

L'échéance des 40 ans du parc nucléaire français

Processus de décision, options de renforcement et coûts associés
à une éventuelle prolongation d'exploitation
au delà de 40 ans des réacteurs d'EDF

Yves Marignac

Consultant international sur le nucléaire et l'énergie, Directeur de **WISE-Paris**
yves.marignac@wise-paris.org

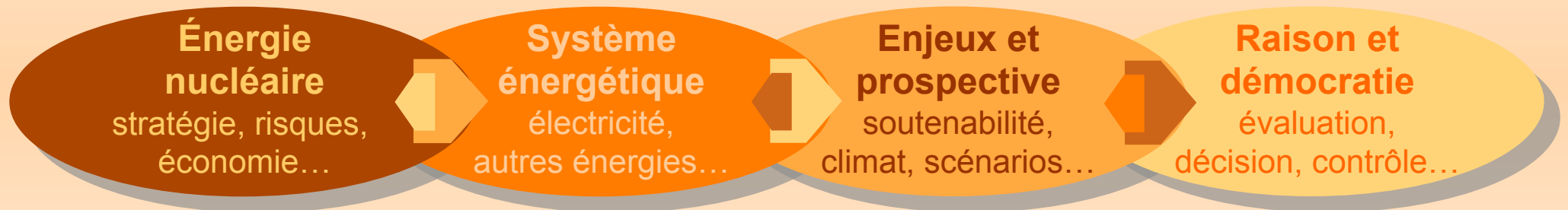
Rapport commandité par Greenpeace France

Présentation au GT ANCCLI-IRSN VD4-900 MW

22 juin 2016

WISE-Paris : le pari de l'expertise indépendante.....

- Une **agence indépendante** d'information, étude, conseil créée en 1983
- Un statut associatif, à but non lucratif pour l'**intérêt général**
- Un **service** aux acteurs institutionnels, académiques, associatifs, médias...
- Un **champ d'action** vaste mais intrinsèquement cohérent



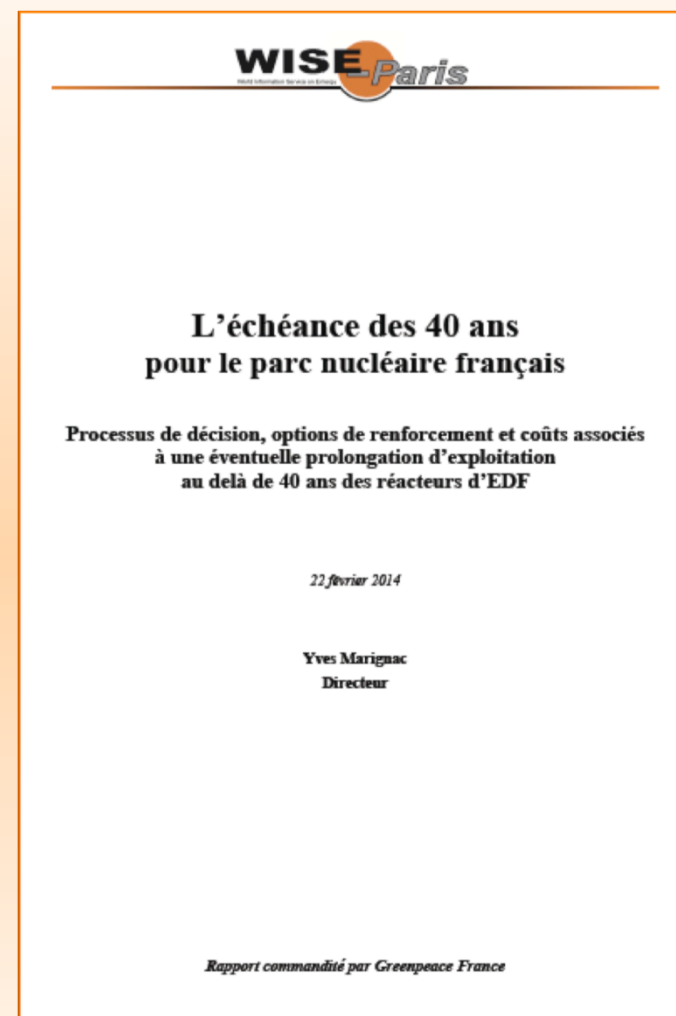
- Une analyse **systemique** des enjeux, une approche internationale
- Une expertise non institutionnelle mais **professionnalisée**
- Une **pensée critique** mais un positionnement non militant
- Un engagement fort dans le développement de l'**expertise pluraliste**

Plan de la présentation

1) Contenu du rapport

Introduction	Objectif de l'étude Méthode et contenu du rapport
État des lieux	Caractéristiques du parc nucléaire Âge technique et réglementaire Sûreté, vieillissement et post-Fukushima
Enjeux	Exigences de sûreté Processus de décision Calendrier
Scénarios	Construction de scénarios contrastés Caractérisation technique des scénarios Estimation des coûts associés
Conclusion	Constats et recommandations

2) Quelques éléments de réflexion sur les suites



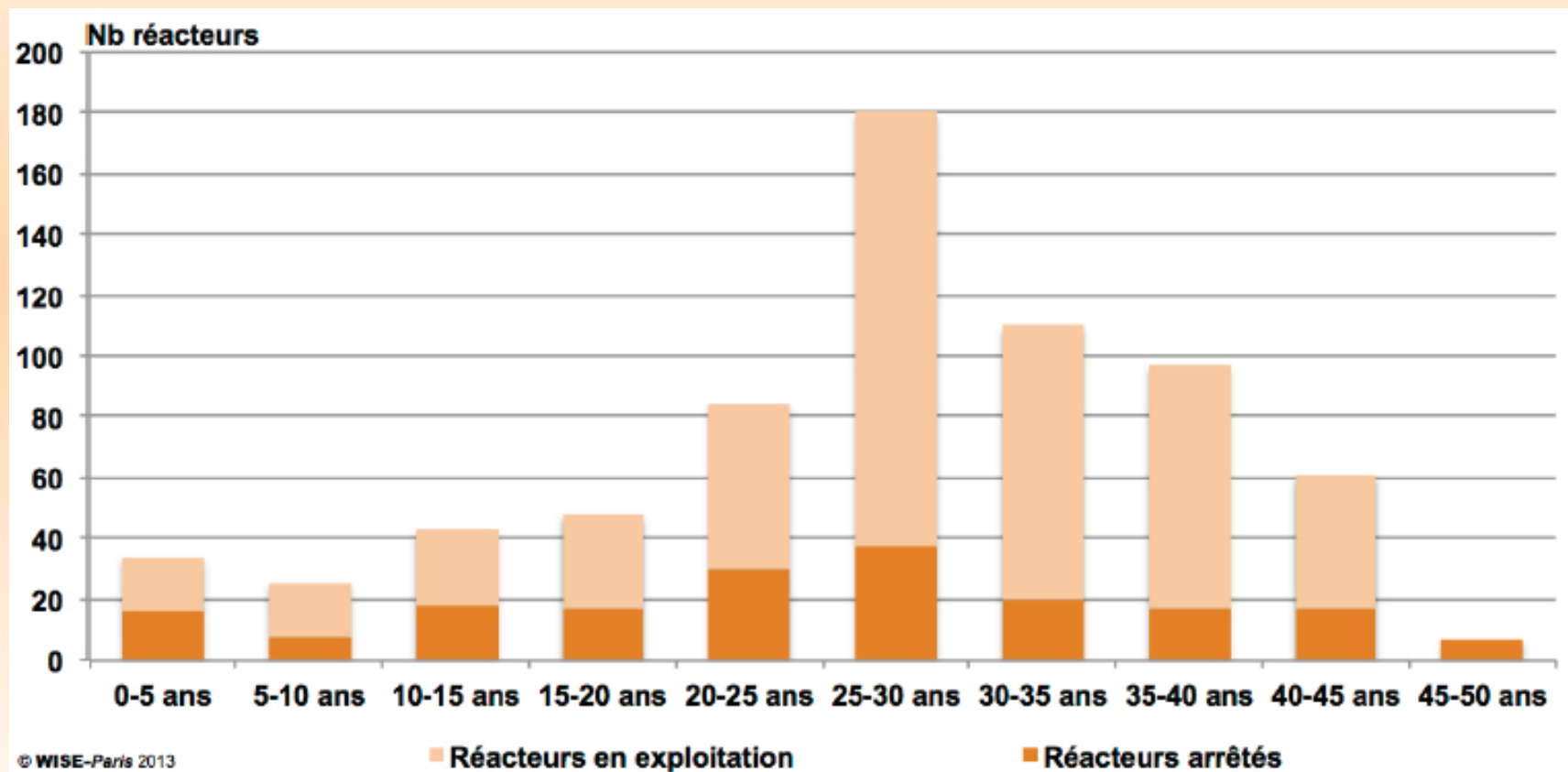
Un contexte d'urgence sur le dossier

- **L'échéance des 40 ans des réacteurs approche massivement**
- **EDF a annoncé dès 2008 une stratégie de prolongation au delà de 40 ans poussée depuis avec les annonces du « grand carénage »**
- **Des alertes sont lancées sur le choix implicite (Cour des Comptes, 2012) de prolongations qui ne sont pas acquises (ASN, 2013)**
- **L'engagement présidentiel de ramener le nucléaire à 50 % à 2025 ne s'accompagne d'aucune trajectoire claire de gestion du parc nucléaire**
- **L'incertitude règne sur les exigences et les coûts d'une prolongation**
- **Il y a urgence à poser les bases d'un débat éclairé**

Démarche proposée dans l'étude

- Rappel de la **problématique PLEX** et de ses enjeux financiers
- Examen des **caractéristiques du parc** français sur le plan réglementaire et technique par rapport à l'échéance des 40 ans
- Discussion des **enjeux de sûreté** attachés au vieillissement et aux réévaluations de sûreté post-Fukushima
- Analyse des **renforcements déjà engagés** ou prévus dans le cadre des prescriptions de l'Autorité de sûreté nucléaire
- Réflexion prospective sur les **scénarios** de renforcement envisageables
- Déclinaison technique et **évaluation économique** de ces scénarios, pour mettre en évidence les enjeux

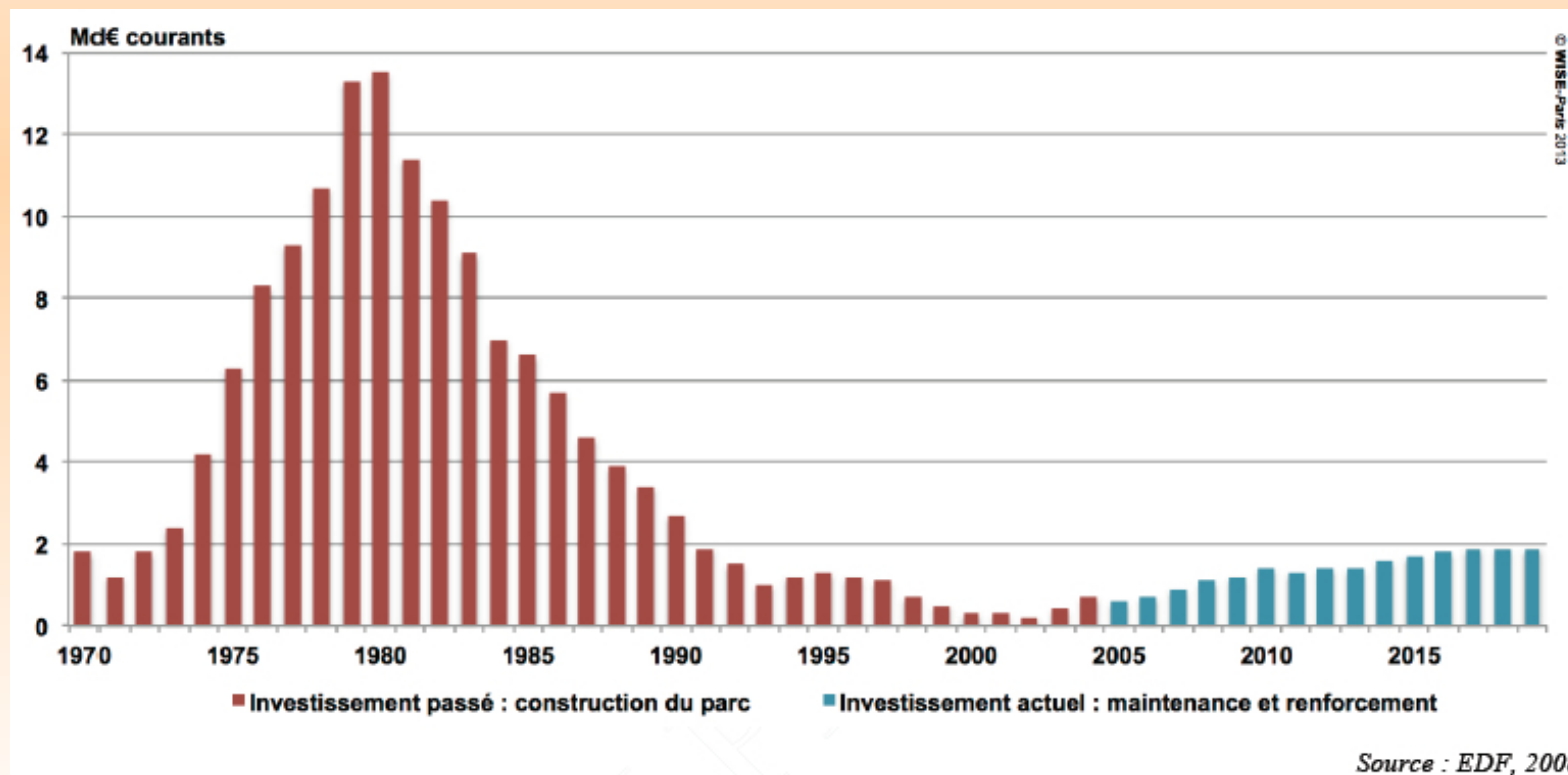
- Des stratégies « PLEX » (plant life extension) sont visées par de nombreux opérateurs
- Le retour d'expérience reste extrêmement faible et la rentabilité n'est pas avérée (exemple US)



Source : d'après Mycle Schneider Consulting / EnerWebWatch, basé sur IAEA-PRIS, 2013

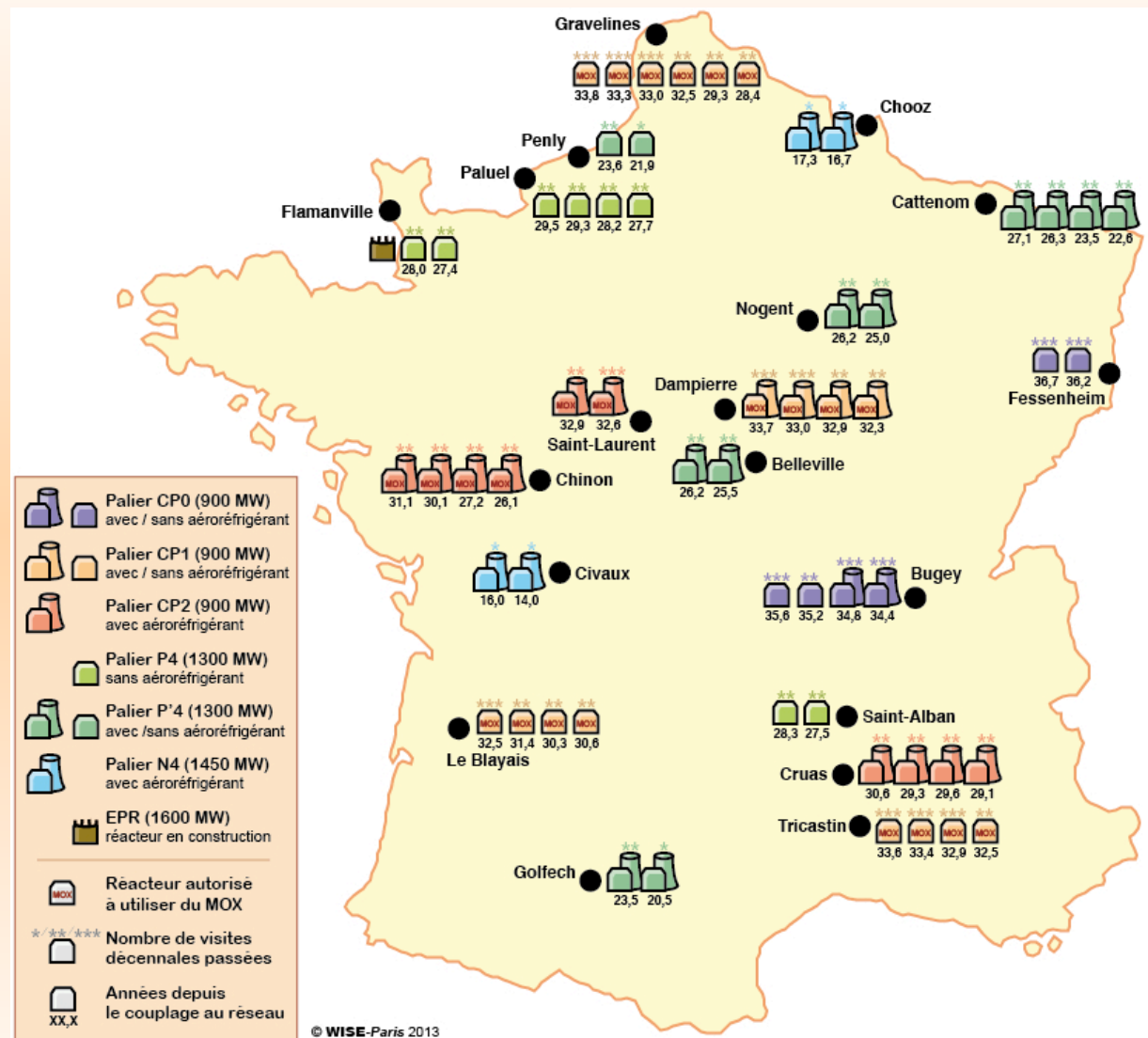
2008 : bascule stratégique

- **Investors' Day** (City de Londres, décembre 2008) : report du remplacement du parc par des EPR au profit d'une prolongation des réacteurs existants
- Base 400 M€₂₀₀₈ / tranche de 900 MWe soit 1.200 M€₂₀₀₈ économisés par rapport à la construction d'un EPR (3.600 M€₂₀₀₈ pour 1.600 MWe)



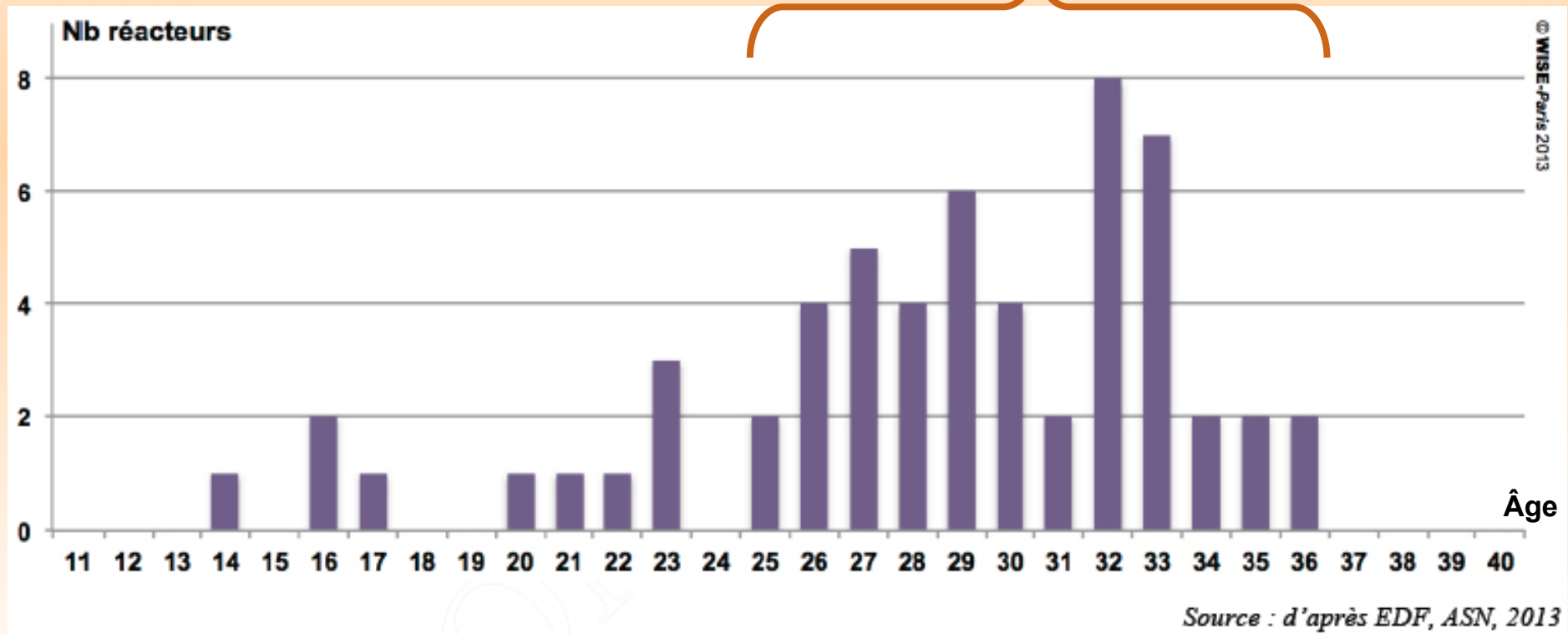
Un dossier global

- 58 réacteurs sur 19 sites
- Un seul exploitant EDF
- Un parc standardisé (une filière, 6 paliers) :
 - 34 unités / 3 paliers 900 MWe
 - 20 unités / 2 paliers 1.300 MWe
 - 4 unités / 1 palier 1.450 MWe (plus l'EPR en construction)
- Un traitement générique de la prolongation
- Donc un risque générique sur la stratégie industrielle



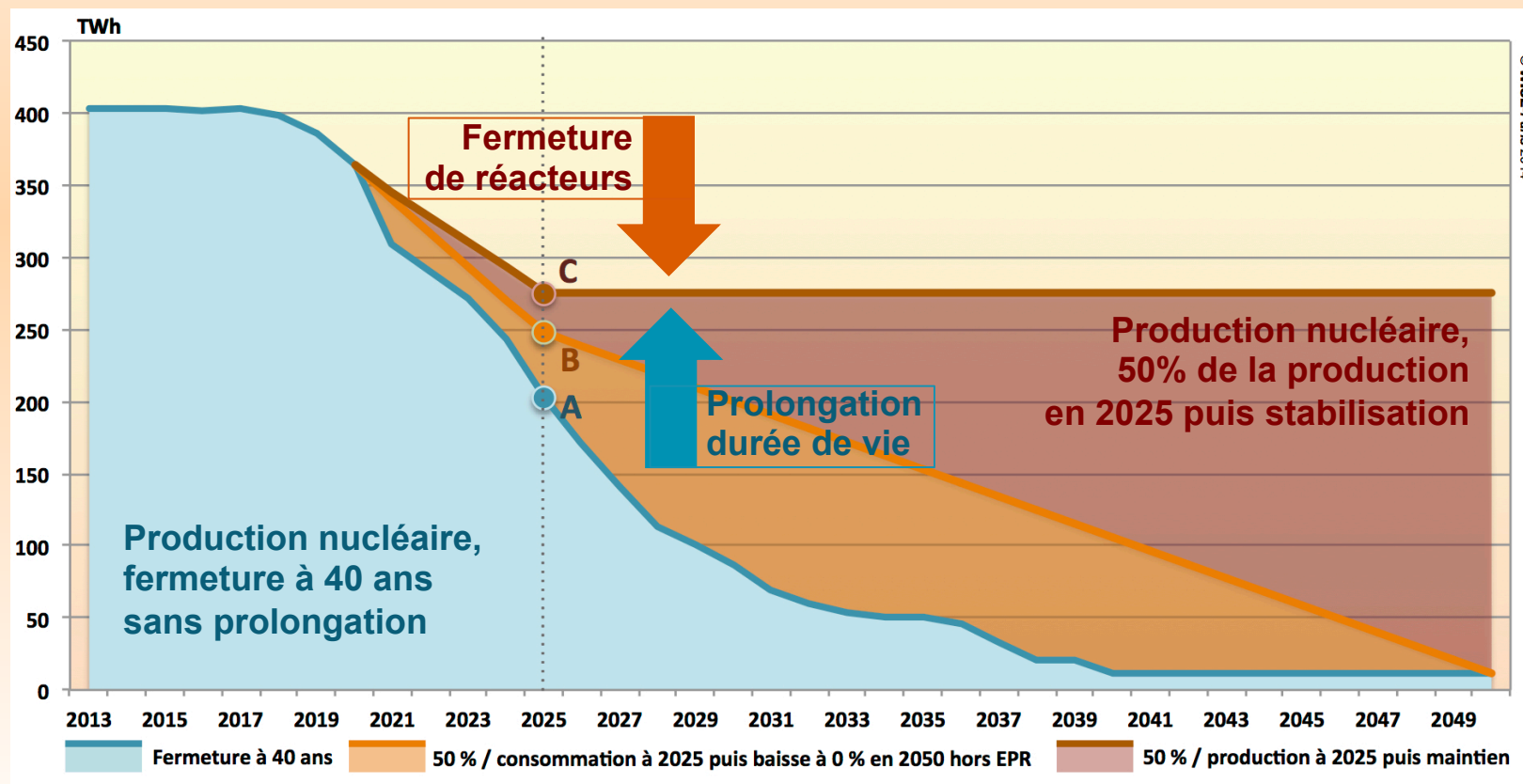
Une pyramide des âges critique

- **29 ans de fonctionnement en moyenne**
(au 31 décembre 2013, depuis le couplage au réseau)
- **Un effet « falaise » : 80 % des réacteurs mis en service en 10 ans (1977-1987)**



Une trajectoire très tendue

- Nécessité d'articuler les décisions par réacteur avec la trajectoire énergétique
- En cas de fermeture à 40 ans, chute de moitié de la production en huit ans
- Un gap de capacité qui apparaît dès 2019 et augmente rapidement



La gestion réglementaire de l'âge

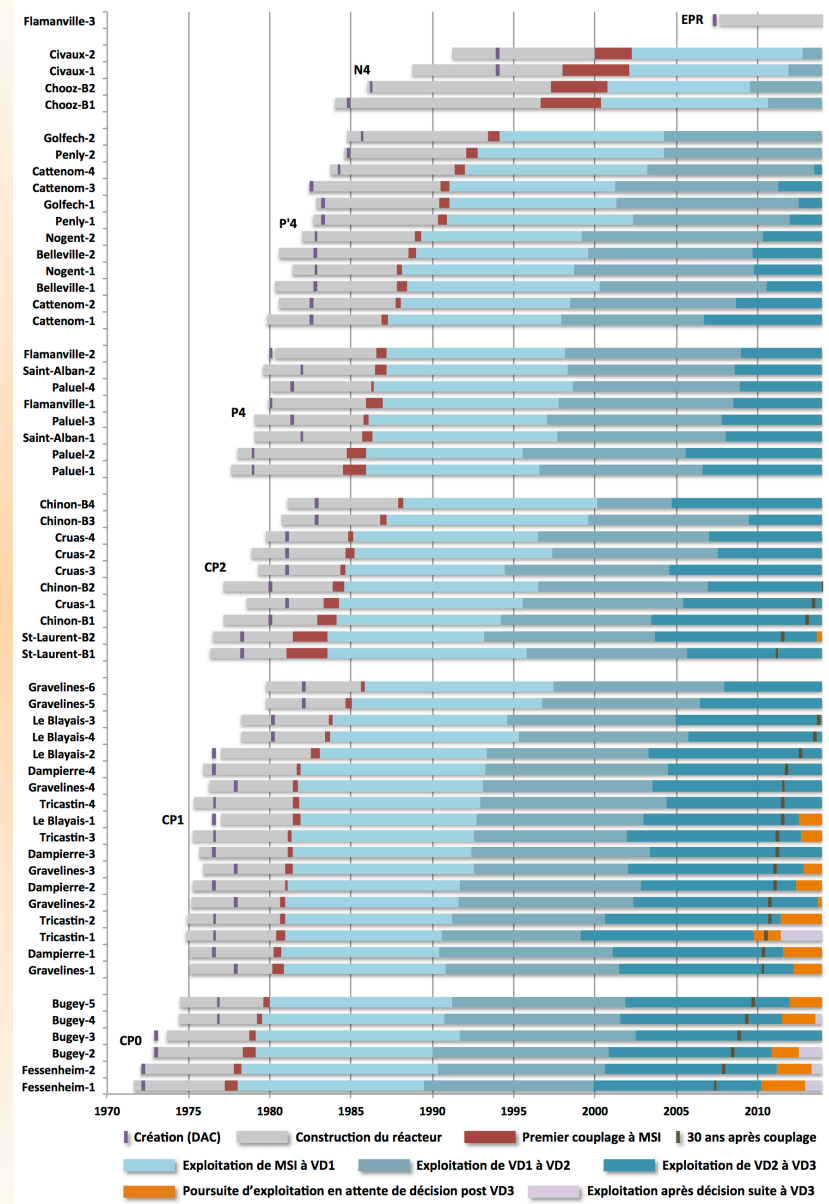
- Une gestion par réexamens décennaux applicables réacteur par réacteur avec une période décennale fluctuante

- Un glissement de l'âge réglementaire par rapport à l'âge technique

Au 31 décembre 2013 :

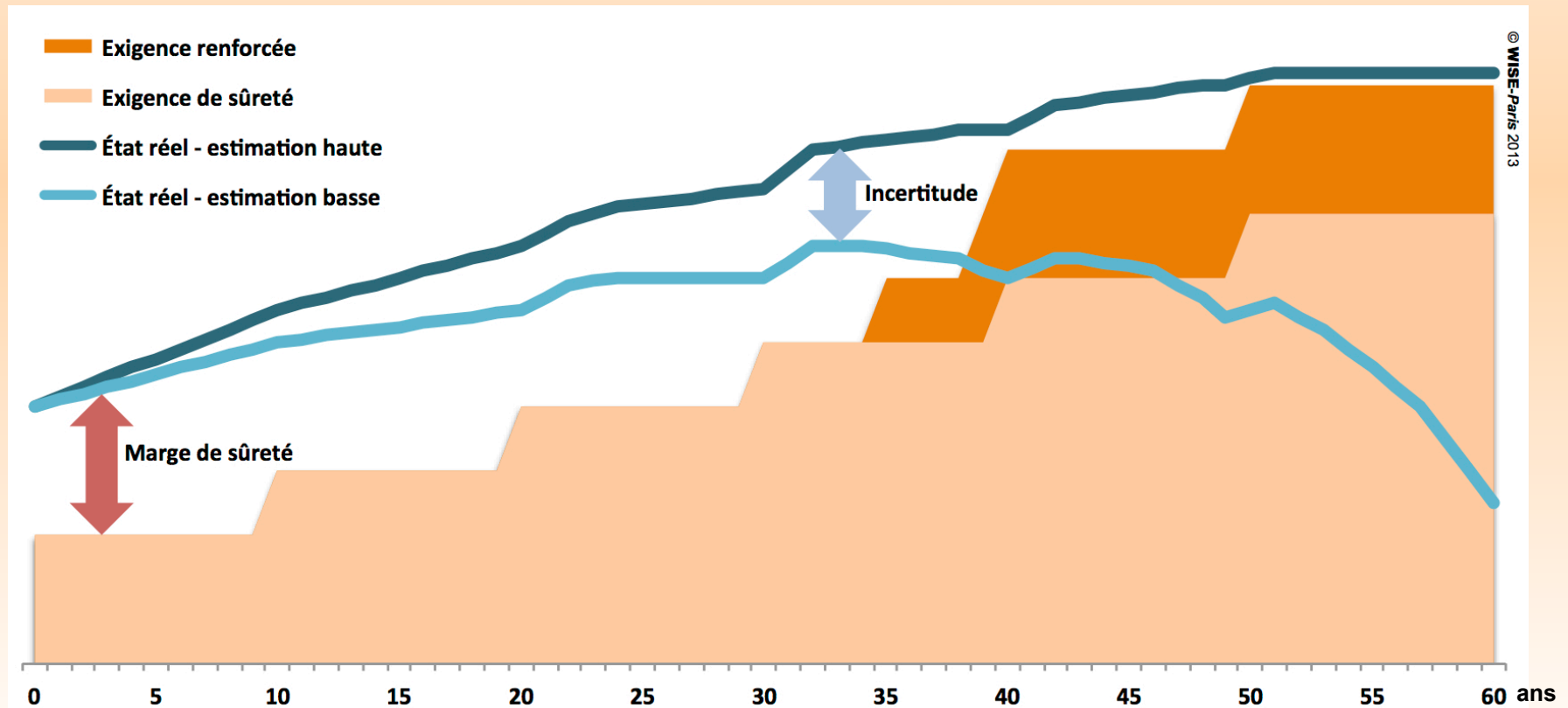
5 réacteurs de plus de 30 ans sur 27 ont passé l'échéance réglementaire des 30 ans (en moyenne à 34 ans)

- **Nécessité de définition claire du « 40 ans »**
 Pas de définition réglementaire en l'état
 - ni calendaire (par rapport à un point de départ)
 - ni technique (par rapport à un seuil d'usure)



Une problématique triple

- Compenser la dégradation liée au vieillissement par des renforcements
- Relever les exigences de sûreté (post-Fukushima)
- Gérer une incertitude croissante entre l'état théorique et l'état réel



Position ASN : se rapprocher des exigences de sûreté de nouveaux réacteurs (EPR)

Enjeux multiples

- **limites irréductibles du dimensionnement initial**
 - conçu pour 40 ans au plus
 - hors accidents graves (avant TMI)
- **problèmes inéluctables de vieillissement**
 - gros composants
 - diffus (tuyauteries, câbles...)
- **marges, incertitudes et conformité**
 - risque croissant d'écart entre état supposé et état réel
- **réévaluation post-Fukushima de la défense en profondeur**
 - réacteurs et piscines

Nombreuses prescriptions par l'Autorité de sûreté nucléaire

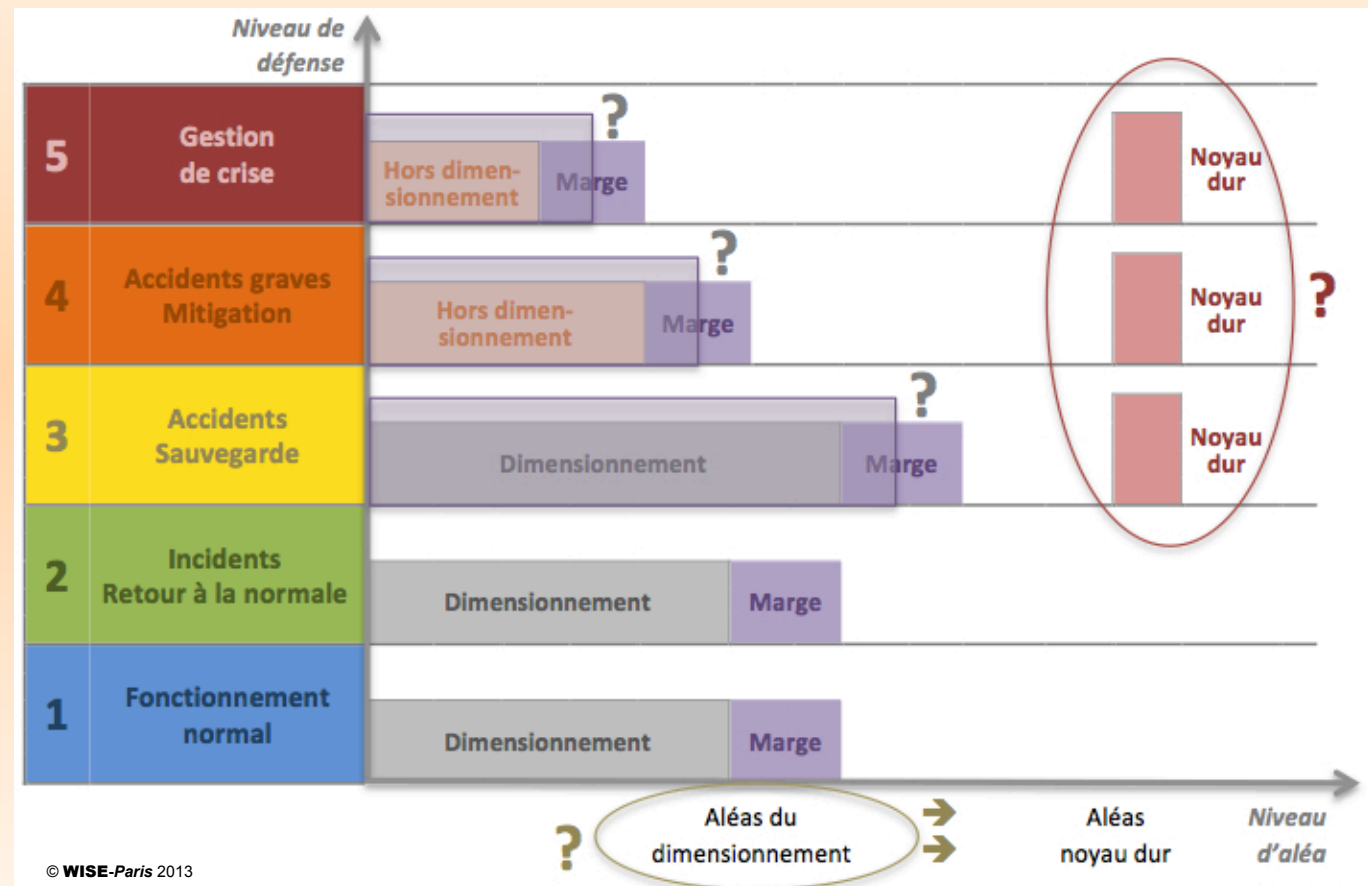
- **en cours** (VD3, ECS, ND...)
 - prescriptions formulées par réacteur
 - mais une grande partie n'est pas encore mise en œuvre
- **à venir** (VD4)
 - premier avis d'orientation fin 2015
 - avis générique vers 2019
 - prescriptions par réacteur ensuite

Incertitude sur les exigences détaillées et sur la faisabilité de solutions techniques

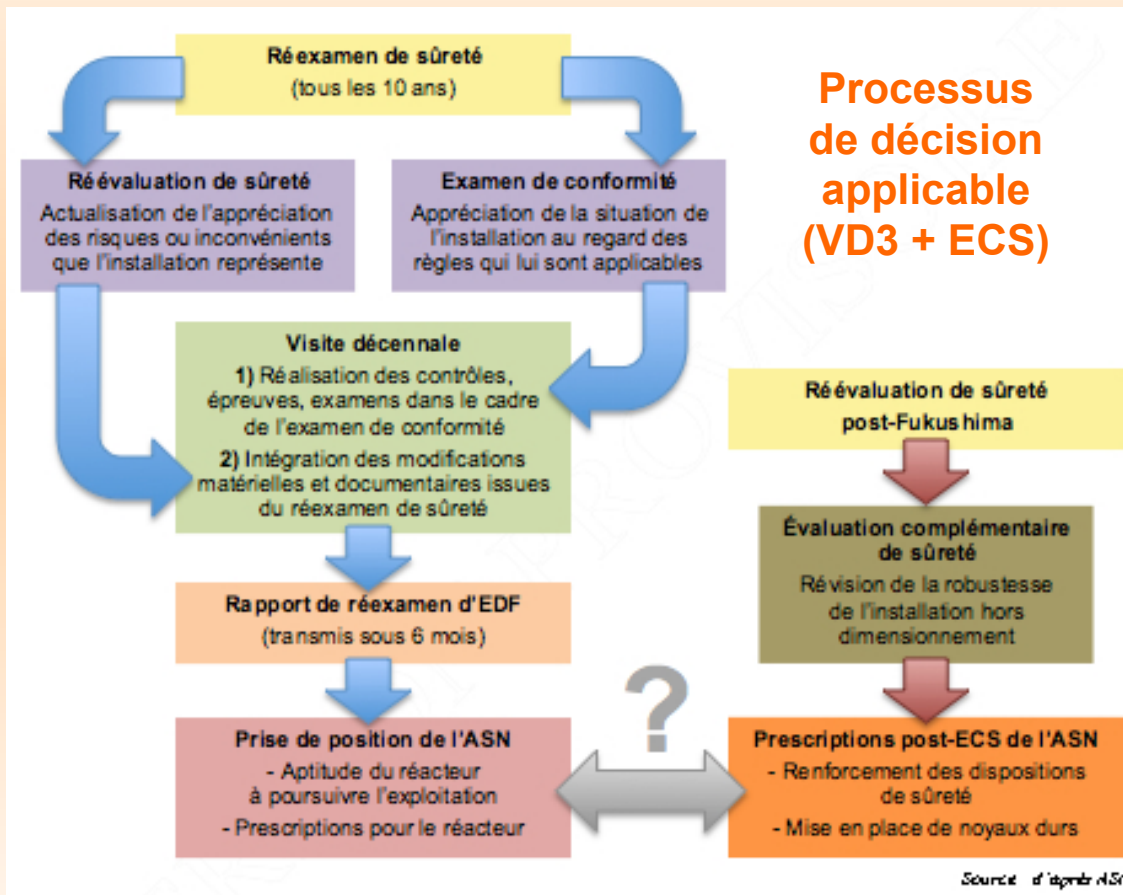
Position ASN : se rapprocher des exigences de sûreté de nouveaux réacteurs (EPR)

Questions ouvertes

- **Aléas** :
niveau de protection contre les agressions
- **Limites du dimensionnement**
- **Critères sur les marges**
- **Noyau dur** :
périmètre, niveau d'indépendance, robustesse
- **Alignement piscines / réacteur**



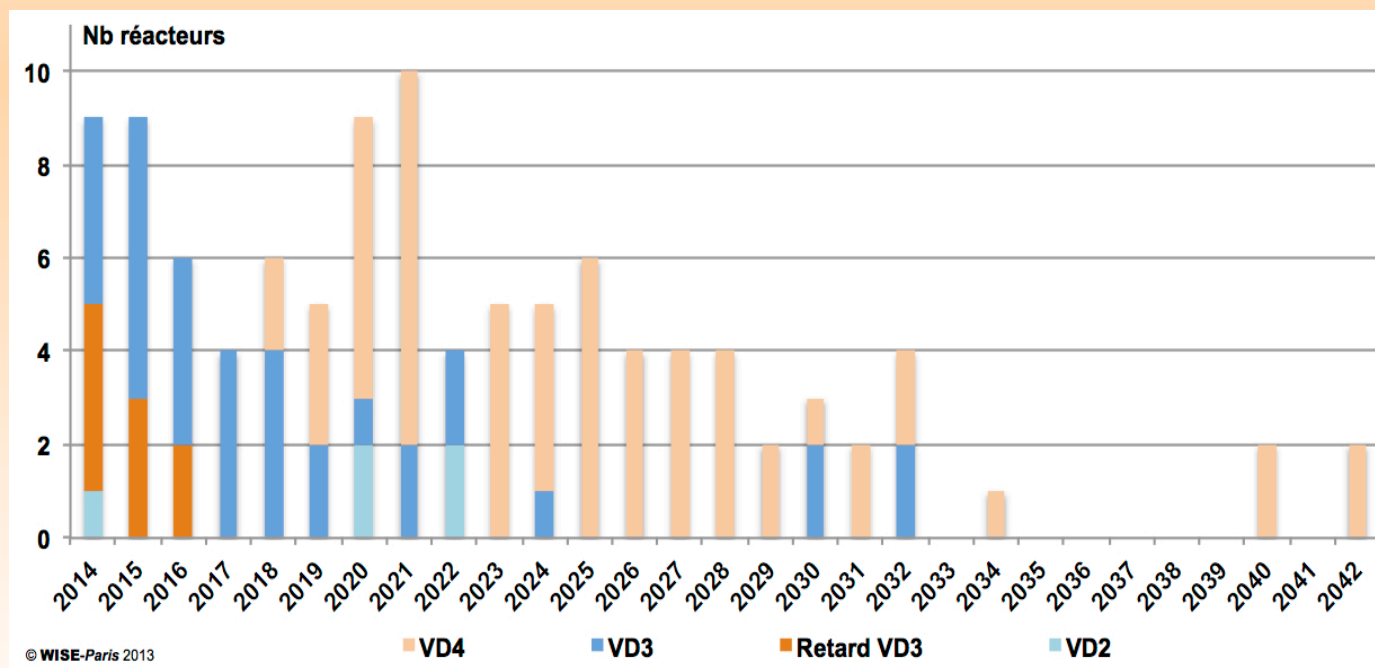
Principes constitutionnels : accès à l'information et participation non respectés dans le processus actuel (avant application loi TECV)



- **Le post-40 ans, modification « notable » (TSN)**
 - critère cuve,
 - critère enceinte,
 - redimensionnement,
 - marges, etc.
- **Prolongation assimilable à un Décret d'autorisation de création (DAC)**
- **Impliquerait notamment une enquête publique**
- **Plus de 300 M€ de dépense implique saisine de la CNDP**

Délais des décisions

- **Risque de glissement calendaire** (glissement visible sur VD3)
- **Temps long de déploiement** (20 ans pour VD2 -> VD3 sur paliers 900 MWe)
- **Sujets lourds à instruire – avis générique ASN prévu en 2018-2019**
- **Enjeu du pic de charge en regard des moyens de l'ASN**
- **Problème du phasage des décisions et des actions (renforcements)**



Calendrier
prévisionnel des
visites décennales

Un déploiement très lourd en regard des capacités industrielles

- **Incertitude sur les délais pour valider des solutions techniques**
- **Un rythme proche de 5 réacteurs mis en chantier par an**
en moyenne, renouvelé par roulement pendant plus de 10 ans
- **Une charge équivalente à ~ 5 constructions de réacteurs**
pour un temps de chantier “40 ans” moyen d’un an par réacteur
- **Additionnée aux VD2 et VD3 restant à réaliser**
- **Interrogations sur la capacité industrielle d’EDF à maîtriser le programme**
y compris sur son tissu de fournisseurs et sous-traitants
 - difficulté avec la maintenance actuelle relevée par l’ASN dans son rapport annuel 2013
 - dégradation pointée en interne par le rapport 2013 de l’Inspecteur général de la sûreté d’EDF (exemple : +80 % d’événements significatifs en sûreté sur les arrêts de tranche en 3 ans)
- **Risque d’immobilisation de réacteurs pour des chantiers longs**

Démarche prospective

- Explorer des visions possibles en termes de prolongation en balayant l'ensemble des questions ouvertes
- Ni prévisions, ni prescriptions mais projections cohérentes
- **Cinq facteurs discriminants**
 - Référentiel de sûreté
 - Conformité (maintenance)
 - Orientation technique
 - Processus de décision
 - Délais de réalisation
- **Trois scénarios contrastés** selon l'équilibre trouvé entre dégradation et renforcement
 - S1** : sûreté « dégradée »
 - S2** : sûreté « préservée »
 - S3** : sûreté « renforcée »
- **Sur la base d'une orientation générale de chaque scénario**
 - caractérisation technique des opérations de renforcement associées
 - estimation des coûts et évaluation des coûts agrégés par scénario

	S1	S2	S3
	Sûreté « dégradée »	Sûreté « préservée »	Sûreté « renforcée »
Référentiel	Évolution limitée	Évolution forte	Nouveau référentiel
Conformité	Priorité maintenance corrective	Approche mixte	Priorité maintenance préventive
Orientation technique	Érosion des marges, renforcement a minima	Limitation vieillissement, ajout noyau dur	Redimensionnement et renforcement poussés
Processus de décision	Continuité du processus actuel VD + ECS	Renforcement de la procédure	Processus type DAC + débat public
Délais de réalisation	Mise en œuvre VD4 / fil de l'eau	Mise en œuvre engagée avant VD4	Travaux conditionnels à la prolongation

Démarche systématique

- **Sur la base de l'analyse des enjeux et des positions de l'ASN sur les points ouverts**
- **Prévention et limitation des conséquences d'accidents graves**
 - en bâtiment réacteur (BR)
 - en bâtiment combustible (BK)
- **Répartition dans 9 catégories**
Détail de 36 postes
- **Pour chacun, orientation technique fixée pour chaque scénario**
dans la limite d'un réalisme technique mais sans préjuger de la faisabilité

Catégories de renforcement	
A	Protection contre les agressions source froide, alimentation, inondation, séisme, incendie...
B	Robustesse diffuse équipements hydrauliques, électriques, génie civil
C	Prévention accident BR (réacteur) cuve, circuit primaire, générateurs de vapeur...
D	Gestion accident BR risque hydrogène, évacuation puissance...
E	Confinement BR filtration, enceinte, récupérateur de corium...
F	Prévention accident BK (piscine) entreposage complémentaire, tenue piscine, circuit...
G	Gestion accident / confinement BK risque hydrogène, renforcement enceinte...
H	Moyens ultimes de secours noyau dur source froide, groupe diesel
I	Contrôle et gestion de crise contrôle-commande, salle commande, local crise

Précautions sur la méthode

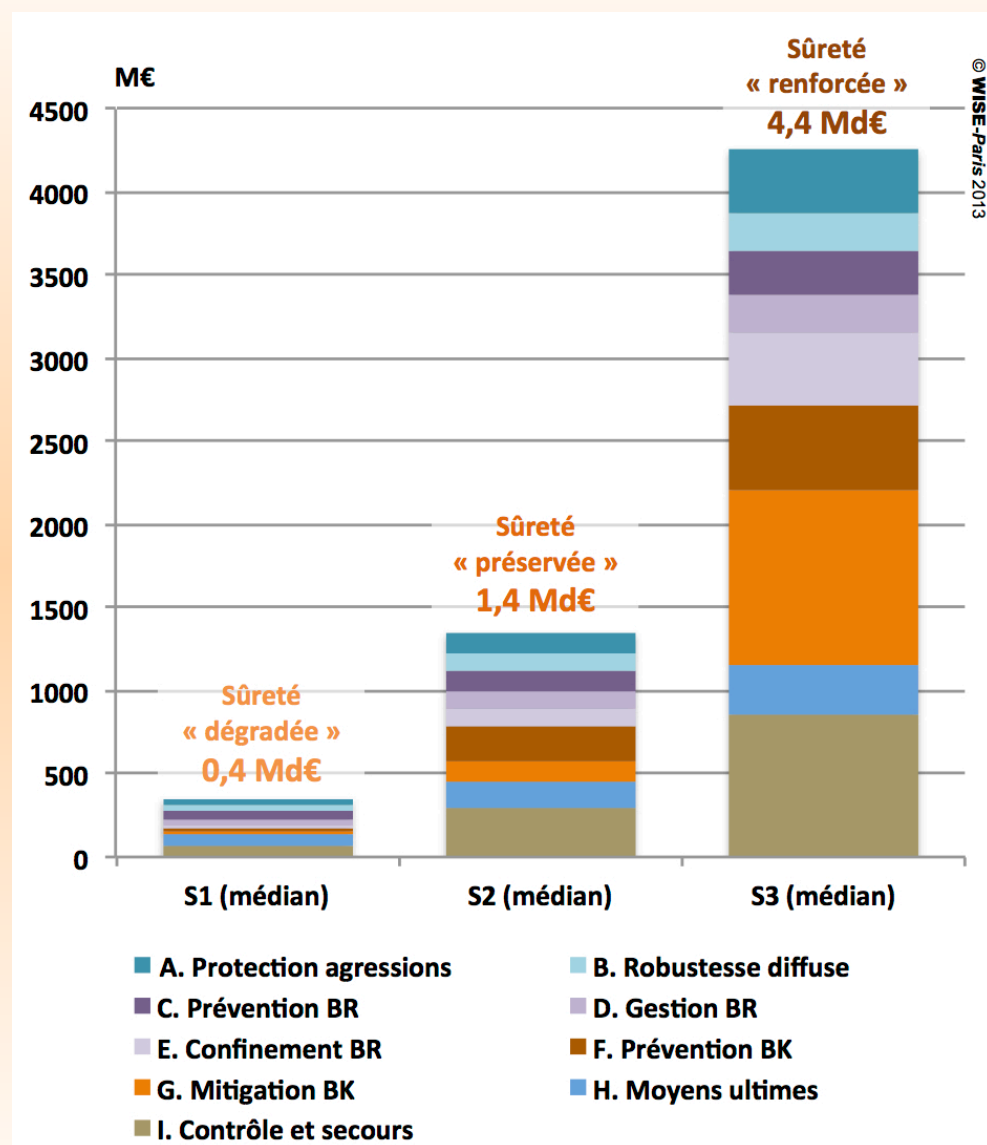
- **Manque de données publiques détaillées sur des opérations existantes**
- **Difficulté à estimer les coûts d'opérations inédites** (ampleur, technique)
- **Travail en ordres de grandeur**
- **Analogie et extrapolation prudente à partir des données existantes**
- **Traitement homogène entre les postes et entre les scénarios**
- **Utilisation de fourchettes d'incertitude larges** (jusqu'à facteur 3)
Valeur médiane ~ moyenne entre fourchette basse et fourchette haute

Exemples

	S1	S2	S3
Protection parasismique	20 M€	60 M€	150 M€
Diesel d'ultime secours	35 M€	75 M€	150 M€
Récupérateur de corium	0 M€	30 M€	150 M€
Enceinte bâtiment combustible	7 M€	75 M€	1000 M€

Précisions sur le périmètre

- **Opérations comptabilisées : renforcements liés à la sûreté**
(sur les postes des scénarios – pas nécessairement exhaustif)
- **Coûts directs : coûts d'investissement et coûts d'intervention**
- **Opérations non comptabilisées**
 - **coûts spécifiques liés à la sécurité** (sur des opérations non liées à la sûreté)
 - **coûts de jouvence sur la partie conventionnelle** (turbines, alternateurs...)
- **Coûts indirects non pris en compte**
 - **constitution de stocks** (gestion de l'obsolescence)
 - **limitation possible des règles d'exploitation** (suivi de charge, combustible...)
 - **perte de productivité liée aux arrêts**
- **Coûts hors coûts financiers**
 - sans incidence si travaux « tranche en marche » ou en arrêts d'exploitation
 - lourd si immobilisation du réacteur pendant plusieurs années pour gros travaux



Estimations pour un réacteur

- Des coûts qui sont la projection d'une application systématique (ni prévision ni prescription)
- Des ordres de grandeur par réacteur hors variations locales

Scénario **S1** : ~ 350 M€ ± 150 M€

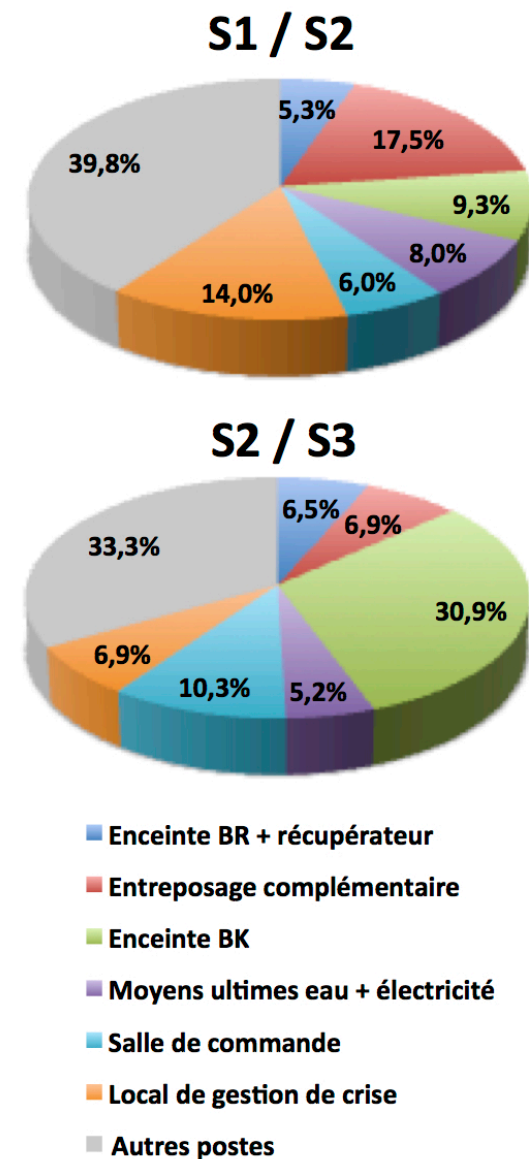
Scénario **S2** : ~ 1350 M€ ± 600 M€

Scénario **S3** : ~ 4350 M€ ± 1850 M€

- Les fourchettes d'incertitude
 - ne modifient pas l'ordre des scénarios (pas de croisement)
 - ne modifient pas les ratios entre les scénarios

Analyse de sensibilité

- **S1** : 5 postes font 50 % de l'incertitude (moyens ultimes)
- **S3** : 4 postes font 50 % de l'incertitude (bunkerisation)
- **S2** est plus réparti
- 1/4 des postes constituent 2/3 de l'écart de coûts entre les scénarios
- La plupart sont aussi des points cruciaux pour un niveau de sûreté élevé (autour d'efforts plus ou moins poussés de « bunkerisation»)
- Ce sont aussi les coûts les plus incertains (ex. de 500 M€ à 1,5 Md€ pour l'enceinte BK)
- A contrario, les résultats sont robustes à l'incertitude sur les coûts plus diffus



À la publication du rapport :

- L'échéance des 40 ans est très proche (même si elle n'est pas définie) et l'effet « falaise » impose une action urgente et massive
- **Le perspective actuelle est d'aller vers des prolongations par défaut et par fait accompli dans un cadre réglementaire et politique insuffisant**
- L'engagement par EDF d'investissements post-40 ans sans visibilité est une pratique risquée du point de vue réglementaire, industriel et financier
- **Les exigences de sûreté applicables à la prolongation au delà de 40 ans, et les conditions réglementaires dans lesquelles les décisions seront prises restent très incertaines**
- La faisabilité des solutions techniques correspondant à différents niveaux d'exigence et les capacités industrielles d'EDF de les mettre en œuvre dans les délais et à l'échelle nécessaires font question
- **Les coûts liés à la prolongation restent très incertains et pourraient atteindre 4 fois les estimations actuelles pour respecter des exigences fortes**
- Au vu du dossier, la capacité d'EDF à maintenir la puissance nucléaire installée au niveau actuel semble d'ores et déjà compromise

Rapport de la commission d'enquête de l'Assemblée nationale :

« le rapport de WISE est devenu un élément du débat sur l'éventuelle prolongation des réacteurs »

- **EDF / Henri Proglia** : sa réponse a été jugée « cynique » par la commission
Compare 200 M€ par DUS par réacteur (WISE-Paris) à 2 Md€ pour le parc (EDF)
... cela revient à 35 M€ par réacteur, chiffre de base de WISE-Paris
- **CFDT** : « Une réponse sérieuse et circonstanciée doit être apportée au récent rapport de l'agence WISE-Paris sur les coûts de l'éventuelle prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires. Certes, ce rapport a été commandé par Greenpeace, ce qui suffit à le discréditer aux yeux de certains. Mais ce n'est pas notre cas : il est fondé sur des chiffres qui ne sont pas contestés »
- **ASN** : « Pour l'ASN (...), la grille d'analyse et les questions posées par le rapport WISE [sont] les bonnes, recoupant largement les siennes propres »
- **EDF / Dominique Minière** : « a lui aussi confirmé la pertinence du travail, la justesse de nombre d'évaluations, mais des écarts très importants sur 4 à 5 postes qui constituent l'essentiel de la différence de point de vue entre EDF et WISE »

Poursuite au delà du rapport

- **Des dispositions introduites dans la loi de transition énergétique (TECV) sur le processus de décision associé au passage de VD4**
 - la poursuite d'exploitation fera l'objet d'une décision de l'ASN après enquête publique, réacteur par réacteur pour toute VD au delà de 35 ans
 - un examen intermédiaire sera au-delà introduit tous les 5 ans
 - mais pas de débat public prévu, ni par réacteur ni de façon générique
- **Les incertitudes sur les opérations à venir et les estimations de coût associés à différents scénarios doivent permettre de mesurer plus globalement les conséquences sur le plan de la politique énergétique et de la stratégie industrielle, en tenant compte :**
 - des différentes alternatives (nucléaires et non nucléaires)
 - des chroniques d'investissement associées
 - de l'impact sur le coût de production
 - des conditions de rentabilité sur le marché européen de l'électricité



31/03/2016 13:31:23 Cam03 BR 27m



Une charge énorme dans un contexte de perte de maîtrise et de confiance

- **Chute du GV de Paluel 2**

- Démarrage du “grand carénage” en VD3-1300
- **Situation en “exclusion”** (réputée impossible)
- **Délai > 1an**, incertitude sur le redémarrage

- **Cuve de l’EPR et fabrications au Creusot**

- **“Anomalies”** - Perte de maîtrise technique
- **“Irrégularités”** - Perte de maîtrise du contrôle qualité
- **“Falsifications”** ? Perte de confiance

Quelle capacité de l’opérateur
et de son tissu industriel
pour garantir la mise en œuvre
au bon niveau dans les délais ?

Un investissement encore mal estimé mais nécessairement lourd

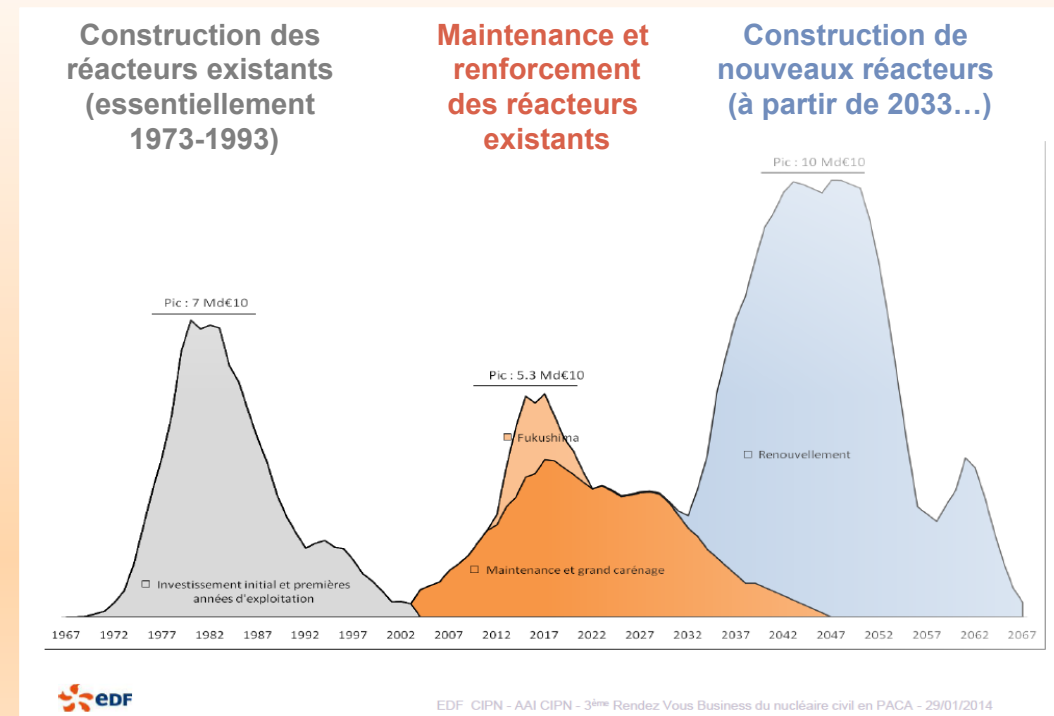
- **Estimations diverses**

- **Minimum 55 Md€** (grand carénage EDF, périmètre non spécifié)
- **110 Md€** (Cour des comptes, base EDF)
- D'environ **25 Md€ à plus de 200 Md€** (WISE-Paris, selon scénarios d'exigences de sûreté basses à élevées)

- **Ordre de grandeur : comme 5 à 20 EPR** pour l'essentiel en une dizaine d'années

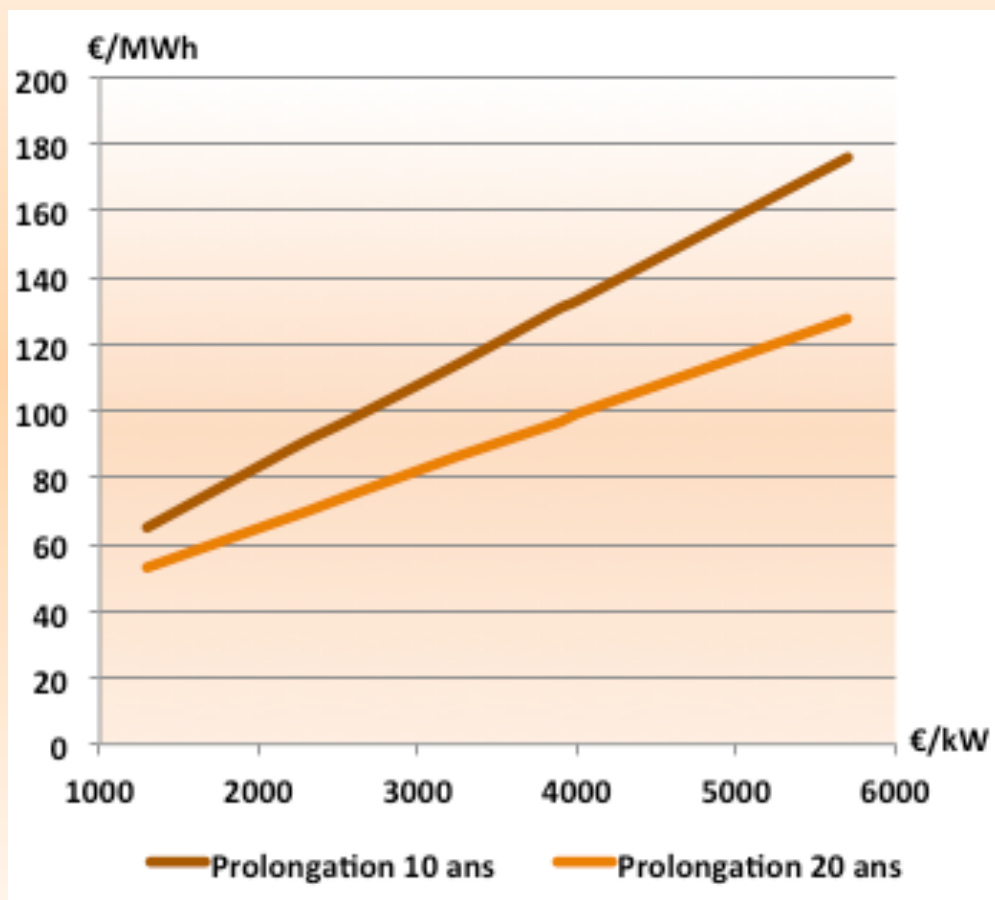
- **Facteurs aggravants**

- Surcoût supplémentaire potentiellement lié à l'indisponibilité
- Tendance générale à retarder les investissements



Quelle capacité de financement du programme d'investissement nécessaire sur la période envisagée ?

Évolution du coût courant économique (CCE) selon le coût de renforcement par kW installé



Source : Global Chance

Un impact majeur sur les coûts

- **Forte hausse de coût (CCE)**

- en cours : de 49,6 €/MWh en 2010 à 59,8 €/MWh en 2013 (Cour des comptes)
- à venir : **65 €/MWh à plus de 150 €/MWh**

- **Difficulté sur le marché**

- ARENH : 42 €/MWh
- Prix moyen de marché : 38 à 40 €/MWh (tendance baissière : surcapacité + ENR)

- **Intérêt économique questionnable**

- USA, Suède... : des réacteurs vieillissants fermés pour raisons économiques

Risque élevé de non rentabilité des investissements réalisés

Fermer des réacteurs... pour desserrer les contraintes

Calendrier contraint	Lissage des effets de la pyramide des âges
Exigences de sûreté	Priorisation des réacteurs selon les conditions particulières
Charge industrielle	Retour de la charge industrielle à un niveau plus réaliste
Charge financière	Réduction de la charge financière
Rentabilité	Amélioration des conditions par réduction de la surcapacité

- 1. Il apparaît hors de portée de mener un programme de prolongation de la durée de vie de l'ensemble de la capacité installée dans les délais, dans le respect des exigences de sûreté et dans des conditions industrielles et financières maîtrisées**
- 2. Il pourrait dès lors être dans l'intérêt de tous, du point de vue de la sûreté comme de la maîtrise des coûts, d'anticiper ces difficultés et de desserrer les contraintes en fermant un nombre à déterminer de réacteurs**

Clarification sur le processus de décision

- **Calendrier d'enclenchement de la procédure**
- **Insertion et champ de l'information et de la participation**
- **Garanties sur la réalisation des exigences et sur les délais**

Élaboration d'indicateurs et de critères

- **Suivi précis et détaillé du relèvement des exigences**
pour la prolongation de fonctionnement par rapport au "standard" EPR
- **Développement d'une vision partagée de l'évolution des marges de sûreté**
entre renforcement, vieillissement, conformité
Développement d'indicateurs de mesure et de suivi de ces marges
- **Développement de critères d'arrêt** pouvant être basés sur différentes approches
Critères déterministes (limites de vieillissement), probabilistes,
intégrant les capacités techniques et financières démontrées par l'exploitant...
- **Mise en place d'une réflexion sur l'ordre de priorité de fermeture**
du point de vue de la sûreté des réacteurs et de la protection des populations

*Merci de votre attention...
à votre disposition pour les questions*

Plus d'information :



Yves Marignac, Directeur de **WISE-Paris**

E-mail : yves.marignac@wise-paris.org

Tél : +33 6 07 71 02 41

Twitter : @YvesMarignac