

Master M2 Énergie



Parcours DMSE : Durabilité des Matériaux et des Structures pour l'Énergie

Parcours de formation monté à la demande d'EDF R&D, financé par EDF

Partenariat École des Ponts ParisTech / Université Pierre et Marie Curie

Objectifs : former des personnels de haut niveau scientifique susceptibles de prendre en charge les problématiques de :

- Conceptions de nouvelles structures durables pour le secteur de l'énergie, par exemple des éoliennes offshore.
- Vieillesse des infrastructures pour l'énergie en analysant leur état avant de mettre en place, si cela est pertinent, des procédés de renforcement des installations.

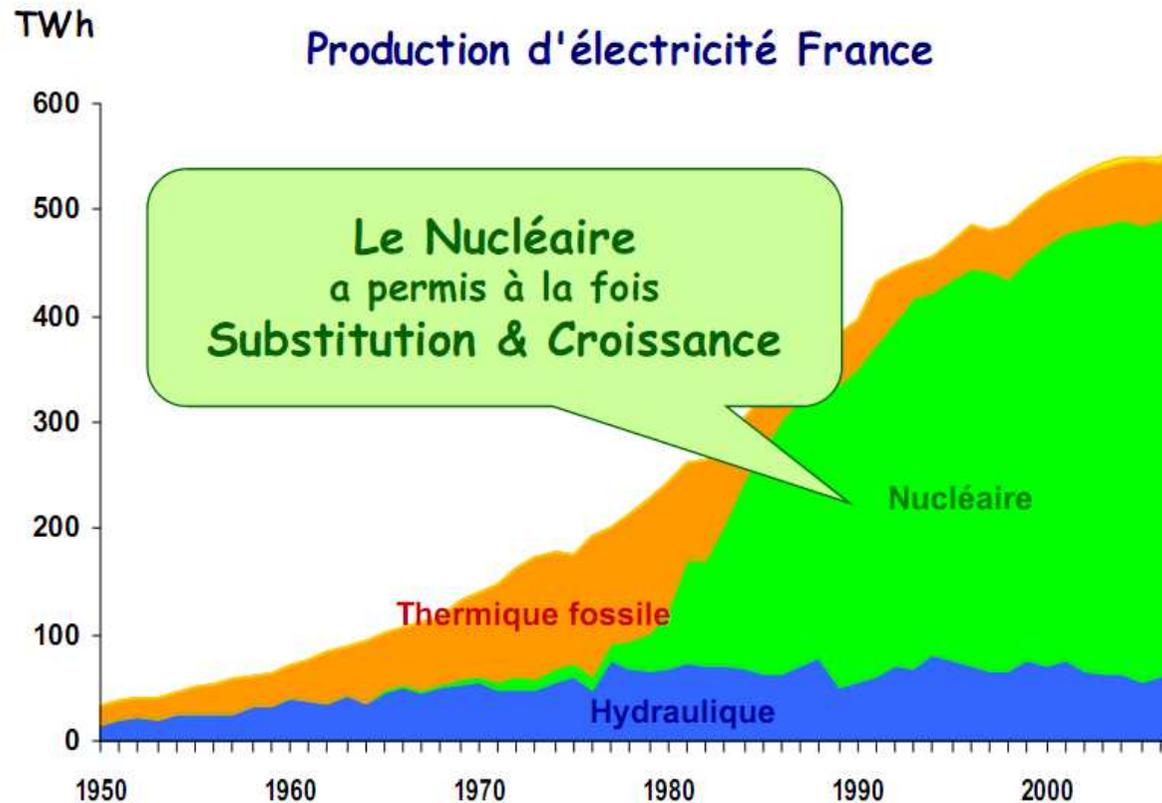
Infrastructures principalement concernées : REP et barrages



Contexte :

Le passé

La production d'électricité en France



Nucléaire : 63 GW,

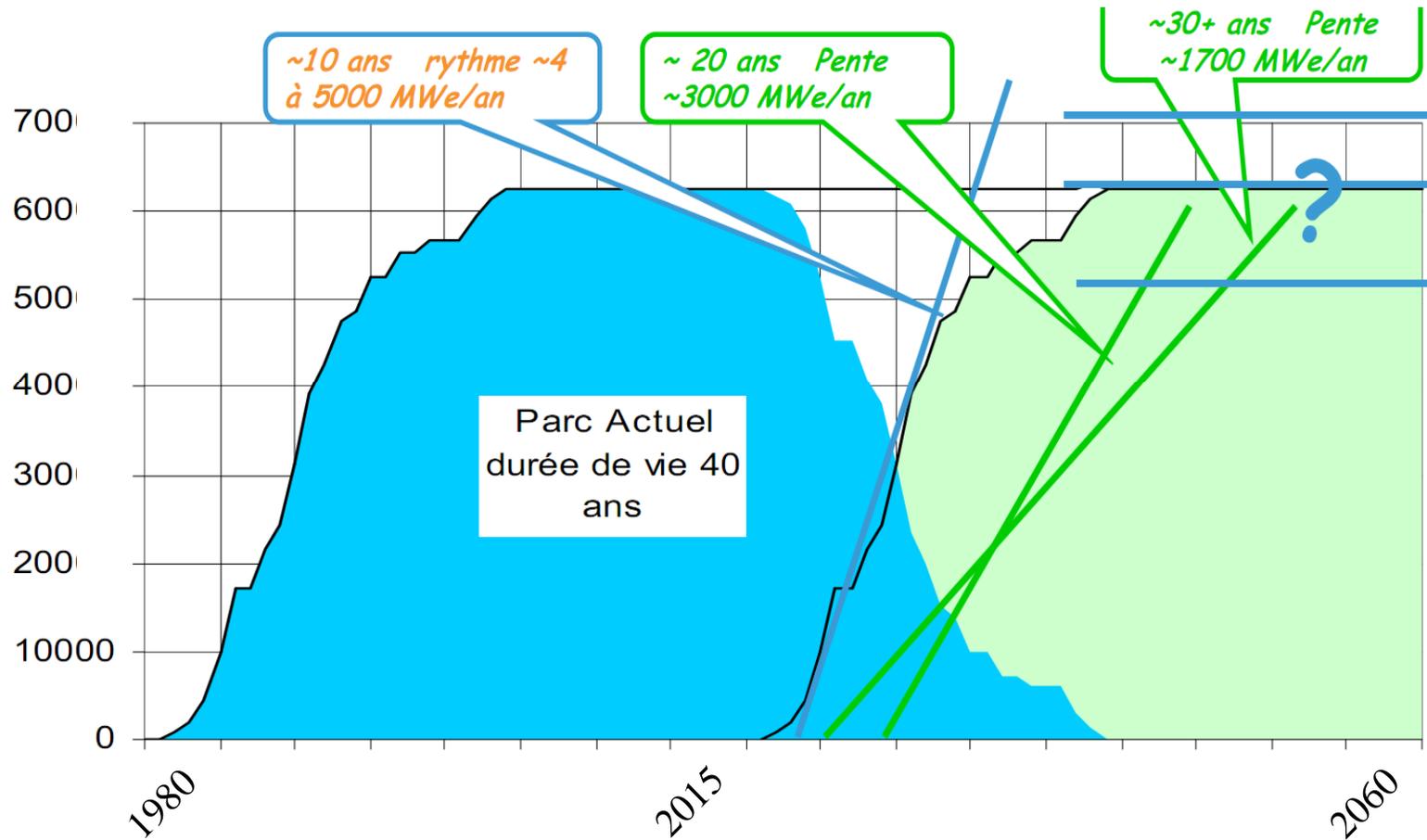
Hydraulique : 20 GW,

Thermique à flamme : 13 GW.

Autres sources de production d'électricité (éolien, photovoltaïque, ...) encore en très faible proportion (partie jaune en haut de la courbe ci-dessus).

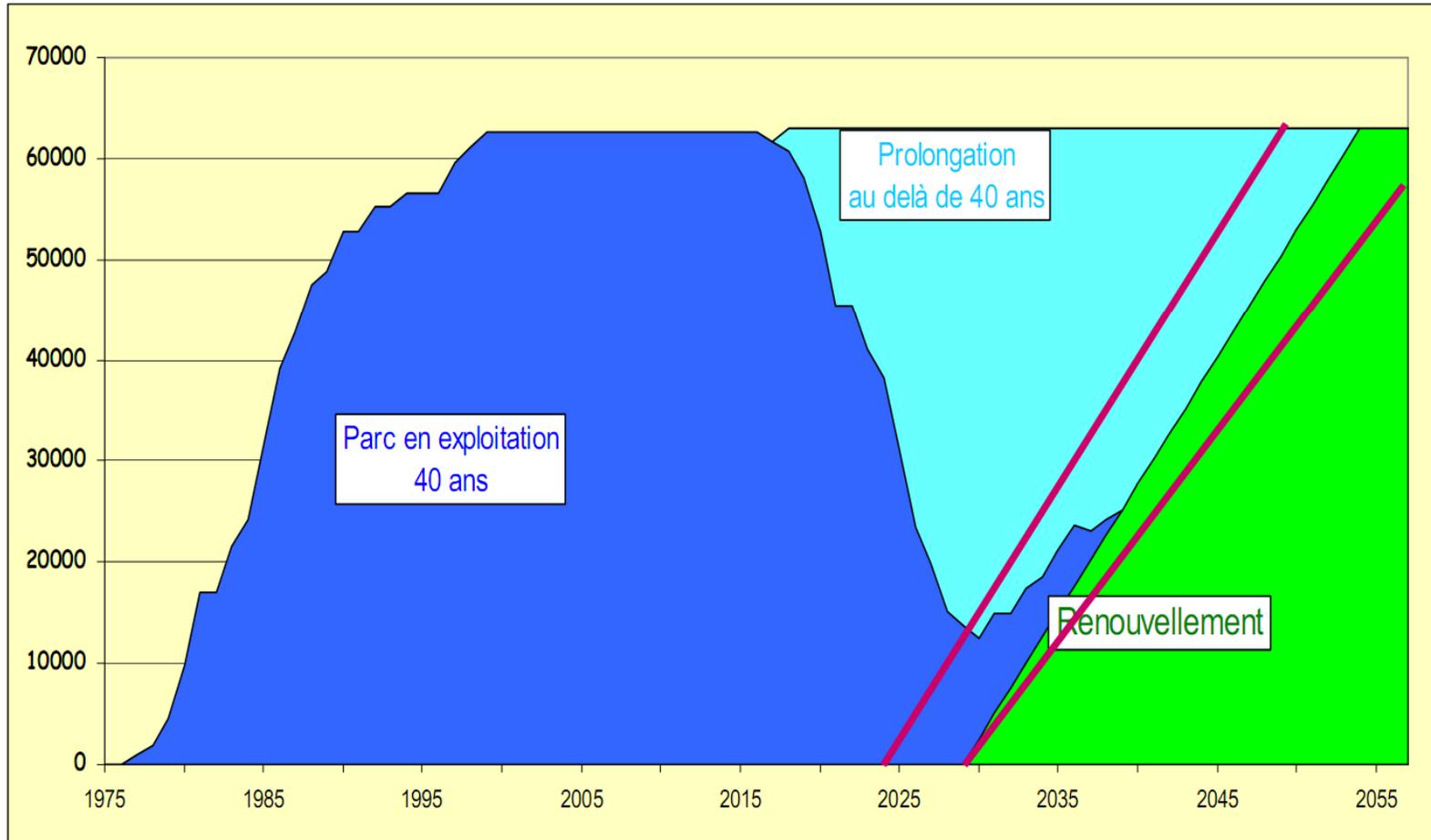


Évolution du parc nucléaire français

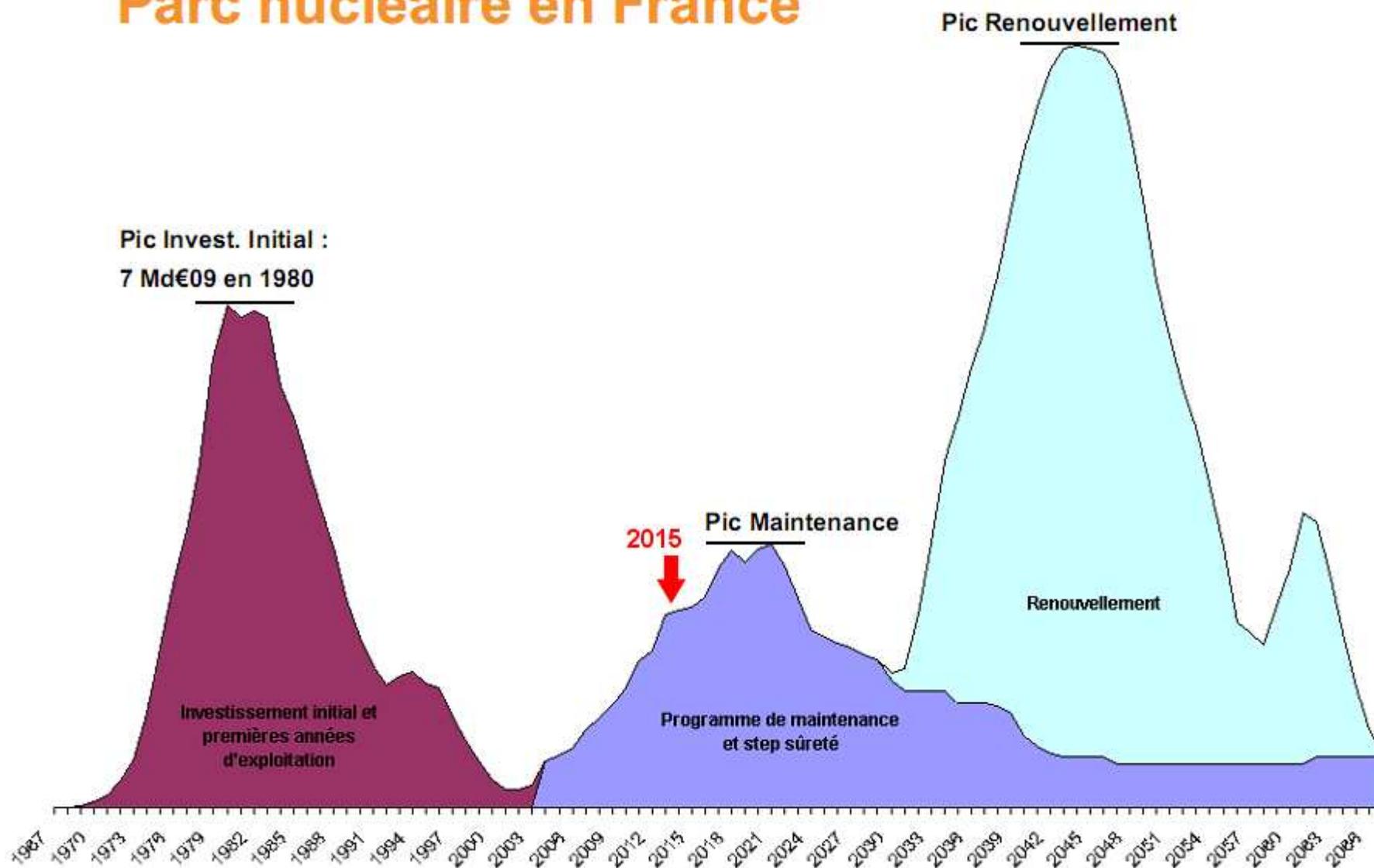


Une possible stratégie

Scénario d'un renouvellement de 63000 MWe sur ~ 25 ans
Rythme ~ 2500 MWe/an



Cycles d'investissement – Parc nucléaire en France



➤ Nécessité de pouvoir analyser les différentes infrastructures pour pouvoir décider :

- si elles peuvent bénéficier d'une durée de vie prolongée
- s'il est souhaitable de les renforcer et comment les renforcer pour pouvoir continuer à les exploiter
- s'il est préférable de les démanteler et éventuellement reconstruire de nouvelles infrastructures de remplacement.

➤ Nécessité d'avoir du recul sur les nouveaux moyens de production et de stockage d'énergie, pour pouvoir développer de nouveaux procédés et de nouvelles infrastructures.

Enjeux :

- Construire pour des durées de vie de 60 ans et plus
- Construire dans des environnements hostiles (marin)



Formation

La formation se déroule sur une année scolaire :

- ➔ Début octobre à fin février : cours obligatoires et électifs
- ➔ Formation spécifique en centrale nucléaire (3 jours)
- ➔ Début mars à fin août : stage de recherche

Equipe enseignante :

- Chercheurs issus de EDF R&D
- Enseignants chercheurs issus des laboratoires de l'ENPC
- Enseignants chercheurs issus des laboratoires de l'UPMC

Cours N°1a

Modélisation et simulation des équipements et des structures : application à l'analyse sismique

Programme du module :

Éléments finis (élasticité linéaire). Algorithmes de résolution.

Calcul des structures. Prise en main de la plate-forme Salomé : CAO + maillage.

Simulation en statique linéaire et modèles de structures (poutres, plaques, discrets...) avec Salomé_Méca.

Analyse dynamique des structures avec Salomé_Méca.

Introduction au calcul non linéaire (non-linéarités matérielles et géométriques), stabilité et analyse limite.

Analyse sismique : enjeux et modélisation du chargement sismique pour les équipements et les structures. Dynamique des structures pour l'analyse sismique : comportement des bâtiments sous séisme. Tenue sismique de composants de réacteurs nucléaires à eau pressurisée avec interaction fluide-structure ;

Objectifs : Maîtriser les modélisations numériques mises en œuvre pour justifier la sûreté et le fonctionnement au cours de la durée de vie des ouvrages et en particulier en fonction des évolutions des référentiels dans le domaine sismique. Les élèves apprendront en particulier à faire l'analyse critique des résultats de calculs numériques.

Séminaire 1b

« Le système énergétique de production d'électricité »

Ce module comprend 10 conférences générales, de personnalités du secteur de l'énergie.

Objectifs : à l'issue de cette formation les diplômés doivent pouvoir être des participants actifs et éclairés, du débat de société sur les choix énergétiques pour notre pays. Ils ont besoin d'une culture générale importante sur le domaine et d'avoir des connaissances précises sur les divers aspects du secteur de l'énergie,



Barrage exploité par EDF

Programme des enseignements

Cours N°2a : Identification et suivi en service des structures de génie civil et des grands systèmes

Objectifs : être capable de juger de l'état d'une structure en cours de vie afin de déterminer sa durée de vie résiduelle et les renforcements nécessaires à sa prolongation.

Programme du module :

Notions d'identification, de recalage, de problèmes inverses. Suivi et identification à l'aide de mesures vibratoires. Effet de modifications structurales sur le spectre vibratoire.

Identification variationnelle. Calcul des gradients par problèmes adjoints et algorithmes d'optimisation ;

Identification de conditions aux limites.

Identification à l'aide de mesures distribuées en surface.

Problèmes de Cauchy ;

Recalage et identification ;

Méthodes probabilistes et assimilation de données.

Cours N°2b

Session sur simulateur en centrale avec des formateurs de EDF

Objectifs : Avoir une idée claire du pilotage d'une centrale nucléaire et comprendre les actions à mener en cas d'incidents ou d'accidents



*Simulateur de centrale nucléaire,
Photo Lemoniteur.fr*

Durabilité des installations : directement reliée à la durabilité et au vieillissement des matériaux qui constituent les structures de ces installations (principalement bétons et métaux),

Cours N°3a

Mécanique de la rupture

Cours N°3b

Mécanique de l'endommagement

Cours électifs :

- **Approches multi-échelle des milieux poreux**
- **Approche multi échelle de la plasticité des métaux**
- **Mécanique des fluides numérique avec code Saturne**

Objectifs : avoir une idée claire des mécanismes de vieillissement de ces matériaux et des conséquences sur leurs propriétés mécaniques, être en mesure de modéliser ces matériaux

Réacteurs à eau pressurisée (REP) = infrastructures majeures actuelles

Cours N°4a

Physique et exploitation des REP

Programme du module :

Éléments de physique nucléaire, Architecture des REP et principaux composants,

Éléments de neutronique

Les moyens de contrôle de la réactivité – cas des REP,

Les échanges d'énergie dans les REP,

du combustible au GV,

Distribution de puissance dans un cœur de REP,

Les gestions du combustible,

Fonctionnement et pilotage des REP,

Cycle du combustible,

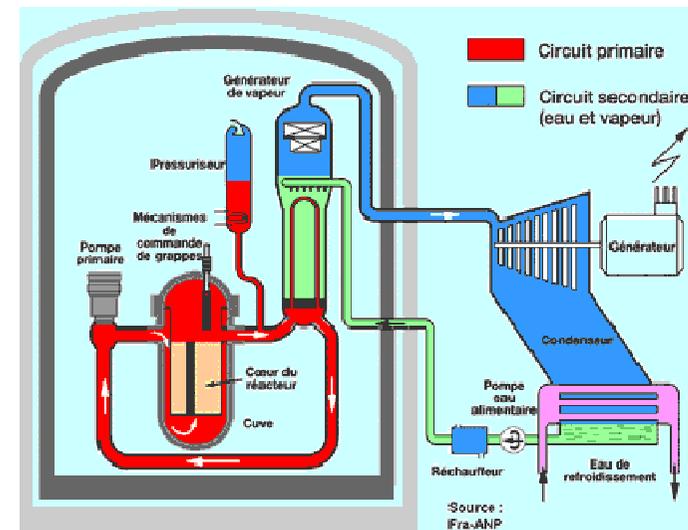
Notions de sûreté,

Déchets radioactifs,

Filières à neutrons rapides,

R&D pour GEN IV,

Économie du nucléaire



Objectifs : Avoir une idée claire de la physique et du fonctionnement de ces réacteurs

Importance de la culture des accidents majeurs liés à l'énergie

Cours N°4b

Enjeux des accidents nucléaires graves

Programme du module :

Fondamentaux en radioprotection, en sûreté nucléaire (conception, réalisation exploitation) et définition d'un accident grave

La sûreté nucléaire : une approche dynamique.

L'accident de TMI

L'accident de Tchernobyl

L'accident de Fukushima

Objectifs : connaissance précise des principaux accidents graves que les centrales ont subi, analyse de ces accidents et du retour d'expérience.

*Accident de Fukushima
Photo live2times.com*



Cours N°5

Ingénierie des incertitudes en mécanique

Objectifs : Être capable de modéliser un problème en prenant en compte l'aléa sur les divers paramètres, de manière à avoir une vision probabiliste du problème.

Programme du module :

Modélisation d'un problème avec une approche « incertitudes »

Construction d'un modèle probabiliste de données

Propagation des incertitudes

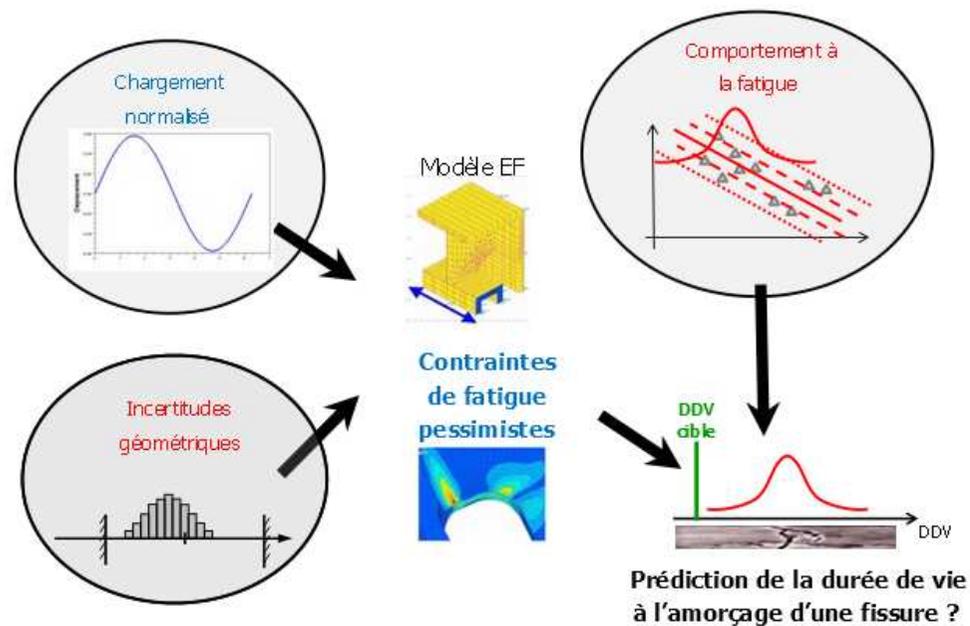


Illustration Nicolas Gayton, IFMA

Programme Séminaire 2015-2016 "Systèmes énergétiques de production d'électricité" par EDF

ANDRIEUX Stéphane Directeur scientifique de la R&D de EDF

[Enjeux et challenges techniques de la production d'électricité dans le monde.](#)

ASTOLFI Jean-François Conseiller du Directeur Exécutif Groupe "Production Ingénierie" à EDF

[L'aventure Nam Theun \(Laos\).](#)

CHABARD Jean-Paul Directeur du Projet Saclay et des Partenariats France de EDF

[Les enjeux de la nouvelle hydraulique.](#)

CARRE Franck Directeur Scientifique de la Direction de l'Energie Nucléaire du CEA

[Nucléaire de 4ème génération et cycle du combustible : le projet Astrid et les autres projets dans le monde.](#)

LEVY-PAING Sarah Research Engineer / EDF – R&D /THEMIS R22

[Eolien off-shore](#)

FAUGERAS Jean-François Directeur adjoint Pôle Aval / EDF –Recherche et Développement

[Smart grids : vers des systèmes électriques encore plus intelligents](#)

CHABARD Jean-Paul Directeur du Projet Saclay et des Partenariats France de EDF

[Les enjeux du thermique à flamme.](#)

SEBAN Roger Directeur Programme "Nouveaux Réacteurs" à EDF

[SMR : les "Small Modular Reactors"](#)

MAUCORT Eric Directeur adjoint à la Direction du Développement Durable d'EDF

[Le nucléaire dans les transitions énergétiques depuis les années 60.](#)

RUIZ Sébastien Directeur du Département Energie dans les Bâtiments et les Territoires à EDF R&D

[Eco efficacité énergétique des bâtiments, gisements, technologies, certificats d'économie d'énergie.](#)

TERRIEN Pascal Directeur Villes Durables à EDF R&D L'énergie et la ville durable

Exemples de stages - promotions 2014 et 2015

- EDF Clamart : Durée de vie d'un arbre de pompe.
- EDF Chatou : Modélisation des contraintes résiduelles engendrées par une opération de soudage.
- EDF UTO Montévrain : Etude des méthodes d'analyse de fissures utilisées dans le nucléaire (RSE-M).
- EDF laboratoire AMA : Développement de méthodes numériques pour la simulation de structures fissurées
- AREVA : Modèle dynamique d'un générateur de vapeur.
- NUVIA Structures Lyon : Développement et validation d'un logiciel d'étude de l'isolation sismique de bâtiment
- NUVIA Structures Aix en Provence : Développement d'une technique innovante de renforcement d'une structure nucléaire.
- Holcim-Lafarge : Analyse mécanique de pièces béton imprimée en 3D

Financements :

Existence de bourses d'excellence offertes par EDF. Se rapprocher des responsables de formation pour connaître les règles d'éligibilité et les démarches à suivre.

Contacts :

A l'Ecole des Ponts ParisTech

Dr Frédéric TAYEB – 01 64 15 39 83 – frederic.tayeb@enpc.fr

Pr Alain EHRLACHER – adjoint – 01 64 15 37 17 – alain.ehrlacher@enpc.fr

Alice TRAN – Gestionnaire – 01 64 15 36 84 – alice.tran@enpc.fr

A l'Université Pierre et Marie Curie Paris 6

Pr Hélène DUMONTET – 01.44.27.39.36 – helene.dumontet@upmc.fr