

Les Gestions des cœurs et les perspectives

Nicolas WAECKEL (EDF-SEPTEN)



Les gestions combustible

Chaque réacteur doit s'arrêter périodiquement pour renouveler une partie de son combustible

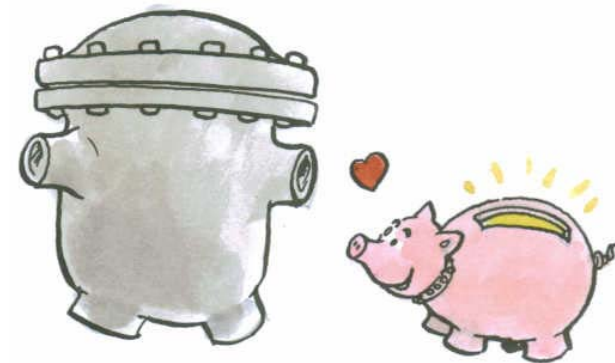
- Le rechargement met en réacteur un **stock d'énergie** (quelques centaines de « Jepp ») qui doit être géré durant la « campagne de production » qui suit.
- La «**gestion combustible**», c'est à dire les caractéristiques des recharges introduites à chaque arrêt détermine :
 - » La durée possible pour la campagne de production
 - » Le coût combustible (en fonction du nbre d'assemblages et de l'enrichissement du combustible chargés à chaque campagne de production).



Monasie.com

Le choix des gestions doit concilier plusieurs objectifs (1/2)

- Donner la priorité absolue à la sûreté de la chaudière
- Valoriser la production en allongeant les campagnes pour produire au bon moment
 - Tout en respectant la saisonnalité de la demande
- Valoriser le coût combustible
 - En augmentant les taux de décharge du combustible
 - En veillant à ce que la performance/fiabilité du combustible reste compatible avec les exigences de la gestion



Le choix des gestions doit concilier plusieurs objectifs (2/2)

- Respecter la cohérence du cycle du combustible français
 - Equilibre des flux des matières retraitées et recyclées en REP EDF
 - Qualité isotopique du Plutonium et de l'Uranium récupérés à la Hague compatible avec leur recyclage en REP (MOX et URE)
- Tenir compte des impacts de la gestion envisagées sur la démonstration de sûreté
 - Bilan des marges à “partager” entre performances “chaudière” et “combustible”, entre besoins “exploitant” et “gestionnaire du Parc”.
- Préserver la diversification pour garantir la sécurité d’approvisionnement

Les années 1990-2000

- Un contexte marqué par le suréquipement nucléaire en France → l'objectif est de valoriser le combustible en augmentant les taux de combustion (de 33 à 47GWj/t max AC en 1987 puis 52 GWj/t en 1999)
 - » GARANCE UO2 UNE ou URE sur le palier REP900 CPY, campagnes annuelles, en $\frac{1}{4}$ de coeur, 3.7%, 47GWj/t max AC
 - » GARANCE Hybride MOX sur les 20 tranches CPY moxées : campagnes annuelles, UNE en $\frac{1}{4}$ de coeur 3.7%, MOX en $\frac{1}{3}$ de coeur éq 3.25%
 - » CYCLADES (en 2000) sur le palier REP900 CPO : campagnes allongées 18 mois en $\frac{1}{3}$ de coeur 4.2%, 52 GWj/t max AC
 - » GEMMES (en 1999) sur le palier REP1300, campagnes allongées 18 mois en $\frac{1}{3}$ de coeur 4%, 52 GWj/t max AC
 - » N4 sur le palier REP1450, campagnes annuelles en $\frac{1}{4}$ de coeur 3.4% 47GWj/t
- Le “mix” campagnes annuelles/campagnes 18 mois permet d'accommoder le placement des arrêts

Gestions UNE du palier 900 MWe

1977-1983

1983-1989

>1987

>2000

33% (1/3)
3,25%
290 jepp
33 GWj/t

41% (1/3-1/2)
3,45%
345 jepp
33 GWj/t

33% (1/3)
3,7%
330 jepp
38 GWj/t

25% (1/4)
3,7%
280 jepp
42 GWj/t

33% (1/3)
4,2%
385 jepp
43 GWj/t

Taux de renouvellement
Enrichissement
Longueur de campagne
Taux de combustion moyen
(équilibre longueur naturelle)

CPY
GARANCE

CP0
CYCLADES

Les années 2000-2009

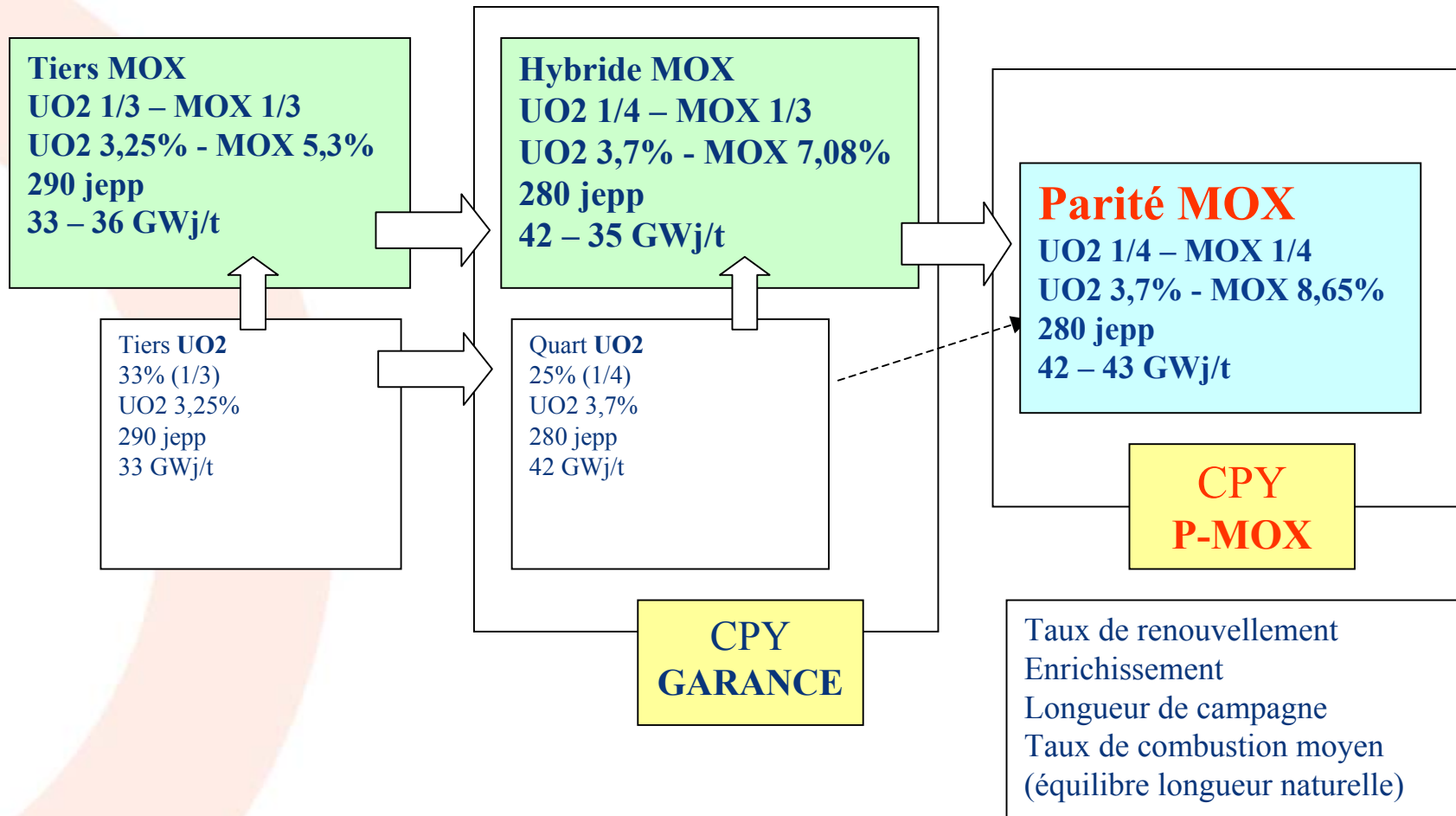
- Tenir compte de la résorption du suréquipement nucléaire et de l'ouverture des marchés
 - Besoin de suivi de réseau en baisse et durées d'arrêt plus courtes
 - » Les durées des campagnes des gestions mises en oeuvre dans les années 90 ne cessent de se réduire à nb de Jepp constants
 - » La planification du placement des arrêts en fonction de la saisonnalité de la demande est à ré-optimiser
 - L'objectif est maintenant de se recentrer sur la production tout en valorisant le coût du combustible (grâce notamment aux produits plus performants proposés par les fournisseurs)
- Ces éléments ont été à l'origine des 3 gestions décidées en 2001-2002
 - Parité-MOX, ALCADÉ, GALICE

Gestion MOX du palier REP 900MWe

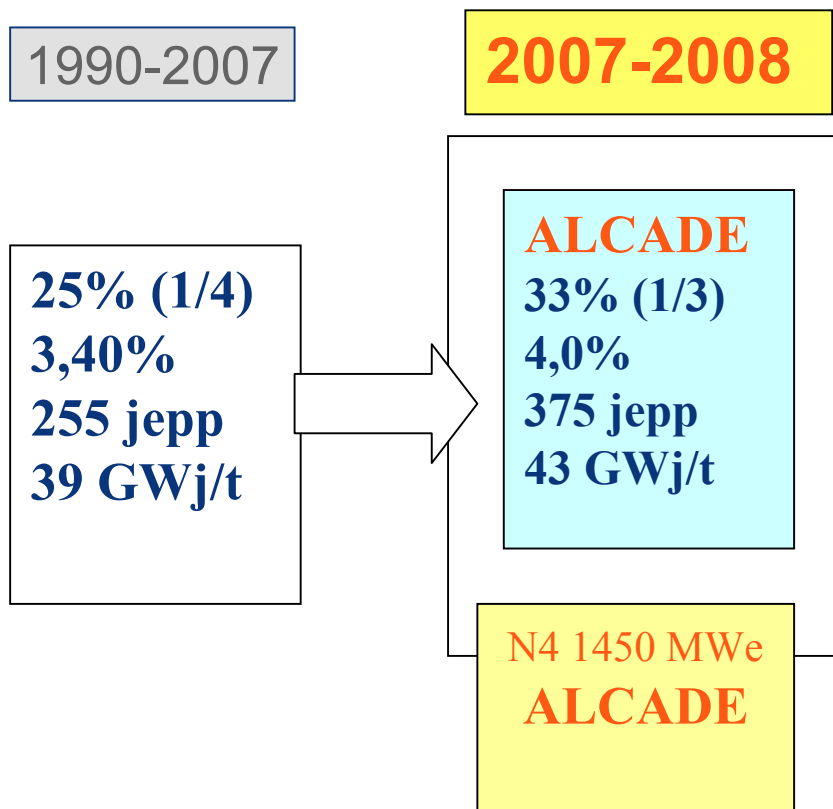
>1987

>2000

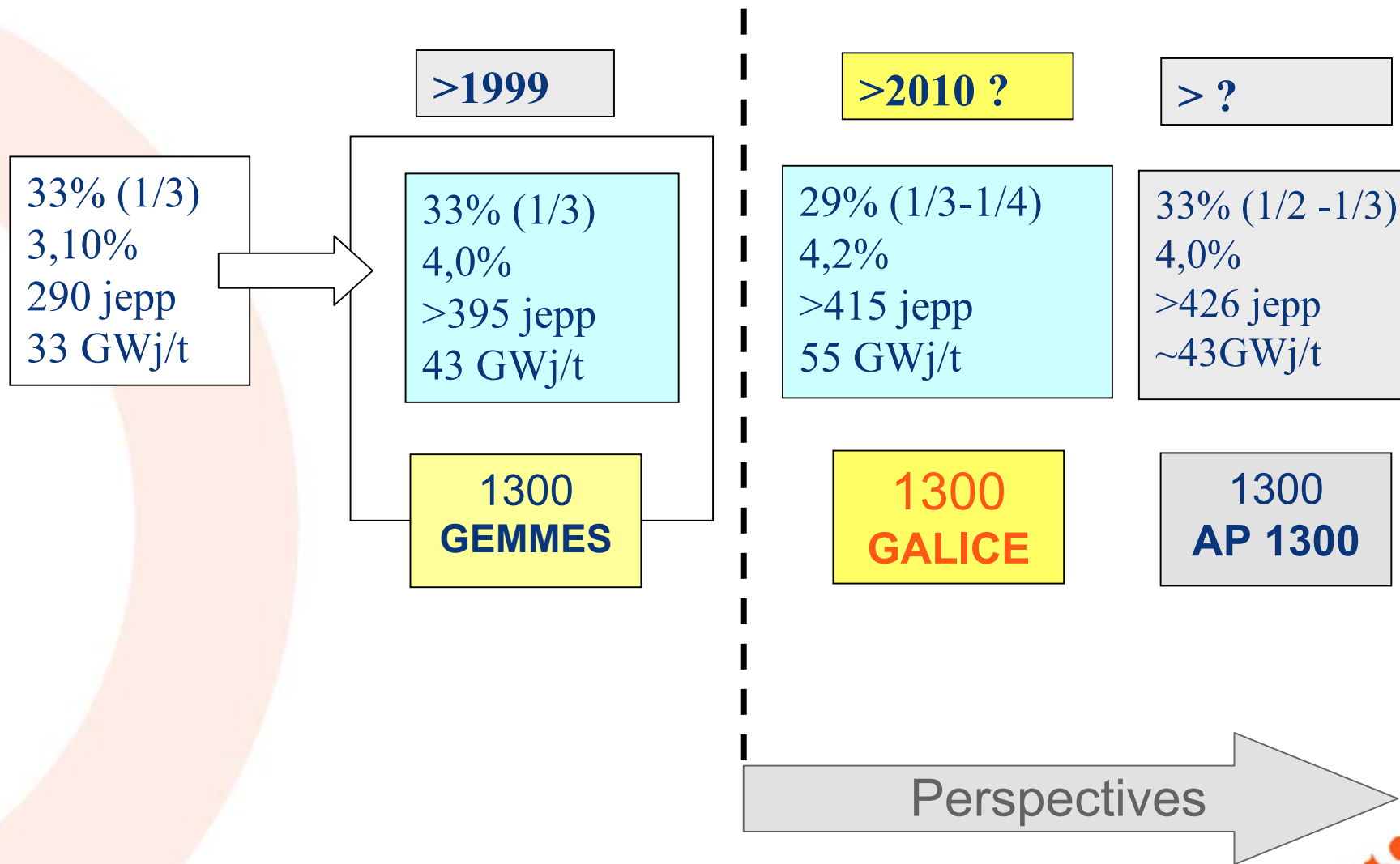
2007 à 2013



Gestion UO2 du palier N4 1450MWe



Gestions UO2 du palier 1300MWe



Les évolutions depuis novembre 2005 pour le groupe EDF S.A.

- En France, l'ouverture totale du marché de l'électricité à la concurrence est devenue réalité
 - » 1^{er} juillet 2007 : 25 millions de particuliers peuvent choisir leur fournisseur. La filialisation des activités de réseaux est achevée.
 - » les prix de vente pour EDF sont encore largement régulés : tarif « historique » maintenu pour les particuliers, TARTAM pour les industriels...
- EDF acteur majeur du CAC 40...
 - » novembre 2005, puis 2008 : le capital d'EDF S.A. est ouvert à hauteur de 15%
- ... et du renouveau du nucléaire
 - » En France : Flamanville 3, projet d'augmentation de puissance du palier 1300MWe
 - » En GB : rachat de BE avec la perspective de 4 tranches EPR
 - » Exploitation/construction : USA, Chine

Les évolutions pour la production nucléaire et le combustible...

- Un cadre réglementaire en pleine évolution
 - » La loi « Déchet 2006 »
 - » La loi « Transparence et Sûreté Nucléaire » refonde l'organisation de la sûreté nucléaire et fixe de nouvelles règles pour les exploitants (cf. décret INB de novembre 2007).
- Un nouveau contrat retraitement-recyclage avec AREVA
 - » Augmentation des tonnages traités et recyclés à partir de 2010 : nouvel équilibre des flux à 1050 t de traitement et 120 t de MOX sur 22 tranches.

Bilan des flux du cycle fermé

~ 1100 t d'UOX neuf
dont ~ 35 t URE

Recyclage plutonium
120 tonnes/an de MOX



Areva MELOX

« URT »
1/3 recyclé et 2/3
en réserve

430 TWh /an

Centrales EDF
dont 22 tranches MOXées

Traitement :
1050 tonnes / an

Areva La Hague

1200 tonnes /an de
combustible utilisé
(UOX et MOX)

Transport vers La
Hague, réception,
entreposage
1200 tonnes/an

déchets conditionnés entreposés

~ 250 m³/an

Les perspectives 2009-.....

- Les principes structurants qui président aux choix futurs sont :
 - Rechercher l'équilibre et la cohérence du cycle de combustible français
 - » Stratégie flux et stocks en lien avec l'utilisation des combustibles URE et MOX
 - » Arbitrage taux de combustion/qualité du Pu et de l'URT issus du traitement du combustible utilisé
 - Valoriser le productible
 - » Taux de disponibilité Kd et sa robustesse
 - Garantir la sécurité, la maîtrise des risques et coût des approvisionnements
- Un principe transverse fort : la sûreté du Parc comme priorité absolue

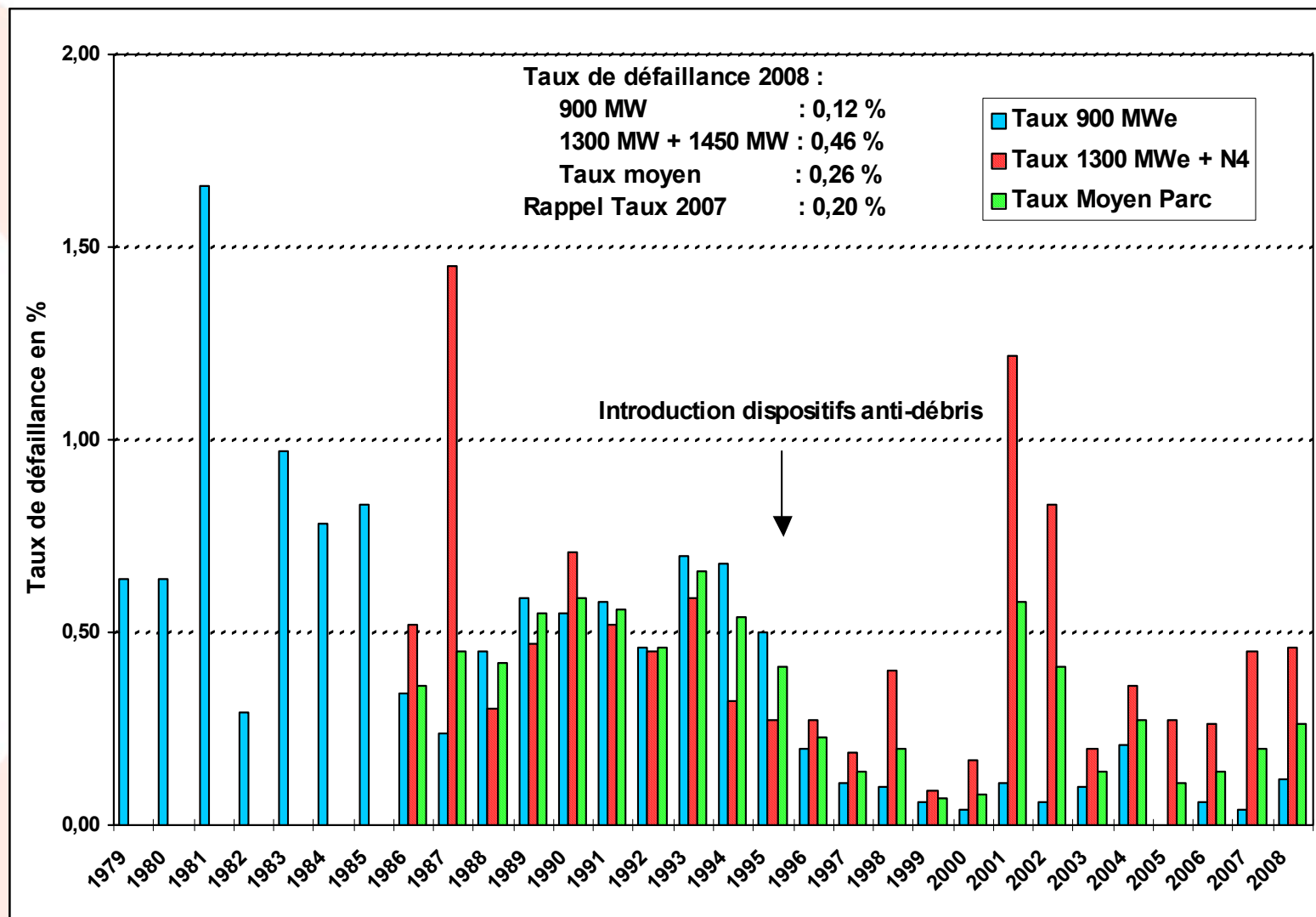
Perspectives

- Palier 900
 - CYCLADES, PMOX,
 - URE, MOX NT
- Palier N4
 - ALCADE
- Palier 1300
 - GEMMES, GALICE, Augmentation de puissance
- EPR

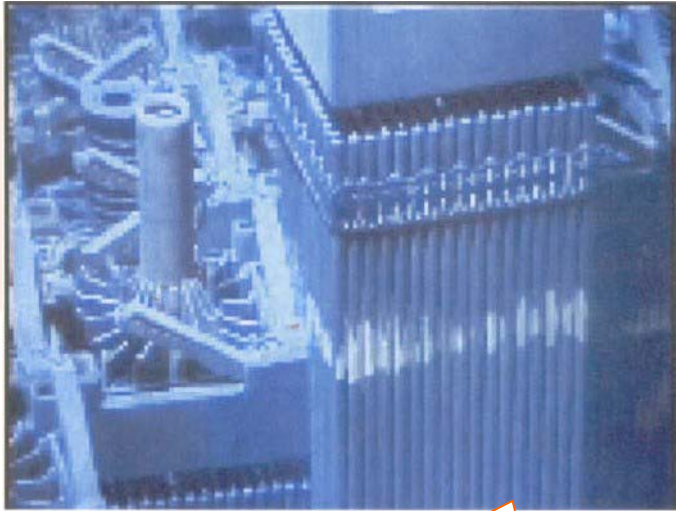
- R&D court terme : re-fiabiliser les concepts actuels
- R&D long terme sur des concepts en “rupture” → il faudra >20-30 ans pour les industrialiser.

Un besoin fort pour l'exploitant

- Renforcer la robustesse et la fiabilité des produits combustible

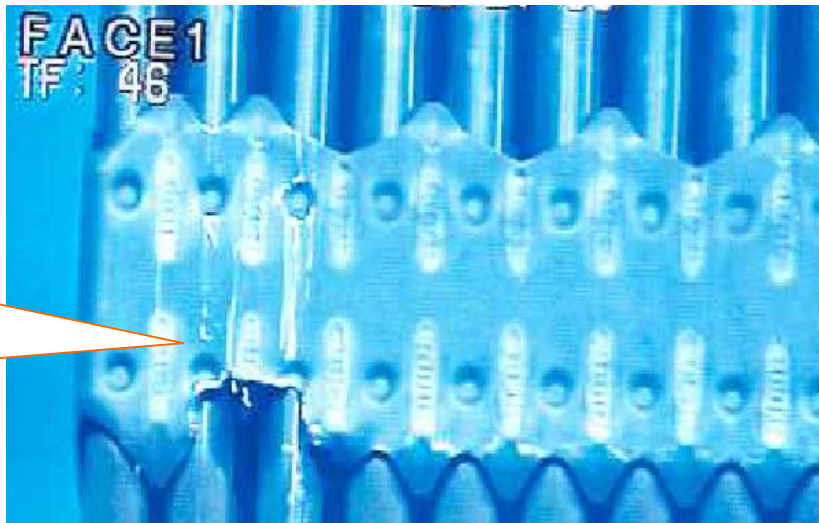


Un pb récurrent : les déformations d'assemblage dans les REP 1300

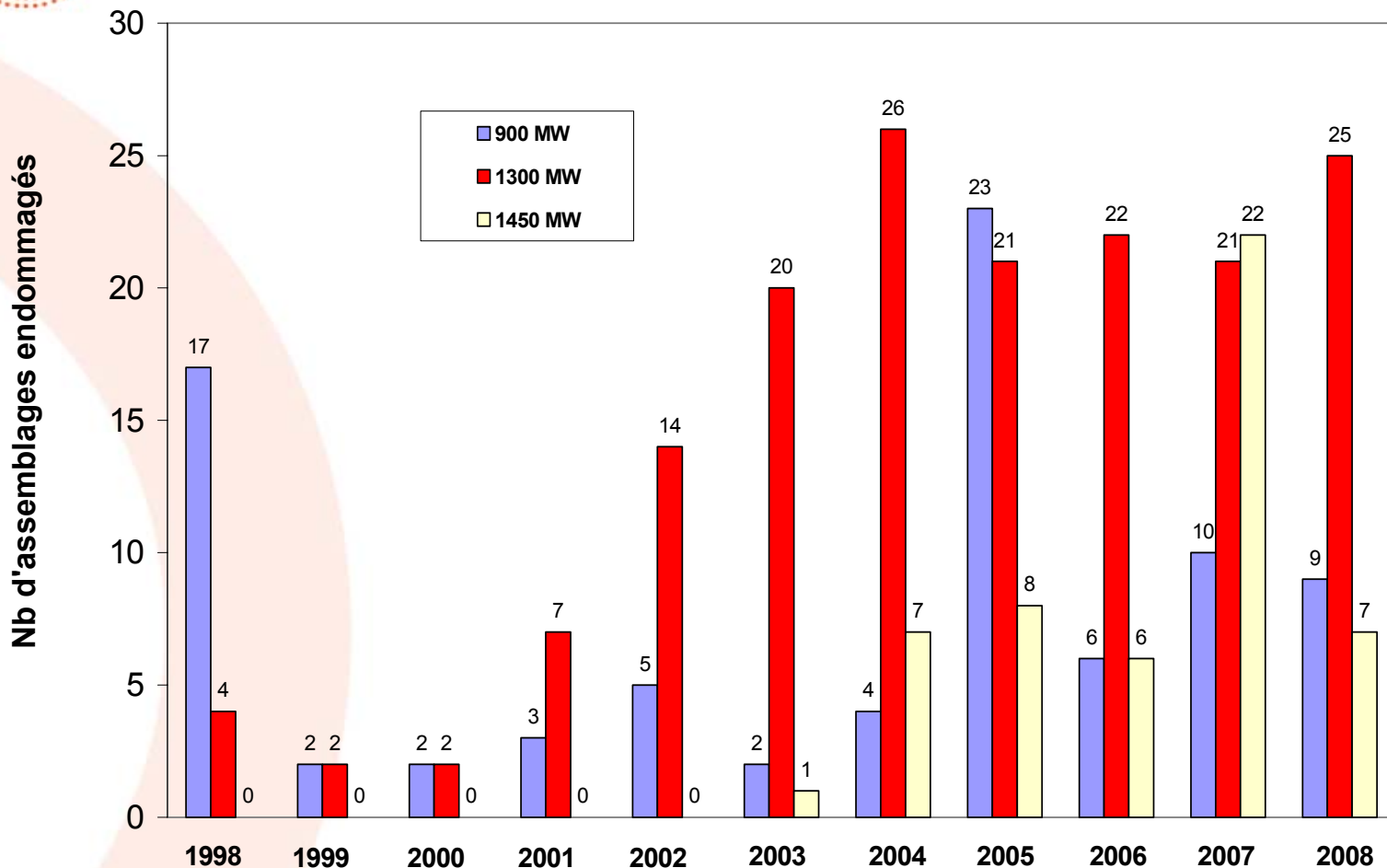


Les interactions entre assemblages déformés conduisent..

...à des endommagements de grilles en manutention



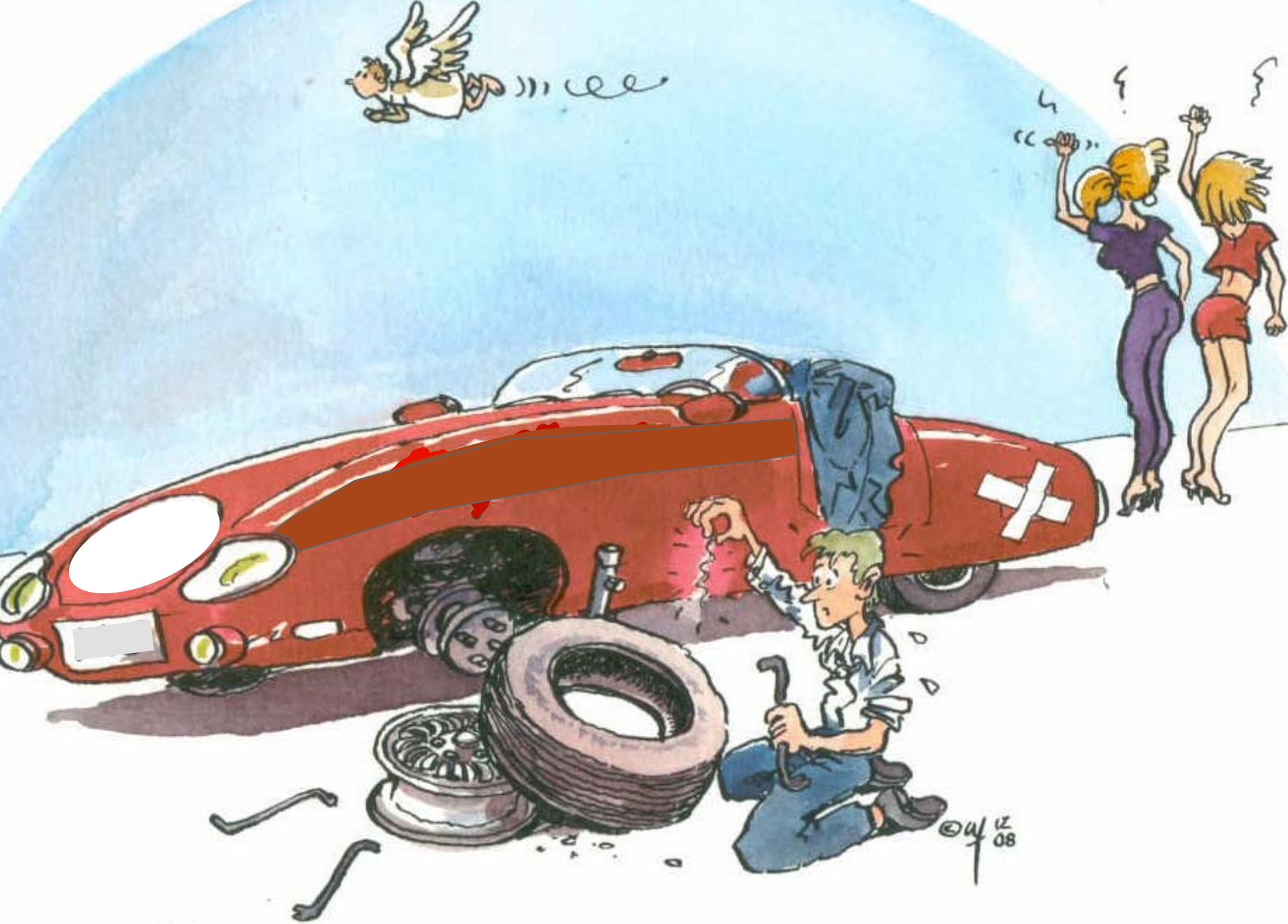
Assemblages endommagés en manutention



Difficultés de manutention en 2008 → +11j sur la durée des arrêts

Conclusion

- Une hausse généralisée des taux de combustion ne serait pas compatible avec une politique de recyclage durable
 - » L'augmentation du taux de combustion moyen fait apparaître des contraintes importantes sur l'aval du cycle et réduit la performance du recyclage
- Les évolutions de gestion envisagées sur le palier 1300 dans le cadre d'une durée de vie portée à 60 ans, n'augmenteront que marginalement les taux de combustion et les temps de séjour du combustible en réacteur par rapport à la gestion GEMMES, afin de permettre une augmentation de puissance.
- Un préalable à toute évolution de gestion : fiabilité et robustesse du produit combustible, démontrées par le Retour d'EXpérience.



La gestion des cœurs et les perspectives.

Nicolas WAECKEL (EDF)

Résumé

Les tranches 900 et 1300 du Parc EDF ont toutes été démarrées en gestion annuelle, avec une irradiation moyenne du combustible de l'ordre de 33 GWj/t (gestion 1/3 3,25% sur les tranches 900 MW et 1/3 3,10% sur toutes les tranches 1300 MW).

Au début des années 1990, le principe de gestions standards, déclinées sur chacun des paliers, a été mis en oeuvre. Comme le contexte de l'époque était marqué par le suréquipement du nucléaire, l'enjeu était plutôt de valoriser au mieux l'utilisation du combustible (en augmentant les taux de combustion) que de rechercher systématiquement la valorisation de la production nucléaire. C'est pourquoi les gestions successivement mises en place ont eu pour objectif d'augmenter progressivement les irradiations maximales autorisées des assemblages UNE jusqu'à 47 GWj/t (en 1987) puis 52 GWj/t (en décembre 1998). Dans la continuité de cette démarche une autorisation pour une gestion 62 GWj/t est attendue prochainement.

Pour ces raisons, et en tenant compte des enjeux de saisonnalité sur la demande d'électricité, le choix des gestions mises en place récemment s'est porté sur des gestions 1/3 et ¼ de cœur avec des longueurs de cycles variant de 12 à 18 mois selon les paliers.

On observe désormais une résorption des surcapacités en France et en Europe induisant une tension croissante sur l'utilisation des moyens de production nucléaire, associée à une incertitude sur le renouvellement des parcs de production européens, une évolution en très forte hausse des coûts des combustibles fossiles (charbon, gaz) et l'affirmation de la lutte contre le changement climatique .

Dans ce contexte de besoin accru de production nucléaire, il est devenu moins crucial de valoriser le coût du combustible en augmentant encore les taux de combustion. De plus, la politique de retraitement en France ne justifie pas d'irradier les combustibles à des niveaux trop élevés car la dégradation du vecteur isotopique qui en découlerait réduirait d'autant l'efficacité énergétique des produits de retraitement (MOX et URE).

Enfin cela nécessiterait de faire encore évoluer les performances du combustible, or la priorité actuelle serait plutôt de se concentrer sur une amélioration de la robustesse (résistance aux aléas) et de la fiabilité (comportement conforme à la spécification) des produits combustible proposés par les fournisseurs.

C'est pourquoi, pour sécuriser les projets à venir (augmentation de puissance 1300 notamment) ceux-ci feront appel à des gestions moins ambitieuses en terme de taux d'irradiation maximaux.

Cependant, même si l'on s'oriente vers une pause dans le développement de nouveaux combustibles plus performants, il serait prudent de préparer l'avenir. L'expérience montre que plus de 20 ans sont nécessaires pour mettre au point et commercialiser un produit « évolutionnaire » : il faudra donc mettre des prototypes en irradiation d'ici la fin de la décennie (dans RJH ?) si l'on veut disposer de produits innovants présentant plus de marges de sûreté, permettant plus de souplesse d'exploitation et de fonctionnement (pression interne fin de vie réduite, capacités de refroidissement accrues, meilleure résistance à la rupture, etc..) à l'horizon 2030-2040.

1- Introduction

Le parc nucléaire d'EDF comporte 58 réacteurs à eau pressurisée mis en service entre mars 1977 (Fessenheim 1) et 1999 (Civaux 2). Composé de 3 paliers de réacteurs standardisés, de 900, 1300 et 1500 MWe, il utilise le même type d'éléments combustible constitué de 17 x 17 crayons.

En France, contrairement à la pratique internationale, le principe des gestions standards, définissant, à l'échelle d'un palier, la composition des recharges, a été mis en œuvre au début des années 1990. Une gestion combustible exige une qualification de sûreté, qui est en France obtenue à l'issue d'un processus long (5 ans minimum) et complexe.

Les gestions du combustible ont évolué depuis la mise en service des réacteurs, en recherchant une amélioration de l'utilisation du combustible et un accroissement de la production nucléaire, en fonction des conditions économiques du marché mais aussi des performances offertes par le combustible. Le contexte actuel incite EDF à rechercher une plus grande souplesse dans les gestions du combustible tout en maintenant le niveau de performances atteint aujourd'hui.

Ce papier présente successivement les évolutions des gestions, de performances du combustible et ouvre les perspectives des évolutions futures.

2- Les principes présidant au choix des gestions combustible

La gestion d'un parc nucléaire doit tenir compte de la nécessité d'arrêter périodiquement chaque réacteur pour renouveler une partie de son combustible et procéder à certaines opérations de maintenance. Le rechargement met en réacteur un stock d'énergie (quelques centaines de jours équivalents à pleine puissance, « Jepp ») qui doit être géré durant la « campagne de production » qui suit. La « **gestion combustible** » (c'est à dire les caractéristiques des recharges introduites à chaque arrêt (quantité de combustible, taux d'enrichissement) détermine :

- la durée possible pour la campagne de production
- le coût du combustible (en fonction du nombre d'assemblages et de l'enrichissement du combustible chargés à chaque campagne de production).

Le choix des gestions combustible doit concilier des objectifs multiples :

Donner la priorité absolue à la sûreté de la chaudière : Celle-ci dépend, dans le cadre du référentiel de sûreté imposé¹ (notamment réexamen décennal de sûreté, processus désormais codifié par la loi²) :

- des paramètres liés au comportement en fonctionnement normal et accidentel du cœur (puissance, réactivité) et du combustible,
- des paramètres liés aux autres matériels (ex : cuve, générateurs de vapeur),
- des performances d'exploitation recherchées (niveau de puissance, suivi de charge, services système)

Fiabiliser le combustible en exploitation pour éviter les indisponibilités fortuites : la fiabilité du combustible en exploitation, lors du fonctionnement normal en réacteur et lors des opérations de manutention (chargement, déchargement, évacuation) garantit le respect des spécifications relatives à la radiochimie du circuit primaire, la maîtrise de la

¹ Ensemble des exigences fixées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

² Loi TSN du 13 juin 2006 et décret 2007-1557 du 2 novembre 2007, en cours de déclinaison par des décisions et prescriptions ASN

radioprotection et des rejets et concourt à la réduction de la durée des arrêts de tranche en facilitant les opérations de déchargement.

Valoriser la production en allongeant les campagnes pour produire au bon moment : afin de réduire le nombre d'indisponibilités programmées pour rechargement, le stock d'énergie rechargé lors des arrêts doit permettre des campagnes suffisamment longues tout en produisant au maximum de la puissance disponible pour le système électrique et tout en restant compatible avec une bonne saisonnalité des arrêts. Même si, sur la plaque européenne les consommations restent moins saisonnalisées qu'en France, il n'en reste pas moins vrai que les tensions (et donc les prix élevés) apparaissent plus systématiquement sur les périodes hivernales : une bonne valorisation du parc de production passe donc nécessairement par un maximum de disponibilité sur ces périodes.

Un allongement des campagnes peut être obtenu, par exemple, soit en augmentant l'enrichissement en U^{235} sans modifier le nombre d'assemblages neufs rechargés soit par une augmentation du nombre d'assemblages neufs rechargés sans modifier l'enrichissement ; dans le premier cas, le taux d'irradiation moyen de décharge du combustible augmente mais l'allongement des campagnes peut être limité par les performances du combustible (corrosion de la gaine, pression interne fin de vie des crayons, etc...) ; dans le second cas, l'irradiation moyenne de décharge du combustible diminue, ce qui peut conduire à une augmentation des dépenses d'approvisionnement.

Valoriser le coût du combustible en augmentant les taux de décharge du combustible : le coût de combustible diminue lorsque le taux de combustion moyen réalisé augmente. A niveau d'enrichissement donné, le taux de combustion moyen est d'autant plus haut que la fraction du cœur renouvelée à chaque arrêt pour rechargement est faible, donc que les arrêts pour rechargement sont fréquents. Compte tenu des enjeux marchés concernant la disponibilité, il n'est pas souhaitable d'aller trop loin dans cette voie (typiquement une fraction de cœur rechargée inférieure au 1/4 de cœur).

Respecter la cohérence et l'équilibre du cycle du combustible français en optimisant les taux de combustion maximaux de décharge du combustible : Les choix relatifs aux gestions combustible, notamment en terme d'irradiation maximale de décharge du combustible, doivent s'inscrire dans une stratégie du cycle du combustible cohérente, reposant sur le traitement du combustible usé et le mono-recyclage en REP des matières récupérables (uranium, plutonium).

Tenir compte des impacts sur la démonstration de sûreté et du bilan des marges : la recherche d'une optimisation poussée de la gestion, s'accompagnant parfois d'exigences de performances maximales pour le produit combustible, doit s'envisager avec prudence. En particulier, une évolution conjuguant simultanément enjeux marchés et enjeux combustibles, avec le respect de la priorité absolue que constitue la sûreté globale du réacteur, nécessite parfois de faire appel à des modifications du produit combustible, à des modifications des conditions d'exploitation du réacteur, à des modifications de conception de la chaudière, ainsi qu'à des méthodes de calcul avancées pour la démonstration de sûreté (qui allonge d'autant les délais de réalisation des études et leur agrément par l'ASN),

Sécuriser l'approvisionnement des produits combustible en préservant la diversification : en cas d'aléas (fabrication, comportement en réacteur, etc...) il est primordial de pouvoir substituer un produit par un autre et préserver ainsi la sécurité d'approvisionnement.

3- Les grandes étapes des évolutions des gestions combustible en France

A la lumière des principes énoncés au paragraphe précédent on distingue deux périodes dans les évolutions des gestions combustibles en France depuis l'adoption, au début des années 90, du principe des gestions standard définissant, à l'échelle d'un palier, le nombre

et l'enrichissement des assemblages combustible, le fractionnement des recharges et les longueurs des campagnes de référence.

3-1 Les années 1990-2000 : valoriser le combustible en augmentant les taux de combustion

Le contexte de l'époque était marqué par le suréquipement du nucléaire, avec un enjeu sur la valorisation de la production nucléaire perçu comme inférieur à l'enjeu sur le coût du combustible nucléaire. Dans ce contexte, les premiers choix effectués, qui concernaient les tranches 900 MW, ont privilégié l'enjeu sur le combustible en ciblant autant que possible des gestions en quart de cœur (choix non accessible techniquement au combustible MOX, étant donnée la faible expérience alors acquise sur le MOX dans le domaine d'irradiation plus élevée associé).

Les taux de combustion ont ainsi été progressivement augmentés au travers des gestions :

- **GARANCE**⁵ sur les 8 tranches du palier REP 900 CPY recevant de l'uranium naturel enrichi (UNE) ou de l'uranium de retraitement enrichi (URE³) : campagnes annuelles, gestion 1/4 de cœur 3,7% avec une augmentation à 43 GWj/t⁶ de l'irradiation moyenne de décharge du combustible,
- GARANCE Hybride MOX sur les 20 tranches du palier REP900 CPY recevant 30% de MOX : campagnes annuelles, assemblages UNE gérés en 1/4 de cœur 3,7% et assemblages MOX gérés en 1/3 de cœur équivalent 3,25%⁴,
- **CYCLADES** (en 2000) sur le palier REP 900 CPO recevant de l'UNE : campagnes allongées, gestion 1/3 de cœur, 4,2%,
- **GEMMES** (en 1999) sur le palier 1300 MWe recevant de l'UNE : campagnes allongées, gestion 1/3 de cœur, 4%.
- sur le palier 1450Mwe : campagnes annuelles, gestion ¼ de cœur, 3,4%, avec une irradiation moyenne de décharge à 41 GWj/t

Les durées de 12 et 18 mois des campagnes des gestions du parc électro-nucléaire français, plus courtes que les longueurs rencontrées aux USA, mais comparables aux pratiques européennes, permettaient de concentrer les arrêts des tranches en cycle

⁵ Le détail des sigles employés pour les projets d'évolution de gestion est fourni dans le glossaire en fin d'article.

³ les réacteurs 3 et 4 de Cruas ont été réservés comme consommateurs potentiels d'URT, via des assemblages à l'URT enrichi (URE), avec la gestion GARANCE annuelle 1/4 de cœur équivalent 3,7 %. Compte tenu du prix relativement faible de l'uranium naturel pendant cette période des années 90, et étant donné que la qualité de l'URT ne se dégrade pas avec la durée d'entreposage, l'incitation à recycler l'URT était moindre qu'aujourd'hui.

⁶ En pratique, l'emploi de la prolongation de cycle conduit plutôt à une irradiation moyenne de décharge de ~ 45 GWj/t en gestion GARANCE ; la répartition de puissance variable dans le cœur, en fonction du plan de chargement et de la réactivité des assemblages, conduit à un écart de l'ordre de 10% entre l'irradiation moyenne et l'irradiation maximale assemblage, écart variable selon les gestions.

⁴ la fabrication du combustible MOX, a été assurée d'abord par Belgonucléaire puis par l'usine MELOX à partir de 1995, avec une teneur moyenne en Pu adaptée pour assurer l'équivalence énergétique du MOX avec de l'UO₂ enrichi à 3,25% en U²³⁵. L'évolution des caractéristiques du combustible usé traité à La Hague (irradiation moyenne de décharge plus élevée conduisant à une moindre qualité isotopique du Pu) a conduit en 1999 à augmenter la teneur en Pu du MOX de 5,3% à 7,08% pour maintenir l'équivalence énergétique visée (gestion GARANCE hybride MOX NT, pour « Nouvelle Teneur »).

annuel sur l'été, d'utiliser l'alternance printemps/automne pour placer les arrêts des tranches gérées en campagnes allongées et ainsi de réduire au maximum le nombre d'arrêts programmés au cœur de l'hiver.

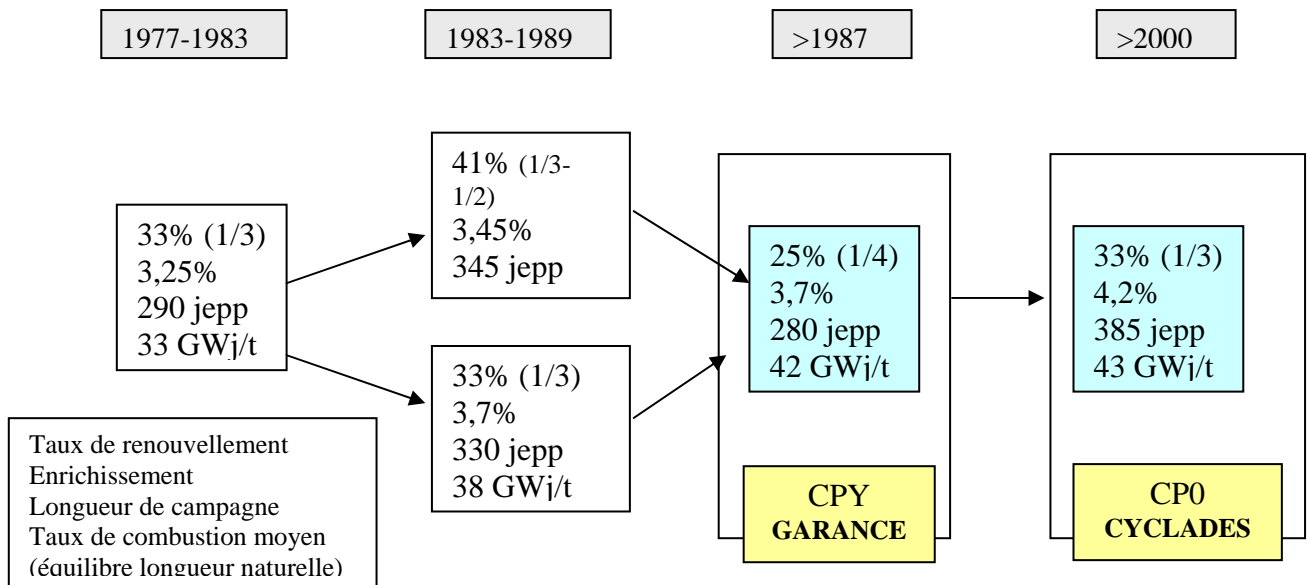


Figure 1 : Evolutions des gestions UNE du Palier REP 900 MWe

3-2 Les années 2000-2009 : tenir compte de la résorption du suréquipement nucléaire, de l'ouverture des marchés et valoriser la production et le combustible

Depuis les mises en œuvre de GEMMES et CYCLADES, la résorption du suréquipement s'est traduite par une évolution à la baisse des besoins de suivi de charge. Comme, par ailleurs, les durées des arrêts ont également été réduites, il apparaît que les longueurs de campagnes des gestions mises en œuvre dans les années 90 ne cessent de se réduire, à nombre de Jepp constants. Ce phénomène met à mal l'optimisation de la planification des arrêts en fonction de la saisonnalité de la demande.

Par ailleurs, en 2001, la perspective de voir apparaître sur le marché des combustibles présentant des performances accrues conduit à valoriser le combustible en visant des taux de décharge de 60 GWj/t.

Ces éléments ont été à l'origine des choix des 3 gestions décidées en 2001 et 2002 :

- **Parité MOX** (autorisée en 2007) : Le MOX est géré de façon équivalente à celle de l'UNE : gestion 1/4 de cœur, équivalent 3,7%, campagnes annuelles. Cette évolution permet de répondre simultanément à des enjeux sur le coût du combustible nucléaire et sur la mise en cohérence du flux de traitement du combustible utilisé avec le flux de recyclage du Pu (du fait de l'équivalence 3,7% qui nécessite d'augmenter la teneur moyenne en Pu des assemblages MOX).

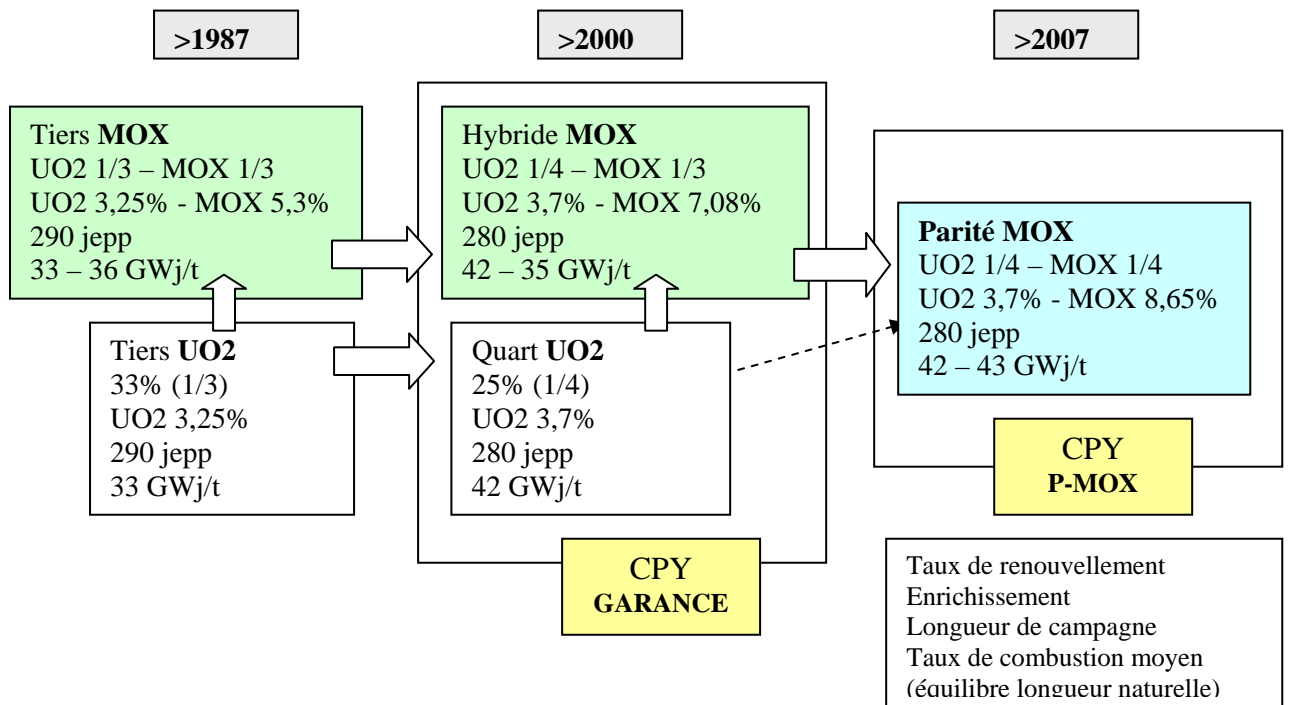


Figure 2 : Evolution des gestions MOX du palier REP 900 MWe

- **ALCADE** (autorisée en 2007) : pour le palier N4, passage de la gestion 1/4 de cœur, 3,4% (campagnes de 11 mois pénalisantes vis à vis de l'exploitation) à une gestion 1/3 de cœur, 4% (campagnes longues -380Jepp)

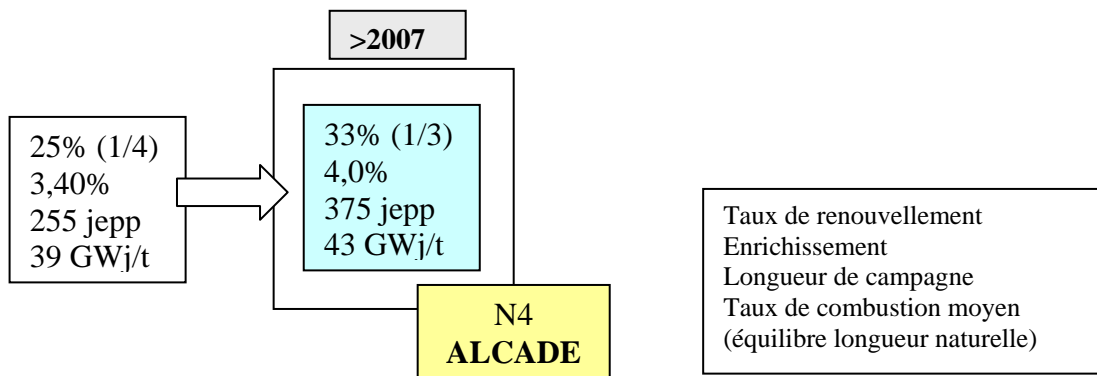


Figure 3 : Evolution des gestions du palier N4

- **GALICE** (autorisation attendue en 2009) : pour le palier 1300 MW, passage de la gestion 1/3 de cœur, 4% GEMMES à une gestion 1/3-1/4 4,5%, associée à une augmentation de l'irradiation moyenne de décharge de 43 GWj/t à 55 GWj/t (enjeu sur le coût du combustible nucléaire), et nécessitant une autorisation d'augmentation de l'irradiation maximale assemblage de 52 GWj/t à 62 GWj/t ; la gestion GALICE correspond également à un allongement des campagnes de l'ordre d'une vingtaine de Jepp.

4- Les perspectives : les années 2009- ?

Aujourd'hui il apparaît préférable de valoriser le productible nucléaire au détriment d'une recherche de performances combustibles supplémentaires en terme de taux de combustion.

Dans ce contexte, une augmentation de puissance chaudière est envisagée sur le palier 1300MWe, associée à une gestion 1/2-1/3 de cœur, 4%, campagnes allongées, taux de combustion maximal de l'ordre de 53 GWj/t

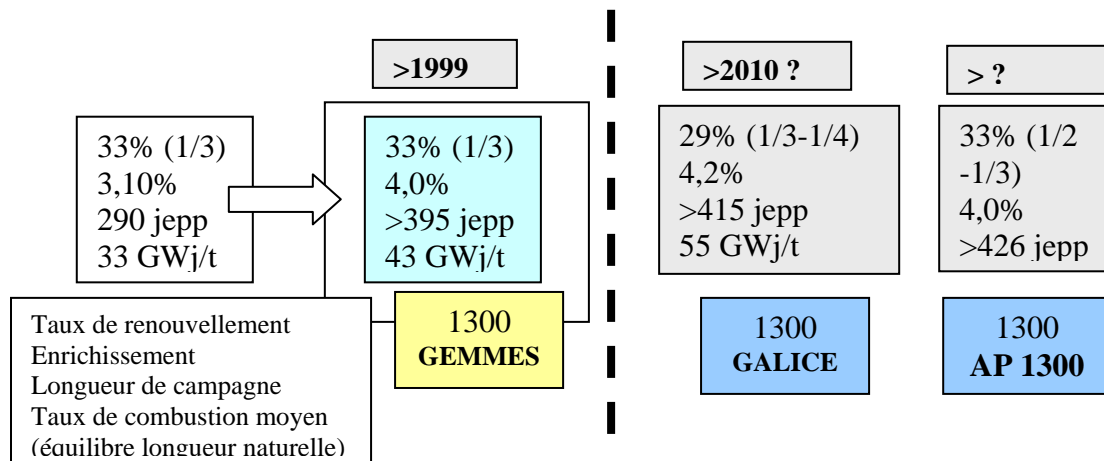


Figure 4 : Evolution des gestions acquises et envisagées sur le palier REP 1300MWe

Les projets industriels en cours et à venir sont dictés par la volonté de contribuer en toute sécurité à l'amélioration des marges physiques dans un contexte offre/demande tendu et à l'amélioration des performances d'exploitation (favoriser le productible nucléaire, être disponible aux moments où la demande est la plus forte), tout en maintenant la qualité isotopique des produits combustible recyclés MOX/ URE) et en garantissant la sécurité des approvisionnements du combustible (diversification des approvisionnements, notamment en cas d'aléas).

En lien avec ce dernier point, il est prévu de marquer une pause dans l'amélioration des performances du combustible au bénéfice d'une amélioration de la robustesse (résistance aux aléas) et de la fiabilité (garantir un comportement conforme aux spécifications). Cette orientation est dictée par les problèmes combustible récurrents rencontrés sur le Parc français et international⁵ (voir paragraphe suivant).

5- Le retour d'expérience et les évolutions du combustible

La mise en œuvre des produits performants s'est révélée plus difficile que prévue. Un combustible est réputé performant lorsqu'il est capable d'accommoder sans perte de marge les critères limitatifs associés aux forts taux de combustion. Les principaux

⁵ Aux USA, la même problématique de fiabilité du combustible en fonctionnement normal a poussé les exploitants nucléaires à lancer, sous l'égide de l'INPO et de l'EPRI, une initiative appelée « zero by ten » visant à lancer une série d'actions pouvant contribuer à atteindre le zéro défaut en 2010. Les actions concernent aussi bien la fabrication, la conception, la démonstration de sûreté, la chimie du primaire que la sensibilisation des exploitants aux problèmes des corps migrants.

critères limitatifs impactés par l'extension des taux de combustion sont ceux liés à l'APRP (Accident de Perte de Réfrigérant Primaire) et au RIA (Reactivity Insertion Accident en cas d'éjection d'une grappe de contrôle par exemple). Pour vérifier les critères associés à ces deux accidents de classe 4, il faut un gainage qui se corrode et s'hydrure peu en réacteur.

De fait le produit combustible développé à cet effet est effectivement performant mais, comme cela arrive pour les nouvelles conceptions, a révélé quelques « problèmes de jeunesse » qui se sont traduits par un certain manque de fiabilité et de robustesse en fonctionnement normal.

De manière générale, l'analyse du retour d'expérience en réacteur depuis 2001 a conduit aux constats suivants :

- Les pertes d'étanchéité par vibration-usure de crayons (fretting) observées à partir de 2001 lors du passage des campagnes annuelles aux campagnes allongées de la gestion GEMMES sur des conceptions AREVA ont été mitigées grâce la mise en œuvre d'une évolution de conception améliorant le maintien du crayon qui donne aujourd'hui satisfaction,
- Les déformations excessives d'assemblages sous irradiation, qui avaient conduit à des modifications de conception mises en œuvre à partir de 1998 pour éviter des problèmes de temps de chute de grappes, ont permis d'améliorer significativement la situation mais pas suffisamment pour éliminer des difficultés de manutention en réacteur, surtout sur les tranches 1300 MWe et N4 dont les assemblages (14ft) sont plus élancés que dans les tranches 900 Mwe (12ft). On déplore des assemblages difficiles à extraire et des arrachages de grilles. Des évolutions de conception seront prochainement mises en œuvre et devraient contribuer à remédier à ces difficultés de manutention,
- Les problèmes successifs de fiabilité du gainage M5 d'AREVA ont freiné son déploiement. Parmi les problèmes rencontrés on peut citer les non fiabilités de certaines soudures tubes/bouchon et les pertes d'étanchéité générées par la vibration de petits corps migrants issus du procédé de crayonnage : toutes ces difficultés ont fait l'objet d'un programme intensif de R&D destiné à caractériser finement les origines des phénomènes observés et à proposer des modifications correctives. La confirmation par le retour d'expérience de l'efficacité des mesures correctives prises est attendue d'ici fin 2009.

L'ensemble de ces difficultés illustre l'importance de bien qualifier les conceptions combustible vis-à-vis des sollicitations en réacteur. L'attention doit se porter sur le crayon) mais aussi sur la structure des assemblages combustible. Il est donc prévu de marquer une pause sur le développement des produits à performances améliorées et de concentrer les efforts de R&D sur l'amélioration de la fiabilité et la robustesse des produits combustible : extension de la base de données de qualification des caractéristiques des matériaux, essais de qualification en boucle sur des maquettes d'assemblage à échelle 1, amélioration de la modélisation, rénovation des méthodes de conception du maintien axial des assemblages en réacteur, etc...

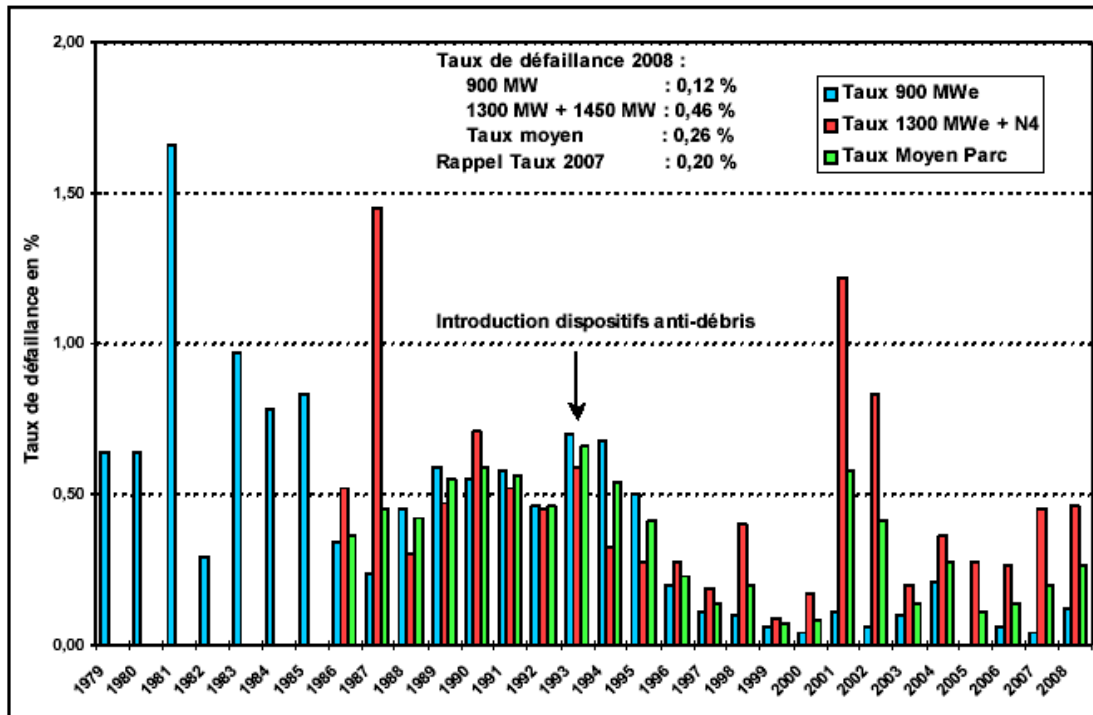


Figure 5 : Taux de défaillance sur les REP EDF

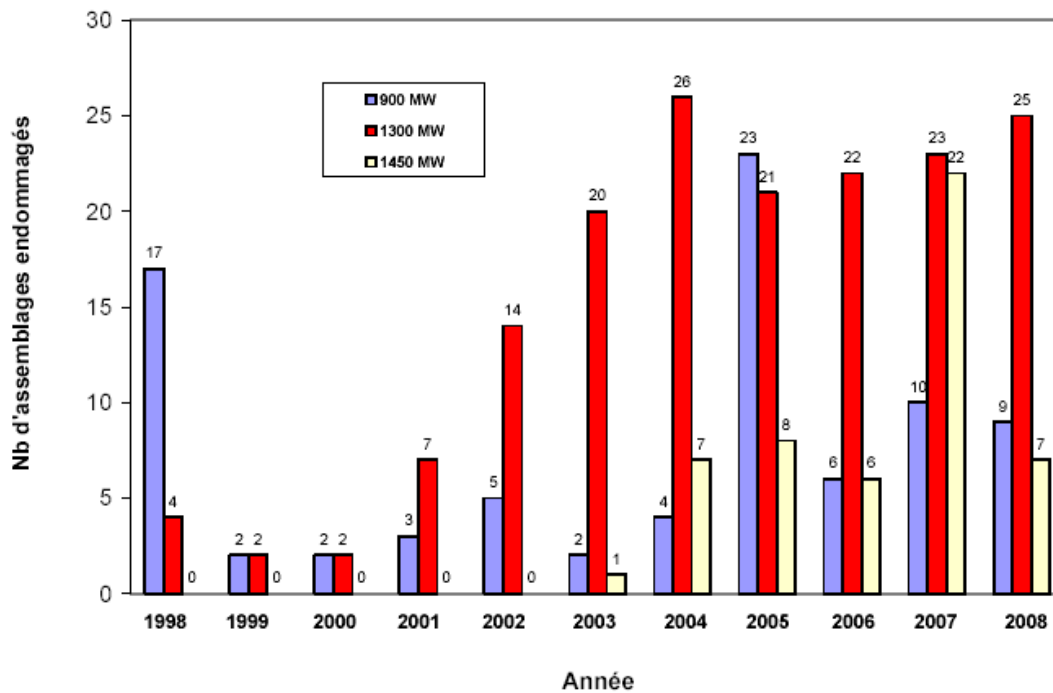


Figure 6 : Evolutions des endommagements d'assemblages combustible

6- Conclusion

Les orientations prises sur les gestions des cœurs, obéissent à des principes structurants : cohérence du cycle, contribution à l'amélioration des performances d'exploitation, sécurité-maîtrise des risques et des approvisionnements, tout en reposant avant tout sur le bilan complet des marges de sûreté des réacteurs .

Pour la prochaine décennie, ces orientations (augmentation de puissance 1300 MW notamment) correspondent à un arbitrage en faveur de la valorisation du combustible nucléaire, au détriment d'une recherche de performances combustibles supplémentaires en terme de taux de combustion, et tiennent compte des attentes fortes exprimées sur le combustible en exploitation dans le cadre des gestions actuelles (fiabilité et robustesse).

Enfin on ne peut conclure sans envisager l'avenir un peu plus lointain que la fin de la décennie. En effet, même si l'on s'oriente vers une pause dans le développement de nouveaux combustibles plus performants, il serait prudent de préparer la nouvelle génération de combustibles : l'expérience montre que plus de 20 ans sont nécessaires pour mettre au point et mettre en œuvre un produit « évolutionnaire ». Il est donc primordial de penser dès aujourd'hui aux futurs concepts de combustibles envisagés pour les années 2030-2040. Ces produits innovants pourraient, par exemple, permettre de restaurer des marges de sûreté (pression interne fin de vie), autoriseraient des augmentations de puissance plus conséquentes (par une capacité de refroidissement accrue), une plus grande souplesse d'exploitation et de fonctionnement (résistance à la rupture, etc..). Pour cela il faut engager, d'ici la fin de la décennie, des irradiations expérimentales instrumentées sur des combustibles prototypes (dans RJH ?).

Glossaire

GARANCE : **G**estion **A**vancée des **REP** avec **A**daptation aux **N**ouveaux **C**œurs **E**nvisagée.

Dans l'intitulé « GARANCE hybride MOX » le terme hybride vient souligner le fait que des fractionnements distincts sont mis en œuvre pour le combustible UNE (quart de cœur : les assemblages restent 4 cycles annuels en réacteur avant d'être déchargés) et le combustible MOX (tiers de cœur : les assemblages restent 3 cycles annuels en réacteur).

GARANCE hybride MOX **NT** = GARANCE hybride MOX **N**ouvelle **T**eneur

GEMMES : **G**estion des **E**volutions et des **M**odifications des **M**odes d'**E**xploitation en **S**ûreté

CYCLADES : **CY**cle **C**ombustible **L**ong pour **A**ugmenter la **D**isponibilité par **E**valuation de **S**ûreté

ALCADE : **A**llongement des **C**ampagnes pour **A**méliorer **D**urablement l'**E**xploitation

GALICE : **G**estion avec **A**ugmentation **L**imitée de l'Irradiation du **C**ombustible en **E**xploitation