

### Décarboner les mix énergétiques et l'utilisation des énergies renouvelables

Depuis ses débuts, le nucléaire civil a toujours été promu comme une «**énergie propre**» et pacifique. Fondé sur une technologie sûre et à la pointe du progrès, il permettait de s'assurer une **indépendance énergétique** face au pétrole, ressource inégalement répartie et, surtout, très polluante.

- **Emissions de carbone plus faibles** que pour les énergies fossiles et renouvelables
- **Disponibilité** importante
- **Moins chère** que les autres énergies



- **Volonté de passer à un mix énergétique composé uniquement d'énergies renouvelables.**
- **Scénario réalisé pour la France :** cela serait possible mais nécessiterait un développement très important du solaire et de l'éolien, pouvant affecter une grande zone de l'environnement. **L'utilisation du nucléaire permet aujourd'hui un équilibre dans le mix énergétique, limitant les émissions de carbone.**

**Le nucléaire permet une production d'électricité bien plus importante que les énergies renouvelables, pour une même superficie, notamment du fait qu'il est pilotable.**

### Nouvelles technologies

#### SMR (Small Modular Reactors) :

- Mini-réacteurs sous forme de modules.
- Construction plus **économique**.
- Maximum de **flexibilité** pour s'adapter à la demande en électricité.
- Utilisation : sur des **sites industriels** ou dans des **zones reculées** mais également dans les sous-marins, pour la **production de chaleur**, dessalement, production d'hydrogène, propulsion...
- Puissance entre 10 et 300 MW.

#### Réacteurs à hautes températures (HTGR et VHTR) :

- But actuel des VHTR = **produire de l'hydrogène**.
- Combustible : billes d'un millimètre, bloquées dans des couches d'oxyde et de protection. Refroidies à l'hélium. Ne peut pas fondre. Pas dangereux mais **non recyclable** (mais produit environ 50 % de **déchets** en moins qu'un réacteur à eau pressurisée REP).
- Particulièrement efficace pour les actions de désarmement, pour incinérer le plutonium militaire.
- Puissance : centaines de MW.

#### Réacteurs à neutrons rapides :

- Valorisation de la totalité de l'uranium extrait du sol (jusqu'à 96 %), **multiplication par 100 du rendement** en énergie par rapport à la masse d'uranium naturel extrait.
- Meilleur **recyclage** des combustibles usés.
- **Réduire** la quantité et la radiotoxicité des **déchets**.
- **Surgénérateurs** : ils produisent plus de matière fissile qu'ils en consomment donc le **combustible devient quasiment inépuisable**.

#### Réacteurs rapides à sels fondus :

- Surgénérateurs donc plus d'exploitation minière mais **utilise les déchets nucléaires**.
- A associer à du thorium (plus abondant que l'uranium). Le thorium pourrait soutenir le développement d'une nouvelle filière nucléaire, notamment dans des pays comme **l'Inde** et la **Chine** qui en possèdent d'importantes ressources.
- Adaptation à la charge donc parfaits à **associer aux énergies renouvelables** qui sont intermittentes.
- **Sûrs** : haute température basse pression (pas d'explosion). Ne peut pas fondre car déjà fondu. Et en cas de fuite, le sel gèle à moins de 400 degrés et retient toute la radioactivité.
- Ne fonctionnera pas avant dans 10 ans.

### Sûreté, sécurité

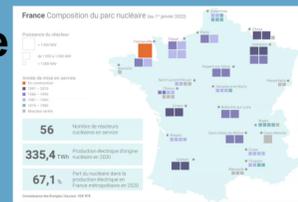
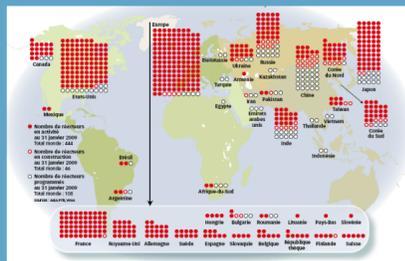
Depuis les accidents nucléaires tels que Fukushima ou Tchernobyl, de nombreux acteurs se sont engagés à **renforcer la sécurité et la sûreté des centrales nucléaires**. La sûreté vise à **prévenir les accidents**, tandis que la sécurité vise à **empêcher les actes délibérés** qui pourraient nuire à une installation ou conduire au vol de matières nucléaires. Les matières nucléaires concernées sont le plutonium, l'uranium, le thorium, le tritium et le lithium 6.

Systèmes de surveillance internationale pour le nucléaire :

- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)
- Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)
- Traité sur la non-prolifération des armes nucléaires (TNP)
- Initiative mondiale de sécurité nucléaire (GICNT)
- Association voix du nucléaire



### La filière nucléaire dans le monde



- **444 réacteurs nucléaires opérationnels dans 32 pays (Nord)** selon l'AIEA (**dont 56 en France**)
- **70 %** sont à eau pressurisée (comme en France)
- **2020** : le parc mondial a produit **2 553 TWh** ( = 10,2 % de l'électricité mondiale)
- D'après l'AIEA, les **capacités nucléaires pourraient doubler d'ici 2050** dans son scénario haut, dans son scénario bas, elles resteraient stables

### Durée de vie du parc, prolongement

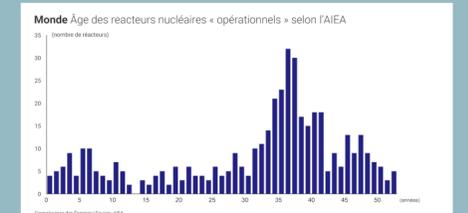
Les centrales nucléaires ont été conçues et construites à l'origine pour **fonctionner au moins 25, 30 ou 40 ans**. Cependant, les durées d'exploitation varient selon la réglementation du pays.

**USA** : Durée de vie fixée à 40 ans mais peut être prolongée à 60 ans.

**CH** : Autorisation d'exploitation d'une durée illimitée (peuvent fonctionner aussi longtemps qu'elles sont jugées sûres).

**FR** : Autorisation de fonctionnement pour 10 ans + **visites décennales** (supervisées par l'ASN) pour effectuer des contrôles (si tous les contrôles sont satisfaisants, une nouvelle autorisation de fonctionnement est donnée pour une période de 10 ans).

- Ces visites se déroulent en trois étapes :
- "l'épreuve hydraulique"
  - "l'inspection de la cuve"
  - "l'épreuve enceinte"



Environ 260 GW, soit **63 %**, des **centrales nucléaires actuelles ont plus de 30 ans** et approchent de la fin de leur licence d'exploitation initiale.

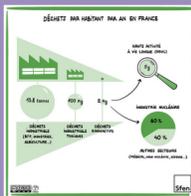
Programme du « **grand carénage** » (2015) : grand nombre d'opérations (remplacement des générateurs de vapeur, de turbines...). Le principal défi est de réaliser les opérations en maîtrisant les **coûts** et en respectant les délais afin de minimiser les impacts sur les activités d'exploitation.

La question de **prolonger ou non la durée de vie des centrales** est alors une affaire politique et non technique : Est-ce que les citoyens acceptent le risque d'utiliser des centrales endommagées ?

### Avenir de la filière nucléaire

- La filière nucléaire est une filière au centre des investissements de beaucoup de pays souhaitant décarboner leur moyens de productions d'énergie, et des pays se développant économiquement, qui ont donc besoin d'augmenter leur production électrique.
- Plusieurs pays en développement, comme la Chine, l'Inde ou le Pakistan suivent le développement initié par plusieurs pays du Nord comme les USA ou le Japon dans la commande et construction de nouveaux réacteurs.

### Déchets



Les déchets nucléaires sont classés en plusieurs catégories en fonction de leur radioactivité et leur durée de vie :

- **TFA** : Issus du démantèlement des centrales et d'industries classiques qui utilisent des **matériaux naturellement radioactifs**. Confinés au Cires dans l'Aube. Dans d'autres pays européens, ces déchets ne sont pas considérés comme radioactifs comme en Allemagne où l'acier est vendu sans aucune traçabilité.
- **FMA-VC** : Matériaux utilisés dans différentes activités liées aux installations nucléaires (ex : gants, vêtements ou outils contaminés). Ils perdent la moitié de leur radioactivité au bout de 30 ans et restent actifs jusqu'à 300 ans. Aussi confinés au Cires.
- **FA-VL** : Déchets anciens ou issus d'**activités anciennes**. Depuis quelques années, l'Andra étudie la possibilité de construire un centre de stockage à faible profondeur pour ces déchets.
- **MAVL** : Ils sont issus du **traitement des combustibles**. Ils restent **radioactifs jusqu'à plusieurs centaines de millions d'années**. L'Andra travaille sur la construction d'un centre de stockage profond, situé dans une couche d'argile, à environ 500 mètres sous terre, appelé Cigéo. En attendant ils sont entreposés sur les sites de production.
- **HA** : Ils sont **emprisonnés dans du verre**. Le niveau de radioactivité des déchets HA est tel qu'ils dégagent une forte chaleur (près de 350 °C en moyenne par colis). Avant de pouvoir être stockés, ils devront d'abord être entreposés plusieurs dizaines d'années pour atteindre une température de 90 °C. Ils seront ensuite stockés dans le Cigéo mais en attendant ils sont entreposés sur les sites de production.

### Utilisation à venir: hydrogène, médecine

#### Utilisation du nucléaire pour la production d'hydrogène :

- Par électrolyse de l'eau : Si l'électricité utilisée provient de centrales nucléaires, l'hydrogène produit est considéré comme propre. En 2050, l'électricité nucléaire excédentaire pourrait être utilisée pour **produire environ 20 millions de tonnes d'hydrogène**.
- Processus de thermochimie : Les réacteurs nucléaires à haute température peuvent être utilisés pour fournir de la chaleur à des processus de thermochimie, qui permettent de **produire de l'hydrogène**. Cela peut être plus efficace que l'électrolyse de l'eau dans certaines applications.
- Production d'hydrogène par fusion nucléaire : La fusion nucléaire est une technologie en développement encore lointaine. La fusion nucléaire utilise des isotopes d'hydrogène (deutérium et tritium) pour produire de l'énergie et de l'hydrogène. Elle pourrait potentiellement fournir une **source d'hydrogène propre à l'avenir**.

La situation économique est favorable si le réacteur est situé au même endroit qu'un utilisateur d'hydrogène comme l'industrie.

#### Utilisation du nucléaire dans la médecine :

- **Imagerie médicale** (excitation électronique de l'atome)
- **Traitement du cancer** et radiothérapie
- Recherche médicale (marquer les substances)

Néanmoins, il y a toujours des risques pour la santé de l'individu. Pour cela, il faudrait :

- Améliorer les appareillages
- Etudier les bénéfices-risques de chaque situation
- Respecter les niveaux de référence diagnostiques (NRD)

