

112 de la masse  
← du carbone.

**RÉVISION ET RÉSUMÉ**

**Les nucléides** On connaît environ 2 000 nucléides. Chacun est caractérisé par un **numéro atomique**  $Z$  (nombre de protons), par un **nombre de neutrons**  $N$  et par un **nombre de masse**  $A$  (nombre total de nucléons - protons et neutrons). Donc,  $A = Z + N$ . Les nucléides ayant le même numéro atomique mais des nombres différents de neutrons sont des **isotopes** d'un élément. Les noyaux ont un rayon moyen  $r$  donné par

$$r = r_0 A^{1/3}, \quad (12.3)$$

où  $r_0 \approx 1,2$  fm.

**La désintégration radioactive** La plupart des nucléides connus sont radioactifs; ils se désintègrent spontanément. L'**activité**  $R (= -dN/dt)$  représente le taux de désintégration, et est proportionnelle au nombre  $N$  d'atomes radioactifs présents, la constante de proportionnalité étant la **constante de désintégration**  $\lambda$ , ce qui mène à la loi de la désintégration:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \quad R = \lambda N = R_0 e^{-\lambda t}$$

(la désintégration radioactive). (12.14, 12.15, 12.16)

La demi-vie  $T_{1/2} = (\ln 2)/\lambda$  d'un nucléide radioactif est le temps requis pour que l'activité  $R$  (ou le nombre  $N$ ) d'un échantillon atteigne la moitié de sa valeur initiale.

**La désintégration alpha** Certains nucléides se désintègrent en émettant une particule alpha (noyau d'hélium,  ${}^4\text{He}$ ). Une telle désintégration est inhibée par une barrière d'énergie potentielle impénétrable du point de vue de la physique classique, mais qui est sujette à l'effet tunnel selon la physique quantique. La perméabilité de la barrière, donc la demi-vie de la désintégration alpha, est très sensible à l'énergie de la particule alpha émise.

**La désintégration bêta** Dans la **désintégration bêta**, un noyau émet un électron ou un positron, qui est accompagné d'un neutrino. Les particules émises se partagent l'énergie de désintégration disponible. Les électrons et les positrons émis dans la désintégration bêta possèdent un spectre continu d'énergie s'étalant de presque zéro à une énergie limite  $K_{\max} (= Q = -\Delta m c^2)$ .

**L'énergie du noyau** Les processus nucléaires sont environ un million de fois plus efficaces, par unité de masse, que les processus chimiques pour transformer de la masse en énergie.

**La fission nucléaire** L'équation 13.1 illustre une **fission** du  ${}^{235}\text{U}$  induite par le bombardement de  ${}^{235}\text{U}$  avec des neutrons thermiques. Les équations 13.2 et 13.3 donnent les chaînes de désintégration bêta des premiers fragments. L'énergie dégagée par une telle fission est  $Q \approx 200$  MeV.

La fission peut être comprise à l'aide du modèle collectif qui compare un noyau à une goutte de liquide chargée portant une certaine énergie d'excitation. Pour que la fission se produise, une barrière de potentiel doit être traversée par effet tunnel. La fission dépend de la relation entre la hauteur de la barrière  $E_b$  et l'énergie d'excitation  $E_x$ .

Les neutrons libérés pendant la fission rendent possible une **réaction en chaîne** de fissions. La figure 13.4 illustre l'équilibre des neutrons dans le cycle d'un réacteur type. La figure 13.5 présente le schéma d'une centrale nucléaire complète.

**La fusion nucléaire** Le dégagement d'énergie généré par la **fusion** de deux noyaux légers est inhibé par leur barrière coulomb-

**Les échanges entre masse et énergie** L'énergie au repos d'une unité de masse atomique ( $u$ ) est 931,5 MeV. La courbe de l'énergie de liaison démontre que les nucléides de masse moyenne sont les plus stables, et que la fission d'un noyau de forte masse et la fusion de deux noyaux de faible masse dégagent de l'énergie.

**La force nucléaire** Les parties des noyaux sont maintenues ensemble par une force d'attraction qui agit entre les nucléons. On croit qu'il s'agit d'un effet secondaire de l'**interaction forte** agissant entre les quarks qui forment les nucléons. Les noyaux peuvent exister dans un certain nombre d'états d'énergie discrets, chacun ayant un moment cinétique et un moment magnétique caractéristiques.

**La datation par radioactivité** Les nucléides radioactifs présents dans la nature permettent de dater approximativement des éléments historiques et préhistoriques. Par exemple, on peut souvent déterminer l'âge des matières organiques en mesurant leur teneur en  ${}^{14}\text{C}$ ; on peut dater des échantillons de roche à l'aide de l'isotope radioactif  ${}^{40}\text{K}$ .

**La mesure de la dose radioactive** On utilise trois unités pour exprimer l'exposition aux rayonnements ionisants. Le **becquerel** (1 Bq = 1 désintégration par seconde) mesure l'**activité** d'une source. La quantité d'énergie vraiment absorbée s'exprime en **grays**, 1 Gy correspondant à 1 J/kg. L'action biologique estimée de l'énergie absorbée est exprimée en **sieverts**; une dose équivalant à 1 Sv provoque le même effet biologique, peu importe le type de rayonnement en jeu.

**Les modèles nucléaires** Selon le modèle **collectif** de la structure nucléaire, les nucléons se heurtent continuellement et des **noyaux composés** ayant des vies relativement longues sont formés quand il y a capture d'un projectile. La formation d'un noyau composé et sa désintégration subséquente sont des événements parfaitement indépendants.

Selon le modèle en **couches**, chaque nucléon se déplace, essentiellement sans collision, dans un état quantique à l'intérieur du noyau. Ce modèle mène aux niveaux de nucléons et aux **nombre magiques** de nucléons (2, 8, 20, 28, 50, 82 et 126) associés à des couches fermées; les nucléides comprenant l'une de ces quantités de neutrons ou de protons sont particulièrement stables.

Le modèle **combiné**, dans lequel les nucléons supplémentaires occupent des états quantifiés hors d'un cœur central de couches fermées, permet de prédire avec succès de nombreuses propriétés nucléaires.

bienne mutuelle. La fusion peut se produire dans la matière solide seulement si la température est suffisamment élevée (c'est-à-dire si l'énergie de la particule est suffisamment élevée) pour que se produise un effet tunnel appréciable.

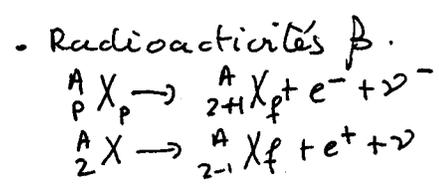
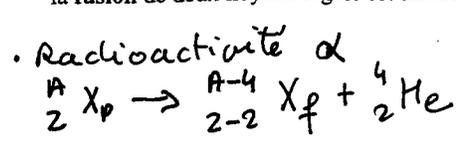
L'énergie du Soleil provient principalement de la combustion thermonucléaire de l'hydrogène, qui forme de l'hélium en suivant la **chaîne proton-proton** décrite dans la figure 13.11. Une fois l'hydrogène combustible d'une étoile épuisé, d'autres processus de fusion peuvent produire des éléments jusqu'à  $A \approx 56$  (le pic de la courbe d'énergie de liaison).

**La fusion contrôlée** On n'a pas encore réussi à contrôler la **fusion thermonucléaire** pour générer de l'énergie. Les mécanismes les plus prometteurs sont les réactions d-d et d-t. Pour qu'un réacteur à fusion fonctionne, il doit satisfaire au **critère de Lawson**,

$$n\tau > 10^{20} \text{ s/m}^3, \quad (13.16)$$

et le plasma doit avoir une température  $T$  suffisamment élevée.

Dans un **tokamak**, le plasma est confiné par un champ magnétique. Dans la **fusion par laser**, on utilise le confinement inertiel.



conservation de  $A, Z, \text{lepton}$