

La physique subatomique

dans les spécialités « ingénierie
nucléaire » des écoles d'ingénieurs

Compétences des ingénieurs diplômés

Références et Orientations

Connaissances, aptitudes, capacités professionnelles

- Connaissance et compréhension d'un large champ de sciences fondamentales
- Aptitudes à mobiliser les connaissances dans votre spécialité
- Maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur
- Capacité à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer
- Prise en compte des enjeux industriels, économiques et professionnels
- Aptitude à travailler en contexte international
- Sensibilisation aux valeurs sociétales comme le développement durable, et les relations sociales
- Capacité à innover et à entreprendre des recherches
- Capacité à opérer ses choix professionnels et à s'insérer dans la vie professionnelle

**Champ de la présentation : prérequis nécessaires pour
appréhender la spécialité « ingénierie nucléaire »**



Enjeux pour les industriels français « nucléaire »

. Un renouveau du nucléaire :

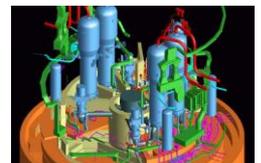
- . accélération des besoins énergétiques des puissances émergentes
- . prise de conscience de la menace associée aux gaz à effet de serre
- . coût des énergies fossiles.

. La France dispose de « champions » industriels dans ce secteur



. De nombreux défis à relever :

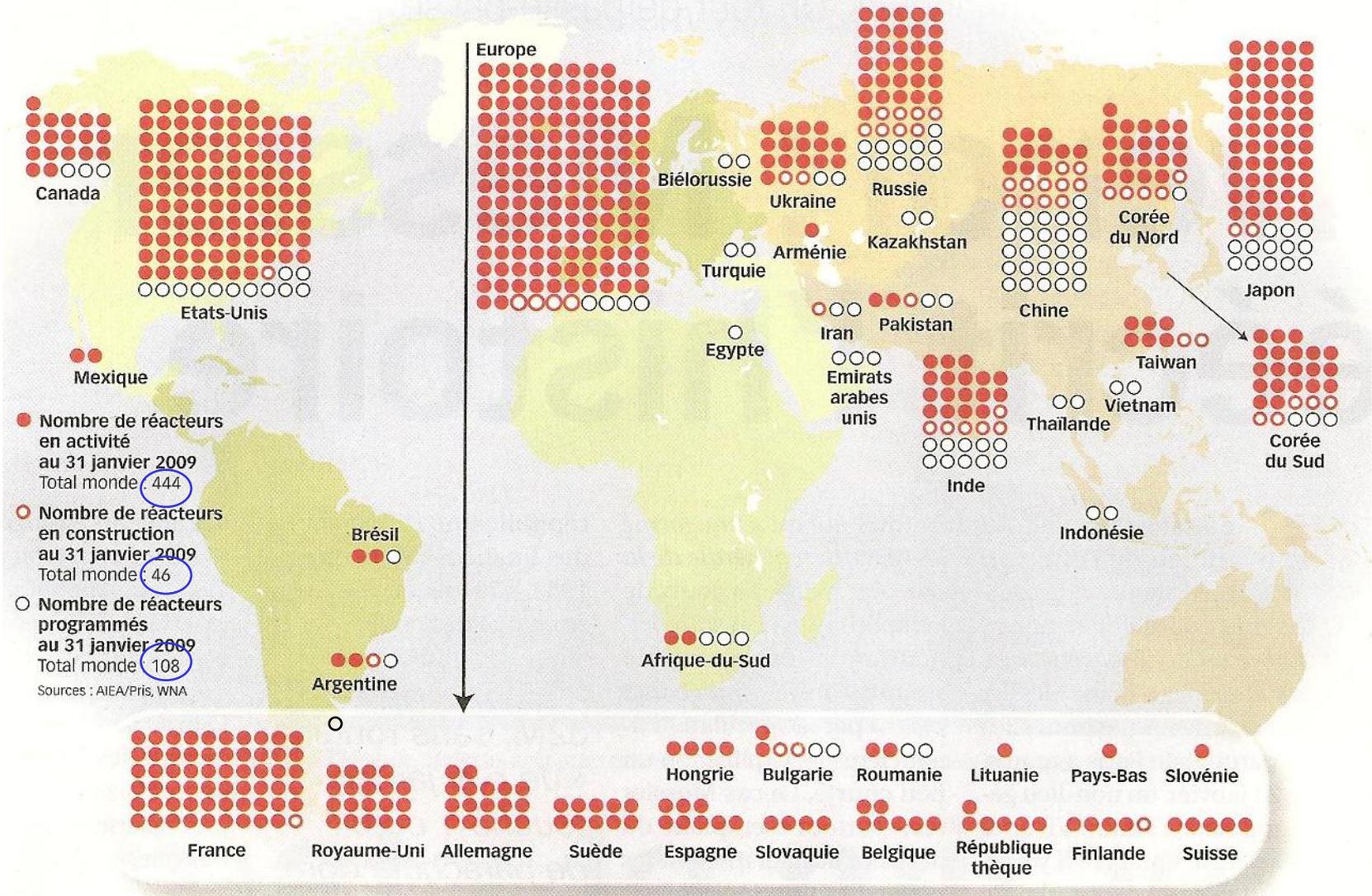
- Exploiter notre parc électronucléaire, de façon performante et sûre
- Mener la R&D sur le cycle du combustible, le démantèlement, les réacteurs du futur,
- Renouveler le parc et investir à l'étranger
- Trouver les ressources financières associées
- Veiller au renouvellement (et développement) du potentiel humain.





Parc nucléaire actuel, constructions & commandes

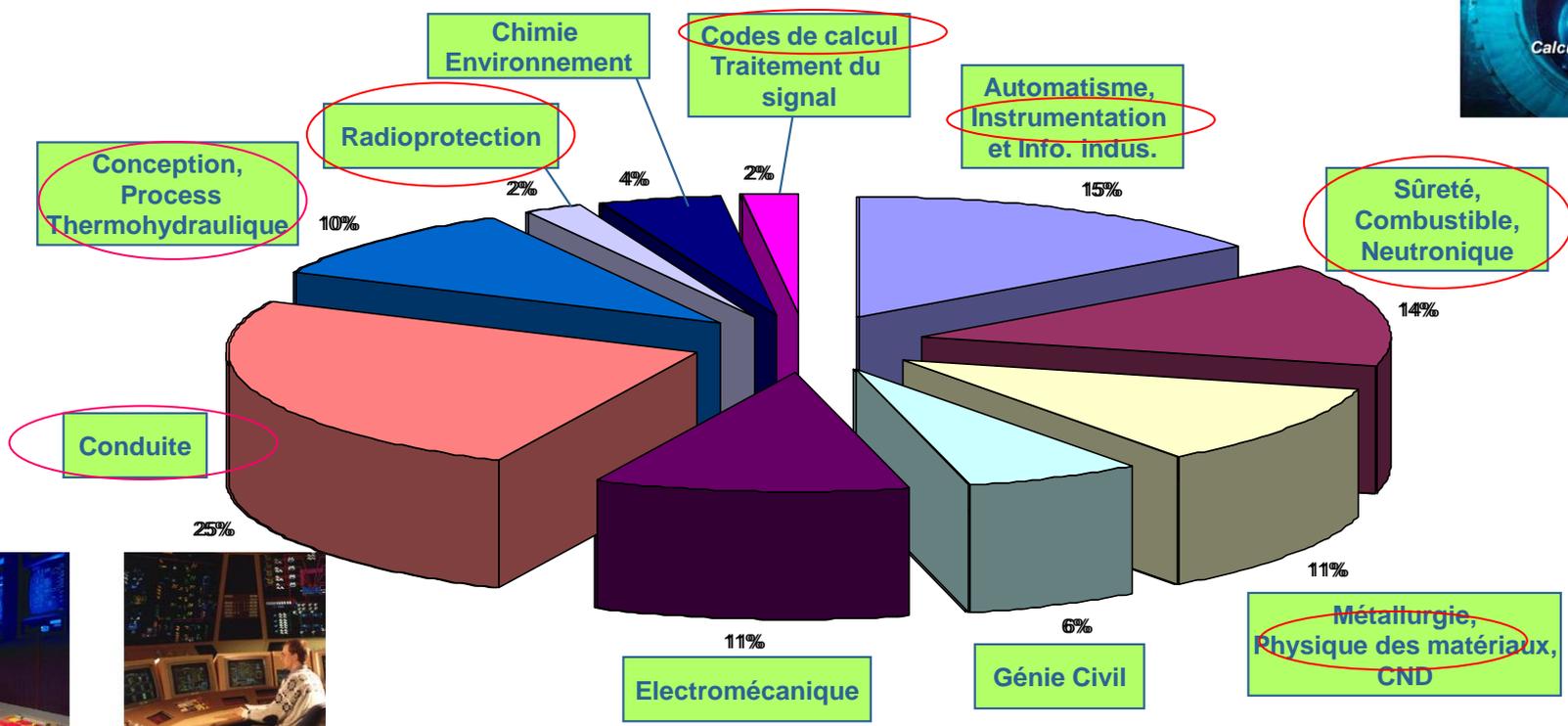
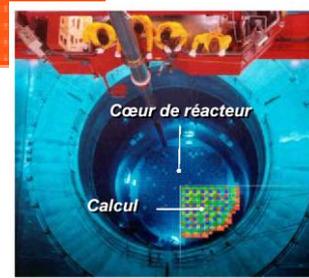
LES RÉACTEURS NUCLÉAIRES DANS LE MONDE, AU 31 JANVIER 2009





Exemple: le besoin en compétences chez EDF

Répartition des recrutements d'ingénieurs, dans le doaine nucléaire chez EDF (R&D, ingénierie, exploitation)

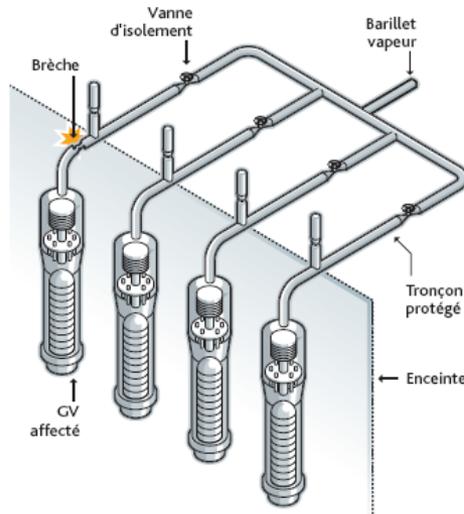


Relevant du génie nucléaire, au sens large : ~ 50%

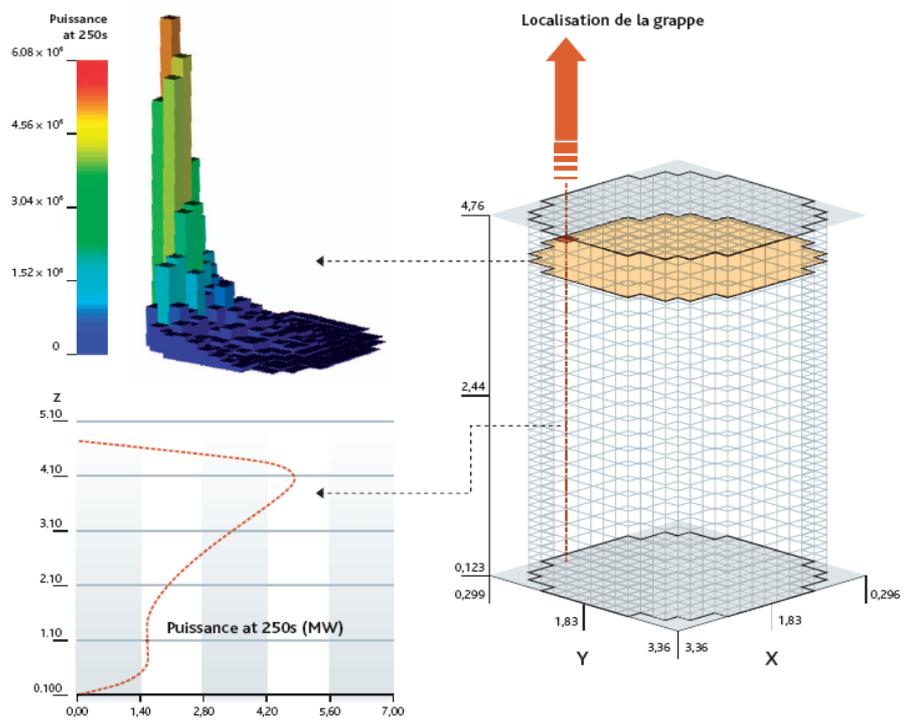




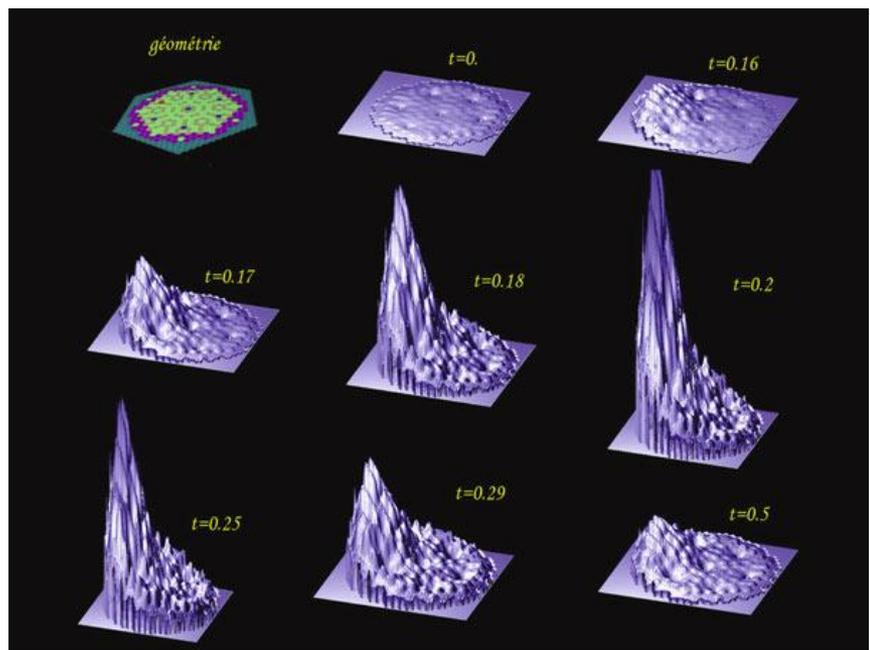
Exemple de problématique pour EDF



. Démontrer le contrôle de la réaction en chaîne, même en cas d'accident grave (ici suite à une brèche sur le circuit secondaire).



Aspect spatial



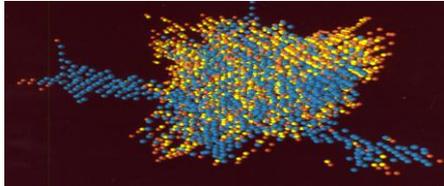
Maitrise court-terme de l'accident par effet Doppler

Aspect temporel

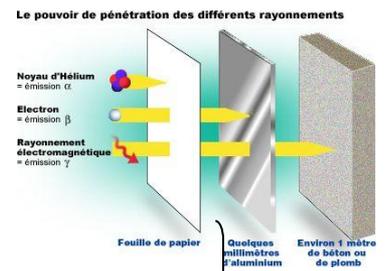


Compétences associées à ces emplois (réacteur)

Lacunes, interstitiels, atomes déplacés



Physique nucléaire
Interaction rayonnement - matière

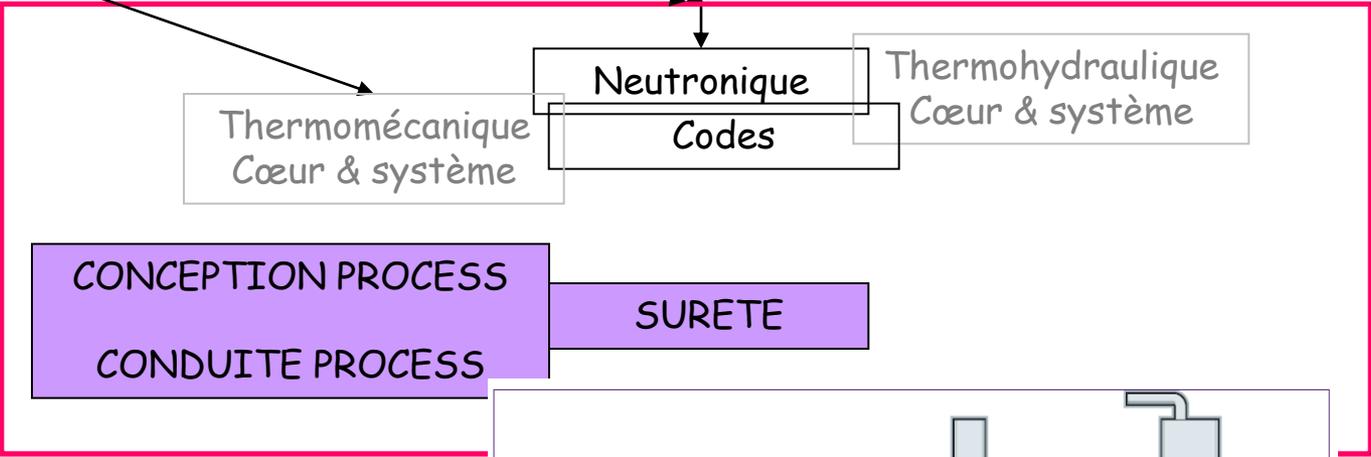


Physique des réacteurs

Effets rayonnement sur matériaux

Instrumentation nucléaire

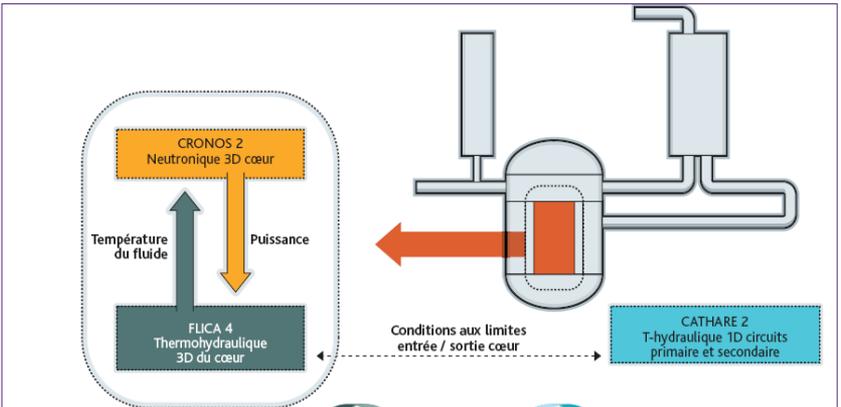
Radioprotection



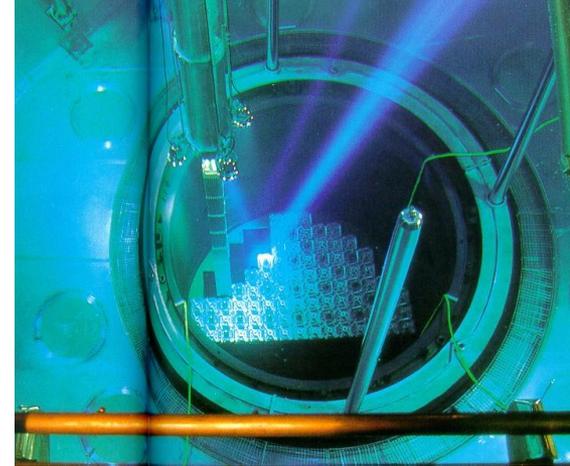
Approche systémique du réacteur nucléaire

CONCEPTION PROCESS
CONDUITE PROCESS

SURETE



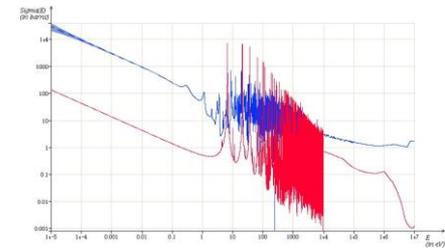
Ex. Le cas de la neutronique



- Caractéristiques « réacteur » à calculer :
 - facteur de multiplication des neutrons k_{eff}
 - plan de chargement cœur, longueur de cycle,...
 - répartition spatiale de puissance en fonctionnement
 - comportement du cœur en situation accidentelle

Informations déduites des taux de réaction $N \cdot \sigma \cdot \phi$

- Avec :
 - $N_i(r,t)$, concentration de chaque radionucléide
 - $\sigma(E)$ section efficace (données nucléaires de base)
 - $\phi(r,E,\Omega,t)$, flux de neutrons.

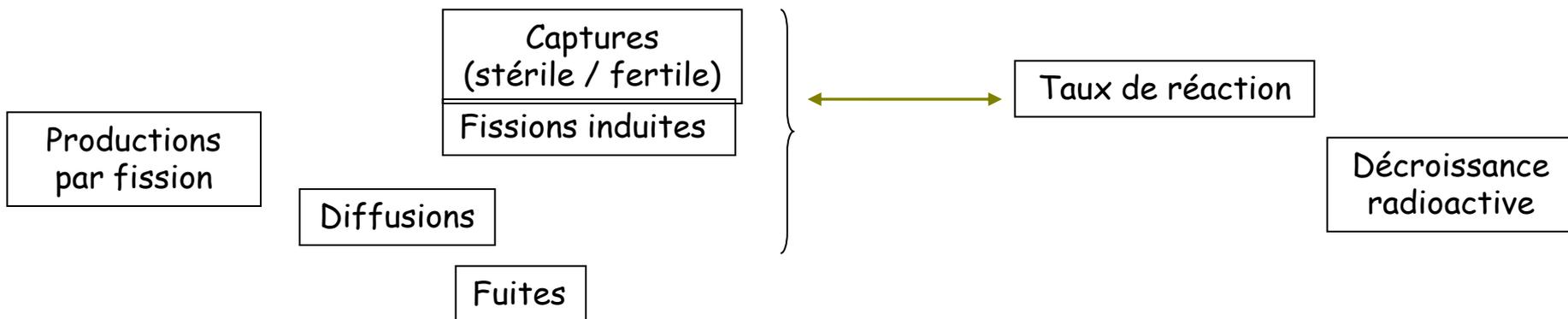




Grandeurs physiques d'intérêt pour l'ingénieur

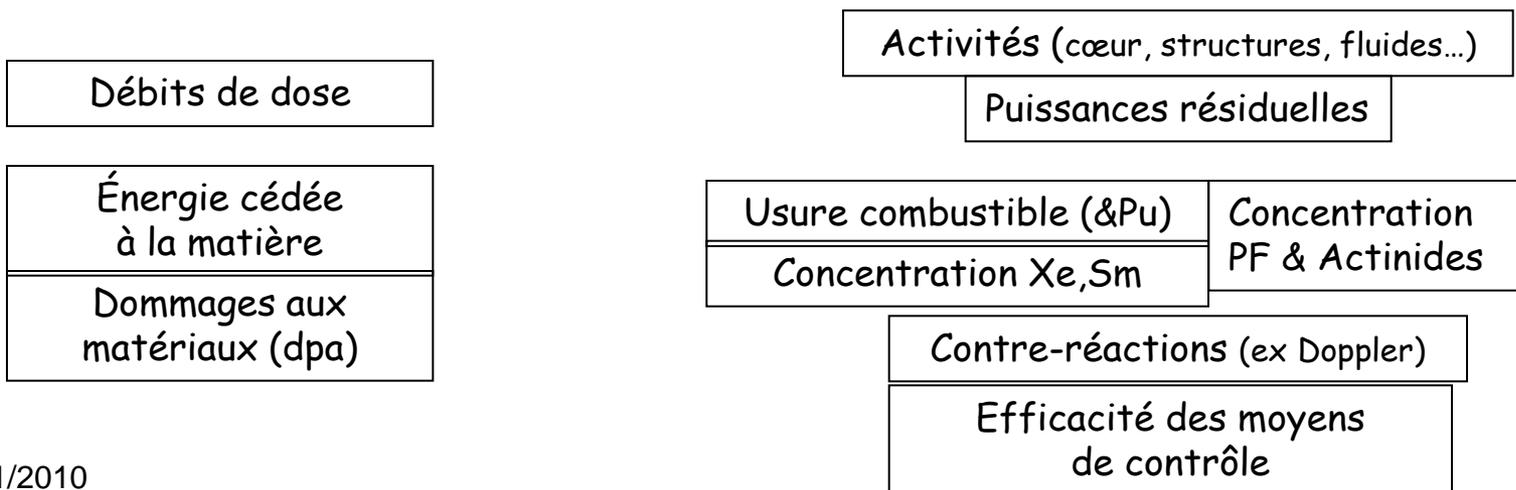
$\phi(r, E, \Omega, t)$, flux de neutrons

$N_i(r, t)$, concentration en radionucléide



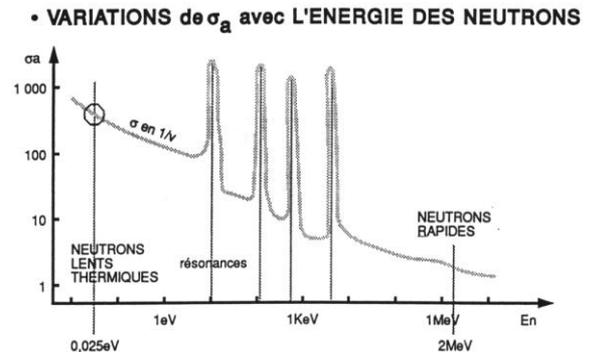
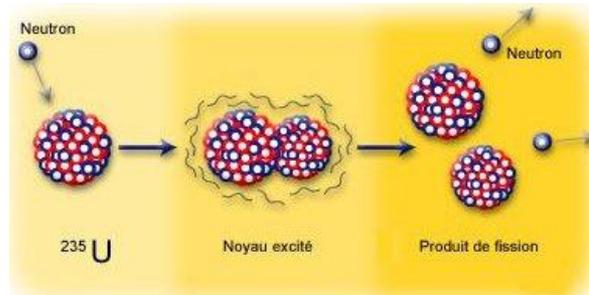
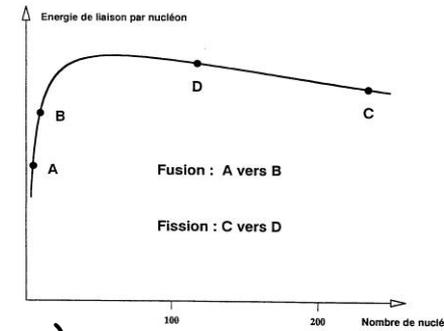
. Avec aspect énergétique associé à ces réactions.

Ex. de grandeurs physiques d'intérêt calculées :



Prérequis en physique nucléaire

- . Structure du noyau,
- . Désintégrations radioactives (décroissance, énergétique, filiations...)
- . Réactions nucléaires avec les neutrons (phénoménologie, sec. efficaces, énergétique ...)
- . Fission (phénoménologie, énergétique, neutrons et produits de fission)
 - ... voire fusion et spallation.

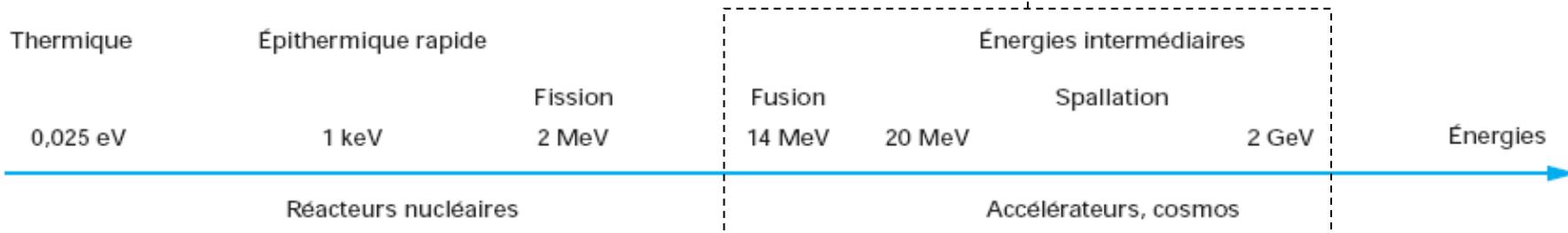
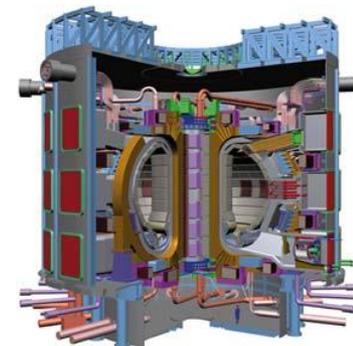


- . Interactions particules - matière (particules lourdes, e , γ)



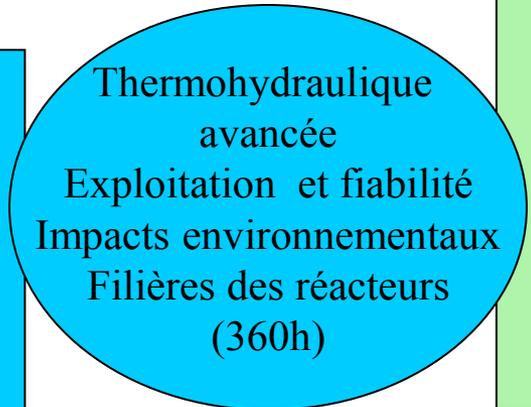
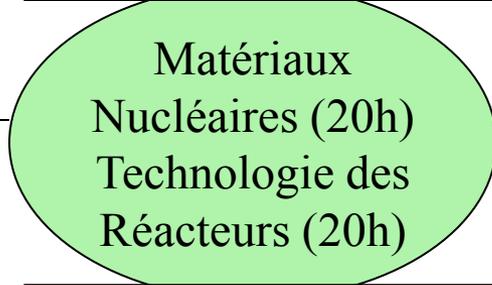
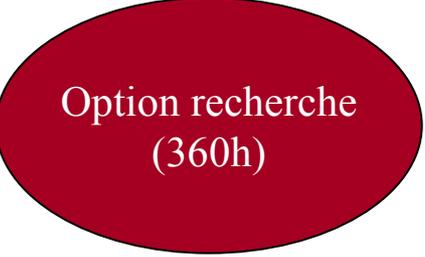
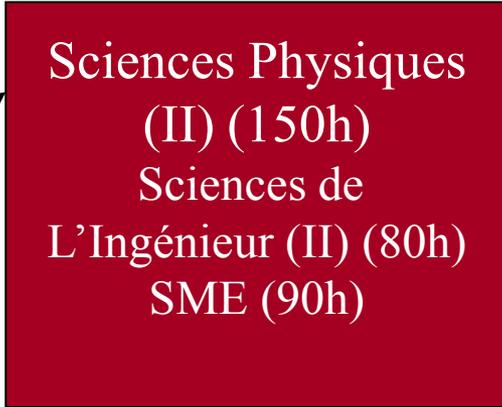
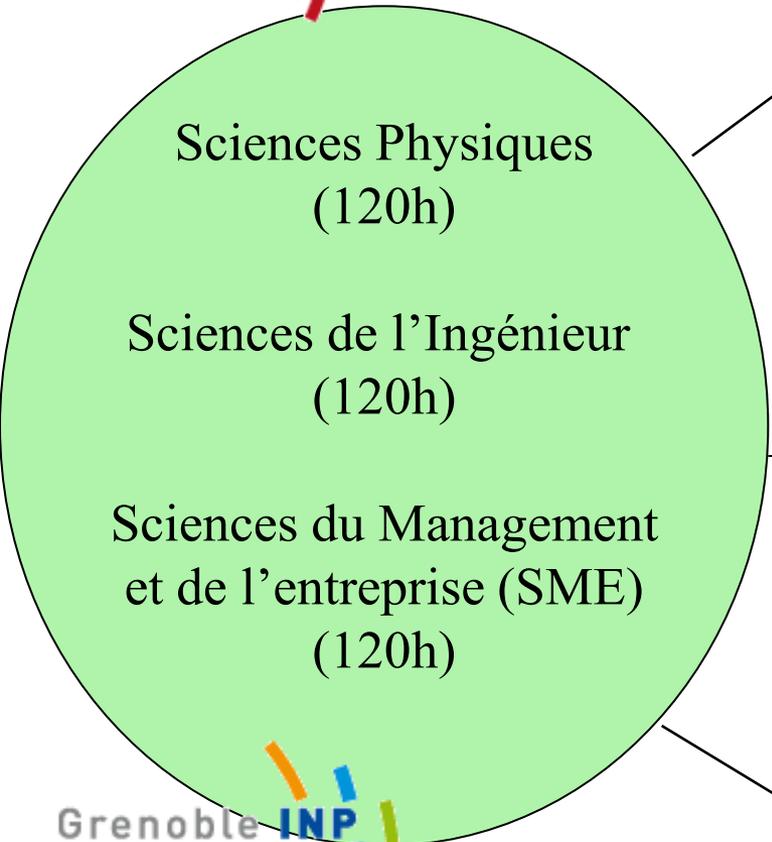
Compétences adaptées à d'autres problématiques

- Le champ d'application de cette physique dépasse largement le cadre des réacteurs nucléaires de fission
- Autres domaines concernés :
 - Cycle du « combustible » associé,
 - Transport des matières, Démantèlement
 - Médecine nucléaire,
 - Machines à fusion thermonucléaire,
 - Accélérateurs de particules et systèmes « hybrides » .
 - ...





Filière GEN Grenoble-INP





Dans le détail GEN Phelma



Filière GEN – Semestre 3

UE Sciences physiques (125h)

Physique quantique

Bases de la physique des réacteurs

Introduction à la physique des matériaux

Thermodynamique macroscopique

Interaction rayonnement matière

Physique des semi-conducteurs

UE Sciences de l'Ingénieur (140h)

Bureau d'études mécanique

Méthodes numériques

Mathématiques (Eq diff EDP)

Transferts thermiques

Filière GEN – Semestre 4

UE Sciences physiques (190h)

Physique nucléaire 2

Neutronique

TP instrumentation nucléaire

Mécanique des fluides

Matériaux pour le nucléaire

Détecteurs

UE Sciences de l'Ingénieur (70h)

Projet de méthodes numériques

Informatique Industrielle

Technologie des réacteurs nucléaires

Filière GEN – Semestre 5

Module Commun (180 h)

Cinétique des réacteurs

Thermohydraulique simple phase

Ruine des matériaux en réacteur

Conception de réacteurs

Simulations neutroniques probabiliste et déterministe

BE d'analyse par activation

BE Simulateur principes de base de centrale

Parcours Recherche et Développement (130h)

Ecoulements diphasiques

Rayonnement et transferts

Aval du cycle électronucléaire

Simulations en thermohydraulique

Combustibles nucléaires

Microthermique et Microfluidique

TP de thermohydraulique

Parcours Exploitation et Sûreté (130h)

BE simulateur full scale (EDF)

Expertise d'avarie, étude de cas

Déconstruction et environnement

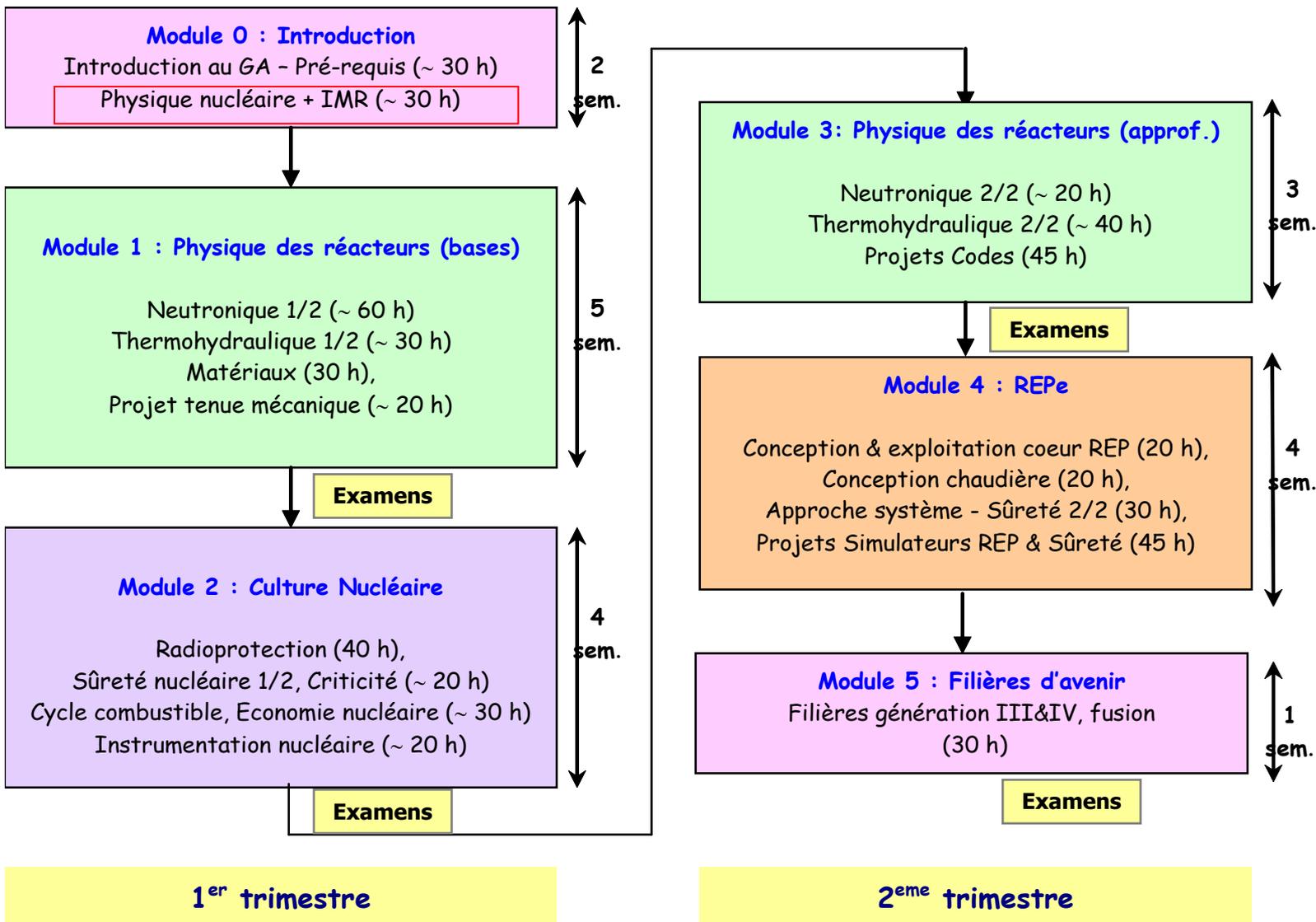
Principes généraux de sûreté

Sûreté de fonctionnement, Fiabilité

Sûreté nucléaire

BE. études de cas

Spécialisation d'ingénieur en 1 an




NTSE - Nucléaire : Technologies, Sûreté et Environnement

Unité de valeur	Année 1		Année 2	
	S1	S2	S1	S2
	UV scientifique et technique			
UV Physico-chimie de l'environnement : radioactivité - ST212ER		7		
UV Physique des rayonnements ionisants - ST111RI	7			
UV Recherche et développement en physique nucléaire - ST312PN		7		
UV1 Réacteurs, matériaux nucléaires et accélérateurs - ST121RM			8	
UV2 Gestion et stockage des déchets nucléaires - ST221GD			8	
UV3 Sûreté et radioprotection - ST321SR			8	
UV4 Applications de la radioactivité et projet en contexte international - ST421AR			8	

STAR - Systèmes et Technologies Associés aux Réacteurs nucléaires

Unité de valeur	Année 1		Année 2	
	S1	S2	S1	S2
	UV scientifique et technique			
UV Neutronique - ST121CR			8	
UV Physique des rayonnements ionisants - ST111RI	7			
UV Recherche et développement en physique nucléaire - ST312PN		7		
UV Refroidissement et Confinement - ST221RC				



Spécialité électronique & physique appliquée

Majeure Génie Nucléaire

Programme

3^e année
 Exploitation des Réacteurs
 Réacteurs Avancés
 Economie du Nucléaire
 Démantèlement
 Matériaux pour le Nucléaire
 Réacteur à Eau Pressurisée
 stage (5 à 6 mois)

2^e année
 Interaction Rayonnement Matière
 Neutronique
 Thermohydraulique
 Radioprotection
 Sureté
 Simulations Numériques
 Instrumentation REP
 Cycle du combustible
 stage (3 à 4 mois)

1^{re} année
 Noyaux et Rayonnements

Majeure Instrumentation Avancée

Programme

3^e année
 Contrôle Non Destructif
 Techniques d'Imagerie
 Applications des Rayonnements
 Systèmes Optoélectroniques
 Détecteurs Nucléaires
 Instrumentation Avancée
 Systèmes Embarqués
 Projet
 stage (5 à 6 mois)

2^e année
 Interaction Rayonnement Matière
 Optique Cohérente
 Optique des Milieux Matériels
 Radioprotection - Dosimétrie
 Simulations
 Lasers
 Instru. Capteurs & Labview
 stage (3 à 4 mois)

1^{re} année
 Noyaux et Rayonnements



M1 - Energie Nucléaire

Organisation des enseignements

SEMESTRE 1	
UE	Crédits (ETCS)
Elements de physique nucléaire	5
Science des matériaux	6
Filières énergétiques	3
Option 1: Génie électrique	3
Mécanique des milieux continus	3
Langues et Culture	3
Thermodynamique	3
Génie des procédés 1	4
Option 1: Mécanique Quantique	3

SEMESTRE 2	
UE	Crédits ECTS
Gestion de projet	3
Mécaniques des fluides et transferts thermiques	5
Option 2: Génie des procédés 2	3
Chimie des solutions	3
Économie de l'énergie	4
Option 2 : Automatique	3
Option 2: Introduction à la neutronique	3
Mathématique	3
Stage	9

M2 - Conception

Organisation des enseignements

SEMESTRE 1	
UE de la spécialité	Crédits (ETCS)
Introduction à la sûreté	2
Description fonctionnelle d'une centrale nucléaire	3
Thermo hydraulique des réacteurs	6
Codes de calcul des réacteurs	4
Matériaux pour le nucléaire	5
Introduction à la Physique Nucléaire	6
Neutronique 1	4

SEMESTRE 2	
UE de la spécialité	Crédits ECTS
Filières de réacteurs et tp-simulateur	4
Neutronique 2	4
Combustible et cycles associés; Sûreté-criticité, et Radioprotection	4
Stage	18

M2 - Physique et ingénierie des réacteurs nucléaires

Organisation des enseignements

SEMESTRE 1	
UE de la spécialité	Crédits (ETCS)
Introduction à la sûreté	2
Description fonctionnelle d'une centrale nucléaire	3
Management, gestion des risques	5
Environnement-Société	5
Radioprotection 1	2
Matériaux pour les centrales nucléaires	5
Physique Nucléaire Appliquée	5
Thermohydraulique des réacteurs	5
Radioprotection 2	3

SEMESTRE 2	
UE de la spécialité	Crédits ECTS
Conception-Construction des infrastructures et structures	4
Conception-Sûreté: Architecture générale, Systèmes et Equipements	4
Conception calculs et contrôle	4
Stage	18