

UE3-1 : Biophysique

Chapitre 1 :
**Bases biophysiques
de l'utilisation des rayonnements
dans les professions de santé**

Professeur Jean-Philippe VUILLEZ

Année universitaire 2011/2012

Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés.

Deux types de raisons de s'intéresser aux rayonnements ionisants

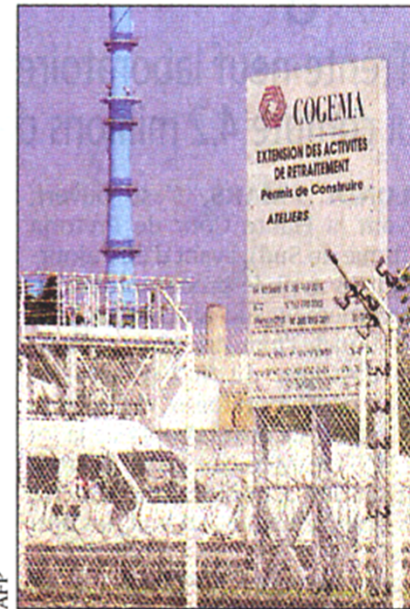
- Conséquences des irradiations sur la santé
- Utilisation des rayonnements ionisants en médecine
 - Diagnostique
 - Thérapeutique
- Quelles conséquences pour les patients ?
Notion de bénéfice/risque

Radioactivité, interactions des rayonnements avec la matière, dosimétrie, radiobiologie, radioprotection

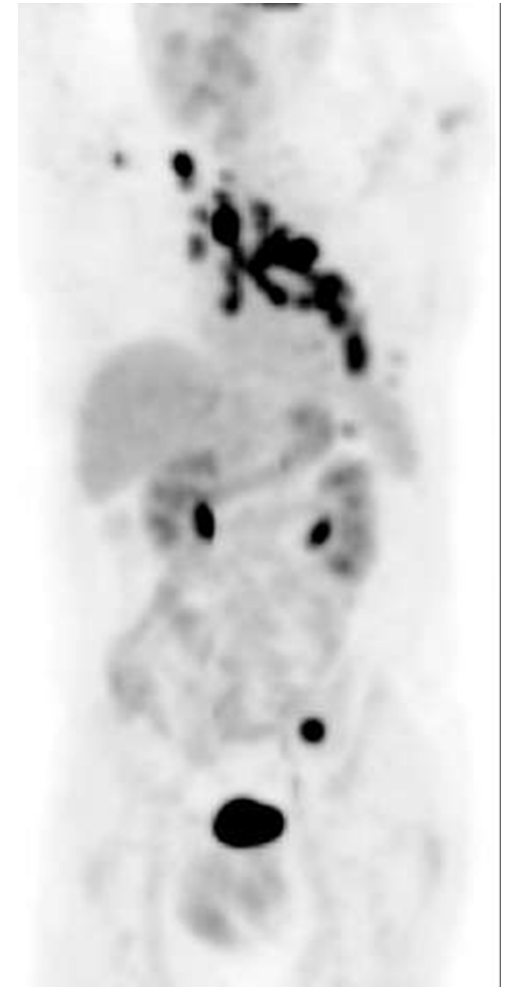
- Généralités
- Rappels sur la radioactivité
- Interactions des particules chargées avec la matière
- Interaction des photons avec la matière
- Détecteurs de rayonnements et spectrométrie γ
- Dosimétrie
- Radiobiologie
- Radioprotection, optimisation, justification

Connaître les **conséquences** et
justifier la prescription d'un
examen irradiant est une
obligation légale pour tout
médecin...

Le contexte...



DÉCHETS NUCLÉAIRES
**Le Mox caché
de la Hague**



Radioactivité, interactions des rayonnements avec la matière, dosimétrie, radiobiologie, radioprotection

OBJECTIFS (1)

- 1 – connaître l'origine et la nature des rayonnements auxquels sont exposés les individus
- 2 – connaître les effets physiques et biologiques de ces rayonnements sur l'organisme
- 3 – connaître et interpréter les grandeurs dosimétriques
- 4 – comprendre les notions de dose et de débit de dose
- 5 – comprendre le calcul d'une dose reçue et savoir en estimer l'ordre de grandeur
- 6 – distinguer exposition et contamination

Radioactivité, interactions des rayonnements avec la matière, dosimétrie, radiobiologie, radioprotection

OBJECTIFS (2)

- 7 – être capable d'évaluer le risque lié aux radiations en tenant compte de la dose reçue (risques déterministes et stochastiques)
- 8 – connaître les pathologies liées aux irradiations aiguës et chroniques
- 9 – connaître les principes de l'utilisation thérapeutique des rayonnements
- 10 – savoir expliquer les notions de justification et d'optimisation en matière de prescription d'un examen irradiant
- 11 – connaître les grandes règles de radioprotection pour le public, pour les personnels travaillant en zone contrôlée, et pour les patients
- 12 – connaître les principes de détection et de mesure des rayonnements, et du fonctionnement des détecteurs ; comprendre comment est obtenue une image scintigraphique

Rayonnements
- électromagnétiques (X, γ)
- particules

Interactions avec la matière
- inerte (détecteurs, radioprotection)
- biologique +++

Dépôt d'énergie dans
la matière

Dosimétrie

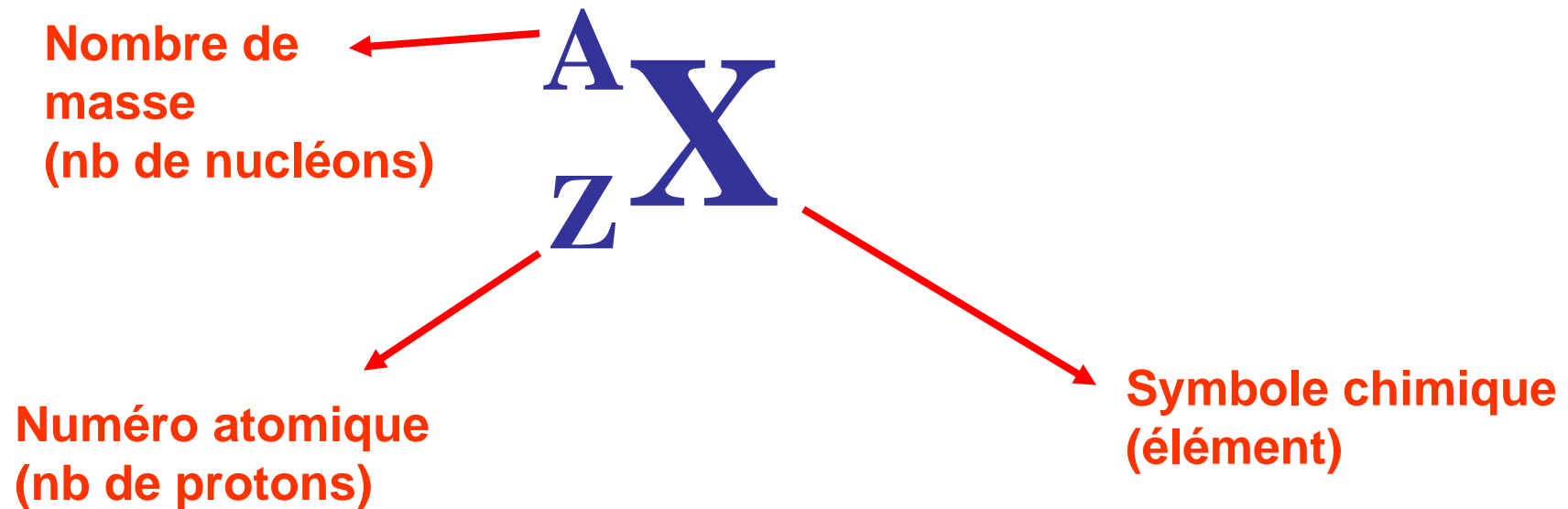
Radiobiologie

Effets biologiques

1^{ère} partie :

Rappels sur la radioactivité

- Structure du noyau



La radioactivité

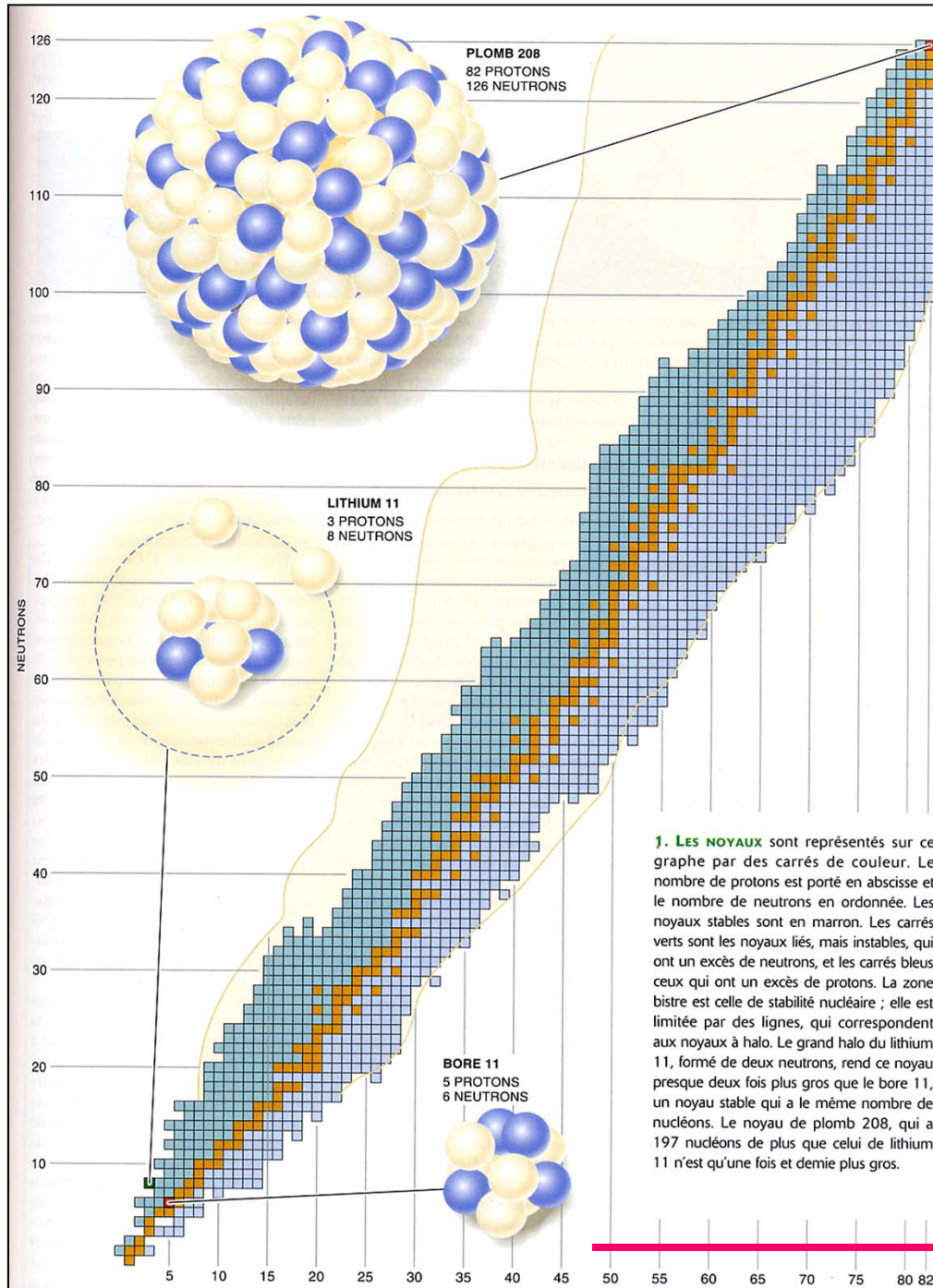
Définition :

« La radioactivité est la **transformation d'un atome avec une émission de rayonnements** »

Rappels sur la radioactivité

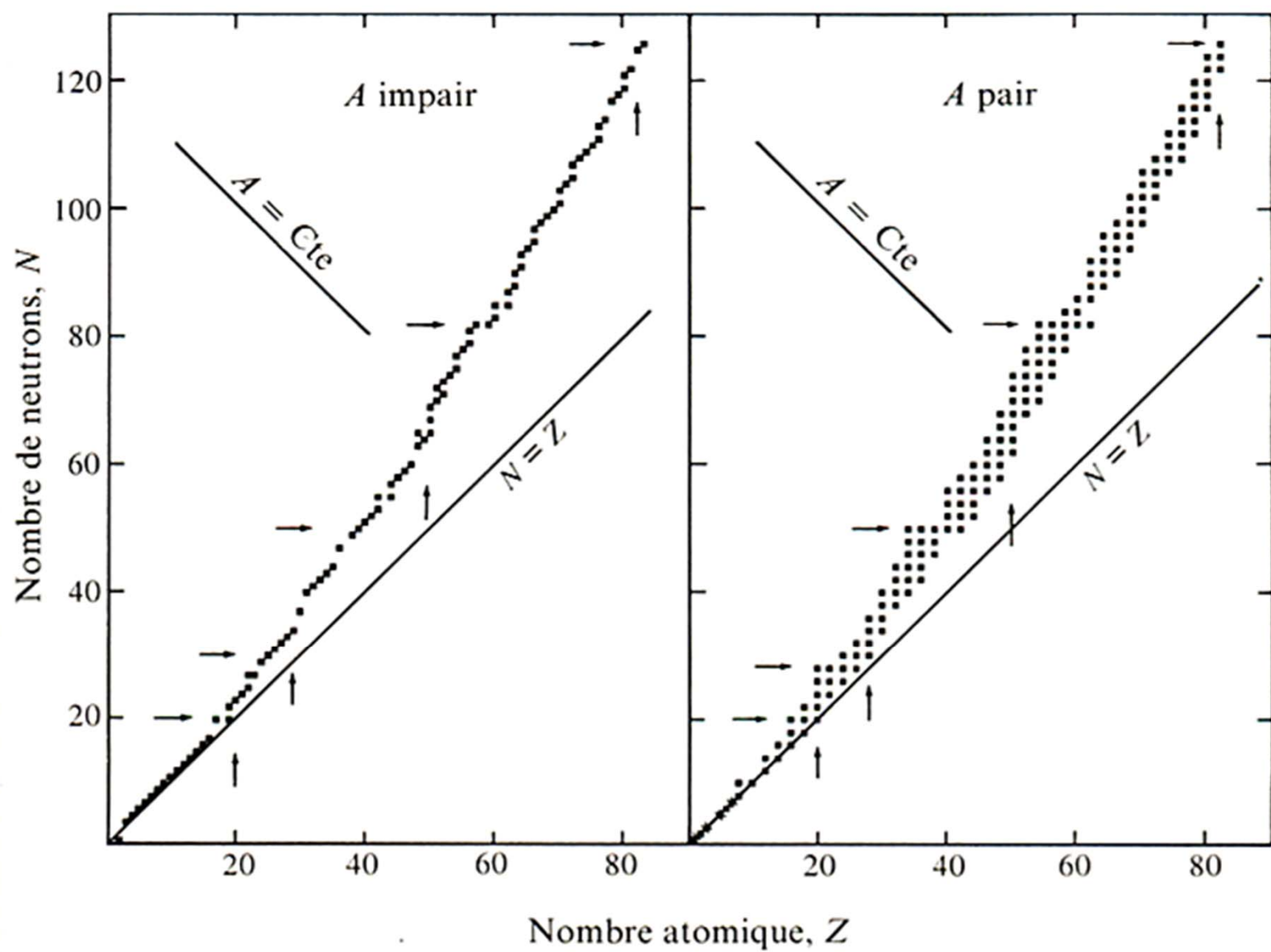
- Radioactivité : résulte de *l'instabilité du noyau* de certains atomes
- Stabilité nucléaire : équilibre entre nombre de protons et nombre de neutrons
 - Relation entre A et Z

Nb de neutrons

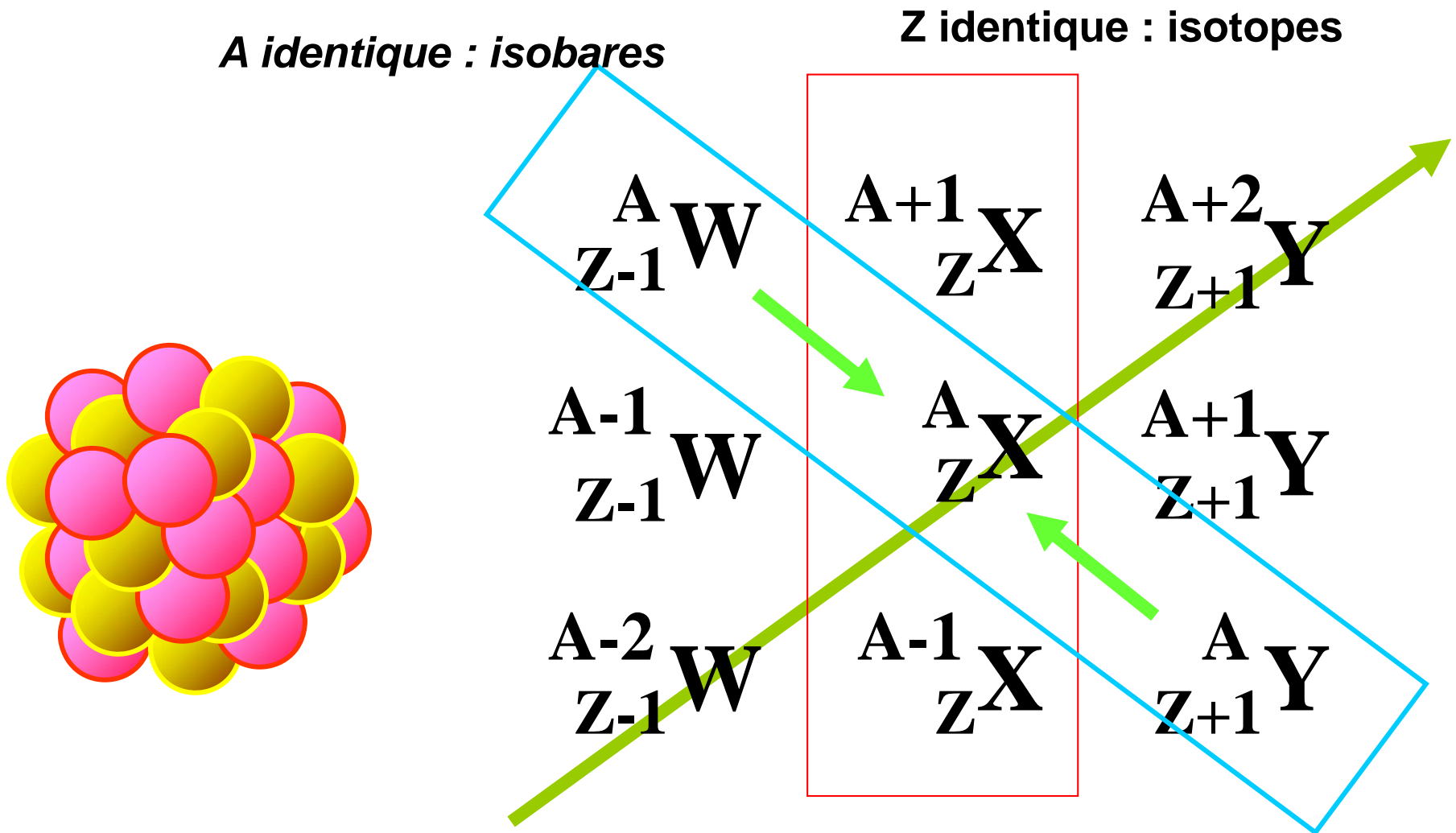


(Extrait de « Pour la Science »)

Nb de protons

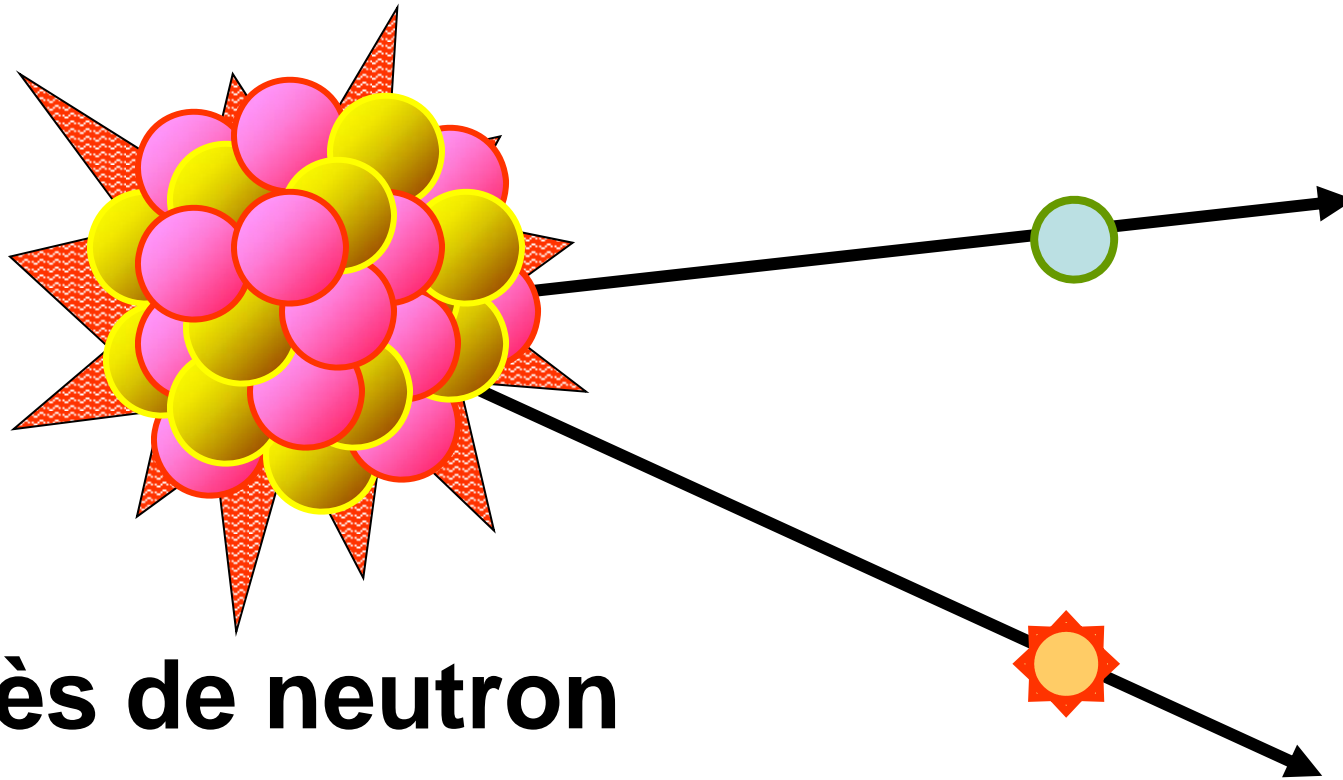
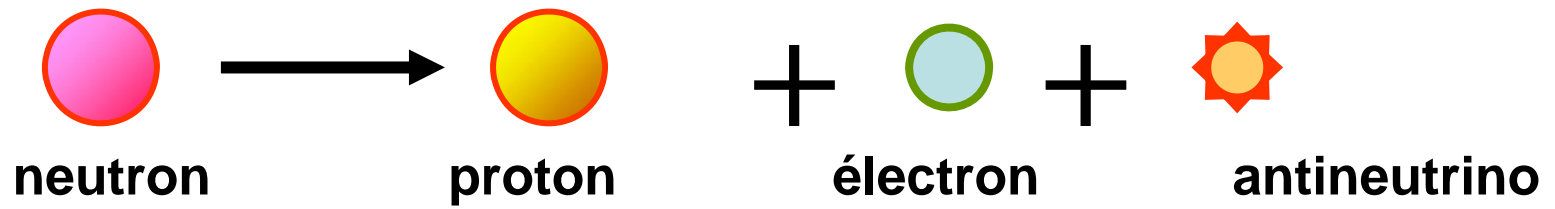


Radioactivité : notion d'isotope



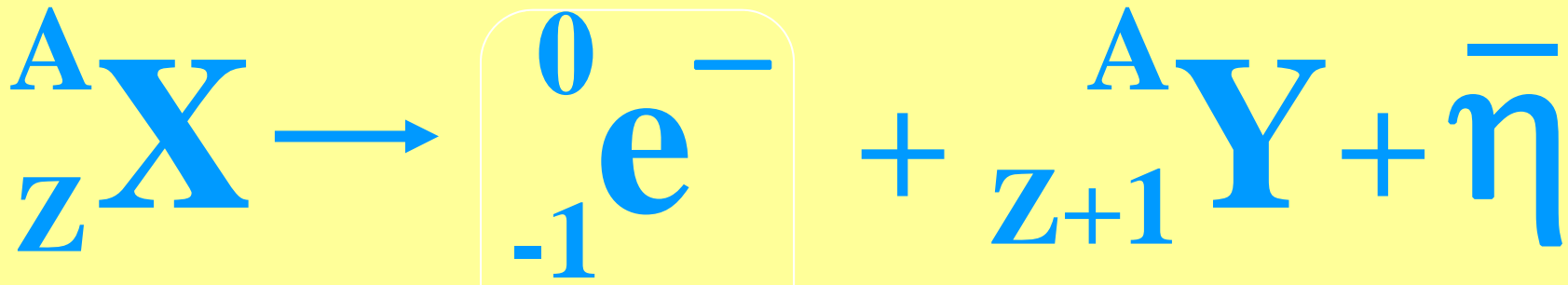
Excès de neutron(s)

- Un neutron se « transforme » en proton
- Il y a émission d'un ***électron***
- **Désintégration β^-**



Excès de neutron
 \rightarrow Désintégration β^-

Radioactivité β^-

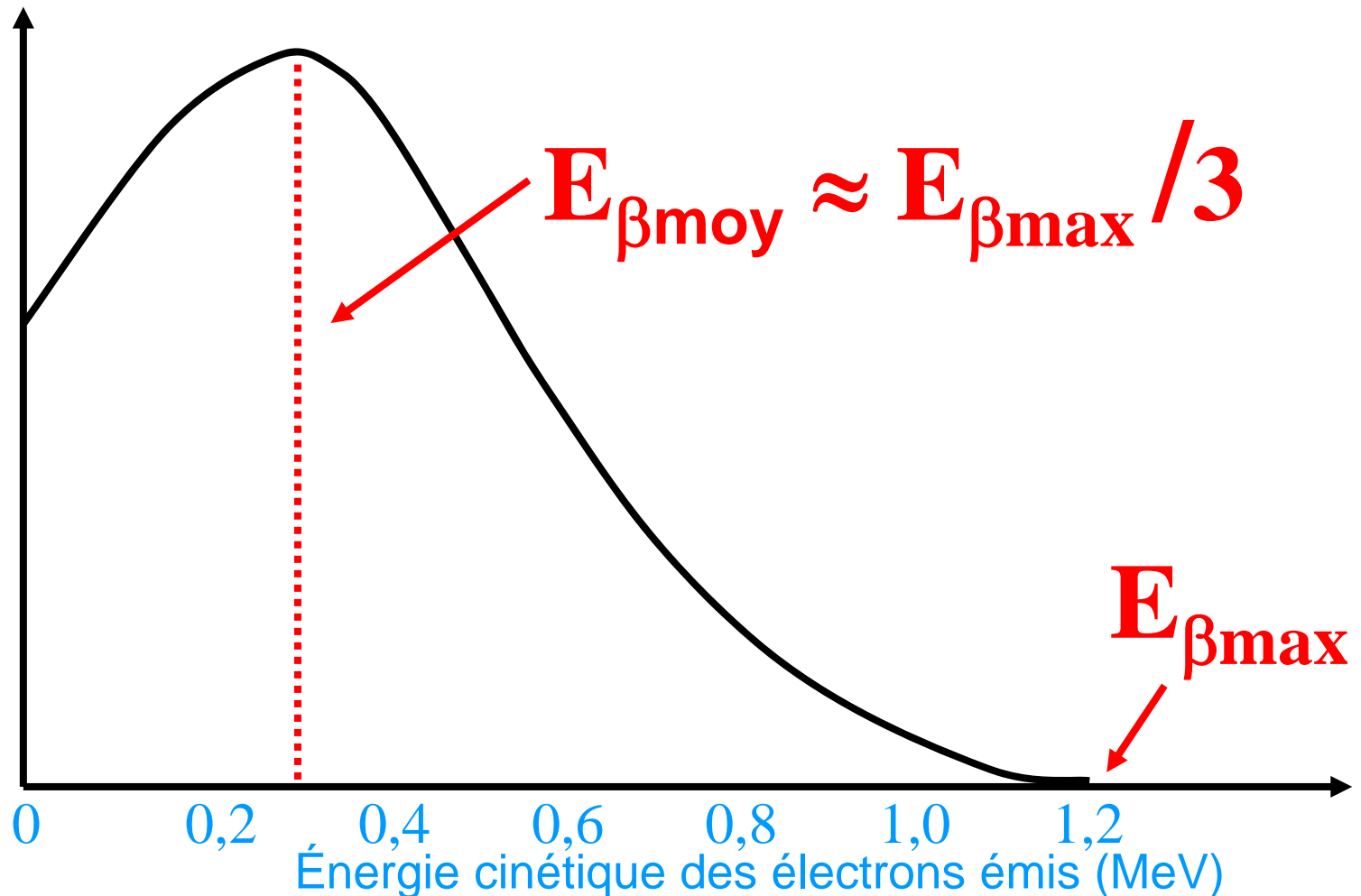


électron

Hypothèse de l'antineutrino ($\bar{\eta}$) :

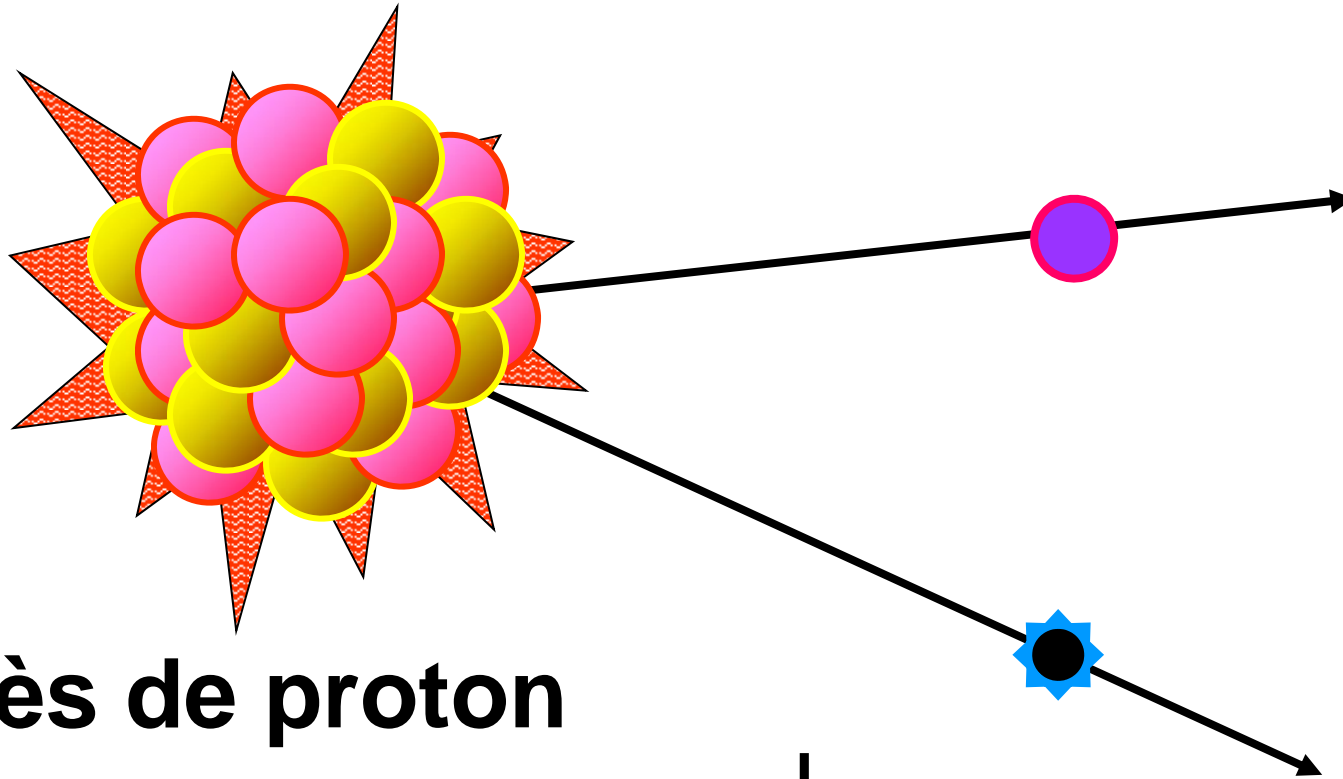
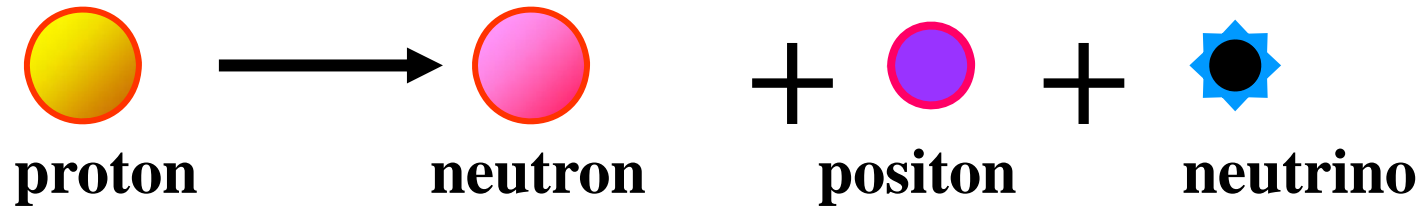
nécessaire pour expliquer le *spectre continu* de l'énergie des électrons β^-

Nb d'électrons
émis par
intervalle
d'énergie



Excès de proton(s) : 2 possibilités

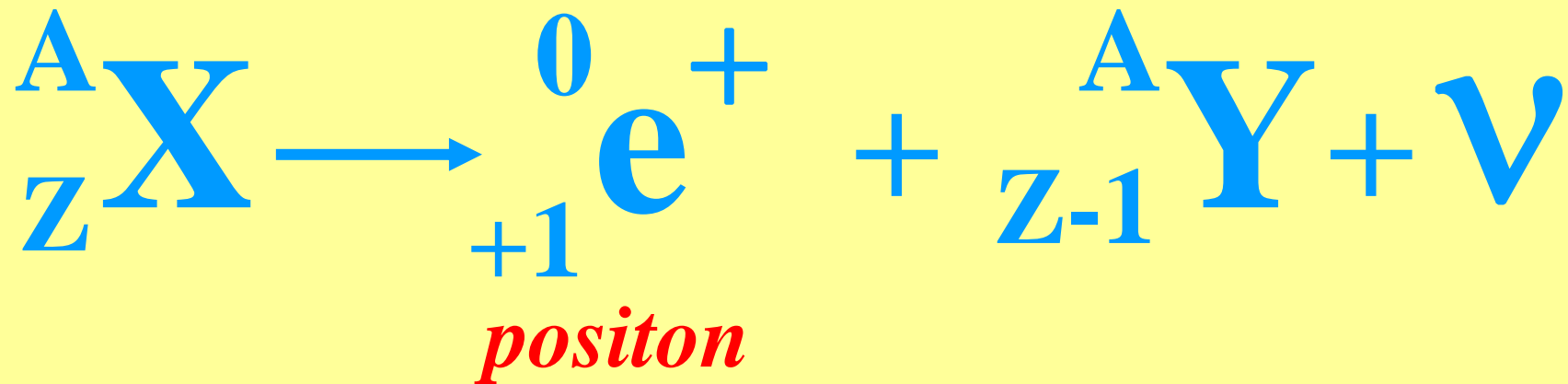
- Un proton se « transforme » en neutron
 - Il y a émission d'un **positon** (et d'un *neutrino*)
 - Désintégration β^+
- Un proton se combine avec un électron pour donner un neutron
 - Pas de particule chargée émise (*mais émission d'un neutrino*)
 - Capture électronique

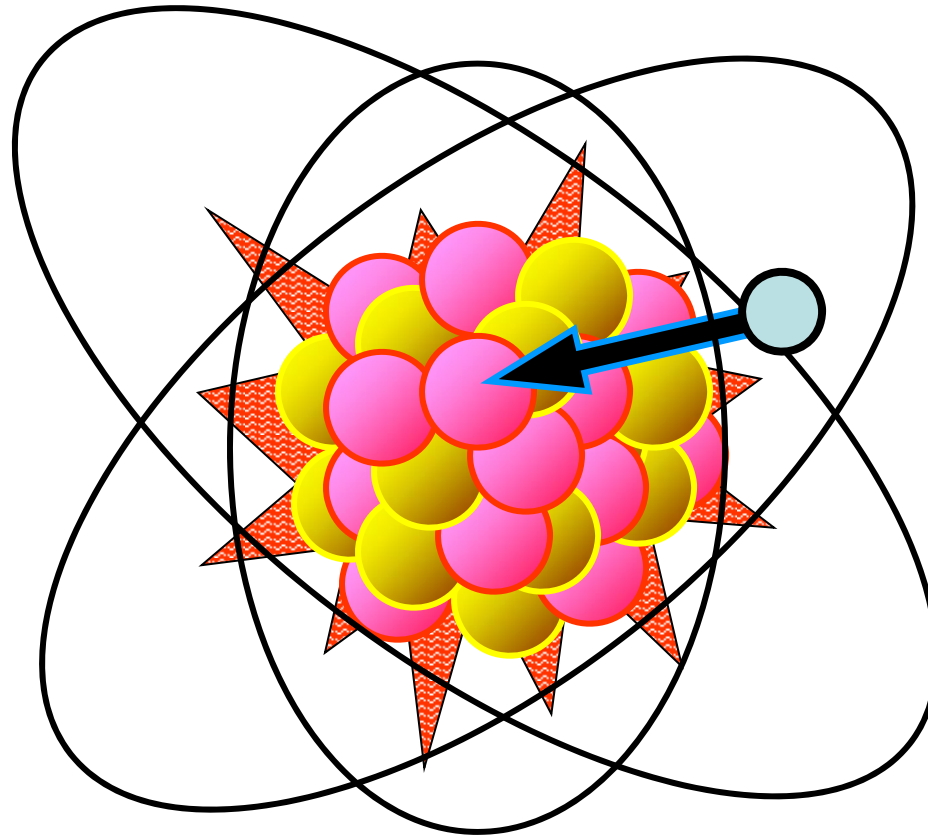
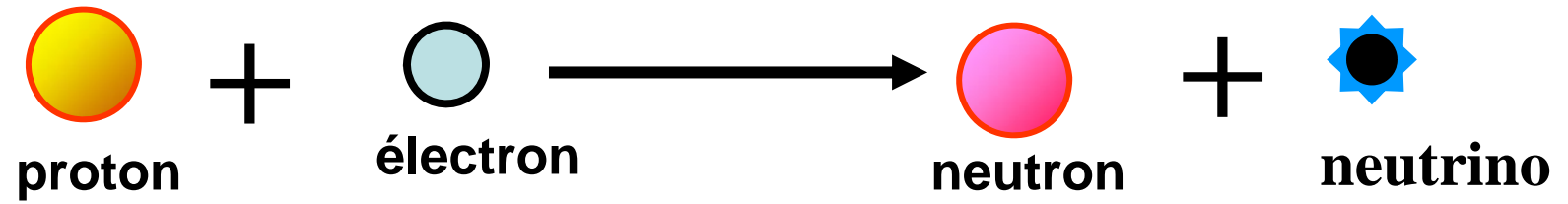


Excès de proton

\rightarrow Désintégration β^+

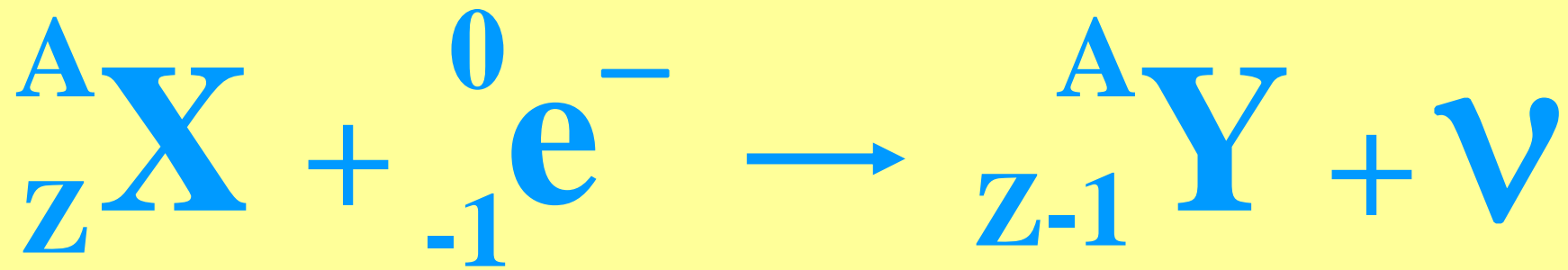
Radioactivité β^+



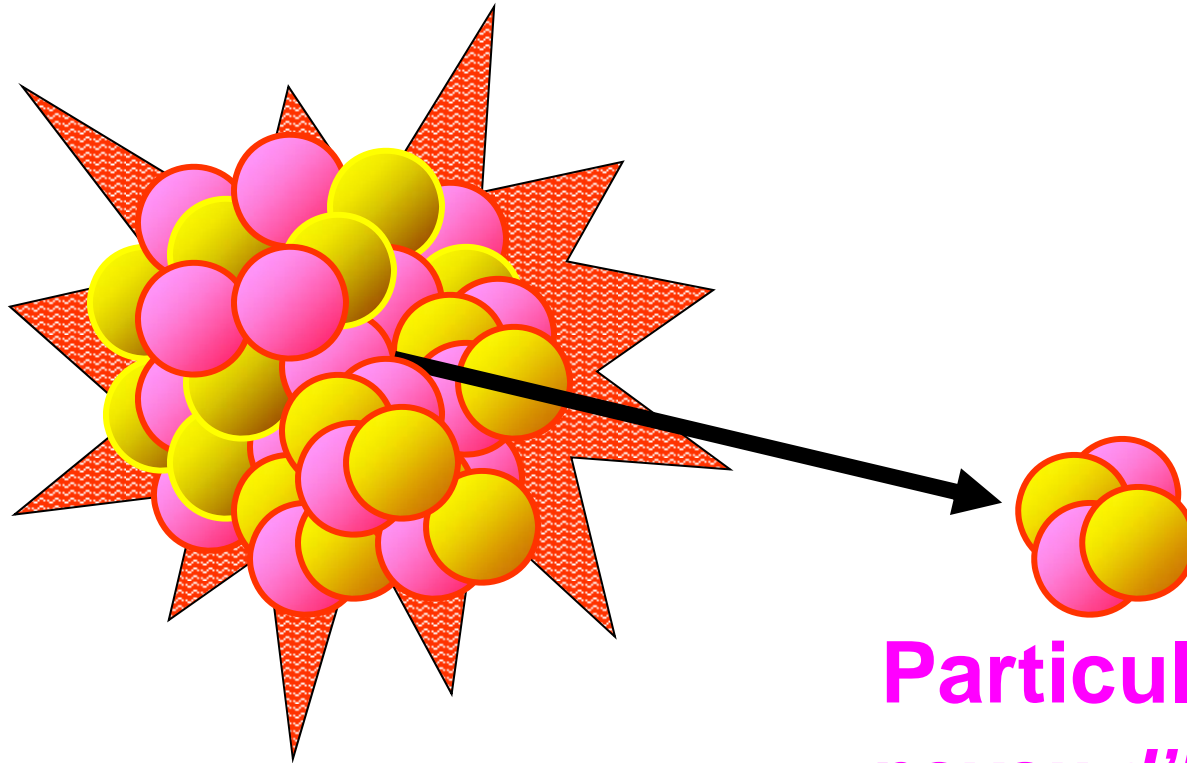


Excès de proton → Capture électronique

Capture électronique



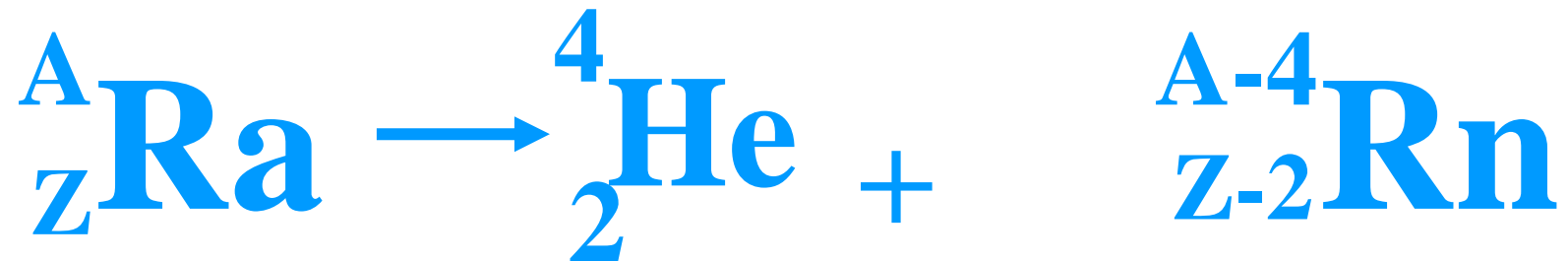
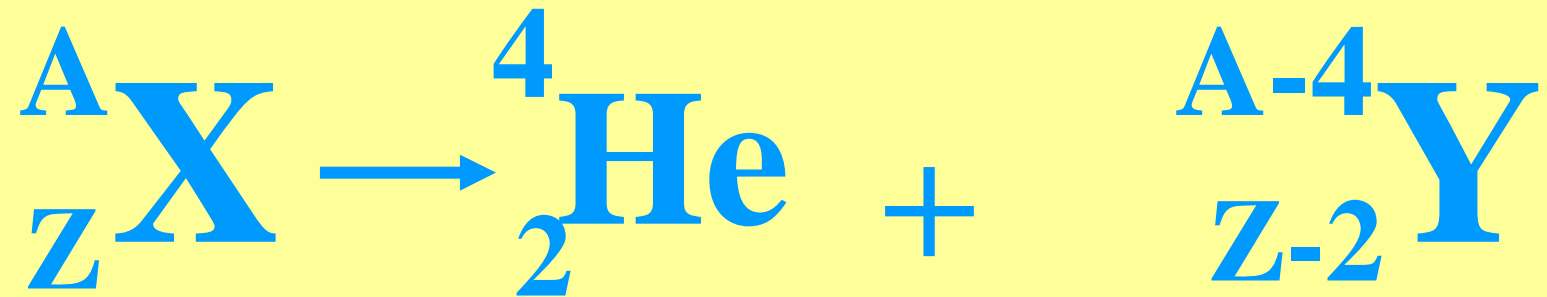
Radioactivité α



Particule α
= *noyau d'hélium*

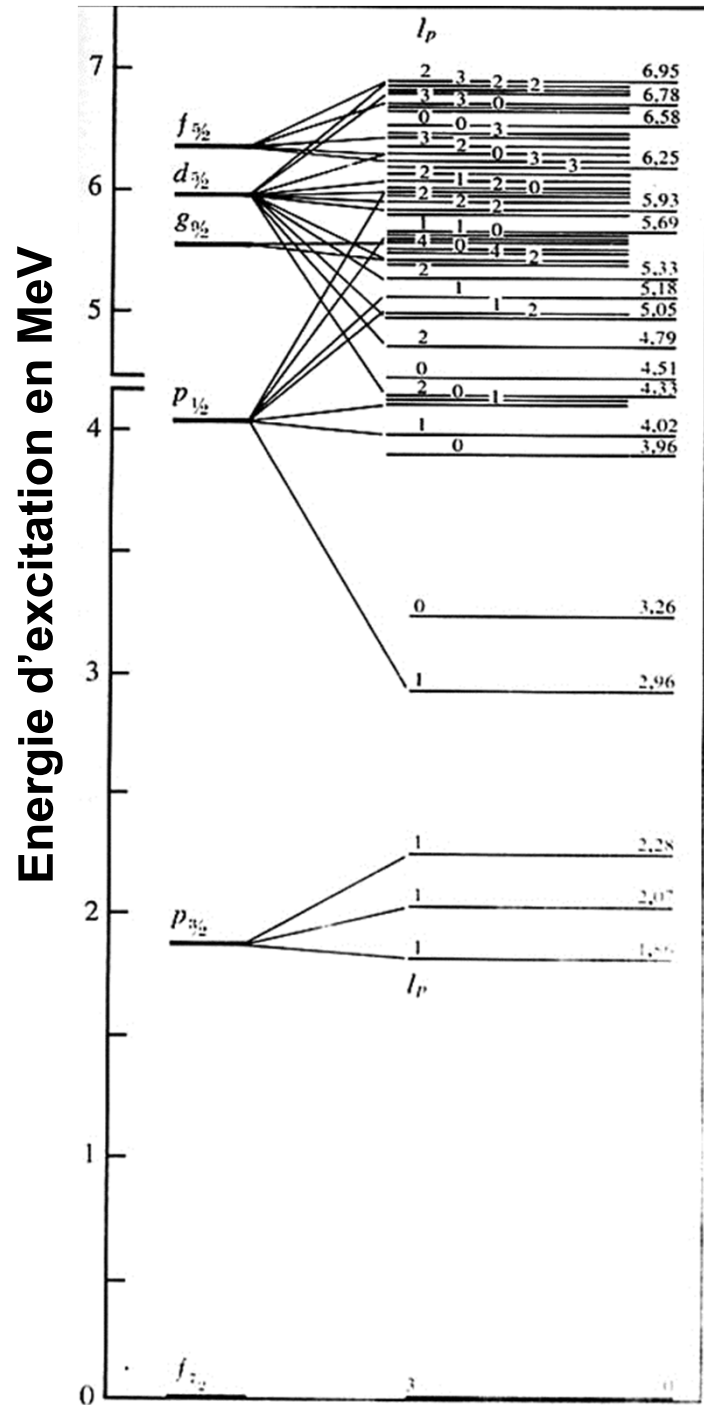
(E \cong 4 à 8 MeV)

Radioactivité α



Après la transformation radioactive...

- Le noyau « fils » peut être totalement stable...
- ... mais le plus souvent il est encore dans un état « excité », avec un excédent d'énergie



Un noyau peut-être dans plusieurs états énergétiques

Niveaux d'énergie du noyau du ^{41}Sc (en Mev)

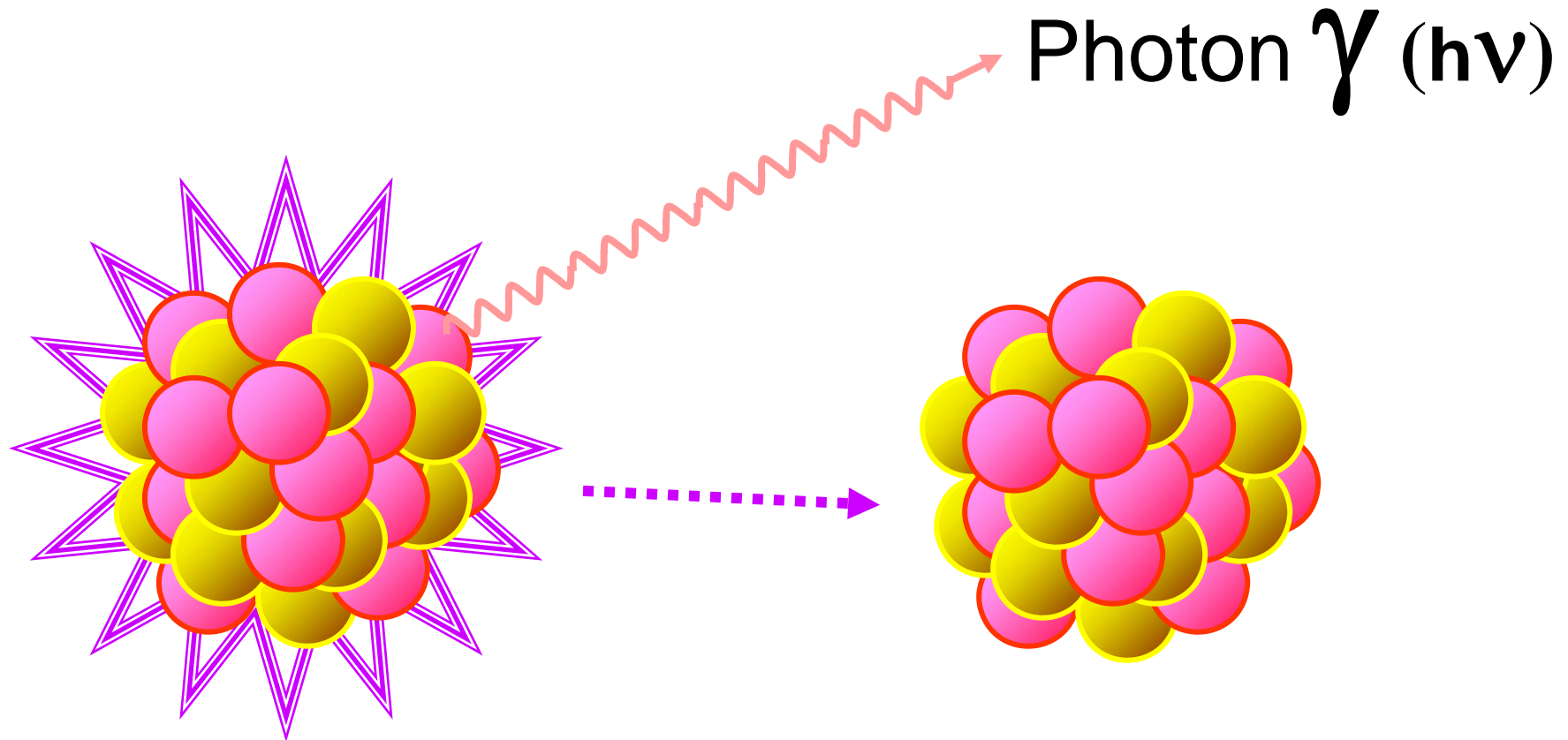
Désintégration radioactive : *phénomènes secondaires (1)*



Le noyau « fils » est en général dans un état excité

- Dans tous les cas la désexcitation se fait :
 - Soit par émission d'un *photon gamma (γ)*
 - Soit par émission d'un *électron de conversion interne*
- Dans les cas des émetteurs de positons :
 - Il y a en plus un phénomène d'*annihilation* ($e^+ \leftrightarrow e^-$) avec émission de *deux photons de 511 keV.*

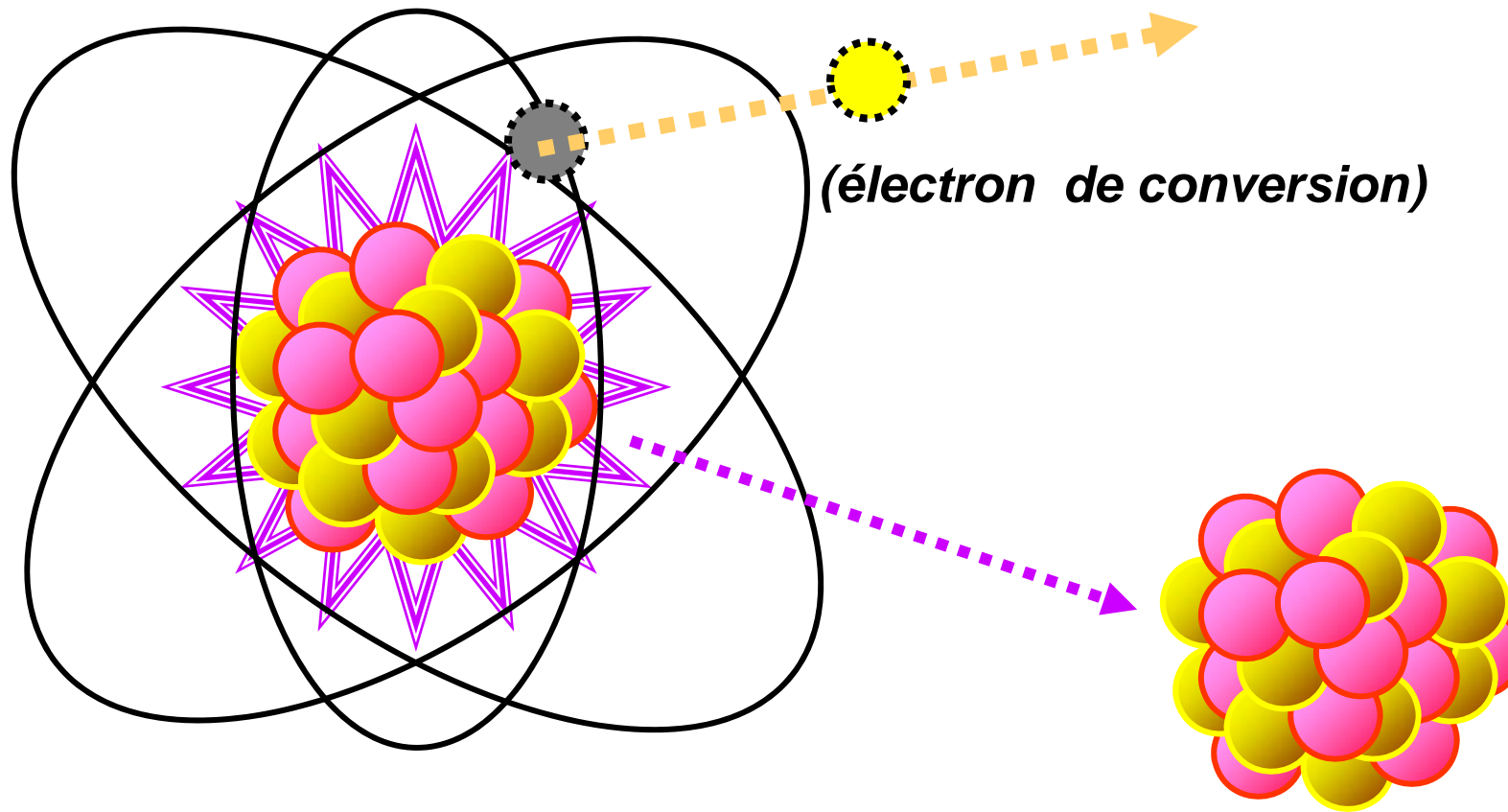
Émission gamma (γ)

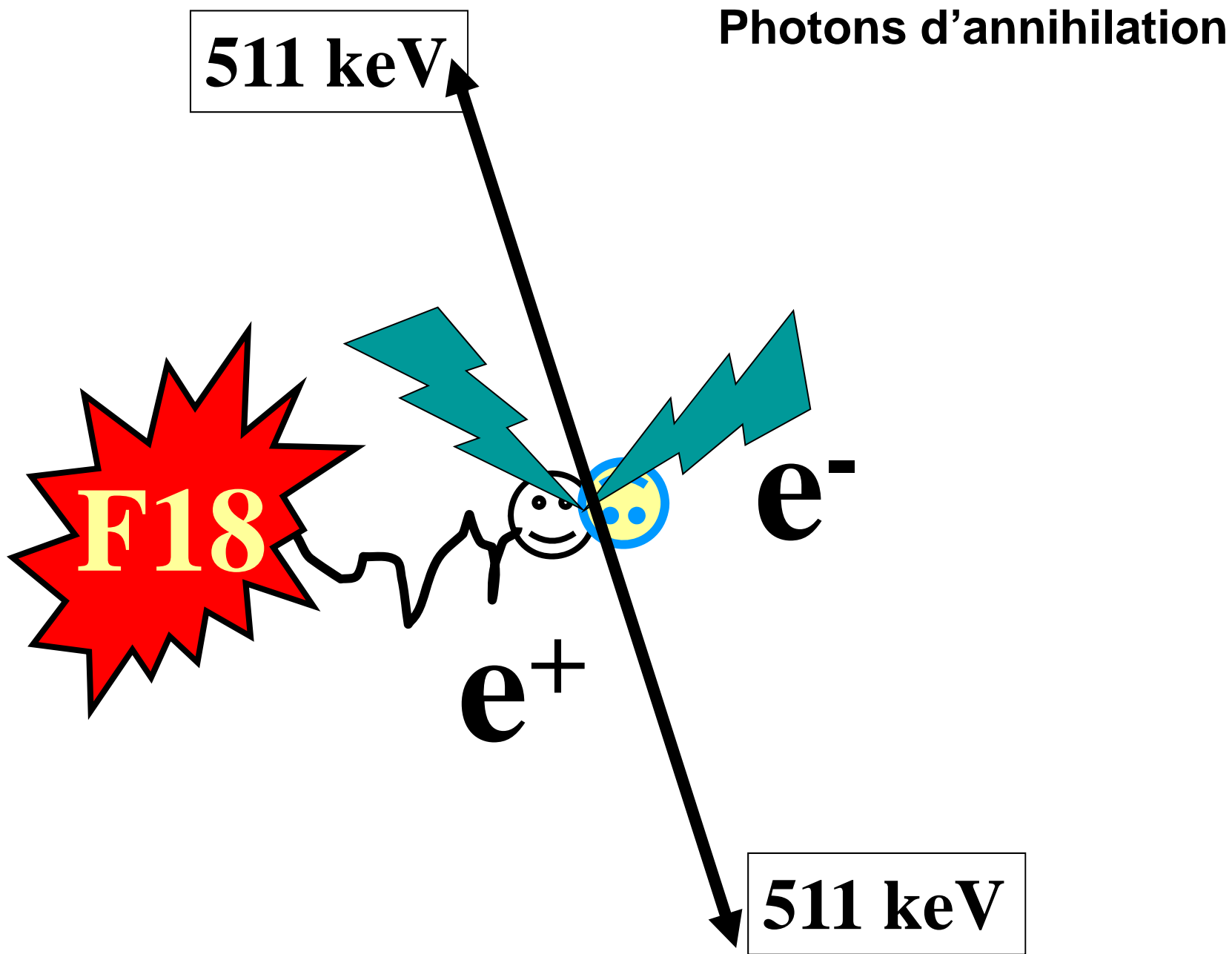


= *désexcitation du noyau*

Conversion interne

= *autre mode de désexcitation du noyau*





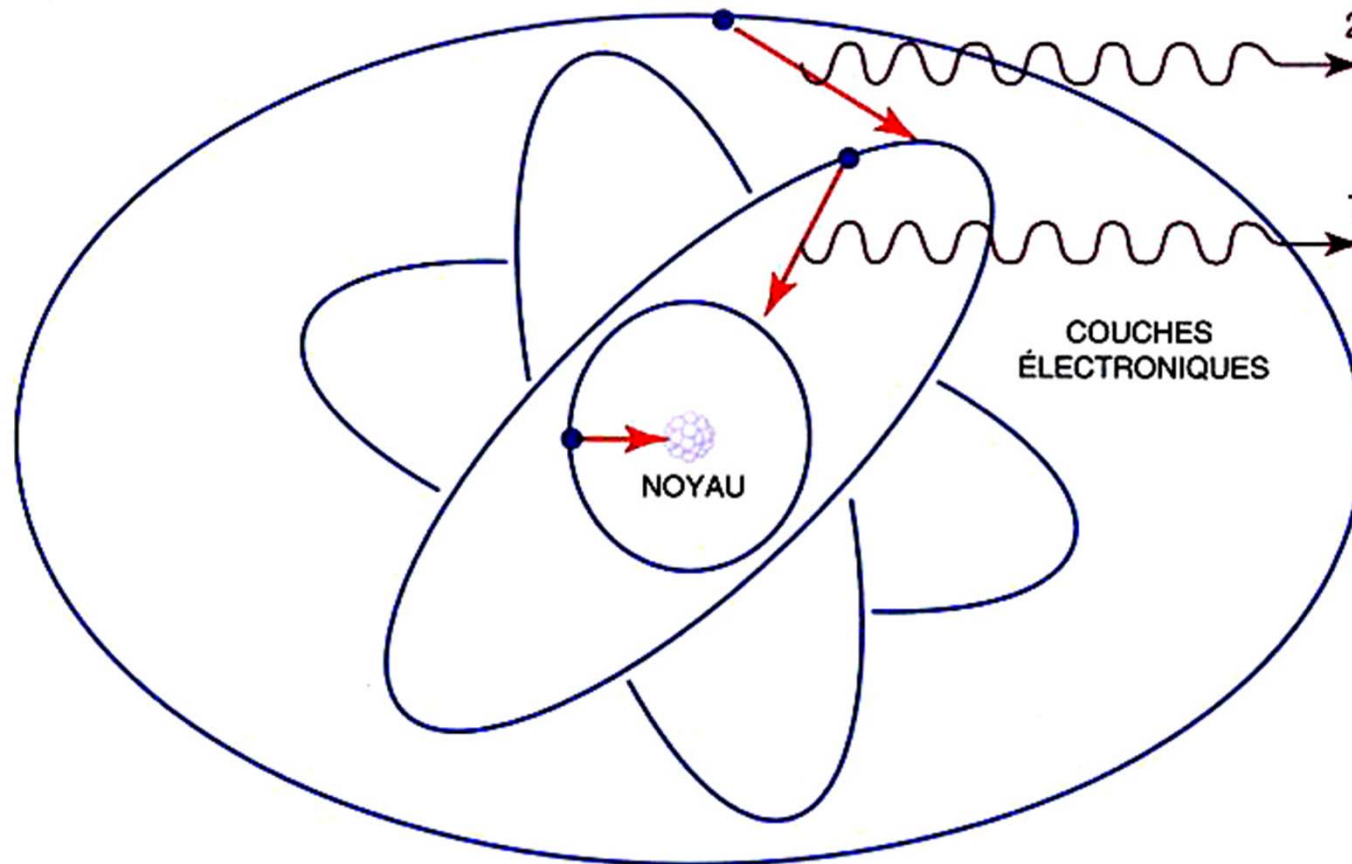
Désintégration radioactive : *phénomènes secondaires (2)*



Après désintégration radioactive, puis désexcitation du noyau,
le cortège électronique de l'atome est perturbé

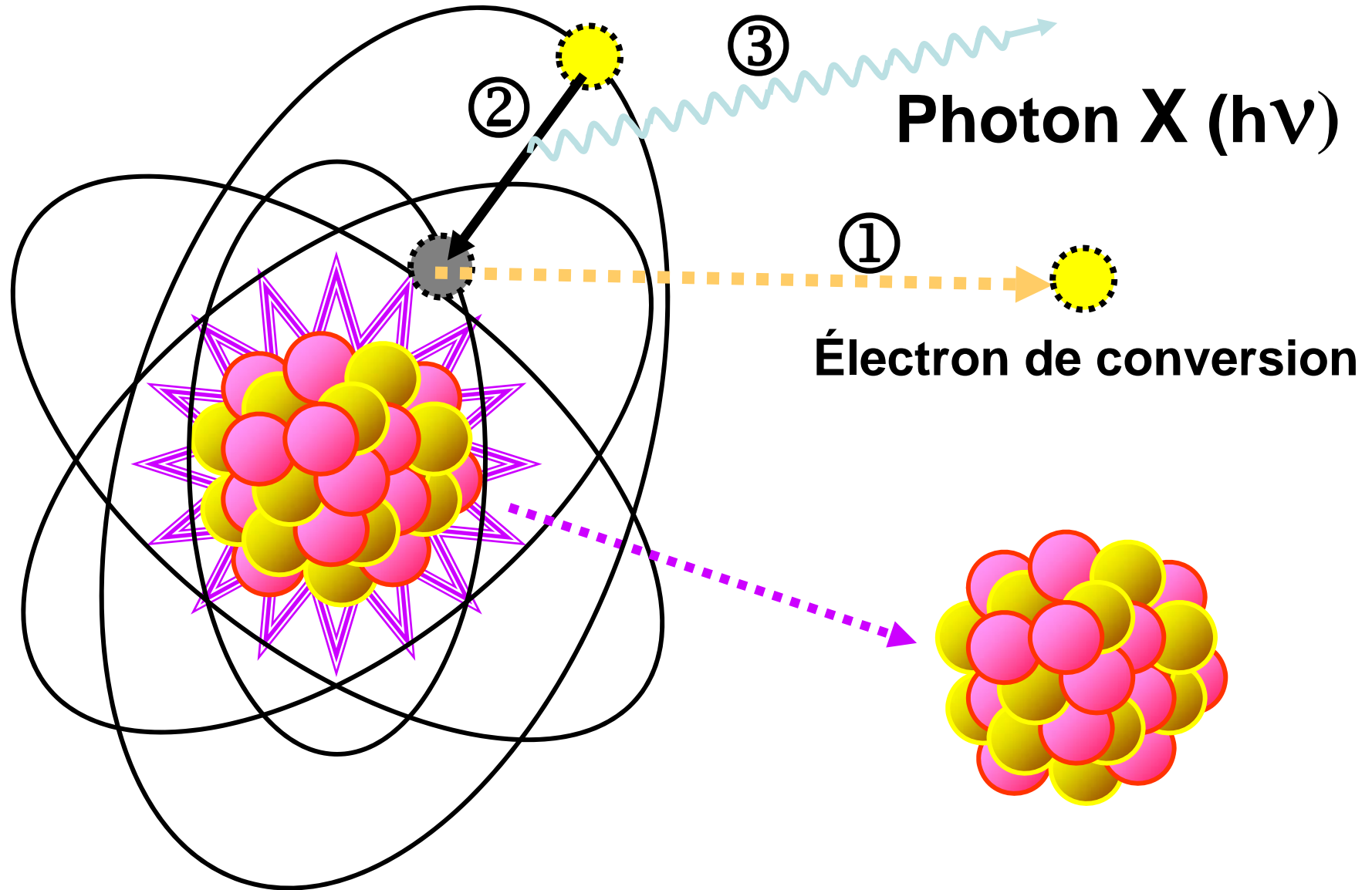
- Ont pu se produire
 - Soit l'émission d'un électron (conversion interne)
 - Soit la capture d'un électron
- Dans les deux cas : création d'un « trou », d'où un réarrangement
 - Soit par émission d'un **X de fluorescence** (monoénergétique)
 - Soit par émission d'un **électron Auger**

Capture électronique

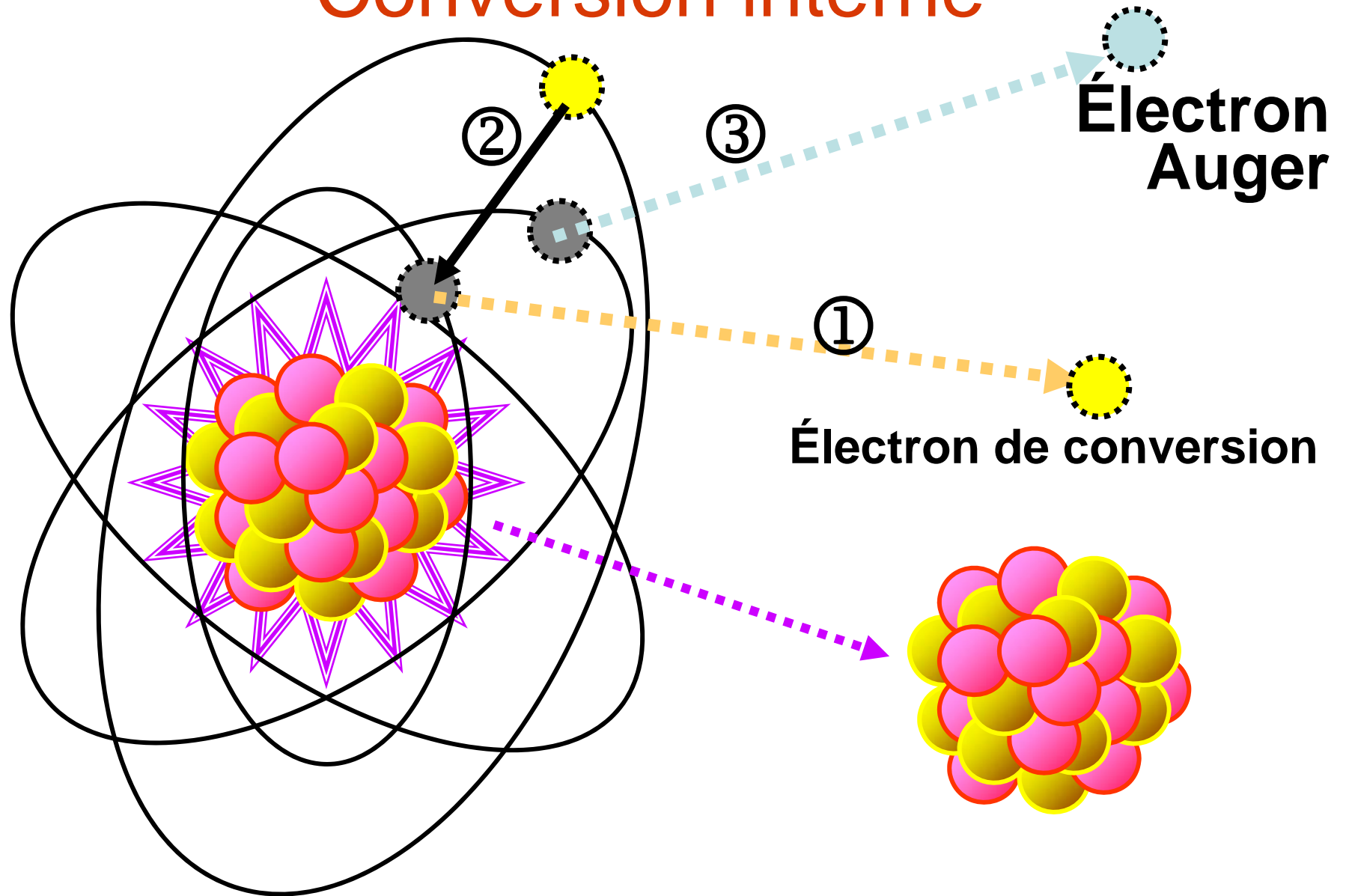


8. LA CAPTURE ÉLECTRONIQUE. Le noyau capture un électron d'une couche interne de son cortège atomique. Puis ce cortège se réarrange pour combler la lacune laissée par l'électron absorbé : des électrons des couches externes, représentées par des ellipses, sautent dans les trous situés au niveau inférieur. À chacun de ces sauts, un photon X ou ultraviolet est émis.

Conversion interne



Conversion interne



Remarque

- Les électrons émis par un atome radioactif sont de plusieurs types :
 - Provenant du noyau : rayonnement β^-
 - Provenant du cortège électronique
 - Électrons de conversion interne (désexcitation du noyau, alternative à l'émission d'un photon γ)
 - Électrons Auger (désexcitation de l'atome, alternative aux rayons X de fluorescence)

Schéma de désintégration

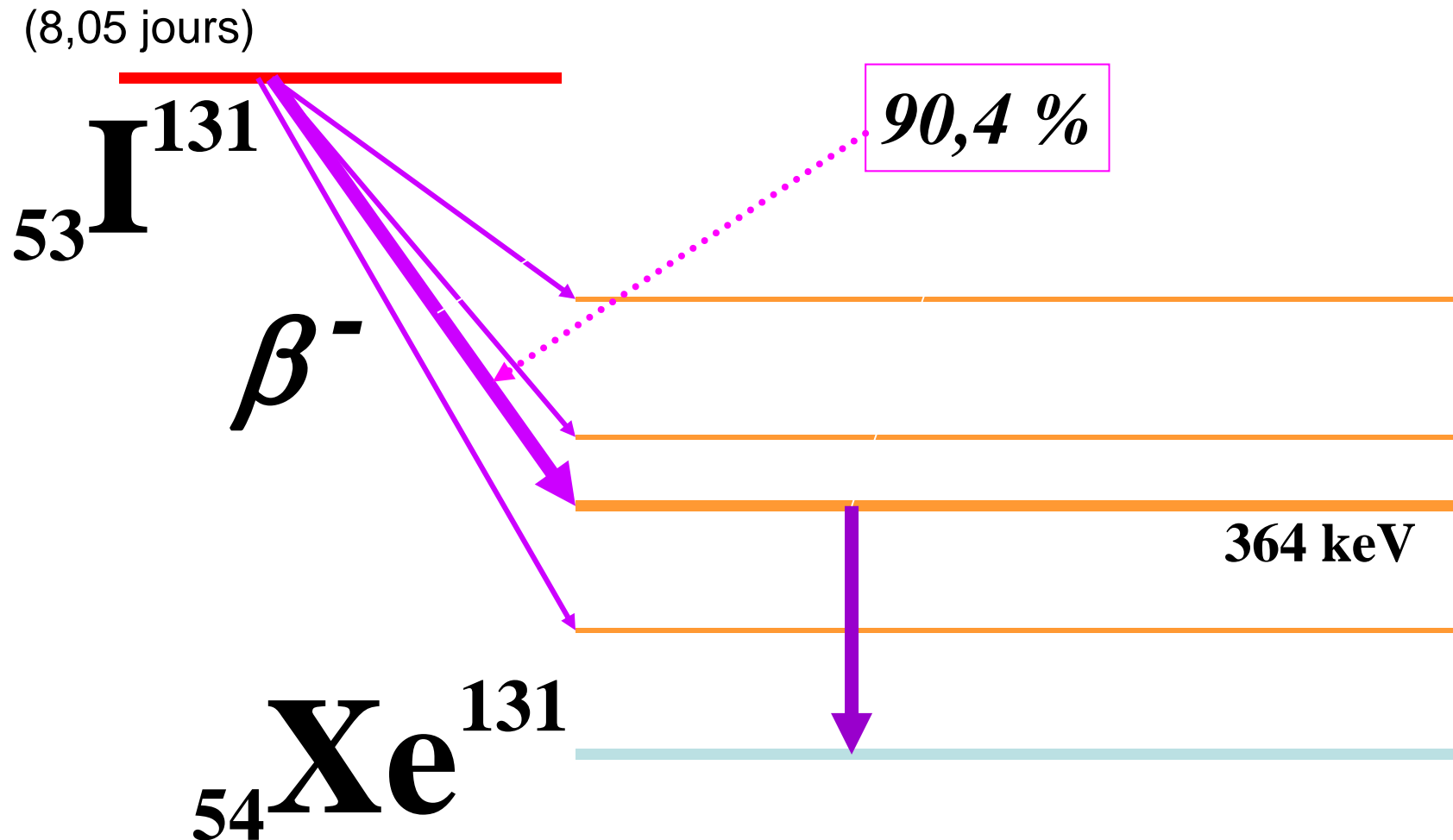
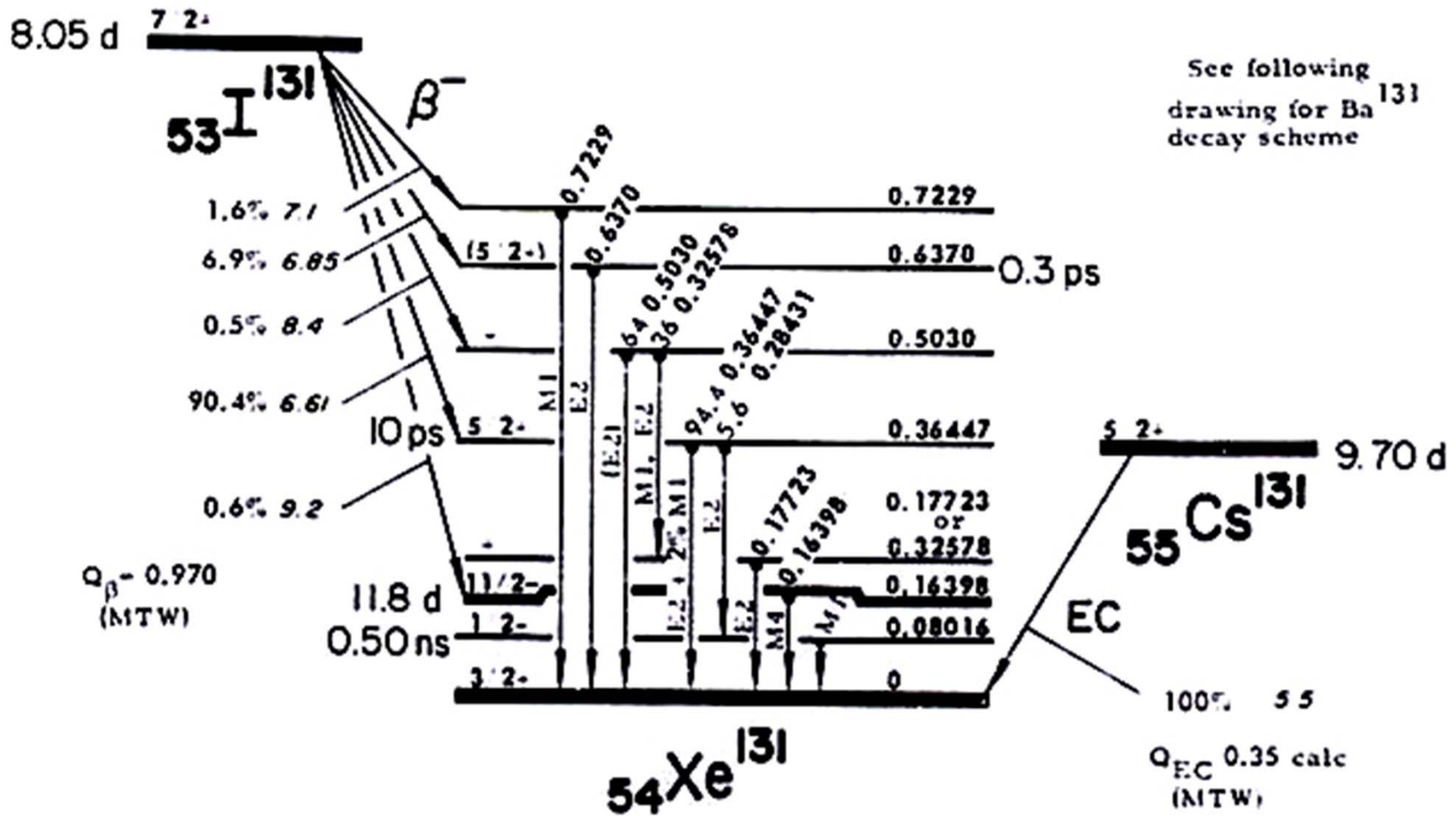
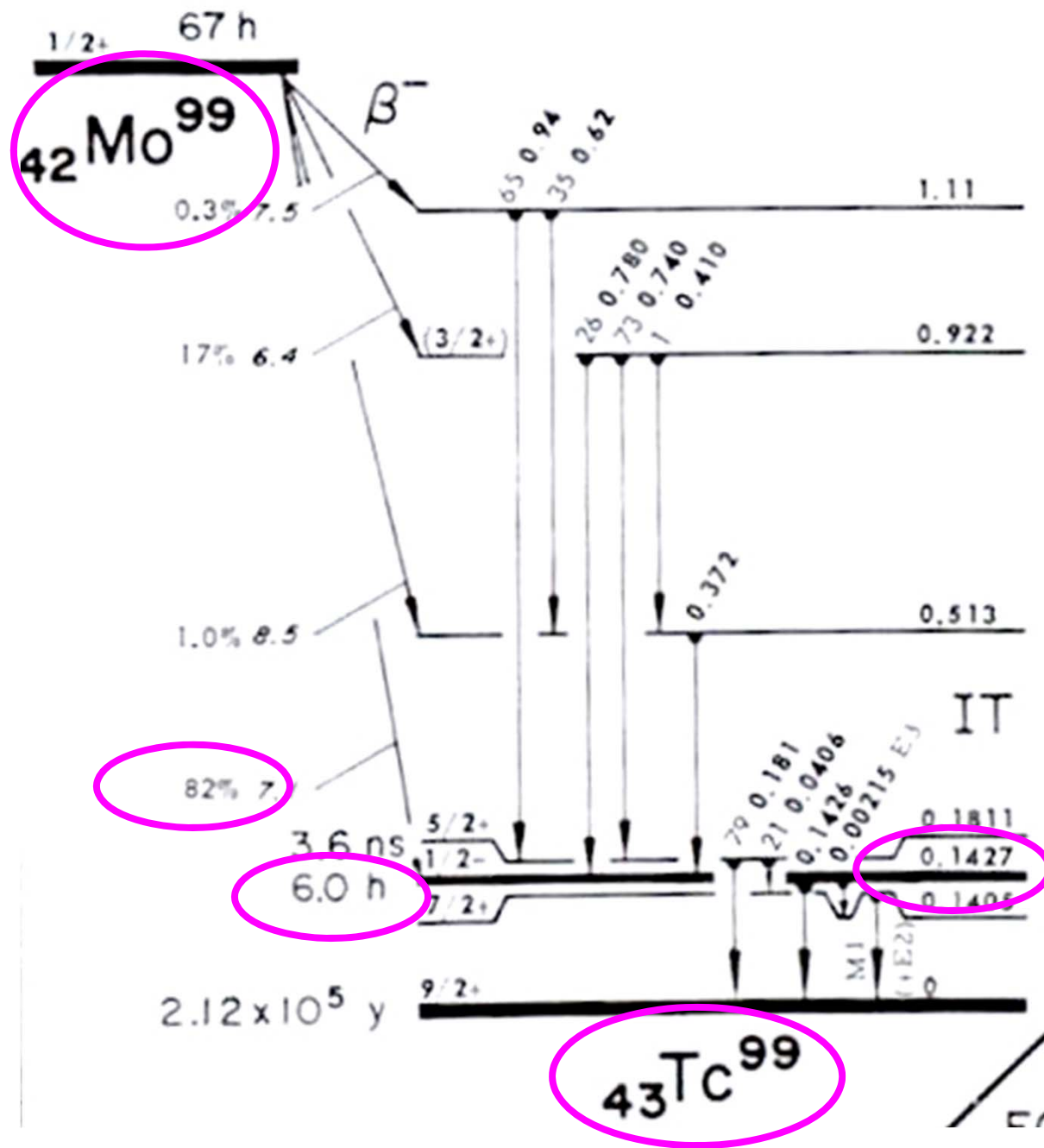
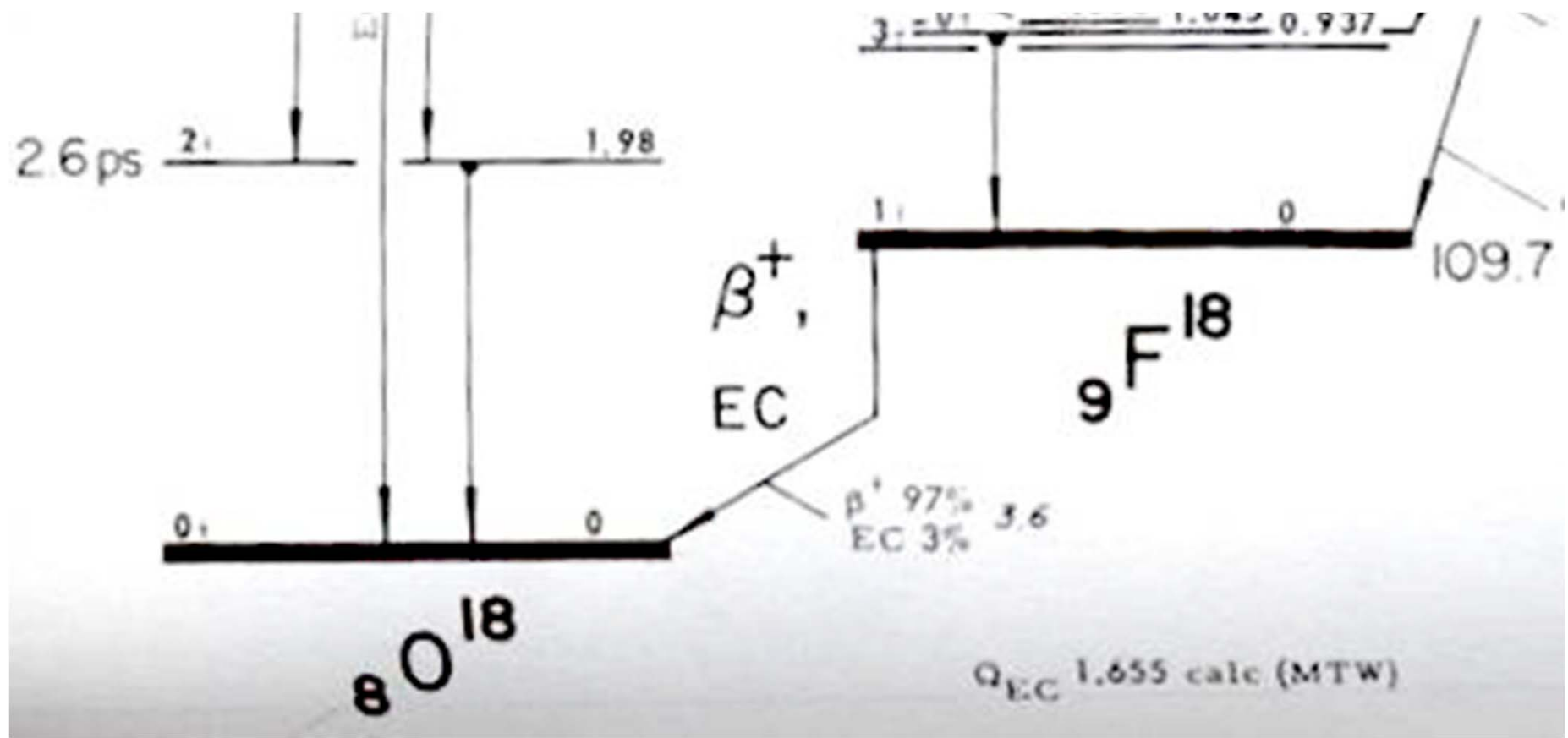


Schéma de désintégration







Décroissance et période radioactive

- Soit dN le nombre d'atomes qui se désintègrent durant la durée dt
- On a $dN = -\lambda N \cdot dt$, si N est le nombre d'atomes radioactifs présents à l'instant t
- λ , constante radioactive, représente la probabilité de désintégration et s'exprime en s^{-1}

Décroissance et période radioactive

- $dN = - \lambda N \cdot dt$
- En intégrant, si le nombre initial d'atomes est égal à N_0 :

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

- Ou : $\ln N = - \lambda t + \ln N_0$

Décroissance et période radioactive

- La période radioactive T est le temps au bout duquel la moitié des atomes se sont désintégrés
- $t = T$: $N/N_0 = 1/2$ donc $\text{Ln}(1/2) = -\lambda T$
- $\text{Ln } 2 = 0,693 = \lambda T$

Décroissance et période radioactive

- $\text{Ln } 2 = 0,693 = \lambda T$
- Donc $T = 0,693 / \lambda$
- Et $N = N_0 \cdot (1/2)^{t/T}$

Décroissance et période radioactive

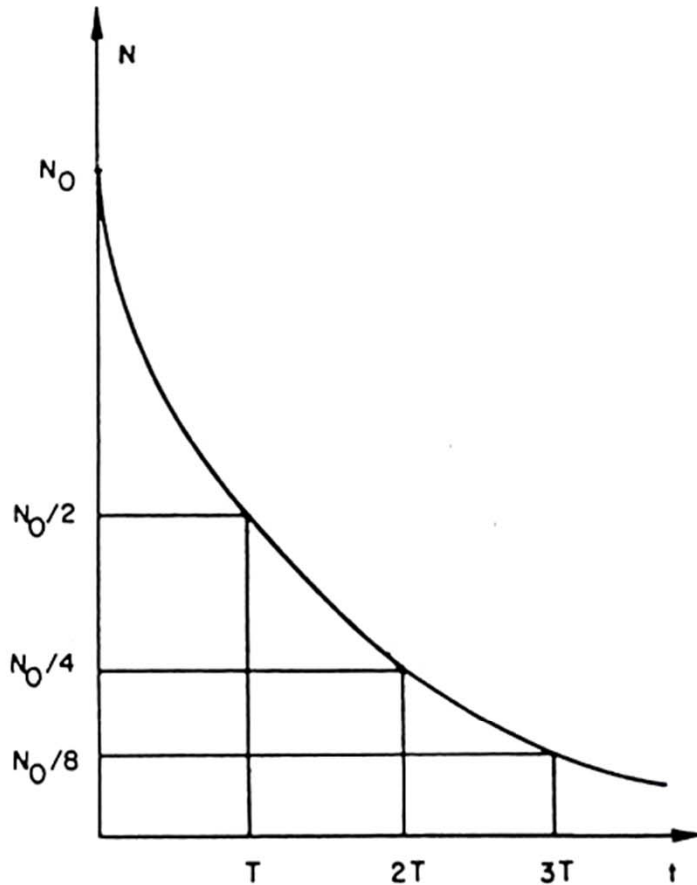


Figure 13-2 Décroissance radioactive en coordonnées usuelles

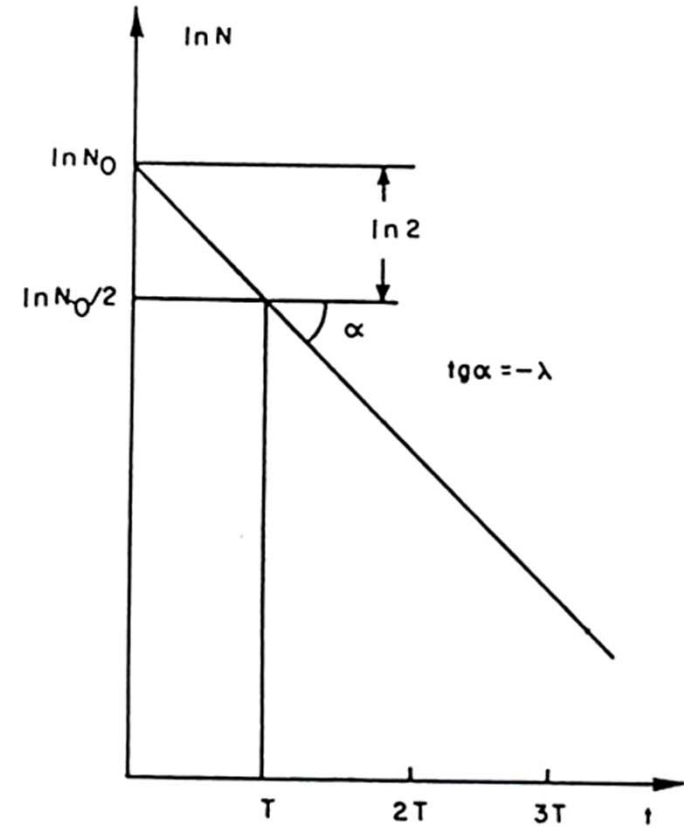


Figure 13-3 Décroissance radioactive en coordonnées semi-logarithmiques

Activité

- **Unité :**
le Becquerel (Bq) = 1 désintégration
par seconde
- kBq, MBq, GBq

Mesure de la radioactivité

- **Activité en becquerel (Bq)** : quantité d'atomes radioactifs qui se désintègrent par unité de temps dans une source...
- 1 Bq = 1 désintégration par sec
- Anciennement le curie...

$$1 \text{ mCi} = 37\,000\,000 \text{ Bq} = 37 \text{ MBq}$$

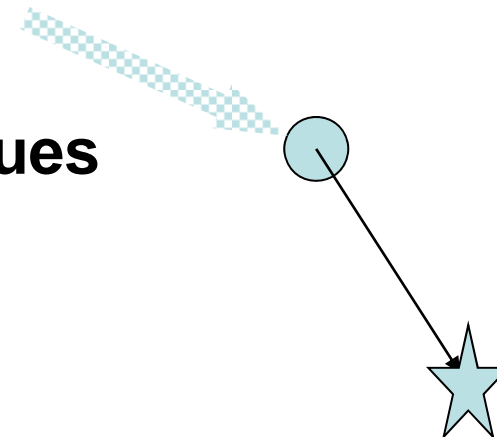
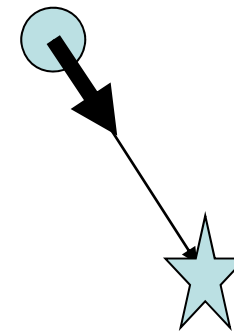
- **Activité \neq dose !!!**

Mesure de la radioactivité

- **L'activité en *becquerel (Bq)***
d'une source dépend de
 - La quantité d'atomes radioactifs dans cette source...
 - La période (vitesse avec laquelle les atomes se désintègrent)

Pour conclure ce premier cours, et introduire les suivants : deux types de rayonnements :

- **Les particules chargées**
 - Résultent de la radioactivité le plus souvent
 - Épuisent la totalité de leur énergie dans la matière
 - **Directement ionisants**
- **Les photons (>13,6 eV)**
 - Rayonnements électromagnétiques
 - Loi d'atténuation
 - **INDIRECTEMENT ionisants**
 - (idem pour les neutrons)



Mentions légales

L'ensemble de cette œuvre relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle, littéraire et artistique ou toute autre loi applicable.

Tous les droits de reproduction, adaptation, transformation, transcription ou traduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Cette œuvre est interdite à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1 et ses affiliés.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.