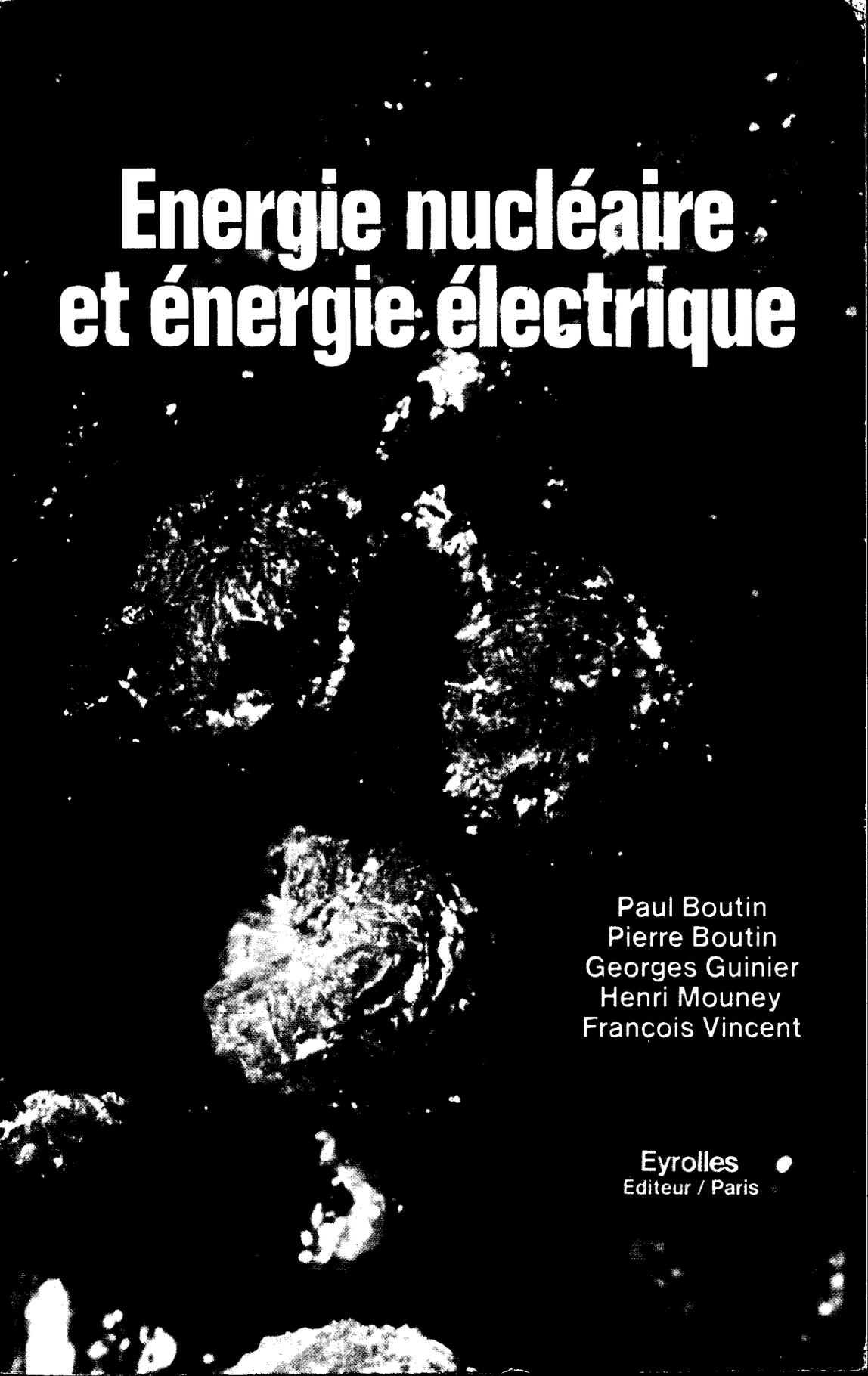


# Energie nucléaire et énergie électrique



Paul Boutin  
Pierre Boutin  
Georges Guinier  
Henri Mouney  
Francois Vincent

**Eyrolles**  
Editeur / Paris

La centrale a une puissance électrique nominale de  $925 \text{ MW}_e$ , le réacteur P.W.R., une puissance thermique nominale de  $2775 \text{ MW}_{th}$ . Le fonctionnement pendant un an équivaut à la marche à la puissance nominale pendant 6 600 heures.

Chaque année, on charge 23,2 tonnes d'uranium enrichi à 3,1 % d'isotope 235, en remplacement de la même masse de combustible ayant intégré l'irradiation maximale, soit  $33\,000 \text{ MWj/t}$ . Tout se passe comme si cette charge annuelle fournissait toute l'énergie thermique libérée au cours de l'année, soit  $7,63 \cdot 10^5 \text{ MWj}$ .

#### IV.E. 1. - Bilan des fissions.

Comme il faut  $3,1 \cdot 10^{10}$  fissions pour libérer une énergie thermique d'un joule (I. D.5), le nombre de fissions dans le réacteur pendant un an est :

$$7,63 \cdot 10^5 \cdot 8,64 \cdot 10^{10} \cdot 3,1 \cdot 10^{10} = 2,04 \cdot 10^{27}.$$

Si seuls les noyaux  $^{235}\text{U}$  subissaient la fission, la masse d'uranium fissionnée serait :

$$\frac{2,04 \cdot 10^{27}}{6,02 \cdot 10^{23}} \cdot 0,235 = 796 \text{ kg}.$$

Or, la charge annuelle n'en apporte que :

$$23,2 \cdot 10^3 \cdot 3,1 \cdot 10^{-2} = 720 \text{ kg}.$$

De plus, le combustible irradié, retiré chaque année du réacteur, contient encore 172 kg d'uranium 235 et en outre, 96 kg d'uranium 236 formé par capture radiative à partir de l'isotope 235. Le déficit semble atteindre : 344 kg.

Ce paradoxe est facile à expliquer : *toutes les fissions ne sont pas dues à l'uranium 235.*

Tout d'abord 8 % des fissions sont dues aux noyaux  $^{238}\text{U}$  sous l'action de neutrons non ralentis, dont l'énergie cinétique est supérieure au seuil de 1 MeV (I. C.1). La masse d'uranium 238 ainsi fissionnée est de 64 kg.

Mais le phénomène principal est la fission du plutonium qui se forme à partir de l'uranium 238 ; cette contribution est importante, puisque la masse du plutonium ayant subi la fission est : 284 kg.

Le tableau ci-après donne le bilan des matériaux fissionnés annuellement dans le réacteur P.W.R. dont les caractéristiques et la marche ont été précisées en tête.

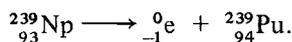
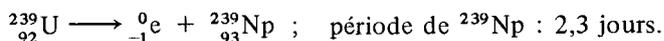
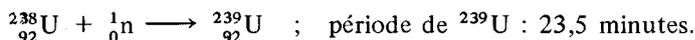
	U 235	U 238	Pu	Total
masses fissionnées (kg)	456	64	284	804

On notera l'importance de la participation de l'uranium 238, 43 % des fissions lui sont imputables : 8 % par fission directe, 35 % par formation, puis fission du plutonium.

#### IV.E. 2. – Formation du plutonium

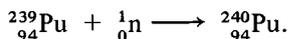
Le plutonium formé dans un réacteur est d'abord et surtout l'isotope 239 ; mais il se forme aussi 3 autres isotopes :  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$  et  $^{242}\text{Pu}$ . Rappelons leurs modes de formation.

Par une réaction  $(n, \gamma)$ , le noyau  $^{238}\text{U}$  donne le noyau  $^{239}\text{U}$ , qui est instable ; deux désintégrations  $\beta^-$  successives conduisent au noyau  $^{239}\text{Pu}$ .



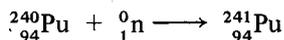
Le plutonium 239 est fissile ; il est radioactif  $\alpha$  et donne ainsi l'uranium 235 ; mais sa période, 24 400 ans, est assez longue pour qu'en général il puisse être considéré comme pratiquement stable.

Le noyau  $^{239}\text{Pu}$  peut capturer un neutron ; cette capture radiative  $(n, \gamma)$  donne le noyau  $^{240}\text{Pu}$  :



Le plutonium 240 n'est pas fissile. Il est radioactif  $\alpha$  et donne ainsi l'uranium 236 ; sa période vaut 6 600 ans.

Le noyau  $^{240}\text{Pu}$  donne par une nouvelle réaction  $(n, \gamma)$  le noyau  $^{241}\text{Pu}$  :



Le plutonium 241 est fissile ; il est radioactif  $\beta^-$  et sa période est relativement courte : 13,2 ans ; il engendre ainsi l'américium 241,  $^{241}_{95}\text{Am}$ , lui-même radioactif  $\alpha$  avec la période de 460 ans.