

## Chapitre 4

# Bases biophysiques de l'utilisation des rayonnements ionisants dans les professions de santé: la radioactivité (3/3)

Dr. Jean-François ADAM

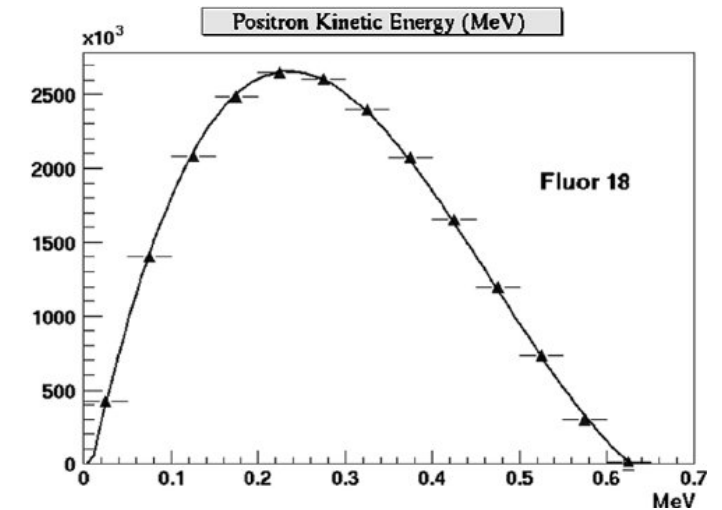
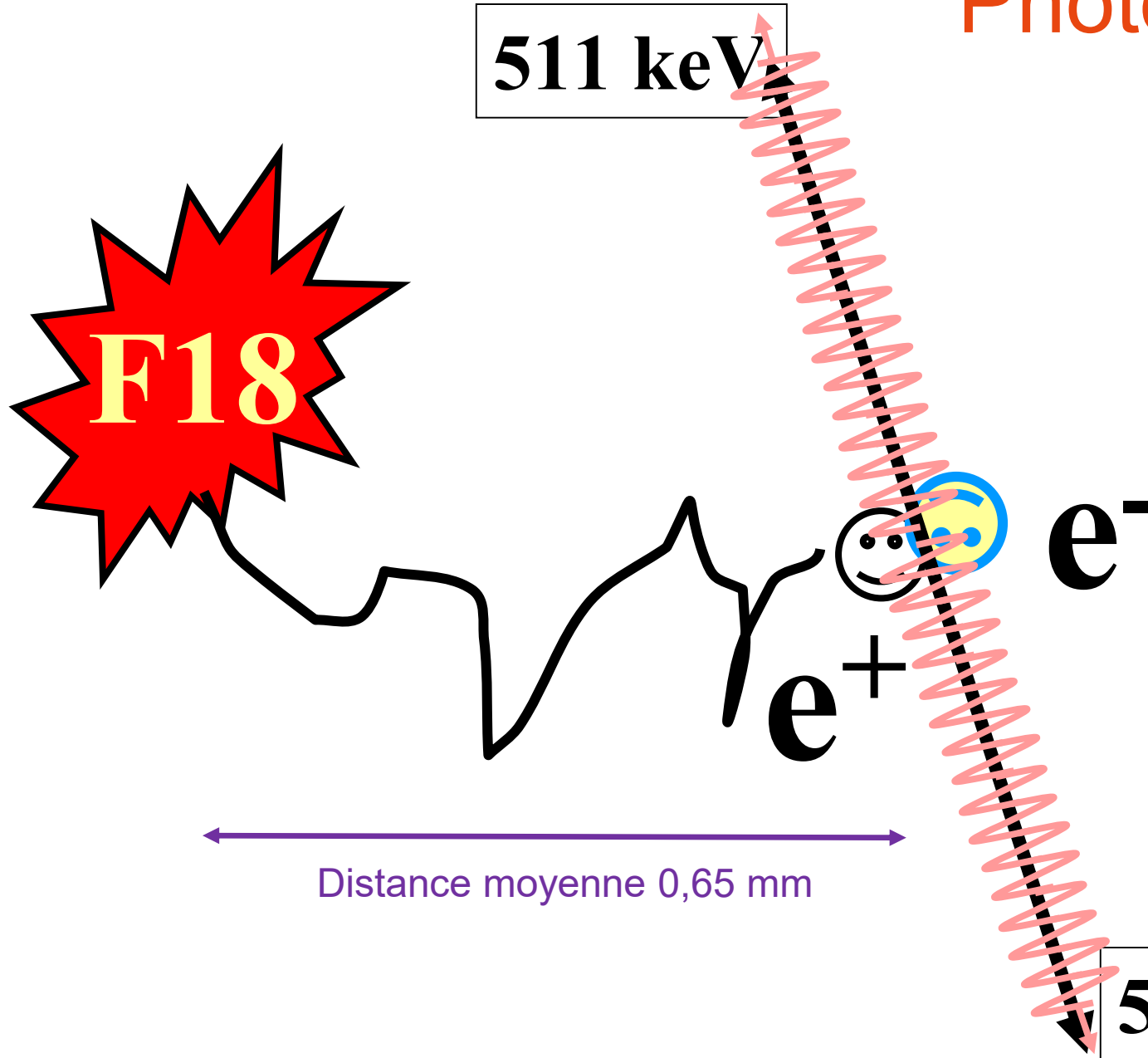
# Objectifs pédagogiques du cours

- Comprendre le phénomène d'annihilation
- Savoir lire un schéma de désintégration
  - Rapports de branchement
  - Désexcitation gamma et états métastables

# *Phénomènes consécutifs à la désintégration radioactive $\beta^+$ : Annihilation*

- 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*.

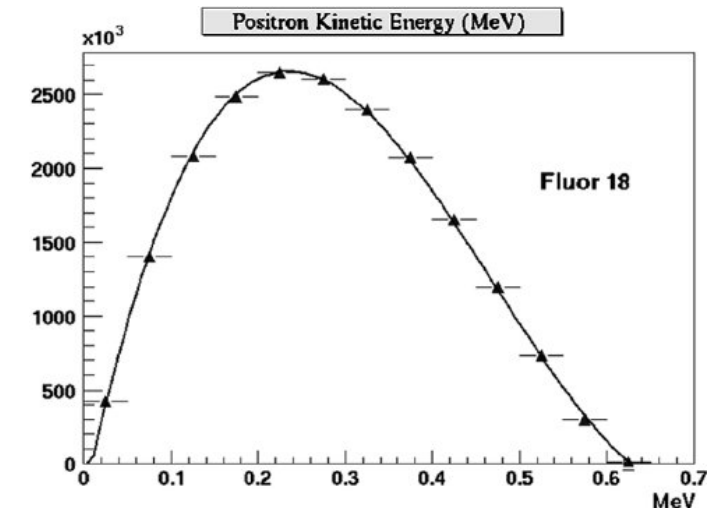
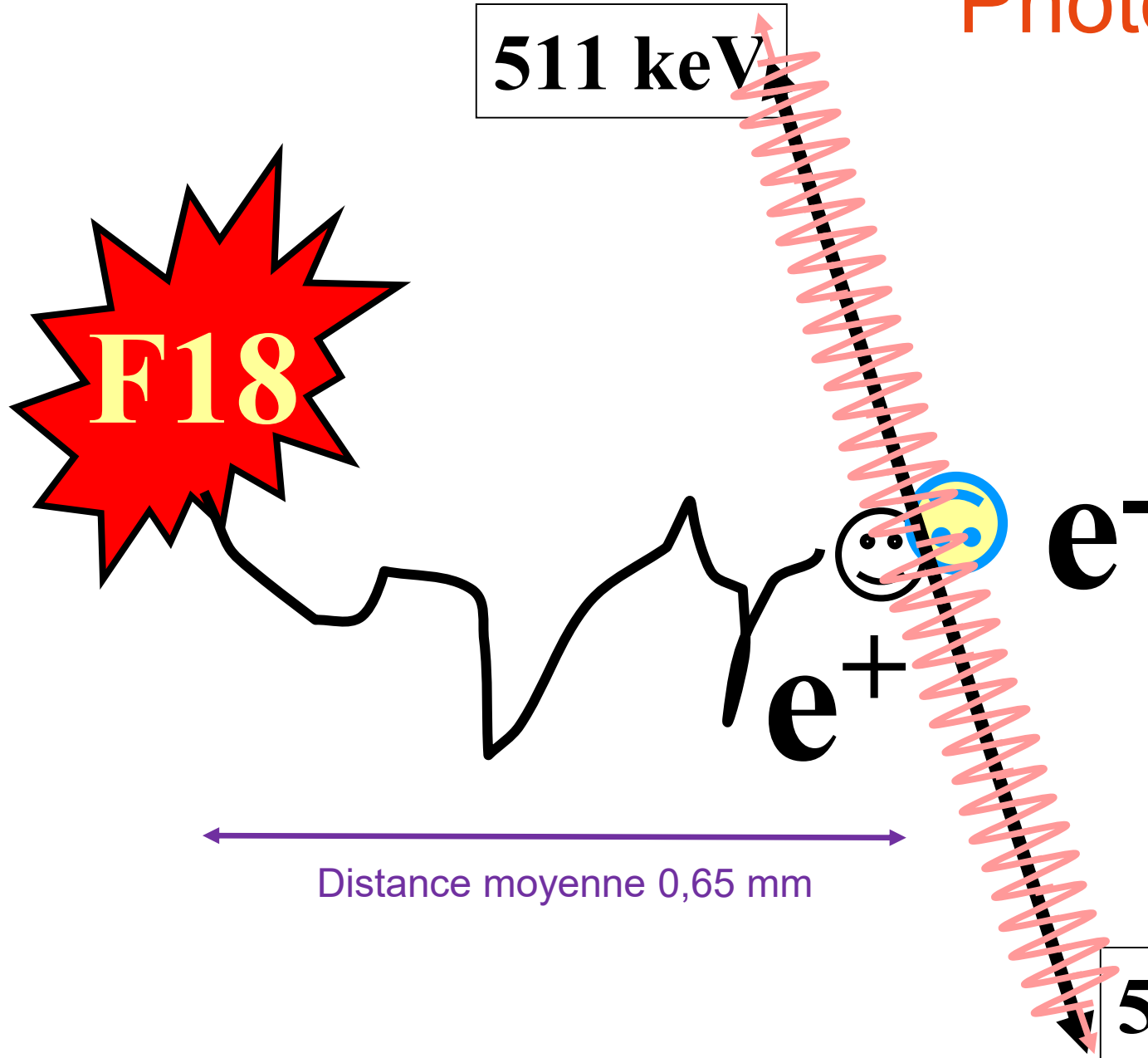
# Photons d'annihilation



$$E_{c\beta^+ \text{ moy}} \approx 250 \text{ keV}$$
$$E_{c\beta^+ \text{ max}} \approx 633 \text{ keV}$$

En effet  $E_{e^-} = mc^2 = 511 \text{ keV}$   
Phénomène d'annihilation  
 $e^+ + e^- \rightarrow 2 \gamma (511 \text{ keV})$

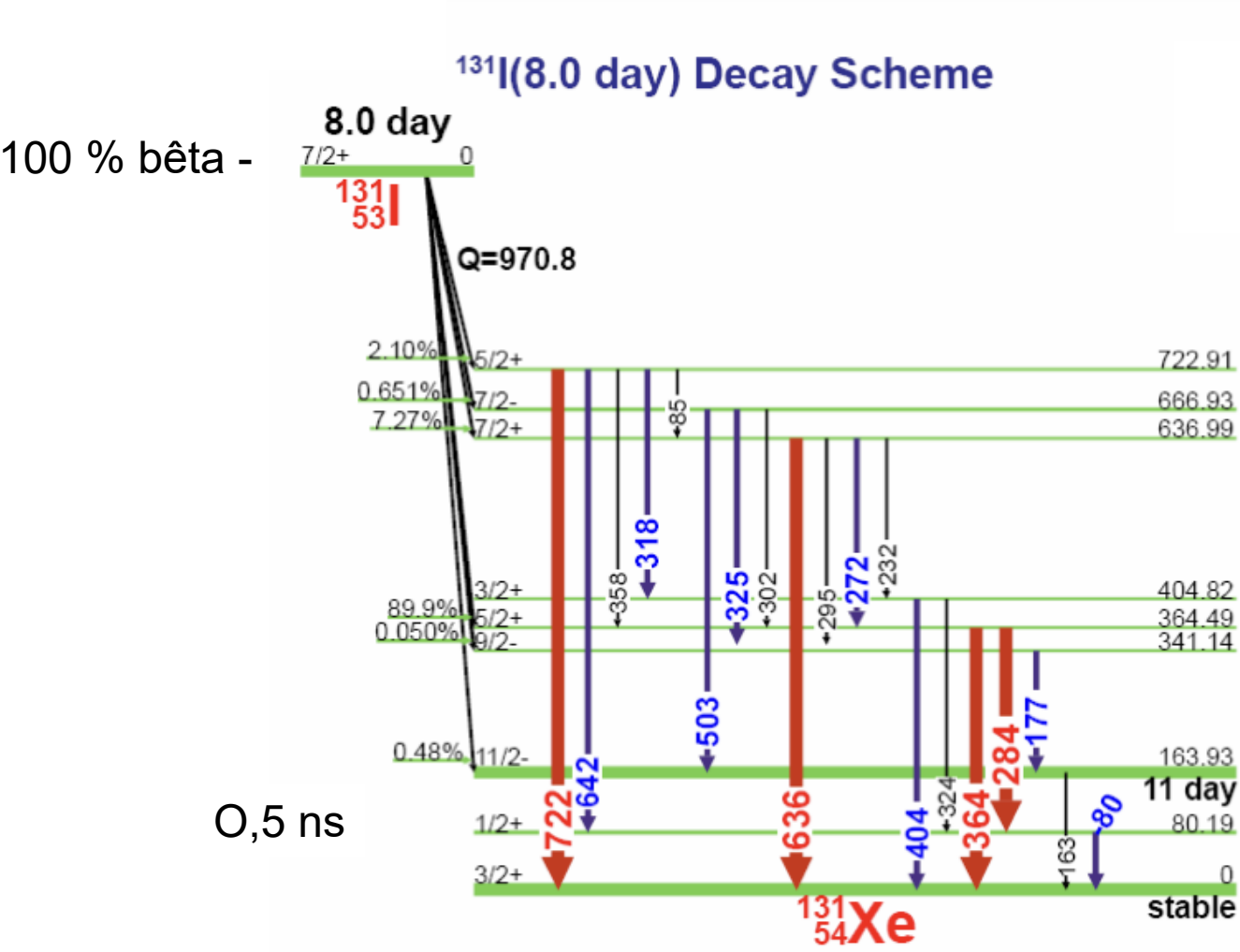
# Photons d'annihilation



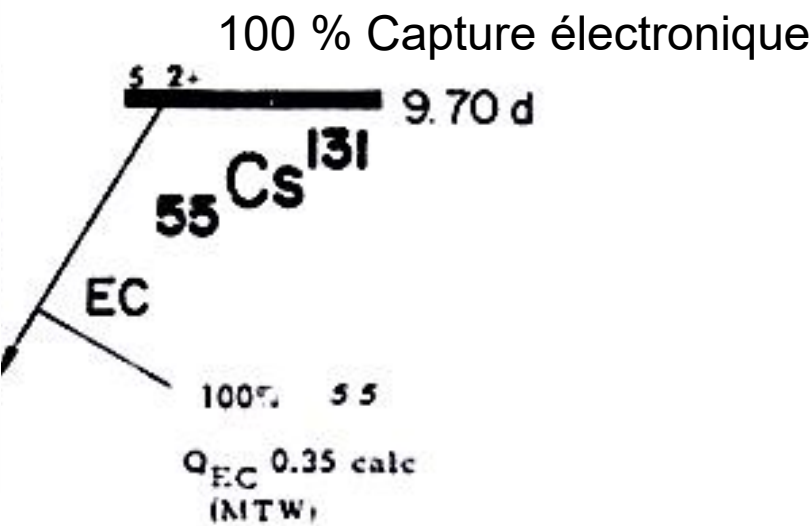
$$E_{c\beta^+ \text{ moy}} \approx 250 \text{ keV}$$
$$E_{c\beta^+ \text{ max}} \approx 633 \text{ keV}$$

En effet  $E_{e^-} = mc^2 = 511 \text{ keV}$   
Phénomène d'annihilation  
 $e^+ + e^- \rightarrow 2 \gamma (511 \text{ keV})$

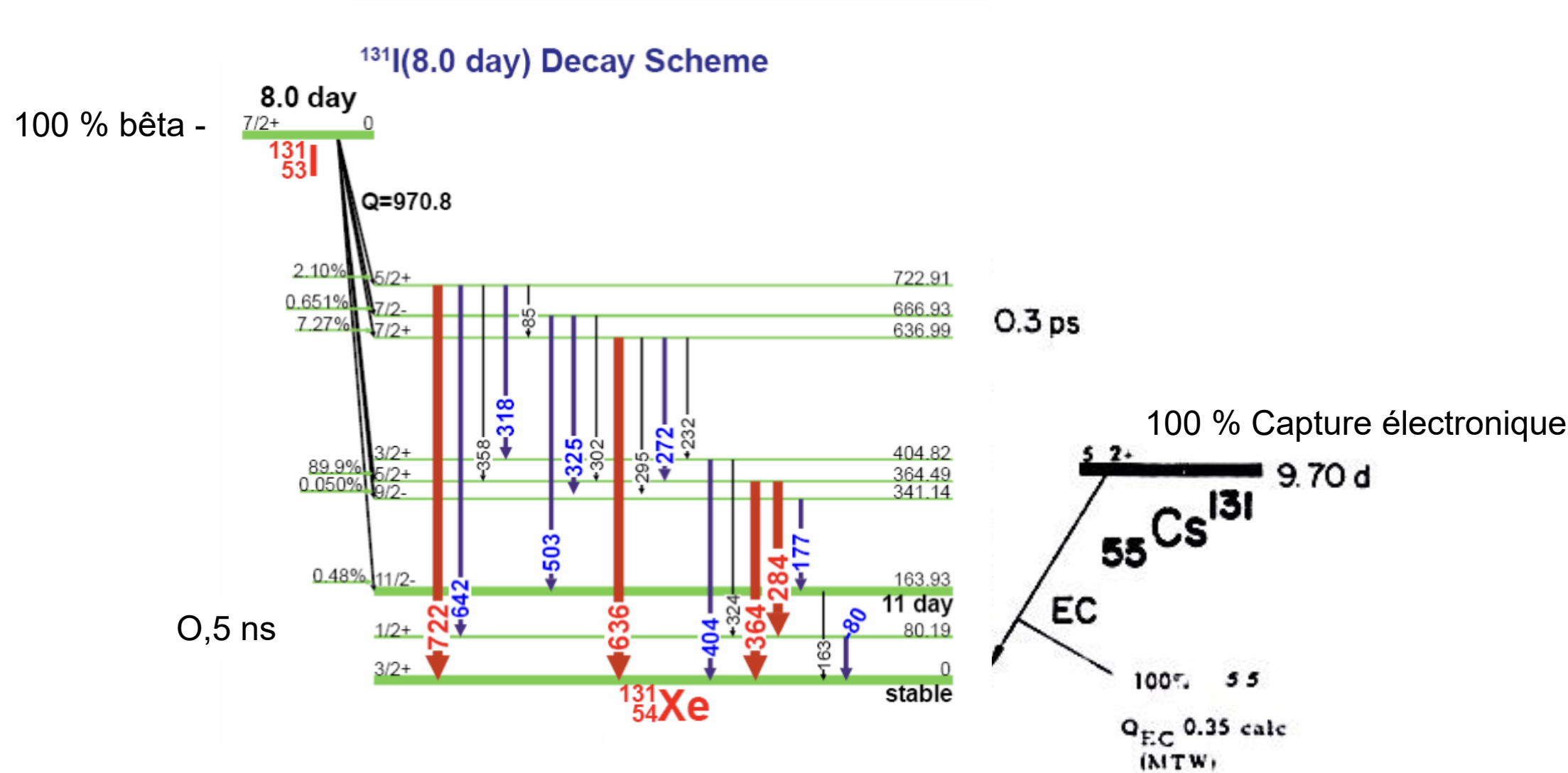
# Schéma de désintégration: rapports de branchement



0.3 ps



# Schéma de désintégration: rapports de branchement

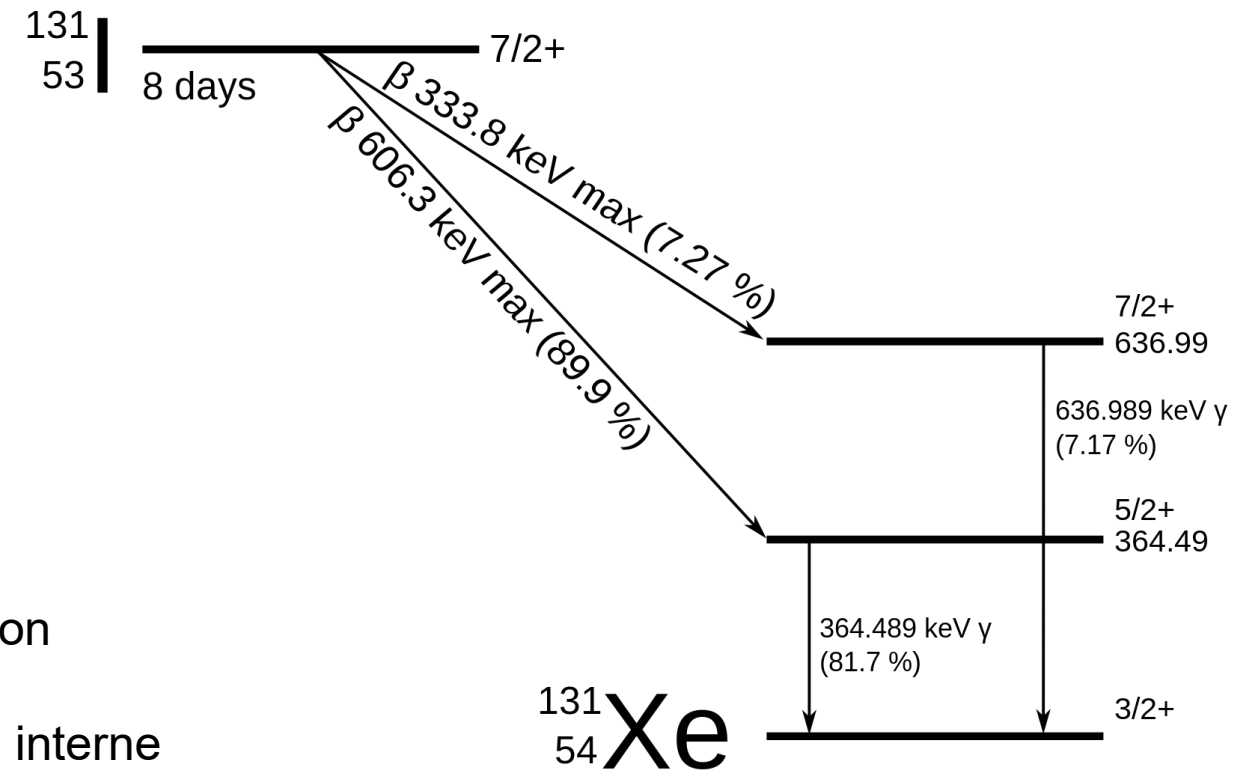


# Schéma de désintégration simplifié

|  | Energy<br>(keV) |
|--|-----------------|
| Auger L                                    | 3.43            |
| Auger K                                    | 24.6            |
| CE K                                       | 45.6236 23      |
| CE K                                       | 51.34 20        |
| CE L                                       | 74.7322 20      |
| CE M                                       | 79.0430 22      |
| CE N                                       | 79.9770 22      |
| CE O                                       | 80.1687 20      |
| <hr style="border-top: 2px dashed blue;"/> |                 |
| CE L                                       | 637.266 5       |
| CE M                                       | 641.577 5       |
| CE N                                       | 642.511 5       |
| CE O                                       | 642.703 5       |
| CE K                                       | 688.350 5       |
| CE L                                       | 717.458 5       |

|                | Energy<br>(keV) |
|----------------|-----------------|
| XR L           | 4.11            |
| XR $k\alpha_2$ | 29.461          |
| XR $k\alpha_1$ | 29.782          |
| XR $k\beta_3$  | 33.562          |
| XR $k\beta_1$  | 33.624          |
| XR $k\beta_2$  | 34.419          |

Désintégration bêta –  
 6 transitions bêta –  
Désexcitation  
 19 énergies de désexcitation  
 gamma  
 91 énergies  $e^-$  conversion interne  
Relaxation (cortège électronique)  
 6 énergies RX fluorescence  
 2 énergies Auger



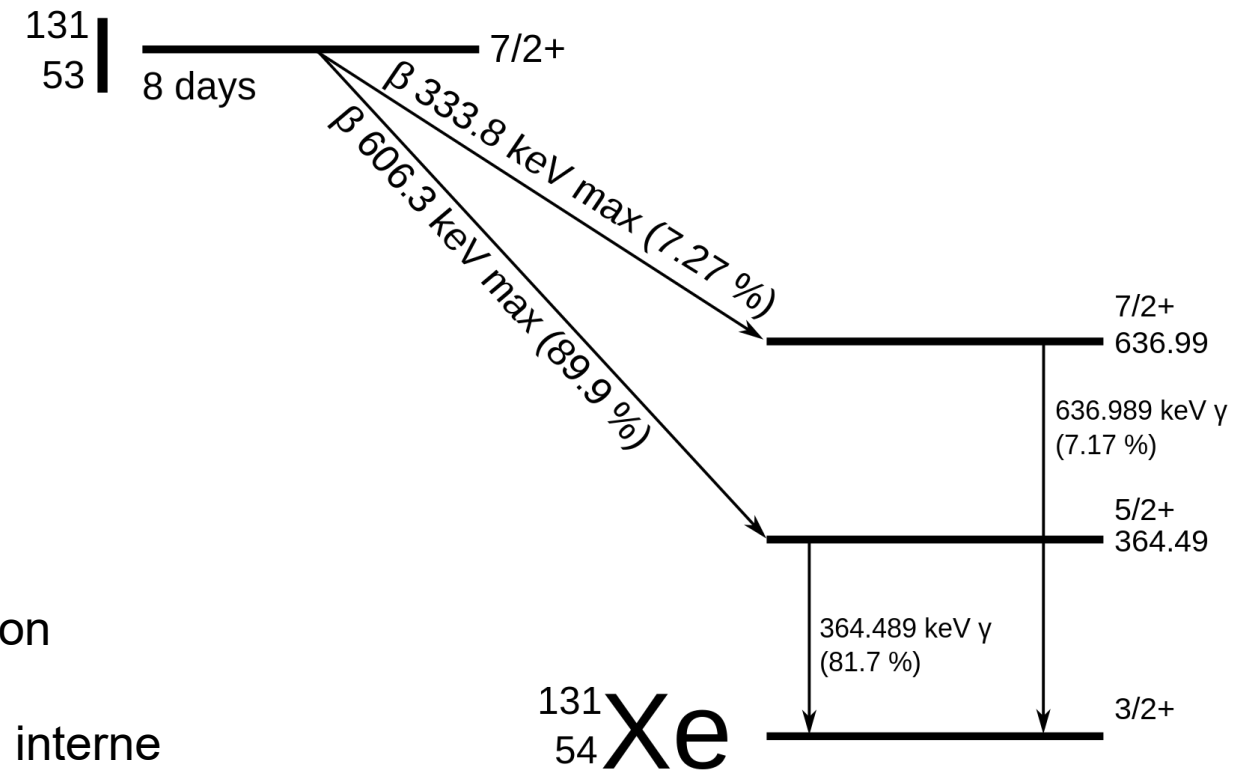


# Schéma de désintégration simplifié

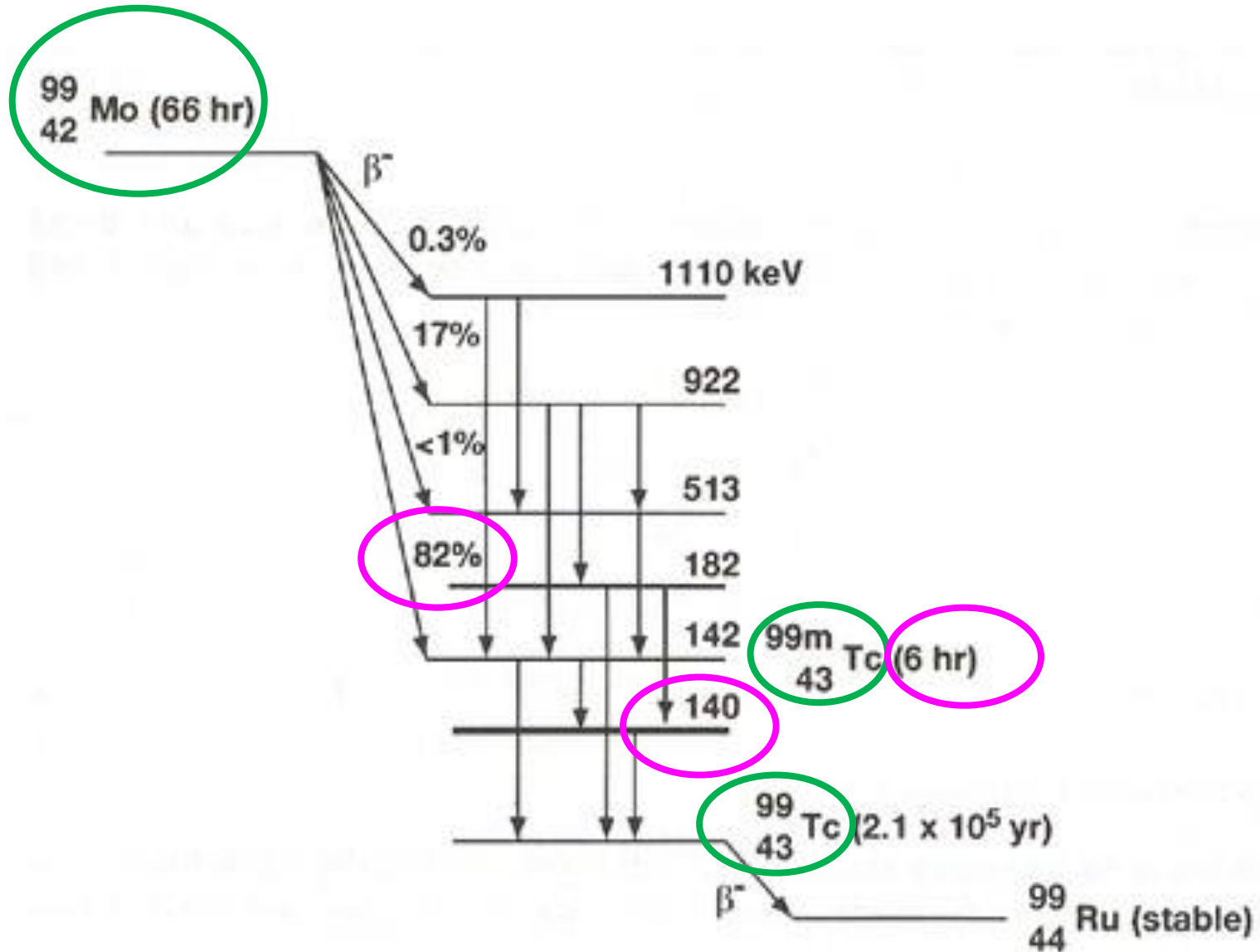
|  | Energy<br>(keV) |
|--|-----------------|
| Auger L                                    | 3.43            |
| Auger K                                    | 24.6            |
| CE K                                       | 45.6236 23      |
| CE K                                       | 51.34 20        |
| CE L                                       | 74.7322 20      |
| CE M                                       | 79.0430 22      |
| CE N                                       | 79.9770 22      |
| CE O                                       | 80.1687 20      |
| <hr style="border-top: 2px dashed blue;"/> |                 |
| CE L                                       | 637.266 5       |
| CE M                                       | 641.577 5       |
| CE N                                       | 642.511 5       |
| CE O                                       | 642.703 5       |
| CE K                                       | 688.350 5       |
| CE L                                       | 717.458 5       |

|                | Energy<br>(keV) |
|----------------|-----------------|
| XR L           | 4.11            |
| XR $k\alpha_2$ | 29.461          |
| XR $k\alpha_1$ | 29.782          |
| XR $k\beta_3$  | 33.562          |
| XR $k\beta_1$  | 33.624          |
| XR $k\beta_2$  | 34.419          |

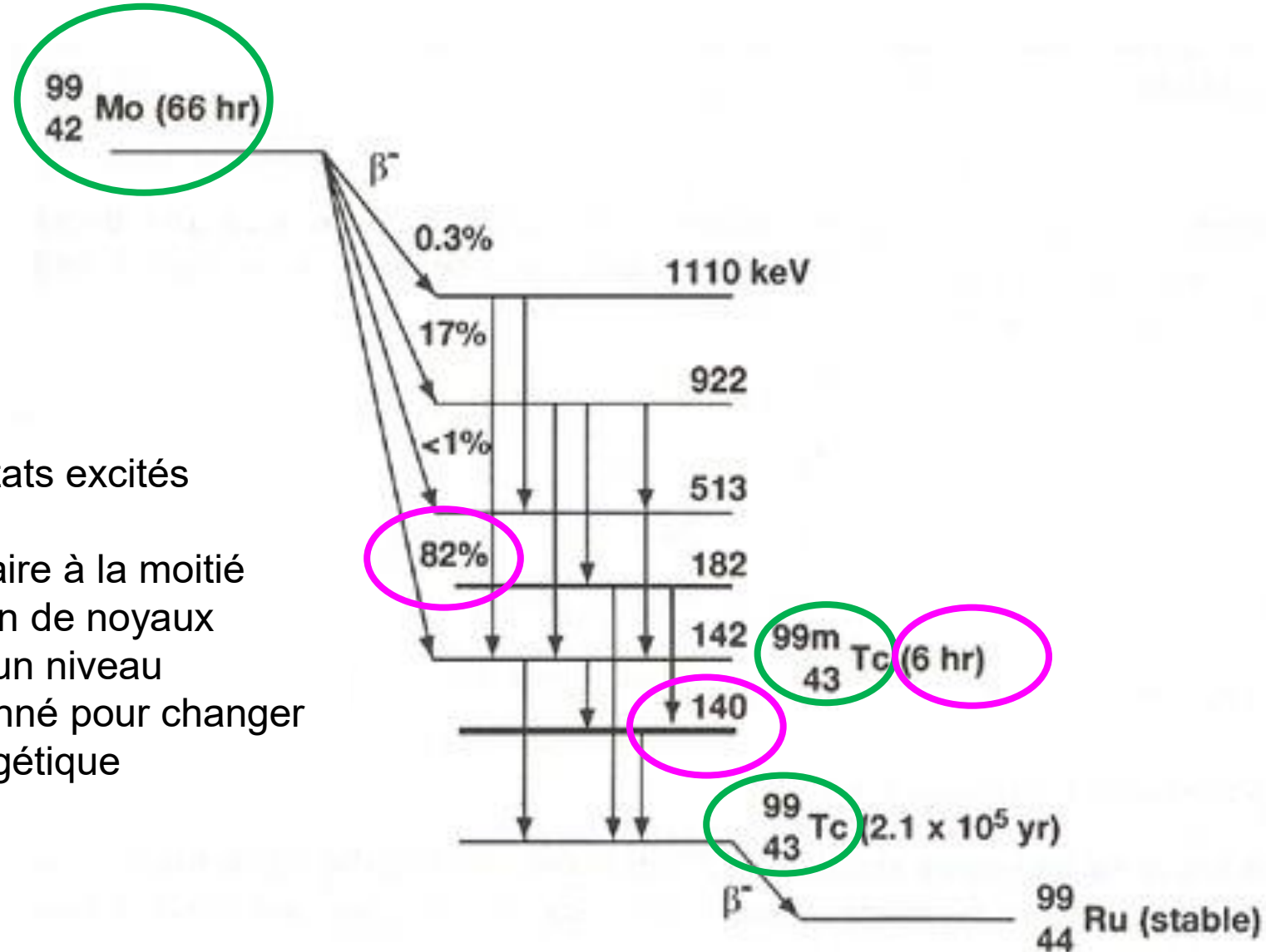
Désintégration bêta –  
 6 transitions bêta –  
Désexcitation  
 19 énergies de désexcitation  
 gamma  
 91 énergies  $e^-$  conversion interne  
Relaxation (cortège électronique)  
 6 énergies RX fluorescence  
 2 énergies Auger



$^{99}_{42}\text{Mo}$  (66 hr)



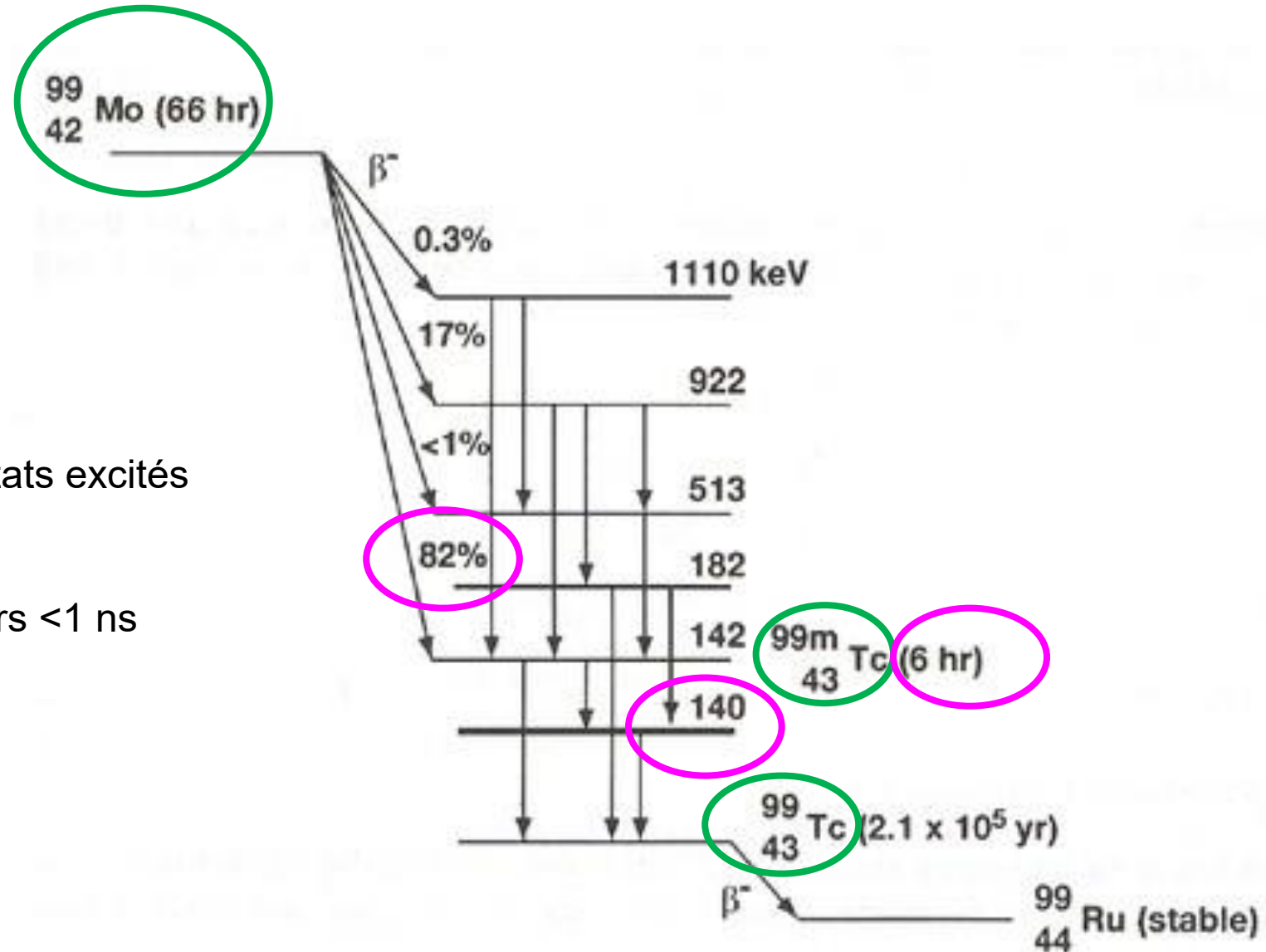
# Etat métastable



Demi vie des états excités

Temps nécessaire à la moitié d'une population de noyaux présente dans un niveau énergétique donné pour changer de niveau énergétique

# Etat métastable



Demi vie des états excités

Souvent < 1ps

Presque toujours < 1 ns

Rarement > 1s

# Emetteurs « gamma purs »

- La désexcitation gamma est donc presque toujours « instantanée ». Lorsqu'elle se produit avec un retard on parle d'éléments métastables.
- On peut utiliser les éléments métastables comme source pure de rayons gamma (en médecine nucléaire par exemple)
- Attention vous entendrez souvent parler de radioactivité gamma ou d'émetteurs gamma purs. Ce sont des abus de langage qui réfèrent tous à la désexcitation gamma d'un niveau métastable ou non.
- Exemple utilisé en santé:  $^{60}\text{Co}$  (bêta-,  $^{60}\text{Ni}^*$  - 1,17 +1,33 MeV);  $^{123}\text{I}$  (Capture électronique,  $^{123}\text{Te}^*$  - 149 keV) ;  $^{99}\text{Mo}$  ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$  – 140 keV )

# Emetteurs « gamma purs »

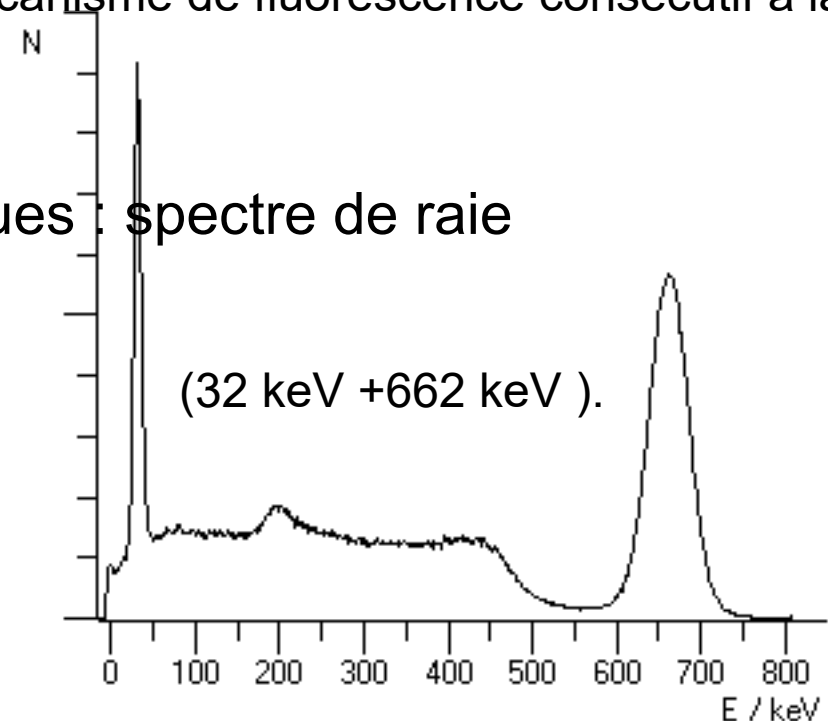
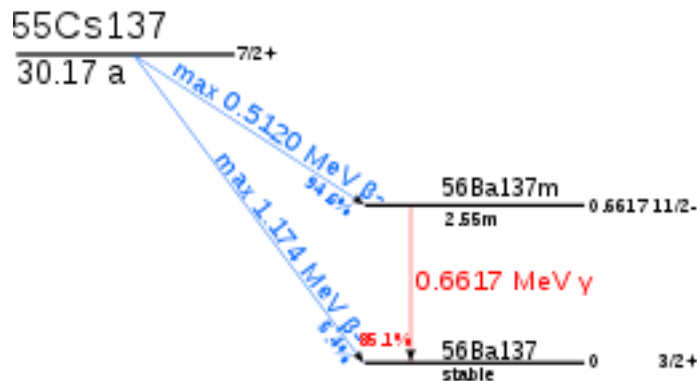
- La désexcitation gamma est donc presque toujours « instantanée ». Lorsqu'elle se produit avec un retard on parle d'éléments métastables.
- On peut utiliser les éléments métastables comme source pure de rayons gamma (en médecine nucléaire par exemple)
- Attention vous entendrez souvent parler de radioactivité gamma ou d'émetteurs gamma purs. Ce sont des abus de langage qui réfèrent tous à la désexcitation gamma d'un niveau métastable ou non.
- Exemples utilisé en santé:  $^{60}\text{Co}$  (bêta-,  $^{60}\text{Ni}^*$  - 1,17 + 1,33 MeV);  $^{123}\text{I}$  (Capture électronique,  $^{123}\text{Te}^*$  - 149 keV) ;  $^{99}\text{Mo}$  (bêta-,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (\*6h) – 140 keV )

# Emission de photons liée à la radioactivité

L'émission de photons liés à la radioactivité peut se faire :

- après une désintégration bêta+, et le phénomène d'annihilation
- lors de la désexcitation gamma d'un noyau fils dans un état excité
- Lors de la réorganisation du cortège électronique par mécanisme de fluorescence consécutif à la capture électronique ou la conversion interne

Toutes ces émissions ont des énergies caractéristiques : spectre de raie

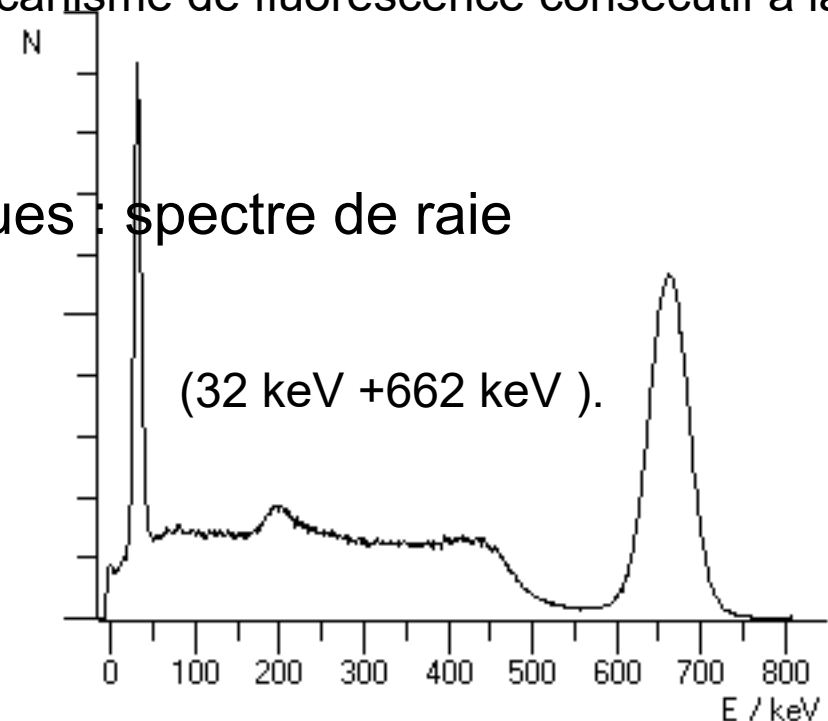
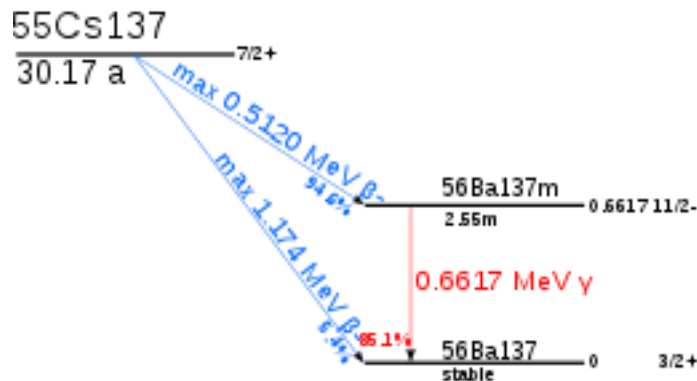


# Emission de photons liée à la radioactivité

L'émission de photons liés à la radioactivité peut se faire :

- après une désintégration bêta+, et le phénomène d'annihilation
- lors de la désexcitation gamma d'un noyau fils dans un état excité
- Lors de la réorganisation du cortège électronique par mécanisme de fluorescence consécutif à la capture électronique ou la conversion interne

Toutes ces émissions ont des énergies caractéristiques : spectre de raie





# Messages essentiels du cours

- Après une désintégration bêta+, le positron va parcourir une certaine distance dans la matière jusqu'à ce que son énergie cinétique soit nulle.
- Suite à ce parcours, une annihilation va se produire avec un électron du milieu et nous aurons l'émission de deux photons gamma de 511 keV partant à 180 degrés l'un de l'autre
- Le schéma de désintégration représente tous les rapports de branchement (probabilités) de désintégration radioactive.
- Un noyau est dans un état métastable s'il se trouve dans un état d'un niveau excité ayant une durée d'existence significative (ex: 6h pour  $^{99m}\text{Tc}$ ).

## Et au prochain cours ...

- Décroissance radioactive
- Période radioactive
- Filiation radioactive
- Activité

# Mentions légales

---

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit 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 Grenoble Alpes (UGA).

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