grands chauds (*canicule*)
  - plus basses eaux de sécurité
  - station de pompage
  - projectiles générés par vent extrême
  - accidents grave
  - explosion

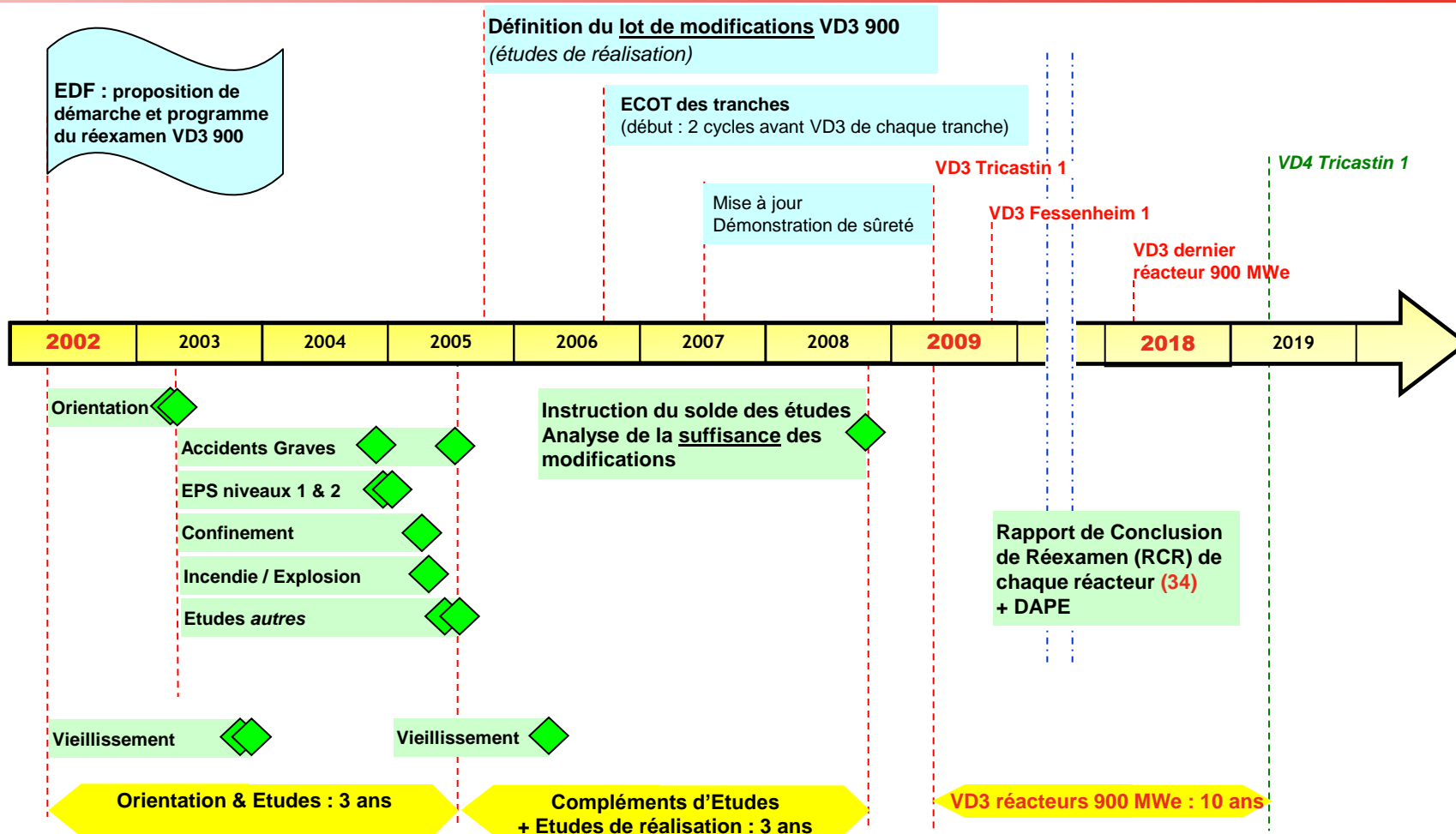
# Principales Etudes du Réexamen VD3 900

## Etudes / Contrôles propres à chaque site/réacteur

- ❑ Examen de conformité des tranches (ECOT) - *contrôles in situ de chaque réacteur*
  - ancrages
  - séisme-événement
  - génie civil
  - opérabilité des matériels mobiles appelés en situation incidentelle
  - supportage des chemins de câbles
  - confinement / ventilation
  - incendie
  - inondation externe
  - criticité
  - tenue au séisme du tube de transfert
  
- ❑ Programme d'investigations Complémentaire - *contrôles par sondage*
  - circuit primaire
  - circuit secondaire
  - circuits annexes, bâches, ...
  
- ❑ Maîtrise du vieillissement / Dossier d'aptitude à la poursuite d'exploitation



# Calendrier VD3 900



◆ Tenue des réunions du Groupe Permanent d'expert pour les Réacteurs (GPR) consacrées aux thèmes du réexamen de sûreté VD3 900

Etudes EDF / Instruction IRSN

# Réexamen de Sûreté VD3 900

agressions d'origine externe

# Démarche Générale

- ❑ Caractérisation de l'aléa (fréquence, intensité) + *Choix du site*
  - REX
  - études
  
- ❑ Identification des ouvrages / équipements sensibles (*à protéger*)
  
- ❑ Définition des dispositions (*matérielles, organisationnelles, exploitation, conception*)
  - alerte / surveillance
  - prévention
  - mitigation
  
- ❑ Définition des exigences associées aux dispositions de protection (*classement, redondance, secours, essais périodiques, ...*) → valorisation dans la démonstration de sûreté

# VENTS FORTS - TORNADES - NEIGE

## ❑ Réévaluation du chargement « vent » (*règle NV65*)

- Vérification de la tenue des bâtiments
- seul Gravelines est impacté par une augmentation du chargement (+3%  $P^{\circ}$  dynamique)

## ❑ Traitement du « vent - événement » (*effets indirects*)

### ➔ Création d'un référentiel « Projectiles générés par vents extrêmes »

- identification des cibles potentielles et de leur résistance à l'agression
- protection des cibles sensibles (*protection de tuyauterie, d'évent, d'aéroréfrigérants...*)

## ❑ Tornade

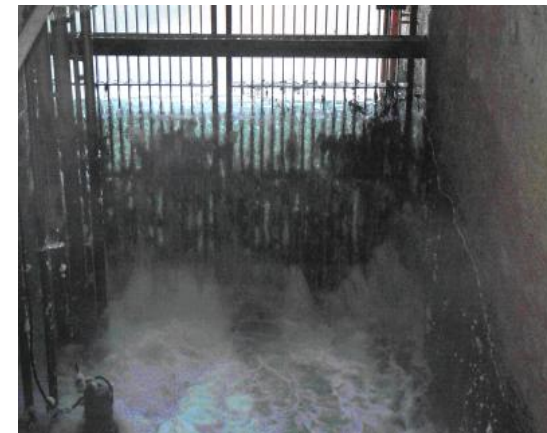
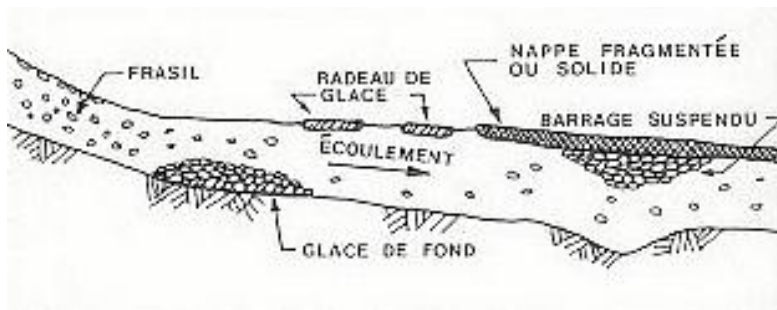
- probabilité faible du risque
- thème évalué en VD3 1300

## ❑ Réévaluation du chargement « neige » (*règle NV65*)

- ➔ renforcement de certaines structures selon les sites (*Tricastin, Bugey, Fessenheim*)

# FRASIL

- ❑ Le FRASIL est constitué de particules de glace issues de la surfusion de l'eau ; il est très collant et adhère à toute particule ou surface étrangère à l'eau → agresseur potentiel de la source froide des réacteur, par colmatage (grilles à l'entrée de la station de pompage, éléments de filtration...)
- Caractérisation du phénomène ( $T^{\circ}$  eau, vitesse d'écoulement critique, ...)
- Evaluation de la vulnérabilité des prises d'eau au frasil par colmatage
  - ➔ selon les sites et leur configuration de fonctionnement, le risque n'est pas exclu.
- Examen de la suffisance des dispositions existantes (*dispositions Grands Froids*)
  - ✓ prévention (*détection, protection, ...*)
  - ✓ mitigation (*déclenchement des pompes de circulation, ...*)
- ➔ **Bugey identifié « à risque » initialement (2005). En 2008, extension à tous les sites.**
  - Dispositions existantes (Grands Froids) complétées par de nouvelles dispositions (exploitation / matérielles) en fonction des sites. Démonstration de leur suffisance à poursuivre.
  - Poursuite de l'instruction associée à ce phénomène en VD3 1300.



# FEUX DE FORET

- ❑ Evaluation des conséquences sur la sûreté des installations d'un feu de forêt
  - Caractérisation du risque en fonction des sites et de leur environnement
  - Identification des cibles de sûreté susceptibles d'être agressées :
    - ✓ bâtiments contenant des équipements IPS
    - ✓ lignes électriques externes reliant le site au réseau : une perte simultanée conduit à une situation de MDTE (manque de tension externe).
  - Evaluation, sur les cibles retenues, des effets du rayonnement thermique, de la toxicité des produits de combustion, des dépôts de cendre.
- ➔ Le risque pour les installations et les équipes de conduite est négligeable :
  - Palier 900 MWe : seuls Cruas et Tricastin sont situés dans une région où le risque « feu de forêt » est élevé.
    - ✓ Cruas : à proximité d'un bois important, mais les lignes électriques sont séparées
    - ✓ Pour Tricastin et les autres sites : zones faiblement boisées voire non boisées.
  - Les effets (thermique, toxique, dépôts) ont peu de conséquence, compte tenu des effets de dispersion liés à l'éloignement entre bâtiments.

# NAPPES D'HYDROCARBURES

- ❑ **Objectif : empêcher la pénétration d'une nappe dans la station de pompage**
- ❑ **Caractérisation du risque en fonction des sites (maritimes / fluviales) et de sa nature :**
  - échouement, dégazage, rejets industriels, ...
  - taille de nappe, hydrocarbures entre 2 eaux (boulettes, galettes...)
  - approche probabiliste (*sites fluviaux en bord de voies navigables*) - EPS
- ❑ **Evaluation des conséquences potentielles sur la source froide (*risque de colmatage des échangeurs eau brute / eau de refroidissement intermédiaire du réacteur - RRI/SEC*)**
- ❑ **Evaluation des dispositions de surveillance de l'évolution de la nappe (*phases de veille, de vigilance, de pré-alerte...*) permettant :**
  - de prévenir / gérer la perte de la source froide
  - un repli préventif des réacteurs dans des conditions satisfaisantes
- ❑ **Evaluation de la robustesse des dispositions de surveillance de la source froide (*mesures permanentes, automatismes, alarmes, capacité d'échange, ...*)**
- ➔ **Mise à jour des doctrines d'exploitation pour chaque site :**
  - dispositions matérielles/conception (*barrages flottants, masques écrémeurs, entretien canal...*)
  - dispositions d'exploitation (*arrêt pompes CRF pour limiter débits appelés en station de pompage ...*)
- ➔ **Importance du délai de restauration des échangeurs RRI/SEC dans l'EPS pour les sites fluviaux et de la fiabilité de l'instrumentation.**

# SEISME

## ❑ Réévaluation sismique

- Réévaluation des spectres sismiques selon RFS 2001-01
- Analyse et traitement des impacts des SMS (séisme majoré de sécurité) réévalués
- Vérification du comportement sous SMS des îlots nucléaires et des ouvrages de site sur les sites dont le SMS réévalué dépasse celui de dimensionnement (*Bugey, Gravelines, Dampierre, Chinon*)
- Analyse des conséquences des évolutions des règles, critères et méthodes de dimensionnement des ouvrages et des matériels
- Analyse du risque d'agression de bâtiments IPS (BL) par la salle des machines (*non classée au séisme*)

## ➔ Principales modifications (*renforcements destinés à assurer la tenue sismique*) :

- SdM du Bugey,
- station de pompage + canal d'amenée (*Gravelines, Bugey*)
- gaines de ventilation implantées dans le BL de Fessenheim
- bâches d'effluents (*Dampierre, Gravelines*)
- génie civil de l'îlot nucléaire CP0
- réseaux de tuyauteries et échangeurs, matériels de manutention, machines tournantes, robinetterie, matériel électrique, ouvrages de site ...

## ❑ Démarche complétée par la **Vérification de la conception des ouvrages GC**

- ➔ prise en compte des tassements différentiels sismo-induits (*bâches ASG Bugey / Dampierre, station de pompage / galeries SEC de Gravelines...*)



# CANICULE - PBES

## ❑ Référentiels « Grands Chauds » + « Plus basses eaux de sécurité » (PBES)

### ➤ Canicule de 2003 :

- ✓ réduction du débit et échauffement de la source froide,
- ✓ augmentation de la température de l'air extérieur → de la température des locaux
- ✓ atteinte/dépassement des hypothèses considérées lors du dimensionnement

### ➤ Etudes des référentiels (tous paliers REP) :

- ✓ scénarios enveloppes de  $t^{\circ}$  air ext.,  $t^{\circ}$  source froide, étiage
- ✓ vérification du fonctionnement des matériels sous ces scénarios + détermination des dispositions matérielles/opérationnelles nécessaires (*ventilation, source froide*)

### ➤ Instruction dissociée du VD3 900 - Déploiement des modifications accéléré.

## ➔ Principales modifications :

- dispositions d'exploitation (prescriptions RGE, Règle Particulière de Conduite, actions de prévention, phases de veille/vigilance/alerte ...)
- renforcement de certains circuits (ventilations, pompes de charge, capacités d'échangeurs...) ≈ 10 modifications / palier (*variable selon les sites...*)

# AUTONOMIE des SITES / Agressions externes

- ❑ Capacité de chaque site à gérer une situation de perte totale de la source froide (H1) et/ou de perte des alimentations électriques externes (MDTE) sur l'ensemble des réacteurs du site.
  - Examen des agressions à considérer, de leurs cumuls et de leurs effets à terme
    - ✓ séisme, inondations, vents forts, neige, froid, canicule, colmatage, feux, ...
    - ✓ détermination des durées enveloppes des situations H1/MDTE selon les agressions et leur cumul
    - ✓ détermination de situations prédictibles / non prédictibles
  - Analyse de la robustesse en termes d'autonomie des réserves en eau et de fiabilité des sources électriques internes, au regard des agresseurs considérés et des durées des situations retenues.
  - Identification des dispositions permettant d'augmenter l'autonomie des sites
- ➔ Principales dispositions retenues :
  - augmentation des réserves en eau dans certaines bâches (*période de grands froids ou phase d'alerte*)
  - modification des protections des diesels de secours pour éviter les dégradations lourdes (*privilégier les « pannes courtes »*)
  - évolution des exigences associées aux matériels requis

# Réexamen de Sûreté VD3 900

- ❑ agressions d'origine interne

# INCENDIE

## ❑ Objectifs

- Evaluer les marges existantes sur le dimensionnement des protections au regard des incertitudes liées à l'application de la courbe DSN 144 « obsolète » (*établit la durée de feu dans un local en fonction de la densité de charge calorifique*)
- ➔ amélioration de la marge (+10 min) entre la durée de feu d'un local et la résistance au feu des protections des « moyens minimaux de conduite » et contre les « mode commun de câblage » (**mise en place des dispositions appropriées dans locaux dont les protections ne permettent pas d'atteindre cette marge**)
- Elaborer une EPS « Incendie » quantifiant le risque de fusion du cœur suite à un incendie et permettant de hiérarchiser les locaux prépondérants :
  - ✓ fréquence globale de découverture du cœur divisée par 5 par la mise en œuvre du PAI
  - ✓ mise en évidence de locaux contribuant de manière prépondérante à la fréquence de découverture du cœur en cas d'incendie
- ➔ mise en place de dispositifs dans les locaux sensibles identifiés par l'EPS-incendie,

# EXPLOSIONS INTERNES

## ❑ Création d'un référentiel :

- définition des principes et méthodologies permettant d'identifier/traiter ces risques en considérant l'ensemble des sources potentielles d'explosion
- identification des locaux à risque d'atmosphère explosible (ATEX) en cas de fuite H<sub>2</sub>
- définition et mise en œuvre des dispositions permettant de maîtriser ces risques

## ➔ Principales évolutions :

- qualification sismique des lignes H<sub>2</sub> et renforcement des protections contre les RTHE
- modification de supportages de tuyauteries et déplacement de vannes
- mise en place de matériels antidéflagrant ATEX
- mise en place de détecteurs H<sub>2</sub> dans les locaux à risque et d'alarmes associées

## 👉 Compléments :

- hypothèses retenues vis-à-vis de la démarche d'identification des locaux à risque (*justification de jet impactant, dilution homogène de l'H<sub>2</sub> dans un local, exhaustivité des agresseurs*) et de l'analyse des conséquences associées
- déclinaison de la démarche (*exigences associées au déclassement des locaux à risque, suffisance des exigences associées aux dispositions mises en œuvre...*)

# INONDATIONS INTERNES

## ❑ Prolongement des études menées en VD2 900 :

- Inondation interne liée à la défaillance simultanée des réservoirs ‘non sismiques’ du BAN
  - ✓ Vérifier que les matériels nécessaires au repli/maintien en état sûr des réacteurs ne sont pas agressés par la rupture simultanée de l'ensemble des réservoirs non classés au séisme.
  
- Prise en compte des états d'arrêt dans les études RTHE, RTME, inondation interne
  - ✓ Vérifier que la prise en compte des inondations internes et des ruptures de tuyauteries à haute/moyenne énergie (RTHE/RTME) dans les états d'arrêt du réacteur ne remet pas en cause la démonstration de sûreté.

# AGRESSIONS Internes / Externes - Conclusion

- ❑ Nombreuses agressions réévaluées ou prises en compte
- ❑ Vérification de la robustesse de la conception vis-à-vis d'agressions nouvelles ou réévaluées
- ❑ Amélioration de la robustesse des installations par le renforcement des dispositions existantes (matérielles / d'exploitation) ou par la mise en œuvre de nouvelles dispositions visant à :
  - alerter et surveiller la situation initiatrice
  - prévenir / maîtriser l'agression
  - anticiper et gérer la situation sur l'installation en cas d'occurrence de l'agression
- ❑ Autres agressions traitées dans d'autres cadres :
  - inondations externes (REX Blayais)
  - risques liés à l'environnement industriel et aux voies de communication
  - canicule
  - ...
- ❑ Poursuite de l'instruction de certaines agressions en VD3 1300 (*tornades, frasil...*)

# Réexamen de Sûreté VD3 900

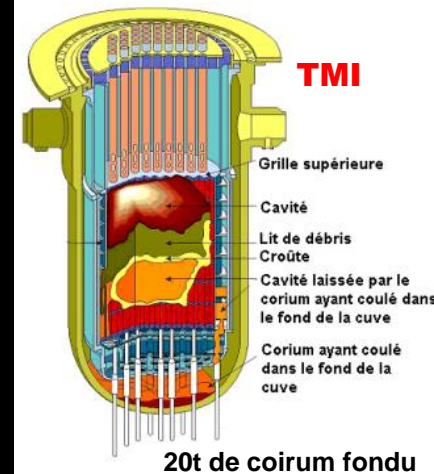
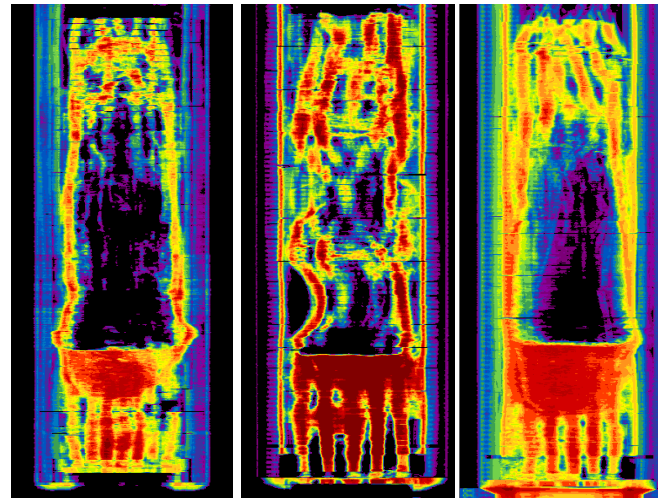
- accidents graves
  - généralités
  - études & modifications



## GENERALITES

- ❑ Thème transverse (tous paliers REP), pour lequel des actions de R&D et des évaluations sont menées régulièrement :
  - 8 réunions du Groupe Permanent Réacteurs (GPR) consacrées aux AG entre 1994 et 2008...
  - Nombreux sujets traités dans des GPR précédents ou à venir, selon l'état des connaissances
- ❑ Un Accident Grave est un accident dans lequel le combustible du cœur est significativement dégradé par une fusion plus ou moins complète du cœur.

- ❑ Peu de retour d'expérience !
  - expériences (PHEBUS)
  - REX « Three Mile Island » (1979)
- ❑ Situations « AG » non prises en compte à la conception des REP 900



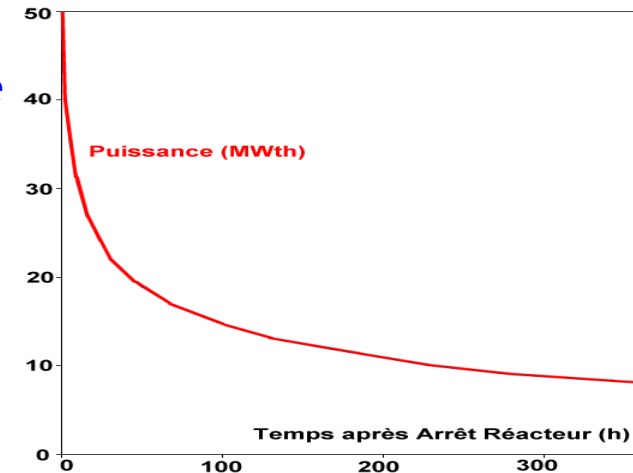
- ❑ Dès l'entrée en AG, la priorité n'est plus à la sauvegarde du cœur du réacteur mais à celle du confinement et aux actions visant à réduire les conséquences radiologiques.

# GENERALITES

❑ La fusion du cœur est provoquée par la perte de son refroidissement → par dénoyage (*impossibilité d'injecter un débit d'eau suffisant dans le circuit primaire*).

❑ Au fur et à mesure que le niveau d'eau s'abaisse, la partie dénoyée du combustible s'échauffe sous l'effet de la puissance résiduelle.

Les gaines de zircaloy commencent à se déformer à partir de 700 °C en raison de la chute de leurs propriétés mécaniques.



❑ Cinétique d'oxydation augmentant très rapidement avec la température à partir de 1500 °C et doublant tous les 50 °C :

➤ *phénomène très exothermique → délivre localement une puissance supérieure à la puissance résiduelle*

➔ *l'oxydation du Zr est responsable de la rapidité de la fusion d'un cœur dénoyé*

➔ *libération d'H<sub>2</sub> (>1800 °C) dans le circuit primaire puis l'enceinte de confinement (risque d'explosion) - jusqu'à 900 Kg H<sub>2</sub> pour un REP 900*

# GENERALITES

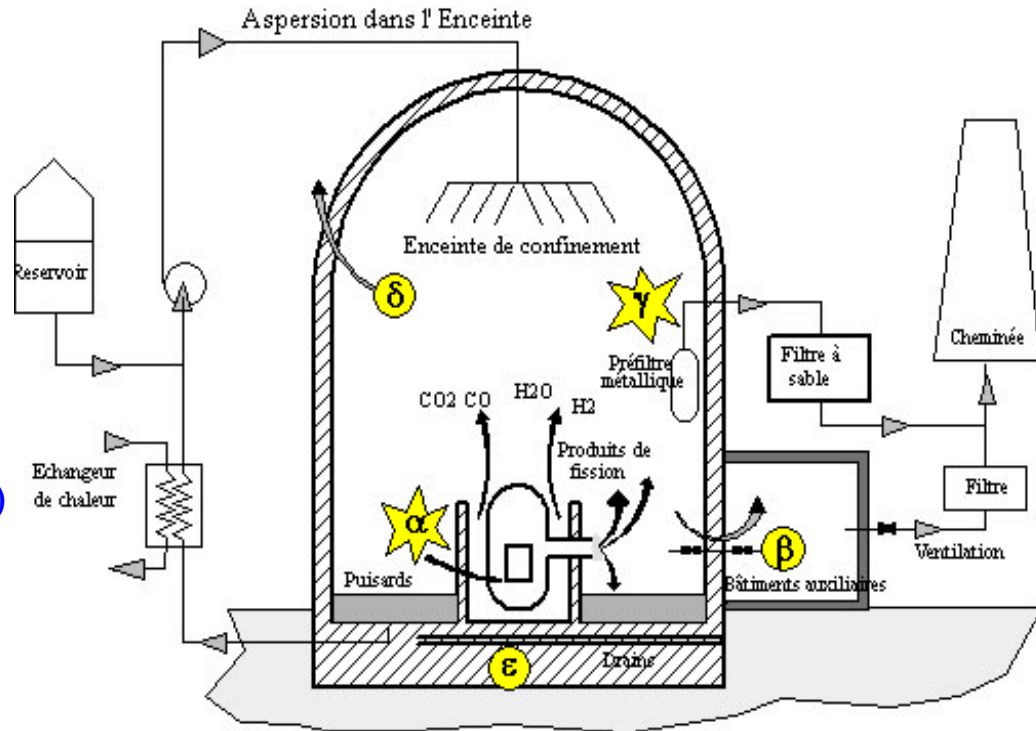
- ❑ L'effondrement des éléments constitutifs du cœur (*bain liquide de corium*) provoque
  - une vaporisation brutale de l'eau éventuellement encore présente dans le fond de la cuve
  - le percement du fond de la cuve (*quelques dizaines de minutes à quelques heures*) en l'absence de refroidissement
  
- ❑ Après rupture des crayons combustible, les gaz de fission et les produits de fission volatils accumulés entre les pastilles de combustible et les gaines rompues sont relâchés dans le circuit primaire puis dans l'enceinte
  
- ❑ Masse d'aérosols (*produits de fission, noyaux lourds, matériaux des structures et des grappes de contrôle*) relâchée dans l'enceinte élevée (1500 kg pour un REP 900)
  - Facteurs de réduction de la masse en suspension dans l'enceinte :  
de **300** (24 h après relâchements) à **2500** (48 h après les relâchements)
  - ➔ intérêt de **maintenir une enceinte « fermée »** le plus longtemps possible lors d'un AG pour permettre un maximum de sédimentation d'aérosols dans l'enceinte

# GENERALITES

Modes de ruine de l'enceinte de confinement introduits par Rasmussen (1975 ; Rapport WASH-1400)

Mode :

- $\alpha$  explosion de vapeur
- $\beta$  défaut étanchéité enceinte (initial ou induit)
- $\gamma$  explosion H<sub>2</sub>
- $\delta$  mise en surpression lente de l'enceinte
- $\epsilon$  traversée du radier par le corium
- $\nu$  bipasse du confinement (traversées enceinte)



Si le cœur ne peut pas être renoyé "suffisamment tôt" pour éviter la percée de la cuve, l'accident peut conduire, à terme :

- à la perte de l'intégrité du confinement
- à des relâchements de produits radioactifs dans l'environnement (*produits de fission*)

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Mode $\alpha$ : Explosion de vapeur

❑ Présence d'eau dans le puits de cuve :

- retarde l'instant de ruine de la cuve,
- réduit le risque d'explosion  $H_2$  par inertage de l'enceinte (*% hygrométrie*)
- ralentit la vitesse de corrosion du radier et l'ICB (*interaction corium-béton*)

**MAIS :**

- pressurisation accélérée de l'enceinte si non-fonctionnement EAS (*aspersion*) → *risque de dépassement de la  $P^\circ$  de dimensionnement de l'enceinte avant 24h (ouverture U5)*
- **risque d'explosion vapeur** (*vaporisation explosive engendrée par un transfert de chaleur entre l'eau et le corium : la pression induit par la vaporisation intense conduit à une fragmentation fine du corium → augmentation de la surface d'échange (qlq  $10^3 m^2$ ) avec l'eau et du transfert d'énergie → explosion...*)

→ **Stratégie de noyage du puits de cuve :** Poursuite des travaux de R&D pour vérifier qu'une explosion de vapeur ne provoque pas un ébranlement de la structure susceptible de générer une perte d'étanchéité du confinement.

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Mode ε - Traversée du radier par le corium / Interaction Corium-Béton (ICB)

- ❑ Une fois la cuve percée, le corium atteint le radier en béton du puits de cuve qui se décompose sous l'effet de la chaleur (interaction corium-béton)
  - ❑ La décomposition thermique du béton produit de la vapeur d'eau et du gaz carbonique qui, en traversant le corium, produisent de l'H<sub>2</sub> et du CO (*combustibles...*)
    - dans l'état actuel des installations et des connaissances, ce phénomène peut aboutir à la percée totale du radier dans un délai variable (>24 h)
    - les différents gaz libérés par cette interaction entraînent une **augmentation progressive de la pression de l'atmosphère de l'enceinte** : P° dimensionnement enceinte à 24 h et poursuite de la pressurisation → dispositif U5 pour dépressuriser l'enceinte et filtrer les rejets (filtre à sable).
  - ❑ Sur les tranches dont le béton du radier contient une forte proportion de CaCO<sub>3</sub> + absence EAS, le dépassement de la pression d'ouverture du filtre U5 est possible avant 24h si injection d'eau sur le corium.
- Poursuite des études sur les avantages/inconvénients de la stratégie d'injection d'eau en cuve après percée de la cuve.

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Mode $\gamma$ : défaillance du confinement due à une explosion d' $H_2$

### ❑ 2 types de combustion : Déflagration et Détonation

#### ➤ Détonation :

- ✓ onde de combustion se propageant à des vitesses supersoniques (1000 à 2200 m/s)
- ✓ Détonation directe jugée peu probable → car valeurs élevées des énergies d'amorçage (> MJ)

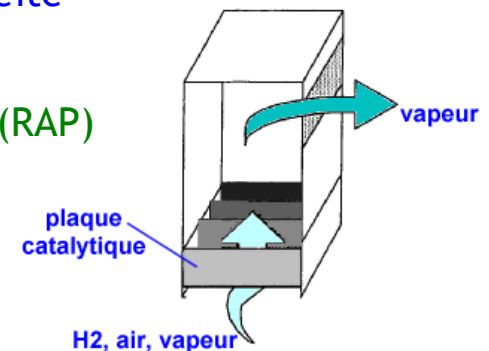
#### ➤ Déflagration :

- ✓ se déclenche pour des proportions d' $H_2$  relativement faibles : seuil de 4 % en volume en air sec
- ✓ énergie d'amorçage inférieure au mJ → un point chaud de 500 °C suffisant (sans vapeur d'eau)
- ✓ au-delà d'une concentration en vapeur d'eau de 55 % à 60 % en volume, il n'y a plus de risque de déflagration (enceinte « inertée »)

❑ instant de mise en service de l'EAS (*aspersion*) en AG peut avoir un effet significatif sur le déclenchement d'une déflagration d' $H_2$

❑ en cas de déflagration de la totalité de l' $H_2$  produit par l'oxydation de toutes les gaines en zircaloy du cœur, le pic de pression dans l'enceinte pourrait affecter son étanchéité

➔ **Modification** : installation de 24 recombineurs autocatalytiques passifs (RAP) d' $H_2$  dans le BR permettant une teneur en  $H_2$  <8%



# ETUDES & MODIFICATIONS

## Fusion « en pression »

- ❑ Fusion "en pression" : si  $P^{\circ}$  cuve  $> \approx 15 / 20$  bar au moment de sa percée
- ❑ Accident de fusion en pression obtenu dans le cas :
  - très petite brèche du circuit primaire
  - renoyage tardif du cœur → remontée en pression juste avant la percée du fond de la cuve
  - perte du refroidissement par les GV
- ❑ Si le circuit primaire est en pression, il peut y avoir, lors de la fusion du cœur dans la cuve :
  - des ruptures induites de tubes de générateur de vapeur (RTGV) dues à la circulation de gaz chauds dans les tubes → *rejets directs de PF dans l'atmosphère extérieure par les soupapes des générateurs de vapeur qui s'ouvrent vers 70 bar* : **INACCEPTABLE**
  - au moment du percement de la cuve, dispersion de corium dans l'enceinte produisant une rapide montée en pression (plusieurs bars en quelques minutes) par « **échauffement direct de l'enceinte** » et éventuellement rupture « **précoce** » de l'enceinte : **INACCEPTABLE**
  - ➔ Pour éviter de tels rejets directs, il faut DEPRESSURISER VOLONTAIREMENT le circuit primaire, si cela est possible.
- ➔ **Modification** : fiabilisation de l'ouverture commandée (+ maintien ouvert) des soupapes du pressuriseur (SEBIM) pour éviter le percement de la cuve « en pression » avec perte totale des alimentations électriques (H3).



# ETUDES & MODIFICATIONS

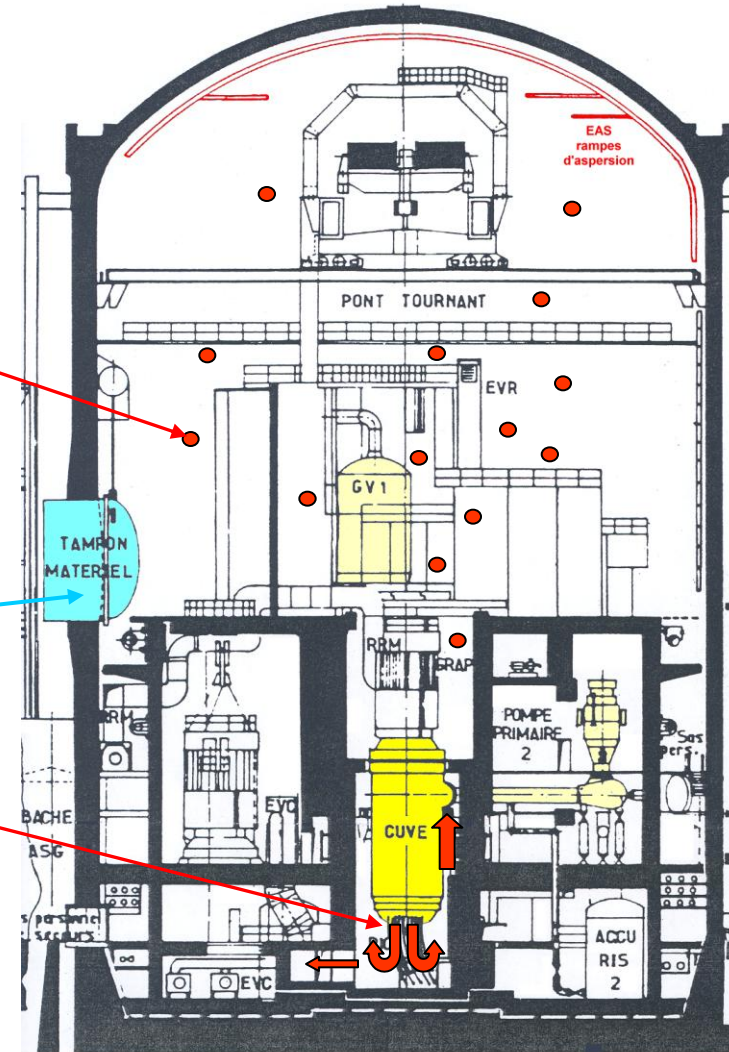
## Echauffement direct de l'enclume (DCH : direct containment heating)

- ❑ induit par la dispersion de corium dans l'enclume lors de sa sortie de la cuve produisant une montée rapide en pression.
- ❑ **RISQUE** : perte d'étanchéité de l'enclume de confinement par pressurisation rapide
- ❑ Forte réduction du risque DCH si  $P^{\circ}$  rupture cuve  $\ll$  20 bar)



Particules de Corium

Corium (échappement dans puits de cuve)



# ETUDES & MODIFICATIONS

## Comportement de l'enceinte en AG

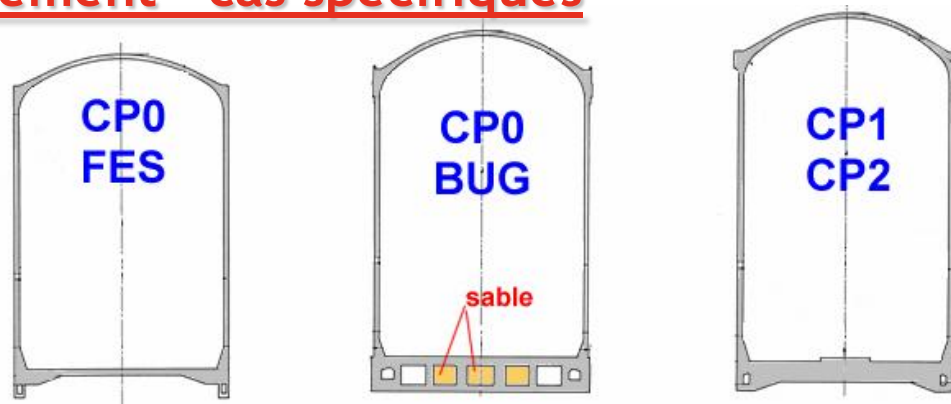
- ❑ L'examen du profil de chargement (P,T) en AG et les EPS de niveau 2 ont conduit à renforcer le TAM (*Tampon d'Accès des Matériels*) - point faible du confinement.
- ❑ Certains scénarios accidentels peuvent conduire à des pics de pression dans l'enceinte supérieurs à ceux considérés :
  - pressurisation rapide (phénomène dynamiques : combustion H<sub>2</sub>, DCH)
  - pressurisation lente (ICB sous eau avec radier en béton silico-calcaire)
  - ➔ nécessité de garantir l'étanchéité de l'enceinte jusqu'à 8 bar abs.
- ➔ Modification : renforcement des boulons du TAM (*vis-à-vis des efforts de cisaillement résultant des pics de pression dans l'enceinte*)

## Renforcement des circuits contribuant au confinement (extension 3<sup>ème</sup> barrière)

- ❑ Réévaluation des profils de pression en AG :
  - ➔ Augmentation de la puissance des moteurs assurant la fermeture des vannes permettant d'isoler une file d'injection de sécurité (RIS) ou d'aspersion enceinte (EAS) fuyarde (*CPO-Fessenheim*)
  - ➔ Retarage des soupapes du circuit d'injection de sécurité basse pression (RIS BP) vis-à-vis de la contre-pression primaire.

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Maintien du confinement - cas spécifiques



- ❑ **Bugey** : Non-garantie du maintien de l'étanchéité du radier alvéolaire si percée radier avec  $P^{\circ} \text{enceinte} > 3 \text{ bar}$ 
  - Objectif : réduire les risques de by-pass du confinement en cas de percée du radier supérieur.
- ➔ **Modification** : remplacement du diaphragme du dispositif U5 (décompression/filtration enceinte) par un dispositif à section passante + nouveau diaphragme
- ❑ **Fessenheim** : Percement du radier sous ICB < 24 h (*délai de mise en œuvre des mesures de protection des populations*) dans certains scénarios
- ➔ **Modification** : Épaississement du radier par une couche de béton réfractaire pour retarder la percée  
*Difficultés liées à la dosimétrie dans le puits de cuve, au risque d'agression des tubes RIC, à la réduction du volume libre conduisant à une augmentation de la pressurisation du local (APRP)...*

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Instrumentation en AG - Suivi l'évolution de l'AG

- ❑ Evaluation du risque H<sub>2</sub> → *gestion optimale de l'EAS (aspersion enceinte)*
  - ➔ **installation de thermocouples sur des recombineurs passifs d'H<sub>2</sub>**
  - ☞ *suffisance du nombre de thermocouples et choix des emplacements ?*
  - ☞ *interprétation de la mesure pour les équipes de crise ?*
  
- ❑ Localisation du corium ( *présence en puits de cuve = passage irréversible d'une situation contrôlable à la perte du confinement par percée du radier* → *anticipation des actions de protection des populations* )
  - ➔ **installation d'un thermocouple en puits de cuve**
  - ☞ *fiabilité d'un seul thermocouple ?*
  - ☞ *vérification du fonctionnement du thermocouple et actions si défaillance ?*

# ETUDES & MODIFICATIONS

## Autres études

- ❑ Efficacité de l'ouverture anticipée du dispositif de décompression/filtration de l'enceinte (U5)
- ❑ Colmatage des filtres des puisards d'eau de recirculation RIS/EAS
- ❑ Profils de chargement (P°, T°) dans l'enceinte en AG
- ❑ Fonctionnement des soupapes SEBIM du pressuriseur en AG
- ❑ Stratégies de conduite du système d'aspersion de l'enceinte (EAS)
- ❑ Instrumentation :
  - *mesure de l'activité en suspension dans l'enceinte*
  - *mesure de l'activité en sortie du filtre U5*
  - *suivi de l'étanchéité du confinement*
- ❑ ...

# ACCIDENTS GRAVES - Conclusion

- ❑ Nombreuses situations / phénomènes d'AG analysées
- ❑ Mises en œuvre de modifications matérielles
  - prévention / réduction des situations conduisant à la perte précoce du confinement
  - renforcement du confinement (*enceinte + extension 3<sup>ème</sup> barrière*)
  - suivi de l'évolution de l'AG
- ❑ Certains aspects traités à travers :
  - le thème « Confinement » (confinement en AG)
  - les EPS niveau 2
- ❑ Poursuite de l'instruction des AG...

# Réexamen de Sûreté VD3 900

- **vieillissement**
  - **introduction**
  - **objectifs**
  - **méthodologie**

# INTRODUCTION

- ❑ Introduction formelle de la prise en compte du « vieillissement » par l'ASN en 2001, qui a indiqué à EDF qu'elle considérait :
  - « *l'étape des 3èmes visites décennales comme fondamentale dans la connaissance précise de l'état des réacteurs et dans votre capacité à poursuivre le cas échéant leur exploitation. Je souhaite donc disposer, pour cette échéance, des éléments nécessaires pour me prononcer sur la poursuite de leur exploitation. Dans cette perspective, j'estime nécessaire que vous prépariez, préalablement aux VD3 et pour chaque réacteur concerné, la démonstration de sa possible exploitation au-delà de cette échéance dans des conditions de sûreté satisfaisante. Une telle démonstration pourrait conduire à la constitution de 'dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation au-delà des VD3' (DAPE)... »*
  - ➔ Création (pour chaque réacteur) de **DAPE** lors des VD3 (Dossier d'Aptitude à la Poursuite de l'Exploitation)
- ❑ Principales hypothèses de dimensionnement basées sur une durée d'exploitation de 40 ans
  - ➔ Vérifier l'existence de marges vis-à-vis du maintien des performances jusqu'à **40 ans au moins !**
- ❑ Tenue de 2 GPR consacrés au vieillissement (4 et 11 déc. 2003 et 11 mai 2006)
- ❑ Nombreux programmes R&D (vieillesse métal, câbles électriques, contrôles non destructifs...)



# OBJECTIFS

- ❑ Vérifier que les systèmes, composants et structures (SCS) IPS, soumis à des mécanismes de vieillissement, ne s'écartent pas des hypothèses de conception (ou réévaluées), par la mise en œuvre d'actions spécifiques (*amélioration des connaissances, modifications, conduite, exploitation, suivi en service, surveillance et inspections, maintenance courante/exceptionnelle ...*) afin :
  - d'exploiter les tranches en limitant, supprimant ou retardant les conséquences de ces mécanismes
  - de prévoir ou détecter suffisamment tôt si le SCS peut être dégradé au point de ne plus assurer ses fonctions de sûreté dans les conditions de fonctionnement prévues
  - de définir les parades à l'apparition de ces dégradations et de prendre les mesures correctives (*jusqu'au remplacement*) pour maintenir le niveau de sûreté

# METHODOLOGIE

- ❑ Etablissement de Fiches d'Analyse du Vieillissement (FAV)
  - recensement des composants sensibles
  - identification des SCS IPS sujets au vieillissement
    - ✓ création de couples [ SCS - mode de vieillissement ]
    - ✓ ouverture de FAV pour chaque couple
    - ✓ 15000 SCS examinés
    - ✓ 500 couples « SCS - mode de vieillissement » créés (FAV)
  - classement des FAV selon 2 catégories :
    - ✓ dispositions courantes d'exploitation/maintenance pour suivre/maîtriser le phénomène de vieillissement suffisantes + actions de réparation/remplacement possibles
      - ➔ environ 400 FAV génériques
    - ✓ actions de maîtrise ou de surveillance du mode de vieillissement et de ses effets difficiles, ou réparation/remplacement difficile
      - ➔ solde des FAV génériques (**FAV sensibles**)

# METHODOLOGIE

## ❑ Création des FAV - Mécanismes de vieillissement

Mécanismes de vieillissement des matériaux	FAV	métal- lique	miné- rale	poly- mère	Mécanismes de vieillissement	FAV	métal- lique	miné- rale	poly- mère
Abrasion	3	x	x	x	Fatigue endurance	6	x		
Corrosion aqueuse	16	x			Fatigue oligocyclique	7	x		
Carbonatation	1		x		Fatigue relaxation	1	x	x	x
Corrosion des armatures	3	x	x		Fatigue thermique	21	x	x	x
Corrosion atmosphérique	3	x			Fatigue vibratoire	12	x	x	x
Corrosion par l'acide borique concentré	9	x			Fluage	1	x	x	x
Corrosion-érosion	7	x			Fluage d'irradiation	7	x		
Corrosion par frottement	1	x			Fragilisation	9	x	x	x
Corrosion généralisée	7	x			Gonflement sous irradiation	5	x		
Corrosion inter cristalline	2	x			Hydrolyse	2	-	x	x
Corrosion sous la ligne d'eau	1	x			Infiltration d'eau	1	x	x	x
Corrosion par piqûres	7	x			Infiltration d'humidité	2	x	x	x
Corrosion sous contrainte	17	x			Radiolyse	1			x
Corrosion sous contrainte assistée par l'irradiation	5	x			Alcali réaction	2		x	
Corrosion sous contrainte en milieu primaire	13	x			Relaxation	6	x	x	x
Corrosion sous contrainte en milieu secondaire	1	x			Sédimentation	2	x	x	x
Déformation progressive	9	x	x	x	Tassement différentiel	2		x	
Durcissement	1	x	x	x	Tribo corrosion	1	x		
Encrassement	5	x	x	x	Usure	34	x	x	x
Erosion	7	x	x	x	Vieillessement	91	x		x
Erosion par cavitation	3	x	x	x	Vieillessement thermique	37	x	x	x
Fatigue	58	x	x	x	Vieillessement thermique accéléré par irradiation	6	x		
Fatigue corrosion	1	x			...				

# METHODOLOGIE

- ❑ Création de « **DAPE génériques** » regroupant les SCS affectés de FAV « sensibles »

DAPE générique (SCS)	Principaux Modes de vieillissement
cuve	fragilisation sous irradiation, vieillissement thermique
équipements internes de cuve	irradiation, usure, fatigue
pressuriseur	vieillissement thermique, fatigue
GV	taux de bouchage, corrosion sous contrainte
GMPP	érosion par cavitation
tuyauteries principales CPP	vieillissement thermique (coudes moulés, piquages)
tuyauteries auxiliaires CPP	fatigue thermique
traversées électriques	vieillissement
câbles électriques	vieillissement (points chauds)
contrôle-commande	vieillissement
enceinte de confinement	relaxation précontrainte, corrosion peau étanchéité
structures Génie Civil	alcali-réaction

# VIEILLISSEMENT - Conclusion

- ❑ Pour chaque réacteur, création d'un « DAPE de tranche »
  - positionnement de l'exploitant concernant les dispositions prises pour maîtriser le vieillissement des SCS (Programme de gestion du vieillissement) vis-à-vis
    - ✓ des DAPE génériques
    - ✓ des FAV particulières (SCS non couverts par les DAPE génériques)
    - ✓ des spécificités de site ou de tranche

en prenant en compte :

- ✓ les particularités de conception / de réalisation
- ✓ l'état réel des SCS
- ✓ les conditions d'exploitation et de maintenance

destiné à vérifier la poursuite de l'exploitation à VD3+10 ans au moins dans des conditions de sûreté satisfaisantes.