

# Le vieillissement des installations nucléaires

## Risques et enjeux

Yves Marignac

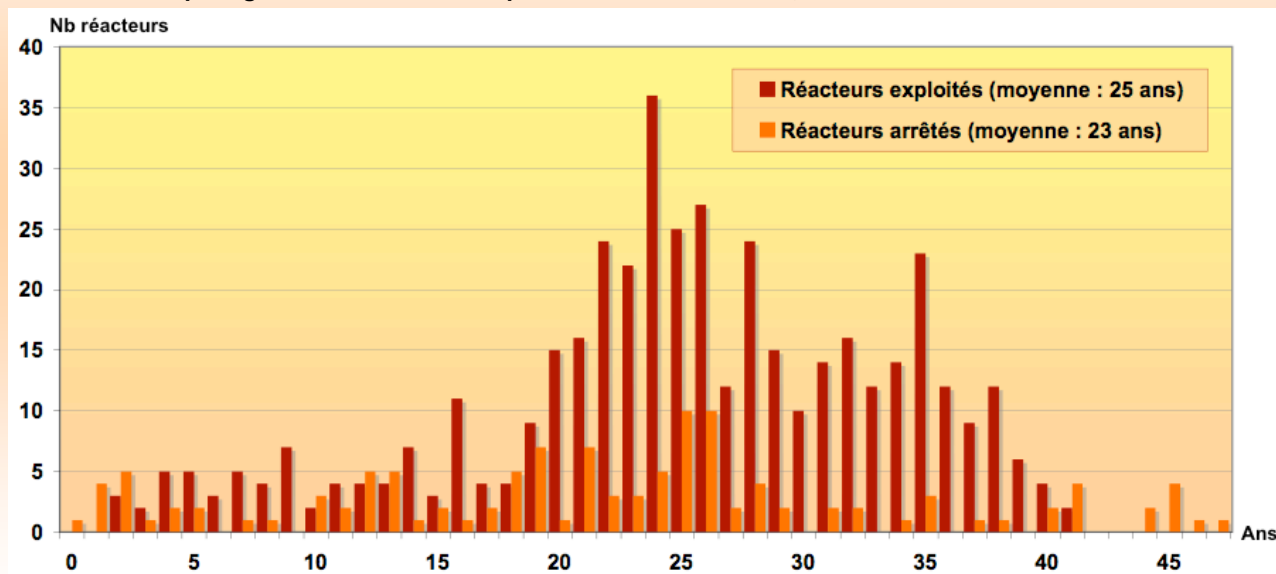
Directeur de **WISE-Paris**

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau

## Le vieillissement : un problème abordé sans retour d'expérience

Distribution par âge des réacteurs en exploitation dans le monde, avril 2009



## Le vieillissement : un problème abordé sans retour d'expérience

Distribution par âge des réacteurs en exploitation et arrêtés, dans le monde et en France (situation au 30 avril 2009)

	Réacteurs en exploitation			Réacteurs définitivement arrêtés		
	Nombre	Âge moyen	Âge max.	Nombre	Âge moyen	Âge max.
<b>Monde, toutes filières</b>	436	25 ans	41,5 ans	121	23 ans	46,5 ans
<b>Monde, filière REP</b>	264	25 ans	40 ans	18	23 ans	38 ans
<b>France, toutes filières</b>	58	22 ans	32 ans	12	21 ans	36 ans
<b>France, filière REP</b>	58	22 ans	32 ans	1	25 ans	25 ans

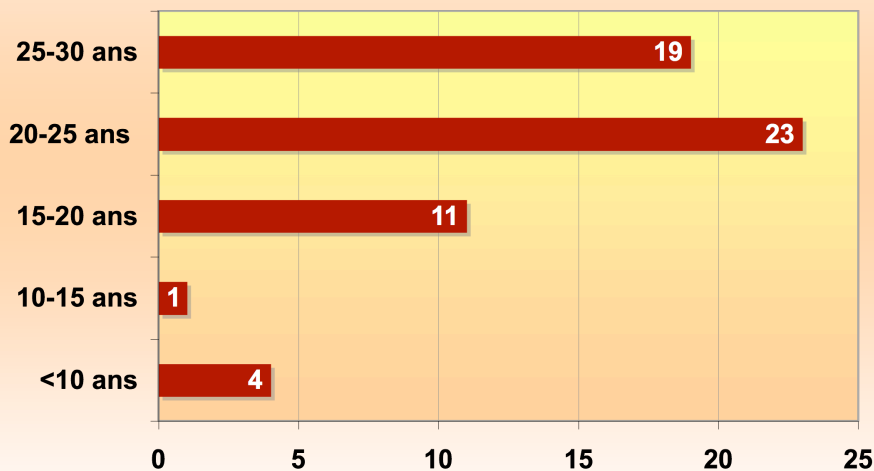
Sources : IAEA, PRIS, 2007 ; MSC, 2009 ; ASN, 2009

**Parc REP : moins d'expérience que la moyenne**

**Parc français : moins d'expérience que la moyenne**

## France : un parc nucléaire jeune mais vieillissant...

Pyramide des âges du parc nucléaire d'EDF (situation décembre 2008)



Dans les 5 ans :

33 % des réacteurs atteindront 30 ans

Dans les 10 ans :

40 % de réacteurs supplémentaires atteindront 30 ans

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité  
Le problème du vieillissement

## Le vieillissement des installations nucléaires...

“La vieillesse, c’est la seule maladie dont on ne peut pas guérir”

Orson Welles, *Citizen Kane*

## Le vieillissement : obsolescence et sénescence

### Un processus systémique :

Centré sur la dégradation physique des composants mais plus large

### Le vieillissement englobe :

- la conception du réacteur, son design et son référentiel de sûreté et de sécurité
- l’ensemble des composants, à travers des processus classiques (usure, corrosions, ...) renforcés par des contraintes spécifiques (fatigue neutronique, conditions de température et de pression, ...),
- les technologies employées et le tissu académique et industriel associé,
- les procédures d’exploitation et les équipes (perte d’expérience au niveau de la conception, de l’exploitation, de la surveillance par l’autorité de sûreté)

### Le vieillissement concerne toutes les installations :

Réacteurs très standardisés, approche générique

Autres installations (usines, etc.) très diversifiées, approche au cas par cas

## Le vieillissement physique : principaux facteurs

### Principaux systèmes touchés :

- **Systèmes de confinement :**  
cuve, couvercle, circuit primaire...  
enceinte béton
- **Systèmes de conduite du réacteur :**  
maintien des structures, géométrie du cœur...  
barres de contrôle  
cablage  
système de contrôle-commande
- **Systèmes de sauvegarde :**  
circuits et pompes de secours  
générateurs diesel

## Le vieillissement physique : principaux facteurs

### Principaux phénomènes :

- **Mécanismes de fragilisation :**  
cuve, circuits (acier ferritique...)  
perte de résistance à la rupture, propagation plus rapide d'éventuelles fissures  
augmentation de la température de transition ductile-fragile
- **fissuration par corrosion sous contrainte :**  
couvercles de cuve...  
phénomène mal connu, risque de rupture
- **corrosion, usure, dépôt :**  
générateurs de vapeur  
fissurations traversantes, rupture des tubes, colmatage des plaques  
dégrade la performance et la sûreté
- **altération sous contrainte des gaines et câbles :**  
vieillissement prématuré
- **évolution des bétons :**  
fluage, perte d'étanchéité en situation accidentelle

## Le vieillissement : accumulation de signaux inquiétants

### Vieillissement des standards :

réacteurs développés avant TMI et Tchernobyl, avant le changement climatique, avant le 11 septembre....

### Dégradation de la performance :

Insuffisance de la prise en compte du vieillissement à la conception et larges incertitudes

Enseignements sur le caractère aléatoire et non linéaire des mécanismes de vieillissement

### Vieillissement physique : deux effets

- augmentation progressive du nombre d'incidents ou d'événements significatifs tels que fissures, fuites, court-circuits, etc.
- affaiblissement croissant des matériaux pouvant déclencher des situations accidentelles ou en aggraver les conséquences

### Perte de compétence :

vieillissement des équipes, dépérissement du tissu industriel, voire académique...)

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
  - Le problème du vieillissement
  - Le cas de Fessenheim

## Points particuliers à Fessenheim

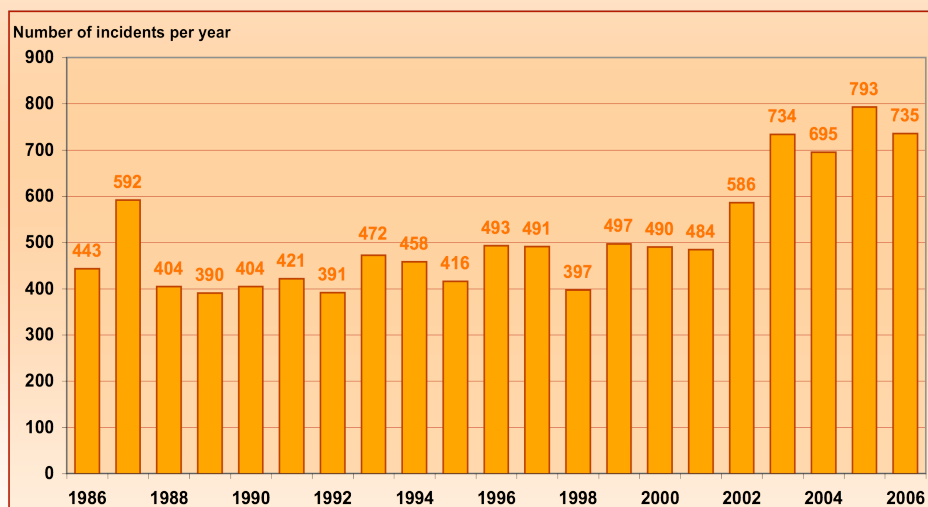
Cuve : température ductile / fragile à 80 °C  
Fissuration couvercle de cuve (changé)  
Vieillissement de la salle de commande  
Volume de l'enceinte de confinement / risque d'explosion hydrogène  
Taille du radier  
Normes de résistance sismique  
Réacteur construit sous le niveau inondable  
Problème de refroidissement / température de rejet

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
  - Le problème du vieillissement
  - Le cas de Fessenheim
  - La pression sur la sûreté

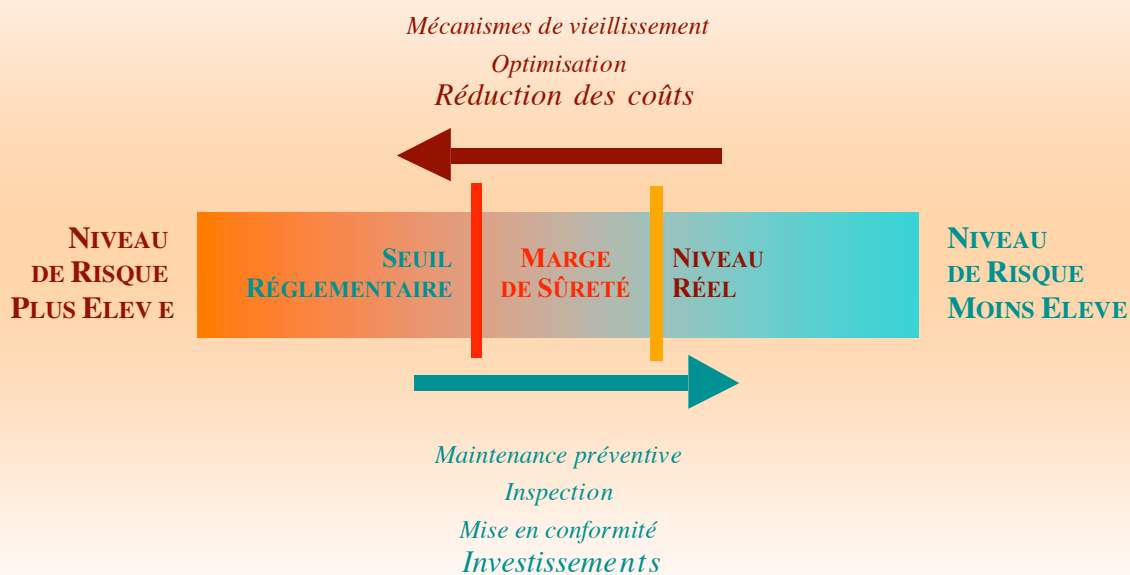
## La dégradation de la sûreté des installations nucléaires

Nombre d'événements "significatifs" recensés par l'IRSN



Source: Residual Risk report, 2007, based on IRSN

## L'érosion des marges de sûreté





## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
- Un enjeu industriel et financier

## L'extension de la durée de vie : un enjeu crucial pour l'industrie

### Maintien de la capacité et des compétences :

Vieillissement des réacteurs qui s'approchent de leur durée initiale de conception  
Longue période sans construction : perte de capacité  
Difficulté à mettre en œuvre la "renaissance"

### Double enjeu :

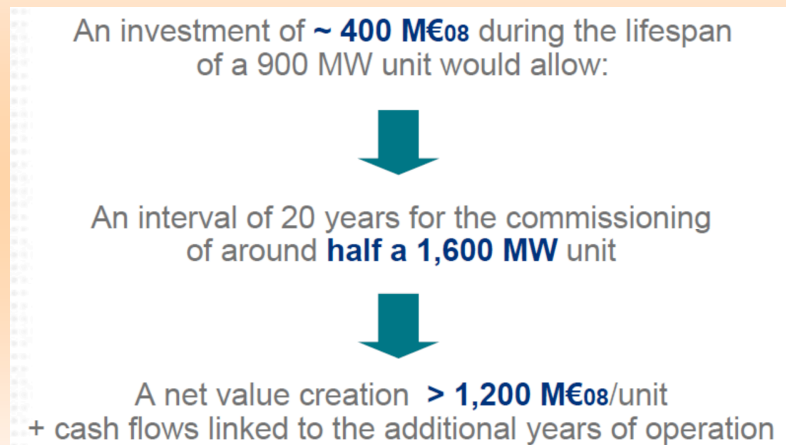
Poursuite de l'exploitation d'un outil de production "amorti"  
Retarder un déclin annoncé par le niveau actuel de nouvelles commandes

### Pression des opérateurs partout dans le monde :

- USA : 52 demandes d'extension de 40 à 60 ans obtenues (total : 104 réacteurs)
- Allemagne, Belgique : pressions pour retarder les délais de sortie du nucléaire
- Suisse : autorisations avec ou sans limite fixe, demandes d'extension
- France : EDF "confiant" sur une durée de 40 ans, vise au-delà

## L'extension de la durée de vie : le projet d'EDF

EDF "Investor Day", Londres, décembre 2008)



**Plan d'investissement pour étendre à 50 ou 60 ans la durée de vie du parc existant :**

**400 M€ par tranche 900 Mwe**

Un "investissement" qui rapporte :

- **1.200 M€ net d'investissement "évité"**
- **revenu de l'électricité "amortie" produite**
- **économie sur les provisions pour charges "long terme"**

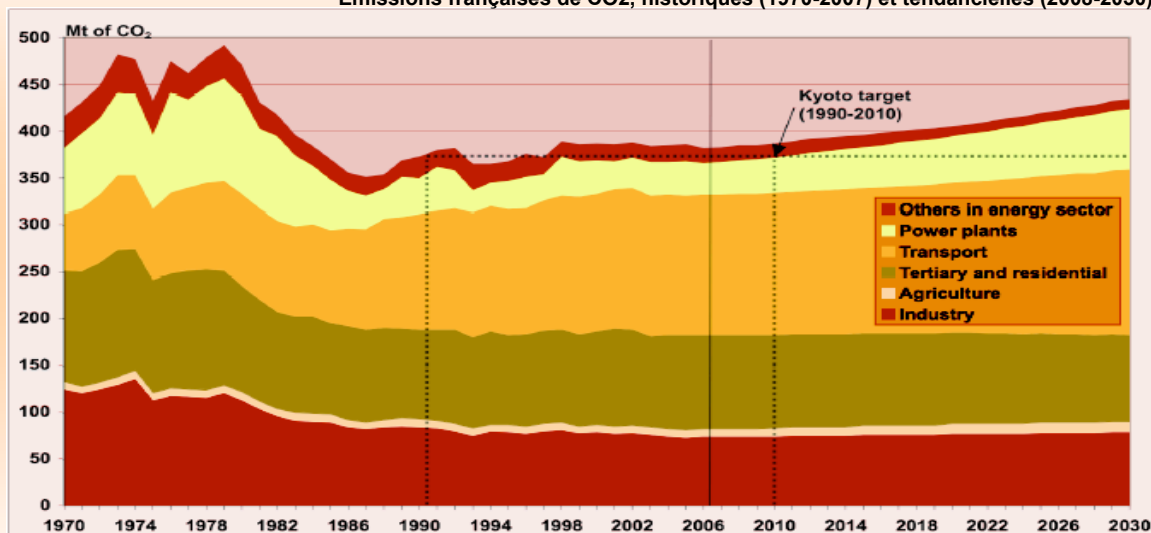
**Une pression forte sur les autorités pour obtenir la "visibilité nécessaire"**

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
- Un enjeu industriel et financier
- **Un enjeu énergétique et climatique**  
Scénarios officiels

## La place du nucléaire dans les scénarios officiels

Emissions françaises de CO<sub>2</sub>, historiques (1970-2007) et tendanciennes (2008-2030)



**Scénario tendanciel** : maintien de la capacité nucléaire (prolongement / renouvellement)

**Scénario d'application Grenelle** : idem, exportations portées de 60 à 130 TWh...

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
- Un enjeu industriel et financier
- **Un enjeu énergétique et climatique**

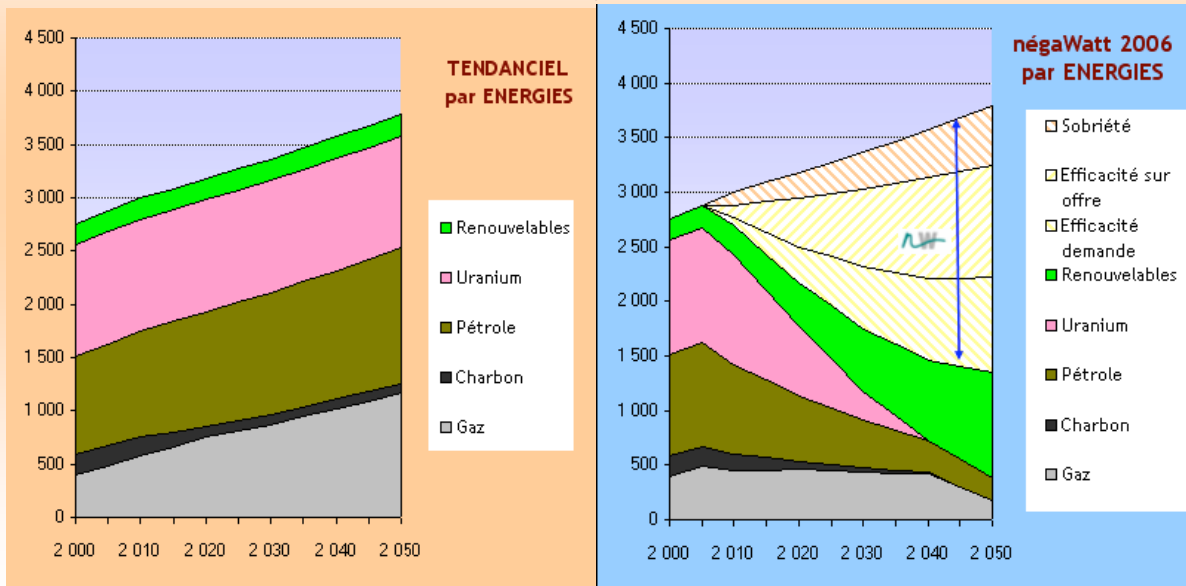
Scénarios officiels

Scénarios alternatifs

## Le scénario négaWatt : une sortie "naturelle" du nucléaire

Démarche : sobriété / efficacité / renouvelables

Un scénario français pour respecter les objectifs du "3 x 20" en 2020 et -75 % en 2050

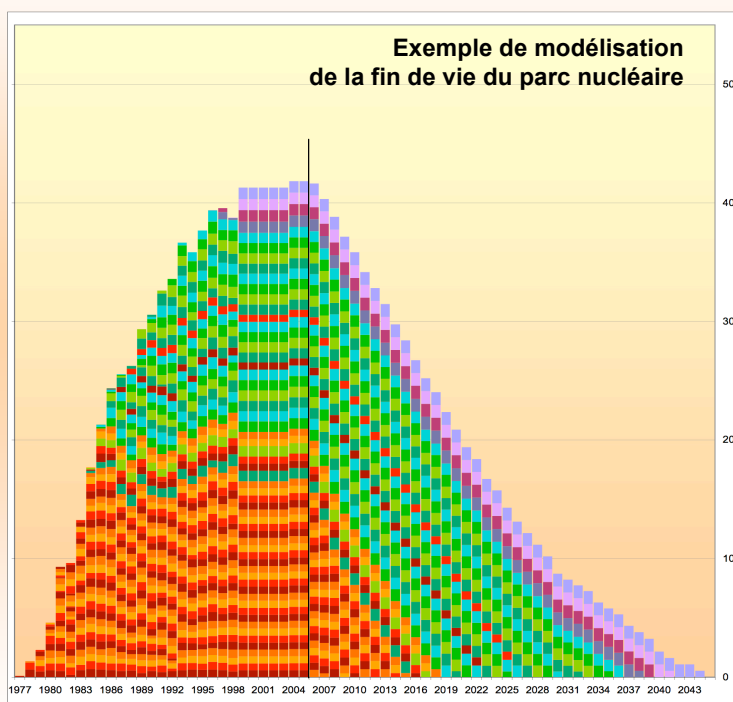


## Le parc nucléaire dans le scénario négaWatt

Fermeture "lissée"

Fermeture graduée en fonction de l'état de conception et de vieillissement

	Kp (%)	Années
900 MW	76,1	30,4
1300 MW	76,5	38,5
1450 MW	80,5	42,8
Ensemble	75,2	34,1



## Le scénario négaWatt : un respect des engagements

### Les engagements de la France à moyen et long terme

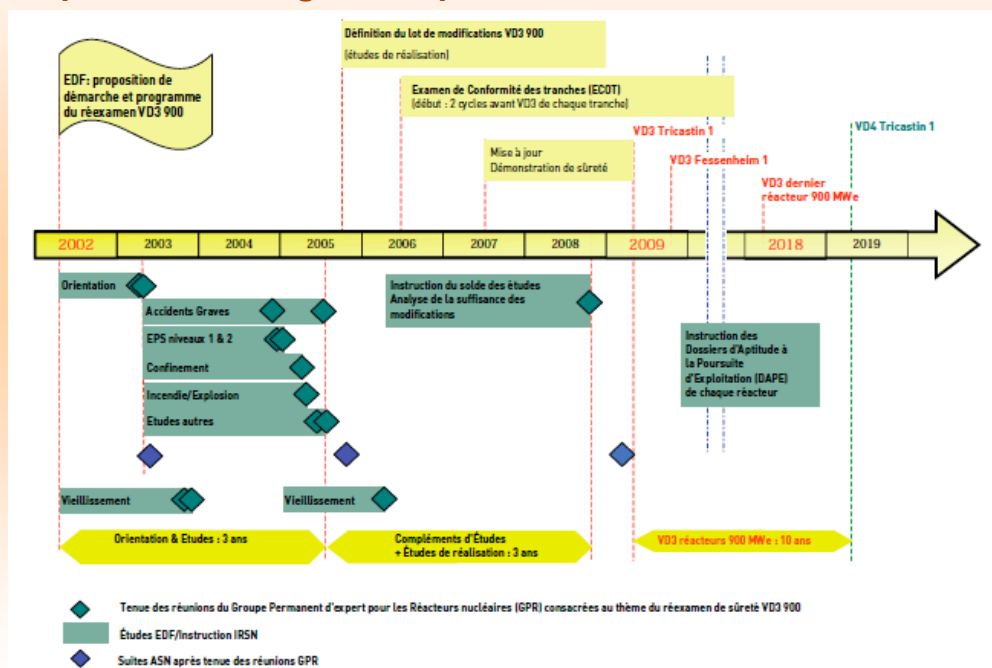
- Paquet “3 x 20” énergie-climat européen (2008) : -20 % CO<sub>2</sub> en 2020 (et 20 % d'efficacité énergétique, et 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation)
- Loi “POPE” sur l'énergie (2005) : division par 4 des émissions d'ici 2050 (“facteur 4”, ou -75 %)

Comparison of prospective scenarios 2020-2050		CO <sub>2</sub> emissions (evolution /1990)	Energy efficiency (/2006 <sup>b</sup> )	Renewables (% of total primary energy)	Nuclear power (Twh and % of total electricity)
Scenarios <sup>a</sup>					
2006		+1%	0%	n.d.	428.7 (78.3%)
2020	CAS Ref. Markal	-3%	+13%	n.d.	431.3 (70.6%) <sup>d</sup>
	Vol. Markal	-23%	+6.6%	10.4%	549 (82.1%)
	Ref. MedPro-Poles	+3.5%	+1%	8.1%	431.3 (70.6%) <sup>d</sup>
	Vol. MedPro-Poles	-21%	-16%	9.8%	439 (65.8%)
	négaWatt	-26%	-18% <sup>e</sup>	19% <sup>e</sup>	209 (53.7%)
2050	CAS Ref. Markal	+2.5%	+35%	n.d.	n.d.
	Vol. Markal	-52%	0%	15.4%	731.6 (78.4%)
	Vol. MedPro-Poles	-58% <sup>e</sup>	-38%	16.2%	453 (59.8%)
	négaWatt	-75%	-41%	70%	0 (0%)

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
- Un enjeu industriel et financier
- Un enjeu énergétique et climatique
- **Un enjeu démocratique**  
Un processus fermé

## Un processus long et complexe



Démarche engagée à Fessenheim :

- exception
- limitée (accès à l'info, ressources)
- restreinte à une partie du processus

## Le vieillissement des installations nucléaires...

- Un phénomène nouveau
- Un enjeu de sûreté et de sécurité
- Un enjeu industriel et financier
- Un enjeu énergétique et climatique
- **Un enjeu démocratique**
  - Un processus fermé
  - Un manque de critères objectifs

## Le vieillissement des installations nucléaires...

“Nous désirons tous atteindre la vieillesse,  
et nous refusons tous d’y être parvenus”

Francisco de Quevedo, *Política de Dios y Gobierno de Cristo*, 1619

## Pistes pour l'établissement de critères objectivables et partagés

- **Critères quantitatifs directs :**

Basés sur des limites de dégradation par des processus physiques des différents composants, structures et systèmes

- **Limite quantitative “probabiliste” :**

Approche plus fine basée sur des seuils d'augmentation de probabilité d'accident à ne pas dépasser dans le cadre des évaluations probabilistes de sûreté

- **Critères qualitatifs complémentaires :**

Liés à la mise en œuvre ou non de bonnes pratiques de l'exploitant dans l'ensemble des tâches de gestion, voire d'auto-surveillance attachées à la maîtrise du vieillissement (information, contrôle, planification, etc.)

- **Critères sur la capacité technique, industrielle, financière :**

Relatifs à la démonstration de la capacité financière de l'exploitant à faire face aux différentes charges, y compris celles résultant de la gestion du vieillissement, voire aux capacités techniques et industrielles (par exemple l'existence de personnels qualifiés et expérimentés en nombre suffisant, la disponibilité des services de maintenance et des pièces de rechange...)

## Merci de votre attention!

**Contact:**

Yves MARGNAC    Directeur de WISE-Paris  
Mob. 06.07.71.02.41  
E-mail: [yves.marignac@wise-paris.org](mailto:yves.marignac@wise-paris.org)