

# NUCLÉAIRE ET RADIOACTIVITÉ

## SOLUTIONS DURABLES OU CATASTROPHES INÉVITABLES

### Table des matières

#### I. Histoire et découvertes scientifiques

- I. 1. Découverte de la radioactivité
  - I. 1. 1. Les découvertes de Henri Becquerel
  - I. 1. 2. Les découvertes de Pierre et Marie Curie
- I. 2. Grandes avancées en physique des particules
  - I. 2. 1. La découverte des particules subatomiques
  - I. 2. 2. Les premiers modèles du noyau atomique
  - I. 2. 3. Structure du noyau atomique selon Rutherford
- I. 3. Découverte de la fission nucléaire
  - I. 3. 1. Histoire...
  - I. 3. 2. ... et explications

#### II. De la radiothérapie à la médecine nucléaire

- II. 1. Radiothérapie
- II. 2. Ambulances de Marie Curie
- II. 3. Médecine nucléaire

#### III. Les désastres nucléaire

- III. 1. Finir une guerre mondiale
  - III. 1. 1. Projet Manhattan
  - III. 1. 2. Désastres
  - III. 1. 3. Conséquences
- III. 2. De la production d'énergie aux catastrophes nucléaires
  - III. 2. 1. Production quantitative prometteuse
  - III. 2. 2. Témérité de l'Homme
  - III. 2. 3. Précaution face aux cataclysmes

#### IV. L'inscription du nucléaire dans une démarche respectueuse de l'environnement

- IV. 1. Seule source énergétique durable ?
  - IV. 1. 1. Les solutions utopiques de l'éolien et du solaire
  - IV. 1. 2. Production efficace et propre
- IV. 2. Des défis à relever
  - IV. 2. 1. Les déchets radioactifs
  - IV. 2. 2. La fusion, une solution ?

# Avant-Propos

Destiné à tous les jeunes lecteurs avides de découvrir les mystères fascinants qui se cachent derrière les phénomènes scientifiques, cet article vous invite à plonger au cœur de l'univers de la radioactivité et du nucléaire. À travers des anecdotes captivantes et des illustrations évocatrices, nous allons explorer ensemble ces concepts complexes pour les rendre accessibles et passionnants.

Au fil de la lecture, vous découvrirez pourquoi la radioactivité, loin d'être un sujet à craindre, est au contraire un pilier essentiel de notre compréhension du monde qui nous entoure. Nous explorerons également les merveilles et les défis du nucléaire, en mettant en lumière ses contributions indispensables à notre société d'aujourd'hui.

De plus, cet article ne se limite pas à une simple exposition des bienfaits du nucléaire. Nous aborderons également de manière critique d'autres sources d'énergie souvent présentées comme alternatives, telles que l'éolien et le solaire. Nous analyserons ces solutions, et nous verrons que, bien que séduisantes, elles ne peuvent pas répondre à nos besoins énergétiques croissants.

## Introduction

Le nucléaire, source d'énergie controversée, divise les opinions et engendre des débats. Promesse d'une énergie propre et efficace pour certains, menace pour la sécurité et l'environnement pour d'autres, son histoire est complexe et ses enjeux, multiples.

L'histoire de la radioactivité débute au début du XX<sup>e</sup> avec des avancées majeures en physique, puis débouche sur l'énergie nucléaire à l'aube de la Seconde Guerre Mondiale. Pendant cette dernière, les technologies nucléaires ont connu un développement fulgurant, ponctué de succès technologiques et de tragédies majeures. De Tchernobyl à Fukushima, en passant par Hiroshima et Nagasaki, les catastrophes nombreuses alimentent la méfiance envers cette technologie très prometteuse mais dangereuse.

Face à l'urgence climatique et à la nécessité de réduire notre émission de gaz à effets de serre, le nucléaire se présente comme une alternative majeur. Son bilan carbone est quasi nul, son utilisation ne dépend pas des conditions météorologiques, et ses réserves de combustible sont largement supérieures à toutes les autres, dont le silicium des panneaux photovoltaïque.

Cependant, les défis et les risques associés au nucléaire ne peuvent pas être ignorés. La gestion des déchets radioactifs, la sécurité des installations nucléaires, et le risque de contamination radioactive constituent des obstacles majeurs à son développement à grande échelle.

En outre, l'acceptabilité sociale du nucléaire est loin d'être acquise. Les populations locales s'opposent souvent à l'installation de centrales nucléaires sur leur territoire, craignant les dangers potentiels et les nuisances environnementales.

Dans ce contexte complexe et incertain, la question du nucléaire se pose avec une acuité nouvelle. Faut-il y voir une solution durable aux problèmes environnementaux ou une technologie dangereuse et insoutenable ?

C'est à cette question que cet ouvrage tente de répondre. En explorant les différentes dimensions du nucléaire, ses potentialités et ses risques, nous espérons éclairer les choix qui nous attendent et nourrir un débat citoyen éclairé. Car c'est bien en comprenant les enjeux du nucléaire que nous pourrons construire un avenir énergétique responsable et durable.

## 1. Histoire et découvertes scientifiques

« Il n'y a plus rien à découvrir en physique aujourd'hui, tout ce qui reste est d'améliorer la précision des mesures. »

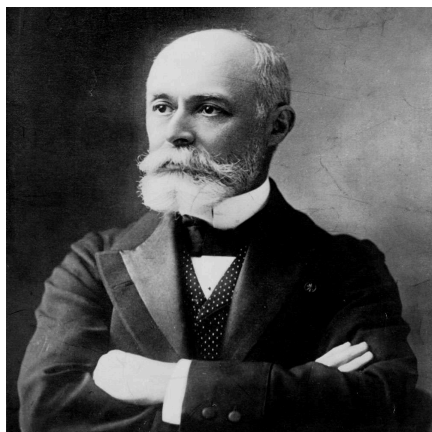
Tel fut le propos que tenait Lord Kelvin en 1900. Ce dernier est révélateur de la confiance que les scientifiques de l'époque avaient dans leur compréhension du monde. Des lois paraissant inébranlables expliquaient entièrement le monde, avec les lois de Newton qui régissaient le mouvement des objets, les lois de Maxwell qui régissaient l'électricité et le magnétisme et avec trois principes qui régissaient la thermodynamique. Il semblait que tout était en place pour que la science puisse se concentrer sur l'amélioration des mesures et de la précision. Cependant, les années qui ont suivi ont montré que Kelvin se trompait.

### Thermodynamique

La thermodynamique est la branche de la physique qui étudie les échanges mécaniques (mouvement) et calorifiques (chaleur). Tirant son étymologie des mots θερμός (thermos, signifiant *chaleur*) et δύναμις (dynamis, signifiant *puissance*), le mot thermodynamique a été introduit en 1864, par le physicien écossais William Thomson (Lord Kelvin).

## 1.1. DÉCOUVERTE DE LA RADIOACTIVITÉ

### ◆ Henri Becquerel ◆



Source: ukn

#### 1.1.1. Les découvertes de Henri Becquerel

En 1896, le physicien français Henri Becquerel travaillait sur la phosphorescence, un phénomène par lequel certaines substances émettent de la lumière après avoir été exposées à la lumière. Il a exposé des sels d'uranium à la lumière du soleil, puis les a placés dans une chambre noire avec une plaque photographique. Il a découvert que la plaque photographique était brumeuse, même si les sels n'étaient pas exposés à la lumière.

Becquerel a d'abord pensé que la phosphorescence était responsable de l'apparition d'une image sur la plaque photographique. Cependant, il a réalisé plus tard que l'image apparaissait même si les sels n'étaient pas exposés à la lumière. Il a conclu que les sels d'uranium émettent spontanément des rayons qui peuvent traverser la matière et impressionner une plaque photographique. Becquerel a nommé ces rayons « rayons uraniques ». Il a également découvert que les rayons uraniques pouvaient ioniser l'air, ce qui signifie qu'ils pouvaient provoquer la séparation des charges électriques. Les travaux de Becquerel ont été poursuivis par Marie et Pierre Curie, qui ont découvert deux nouveaux éléments radioactifs, le polonium et le radium. Ils ont également mis au point une méthode pour isoler le radium, qui est un élément très radioactif.

### MÉTHODE POUR ISOLER DU RADIUM

La première étape consiste à extraire chimiquement l'uranium de la pechblende, un minerai qui contient de l'uranium et du radium. Une fois l'uranium extrait, il est nécessaire de le séparer du radium. Pour ce faire, les Curie ont utilisé une méthode appelée « chimie radioactive » s'appuyant sur le fait que les éléments radioactifs émettent des rayons ionisants, qui peuvent être détectés par des appareils spéciaux. Ils ont ensuite fait usage d'un appareil appelé « électroscope » pour détecter les rayons ionisants. Ils ont placé l'uranium dans un électroscope et ont observé que l'aiguille de l'électroscope se déplaçait, ce qui indiquait que l'uranium émettait des rayons ionisants. Après ce constat, Pierre et Marie Curie ont mis en œuvre un procédé appelé « chromatographie » pour séparer le radium de l'uranium. La chromatographie est une technique qui permet de séparer des substances en fonction de leur solubilité. Enfin, ils ont dissous l'uranium dans un solvant et ont ajouté un autre solvant qui était insoluble dans le premier solvant. Le radium est plus soluble dans le deuxième solvant que dans le premier solvant. Les Curie ont ensuite séparé les deux solvants et ont récupéré le radium dans le deuxième solvant. Après plusieurs étapes de purification, ils ont finalement obtenu une quantité de radium pur. Cette quantité était très faible, seulement quelques milligrammes de radium pour quatre cents tonnes de pechblende.

### ◆ Médaille du prix Nobel ◆



Source: Jonathunder, Medal: Erik Lindberg, (Wikimedia, Public Domain)

#### 1.1.2. Les découvertes de Pierre et Marie Curie

En 1903, Marie et Pierre Curie, ainsi qu'Henri Becquerel, ont reçu le prix Nobel de physique pour leurs travaux sur la radioactivité.

La découverte de la radioactivité par Marie et Pierre Curie a été une étape importante dans l'histoire de la science. Elle a conduit au développement de nouvelles technologies, telles que la radiothérapie et la médecine nucléaire, dont nous parlerons plus loin.

### Fait historique

Marie Curie est devenue la première femme à recevoir un prix Nobel, et la seule à en recevoir deux, dans deux disciplines différentes.

## 1.2. GRANDES AVANCÉES EN PHYSIQUE DES PARTICULES

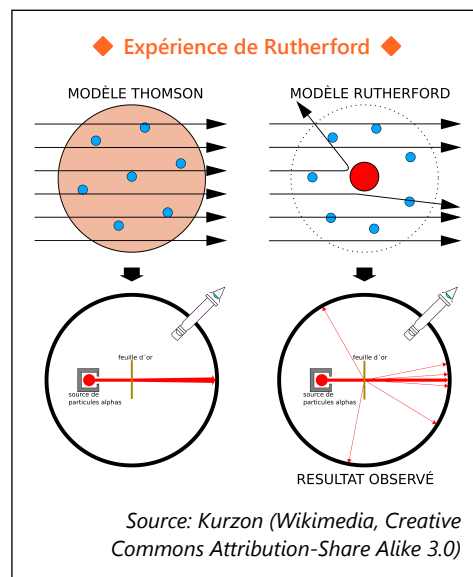
Les travaux des Curie ont montré que la radioactivité était due à des processus qui se déroulaient au sein des atomes. Cependant, la nature exacte du noyau atomique était encore inconnue.

### 1.2.1. La découverte des particules subatomiques

Ernest Rutherford, un physicien néo-zélandais du début du XX<sup>e</sup> siècle considéré comme l'un des pères de la physique nucléaire et de la chimie nucléaire, a ouvert la voie à la découverte de nouvelles particules subatomiques. Rutherford est principalement connu pour son expérience de la feuille d'or, menée en 1909. Cette expérience a permis de démontrer que la matière est constituée d'un noyau dense et chargé positivement, entouré d'électrons chargés négativement. Ce modèle atomique, appelé modèle de Rutherford, a révolutionné notre compréhension de la structure de la matière.

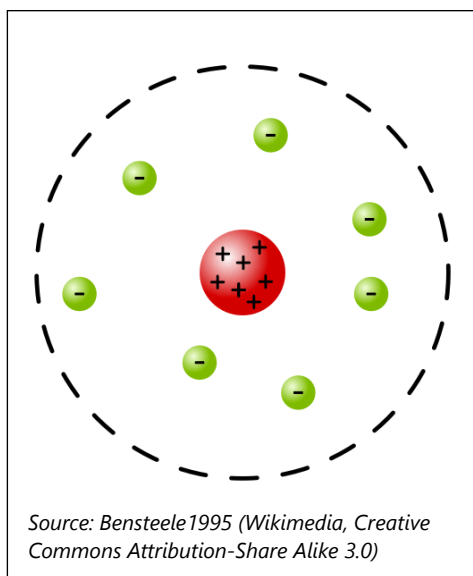
### 1.2.2. Les premiers modèles du noyau atomique

À cette époque, la structure de l'atome était décrite par le modèle de Thomson, qui supposait que l'atome était une sphère de matière chargée positivement, avec des électrons chargés négativement répartis uniformément à l'intérieur. Cependant, cette théorie ne pouvait pas expliquer les résultats de l'expérience de Rutherford, qui montraient que certaines particules  $\alpha$  étaient déviées de leur trajectoire lorsqu'elles traversaient une feuille d'or.



### 1.2.3. Structure du noyau atomique selon Rutherford

L'expérience de Rutherford a permis de mettre en évidence que la masse et la charge positive de l'atome sont concentrées dans un noyau central, tandis que les électrons sont répartis autour du noyau sur des orbites circulaires. Ce modèle, appelé modèle planétaire du fait de sa ressemblance avec la structure du système solaire, est encore utilisé aujourd'hui. Le modèle atomique de Rutherford a eu un impact profond sur la science. Il a permis de comprendre la structure et les propriétés des atomes, et a ouvert la voie au développement de la chimie nucléaire et de la physique nucléaire. Pour ses contributions à la science, Rutherford a reçu le prix Nobel de chimie en 1908. En 1932, le physicien britannique James Chadwick a découvert le neutron, une particule sans charge électrique. En 1932 également, le physicien américain Carl Anderson a découvert le positron, une particule identique à l'électron mais chargée positivement. Ces découvertes ont permis de comprendre que le noyau atomique était constitué de protons, de neutrons et d'électrons. Elles ont également ouvert la voie à la découverte d'autres particules subatomiques.



## 1.3. DÉCOUVERTE DE LA FISSION NUCLÉAIRE

### 1.3.1. Histoire...

Dans les années 1950 et 1960, les physiciens ont découvert de nombreuses nouvelles particules subatomiques. Ces découvertes ont conduit au développement du modèle standard de la physique des particules, qui est un modèle théorique qui décrit les interactions entre les particules subatomiques. Le modèle standard est un modèle très réussi qui a permis de prédire avec précision de nombreuses propriétés des particules subatomiques. Cependant, il existe encore des questions auxquelles il ne répond pas, telles que la nature de la matière noire et de l'énergie noire.

La découverte de la fission nucléaire est une histoire qui a commencé en 1938, lorsque les physiciens allemands Otto Hahn et Fritz Strassmann ont découvert que l'uranium pouvait se diviser en deux atomes plus petits lorsqu'il était bombardé par des neutrons. Cette découverte a été une étape importante dans le développement de la technologie nucléaire et a conduit à la création de la bombe atomique.

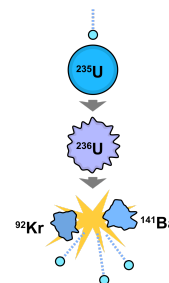
### 1.3.2. ... et explications

#### FISSION NUCLÉAIRE EXPLIQUÉE

La fission nucléaire a été mise en évidence pour la première fois en 1938, lorsque les physiciens allemands Otto Hahn et Fritz Strassmann ont découvert que l'uranium pouvait se diviser en deux atomes plus petits lorsqu'il était bombardé par des neutrons. Cette découverte a été une étape importante dans le développement de la technologie nucléaire et a conduit à la création de la bombe atomique. Hahn et Strassmann travaillaient sur la radioactivité de l'uranium lorsqu'ils ont observé que l'uranium bombardé par des neutrons produisait des éléments plus légers, tels que le

◆ Schéma expliquant la fission nucléaire ◆

baryum et le krypton. Ils ont initialement supposé que ces éléments étaient produits par la capture d'un neutron par l'uranium, mais ils ont rapidement réalisé que quelque chose de plus complexe se produisait. Lise Meitner, une amie de Hahn qui avait fui l'Allemagne nazie, a proposé une explication de la fission nucléaire. Elle a suggéré que l'uranium pouvait se diviser en deux atomes plus petits, libérant une grande quantité d'énergie. L'explication de Meitner a été confirmée par d'autres physiciens, dont Otto Frisch, le neveu de Meitner. Frisch a également calculé que la fission nucléaire libérait une quantité d'énergie considérable.



Source: Wikimedia  
(Public domain)

## 2. De la radiothérapie à la médecine nucléaire

Dans l'ombre des débats traitant des dangers du nucléaire et de la radioactivité, la médecine profite à plein régime de ces derniers.

### 2.1. RADIOTHÉRAPIE

Forme de traitement médical utilisant des rayonnements ionisants pour détruire les cellules cancéreuses ou pour inhiber leur croissance, la radiothérapie est aujourd'hui utilisée dans la lutte contre le cancer, mais est également utilisée pour traiter d'autres affections médicales telles que des troubles inflammatoires ou des maladies vasculaires. Cette technique de traitement, bien qu'ancienne, est encore très largement utilisée aujourd'hui.

Le premier traitement documenté d'un patient par radiothérapie a eu lieu en 1896, peu de temps après la découverte des rayons X par Wilhelm Conrad Röntgen. Cependant, le traitement n'était pas spécifiquement dirigé contre le cancer, mais plutôt utilisé pour traiter des affections cutanées.

La première utilisation de la radiothérapie pour traiter un cas de cancer a été documentée en 1903 par le physicien français Antoine Béclère. Il a traité un patient atteint d'un cancer cutané en utilisant des radiations émises par une source de radium. Bien que rudimentaire par rapport aux normes actuelles, ce traitement a ouvert la voie à l'utilisation de la radiothérapie dans le traitement du cancer.

### 2.2. AMBULANCES DE MARIE CURIE

À l'aube de la première Guerre mondiale, Marie Curie a reçu l'autorisation et la part du ministère de l'armée pour mettre en place des unités mobiles de soins, équipées de radiographies portatives. Ces ambulances, surnommées "Petites Curies", ont été utilisées pour détecter les blessures et les fractures chez les soldats sur le front.

Mais elle ne se limita pas seulement à la détection des blessures. Elle traita les tissus affectés par les lésions, ouvrant ainsi la voie à une nouvelle ère dans la médecine militaire. Les rayons X, émis par les substances radioactives découvertes par Curie elle-même, ont démontré une efficacité remarquable dans la réduction des tumeurs et dans la destruction des cellules cancéreuses.

L'héritage de Marie Curie dans le domaine de la radiothérapie perdure aujourd'hui, rappelant comment une scientifique dévouée a pu transformer une période de conflit en une opportunité de progrès médical. Sa vision et son courage ont ouvert la voie à des traitements oncologiques modernes, établissant la radiothérapie comme l'une des armes les plus puissantes dans la lutte contre le cancer, et ce, bien au-delà des champs de bataille de la Première Guerre mondiale.

◆ Marie Curie au volant de son ambulance ◆



Source: Wikimedia (Public Domain)

### 2.3. MÉDECINE NUCLÉAIRE

La médecine nucléaire est une branche spécialisée de la médecine qui utilise des traceurs radioactifs pour diagnostiquer et traiter diverses affections médicales. Elle repose sur la détection et l'imagerie des radiations émises par ces traceurs lorsqu'ils sont introduits dans le corps.

Dans le domaine du diagnostic, la médecine nucléaire offre des techniques d'imagerie avancées telles que la tomographie par émission de positons (TEP) et la scintigraphie. Ces procédures permettent de visualiser les fonctions et les structures internes du corps avec une grande précision, facilitant ainsi le diagnostic précoce et la localisation précise de maladies telles que le cancer, les troubles cardiaques, les maladies osseuses et neurologiques, entre autres.

En plus du diagnostic, la médecine nucléaire est également utilisée pour le traitement de certaines affections. Par exemple, la thérapie par radioisotopes est une technique où des substances radioactives sont administrées au patient pour cibler spécifiquement les cellules cancéreuses. Ces substances émettent des particules de haute énergie qui détruisent les cellules cancéreuses tout en minimisant les dommages aux tissus sains environnants.

La médecine nucléaire joue un rôle crucial dans la médecine moderne en offrant des outils de diagnostic avancés et des options thérapeutiques innovantes. Elle permet une approche personnalisée du traitement en fournissant des informations précises sur la physiologie et le métabolisme des tissus, aidant ainsi les médecins à prendre des décisions éclairées pour la prise en charge des patients. En constante évolution, la médecine nucléaire continue de contribuer de manière significative aux progrès de la médecine et à l'amélioration des soins de santé.

#### Tomographie par émission de positons



La tomographie par émission de positons (TEP) est une technique d'imagerie médicale qui utilise la radioactivité pour visualiser l'activité métabolique des tissus à l'intérieur du corps. En injectant un traceur spécifique, le scanner TEP détecte les positrons émis, fournissant une image tridimensionnelle de la distribution du traceur. Cette technique est largement utilisée en oncologie pour diagnostiquer les cancers et évaluer la réponse au traitement, ainsi que dans d'autres domaines médicaux pour détecter diverses affections. La TEP offre une visualisation précise de la fonction des tissus, permettant une prise en charge clinique plus efficace des patients.

## 3. Les désastres nucléaire

L'énergie nucléaire, malgré ses avantages, est souvent perçue comme trop dangereuse pour être utilisée sereinement, en raison des incidents passés. Cette perception de risque a profondément marqué les esprits. Les accidents nucléaires majeurs comme nous le verrons dans cette partie ont laissé des traces dans la mémoire collective et ont souligné la nécessité d'une gestion rigoureuse et prudente de cette technologie.

### 3.1. FINIR UNE GUERRE MONDIALE

#### 3.1.1. Projet Manhattan

Lancé en 1939, le Projet Manhattan a été une réponse directe à la menace croissante de l'Allemagne nazie et de ses alliés. Les États-Unis, craignant que les Nazis ne développent leur propre bombe atomique, ont décidé de devancer cette possibilité en construisant la leur.

Le projet a rassemblé certains des esprits les plus brillants de l'époque, dont Robert Oppenheimer, Enrico Fermi et Niels Bohr. Ces scientifiques, parmi d'autres, ont travaillé sans relâche dans des laboratoires secrets à Los Alamos, au Nouveau-Mexique.

#### 3.1.2. Désastres

Après des années de recherche et de développement, le Projet Manhattan a abouti à la création de deux types de bombes atomiques. Ces armes ont été utilisées contre les villes japonaises d'Hiroshima et Nagasaki en août 1945, mettant fin à la Seconde Guerre mondiale.

Les bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki en 1945 ont mis fin à la Seconde Guerre mondiale, mais ils ont également provoqué des destructions massives et des pertes humaines considérables. Ces événements ont mis en évidence les dangers de l'énergie nucléaire, conduisant à une prise de conscience mondiale et à des efforts pour réglementer son utilisation et promouvoir le désarmement nucléaire.

#### 3.1.3. Conséquences

Ces bombes ont laissé un héritage de souffrance à long terme, avec des survivants souffrant de maladies liées à la radiation et des zones contaminées demeurant inhabitables pendant plusieurs décennies. Ces conséquences ont renforcé les préoccupations mondiales quant aux effets à long terme de l'utilisation de l'énergie nucléaire, soulignant la nécessité de gérer de manière responsable les déchets radioactifs et de prévenir les catastrophes nucléaires futures. Cependant, cette promesse a été difficile à tenir, comme nous le verrons par la suite.

Par ailleurs, la réalisation du Projet Manhattan a montré les possibilités désastreuses de l'énergie nucléaire. Les conséquences dévastatrices des bombardements atomiques ont montré au monde entier la puissance destructrice de l'énergie nucléaire lorsqu'elle est mal utilisée.

◆ Hiroshima après la bombe ◆



Source: ©BBC 2024

## 3.2. DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE AUX CATASTROPHES NUCLÉAIRES

### 3.2.1. Production quantitative prometteuse

Malgré les risques, l'énergie nucléaire offre un potentiel énorme en termes de production d'énergie. Les centrales nucléaires peuvent produire une grande quantité d'énergie à partir d'une petite quantité de matière, ce qui en fait une source d'énergie potentiellement efficace et durable.

### 3.2.2. Témérité de l'Homme

Cependant, l'histoire a montré que l'homme peut être téméraire dans son utilisation de l'énergie nucléaire. Les accidents de Tchernobyl et Fukushima sont des exemples de ce qui peut arriver lorsque la sécurité n'est pas prise au sérieux.

Ces catastrophes ont non seulement causé des dommages environnementaux à long terme, mais elles ont également eu des conséquences dévastatrices pour les populations locales.

### 3.2.3. Précaution face aux cataclysmes

Ces événements soulignent l'importance de la prudence dans l'utilisation de l'énergie nucléaire. Il est essentiel de mettre en place des mesures de sécurité strictes et de maintenir une surveillance constante pour prévenir les accidents. De plus, il est crucial de continuer à rechercher et à développer des technologies plus sûres et plus efficaces pour l'avenir.

#### Tchernobyl

La catastrophe de Tchernobyl est l'un des pires accidents nucléaires de l'histoire. Le 26 avril 1986, lors d'un test de sécurité au réacteur numéro 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, située près de la ville de Pripyat en Ukraine, une série d'erreurs humaines et de défaillances techniques ont conduit à une violente explosion, détruisant un des réacteur. Cette explosion a libéré d'énormes quantités de matières radioactives dans l'atmosphère, formant un nuage radioactif qui s'est propagé sur de vastes régions d'Europe, contaminant des terres agricoles, des villes et des populations. Les effets à long terme sur la santé, notamment le cancer et les malformations congénitales, ont été dévastateurs pour de nombreuses personnes vivant dans les zones touchées. Pour contenir la contamination, des efforts de nettoyage massifs ont été entrepris, notamment l'enterrement de grandes quantités de sol contaminé et la construction d'un sarcophage en béton autour du réacteur endommagé pour le confiner. Des milliers de personnes ont été évacuées de la zone et Pripyat, aujourd'hui dépeuplée de vie.



## 4. L'inscription du nucléaire dans une démarche respectueuse de l'environnement

### 4.1. SEULE SOURCE ÉNERGÉTIQUE DURABLE ?

Face à l'urgence climatique et à la nécessité de réduire notre dépendance aux énergies fossiles, l'éolien et le photovoltaïque se présentent comme des alternatives prometteuses. Cependant, une analyse approfondie révèle que leur adoption à grande échelle comme solution unique relève de l'utopie, car elle se heurte à des défis majeurs en termes de coût, de production et d'impact environnemental.

#### 4.1.1. Les solutions utopiques de l'éolien et du solaire

De prime abord, l'installation et la maintenance des éoliennes et des panneaux solaires nécessitent des investissements colossaux. Le coût de production de l'énergie éolienne et photovoltaïque reste élevé par rapport aux sources traditionnelles, malgré les progrès technologiques. La dépendance aux subventions publiques pour maintenir la compétitivité de ces technologies fragilise leur viabilité à long terme et soulève des questions d'équité financière.

De plus, la production d'énergie éolienne et photovoltaïque est intrinsèquement variable et dépendante des conditions météorologiques. Le manque de vent ou d'ensoleillement peut entraîner des baisses de production significatives, créant une instabilité dans le réseau électrique. De plus, l'être humain est incapable de stocker efficacement de l'énergie encore aujourd'hui, ce qui renforce l'enjeu de l'intermittence. Le besoin d'énergie ne doit dépendre des conditions météorologiques, mais bien être stable et fiable. Contrairement à l'éolien et au solaire, le nucléaire a la capacité à être indépendant de ces conditions.

#### Comparaison énergétique

En moyenne, en France, un réacteur nucléaire produit en moyenne 10 millions de GWh. En comparaison, une éolienne produit en moyenne 10 000 MW sur le territoire français, donc il faudrait plus de 1000 éoliennes et un vent soufflant de façon ininterrompue pour égaler la puissance d'un seul réacteur nucléaire, alors que leur taille est très similaire. La comparaison est encore plus flagrante avec les panneaux solaires.



Enfin, l'installation d'éoliennes et de panneaux solaires peut avoir un impact négatif sur les paysages et la biodiversité. En effet, de nombreux parcs photovoltaïques ou éoliens sont construits en abattant des forêts, comme le montre l'exemple du champ panneaux solaires d'Estézargues. Par ailleurs, la fabrication et le recyclage de ces technologies nécessitent l'utilisation de ressources naturelles et de substances polluantes. De l'impact sonore des



éoliennes et l'effet d'îlot de chaleur généré par les panneaux solaires peuvent nuire à la qualité de vie des riverains. L'acceptabilité sociale de ces technologies devient alors un enjeu crucial.

#### 4.1.2. Production efficace et propre

Le nucléaire présente des atouts indéniables en tant que source d'énergie dense et constante. Les centrales nucléaires sont capables de produire d'énormes quantités d'électricité tout en émettant relativement peu de dioxyde de carbone une fois qu'elles sont en activité. Ces caractéristiques en font une option attrayante pour répondre à la demande croissante en énergie, tout en limitant les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, les progrès technologiques continus ont permis d'améliorer la sûreté et l'efficacité des réacteurs nucléaires. Ces avancées ont contribué à réduire les risques potentiels pour l'environnement et la sécurité, renforçant ainsi la viabilité à long terme de cette source d'énergie. En conséquence, le nucléaire demeure une composante essentielle de nombreux plans énergétiques nationaux et internationaux, offrant une alternative crédible aux combustibles fossiles tout en contribuant à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone.

## 4.2. DES DÉFIS À RELEVER

#### 4.2.1. Les déchets radioactifs

La gestion des déchets radioactifs constitue l'un des enjeux majeurs de l'industrie nucléaire. Les réacteurs nucléaires engendrent une variété de déchets hautement radioactifs, caractérisés par une persistance dangereuse sur des échelles de temps pouvant atteindre plusieurs milliers voire millions d'années. Cette réalité impose la mise en œuvre impérieuse de dispositifs de stockage à long terme, robustes et sécurisés.

Parmi les solutions envisagées pour relever ce défi, le concept de stockage géologique profond émerge comme une piste sérieuse. Ce schéma préconise l'immersion des déchets radioactifs dans des formations géologiques stables et isolées, localisées à des profondeurs conséquentes sous la surface terrestre. L'objectif est d'assurer un confinement hermétique de ces matériaux, afin de minimiser au maximum les risques potentiels de contamination environnementale et humaine. Néanmoins, malgré les bénéfices apparents de cette approche, des préoccupations persistent quant à sa sécurité à long terme. En effet, l'éventualité de fuites radioactives ou de contaminations des nappes phréatiques soulève des interrogations sur la pérennité de ces dispositifs sur le long terme. Par ailleurs, la question de l'acceptabilité sociale représente un défi d'ampleur, avec de nombreuses collectivités exprimant des réserves quant à l'implantation d'installations de stockage de déchets nucléaires à proximité de leurs lieux de résidence.

#### 4.2.2. La fusion, une solution ?

##### La fusion

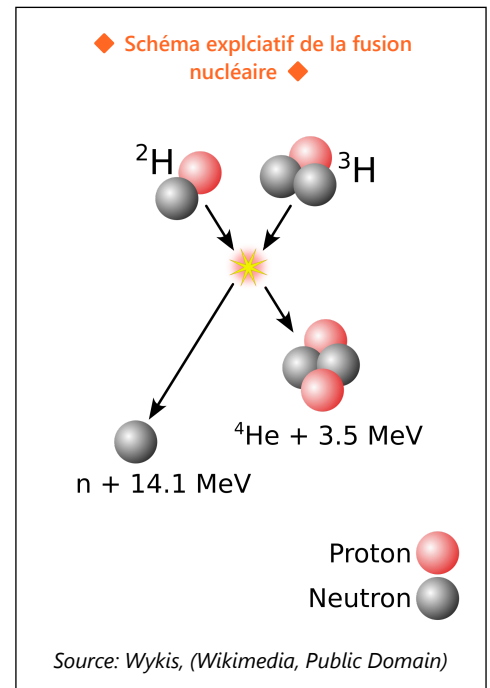
La fusion nucléaire est un processus où les noyaux légers d'hydrogène, tels que le deutérium et le tritium, fusionnent pour former des noyaux plus lourds, libérant ainsi une quantité massive d'énergie. Pour recréer cette réaction sur Terre, le projet ITER utilise un plasma, un gaz d'ions et d'électrons, chauffé à des températures extrêmes, souvent supérieures à 100 millions de degrés Celsius.



La fusion nucléaire, qui est le processus qui alimente le soleil, est souvent présentée comme une solution potentielle aux défis du nucléaire actuel. En effet, la fusion est une source d'énergie sans déchets, de disponibilité quasi illimitée puisqu'elle ne nécessite que de l'eau et des risques d'accident minimes.

Cependant, malgré les progrès de la recherche, la fusion nucléaire est encore à un stade expérimental et nécessite d'importants investissements en recherche et développement avant de devenir une source d'énergie commerciale viable. En effet, afin que la fusion se produise, il faut des conditions de température et de pression

extrêmes, ce qui rend la réalisation de la fusion difficile et coûteuse en énergie et en argent.



### LE PROJET ITER

Situé à Cadarache, en France, ITER représente une collaboration internationale ambitieuse entre 35 pays. Son objectif est de construire un réacteur de fusion nucléaire à grande échelle. Le plasma est maintenu en suspension dans une enceinte magnétique grâce à un champ magnétique puissant généré par des aimants supraconducteurs.

Une fois que le plasma atteint les conditions de fusion, les noyaux d'hydrogène fusionnent, libérant des neutrons et une énorme quantité d'énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur est ensuite convertie en électricité à l'aide de turbines.

Le projet ITER vise à démontrer la faisabilité technologique de la fusion nucléaire en produisant plus d'énergie de fusion qu'il n'en faut pour chauffer et maintenir le plasma. Bien que le projet soit encore en construction, il offre un espoir pour une source d'énergie propre, sûre et pratiquement inépuisable pour l'avenir de l'humanité.



# Conclusion

Au terme de cet article sur l'énergie nucléaire, il apparaît clairement que cette source d'énergie est à la fois une merveille de la science moderne et un défi pour l'humanité. Depuis les premières découvertes des particules subatomiques jusqu'aux développements les plus récents en physique nucléaire, l'énergie nucléaire a constitué un formidable moteur de progrès scientifique et technologique.

Les applications de l'énergie nucléaire dans des domaines aussi variés que la médecine, l'industrie et la production d'électricité ont apporté des avantages indéniables à la société. Des traitements contre le cancer plus efficaces aux sources d'électricité décarbonées, l'énergie nucléaire a permis de relever certains des défis les plus pressants de notre époque.

Cependant, ces réalisations ne doivent pas nous aveugler sur les risques et les défis associés à l'énergie nucléaire. Les accidents catastrophiques de Tchernobyl et de Fukushima ont rappelé de manière brutale les conséquences potentiellement dévastatrices d'une utilisation imprudente de cette technologie. De plus, la question non résolue de la gestion des déchets radioactifs reste un obstacle majeur sur la voie d'une utilisation plus répandue et durable de l'énergie nucléaire.

Dans ce contexte, il est impératif que les décideurs, les scientifiques et la société dans son ensemble continuent à évaluer de manière critique les avantages et les inconvénients de l'énergie nucléaire. Les progrès technologiques, notamment dans le domaine de la fusion nucléaire, offrent des perspectives intéressantes pour surmonter certains des défis actuels et ouvrir de nouvelles voies vers un avenir énergétique plus durable.

En fin de compte, l'avenir de l'énergie nucléaire dépendra de notre capacité à concilier ses promesses avec ses risques, à développer des politiques et des technologies qui maximisent ses avantages tout en minimisant ses inconvénients. Dans cette quête, il est essentiel que nous abordions ces questions de manière rigoureuse et éclairée, en tenant compte à la fois des impératifs scientifiques et des préoccupations éthiques et environnementales qui guideront notre chemin vers un avenir énergétique durable.

# Bibliographie

<https://spark.iop.org/curies-x-ray-ambulances>