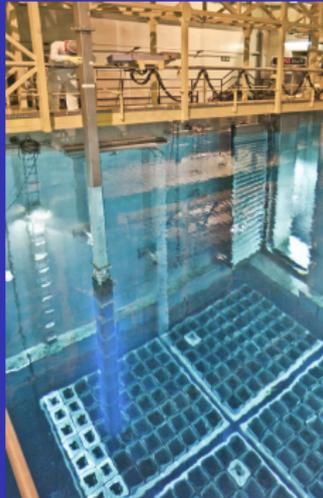


Introduction aux cours de Génie Nucléaire.



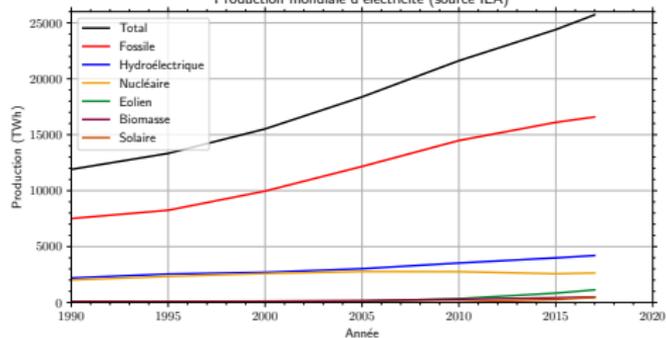
F. Ravelet

Laboratoire d'Ingénierie des Fluides et Systèmes Energétiques - Arts et Metiers Institute of Technology

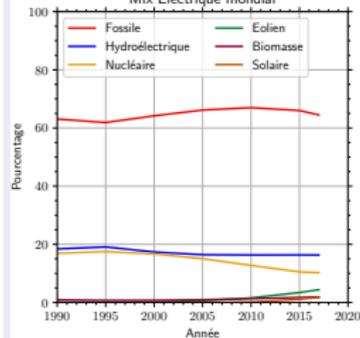
1^{er} mars 2021

La part du nucléaire dans l'électricité au niveau mondial et européen

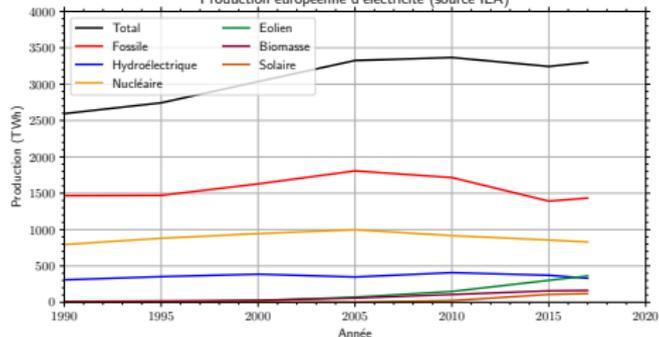
Production mondiale d'électricité (source IEA)



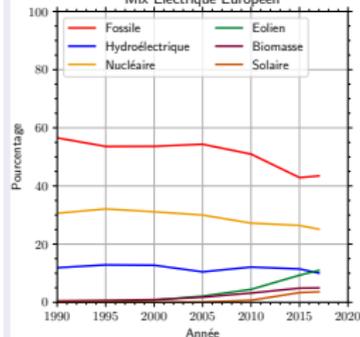
Mix Electrique mondial



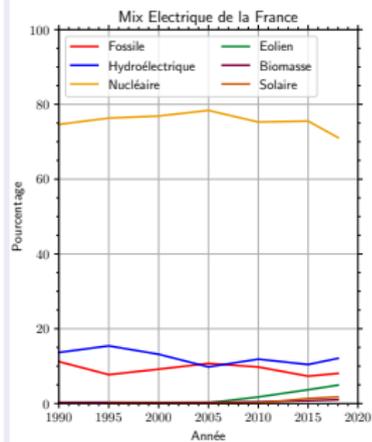
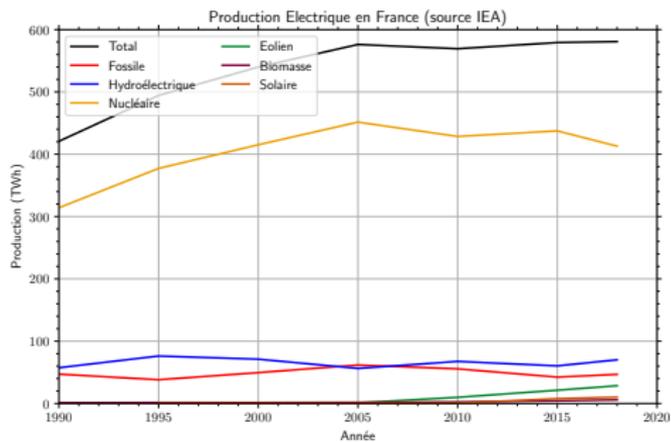
Production européenne d'électricité (source IEA)



Mix Electrique Européen



La part du nucléaire dans l'électricité en France



Cartographie mondiale (source Elecnuc 2019, CEA)

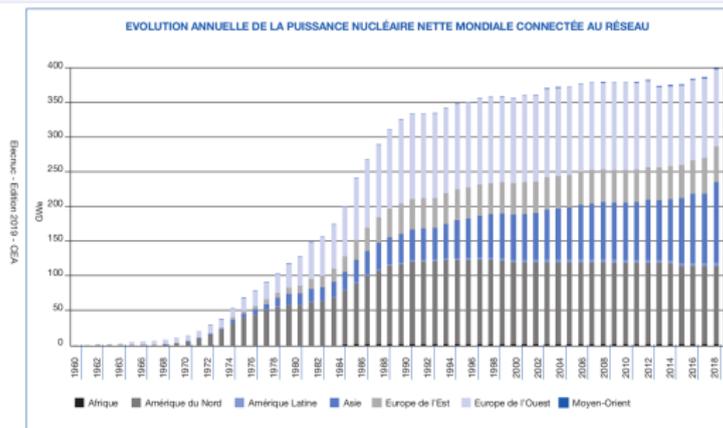
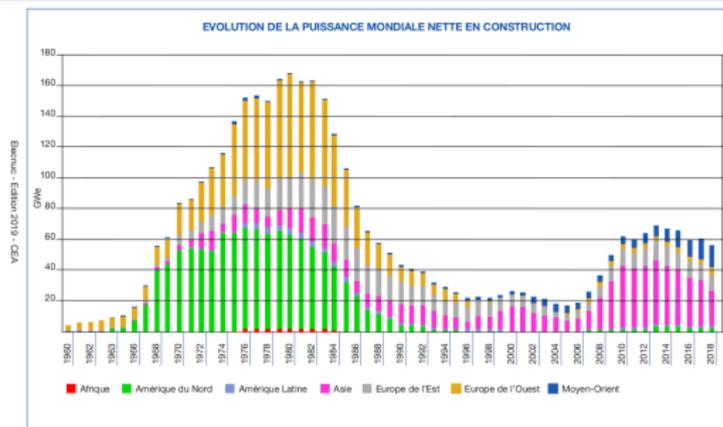
Pays	En marche (2018)			Construction (2018)		Arrêtés (1950-2018)	
	GWe	#	%	GWe	#	GWe	#
1. Etats-Unis	98.3	97	19.3	2.2	2	15.7	36
2. France	63.1	58	71.7	1.6	1	3.8	12
3. Chine (11è en 2010, 20è en 2000)	42.8	46	4.2	10.9	11	0	0
4. Japon	35.9	37	6.2 [†]	2.6	2	12.8	23
5. Russie	27.2	35	17.9	3.6	5	2.1	8
6. Corée du Sud	22.5	24	23.7	5.3	4	0.5	1
7. Canada	13.5	19	14.9	0	0	2.1	6
8. Ukraine	13.1	15	53.0	1.9	2	3.5	4
9. Allemagne (5è en 2010)	9.5	7	11.7	0	0	16.9	29
10. Royaume-Uni	8.9	15	17.7	1.6	1	4.7	30
11. Suède	8.6	8	40.3	0	0	2.3	5
12. Espagne	7.1	7	20.4	0	0	1	3
13. Inde	6.2	22	3.1	4.8	7	0	0
14. Belgique	5.9	7	39.0	0	0	0.01	1
15. Taiwan	4.4	5	n.c.	2.6	2	0.6	1
31 pays + 4 à venir	395.2	447	13.2 (10.5*)	54.2	53	73.1	176

% : pourcentage de l'électricité produite. [†] : avant Fukushima, environ 18%. Seuls 9 réacteurs ont produit en 2018. * : ensemble de l'électricité mondiale (31 pays nucléaires produisent 75% de l'électricité mondiale)

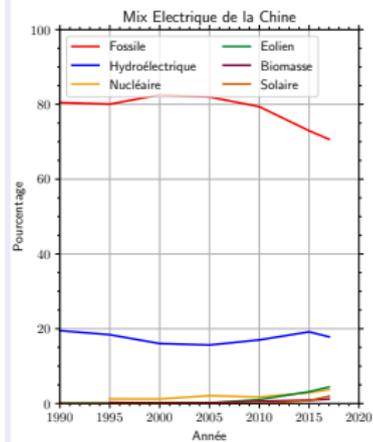
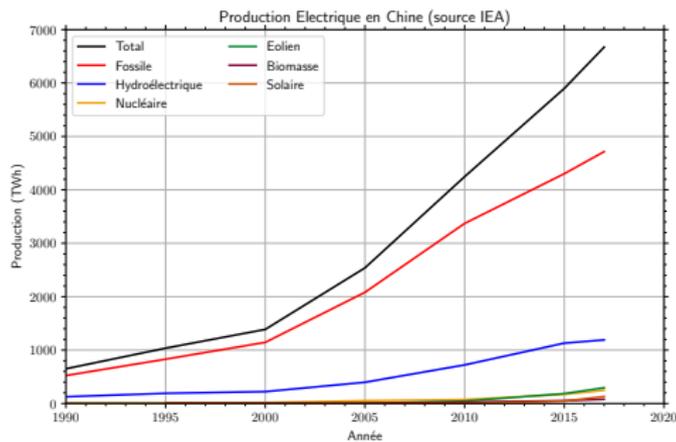
Faits marquants :

- En 2018, 9 mises en service dont 7 en Chine (+10.3 GW) et 7 arrêts définitifs (-5.4 GW). Premiers réacteurs de Gén. III
- Le Japon souhaite une part de 20% à horizon 2030
- La Chine prévoit 120 GW en 2030
- L'Inde prévoit une vingtaine de réacteurs en plus d'ici 2030

Historique du développement du nucléaire par région (source Elecnucl 2019, CEA)

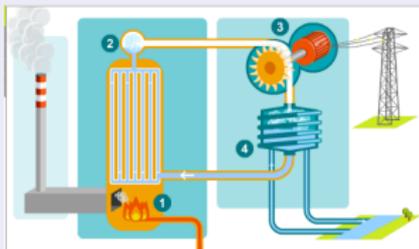


La part du nucléaire dans l'électricité en Chine



Centrale nucléaire de production d'électricité

- Une centrale électrique...



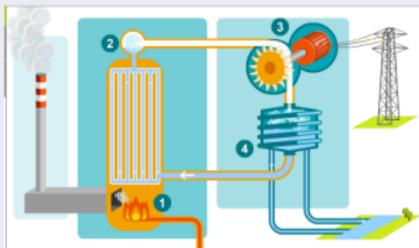
Centrale au charbon (Belgique)



Centrale nucléaire de Golfech (Tarn et Garonne)

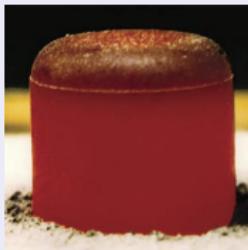
Centrale nucléaire de production d'électricité

- Une centrale électrique...



Centrale au charbon (Belgique)

- Avec une source chaude un peu particulière



Lingot de Plutonium 238, rougeoyant sous l'effet de sa radioactivité naturelle

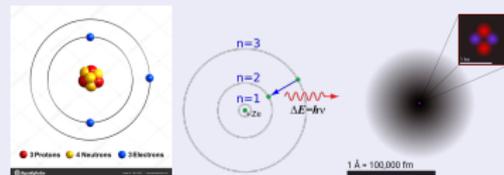


Centrale nucléaire de Golfech (Tarn et Garonne)

Rappels de Physique atomique : cours de M. Pereira (GE2)

- Atomes : noyau + cortège électronique
 - ▶ **Elément** chimique = **numéro atomique Z** (nombre de protons dans le noyau)
 - ▶ Atome neutre électriquement (nombre électrons = nombre de protons)
 - ▶ **Electrons** organisés en **couches** (effet photoélectrique, **liaisons chimiques**)

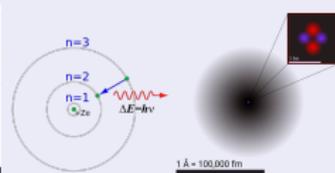
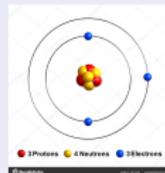
Charge électron	$-e$	-1.6×10^{-19} C
Unité pratique : l'électronvolt	eV	1.6×10^{-19} J
Masse électron	m_e	9.109×10^{-31} kg
Masse proton	m_p	1.672×10^{-27} kg
Permittivité du vide	ϵ_0	8.854×10^{-12} F.m ⁻¹
Constante de Planck	h	6.626×10^{-34} J.s



Rappels de Physique atomique : cours de M. Pereira (GE2)

- Atomes : noyau + cortège électronique
 - ▶ **Elément chimique** = **numéro atomique Z** (nombre de protons dans le noyau)
 - ▶ Atome neutre électriquement (nombre électrons = nombre de protons)
 - ▶ **Electrons** organisés en **couches** (effet photoélectrique, **liaisons chimiques**)
- Principaux résultats :
 - ▶ Relation de Planck-Einstein : $E = h\nu$
 - ▶ Relation de de Broglie (dualité onde-corpuscule) : $\lambda = \frac{h}{p}$
 - ▶ Loi de Coulomb (**interaction électrostatique**) : $F = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
 - ▶ Postulat de Bohr : périmètre orbite multiple de λ (n un entier)
 - ▶ Calcul de la dimension et de l'énergie de liaison de l'électron dans l'atome d'hydrogène.

Charge électron	$-e$	-1.6×10^{-19} C
Unité pratique : l'électronvolt	eV	1.6×10^{-19} J
Masse électron	m_e	9.109×10^{-31} kg
Masse proton	m_p	1.672×10^{-27} kg
Permittivité du vide	ϵ_0	8.854×10^{-12} F.m ⁻¹
Constante de Planck	h	6.626×10^{-34} J.s



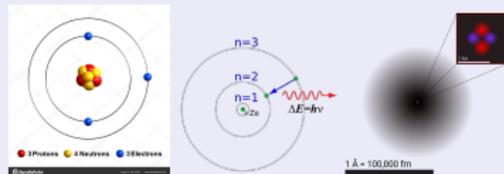
Rappels de Physique atomique : cours de M. Pereira (GE2)

- Atomes : noyau + cortège électronique
 - ▶ **Elément** chimique = **numéro atomique Z** (nombre de protons dans le noyau)
 - ▶ Atome neutre électriquement (nombre électrons = nombre de protons)
 - ▶ **Electrons** organisés en **couches** (effet photoélectrique, **liaisons chimiques**)

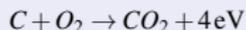
- Principaux résultats :

- ▶ Relation de Planck-Einstein : $E = h\nu$
- ▶ Relation de de Broglie (dualité onde-corpuscule) : $\lambda = \frac{h}{p}$
- ▶ Loi de Coulomb (**interaction électrostatique**) : $F = \frac{qq'}{4\pi\epsilon_0 r^2}$
- ▶ Postulat de Bohr : périmètre orbite multiple de λ (n un entier)
- ▶ Calcul de la dimension et de l'énergie de liaison de l'électron dans l'atome d'hydrogène.

Charge électron	$-e$	-1.6×10^{-19} C
Unité pratique : l'électronvolt	eV	1.6×10^{-19} J
Masse électron	m_e	9.109×10^{-31} kg
Masse proton	m_p	1.672×10^{-27} kg
Permittivité du vide	ϵ_0	8.854×10^{-12} F.m ⁻¹
Constante de Planck	h	6.626×10^{-34} J.s



- **Dimension des atomes** : de 100×10^{-12} m (hydrogène) à 600×10^{-12} m (césium)
- **Dimension des noyaux** : de 1×10^{-15} m à 16×10^{-15} m
- **Energies « chimiques »** \simeq eV



Energie nucléaire et radioactivité : cours de F. Ravelet 1 (GE2)

● Constitution des noyaux

- ▶ Il existe des atomes de masses atomiques différentes chimiquement indiscernables (Découverte rapportée par Soddy en 1913 en étudiant la radioactivité)
- ▶ Noyau de **nombre de masse A** , A_ZX formé de Z protons et $A - Z$ **neutrons**
- ▶ Deux noyaux de même Z et de A différents = **isotopes**
- ▶ Nombre d'isotopes observés à l'état naturel : 2 à 3 par élément
- ▶ protons et neutrons **liés par interaction forte**
- ▶ force à **très courte portée** (fm) et **très intense** (1000× électromagnétique)
- ▶ Existence d'une « vallée de stabilité »

● Energie de liaison nucléaire

- ▶ Energie de masse $E = m_0c^2$: une forme d'énergie potentielle
- ▶ Energie de liaison : énergie à fournir pour briser une liaison.
- ▶ Lien entre défaut de masse et énergie de liaison
- ▶ Les isobares ($A = \text{cte}$) n'ont pas la même masse : certains sont plus légers donc plus stables
- ▶ Modèle de la goutte : vallée de stabilité
- ▶ Etudes des principaux modes : décroissance par émission de particules α , β et γ
- ▶ Calculs d'énergie de réactions à partir de tables de masse
- ▶ Lois de décroissance radioactive (notions de période)

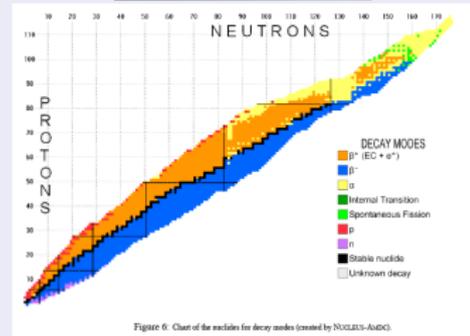
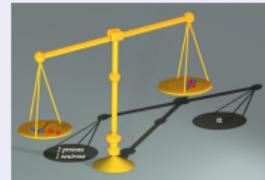
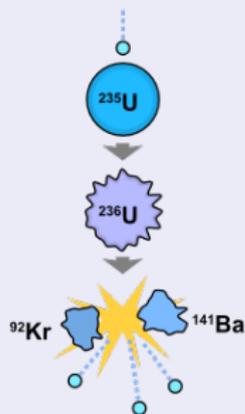
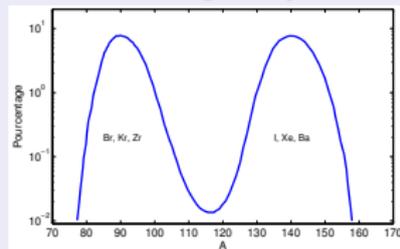
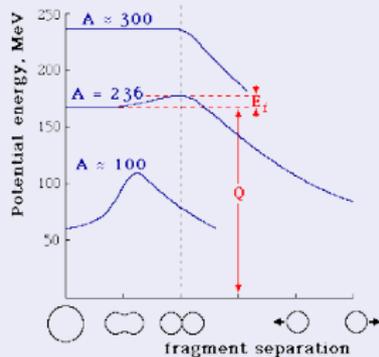


Figure 6. Chart of the nuclides for decay modes (created by NUCLEUS-AUDC).

Fission nucléaire : cours de B. Mercier 1 (GE2)

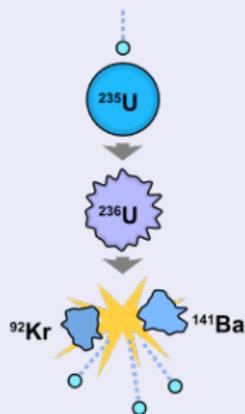


- Certains noyaux lourds et fragiles peuvent se casser en deux fragments
- Réaction exo-énergétique pour $A \gtrsim 100$



Distribution statistique des produits de fission pour



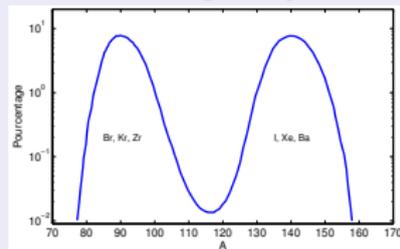
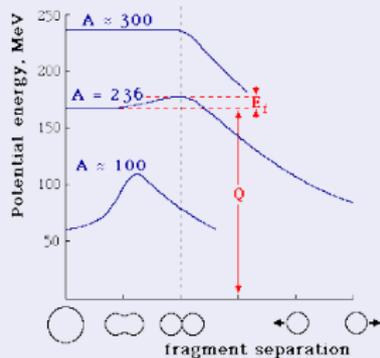


- Mais déformation initiale = barrière de fission

$$E_{\text{barriere}} = 19.0 - 0.36 \frac{Z^2}{A} + \epsilon \text{ MeV}$$

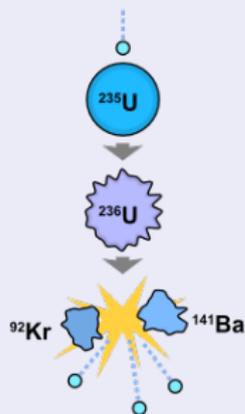
avec $\epsilon = 0$ pour Z pair $A - Z$ pair, $\epsilon = 0.4$ pour pair/impair et $\epsilon = 0.7$ pour impair/impair

- Fission spontanée très rare (probabilité $\approx 10^{-6}$ par désintégration pour ^{238}U)



Distribution statistique des produits de fission pour

$^{235}_{92}\text{U}$.

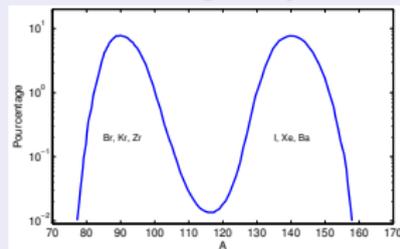
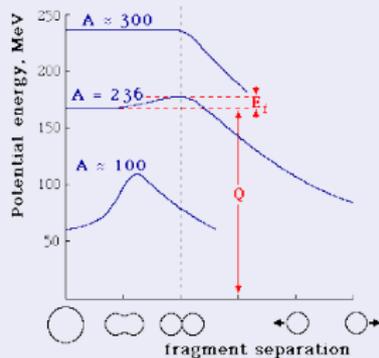


- Mais déformation initiale = barrière de fission

$$E_{barriere} = 19.0 - 0.36 \frac{Z^2}{A} + \epsilon \text{ MeV}$$

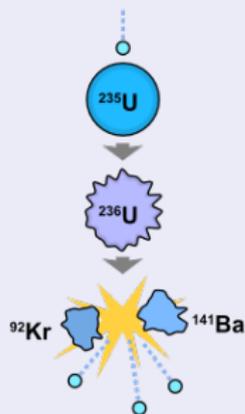
avec $\epsilon = 0$ pour Z pair $A - Z$ pair, $\epsilon = 0.4$ pour pair/impair et $\epsilon = 0.7$ pour impair/impair

- Fission spontanée très rare (probabilité $\approx 10^{-6}$ par désintégration pour ^{238}U)
- Un neutron se liant à un noyau peut provoquer une fission : **calculs pour ^{238}U et ^{235}U**



Distribution statistique des produits de fission pour

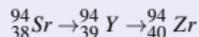
^{235}U .



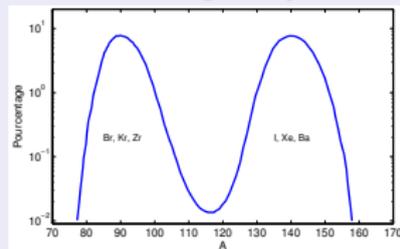
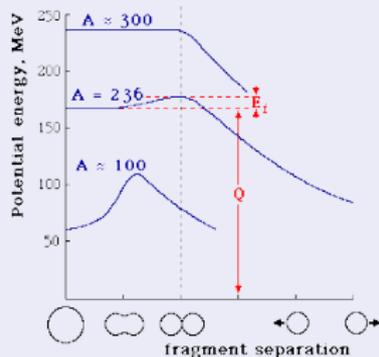
- Plusieurs centaines de réactions possibles. Exemple :



- Produits de fission radioactifs :

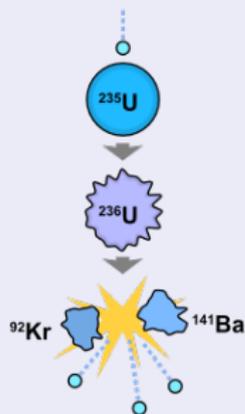


- Calcul de l'énergie de fission : $^{140}_{58}\text{Ce} = 139.905446 \text{ u}$
et $^{94}_{40}\text{Zr} = 93.906313 \text{ u}$



Distribution statistique des produits de fission pour

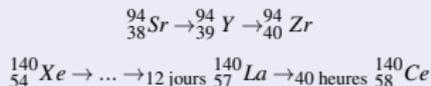




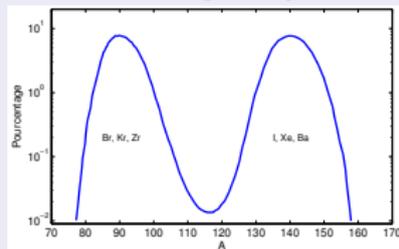
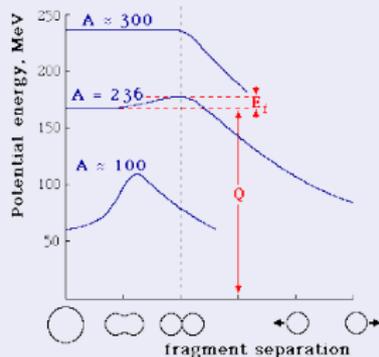
- Plusieurs centaines de réactions possibles. Exemple :



- Produits de fission radioactifs :



- Calcul de l'énergie de fission : ${}_{58}^{140}\text{Ce} = 139.905446 \text{ u}$
et ${}_{40}^{94}\text{Zr} = 93.906313 \text{ u}$
- Deux à trois neutrons libres : possibilité d'entretien des fissions (réaction en chaîne). Energie des neutrons $\approx 2 \text{ MeV}$



Distribution statistique des produits de fission pour



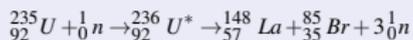
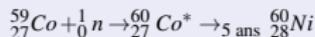
Neutronique

- Neutronique : étude du cheminement des neutrons dans la matière et des réactions induites
- Réaction nucléaire : interaction entre particule-projectile et noyau-cible
- Pour un neutron traversant un bloc de matière :

- ▶ Fuite

- ▶ Interaction

- ★ Diffusion : le neutron « rebondit » (en perdant de l'énergie)
- ★ Absorption : ${}_Z^A X + {}_0^1 n \rightarrow {}_Z^{A+1} X^*$; noyau excité (émission γ), souvent radioactif (phénomène d'activation), ou provoque une fission :



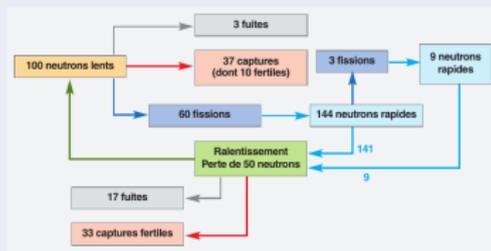
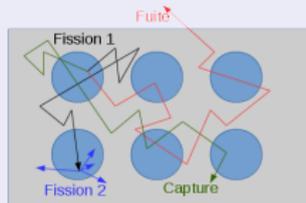
- Probabilité de chaque réaction mesurée par la « section efficace »

Quelques valeurs de section efficace microscopique

	σ_a (barns) thermiques (25.3 meV)	σ_a (barns) rapides (2 MeV)	σ_f (barns) thermiques (25.3 meV)	ν nbre neutrons réémis	σ_f (barns) rapides (2 MeV)	ν nbre neutrons réémis	σ_s (barns) thermiques (25.3 meV)	σ_s (barns) rapides (2 MeV)
^{235}U	681	1.37	582	2.47	1.27	2.46	13.8	3.5
^{238}U	2.7	0.7	0	0	0.52	2.88	8.9	4
^{239}Pu	1011	2.0	742	2.91	1.9	2.88	7.7	3.9
^1H	0.322						30.3	2
^2H	0.0005						4.3	
^{10}B	3840						4.5	
^{12}C	0.0034						4.9	
^{16}O	0.0002						3.8	

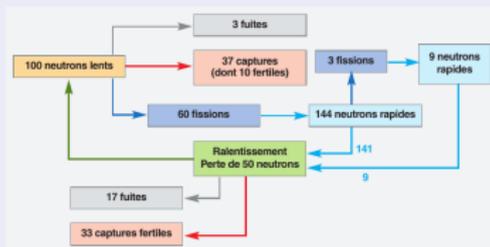
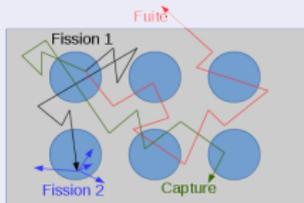
Condition de criticité : cours de B. Mercier (GE3)

- Criticité k : nombre de neutrons produits par unité de temps / nombre de neutrons « disparaissant » par unité de temps (fuite + absorptions)
- Si $k > 1$ (**sur-critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission augmentent
- Si $k = 1$ (**critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission sont constants
- Si $k < 1$ (**sous-critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission diminuent



Condition de criticité : cours de B. Mercier (GE3)

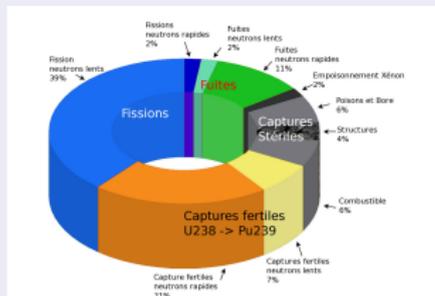
- Criticité k : nombre de neutrons produits par unité de temps / nombre de neutrons « disparaissant » par unité de temps (fuite + absorptions)
- Si $k > 1$ (**sur-critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission augmentent
- Si $k = 1$ (**critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission sont constants
- Si $k < 1$ (**sous-critique**) : le flux de neutrons et donc le taux de fission diminuent



- Naïvement (milieu homogène infini) :

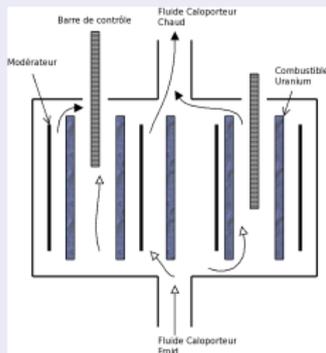
$$k_{\infty} = \frac{v \Sigma_f}{\Sigma_a}$$

- Deux voies possibles pour un réacteur :
 - ▶ **neutrons rapides** (2 MeV) : réactions utiles favorisées, transmutations des actinides, possibilité de surgénération.
Mais faibles sections efficaces microscopiques : combustible fortement enrichi
 - ▶ **neutrons lents** (0.1 eV) : plus d'interactions, possibilité d'employer un combustible peu ou pas enrichi
Nécessité d'un modérateur (ralentisseur de neutron), **risque d'absorptions stériles pendant le ralentissement**



Notion de filière : combinaison Combustible / Caloporteur / Modérateur

Composants du cœur d'un réacteur nucléaire

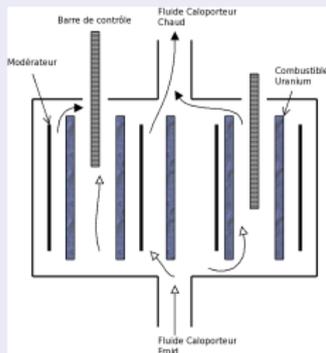


• « Combustible » (matières fissiles et fertiles)

- ▶ Uranium naturel (99.3% ^{238}U et 0.7% ^{235}U)
- ▶ Uranium enrichi ($^{235}\text{U} \geq 3\%$)
- ▶ Plutonium (Artificiel : $^{238}\text{U} + ^1_0n \rightarrow ^{239}\text{Pu}$)
- ▶ Thorium (à convertir selon $^{232}\text{Th} + ^1_0n \rightarrow ^{233}\text{U}$)

Notion de filière : combinaison Combustible / Caloporteur / Modérateur

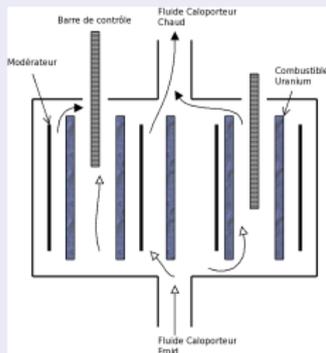
Composants du cœur d'un réacteur nucléaire



- « **Combustible** » (matières fissiles et fertiles)
 - ▶ Uranium naturel (99.3% ^{238}U et 0.7% ^{235}U)
 - ▶ Uranium enrichi ($^{235}\text{U} \geq 3\%$)
 - ▶ Plutonium (Artificiel : $^{238}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$)
 - ▶ Thorium (à convertir selon $^{232}\text{Th} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{233}\text{U}$)
- **Caloporteur** (évacuation de la chaleur)
 - ▶ Gaz sous pression
 - ▶ Eau lourde
 - ▶ Eau ordinaire
 - ▶ Métal liquide
 - ▶ Sel fondu

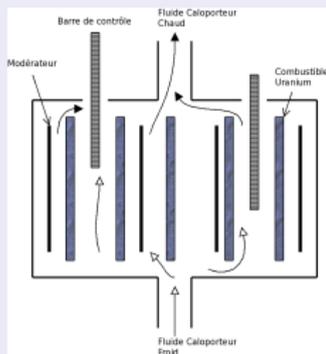
Notion de filière : combinaison Combustible / Caloporteur / Modérateur

Composants du cœur d'un réacteur nucléaire



- « **Combustible** » (matières fissiles et fertiles)
 - ▶ Uranium naturel (99.3% ^{238}U et 0.7% ^{235}U)
 - ▶ Uranium enrichi ($^{235}\text{U} \geq 3\%$)
 - ▶ Plutonium (Artificiel : $^{238}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$)
 - ▶ Thorium (à convertir selon $^{232}\text{Th} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{233}\text{U}$)
- **Caloporteur** (évacuation de la chaleur)
 - ▶ Gaz sous pression
 - ▶ Eau lourde
 - ▶ Eau ordinaire
 - ▶ Métal liquide
 - ▶ Sel fondu
- **Modérateur** (ralentir les neutrons : favoriser les fissions)
 - ▶ Noyaux légers
 - ▶ Hydrogène (eau)
 - ▶ Deutérium (eau lourde)
 - ▶ Carbone (graphite)

Notion de filière : combinaison Combustible / Caloporteur / Modérateur



Composants du cœur d'un réacteur nucléaire

- « **Combustible** » (matières fissiles et fertiles)
 - ▶ Uranium naturel (99.3% ^{238}U et 0.7% ^{235}U)
 - ▶ Uranium enrichi ($^{235}\text{U} \geq 3\%$)
 - ▶ Plutonium (Artificiel : $^{238}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$)
 - ▶ Thorium (à convertir selon $^{232}\text{Th} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{233}\text{U}$)
- **Caloporteur** (évacuation de la chaleur)
 - ▶ Gaz sous pression
 - ▶ Eau lourde
 - ▶ Eau ordinaire
 - ▶ Métal liquide
 - ▶ Sel fondu
- **Modérateur** (ralentir les neutrons : favoriser les fissions)
 - ▶ Noyaux légers
 - ▶ Hydrogène (eau)
 - ▶ Deutérium (eau lourde)
 - ▶ Carbone (graphite)
- **Absorbant neutronique** (contrôle de la réaction en chaîne)
 - ▶ Bore
 - ▶ Cadmium
 - ▶ Gadolinium

Caloporteurs

	Eau légère	Sodium liquide	Gaz sous pression
Température maximale (rendement)	• (limitée par ébullition et corrosion)	••	•••
Transfert thermique (capacité calorifique et conductivité thermique)	••	•••	• (hautes pressions, fort débit ⇒ haute puissance de soufflage)
réactions avec les neutrons	• (absorption, forte modulation ⇒ neutrons lents)	•• (faible absorption, faible modulation ⇒ neutrons rapides possibles)	••• (ni absorption ni modulation) ⇒ neutrons rapides possibles)
Problèmes d'ordre technologique (corrosion, étanchéité)	• (corrosive à haute température)	•• (pas de corrosion, faibles pressions)	• (problèmes d'étanchéité)
Transparence	•••	• (opaque)	•••
Sûreté	•• (Risque de vaporisation)	• (très réactif avec l'air, l'eau, le ciment...)	•• (Risque de dépressurisation)

Enrichissement de l'Uranium : cours de J. Foos (GE3)

Uranium naturel : 99.3% d' $^{238}_{92}\text{U}$ et 0.7% d' $^{235}_{92}\text{U}$ en masse. Enrichissement : augmentation de la teneur en $^{235}_{92}\text{U}$

- Uranium légèrement enrichi (SEU) : 2% ;
- Uranium faiblement enrichi (LEU) : 3% à 5% ;
- Uranium hautement enrichi (HEU) : 20%, pour la propulsion navale ;
- Uranium de qualité militaire : plus de 90%.

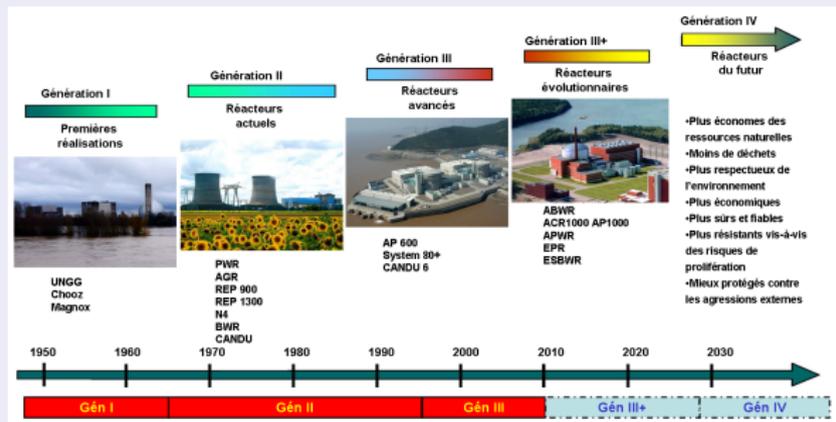
Procédés :

- Diffusion gazeuse. Première méthode déployée à échelle industrielle, énergivore, tend à disparaître ;
- Centrifugation. Réclame 50 fois moins d'énergie.

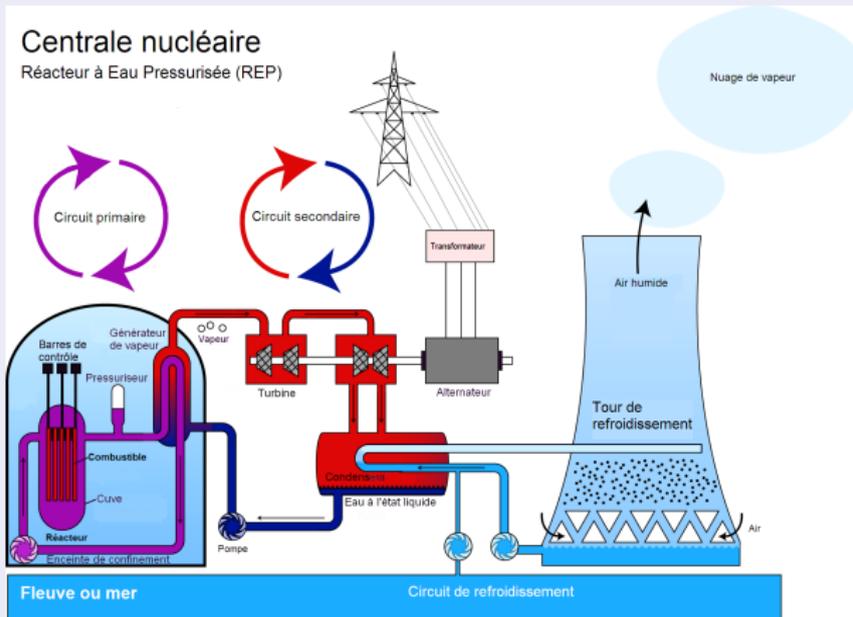
Principaux acteurs, par ordre :

- Russie ;
- Etats-Unis ;
- Allemagne/ Pays-Bas/ Royaume Uni ;
- France ;
- Chine ;
- Pakistan, Brésil, Iran, ...

Principales filières : cours de P. Jouenne (GE3)



Filières	Combustible	Modérateur	Caloporteur	En marche (2018)		Construction (2018)		Arrêtés (1950-2018)	
				GWe	#	GWe	#	GWe	#
UNGG, Magnox	Uranium naturel	Graphite	Gaz carbonique	0	0	0	0	7.2	38
HWGCR	Uranium naturel	Eau lourde	Gaz carbonique	0	0	0	0	0.2	5
CANDU	Uranium naturel	Eau lourde	Eau lourde	24.5	49	2.5	4	1.9	8
RBMK	Uranium enrichi (1.8%)	Graphite	Eau bouillante	9.3	13	0	0	7.1	11
AGR	Uranium enrichi (3%)	Graphite	Gaz carbonique	7.7	14	0	0	1.9	8
BWR	Uranium enrichi (3%)	Eau	Eau bouillante	70.3	71	5.2	4	21.7	44
PWR	Uranium enrichi (3%)	Eau	Eau liquide	281.9	297	45.7	43	31.6	54
FBR	Uranium/Plutonium \geq 10%		Sodium liquide	1.4	3	0.5	1	1.9	8
Total				395.2	447	54.0	53	73.0	176

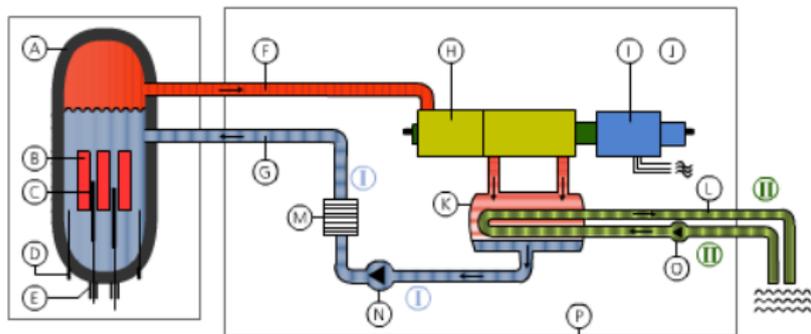


- Eau ordinaire : caloporteur et modérateur ;
- Maintenu liquide à 155 bars ;
- Générateur de vapeur, circuit secondaire.

Réacteurs à eau bouillante

USA, Japon, Suède, Allemagne.

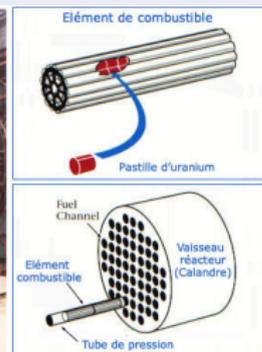
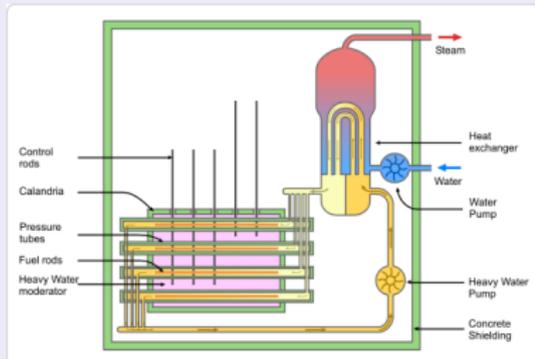
Schéma de fonctionnement d'un réacteur à eau bouillante



- Eau ordinaire : caloporteur et modérateur ;
- Pression 80 bars, ébullition dans le cœur ;
- Détente directe. Meilleur rendement.

CANDU

Canada, Inde, Roumanie.

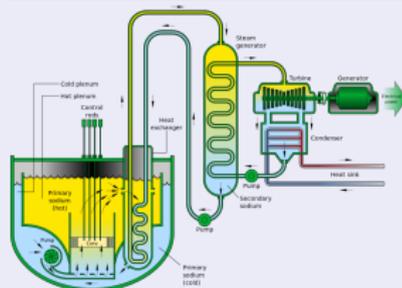
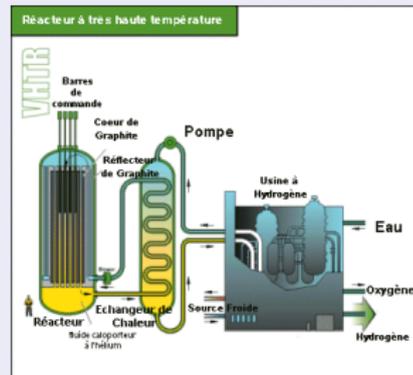


- Eau lourde : modérateur et Eau lourde sous pression dans tubes de force : caloporteur ;
- Rechargement en marche possible.

Génération IV

Forum international, 12 pays. 6 concepts retenus :

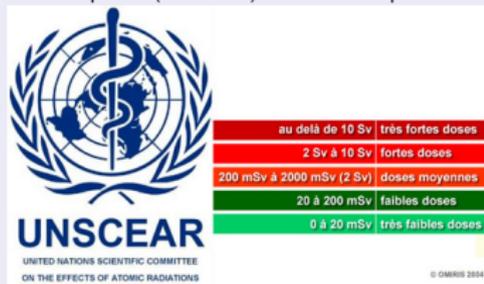
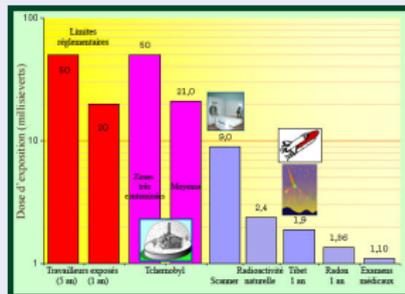
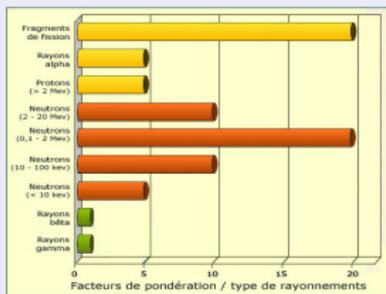
- Réacteur nucléaire à très haute température,
- Réacteur à eau supercritique,
- Réacteur nucléaire à sels fondus,
- Réacteur à neutrons rapides à caloporteur gaz,
- Réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium (ASTRID),
- Réacteur à neutrons rapides à caloporteur plomb.



Interaction rayonnement matière : cours de M. Pereira (GE3) et radioprotection : cours de P. Lardon (GE3)

Grandeur	Unité	Définition	Remarque
Activité	Becquerel	1 dés. par seconde	Très petit
Dose	Gray	1 J.kg ⁻¹	indépendante type de rayonnement
Dose équivalente	Sievert	Pondération type de rayonnement	Pour le vivant
Dose efficace	Sievert	Pondération organe	Radioprotection
Débit de dose	mSv/h		

- Un litre de lait : 80 Bq
- Un humain : 8000 Bq (la moitié due au ⁴⁰K)
- 1 kg de minerai d'uranium : 25 × 10⁶ Bq
- 1 g de ²²⁶Ra : 37 × 10⁹ Bq
- 1 kg de déchets nucléaires de haute activité (vieux de 50 ans), vitrifiés : 10 × 10¹² Bq
- combustible usé déchargé d'un réacteur par an (23 tonnes) : 10 × 10¹⁸ Bq



Activité d'un échantillon contenant N noyaux radioactifs de constante de désintégration λ :

$$A(t) = \lambda N(t)$$

Synoptique de votre formation

GE2

80

Intitulé	Intervenant	heures	Ordre
Principales filières de réacteurs: historique et cartographie	Ravelet	3	1
Physique atomique	Pereira	9	2
Bases de physique nucléaire & radioactivité	Mercier	15	3
Neutronique 1	Mercier	15	4
Matériau du nucléaire 1	Braham	26	Indifférent
Energies Renouvelables	Jonquieres	12	Indifférent

GE3

180

Intitulé	Intervenant	heures	Ordre
Interaction rayonnement/matière	Pereira	9	A
Radioprotection	Lardon	24	B
Neutronique 2	Mercier	18	1 ou 2
Technologie des REP et autres filières	Jouenne	24	2 ou 1
Sûreté des REP	Mercier	30	3
Cycle du combustible	Foos	30	Indifférent
Fabrication des chaudières nucléaires, Codes et normes	Crochon	15	Indifférent
Matériaux du nucléaire 2	Braham	30	Indifférent