

## COMPÉTENCES ATTENDUES

- Connaître diverses formes d'énergie.
- Exploiter le principe de conservation de l'énergie dans des situations mettant en jeu différentes formes d'énergie.

## PARTIE A : CONVERSIONS D'ÉNERGIES

L'énergie existe sous de multiples formes qui se peuvent se transformer l'une en l'autre en fonction du convertisseur considéré : énergie chimique, énergie nucléaire, énergie mécanique (cinétique et potentielle), énergie électrique, énergie lumineuse, énergie thermique, énergie musculaire ...

1. À chaque système, associer la forme d'énergie correspondante :

- |                                               |                          |                       |                                  |
|-----------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Eau du réservoir d'un barrage hydroélectrique | <input type="checkbox"/> |                       |                                  |
| Vent                                          | <input type="checkbox"/> | <input type="radio"/> | Énergie nucléaire                |
| Tsunami                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="radio"/> | Énergie cinétique                |
| Soleil                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="radio"/> | Énergie potentielle de pesanteur |
| Foudre                                        | <input type="checkbox"/> | <input type="radio"/> | Énergie chimique                 |
| Pétrole                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="radio"/> | Énergie électrique               |
| Uranium                                       | <input type="checkbox"/> |                       |                                  |
| Aliments                                      | <input type="checkbox"/> |                       |                                  |

2. Dans les situations suivantes, indiquer les conversions d'énergie rencontrées :

★ Le repas d'un sportif avant un effort est un des facteurs clé de la performance.

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ Dans une maison, on prévoit, de manière générale, 1 m<sup>2</sup> de panneau solaire pour chauffer 10 m<sup>2</sup> de surface au sol.

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ La centrale hydroélectrique de Rapel a été construite en 1968.

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ Au Chili, on compte une quinzaine de centrale thermoélectrique.

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ En France, 80% de l'électricité est d'origine nucléaire (voir animation : "REP.swf" sur **cursos(P:)**).

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ Le constructeur auto Toyota a lancé sur le marché une voiture hybride qui peut fonctionner à l'électricité et à l'essence.

..... ⇒ .....

..... ⇒ ..... ⇒ .....

★ Le parc à éoliennes Canela situé à environ 300 km au nord de Santiago possède une capacité d'environ 80 MW.

..... ⇒ .....

## **PARTIE B : LE NEUTRINO... UNE SIMPLE HISTOIRE DE CONSERVATION D'ÉNERGIE**

« *De toute façon, c'est trop compliqué pour des humains ; j'aurais préféré ne jamais avoir entendu parler de physique* ». C'est en ces termes que s'exprimait le physicien suisse Wolfgang Pauli (1900-1958) devant les problèmes posés par la désintégration radioactive des noyaux atomiques.

Ces propos précédaient de quelques mois la lettre expédiée par Pauli à ses collègues physiciens, lettre de laquelle est partie l'aventure des neutrinos, ces particules insaisissables qui bombardent la Terre en permanence et qui, chaque seconde, traversent notre corps par millions de milliards.

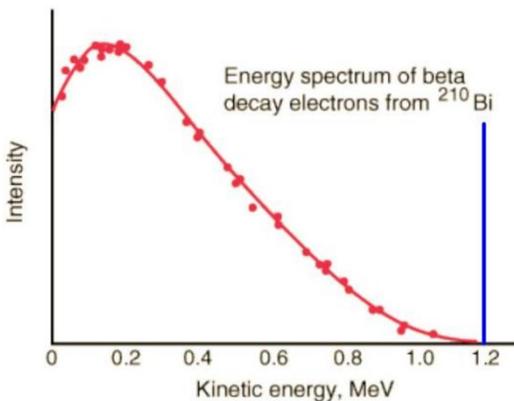


Surnommé le « fléau de Dieu » en raison de son esprit critique mais inspiré, le physicien Wolfgang Pauli reçut le prix Nobel de physique en 1945.

### **PÉNURIE D'ÉNERGIE**

L'histoire du neutrino débute au tournant du siècle dernier, peu après la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel, en 1896. Les noyaux radioactifs se désintègrent spontanément en un noyau plus stable grâce à l'éjection d'une particule : particule  $\alpha$  (noyau d'hélium) dans le cas de la radioactivité  $\alpha$ , électron dans le cas de la radioactivité  $\beta$ .

Mais alors que la particule  $\alpha$  emportait l'intégralité de l'énergie libérée par la réaction, les électrons, éjectés avec des vitesses très variées, n'en emportaient qu'une partie. Les expériences effectuées par les Allemands Lise Meitner et Otto Hahn dès 1911, puis par l'Anglais James Chadwick à partir de 1914, avec une version primitive du compteur Geiger, avaient montré que leur énergie prenait n'importe quelle valeur entre zéro et la valeur attendue.



**Spectre de répartition des électrons observés lors de la radioactivité  $\beta$  d'un noyau de bismuth.** Les électrons émis par radioactivité  $\beta$  emportent des énergies variables, comprises entre zéro et la valeur attendue : en abscisse, l'énergie cinétique observée ; en ordonnée, le nombre d'électrons émis. La barre (ajoutée à l'image originelle) représente l'énergie « attendue » – différence des énergies entre le noyau de départ Bi210 (anciennement radium E) et celui d'arrivée Po210 (famille radioactive de l'uranium 238 et du radium).

Ce spectre continu d'énergie représentait un véritable casse-tête pour les physiciens. Lise Meitner l'avait d'abord mis sur le compte d'un ralentissement inhomogène des électrons dans la source radioactive. Selon elle, l'énergie perdue avait été convertie en chaleur. Malheureusement, des mesures calorimétriques ultra-précises, réalisées en 1927, avaient montré qu'il n'en était rien. Si bien que des personnalités de premier plan, comme le Suédois Niels Bohr, en étaient venues à remettre en question le principe de conservation de l'énergie, au niveau atomique tout du moins.

### **L'IDÉE DE PAULI**

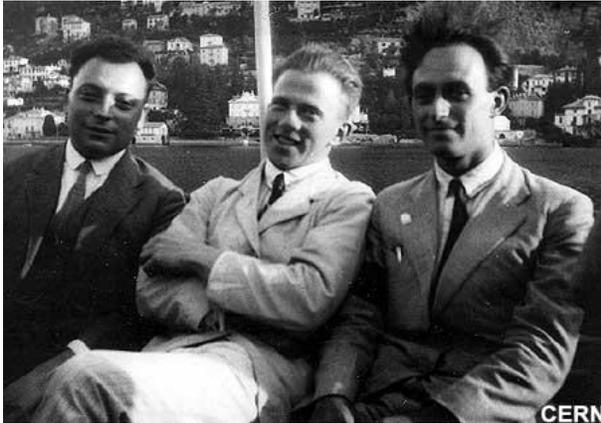
« *Seul celui qui ose gagne.* » Wolfgang Pauli

Le physicien suisse d'origine autrichienne Wolfgang Pauli, professeur à l'École polytechnique de Zürich, ne partageait pas l'opinion de Bohr. Filleul d'Ernst Mach et fils spirituel d'Einstein, Pauli s'était déjà taillé une solide réputation dans le domaine de la mécanique quantique.

Pour sauver la conservation de l'énergie et sortir la physique de l'impasse où elle se trouvait, Pauli avait imaginé une solution originale : et si l'énergie manquante était emportée par une petite particule neutre, de masse infinitésimale, voire nulle, et donc quasi impossible à détecter par les voies habituelles ?

Le physicien italien Enrico Fermi à qui l'on avait demandé à l'occasion du congrès de Solvay de Bruxelles en 1933 si le neutron de Chadwick était le même que celui de Pauli, avait répondu : « Non, le neutron de Pauli est beaucoup plus petit : c'est un neutrino. ». Le « neutron » de Pauli devint donc le neutrino, mot qui signifie « petit neutre » en italien.

L'année suivante, Fermi, qui avait d'emblée adhéré aux vues de Pauli, écrivait un article où il exposait et développait une théorie expliquant la radioactivité  $\beta$  par l'intervention d'une force nucléaire nouvelle, de faible intensité et de portée réduite : l'interaction faible. Celle-ci se traduisait par la conversion d'un neutron en proton via l'émission d'un électron et d'un neutrino. L'article de Fermi, refusé par la revue britannique *Nature* au motif qu'il contenait des « spéculations trop éloignées de la réalité physique », parut dans une revue italienne de moindre renommée avant d'être publié en allemand dans le numéro de mars 1934 du périodique *Zeitschrift für Physik*.



à gauche sur la photo : Wolfgang Pauli,  
au centre : Werner Heisenberg  
et à droite : Enrico Fermi

1927, Lake Como. CERN photo

Pourquoi tardait-on tant à mettre en évidence ces neutrinos, « qu'on aurait dû voir si réellement ils existaient » ? Leur masse faible, voire nulle, les rendait difficiles à intercepter. Leur neutralité électrique les rendait insensibles à l'action d'un champ électrique ou d'un champ magnétique, si bien qu'ils se faufilaient partout. Les calculs établissaient que des neutrinos d'énergie moyenne pouvaient traverser des épaisseurs d'une centaine d'années-lumière avec seulement 50% de chances d'être absorbés.

Pour espérer en capturer quelques-uns, il fallait disposer d'importantes sources de neutrinos. Les choses ne commencèrent à évoluer que dans les années cinquante, avec les premiers essais nucléaires.

L'existence du neutrino est confirmée expérimentalement en 1956. Depuis, le LEP, prédécesseur du LHC du CERN (voir page 119), a permis de démontrer l'existence de trois familles de neutrinos.

La particule postulée par Pauli est aujourd'hui appelée un antineutrino noté  $\bar{\nu}$ .

*par Marie-Christine de La Souchère,  
professeur agrégé de physique, ancienne élève  
de l'École normale supérieure de Fontenay-Saint-Cloud*

## QUESTIONNEMENT

3. Qu'a observé Chadwick en analysant les résultats de son expérience sur la désintégration  $\beta$  du bismuth ? Quel principe fondamental de la physique ne semble pas respecté par cette observation ?
4. Quel a été l'apport de Pauli pour expliquer cette observation ?
5. Écrire l'équation de désintégration  $\beta^-$  du cobalt  $^{60}_{27}\text{Co}$ , en appliquant les lois de conservation. Déterminer les nombres de charge  $Z$  et masse  $A$  de l'antineutrino  $\bar{\nu}$  émis.
6. Pourquoi la découverte expérimentale du neutrino a-t-elle pris beaucoup de temps alors qu'on baigne dans un océan de neutrinos ?