

PAUL REUSS

# Parlons nucléaire en 30 questions

## Le point sur ..... 7

---

## Questions-réponses ..... 23

1. Qu'est-ce qu'un atome ? .....	24
2. Fusion et fission nucléaires : quelle différence ? .....	26
3. Qu'est-ce que la radioactivité ? .....	28
4. Comment fonctionne un réacteur nucléaire ? .....	30
5. Comment une centrale produit-elle de l'électricité ? .....	32
6. Quels sont les différents types de réacteurs nucléaires ? ...	34
7. Quel est le parc nucléaire mondial ? .....	36
8. Quel combustible brûle-t-on dans les centrales nucléaires ?	38
9. Que devient le combustible usé ? .....	40
10. Combien coûte et que produit une centrale ? .....	42
11. L'électricité est-elle chère en France ? .....	44
12. Démanteler une centrale, comment et à quel prix ? .....	46
13. Quels sont les principaux acteurs du nucléaire ? .....	48
14. Qui forme et informe sur le nucléaire ? .....	50
15. Énergies primaire et finale : quelle différence ? .....	52
16. Quelle est l'importance des énergies fossiles aujourd'hui ?	54
17. Les énergies renouvelables : une alternative au nucléaire ?	56
18. Le nucléaire, une solution au réchauffement climatique ? ..	58
19. Quels sont les risques d'accident sur un réacteur nucléaire ? .....	60
20. Avant Fukushima, quels ont été les principaux accidents ?	62
21. Qui contrôle, qui informe ? .....	64
22. Comment la sûreté des réacteurs est-elle assurée ? .....	66
23. Des centrales résistantes et sûres ? .....	68
24. Tchernobyl, est-ce possible en France ? .....	70

Parlons nucléaire

# Le point sur

---

## Le point sur

*Plus de dix ans après l'accident\* de Fukushima, l'énergie nucléaire suscite toujours autant de débats. Alors qu'en France, le renouvellement du parc de réacteurs est d'actualité, plusieurs pays comme l'Allemagne ont décidé de « sortir du nucléaire », tandis que le Japon après quelques années passées sans cette énergie relance doucement sa production. Dans ce contexte, quelle est la situation du nucléaire civil en France ?*

### 10 février 2022 : le président de la République annonce la commande pour la France de six exemplaires du réacteur de dernière génération EPR2

Nous restons le pays le plus « nucléarisé » du monde, mais notre parc de 56 réacteurs est vieillissant et sujet à des aléas comme les petites fissures découvertes sur des circuits annexes. Le président Emmanuel Macron a récemment annoncé que ce parc serait renouvelé avec six réacteurs du modèle EPR2, et une option pour huit autres, ainsi que le développement de plus petits réacteurs, dits « SMR » (small modular reactors). L'énergie nucléaire a en effet deux gros avantages : elle n'émet pas de gaz à effet de serre et elle s'adapte aux besoins quelles que soient l'heure et la météo. Cette décision, longtemps espérée par certains et redoutée par d'autres, devrait se concrétiser pendant le second quinquennat d'Emmanuel Macron. Elle confirme le

---

\* Les termes marqués par une astérisque sont définis dans *Les mots-clés* page 88.

choix qu'a fait notre pays de produire la plus grosse partie de son électricité à partir de l'énergie nucléaire.

L'European Pressurized Reactor (EPR, réacteur européen à eau sous pression)\* est dans la continuité technologique des autres réacteurs du parc nucléaire français. Le premier exemplaire fut commandé en 2003 par la Finlande pour son site d'Olkiluoto. La construction a commencé en 2004 et le réacteur vient de démarrer en 2022. La seconde commande fut faite par EDF\* pour le site de Flamanville ; la construction a commencé en 2007 et le démarrage est prévu pour 2024 aux dernières nouvelles d'EDF. Le caractère prototype de ces deux réalisations explique les retards et les surcoûts dans la réalisation. En revanche, les deux EPR de Taishan (Chine) dont la construction a commencé plus tard (2008 et 2010) ont démarré avant (2018 et 2019). Le Royaume-Uni a commencé à Hinkley Point la construction de deux autres EPR.

Pour les commandes futures, notamment celles prévues en France, la conception a été un peu simplifiée dans l'objectif de réduire le coût de ce réacteur : c'est l'EPR2.

Le cas de la France est singulier en termes de pourcentage du nucléaire dans la production d'électricité, mais certainement pas unique car beaucoup de pays ont développé cette énergie. D'autres cependant y ont depuis toujours renoncé ou ont abandonné leurs équipements, notamment le Danemark, l'Italie et l'Autriche.

L'énergie nucléaire se singularise par le fait que sa première application fut destructrice – les bombes qui anéantirent Hiroshima et Nagasaki\* en 1945 – et par quelques accidents qui ont frappé l'opinion.

## Le « péché originel » du nucléaire

En 1939, la possibilité de diviser en deux parties le noyau d'un atome\* d'uranium (la fission\* nucléaire) a été mise en évidence. Cette découverte a suscité de grands espoirs en raison de l'importante quantité d'énergie qu'elle libère, disponible pour l'industrie ou la vie quotidienne. Mais la première application de la fission a été militaire : les bombes lancées les 6 et 9 août 1945 par les États-Unis détruisirent les villes japonaises d'Hiroshima et de Nagasaki. Ce « péché originel » explique sans aucun doute la réticence qui s'est toujours manifestée dans l'opinion vis-à-vis des utilisations, même civiles, du nucléaire. Les accidents de Three Mile Island aux États-Unis en 1979, de Tchernobyl en URSS en 1986, puis de Fukushima en 2011 l'ont ensuite amplifiée.

Après ceux de Three Mile Island quelque peu oublié aujourd'hui et de Tchernobyl qui se situait dans un autre contexte géopolitique, c'est surtout celui de Fukushima qui vient à l'esprit.

## Faut-il sortir du nucléaire ?

Après Fukushima, l'Allemagne a précipité sa sortie du nucléaire, amorcée depuis 2002. Ainsi, elle annonçait dès le 30 mai 2011 la fermeture de tous ses réacteurs électro-nucléaires d'ici à 2022 ; cette décision fut confirmée par la suite. Le 25 mai, la Suisse avait déjà décidé l'arrêt de ses réacteurs d'ici à 2034, avant de le fixer à la fin de leur durée d'exploitation. Le score sans appel du référendum italien sur le sujet, les 12 et 13 juin 2011, mettait un terme aux intentions de reprise du nucléaire annoncées par le Gouvernement (94 % des votants se sont prononcés contre). Le 30 octobre 2011, la Belgique confirmait sa sortie du nucléaire prévue par une loi de 2003 et fixée à 2025 ;

Parlons nucléaire

# Questions- réponses

---

## 4 | Comment fonctionne un réacteur nucléaire ?

### Des réactions en chaîne...

Un réacteur nucléaire exploite la réaction de fission de l'uranium (division en deux du noyau sous l'impact d'un neutron) et sa multiplication. Chaque fission émet des neutrons qui peuvent à leur tour heurter d'autres noyaux d'uranium et provoquer d'autres fissions. C'est la réaction en chaîne. Dans un réacteur fonctionnant à l'équilibre, on contrôle le nombre de neutrons pour qu'il reste constant et avoir une réaction en chaîne stable : c'est la situation critique.

### ... plus ou moins « critiques »...

Pour démarrer un réacteur, on y place une source de neutrons et on crée une situation légèrement surcritique. Le nombre de fissions, donc la puissance, monte progressivement. Quand la puissance a atteint le niveau désiré, on rétablit la criticité. Pour arrêter un réacteur, on crée une situation sous-critique en diminuant le nombre de neutrons pour « étouffer » la réaction.

### ... pilotées à l'aide de barres de commande

La régulation du nombre de neutrons se fait grâce à des absorbants neutroniques (bore, cadmium, indium, gadolinium, etc.), en général sous forme de barres dites de commande. Si une barre est insérée dans le cœur, elle capture des neutrons et ralentit la réaction. Inversement, son retrait augmente les fissions. Des détecteurs de neutrons et de température permettent de vérifier en permanence le niveau de la réaction en chaîne.

## Bombes et réacteurs, des réactions en chaîne de fissions

Dans un réacteur, on régule la réaction en chaîne de façon à maintenir constant le nombre de fissions par seconde, donc la puissance délivrée. La masse critique correspond à la limite pour laquelle une réaction autoentretenue est possible.

Dans une bombe atomique, au contraire, on accélère la réaction en chaîne pour qu'elle produise le plus de fissions et d'énergie possible jusqu'à provoquer son explosion, ce qui arrête la réaction.

## Le refroidissement, un aspect fondamental pour la sûreté

Quand on arrête un réacteur, la puissance due aux fissions s'annule en quelques secondes. Mais une certaine puissance résiduelle continue à être dégagée par les désintégrations radioactives des produits de fission, c'est-à-dire les « cendres » des fissions. Cette puissance diminue avec le temps, mais reste appréciable pendant des mois, voire des années. Il est donc impératif de continuer à assurer le refroidissement d'un réacteur, même après son arrêt, mais également celui des combustibles usés déchargés du cœur du réacteur.

### *Le saviez-vous ?*

Les neutrons issus d'une fission nucléaire sont émis à des vitesses proches de 20 000 km/s. C'est ce qu'on appelle les neutrons rapides.

## 22

# Comment la sûreté des réacteurs est-elle assurée ?

### Sécurité n'est pas sûreté

La sécurité nucléaire comprend la sûreté (mesures concernant les installations nucléaires de base et les transports de substances radioactives), la radioprotection (ensemble des mesures prises pour protéger le personnel des rayonnements), la prévention et la lutte contre les actes de malveillance. La sûreté porte sur la prévention des accidents (éviter qu'ils surviennent) et sur la mitigation, c'est-à-dire l'atténuation des conséquences si l'accident survient malgré toutes les mesures de prévention.

### La prévention

La prévention repose sur une défense en profondeur. Elle suppose une qualité de la conception et de la réalisation de l'installation, des systèmes de protection ramenant les paramètres de fonctionnement dans les plages normales, des systèmes de sauvegarde (par exemple, une injection d'eau de secours pour assurer le refroidissement du cœur si le circuit primaire ne fonctionne plus), et des procédures ultimes.

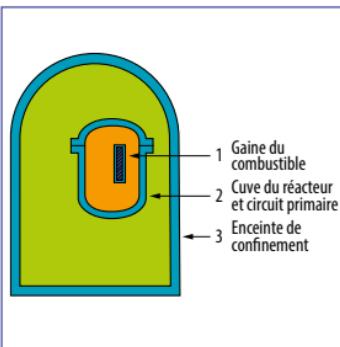
### La mitigation

La mitigation repose sur des PC (postes de commandement) de crise, des plans d'actions préétablis, la distribution de comprimés d'iode en cas d'accident nucléaire, des plans d'évacuation des populations testés régulièrement par des exercices de crise.

L'efficacité de la prévention et de la mitigation repose avant tout sur une « culture de sûreté » des opérateurs.

## Les barrières de sécurité des réacteurs à eau sous pression (REP)

Dans toute installation nucléaire, on prévoit au moins trois barrières de protection entre la radioactivité et l'environnement. Si la première cède, la deuxième assure le confinement. Et si les deux premières cèdent, la troisième intervient. L'accident de Three Mile Island a montré l'importance de cette dernière – l'enceinte – qui n'existe pas sur le réacteur de Tchernobyl.



## Un système de surveillance

Un système automatique surveille en permanence les paramètres essentiels d'un réacteur : niveau de la réaction en chaîne, niveau et forme de la distribution de puissance, températures, etc. En cas d'écart par rapport aux valeurs de consigne, les opérateurs sont instantanément avertis en salle de commande. Si nécessaire, le système provoque un arrêt automatique du réacteur.

## Le retour d'expérience, pour plus de sûreté

Les incidents ou accidents sont toujours instructifs. Three Mile Island a ainsi permis d'améliorer les consignes, procédures et présentation des informations en salle de commande des REP français. Tchernobyl a été moins utile de ce point de vue car les RBMK sont très différents des REP. En revanche, cet accident a été à l'origine de nombreuses améliorations des RBMK encore en service.

Parlons nucléaire

Pour aller  
plus loin

---

**FRANCE**

**67,8**  
millions d'habitants

Nombre  
de réacteurs  
électronucléaires

**56** opérationnels  
**1** en construction



Puissance  
cumulée



**61,370**  
gigawatts  
électriques

**EUROPE**

**447,3**  
millions d'habitants

Nombre  
de réacteurs  
électronucléaires

**104** opérationnels  
**1** en construction



Puissance  
cumulée



**102** gigawatts  
électriques, dont  
60 % en France

**MONDE**

**7 953**  
millions d'habitants

Nombre  
de réacteurs  
électronucléaires

**438** opérationnels  
**56** en construction



Puissance  
cumulée



**393,333**  
gigawatts  
électriques

Sources : AIE, 2021 ; AIEA, 2022.

### > Accident

Comme pour toute installation industrielle, un accident doit être envisagé sur un réacteur nucléaire. En l'occurrence, un très grand soin doit être apporté à la prévention et à la minimisation des conséquences, puisque le cœur d'un réacteur nucléaire contient des matières hautement radioactives.

### > ASN (Autorité de sûreté nucléaire)

En France, organisme indépendant du pouvoir exécutif analysant toutes les dispositions relatives à la sûreté des installations nucléaires et autorisant ou non leur mise en service. Pour l'expertise scientifique et technique, l'ASN s'appuie sur l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), aussi un organisme indépendant.

### > Atome

Constituant élémentaire de la matière usuelle. Au centre, se trouve l'essentiel de la masse sous forme d'un minuscule noyau rassemblant des protons positifs et des neutrons neutres ; autour, les électrons négatifs. À l'état neutre, le nombre  $Z$  de protons et d'électrons caractérise l'élément chimique ; dans la nature,  $Z$  va de 1 (hydrogène) à 92 (uranium).

### > Barre de commande

Dispositif utilisé dans les réacteurs nucléaires pour réguler le niveau de la réaction en chaîne de fission. Il se présente le plus souvent sous forme de barres constituées d'un matériau absorbant les neutrons. L'insertion augmente les captures stériles au détriment des fissions et fait baisser la puissance ; inversement pour l'extraction.

### > Contreréaction

Ensemble d'effets physiques qui modifient la capacité d'un réacteur nucléaire à entretenir la réaction en chaîne de fissions. Les réacteurs sont toujours conçus pour avoir un coefficient de contreréaction négatif : si la température augmente, la réaction ralentit. Cela va à la fois dans le sens de la stabilité (la réaction se maintient automatiquement au niveau prescrit sans qu'il soit nécessaire d'intervenir) et de la