
La Physique Nucléaire

...

La $\Phi\nu$

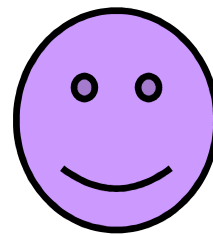
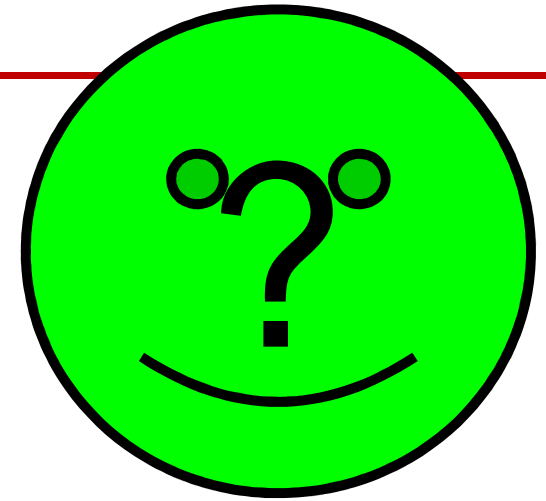
Sophie Péru

Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

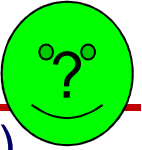
Découverte du noyau

Les premiers modèles classiques

Le noyau : particule élémentaire ou système complexe ?



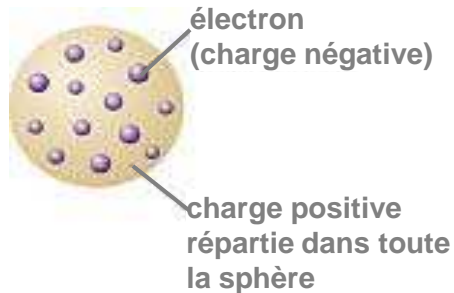
Les caractéristiques du noyau : forme, énergie liaison, stabilité ...



Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

Le modèle antique de l'**atome** était celui la boule de billard, version de Dalton (1803) compatible avec la définition grec : l'in sécable = a – tomos.

Un nouveaux modèle « plum-pudding » nécessita une vérification expérimentale

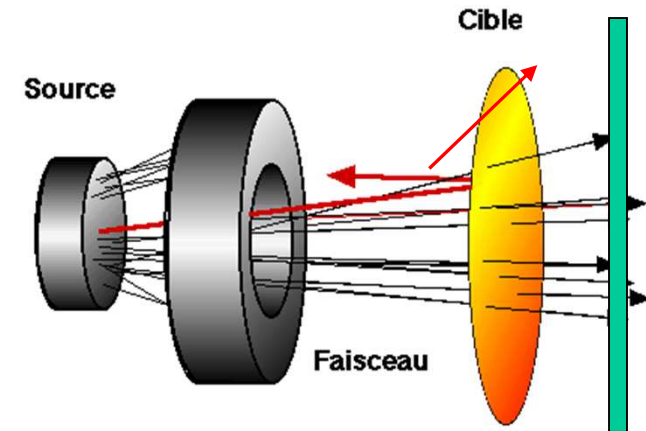


modèle => expérience

1911

l'équipe de Lord Rutherford
va réaliser ce qui sera

la 1^{ère} expérience de physique nucléaire
Expérience I



Pour faire l'expérience, ils disposaient de :

projectiles légers et chargés : particules α émises par sources radioactives (Ra, Po).

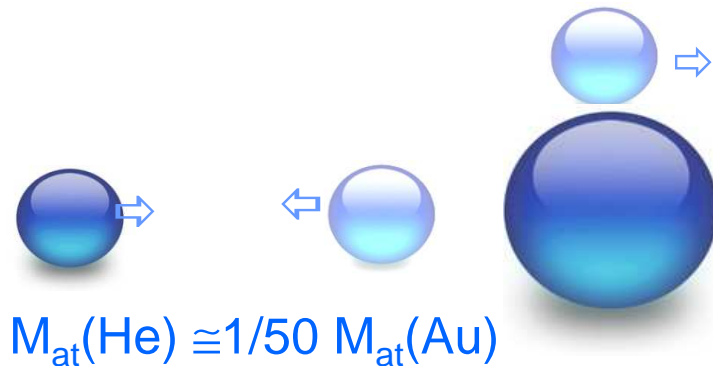
On savait déjà que $\alpha + 2 \text{ électrons} = \text{atome d'He}$ (1908)

et

1 cible d'atomes lourds neutres : une mince feuille d'**Or** (6μ , ~ 200 couches d'atomes)



Expérience I : résultats attendus

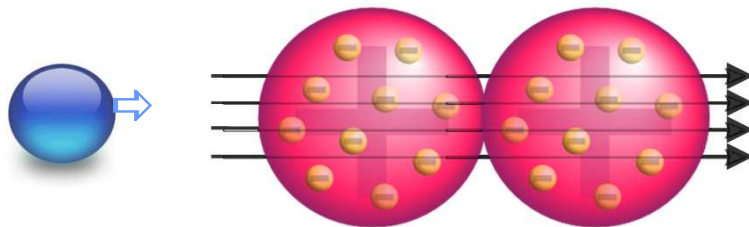


Hyp 1: **atome** \equiv **sphère dure neutre**

des alphas traversent entre atomes
des alphas sont rétro-Diffusés (sur atomes)

Probabilité de diffusion (ou pas)
 \propto **taille atome en fait sa section \perp**
 \equiv **section efficace σ** ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}\text{m}$)

source images: sphère bleue <http://www.axialis.com/tutorials/tutorial-misc003.htm>
traversée α : http://en.wikipedia.org/wiki/Geiger-Marsden_experiment



Hyp 2: **atome** \equiv **sphère molle (gelée)**

des alphas traversent dans et entre atomes
Certains sont légèrement diffusés par E électrons,
(charge \oplus étant diffuse)

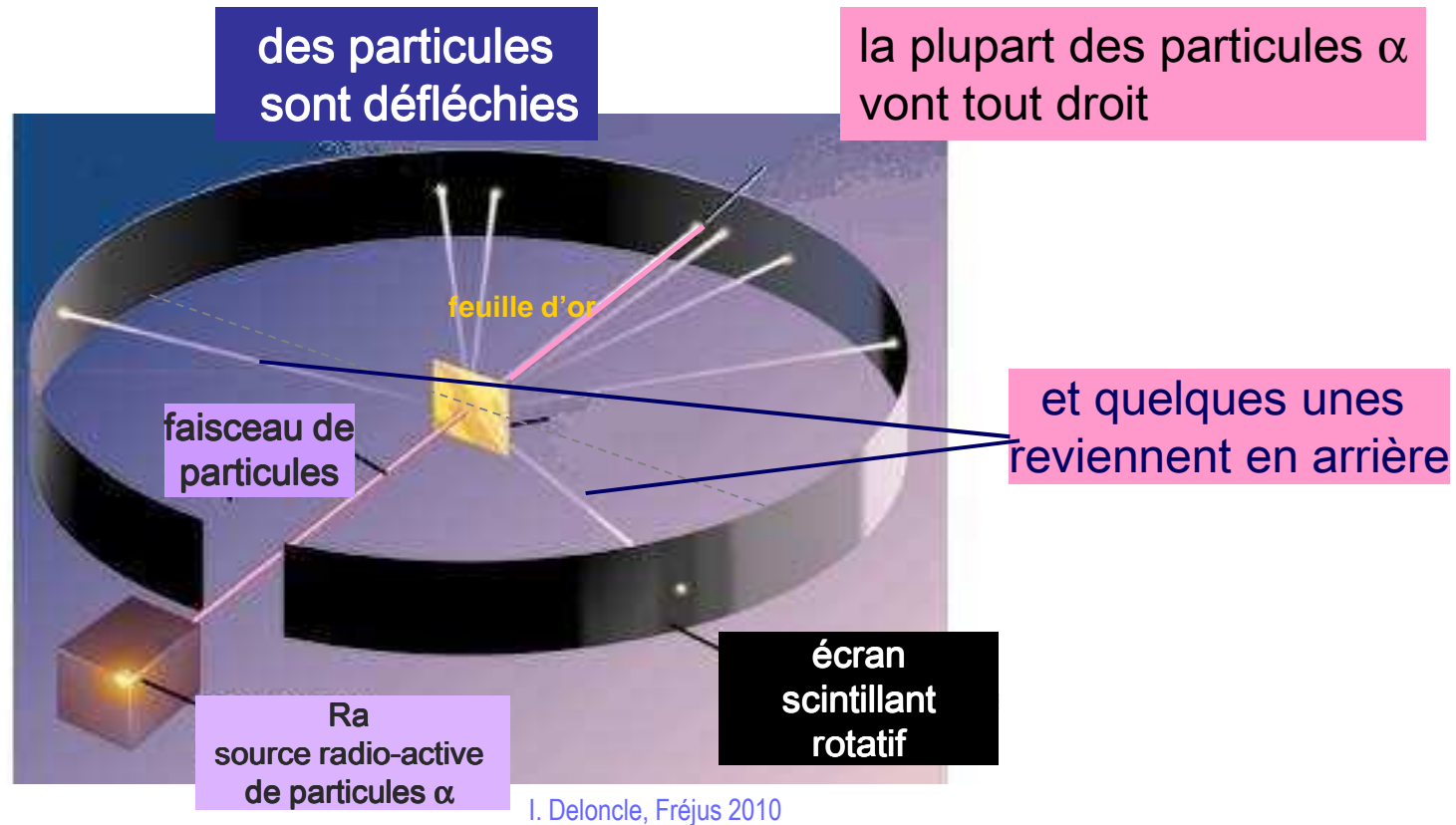
Section efficace diffusion (probabilité diffusion)
 $\sigma \propto Z \times$ **dimensions électron** ($80 \text{ fm} \sim 10^{-13}\text{m}$)

alpha diffusés: $N_{\text{Thomson}} \propto$ dimensions électron $\ll N_{\text{sphère dure}} \propto$ dimensions atome
 \Rightarrow **distinction possible : nombres α transmis/diffusés et angle (180 ou petit)**

I. Deloncle, Fréjus 2010



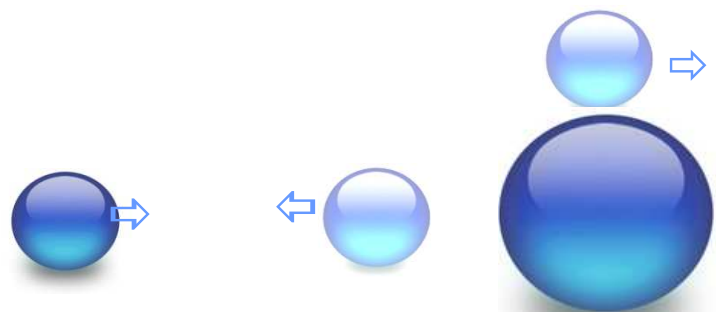
Expérience I: dispositif et résultats



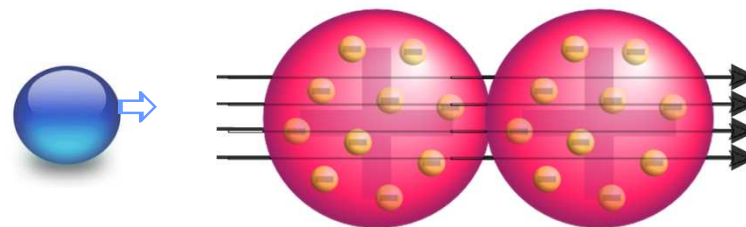
Les observations ne correspondent à aucun des 2 modèles :
Il y a des particules rétro-diffusées **ET** des des particules légèrement déviées
nombre particules passant tout droit > ceux prévus par modèles 1 et 2

source images: expérience: <http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/blb/chapter2/medialib/blb0202.htm>
ceil: <http://www.cesoa.com/>, microscope de poche: <http://www.americanartifacts.com/smma/advert/az362.htm>

Expérience I: résultats attendus et résultats observés

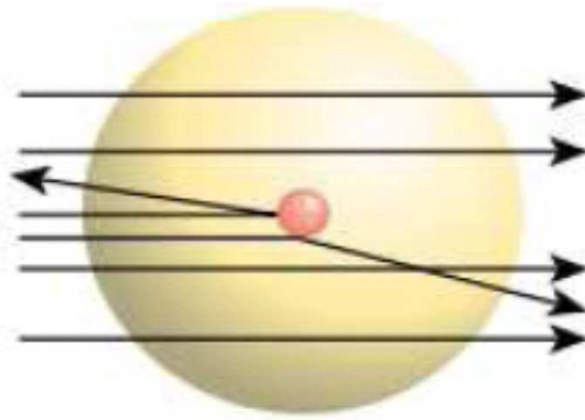


Hyp 1: atome \equiv sphère dure neutre



Hyp 2: atome \equiv sphère molle (gelée)

Les observations suggèrent que
la plus grande part de la matière est concentrée dans une toute petite région ;



→ Les atomes sont majoritairement vides à l'exception d'un cœur dur : le noyau de l'atome.

Expérience I: quelques précisions



- Pourquoi une cible mince?

Le projectile n'interagit qu'avec une seule cible (atome ou noyau)

- Et les électrons alors?

Les électrons sont tellement légers en comparaison du projectile qu'ils ne peuvent le dévier.

- Pourquoi dans le vide?

Les particules présentes dans l'air peuvent ralentir voir arrêter les particules α : l'analyse de l'expérience devient très difficile.

- Comment déterminer la taille du noyau?

A une distance « a_0 » du centre du noyau la particule α « fait demi-tour » :

Répulsion coulombienne = Énergie cinétique de α
$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1q_2}{a_0}$$

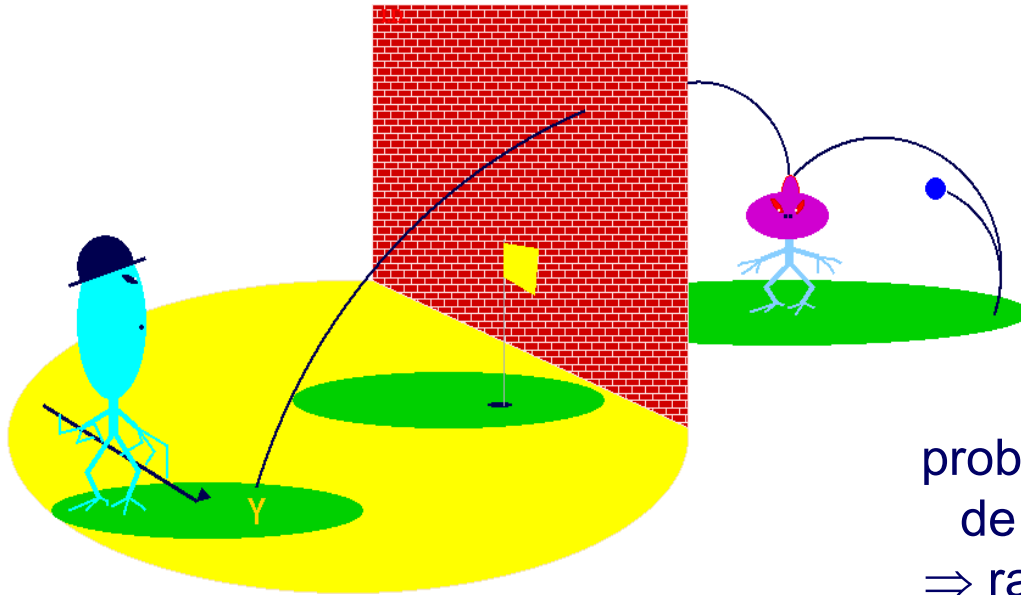
La « taille » du noyau d'or : $2.8 \cdot 10^{-14}$ m



Expérience I → Nouveau modèle

la matière est
essentiellement VIDE !
structure lacunaire

il y a un très petit objet au centre de l'atome,
très dense
et chargé positivement :
le **NOYAU**.



probabilité des rencontres α -noyau
de l'ordre de $\sim 10^{-28} \text{ m}^2$ (barn b)
 \Rightarrow rayon noyau ~ 10 fermi (10^{-14}m)

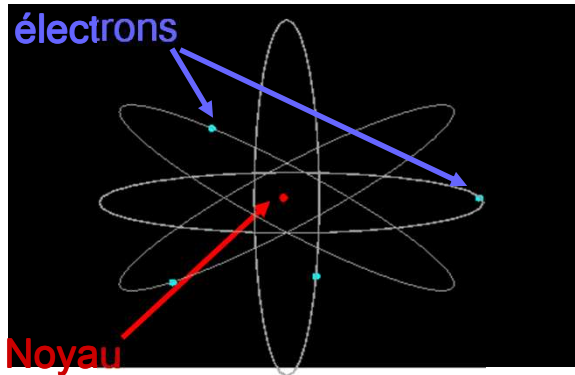
\Rightarrow **nouveau modèle (classique, 1911)**

modèle planétaire : l'atome \cong le système solaire

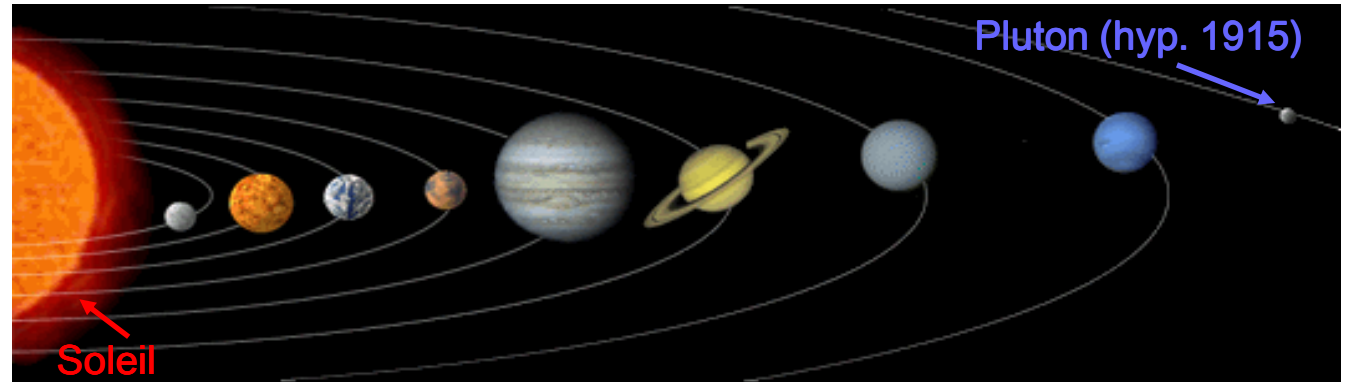
1 objet central foyer des orbites des objets mobiles

I. Deloncle, Fréjus 2010

Modèle classique : modèle planétaire



=



L'atome est un système

PETIT:

Distance Soleil–Pluton: $D_{\odot-P} = 6$ Milliards Kms

Distance Noyau–électron: $D_{N-e^-} = 1 / 10$ Milliardième m ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$)

$D_{N-e^-} / R_N = 10 \times D_{\odot-P} / R_{\odot}$ (15 si Neptune au lieu de Pluton)

CENTRAL:

Le soleil contient plus de 99% de la matière du système solaire

Le noyau contient plus de 99% de la matière de l'atome

densité noyau = 1.7×10^8 tonnes/cm³ >> densité moyenne Soleil = 1,4 tonnes/m³

I. Deloncle, Fréjus 2010

Ordres de grandeur ou de "minusculeur"



Nucléon: Taille en Fermi, $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$, rayon nucléon $r_0 \sim 1,1 \text{ fm}$
Charge électrique $q_{\text{proton}} = +|e| (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})$, $q_{\text{neutron}} = 0$
Temps: $T_{1/2(\text{proton})} > 10^{30} \text{ ans stable}$, $T_{1/2(\text{neutron})} \sim 15 \text{ min}$
Masse $M_{p,n} \sim 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
E au repos nucléon $\sim 1 \text{ GeV} (10^9 \text{ eV}, 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule})$
vitesse nucléon/c $\sim 21 \%$

Noyau: $A \sim 100$ nucléons, $R \sim r_0 A^{1/3} \sim \text{qqs fm}$
densité nucléaire $\sim 10^{38} \text{ nucléons/cm}^3 \sim 0,1 \text{ nucl/fm}^3$
 $\sim 1,7 \cdot 10^8 \text{ T/cm}^3 \text{ !!!!}$
Masse $M \sim 100 M_{p,n} \sim 1,7 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$
énergie au repos noyau $\sim 100 \text{ GeV}$

Electron: rayon 'classique' électron $\sim 2,8 \text{ fm}$
masse électron $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ soit $\sim 1/1000 M_{p,n}$
énergie au repos $\sim 0,5 \text{ MeV}$

Atome en Å : Taille en Å, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$
masse atome \sim masse noyau

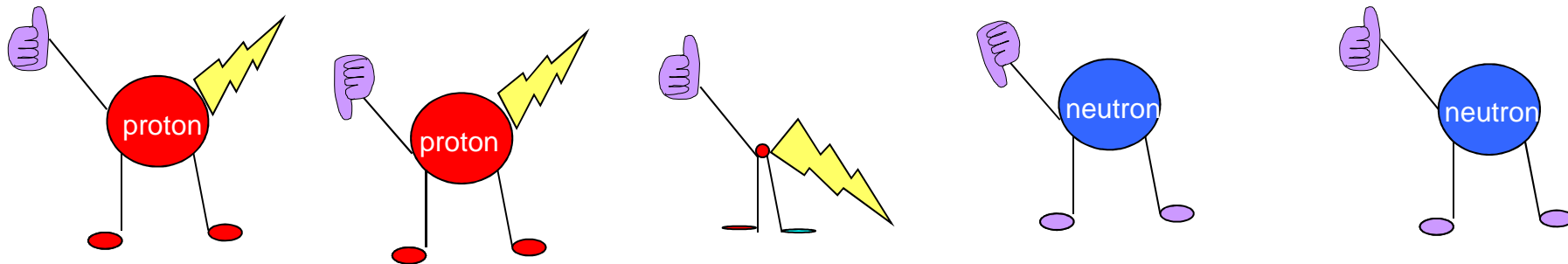
Qu'est ce que le noyau de l'atome ?



Le noyau est composé de A nucléons : $A = Z$ protons + N neutrons

Les **protons** sont des particules chargées positivement et 2000 fois plus lourdes que l'électron.

Les **neutrons** sont des particules neutres électriquement et de masse équivalente à celle du proton.



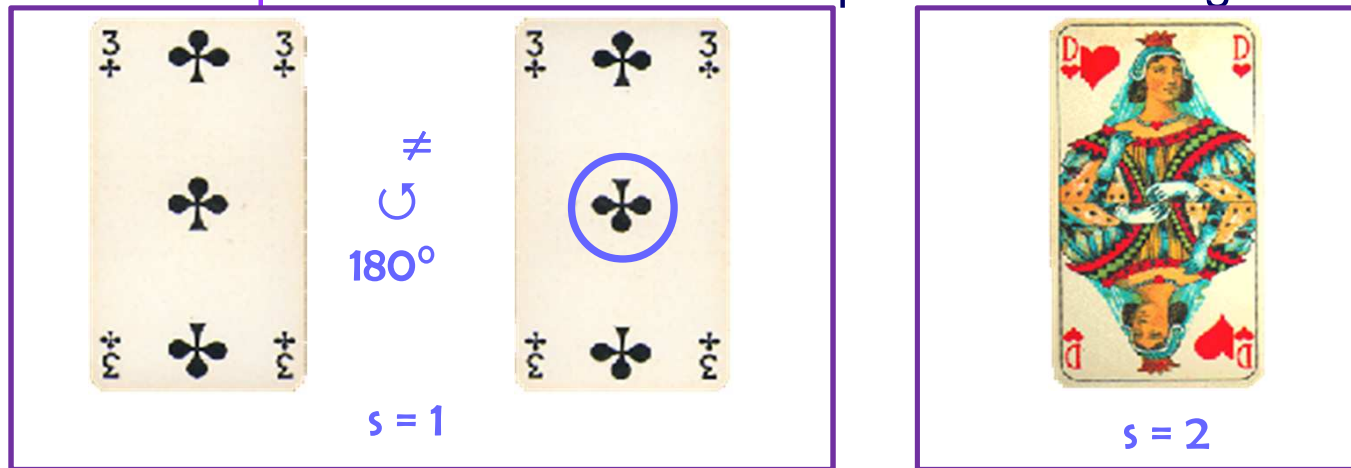
Les nucléons sont **fermions**, i.e. des particules de **spin demi-entier**, idem pour l'électron.

Qu'est-ce que le spin ?



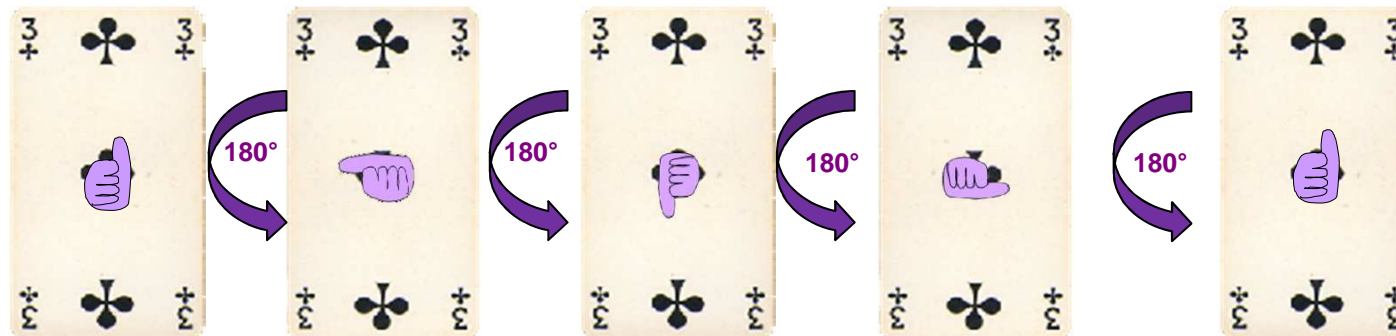
spin : propriété quantique intrinsèque, permet de caractériser le comportement, la symétrie d'une particule sous l'effet de rotations.

Une particule a un spin s si elle est invariante par rotation d'angle $2\pi/s$. (ou $360^\circ/s$)



Les fermions sont des objets quantiques de spin $\frac{1}{2}$ entier.

$s = \frac{1}{2} \Rightarrow$ rotation de 2 fois 360° pour retrouver l'objet n'existe pas à notre échelle !



images cartes: <http://tecfa.unige.ch/perso/frete/carte/tre3.gif>, <http://tecfa.unige.ch/perso/frete/carte/coedam.gif>

Qu'est ce qui lie les nucléons dans le noyau?

I. Deloncle, Fréjus 2010



L'intérêt du **neutron**, **découvert** par **Chadwick** en 1932 :
« Que des protons de charge + ? Ça ne peut pas tenir ! »

Noyau = $A=Z+N$ ${}_Z X_N$ → deux types de nucléons
mais qu'est-ce qui les unit ?

Une nouvelle force, la **force nucléaire** en fait un **état lié**

Attention l'image qui va suivre n'est qu'une IMAGE ... pour public averti

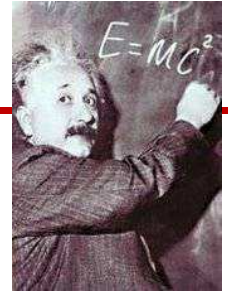
un **état lié à 2 composants** : mayonnaise



**tient toute seule,
sans bouteille ni coquille**
émulsion huile et eau,
liée par liaison hydrogène (électrostatique)
grâce protéines œuf (tensioactives)
qui jouent rôle int. forte

source images: huile, fouet et œufs : http://www.meilleurduchef.com/cgi/mdc//fr/boutique/produits/sim-bouteille_pili.html
mayonnaise: http://justhungry.com/2006/02/basics_mayonnai.html

Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

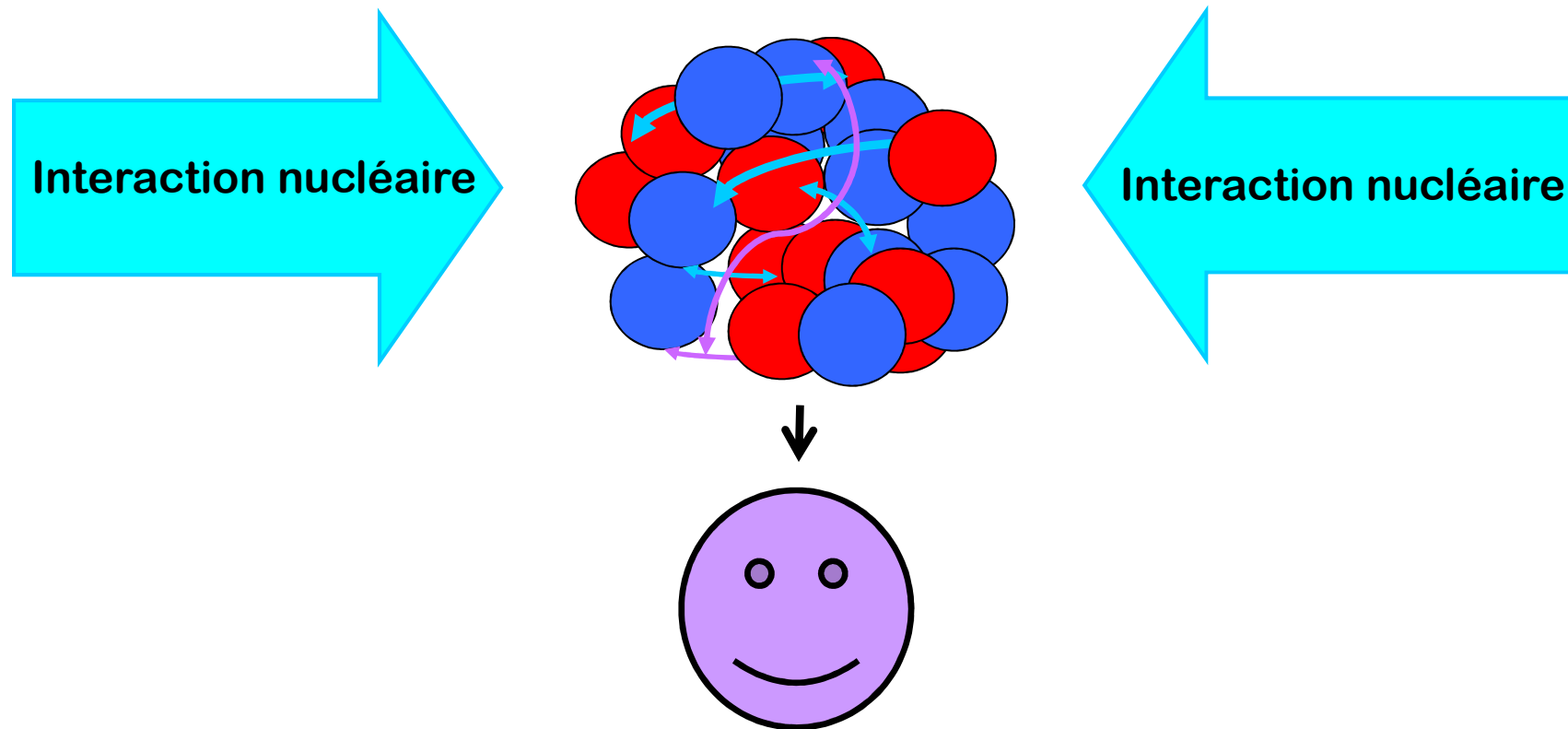


Le noyau est composé de A nucléons : $A = Z$ protons + N neutrons

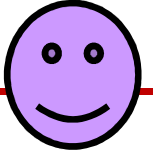
Le noyau est un système **lié**,
donc

la somme des masses des nucléons est différente de la masse du noyau.

C'est ce que l'on appelle le défaut de masse qui est directement relié à l'énergie de liaison du système par la célèbre formule d'Einstein $E = Mc^2$.



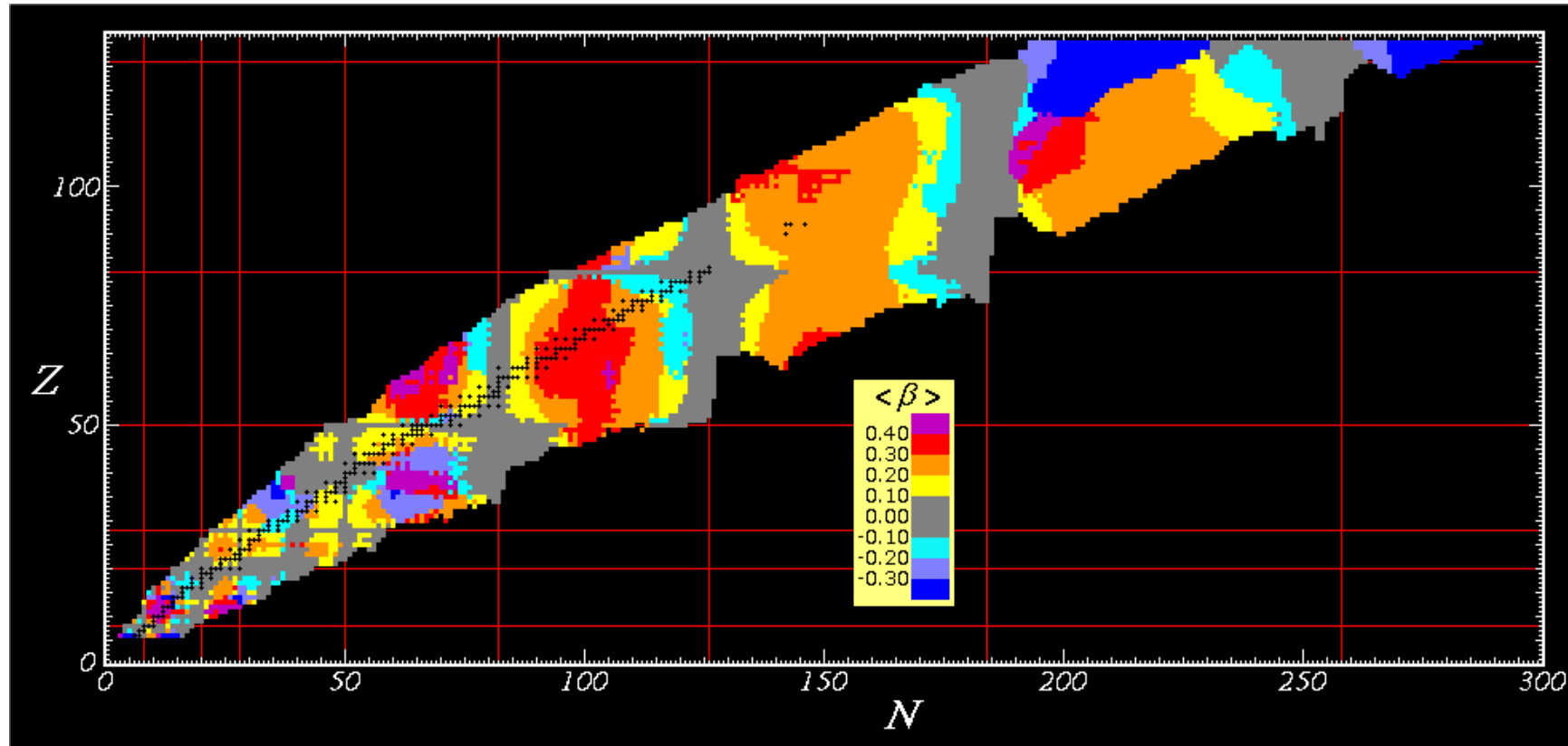
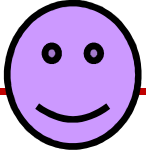
Les caractéristiques du noyau



- Tous les systèmes (N,Z) sont ils des noyaux ?
- Quand peut-on dire qu'un noyau existe ?
- Le noyau a-t-il une forme ?
- Quelle est cette forme ?
- Peut on parler de rayon, de densité ?
- Qu'est ce que Energie de liaison ?
- Stabilité nucléaire
- Les états nucléaires

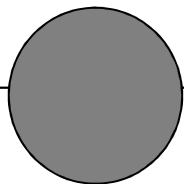


Caractéristiques du noyau : existence, la carte des noyaux



www-phynu.cea.fr

Sur cette carte, les noyaux sont prédits :
sphérique



prolate

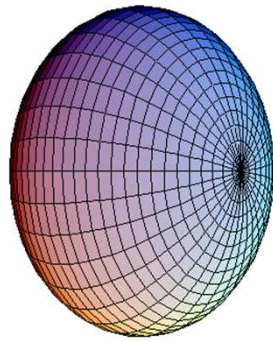
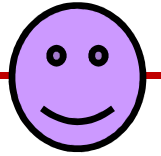


ou

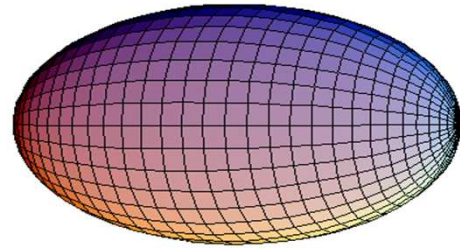
oblate



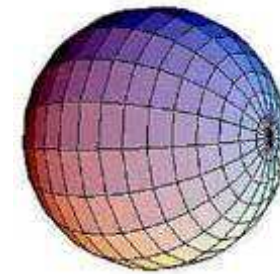
Caractéristiques du noyau : la forme et la densité



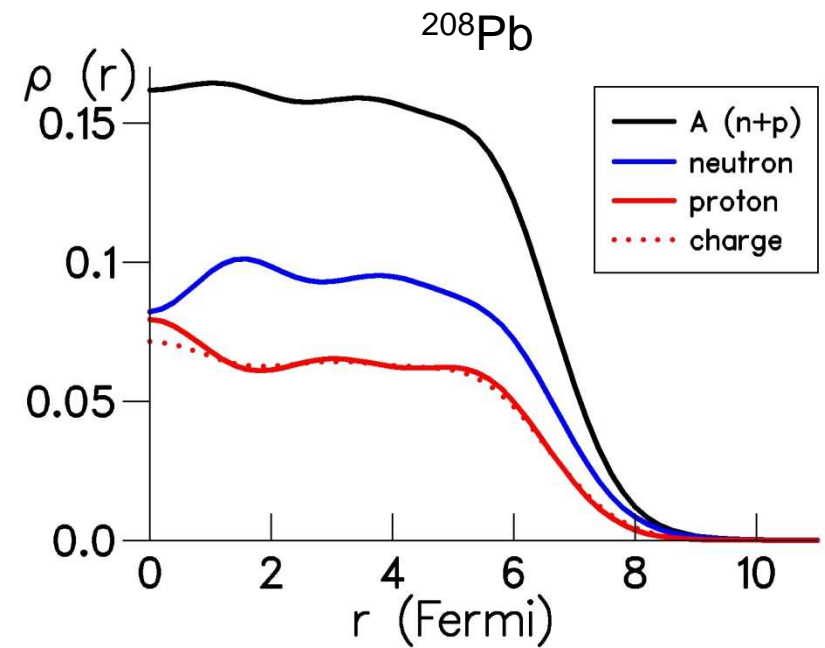
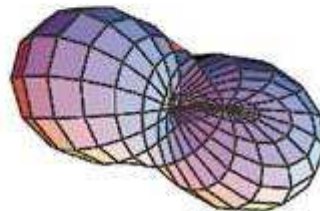
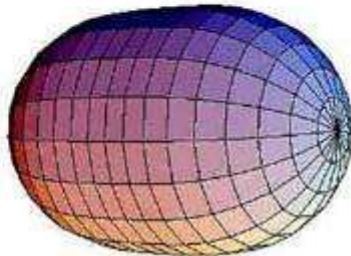
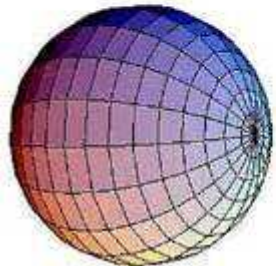
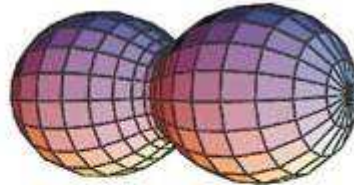
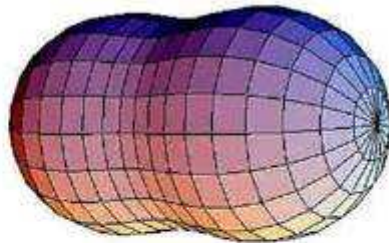
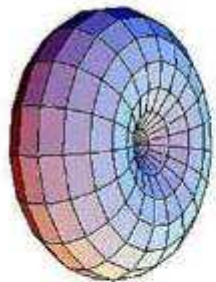
Oblate



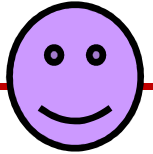
prolate



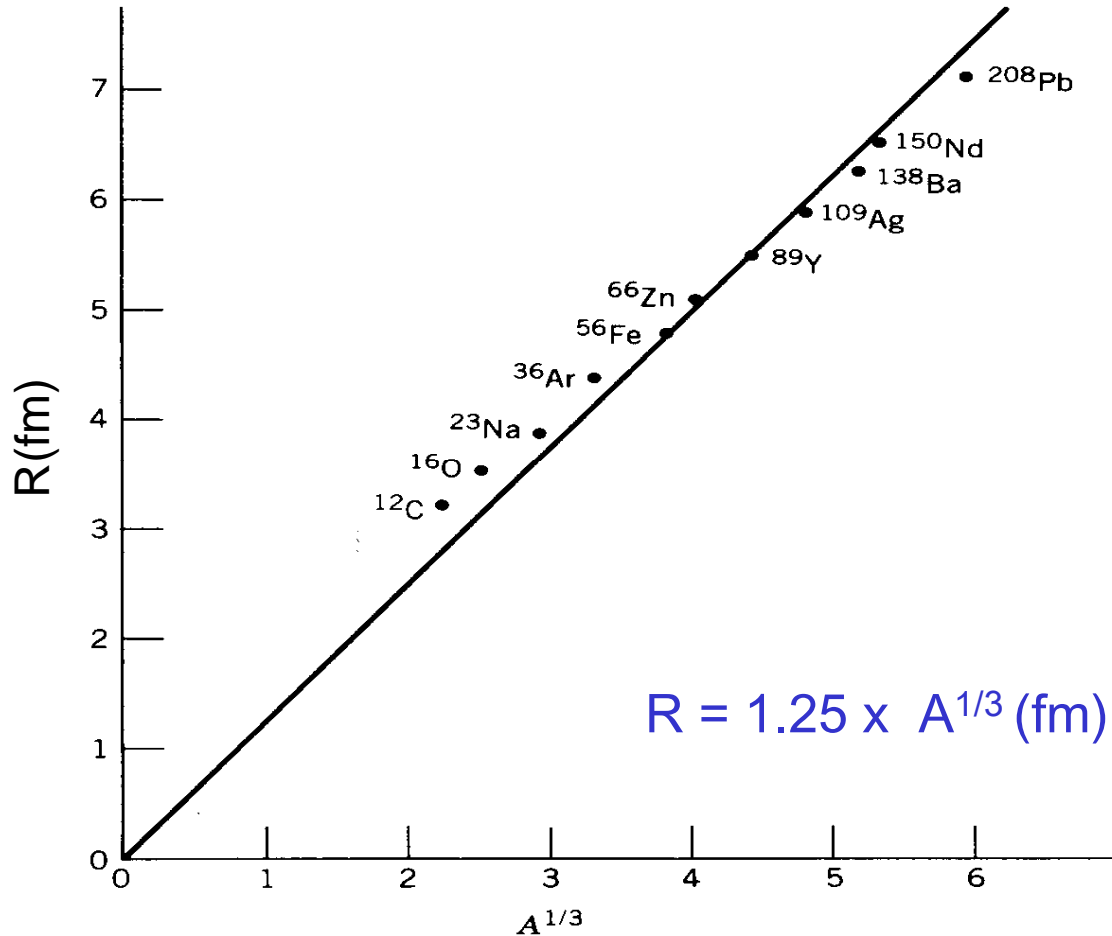
sphérique



Caractéristiques du noyau : le rayon



Les rayons sont extraits de la diffusion de particules α .



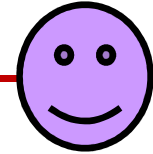
$$R = 1.25 \times A^{1/3} \text{ (fm)}$$

1fm = 10^{-15} m

Le rayon augmente avec $A^{1/3}$

Le volume augmente avec le nombre de particules A .

Caractéristiques du noyau : énergie de liaison



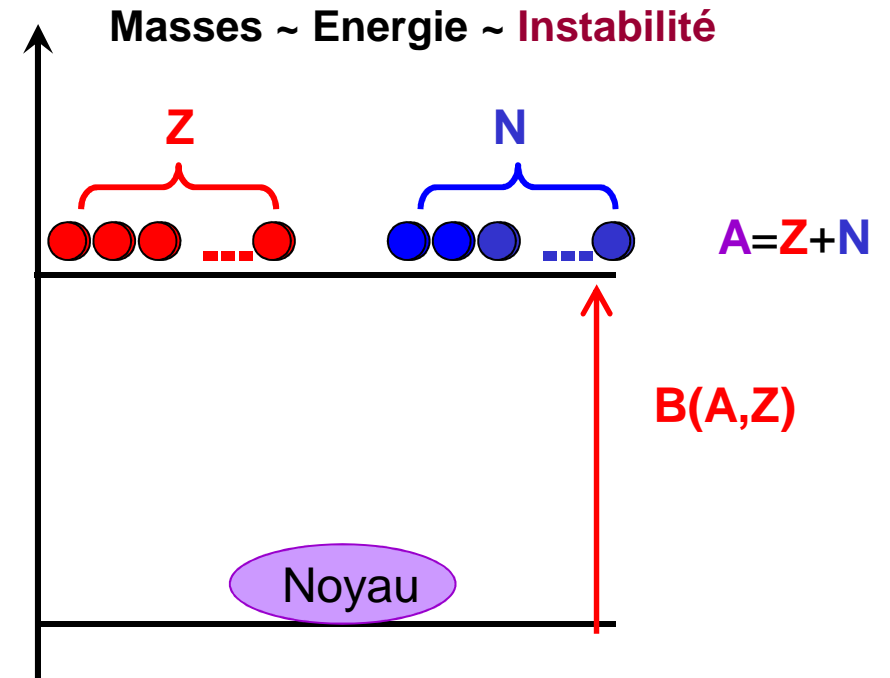
Le noyau est un système lié, donc la somme des masses des nucléons est différente de la masse du noyau.

Nucléons séparés $\approx A \times 1000$ MeV

$B(A,Z) \approx A \times 8$ MeV

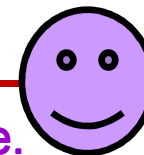
noyau : $M(A,Z) \approx A \times (1000 - 8)$ MeV

$$M(A,Z) = N M_n + Z M_p - B(A,Z)$$

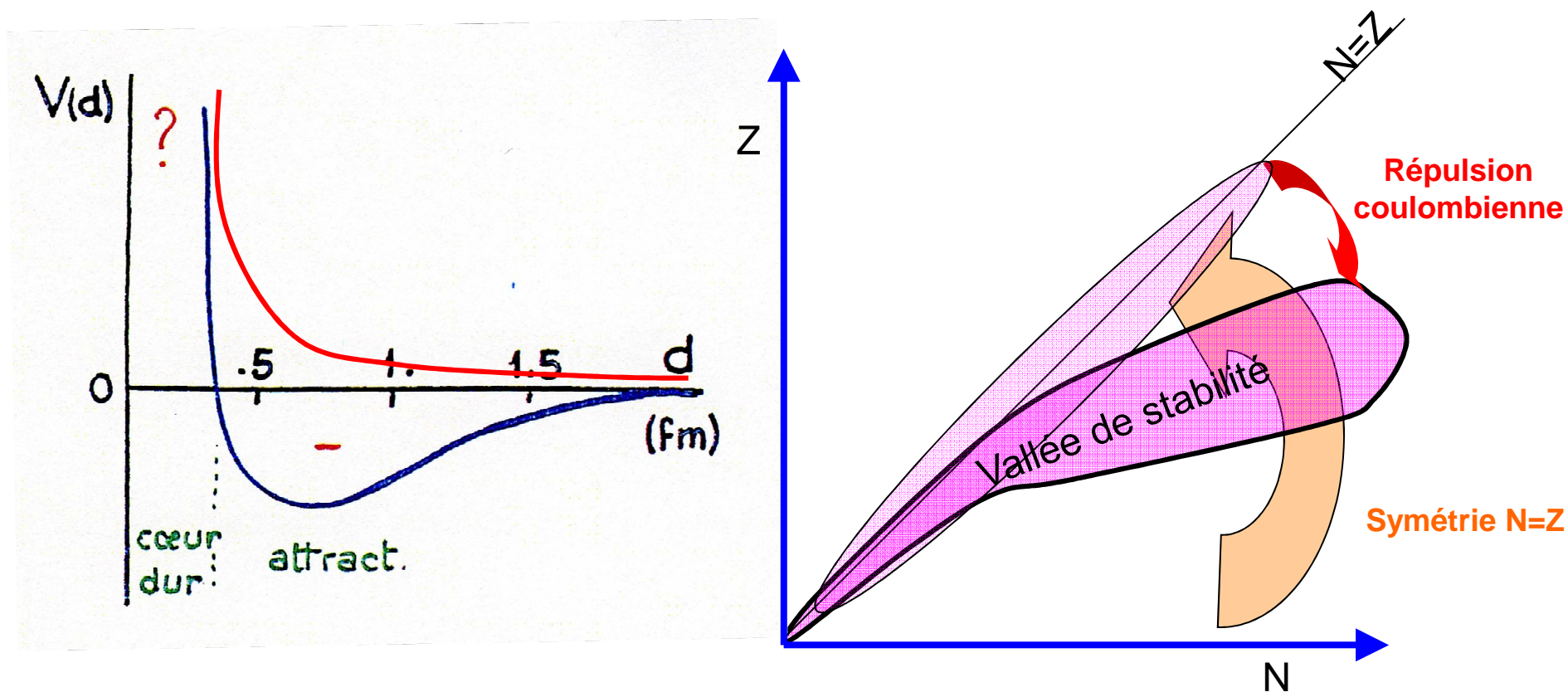


Note : $M(A,Z) = A (1 \text{ uma}) + \Delta m$ $\Delta m = \text{« excès de masse »}$
 $\Delta m = 0$ pour $^{12}_6\text{C}$ $\Rightarrow 1 \text{ uma} = 931,500$ MeV

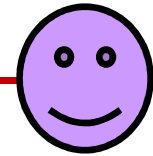
Caractéristiques du noyau : interaction nucléaire et stabilité



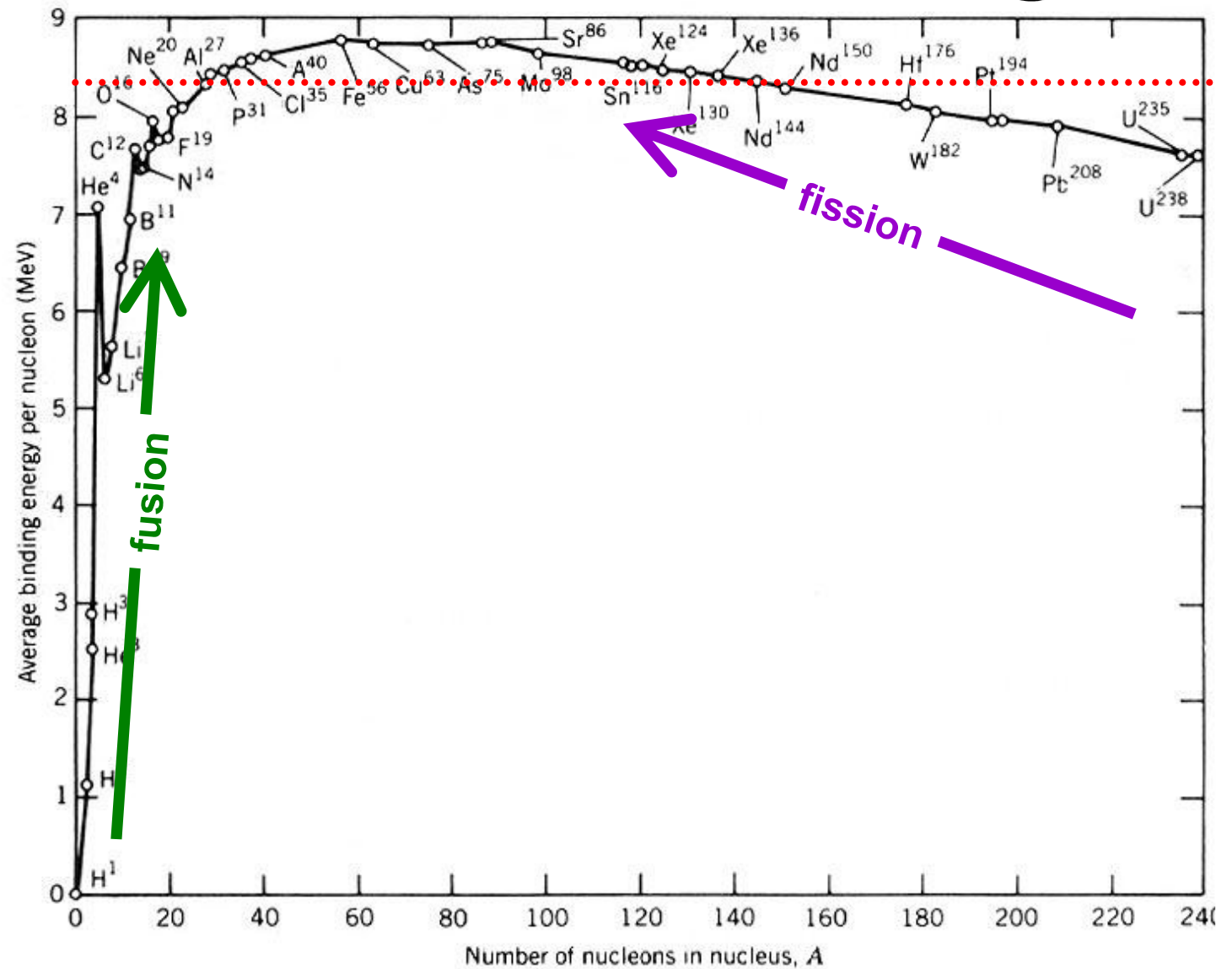
L'interaction **nucléaire** entre les nucléons est attractive à longue portée, elle est **liante**.
L'interaction **coulombienne** (entre les protons) est répulsive, elle a donc un effet **déliant**.



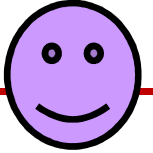
Caractéristiques du noyau : énergie de liaison et stabilité



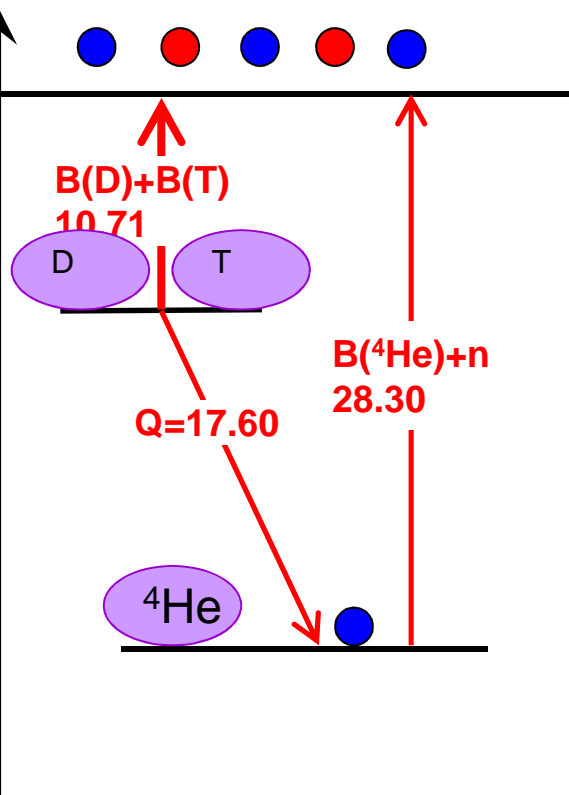
Energie de liaison /nucléon:
 $B(A,Z)/A \approx 8 \text{ MeV}$



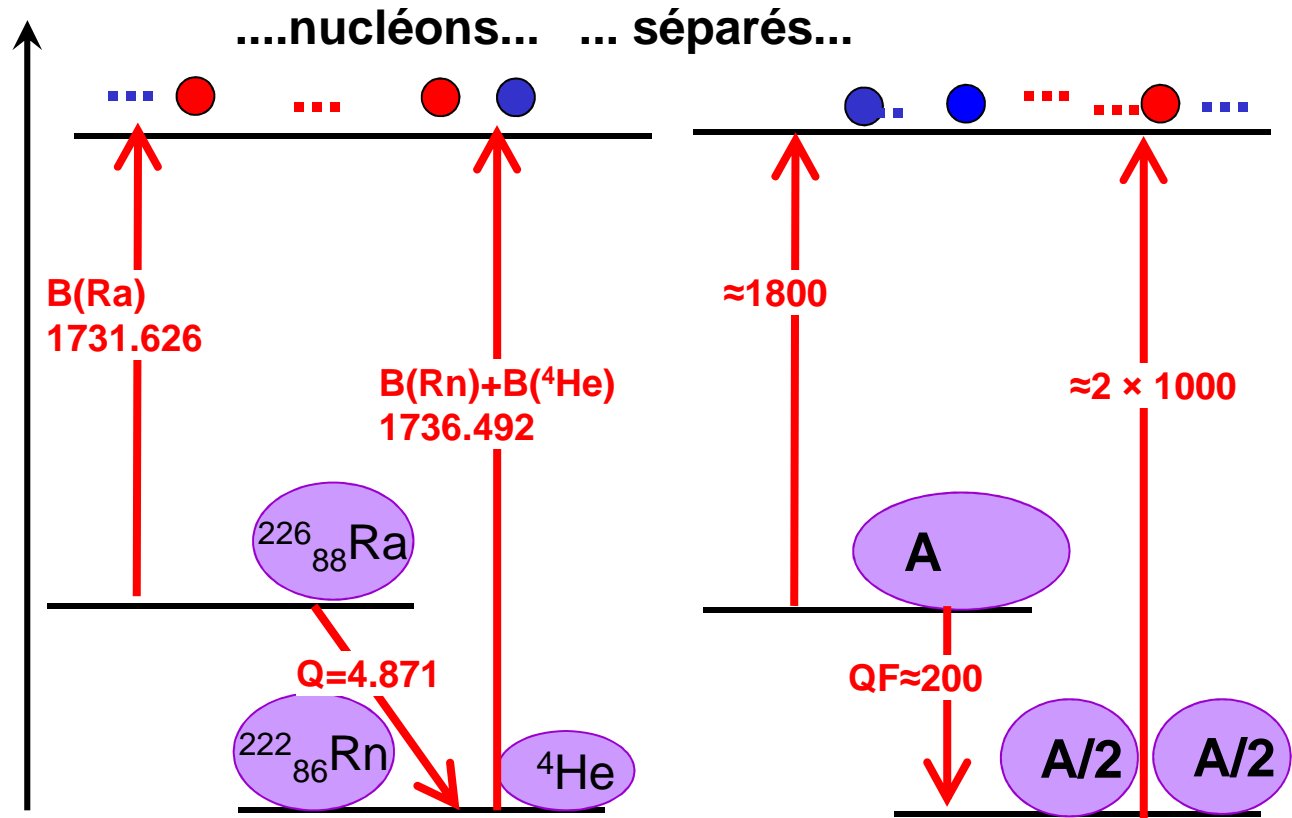
Caractéristiques du noyau : stabilité



Masses (MeV)



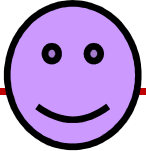
fusion



Désintégration α

fission

Caractéristiques du noyau : énergies de séparation



Energie de séparation

Pour un neutron:

$$S_n = M(A-1, N-1, Z) + m_n - M(A, N, Z)$$

$$S_n = B(A, N, Z) - B(A-1, N-1, Z)$$

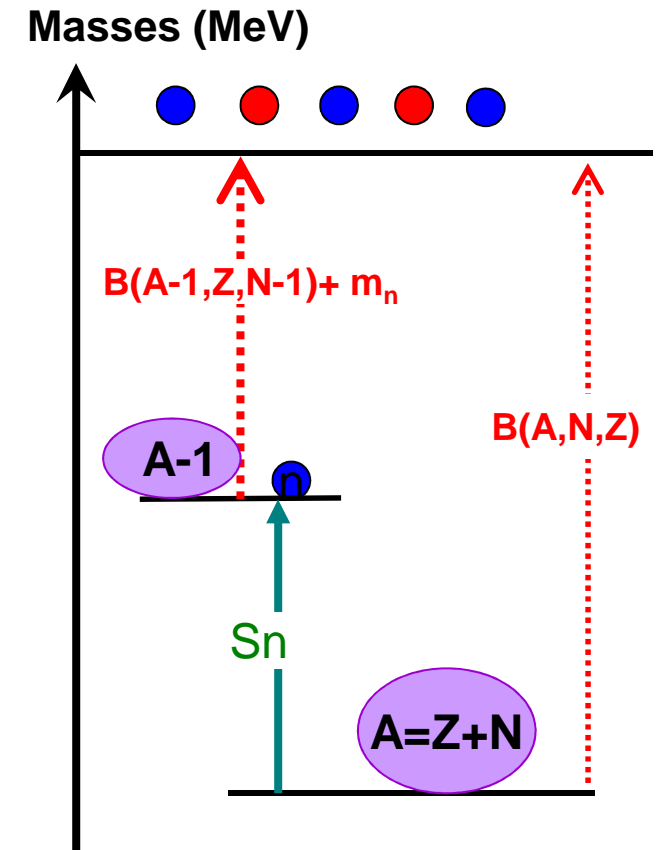
Pour un proton

$$S_p = B(A, N, Z) - B(A-1, N, Z-1)$$

Particule α

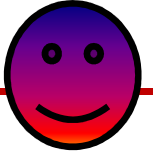
$$S_\alpha = B(A, N, Z) - [B(A-4, N-2, Z-2) + B(\alpha)]$$

$= - Q_\alpha$



S_n énergie de séparation d'un neutron dans le noyau A

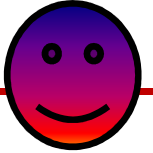
Le noyau dans tous ses états



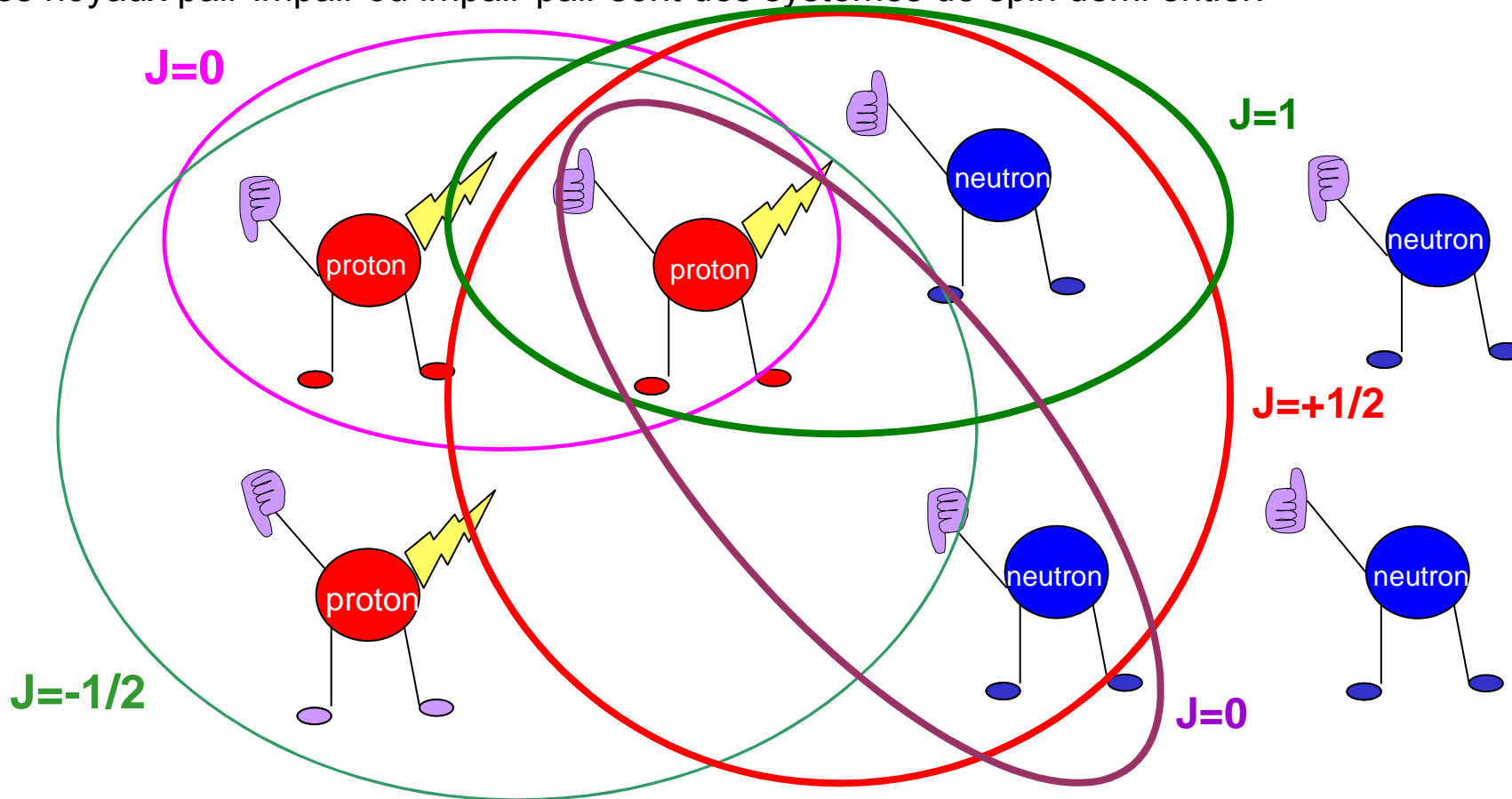
États fondamental et états excités

- Le spin du noyau
- Spectroscopie nucléaire
- Les isomères

Le spin noyau : état fondamental et états excités



Le noyau est composé de A nucléons : $A = Z$ protons + N neutrons
Les nucléons sont des particules de spin demi-entier, ce sont des fermions.
Les noyaux pair-pair ou impair-impair sont des systèmes de spin entier
Les noyaux pair-impair ou impair-pair sont des systèmes de spin demi entier.



L'état fondamental est l'état qui a l'énergie de liaison la plus grande !

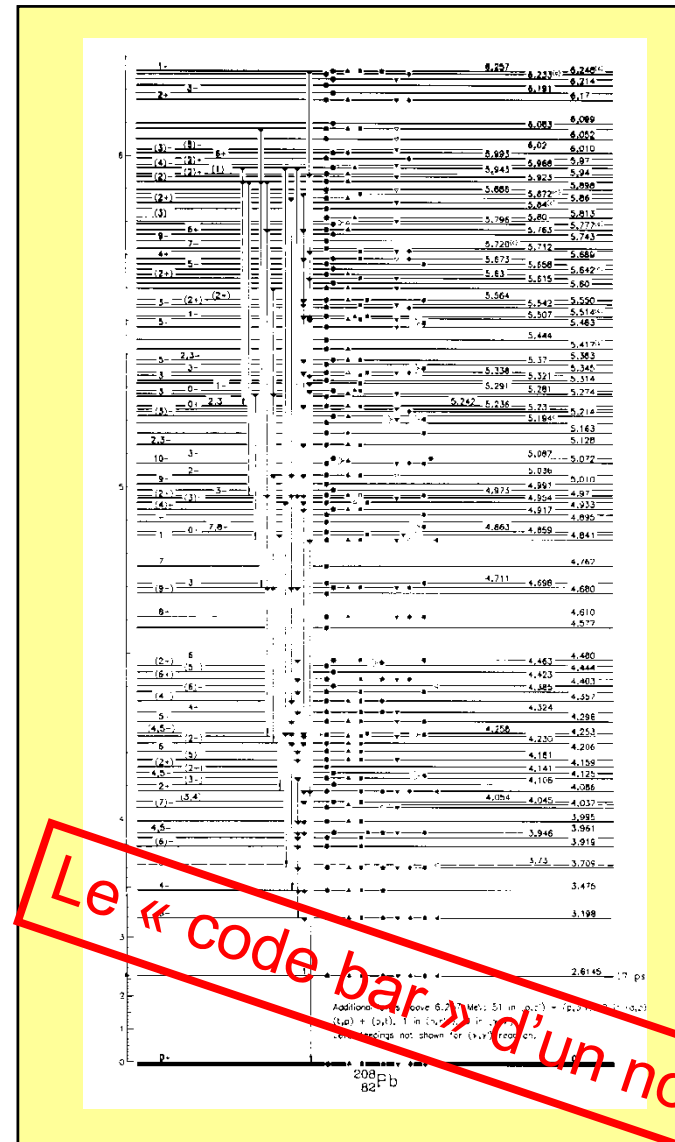
Spectroscopie nucléaire: le schéma de niveaux



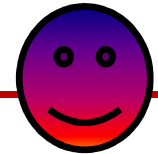
L'état **fondamental** est l'état (Z,N)
qui a l'énergie de liaison la plus grande !

Tous les autres états (Z,N) sont des **états excités** par rapport au **fondamental**.
Leurs caractéristiques (formes, spins, etc.)
peuvent être différents.

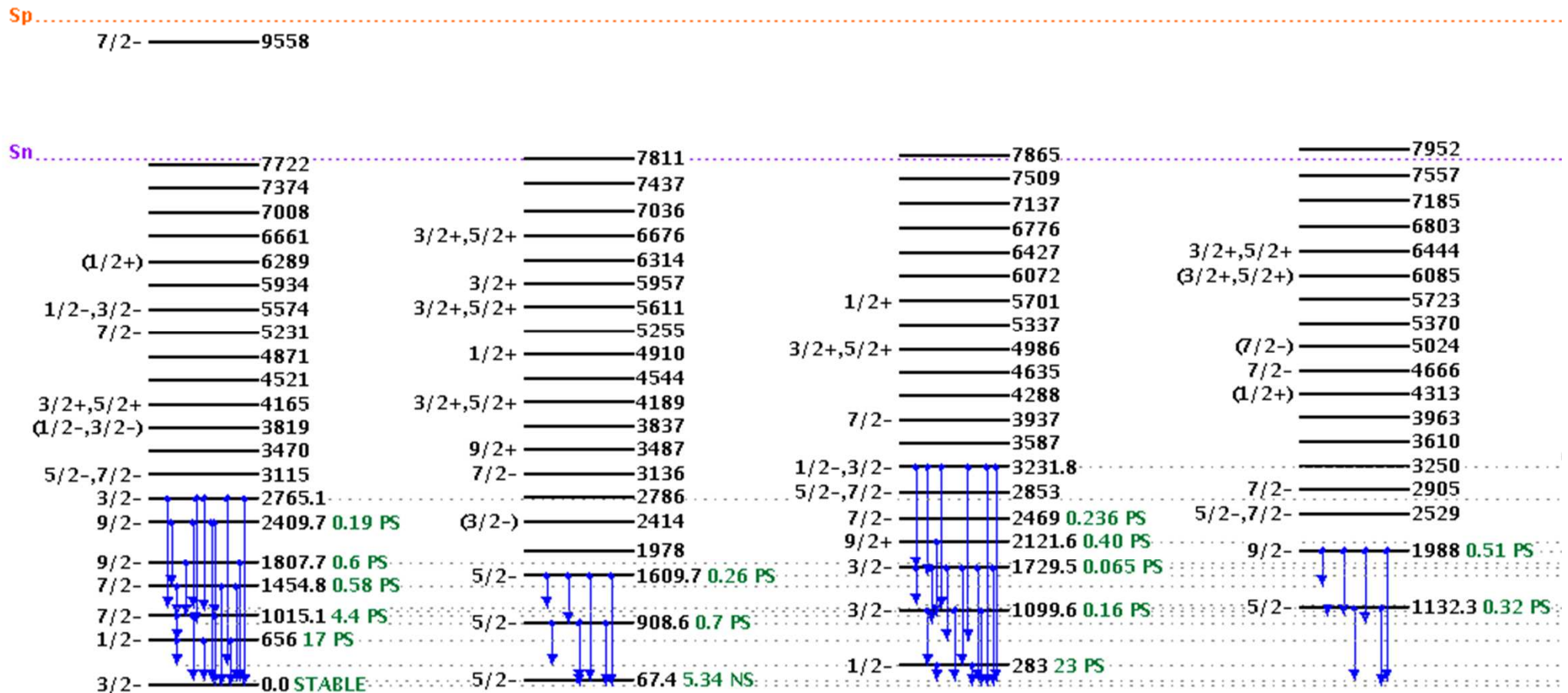
→ Schéma de niveaux propre à (Z,N).



Spectroscopie nucléaire: le schéma de niveaux



Noyau impair



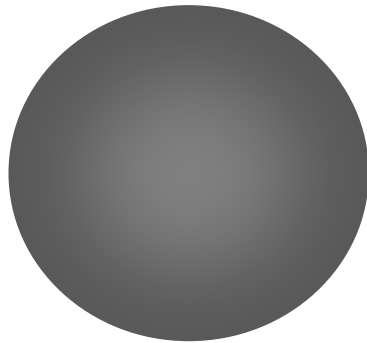
<http://www.nndc.bnl.gov/>

Spectre d'excitation et forme du noyau

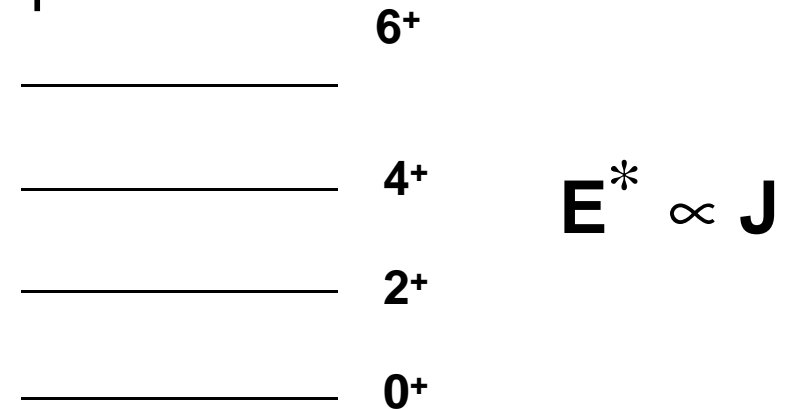


En mécanique quantique, une sphère ne tourne pas !

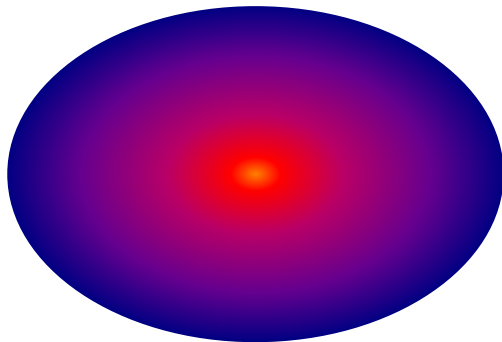
Noyau sphérique



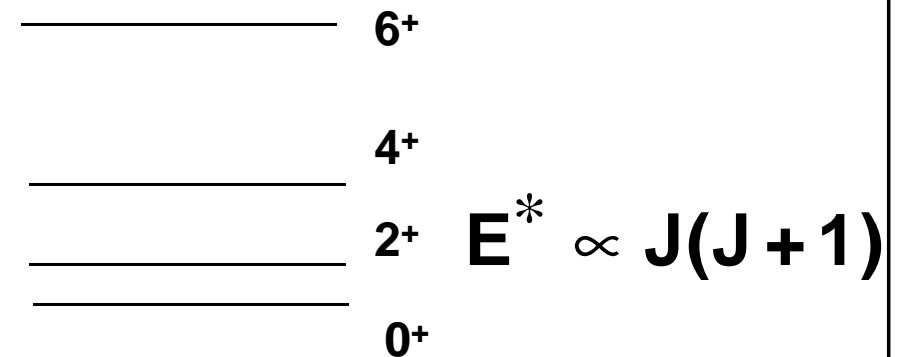
Spectre «vibrationnel»



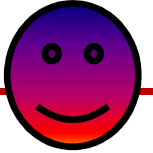
Noyau déformé



Spectre «rotationnel»



Les états isomères

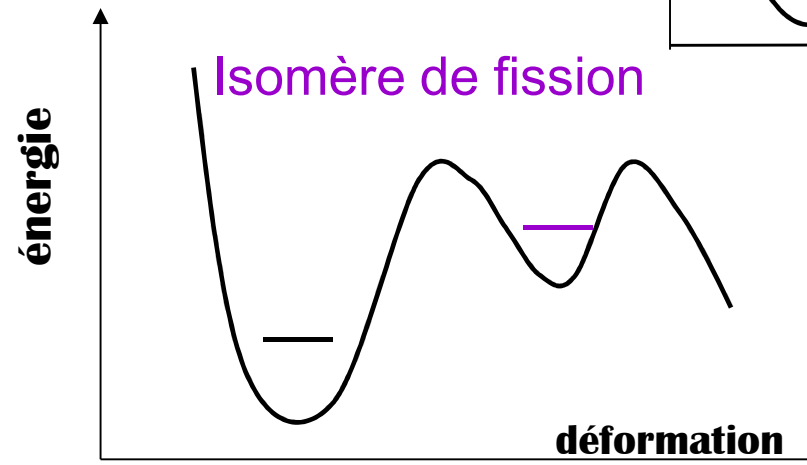
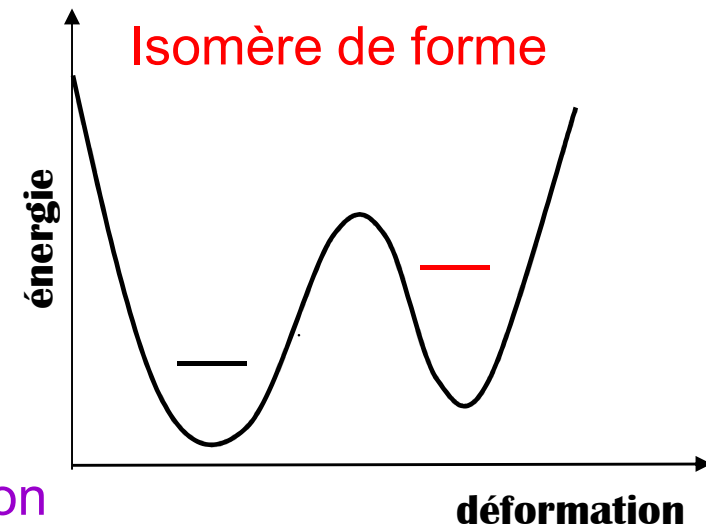
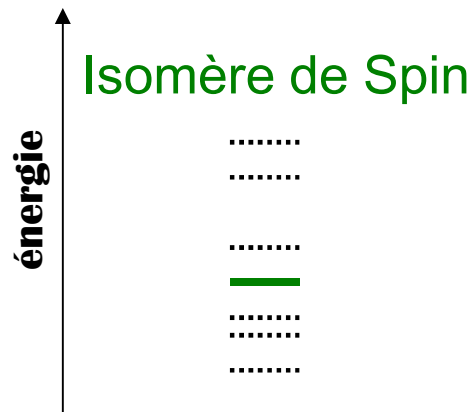


Ce sont des états Métastables ($T_{1/2} > ns$)

Leur décroissance est retardée

car

leur structure est très différente de celle des états situés en dessous.



Pour résumer

Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

Découverte du noyau et les premiers modèles classiques

Le noyau est un système complexe

Le noyau est composé de nucléons (protons et neutrons) liés par l'interaction forte.



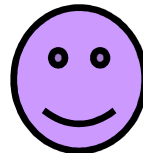
Les caractéristiques du noyau

Existence

Forme, rayon, densité

Énergie de liaison

Stabilité



État fondamental et états excités

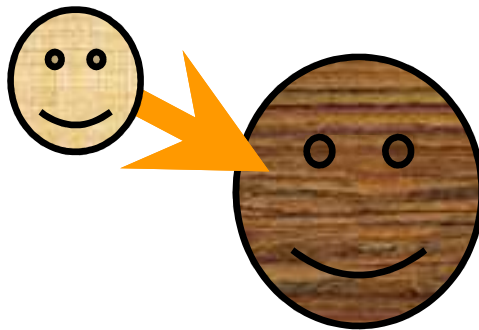
Le spin du noyau est différent pour les pairs et les impairs.

Spectroscopie nucléaire dépend de la déformation

Les isomères



La Φν

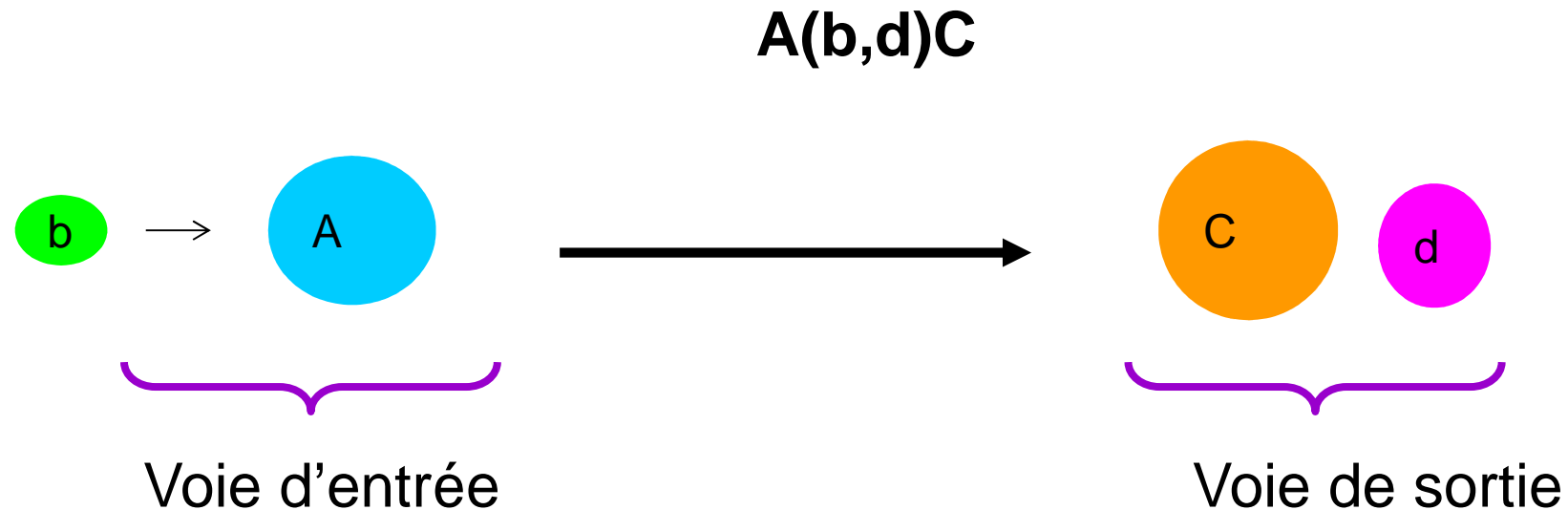


Les réactions nucléaires

Les réactions nucléaires



- Caractéristiques
- Systèmes de référence
- Les grandeurs conservées
- Le bilan énergétique
- Voies ouvertes voies fermées



Cas particuliers :

Photo-nucléaire $A(\gamma,b)B$

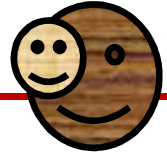
Capture radiative $A(a,\gamma)B$

Diffusion élastique $A(a,a)A$

Diffusion inélastique $A(a,a')A^*$ *modification interne de A ; A*=état excité*

Réaction (de réarrangement) $a \neq b$ et $A \neq B$

Les réactions nucléaires : Systèmes de référence



Système du laboratoire

La particule incidente a est animée d'une vitesse \vec{v}_a .

La particule A est immobile

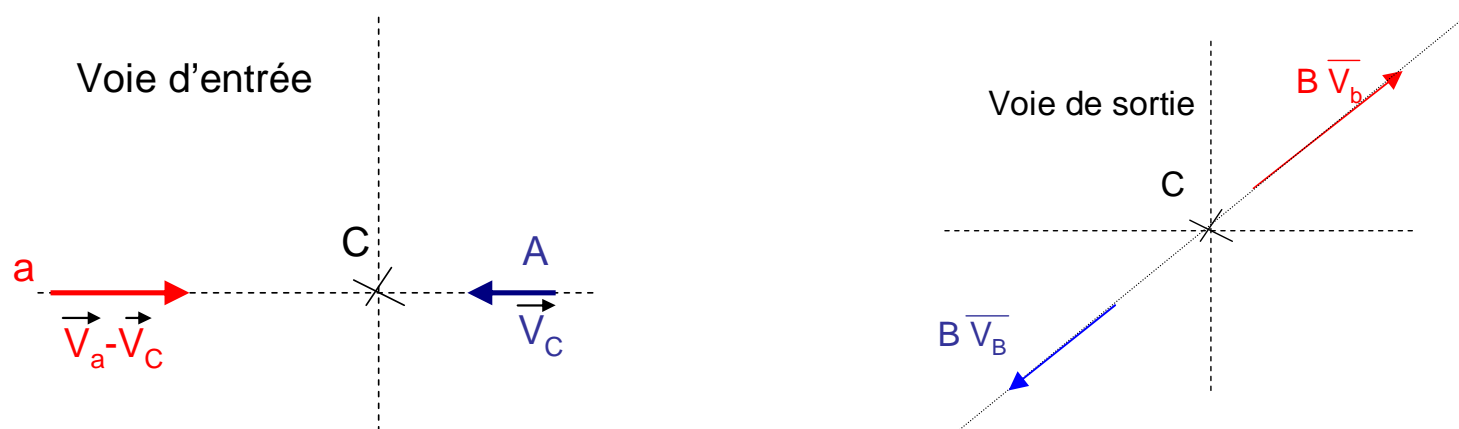
Les particules b et B émises ont respectivement les vitesses \vec{v}_b et \vec{v}_B

Le système du laboratoire est le système immobile lié à la particule cible A.

Système du centre de masse

Soit C le centre des masses des particules qui interagissent

le système du centre de masse est un référentiel lié à C animé d'une vitesse \vec{v}_C par rapport à l'observateur fixe situé dans le laboratoire.



Les réactions nucléaires : les grandeurs conservées



Les grandeurs conservées pour les réactions de basse et de moyenne énergies !!!

A(b,d)C

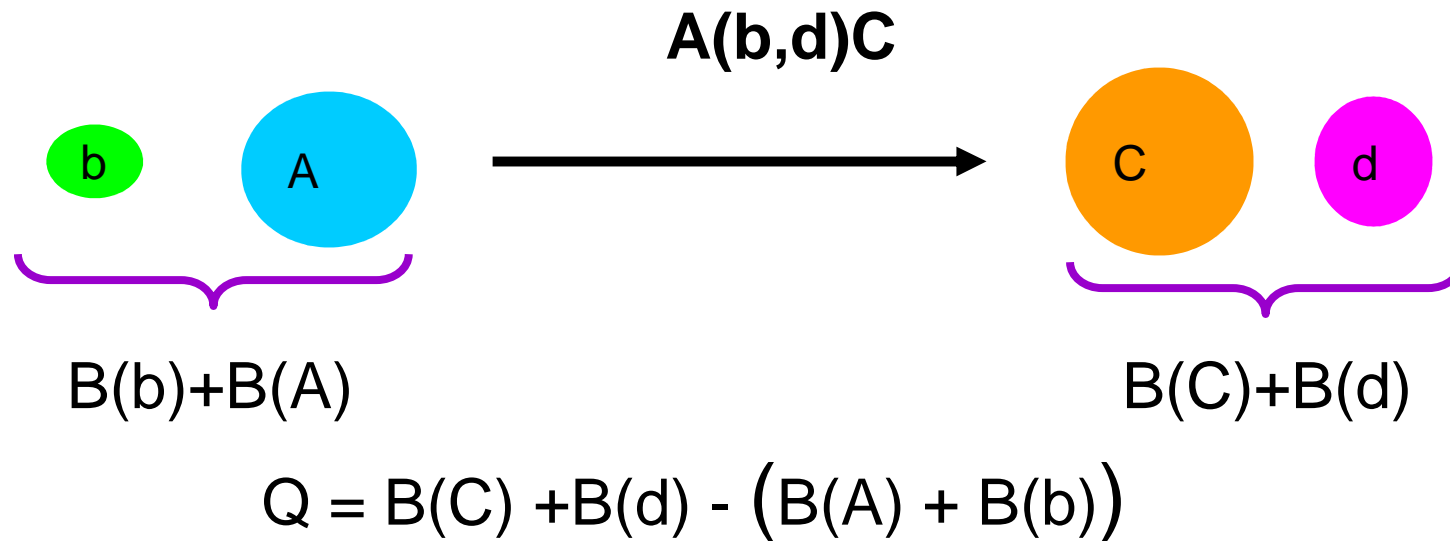
•Le nombre de nucléons : $A_A + A_b = A_d + A_C$

•La charge : $Z_A + Z_b = Z_d + Z_C$

•Quantité de mouvement

•L'énergie TOTALE

Les réactions nucléaires : les Q de réaction



Q est une **constante** indépendante de l'énergie cinétique du projectile

C'est une caractéristique de la réaction

$Q > 0 \rightarrow$ réaction **exo** énergétique

$Q = 0 \rightarrow$ **froid** (diffusion élastique)

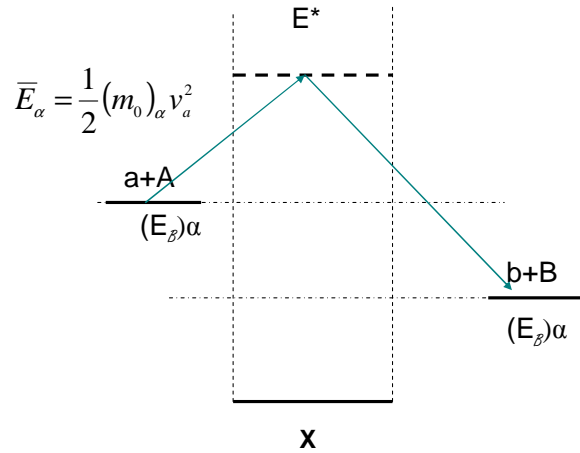
$Q < 0 \rightarrow$ réaction **endo** énergétique à seuil :

il faut donner de l'énergie à au moins une des particules en entrée.

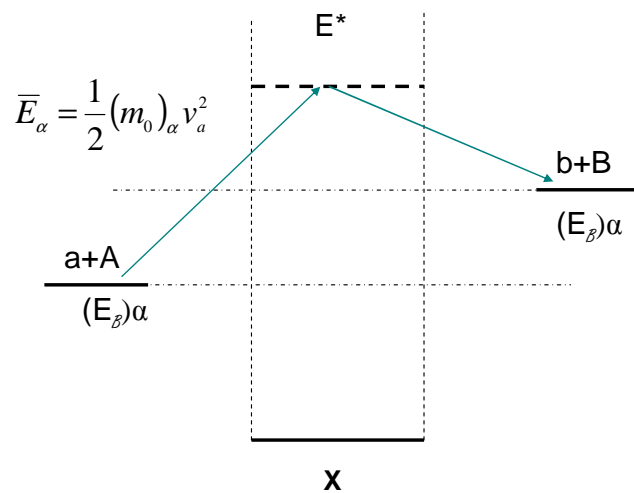
Les réactions nucléaires : Mécanisme du noyau composé



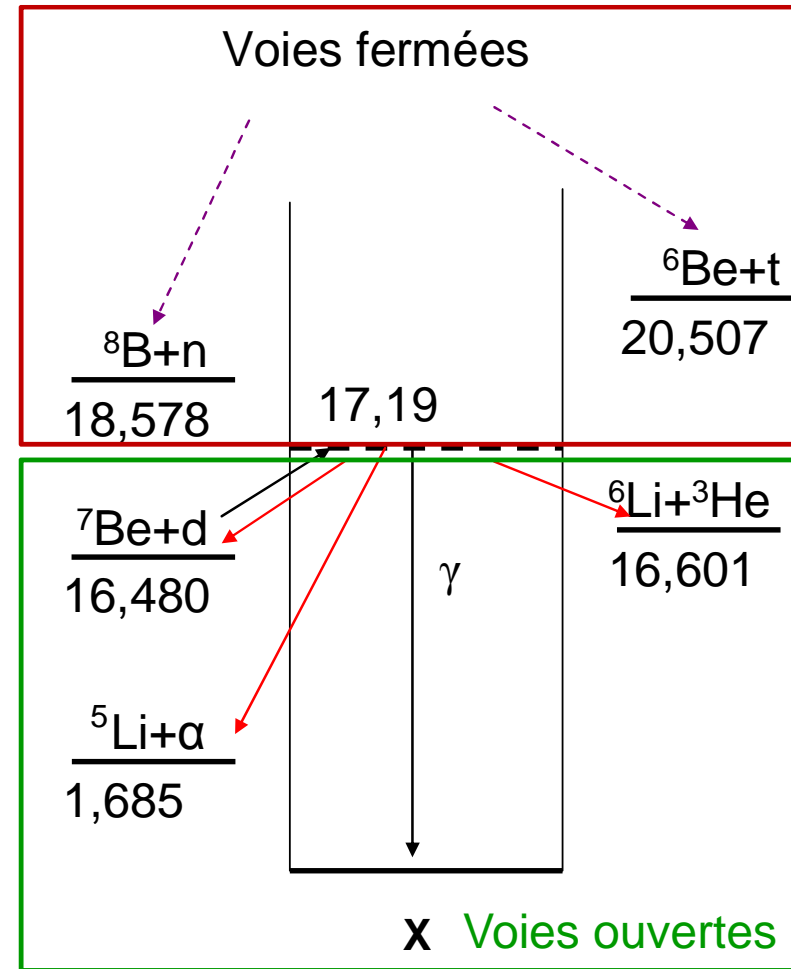
Reaction exo énergétique



Reaction endo énergétique



$$\text{Eseuil}_{\text{labo}} = -Q(m_a+m_A)/m_A$$



Section efficace de réaction σ
 \propto probabilité d'obtenir A(b,d)C

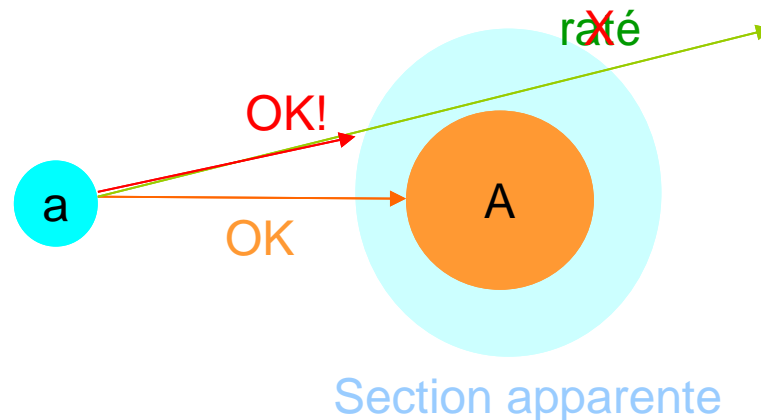
Les réactions nucléaires : les sections efficaces

Les sections efficaces de réaction σ sont données en barn ; 1 barn = 100 fm²
Elle mesurent la surface apparente de la cible A vue du projectile b.

Pour une cible donnée A :

La section efficace σ_{bd} est \propto à la probabilité d'obtenir la réaction A(b,d)C

La section efficace totale σ_{Tot} est \propto à une probabilité de réaction quelque soit la voie de sortie.



Pour résumer

Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

Découverte du noyau et les premiers modèles classiques

Le noyau est un système complexe

Le noyau est composé de nucléons (protons et neutrons) liés par l'interaction forte.



Les caractéristiques du noyau

Existence

Forme, rayon, densité

Énergie de liaison

Stabilité



État fondamental et états excités

Le spin du noyau est différent pour les pairs et les impairs.

Spectroscopie nucléaire dépend de la déformation

Les isomères



Les réactions nucléaires

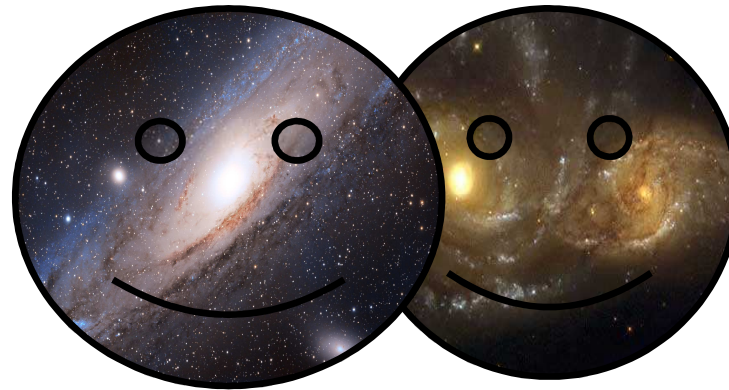
Caractéristiques, Systèmes de référence

Les grandeurs conservées et le bilan énergétique

Voies ouvertes voies fermées, section efficace



La $\Phi\nu$



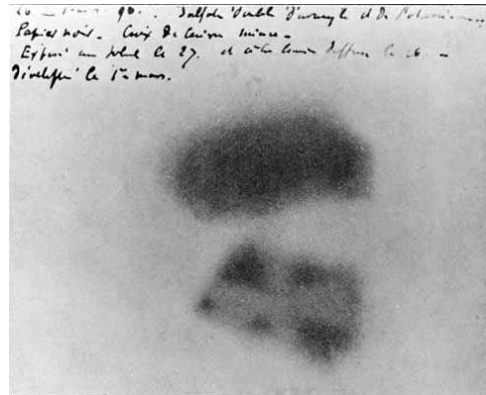
Quelques phénomènes nucléaires



La radioactivité : α , β , γ

En 1896,

Becquerel (Paris 1852-Le Croisic 1908) découvre de la radioactivité de l'uranium :
Sels d'uranium qui impressionnent les plaques photographiques.

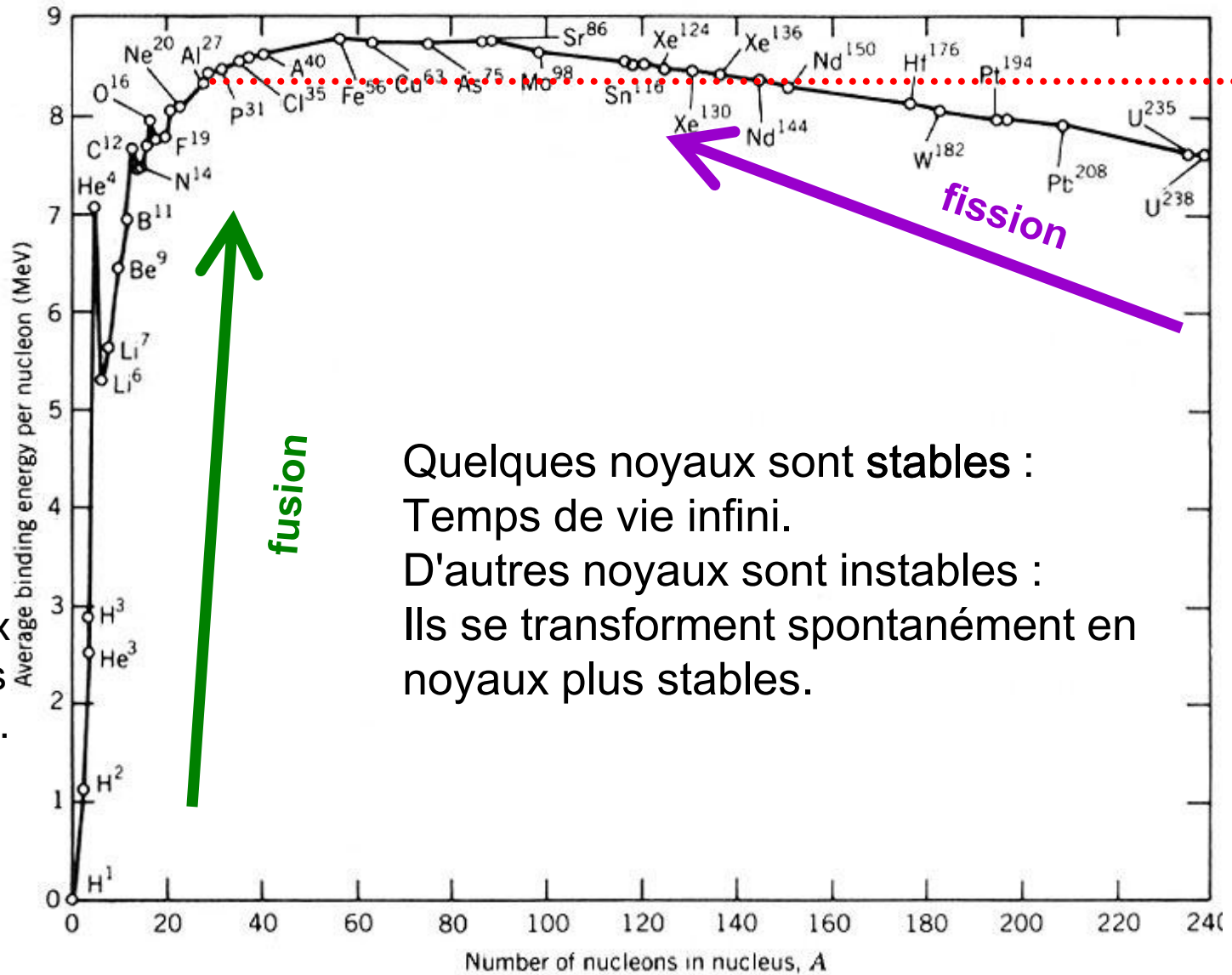


La fission

Rappel : énergie de liaison et stabilité



Energie de liaison / nucléon:
 $B(A,Z)/A \approx 8 \text{ MeV}$

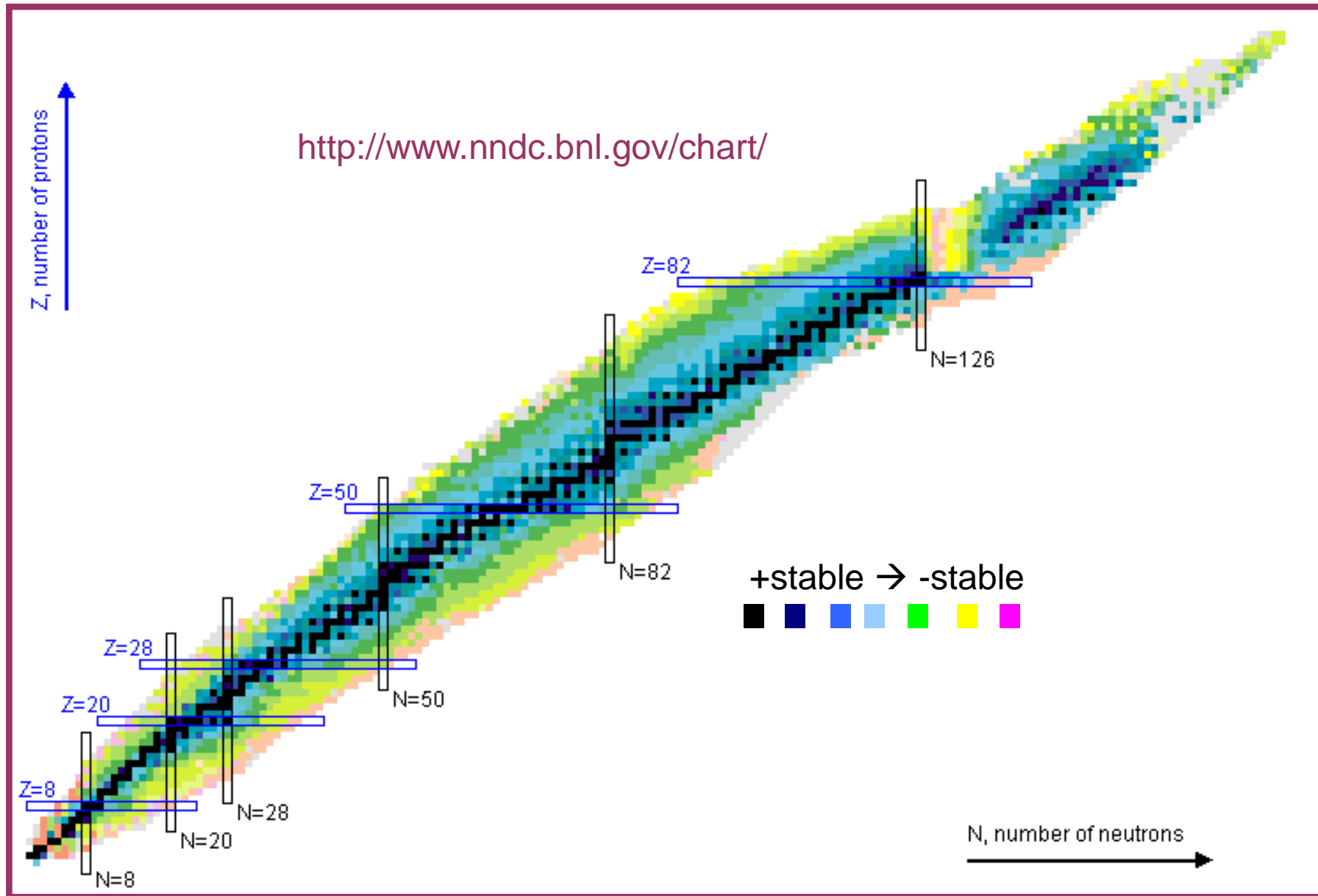


Courbe établie pour les noyaux les plus stables pour chaque A.

fusion

Quelques noyaux sont stables : Temps de vie infini.
D'autres noyaux sont instables : Ils se transforment spontanément en noyaux plus stables.

Rappel : énergie de liaison et stabilité



Les phénomènes nucléaires : la radioactivité



Soit λ probabilité par unité de temps pour qu'un noyau se désintègre.
qq soit l'âge de l'atome.

$$\lambda = -\frac{dN/dt}{N} = (\text{nbre de désintégration par unité de temps})/\text{nombre totale d'atomes.} = \text{nbre de désintégration par unité de temps} = \text{appauvrissement de la source}$$

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

N_0 est le nombre d'atomes présents à $t=0$
 N le nombre d'atomes à l'instant t .

L'activité d'une source radioactive c'est le nombre de désintégration par unité de temps. C'est égal à la vitesse de désintégration : $\left| \frac{dN}{dt} \right|$ tant que l'on n'apporte pas de nouveaux atomes radioactifs au milieu.

$$\frac{dN}{dt} = -N\lambda = \text{vitesse d'appauvrissement de la source.}$$

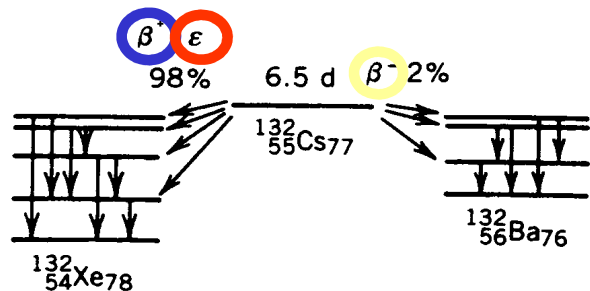
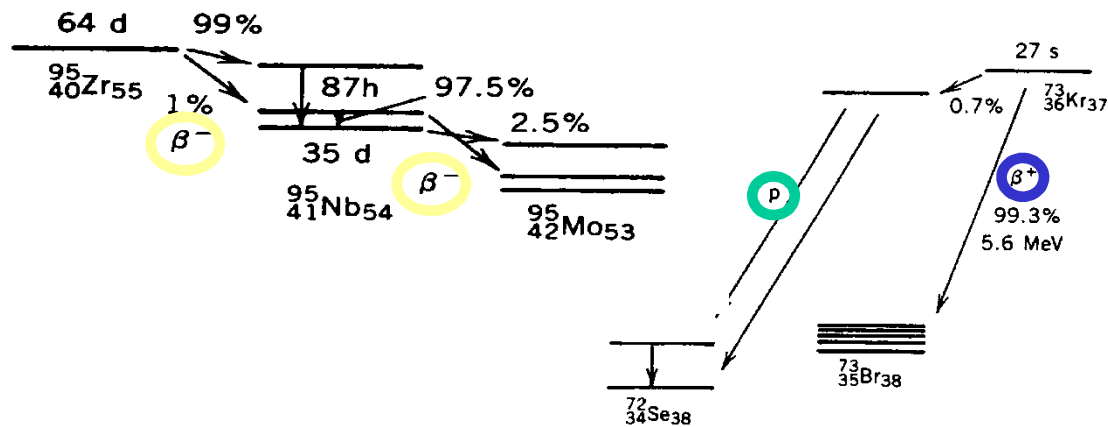
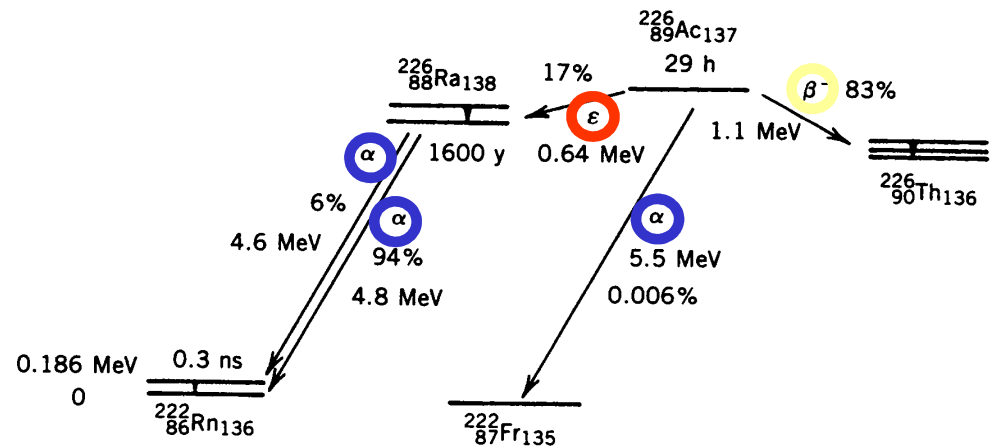
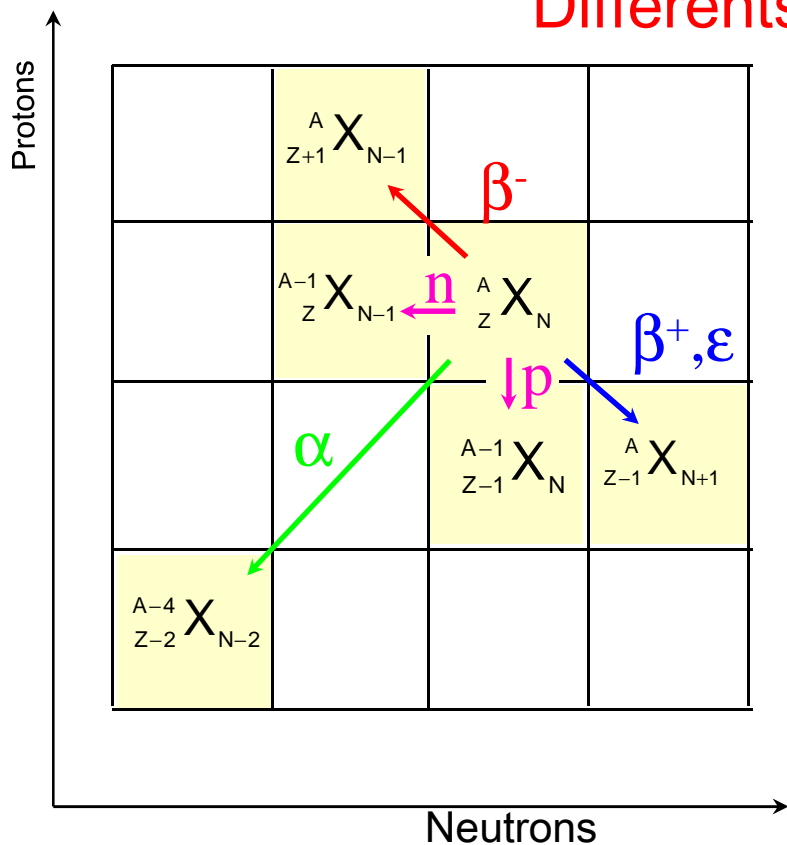
L'activité $A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = N\lambda \quad \rightarrow \quad A = N\lambda = N_0 \lambda \cdot e^{-\lambda t}$

1 curie = 3,7 10¹⁰ désintégrations /s = 3,7 10¹⁰ Becquerel 1Bq=1desintegration/s.

Les phénomènes nucléaires : la radioactivité



Différents types de radioactivité



Les phénomènes nucléaires : la radioactivité



L'activité partielle :
$$\frac{dN_i}{dt} = -N\lambda_i = -\lambda_i N_0 e^{-\lambda t}$$

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

L'activité totale :
$$\frac{dN}{dt} = \sum_i \frac{dN_i}{dt} = -N \sum_i \lambda_i = -\lambda N$$

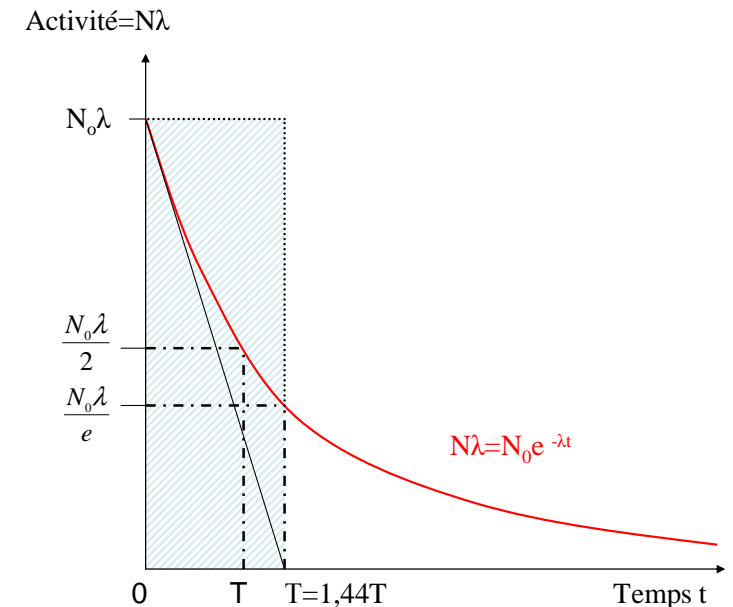
$$A = \lambda N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

Les activités partielles décroissent en fonction du temps t exponentiellement suivant $e^{-\lambda t}$ et non $e^{-\lambda_i t}$

Période : c'est le temps nécessaire à la disparition de la moitié de l'échantillon

$$N = \frac{N_0}{2} \quad \text{pour } t=T \rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \quad T = \frac{\log 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Vie moyenne : $\tau = \frac{1}{\lambda}$ avec $\lambda = 0,693/T$, $\tau = 1,44T$



Environs 30 périodes sont nécessaires pour estimer que le produit a disparu.

La radioactivité : temps de demi-vie

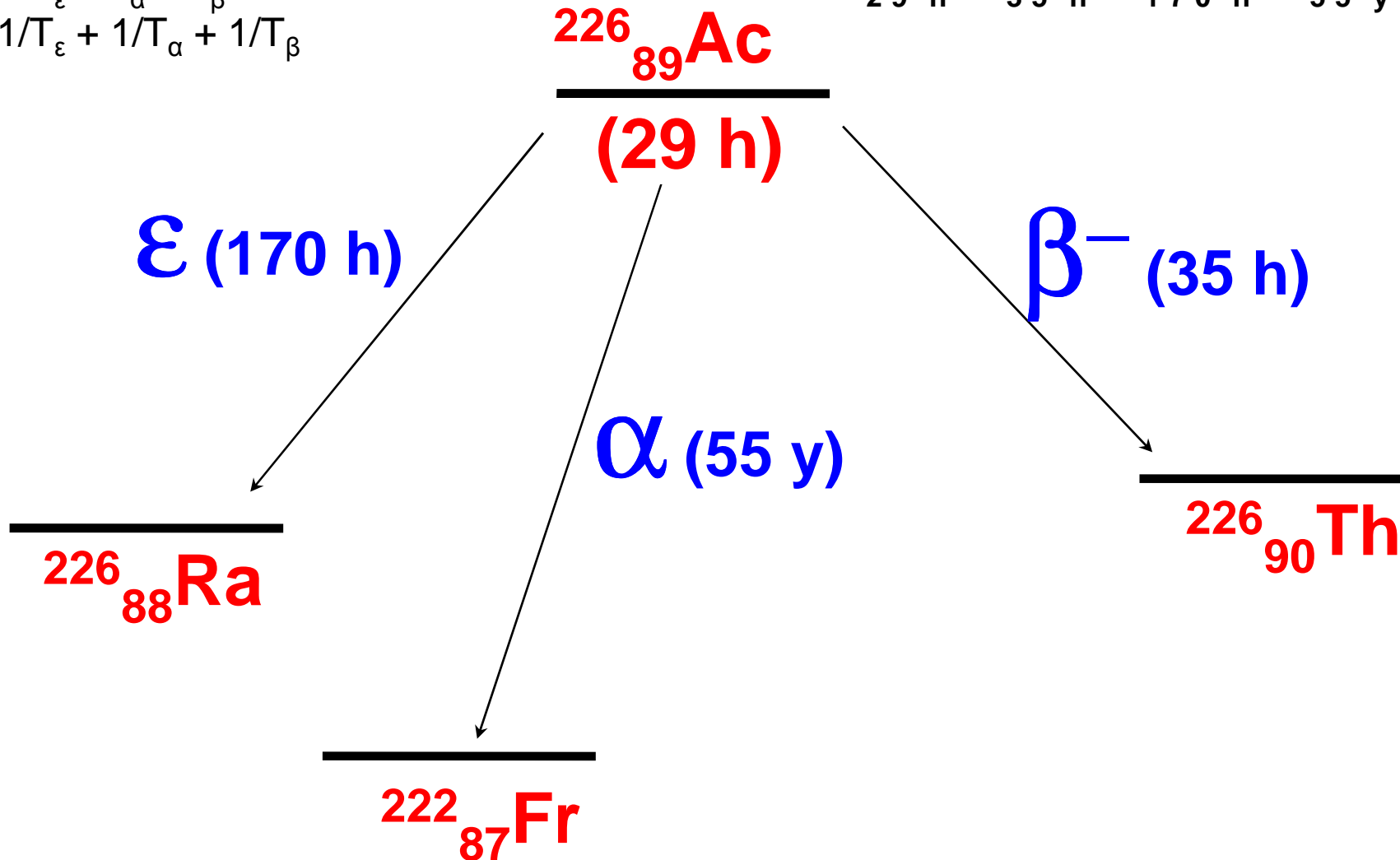


$$T=1/\lambda \quad \lambda=1/T$$

$$\lambda = \lambda_{\epsilon} + \lambda_{\alpha} + \lambda_{\beta}$$

$$1/T = 1/T_{\epsilon} + 1/T_{\alpha} + 1/T_{\beta}$$

$$\frac{1}{29 \text{ h}} = \frac{1}{35 \text{ h}} + \frac{1}{170 \text{ h}} + \frac{1}{55 \text{ y}}$$



la radioactivité : temps de demi-vie



Quelques exemples :

Les temps de vie couvrent plusieurs ordres de grandeur:

Nitrogen 16	$T_{1/2} = 7.13 \text{ s}$
Oxygen 15	$= 2.037 \text{ mn}$
Radium 224	$= 3.62 \text{ d}$
Carbon 14	$= 5730 \text{ y}$
Molybdenum 100	$= 10^{19} \text{ y}$
Tellurium 124	$= 2.2 \cdot 10^{28} \text{ y}$

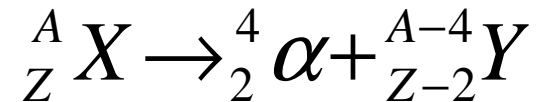
Le phénomènes nucléaires : la radioactivité α



Pour les noyaux lourds

Définition :

Noyau instable atteint ou tend vers la stabilité par émission d'une particule α .



X est le noyau initial ou parent ; Y est le noyau final : il est plus stable que le parent

L'énergie de liaison totale c'est l'énergie de liaison nucléaire moins l'énergie coulombienne

→ L'énergie totale diminue lorsque A augmente

→ L'excès de neutron est nécessaire.

Tendance à la stabilité par perte de charge et perte d'énergie d'excitation.

La particule α est la particule idéale pour cela $\Delta Z=2$ et une énergie de liaison importante de 28,28 MeV donc E^* diminue et la charge également.

Le phénomènes nucléaires : la radioactivité β



L'interaction forte diminue la masse du noyau, la différence entre la somme des masse des constituants et la masse du noyau est appelée énergie de liaison.

De même le **proton** et le **neutron** sont des systèmes composés.

La masse du **neutron** étant plus grande que la masse du **proton** :

le **proton** est plus stable que le **neutron**

et donc

le **neutron** peut se désintégrer en **proton**.

(le proton a un temps de vie quasi infini $\geq 10^{33}$ ans.)

En revanche, au sein du noyau le neutron est stable :

Si la masse du noyau (Z,N) est **inférieure** à la masse du noyau (Z+1,N-1) les **neutrons** dans le noyau (Z,N) **ne se désintègrent pas**.

A l'inverse

si la masse du noyau (Z,N) est **supérieure** à la masse du noyau (Z+1,N-1) **un neutron peut se désintégrer en proton**, on dit qu'il y a désintégration β .

Le phénomènes nucléaires : la radioactivité β



Formule de masse et désintégration β

Isobares : $A = \text{Constante}$

$$\beta^- : (A, Z) \rightarrow (A, Z+1) + e^- + \bar{\nu}$$

$$\beta^+ : (A, Z) \rightarrow (A, Z-1) + e^+ + \nu$$

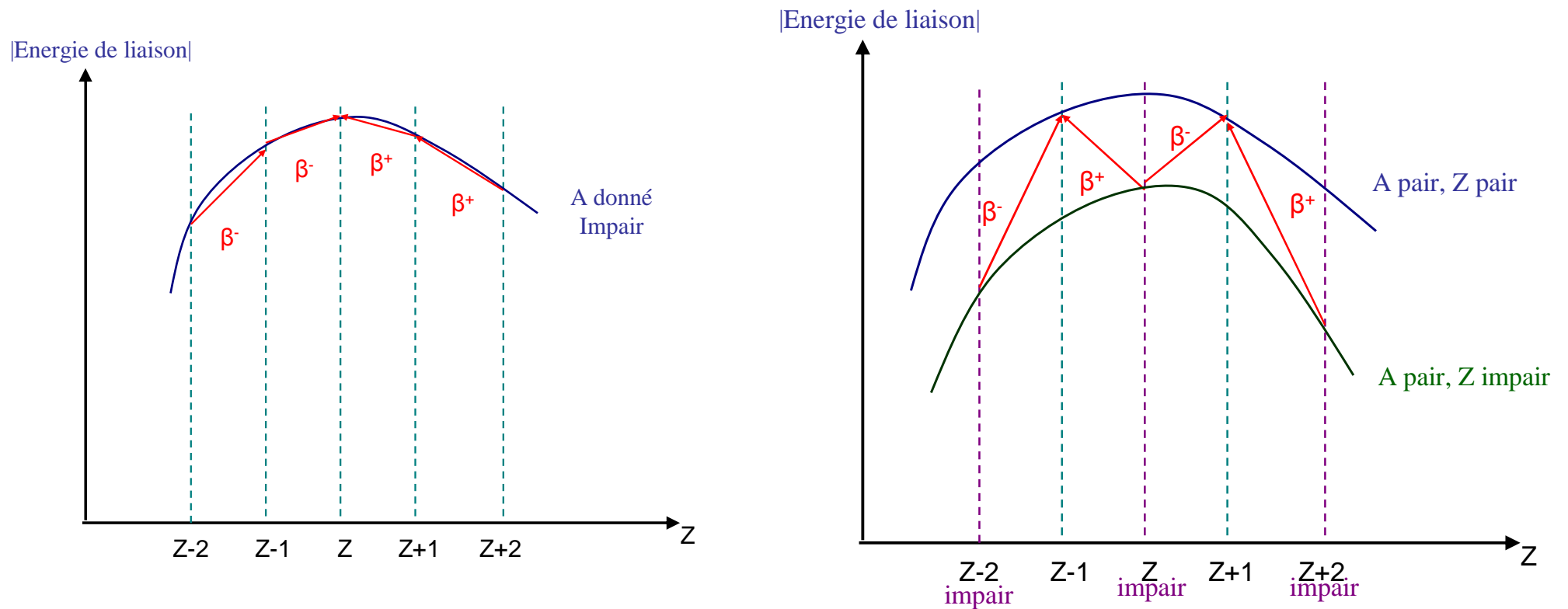
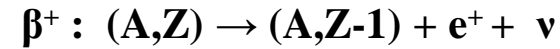
$$\ll \varepsilon \gg : (A, Z) + e^- \rightarrow (A, Z-1) + \bar{\nu} \quad : \text{Capture électronique}$$

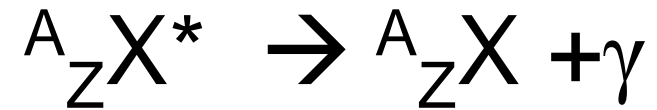
Les phénomènes nucléaires : la radioactivité β



Isobares : $A = \text{Constante}$

parabole de masse : $M(A,Z) = a + b Z + c Z^2 + d, (\delta = -d, 0, +d)$





On reste dans le même noyau.
Il y a désexcitation par émission d'un photon.
Par exemple : décroissance d'un état isomère.

Quelques phénomènes nucléaires



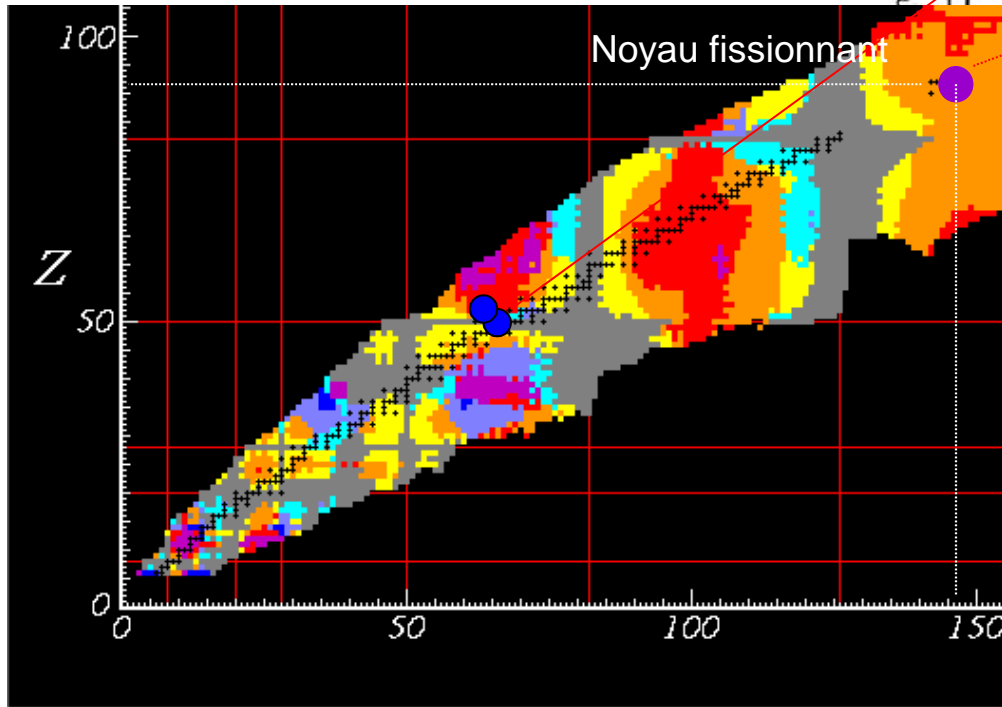
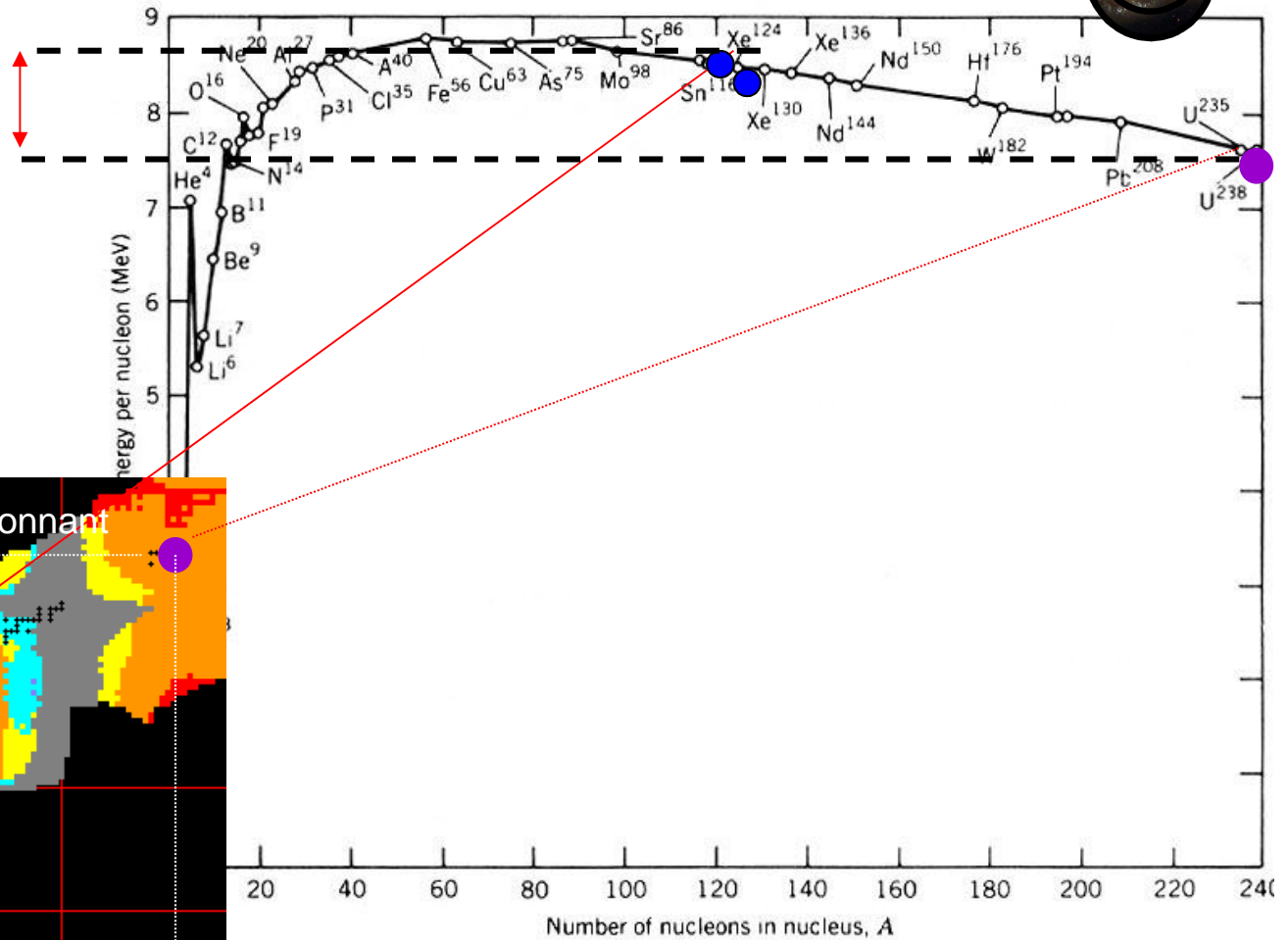
La radioactivité : α , β , γ

La fission

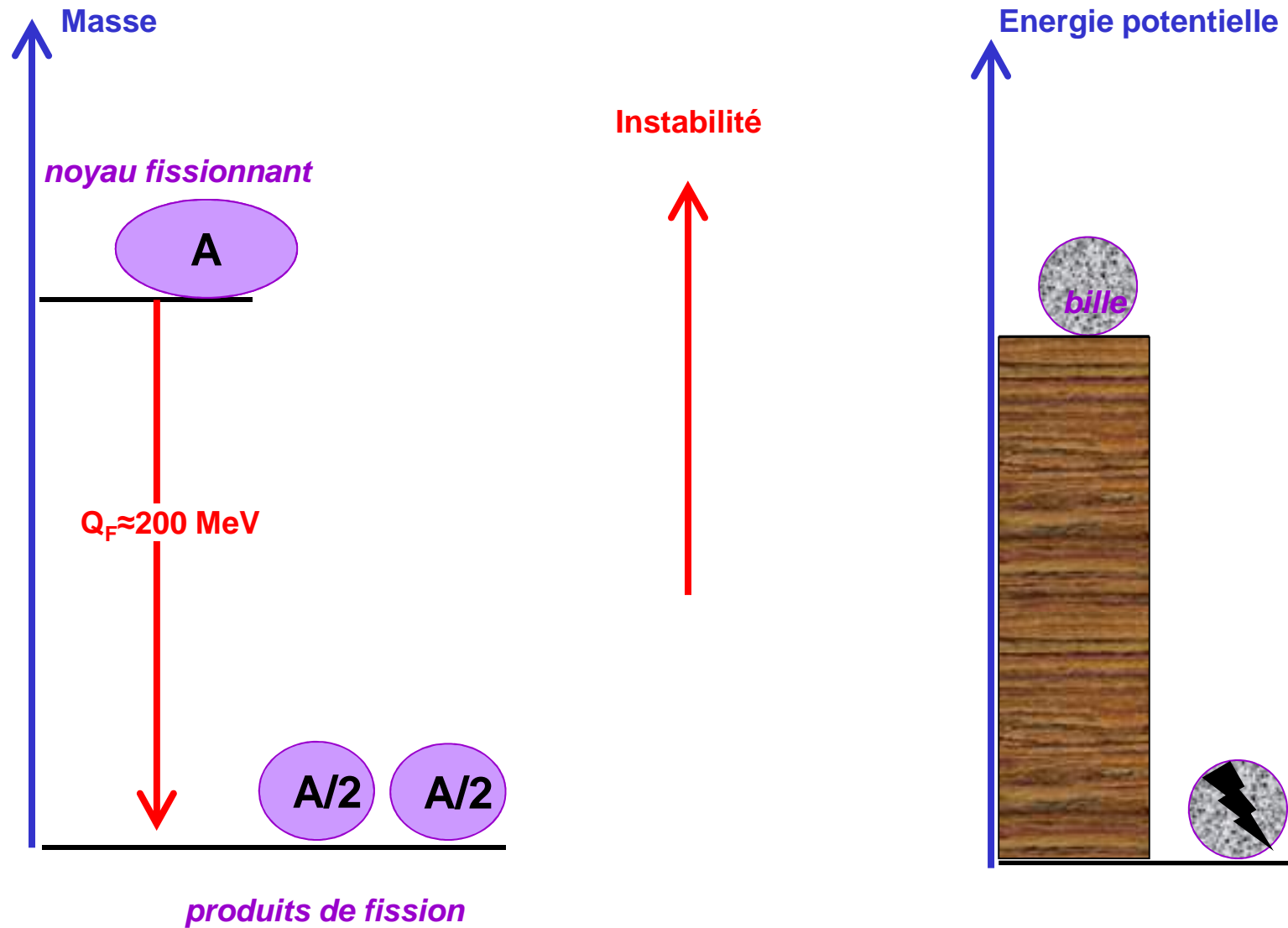
Les phénomènes nucléaires : Le processus de la fission



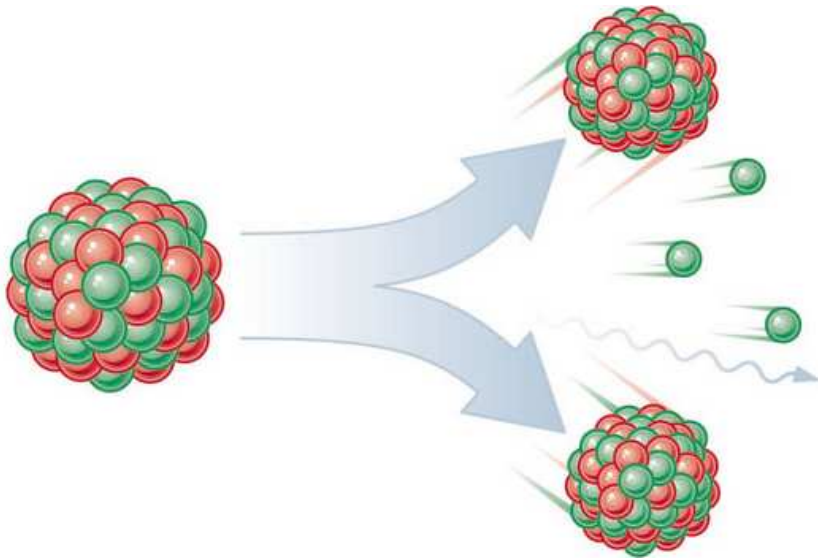
$$E = 8.5 A/2 + 8.5 A/2 - 7.5 A \approx 200\text{MeV}$$



Les phénomènes nucléaires : Le processus de la fission



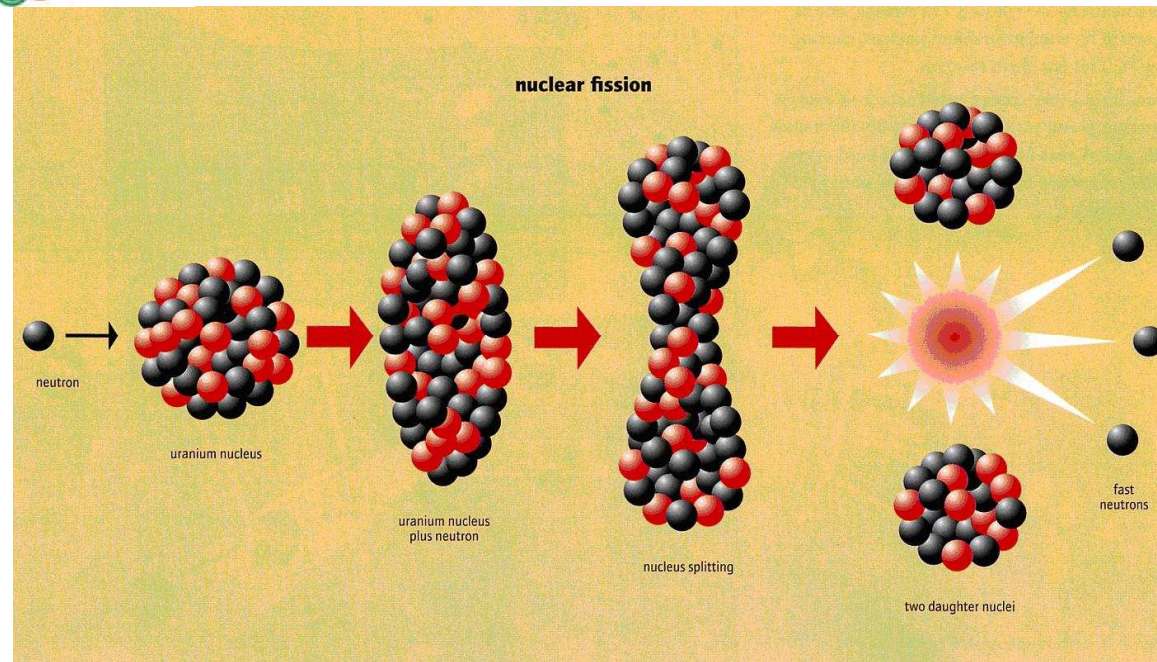
Les phénomènes nucléaires : Le processus de la fission



spontanée

Seulement 19 noyaux connus
fissionnent spontanément

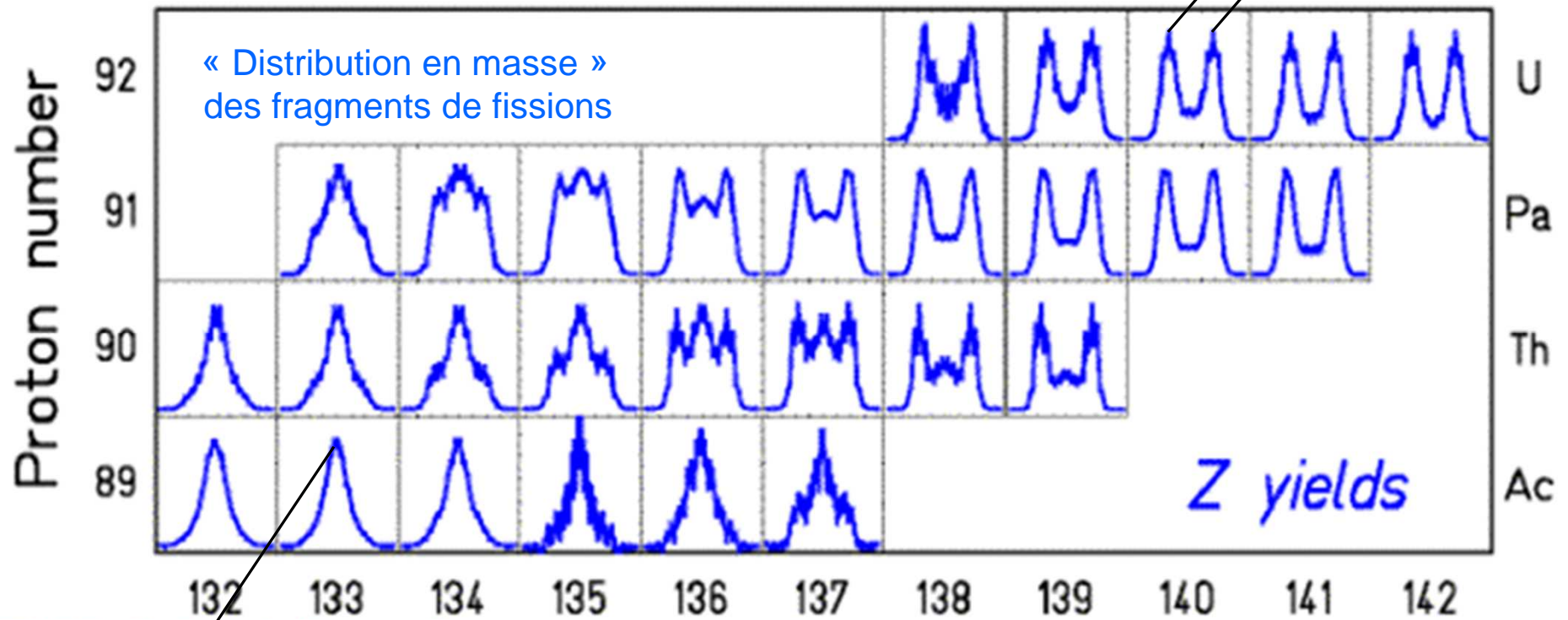
Fission induite
par neutron, gamma
ou diffusion avec un autre noyau...



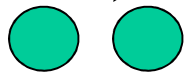
Les phénomènes nucléaires : Le processus de la fission



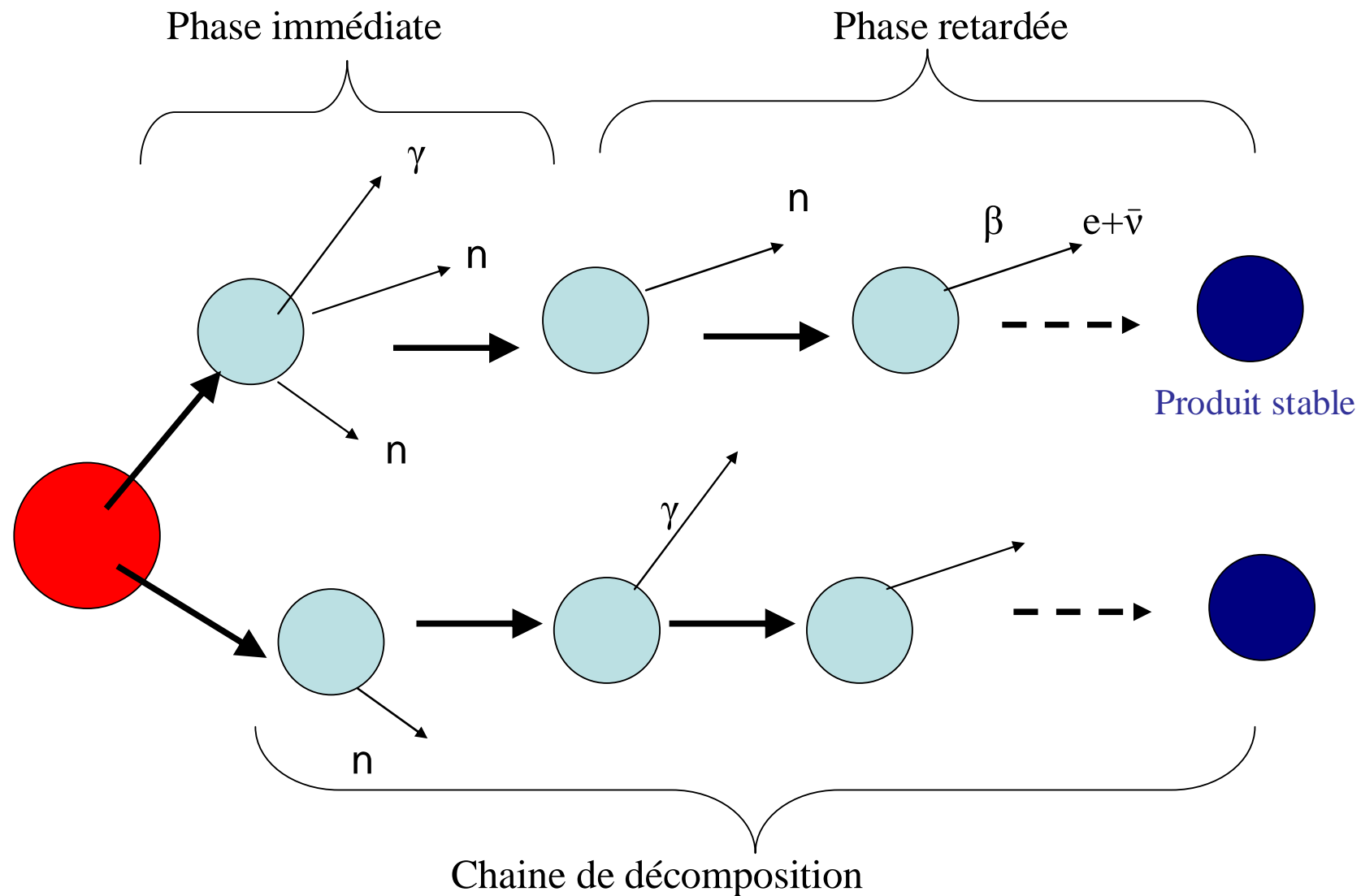
Symétrique ou asymétrique



K-H. Schmidt *et al*, Nucl. Phys. A665 (2000) 221



Les phénomènes nucléaires : Le processus de la fission





Qu'est ce que le noyau de l'atome ?

Découverte du noyau et les premiers modèles classiques

Le noyau est un système complexe

Le noyau est composé de nucléons (protons et neutrons) liés par l'interaction forte.

Les caractéristiques du noyau

Existence

Forme, rayon, densité

Énergie de liaison

Stabilité

État fondamental et états excités

Le spin du noyau

Spectroscopie nucléaire

Les isomères

Les réactions nucléaires

Caractéristiques, Systèmes de référence

Les grandeurs conservées et le bilan énergétique

Voies ouvertes voies fermées, section efficace

Quelques phénomènes nucléaires

La radioactivité (α , β , γ) est un phénomène spontané

La fission peut être spontanée (id. radioactivité) ou induite (id réaction)