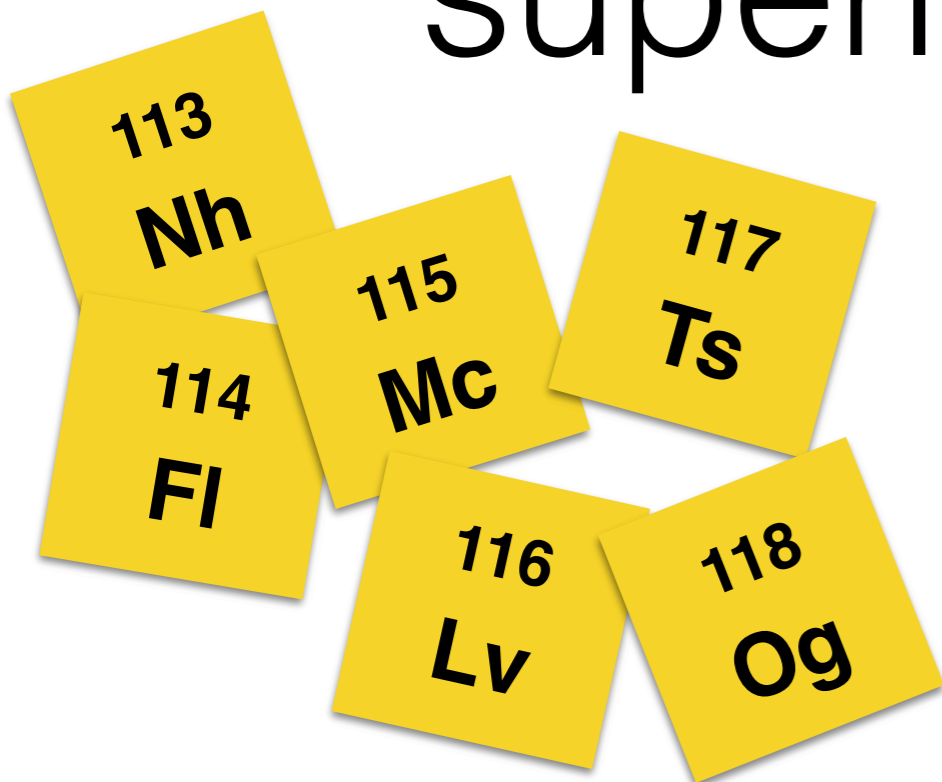


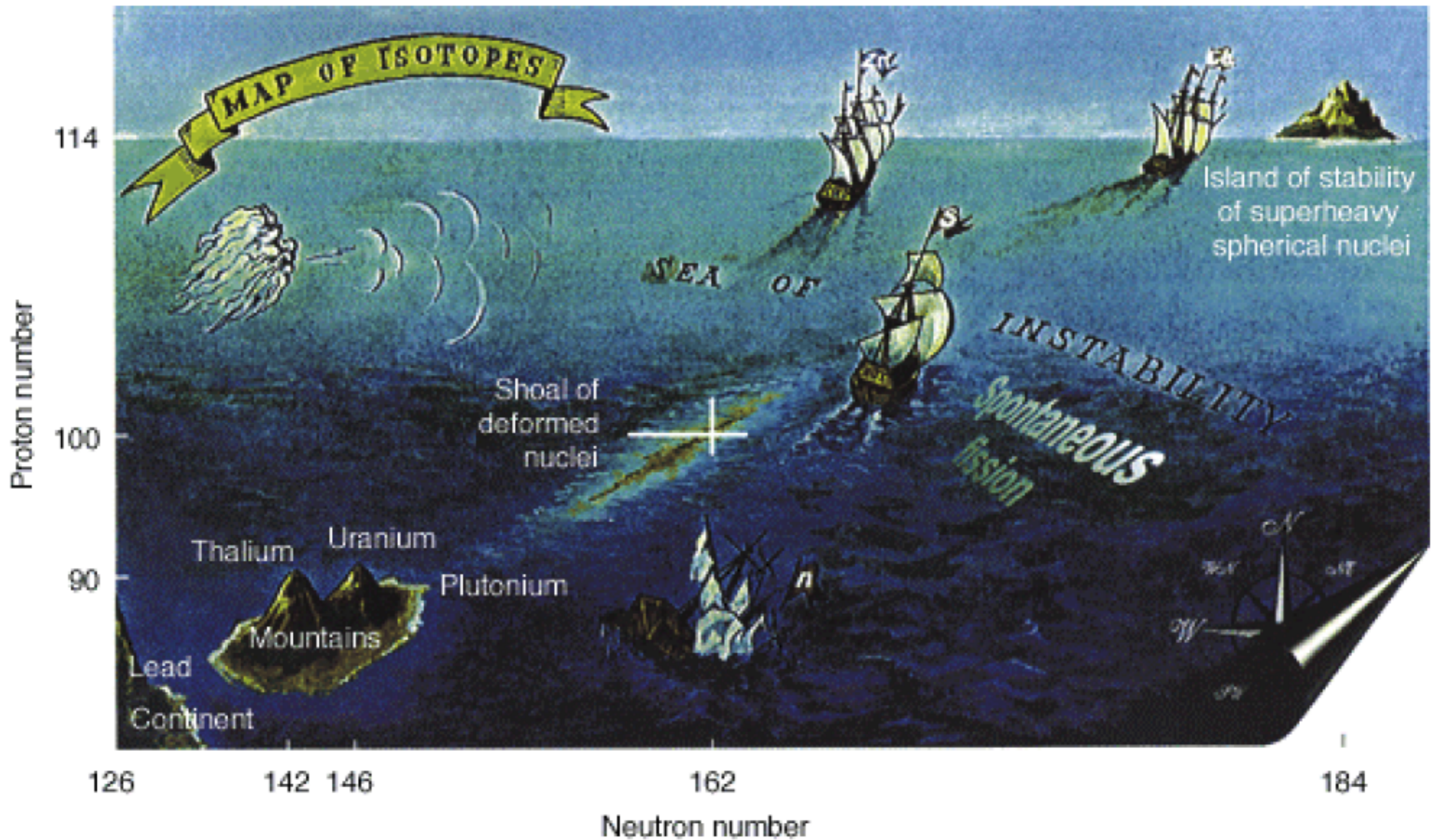
L'îlot de stabilité dans la région des noyaux superlourds et au-delà



Julien Piot

Les grandes questions en physique nucléaire fondamentale
21-22 juin 2016





Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Modèle
en
couches

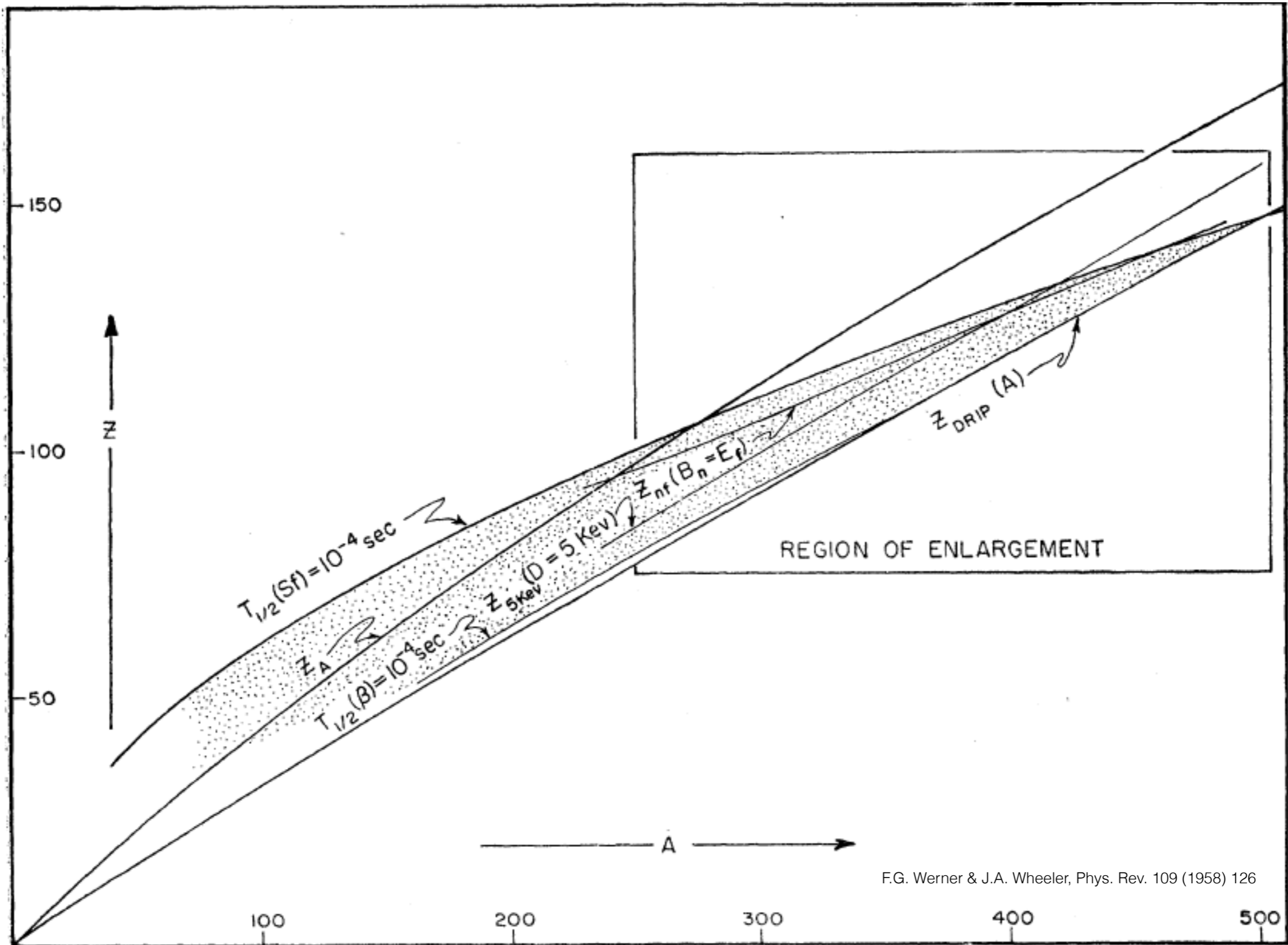
Les couches sphériques existent jusqu'à $Z=82$ et $N=126$.
Pourquoi pas au-delà ?

Goutte
Liquide

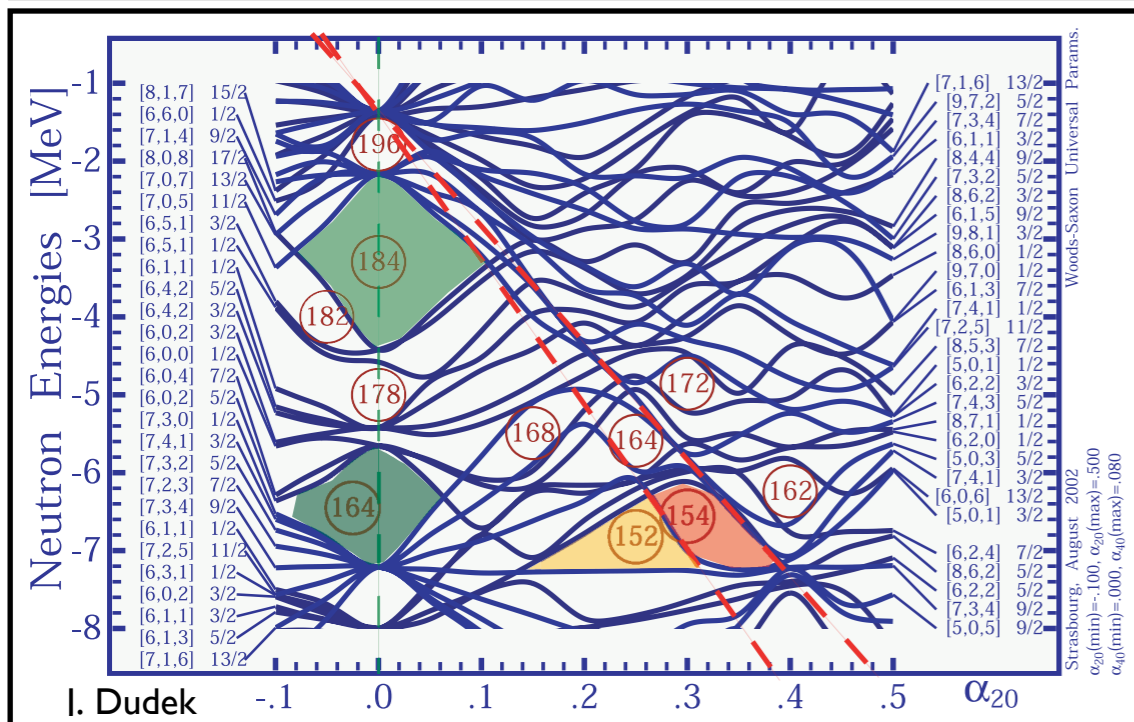
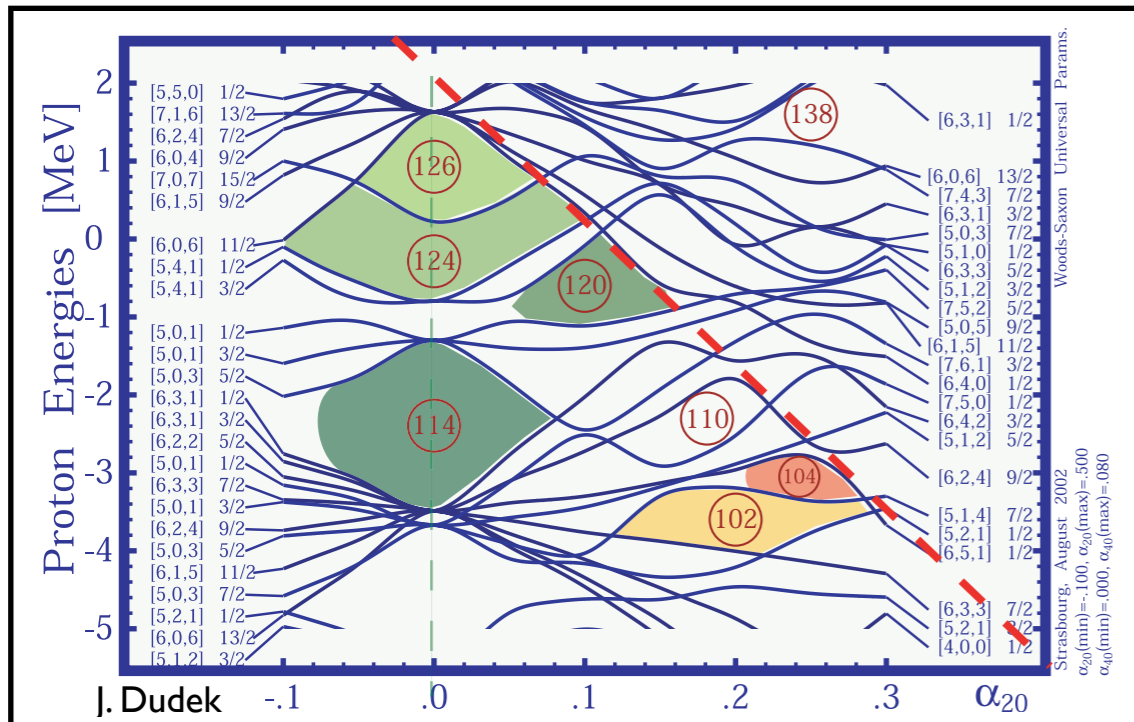
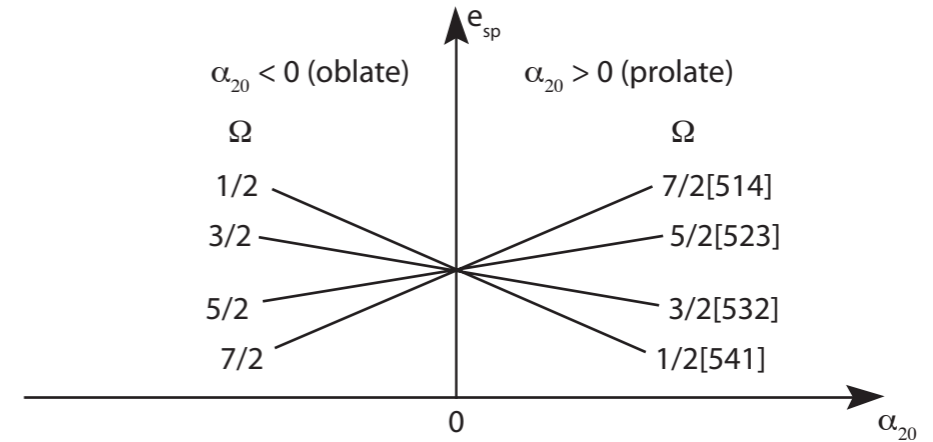
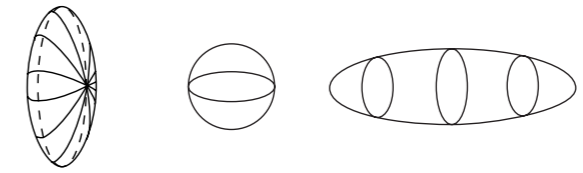
La Barrière de Fission disparaît autour de $Z=100$

Le noyau n'est pas forcément sphérique

Le terme Coulombien tend à déformer le noyau vers la fission
Le terme de surface tend à stabiliser le noyau sphérique



Influence de la déformation

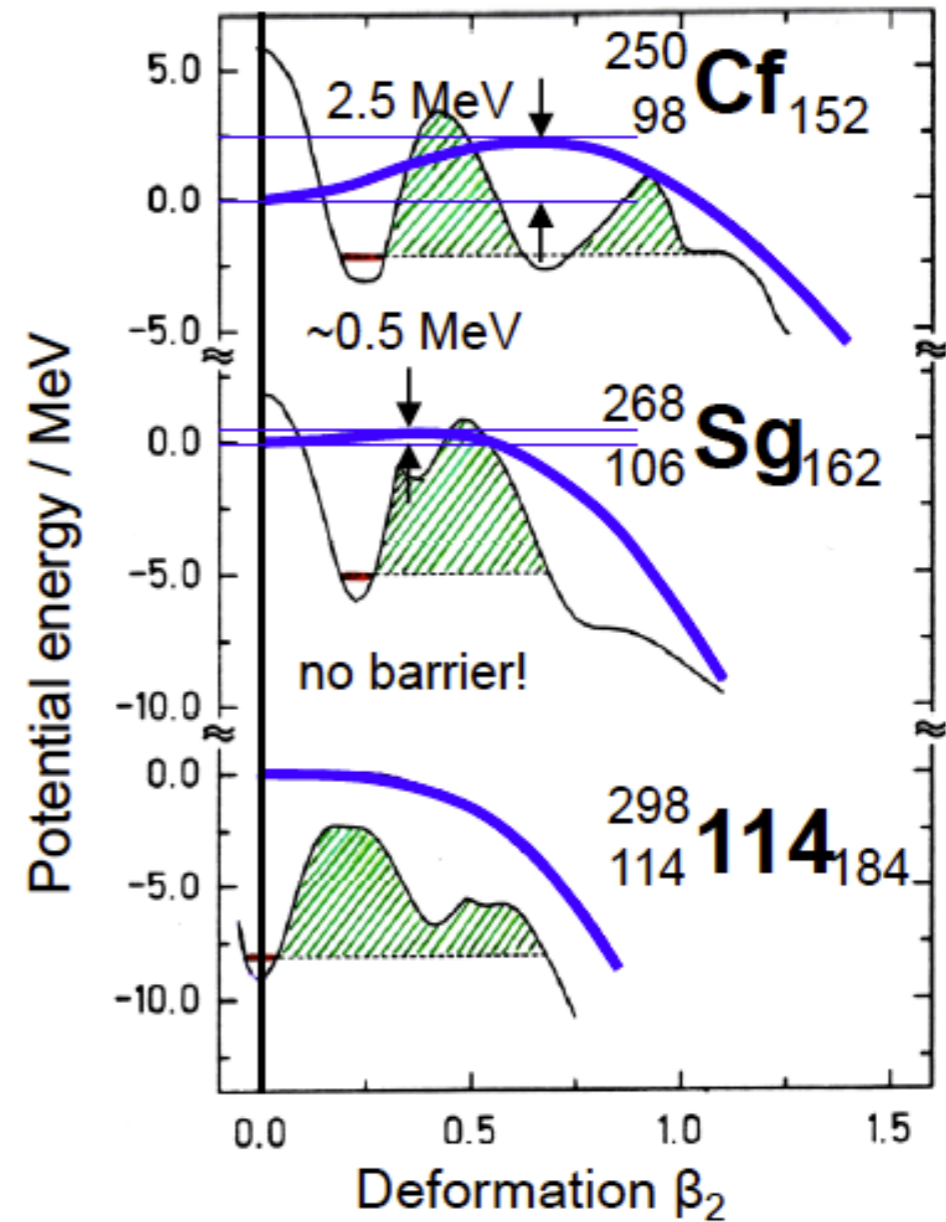
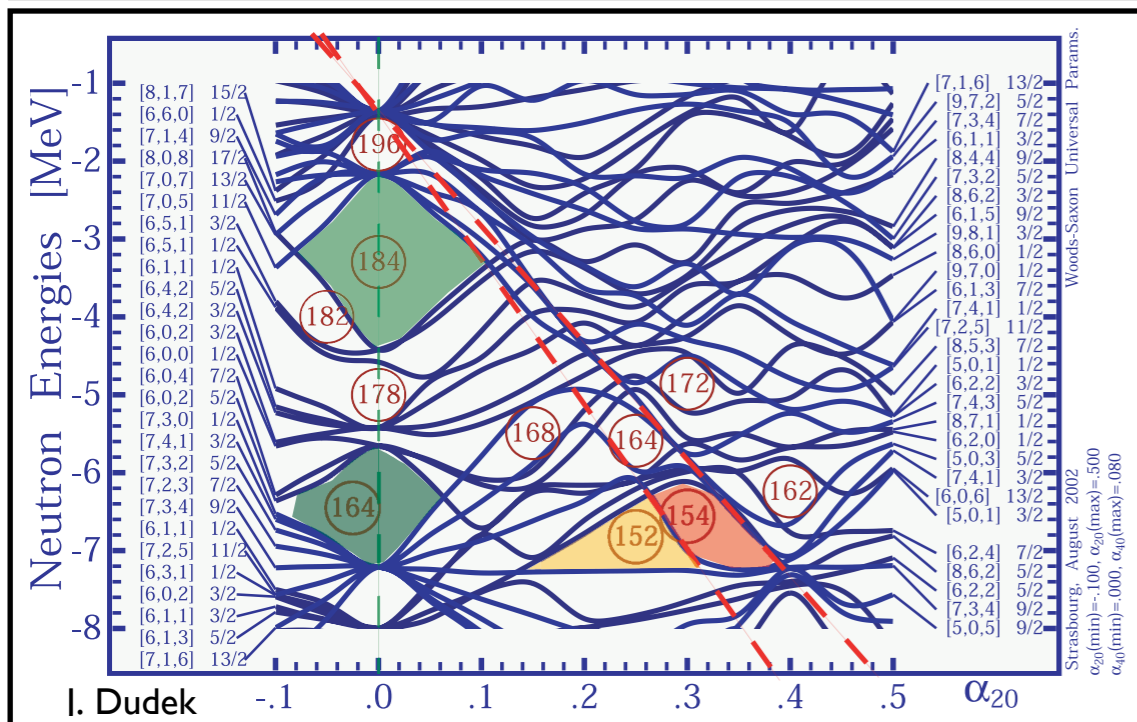
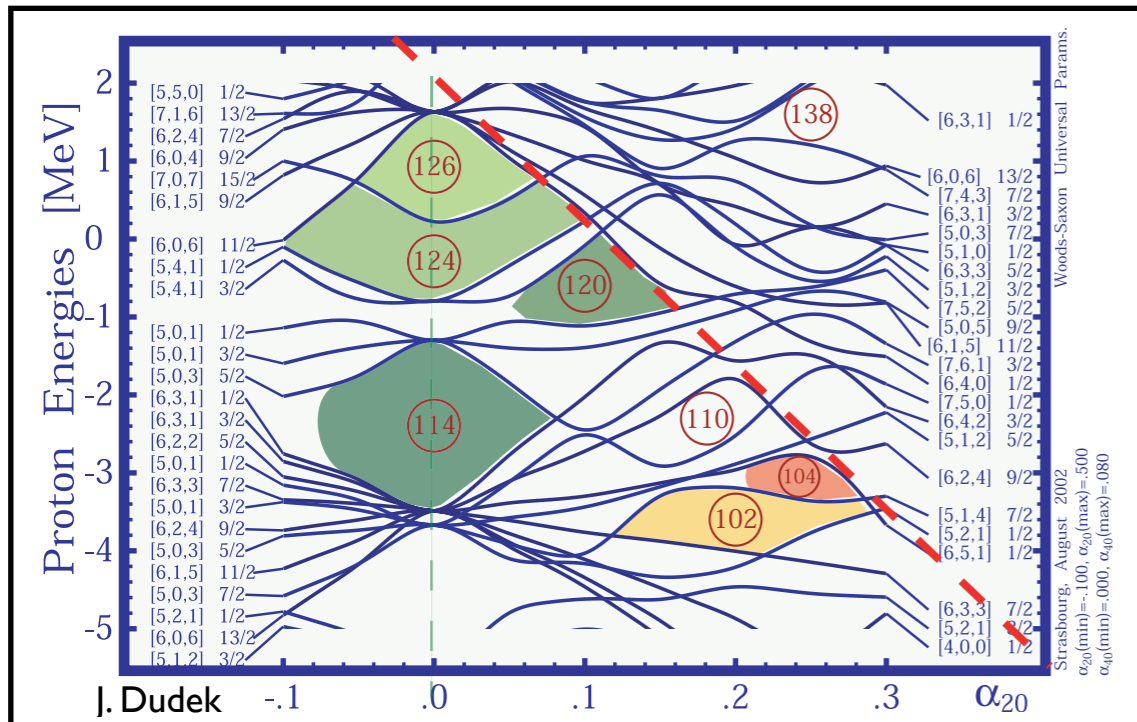
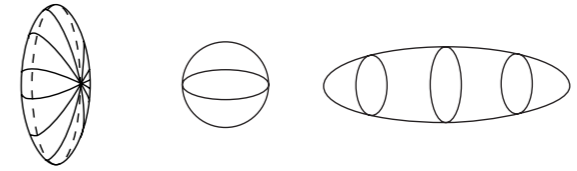


La déformation lève la dégénérescence selon j

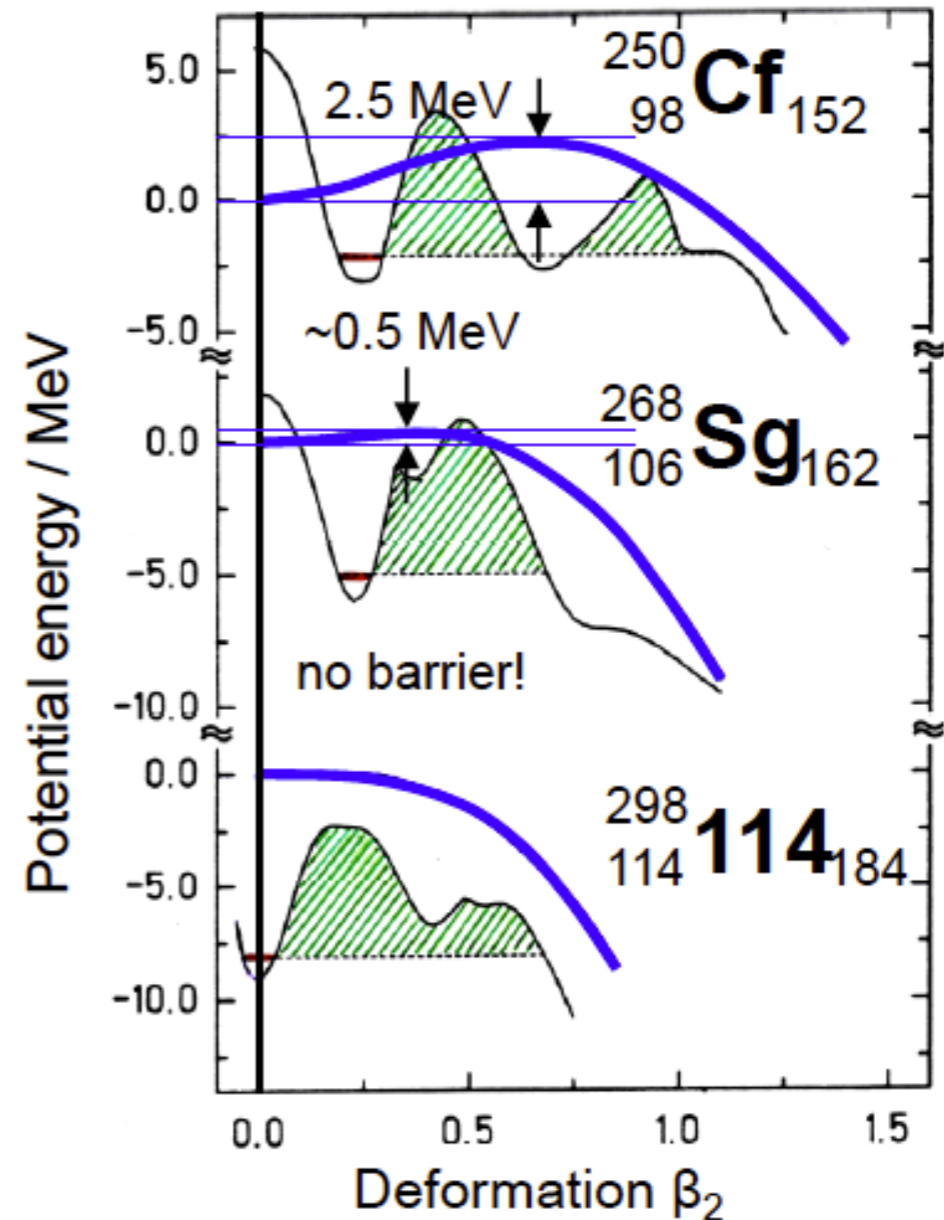
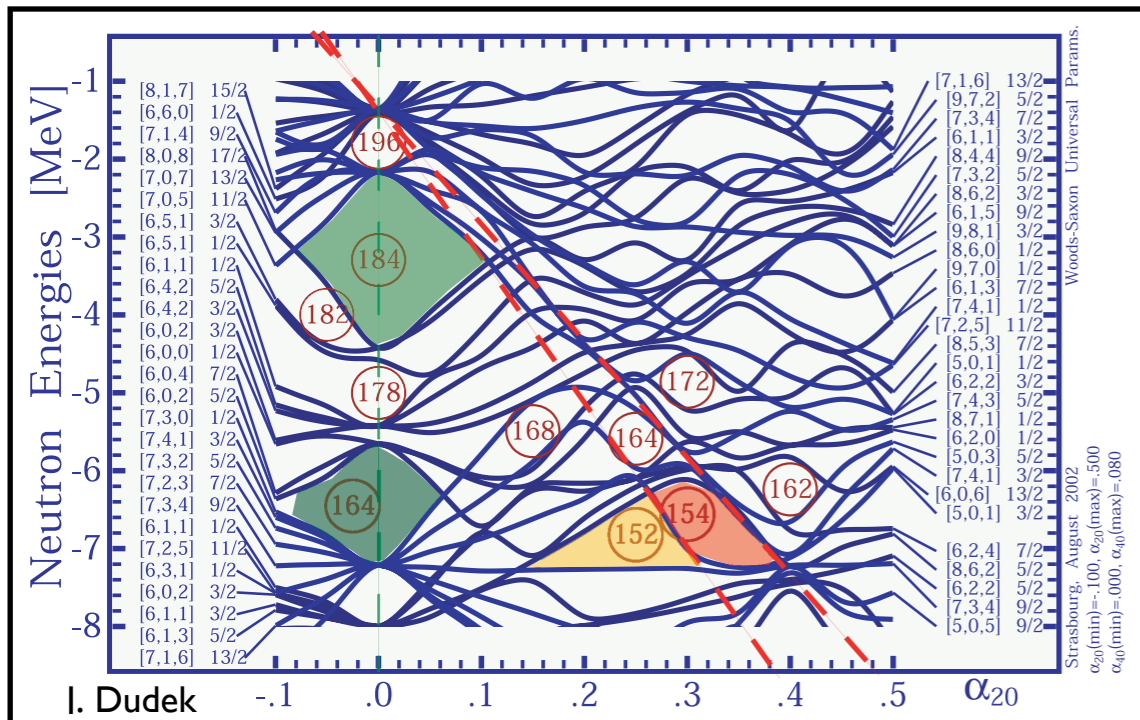
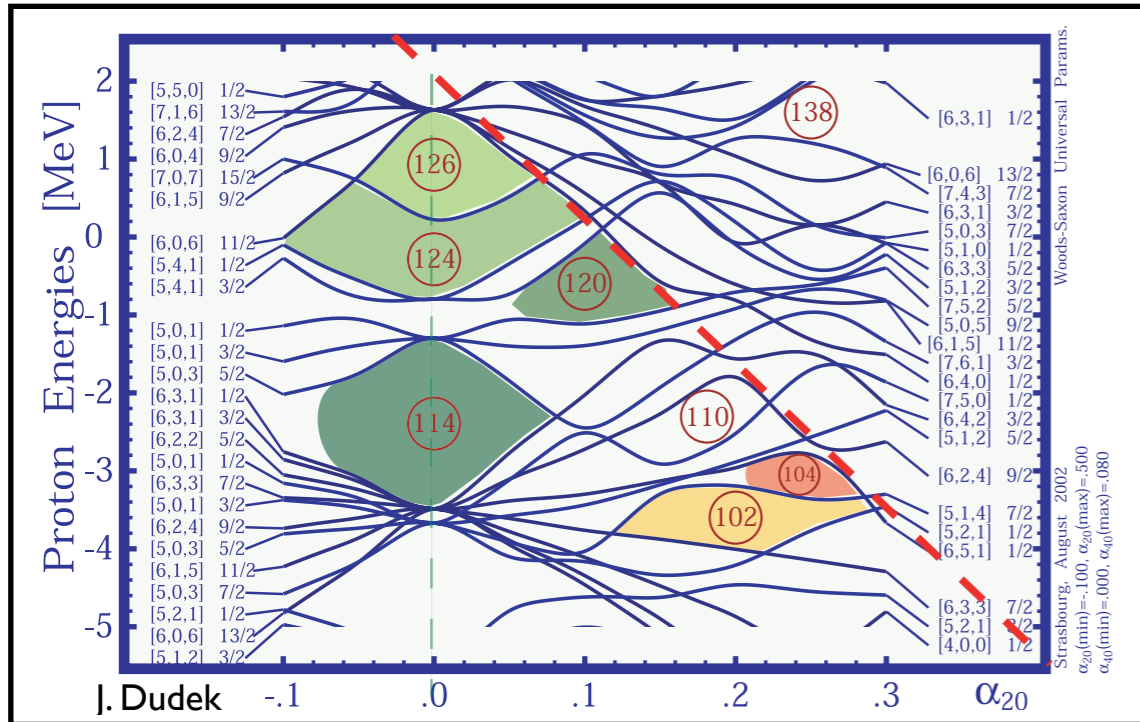
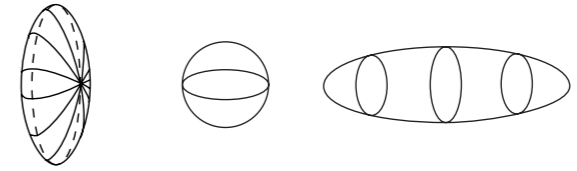
Fermeture des gaps sphérique
Ouverture de gaps déformés

Intrusion d'orbitales de haut spin dans la région transfermium

Influence de la déformation



Influence de la déformation



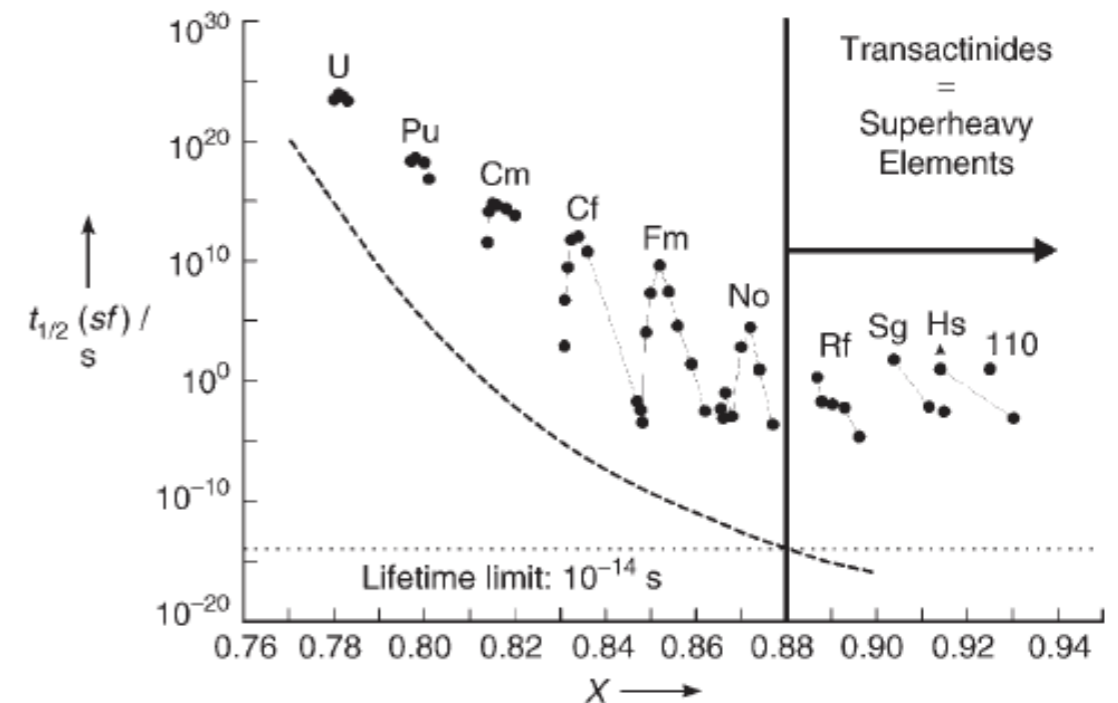
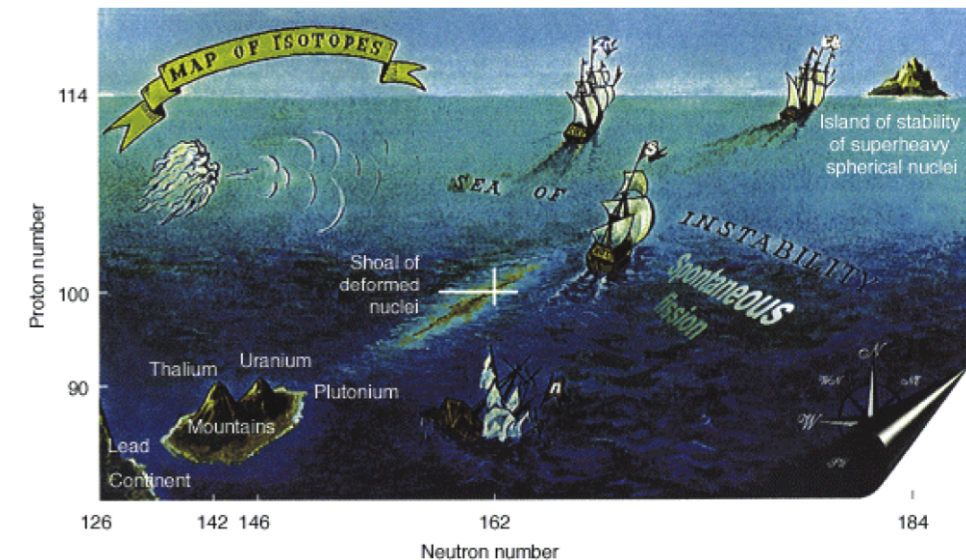
Laboratoire pour tester les effets de couche

Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Un noyau plus lourd que tout ce qu'on connaissait en 1955

Quelques définitions :

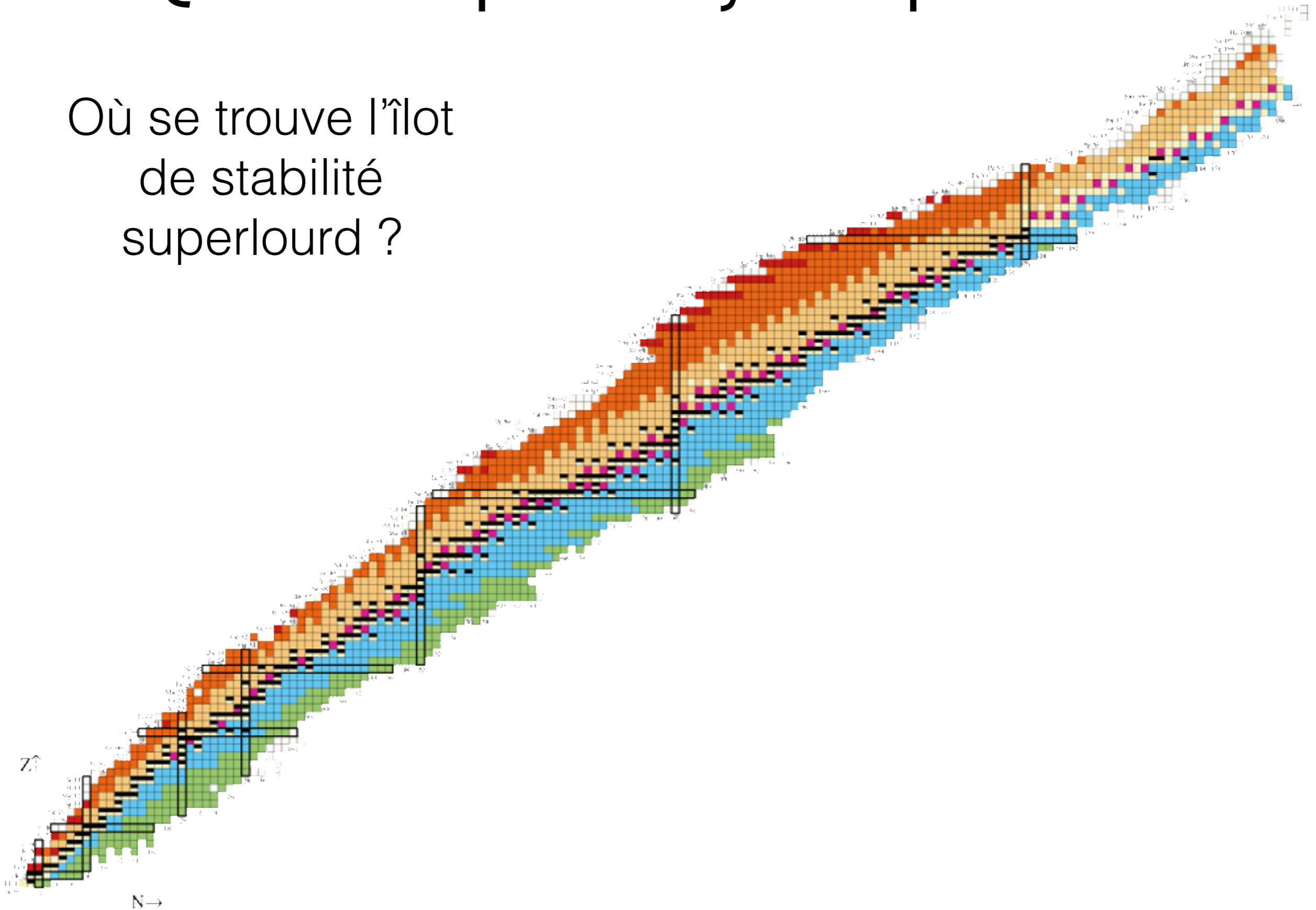
- Noyau plus lourd que lourd ... on préférera transactinide
- Noyau sphérique stable avec $Z > 82$ et $N > 126$
- Barrière de fission macroscopique $\leq 0,5$ MeV, stabilité due aux effets de couche
- $Z \geq 104$



M. Schädel, Angew. Chem. Int.Ed. 45 (2006) 368

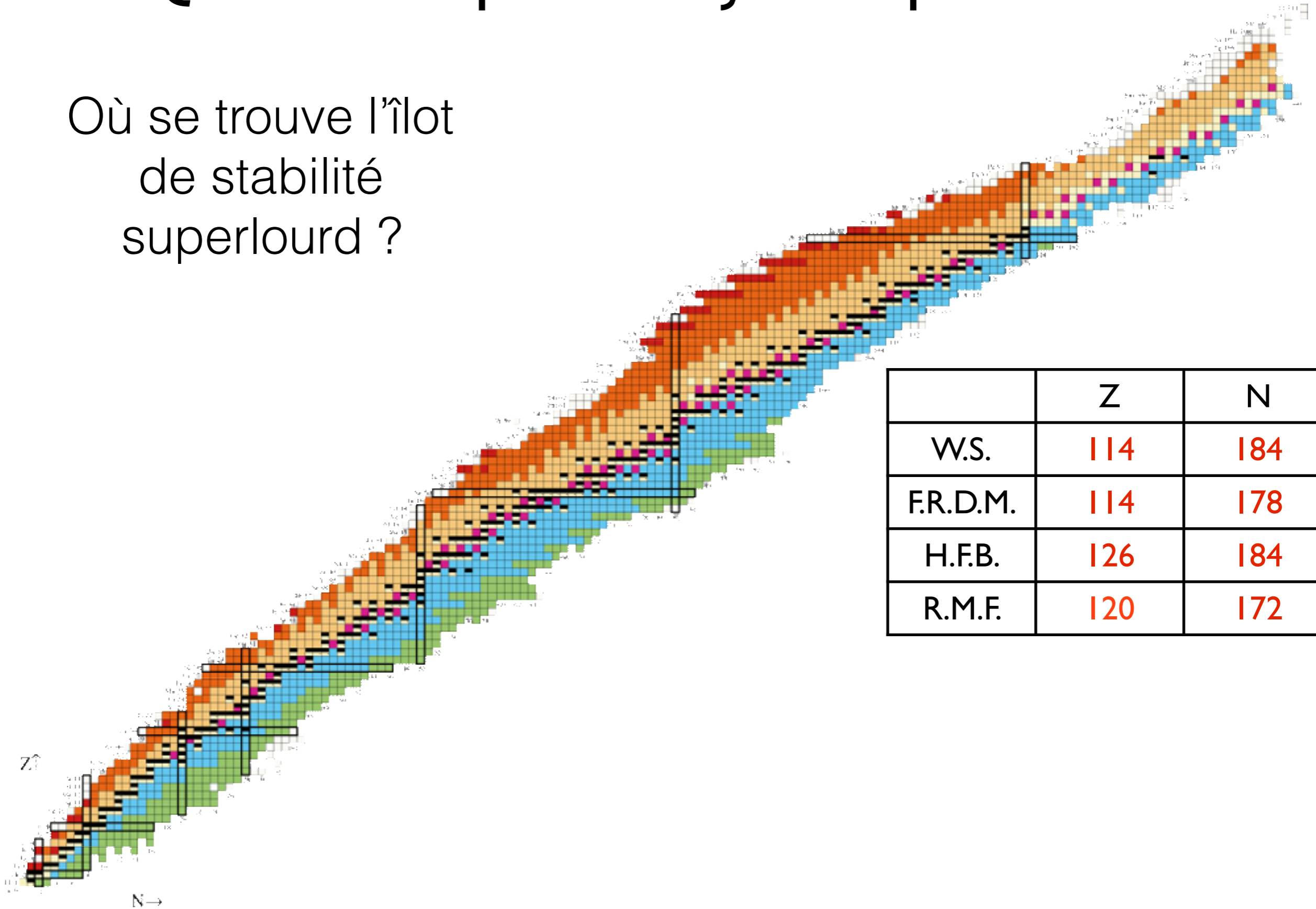
Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Où se trouve l'îlot de stabilité superlourd ?



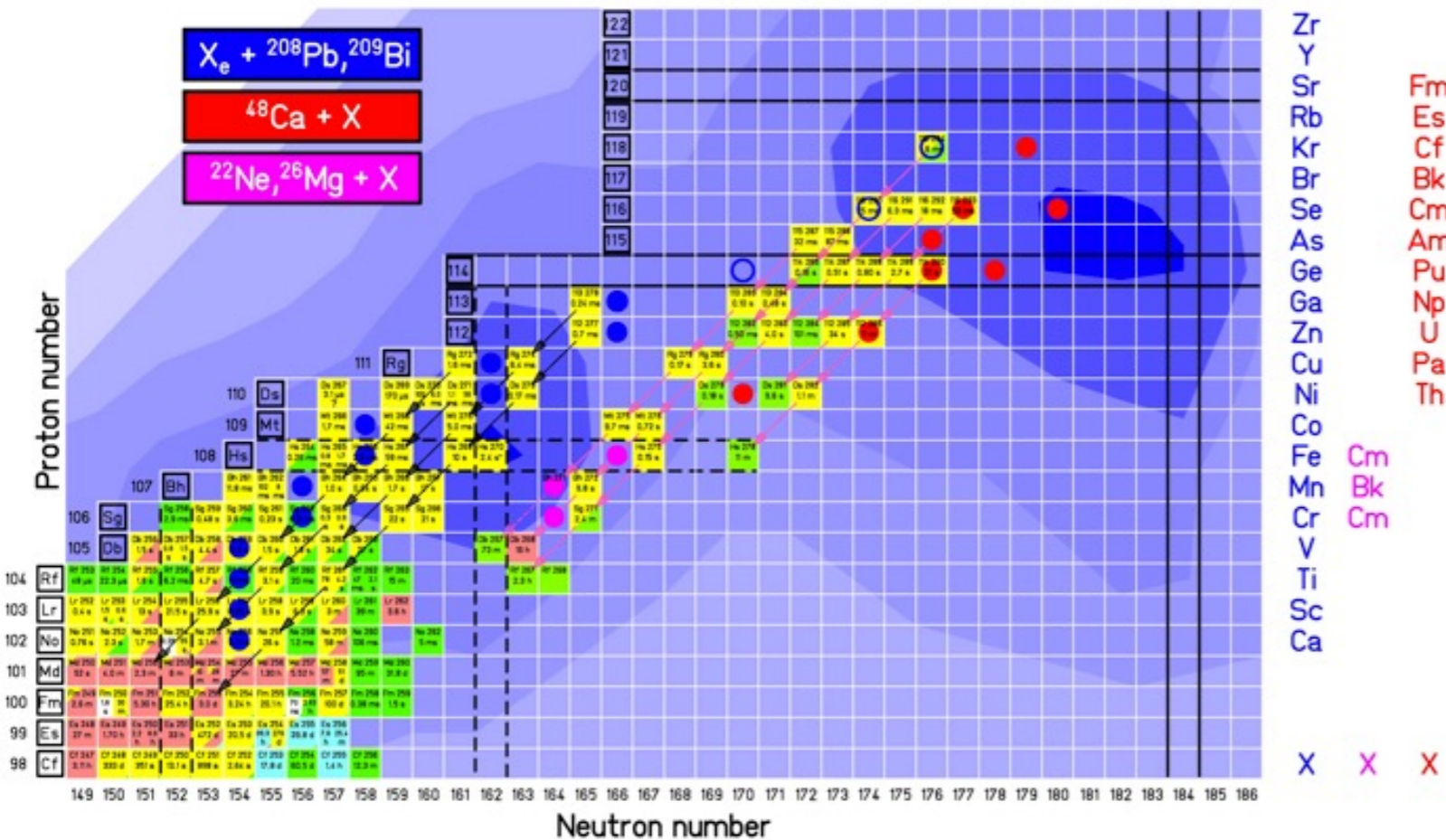
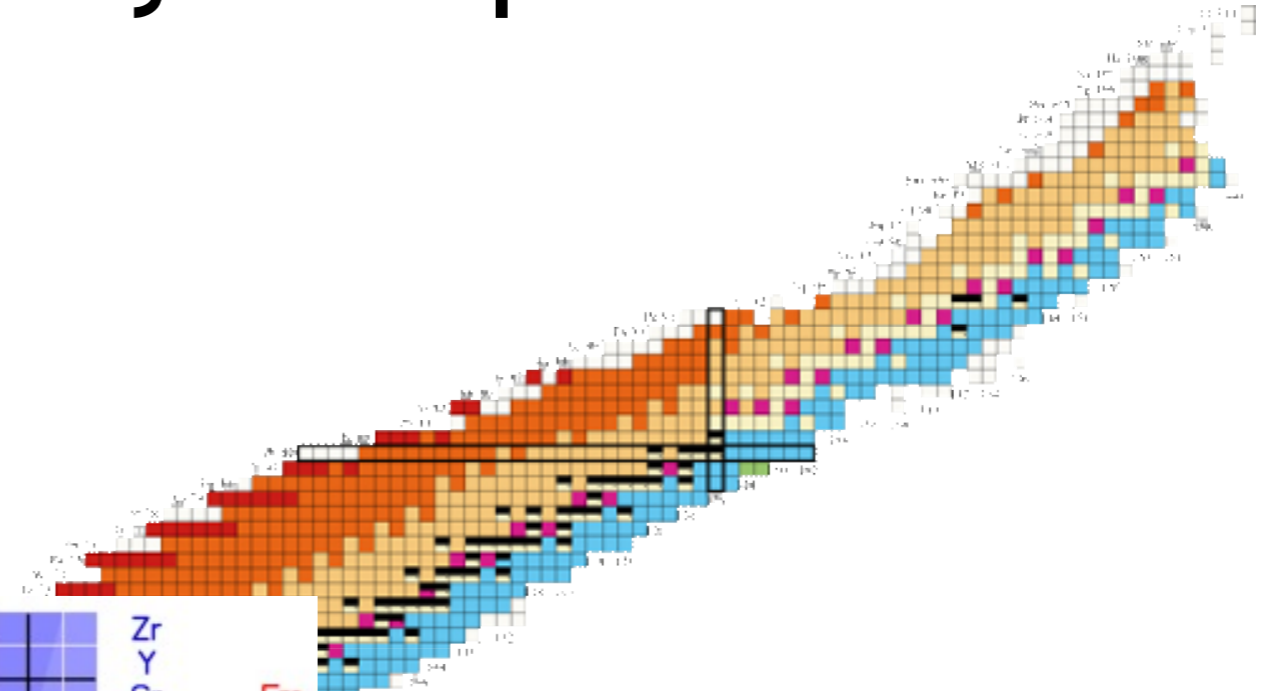
Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Où se trouve l'îlot de stabilité superlourd ?

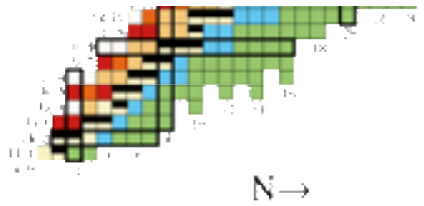


Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Où se trouve l'îlot de stabilité superlourd ?

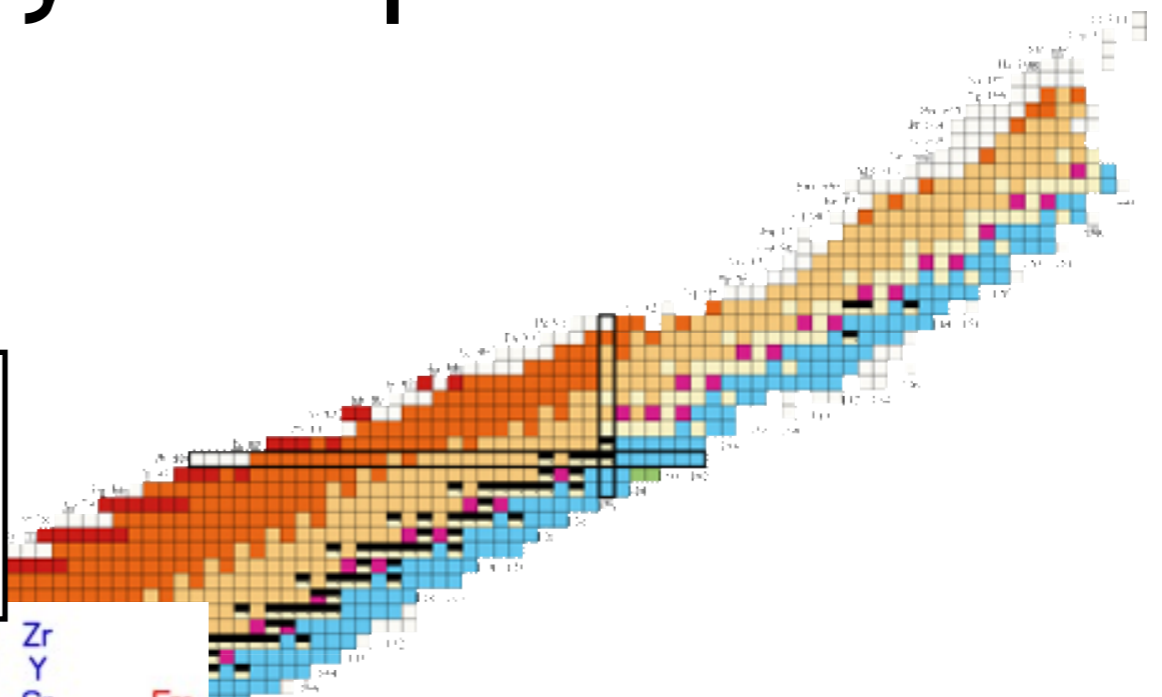
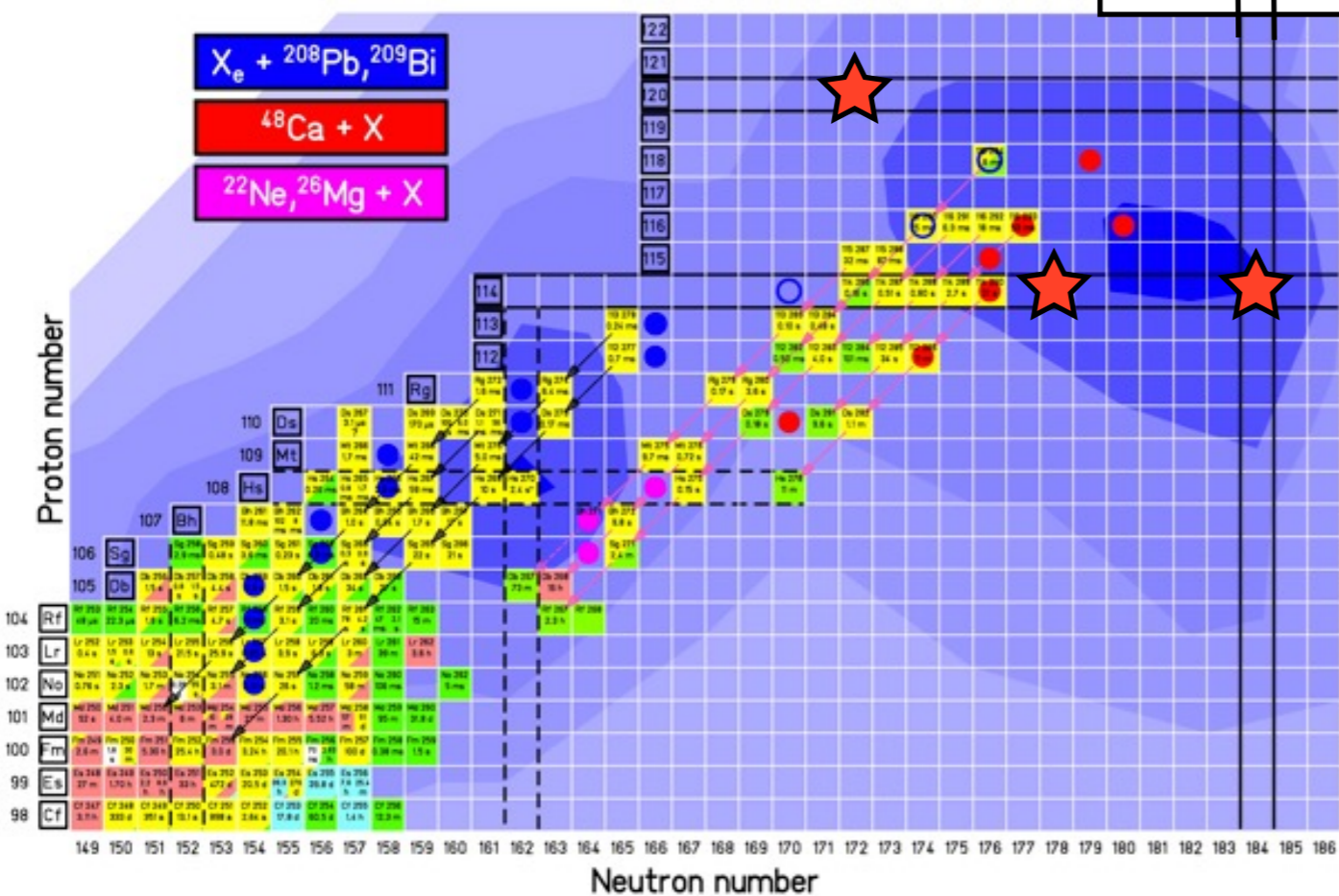


	Z	N
W.S.	114	184
F.R.D.M.	114	178
H.F.B.	126	184
R.M.F.	120	172



Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

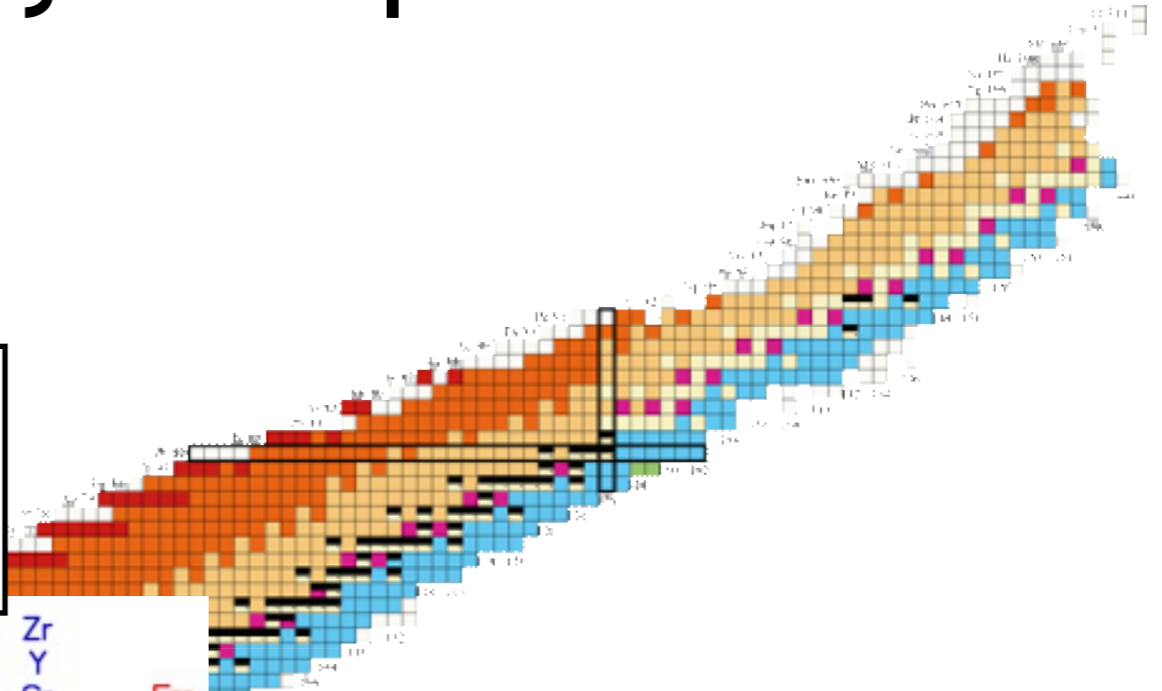
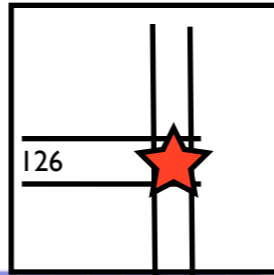
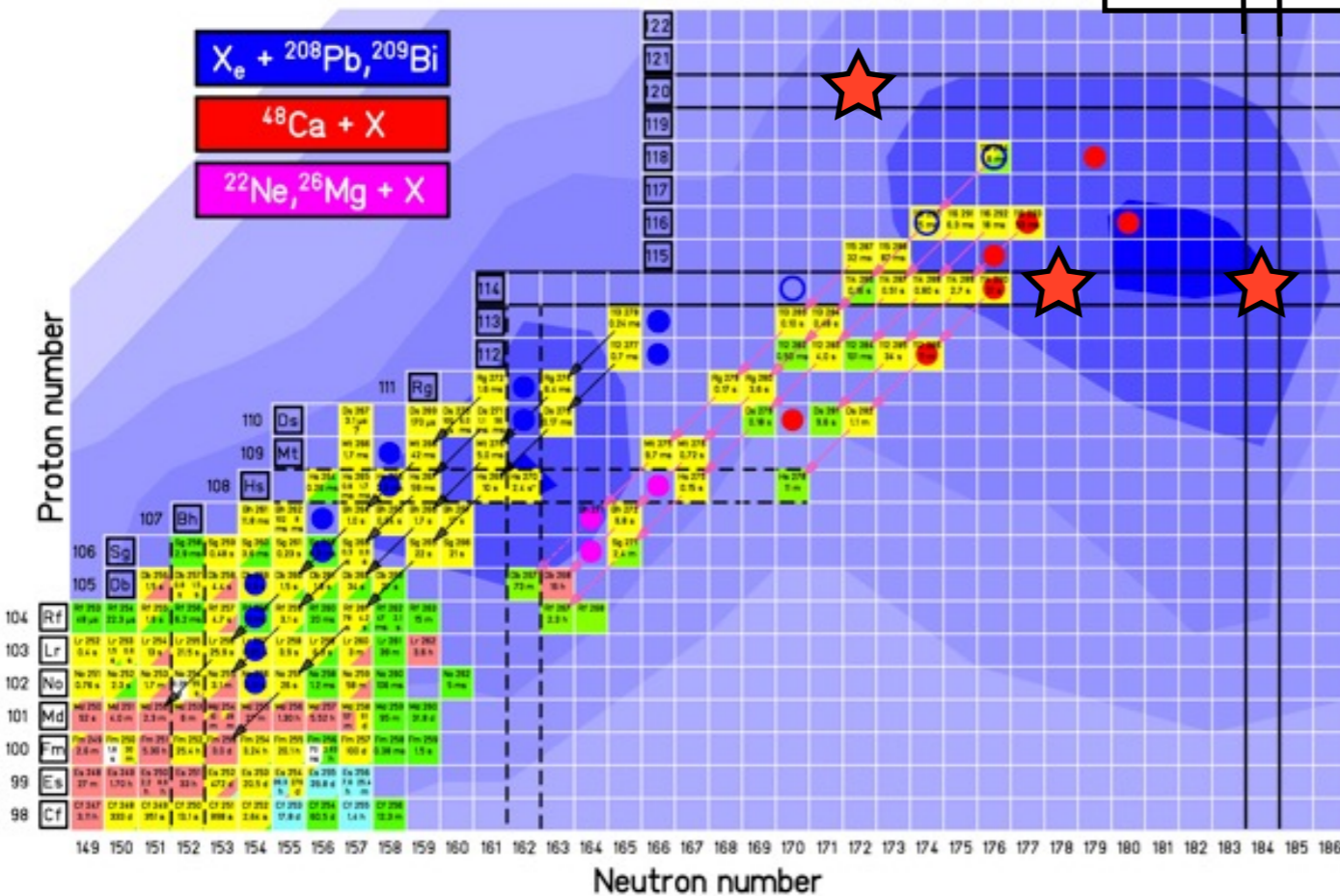
Où se trouve l'îlot de stabilité superlourd ?



	Z	N
W.S.	114	184
F.R.D.M.	114	178
H.F.B.	126	184
R.M.F.	120	172

Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Où se trouve l'îlot de stabilité superlourd ?



Zr
Y
Sr
Rb
Kr
Br
Se
As
Ge
Ga
Zn
Cu
Ni
Co
Fe
Mn
Cr
V
Ti
Sc
Ca

Fm
Es
Cf
Bk
Cm
Am
Pu
Np
U
Pa
Th

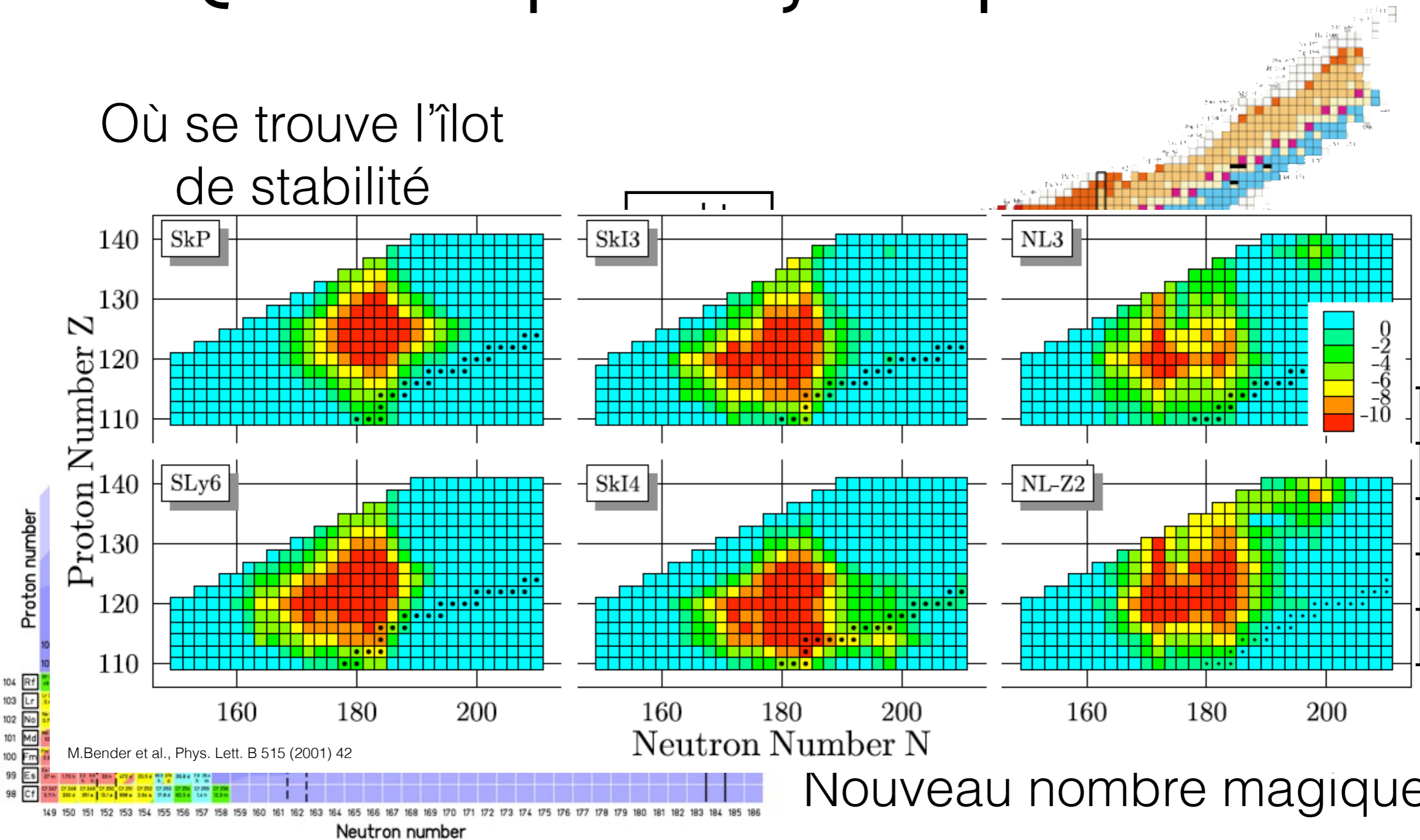
Cm
Bk
Cm

	Z	N
W.S.	114	184
F.R.D.M.	114	178
H.F.B.	126	184
R.M.F.	120	172

Nouveau nombre magique
ou
zone de stabilité accrue ?

Qu'est-ce qu'un noyau superlourd ?

Où se trouve l'îlot de stabilité



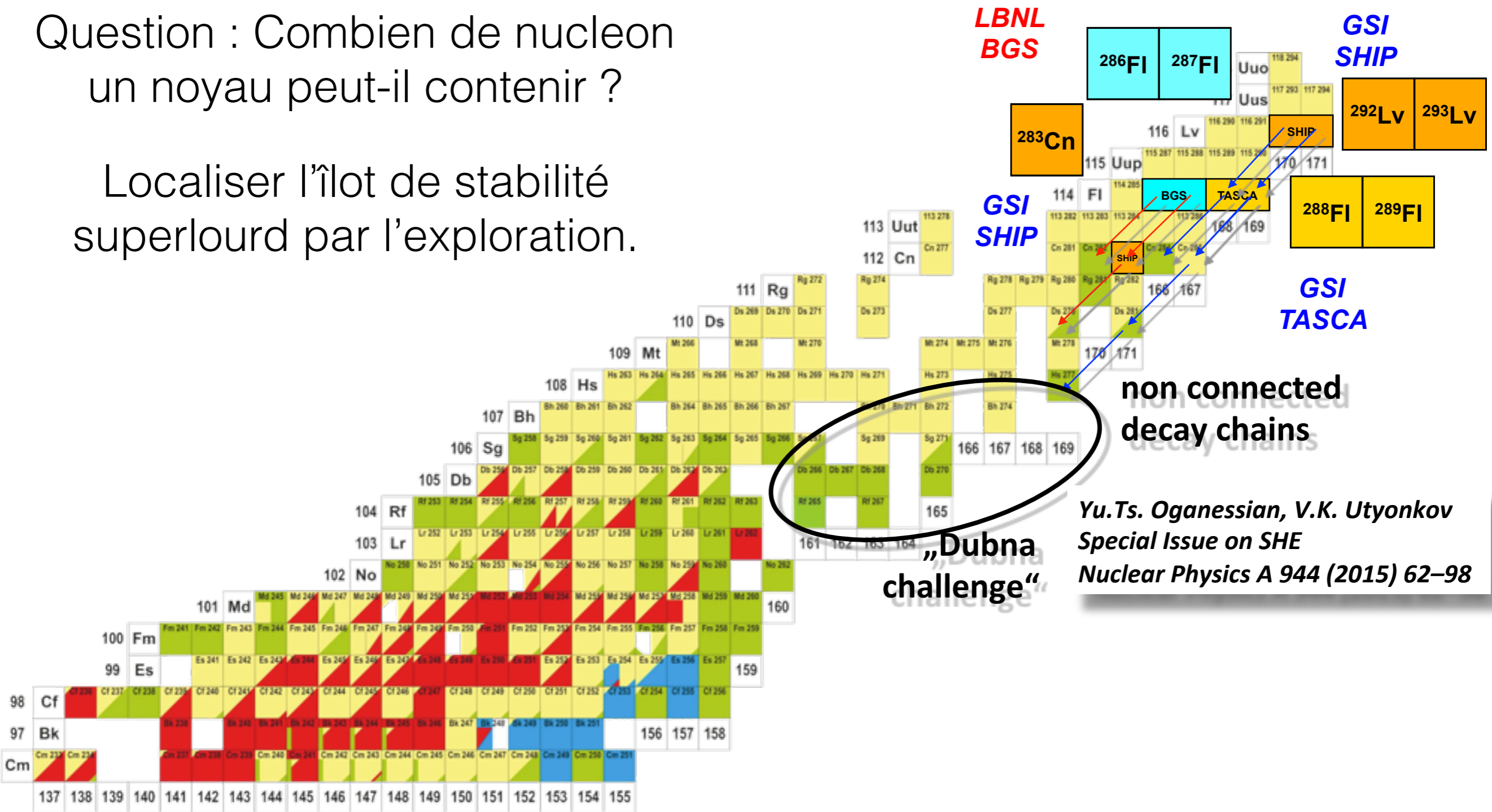
M.Bender et al., Phys. Lett. B 515 (2001) 42

Nouveau nombre magique
ou
zone de stabilité accrue ?

Synthèse de nouveaux éléments

Question : Combien de nucleon un noyau peut-il contenir ?

Localiser l'îlot de stabilité superlourd par l'exploration.



Courtesy D. Ackermann

Synthèse de nouveaux éléments

Comment assurer l'identification des noyaux sans ambiguïté?

Mesure du nombre atomique

Observations croisées
par différentes
méthodes, réactions,
laboratoires.

Mesure des rayons X

"A particular difficulty in establishing these new elements is that they decay into hitherto unknown isotopes of slightly lighter elements that also need to be unequivocally identified" commented JWP chair Professor Paul J. Karol *"but in the future we hope to improve methods that can directly measure the atomic number, Z."*

press release December 30th 2015

International Union of Pure and Applied Chemistry



30 December 2015

4 Comments

Identification of Z, N becomes more and more difficult in the pursuit of superheavy elements with heavy ion fusions. Development of direct physical methods to determine Z , particularly X-ray measurements as often envisaged, is of growing importance as is the desirability of employing exotic radioactive nuclear beams to access nuclides that are currently synthesized via the hot fusion route.

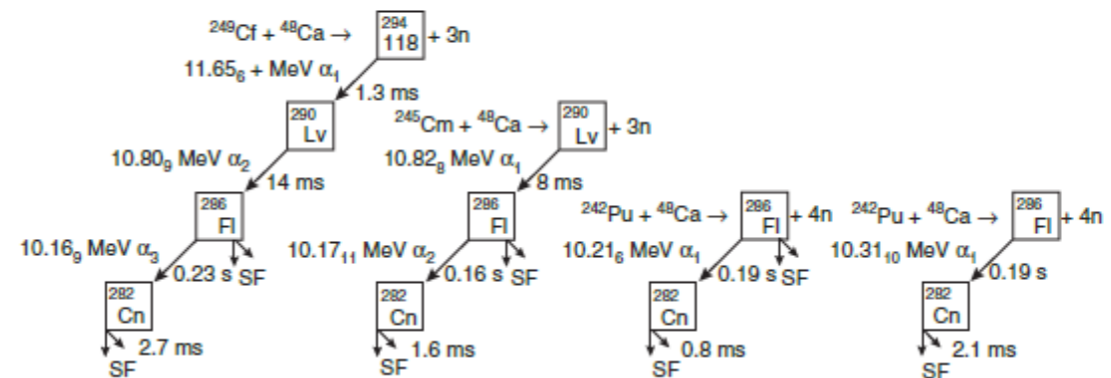


Fig. 2: Summary of the decay relevant work in the assignment of $Z=118$. The cross bombardments for the confirmation of identification of $Z=118$ daughters provide firm evidence that a new atomic number, distinct from previously observed atomic numbers, has been identified. Alpha particle energies in MeV and lifetimes in milliseconds (ms) or seconds (s) are shown.

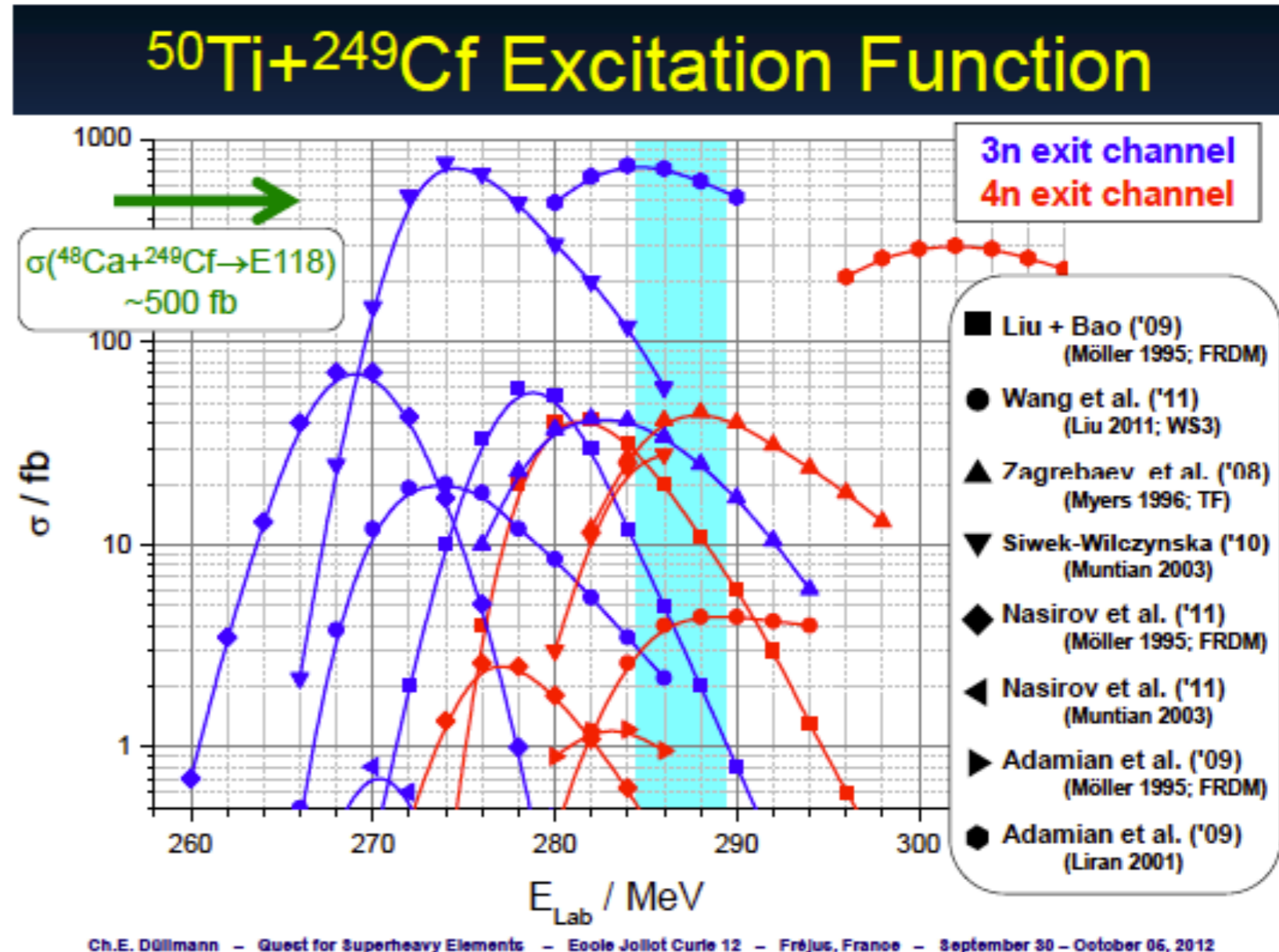
Synthèse de nouveaux éléments

Jusqu'où pourra t'on aller ?

Quelles sont les sections efficaces des production ?

Quelle est la prédictivité des modèles ?

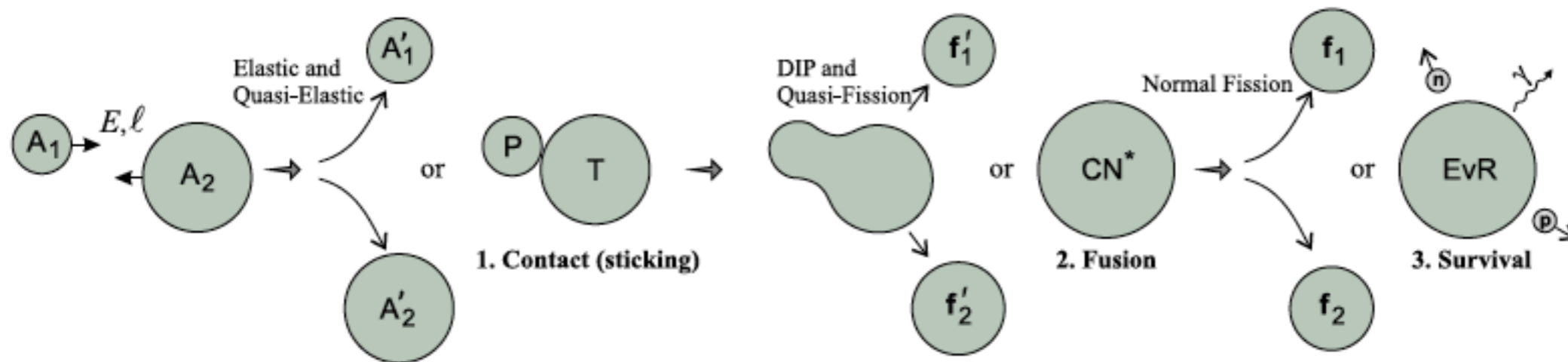
Quelles autres réactions ?



Mécanisme de production

Peut-on comprendre et optimiser les mécanismes de production des noyaux superlourds ?

Réaction de Fusion-évaporation



V.I. Zagrebaev & W. Greiner, Nucl. Phys. A 944 (2015) 257–307

$$\sigma_{\text{EvR}}(E) \approx \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) P_{\text{cont}}(E, l) P_{\text{CN}}(A_1 + A_2 \rightarrow C; E, l) P_{\text{EvR}}(C \rightarrow B; E^*, l).$$

Faisceau stable, 10^{11} à 10^{13} pps

Cible stable ou actinide, $300 \mu\text{g}/\text{cm}^2$

Sections efficaces de quelques microbarns à <picobarn

Mécanisme de production

Peut-on comprendre et optimiser les mécanismes de production des noyaux superlourds ?

Réaction de Fusion-évaporation

UNILAC intensities ($\approx 1\mu A/10^{12}$ particles/s)	\rightarrow SPIRAL2 day 1 \rightarrow phase 1++		
reaction	$\sigma/nbarn$	countrate/countrate/countrate	
$^{208}Pb(^{48}Ca, 2n)^{254}No$	2000	15000 /h	\rightarrow 40.000 /h \rightarrow 240.000 /h
$^{206}Pb(^{48}Ca, 2n)^{252}No$	430	3300 /h	\rightarrow 8.000 /h \rightarrow 48.000 /h
$^{206}Pb(^{48}Ca, 3n)^{251}No$	25	200 /h	\rightarrow 500 /h \rightarrow 3.000 /h
$^{209}Bi(^{40}Ar, 2n)^{247}Md$	7	80 /h	\rightarrow 300 /h \rightarrow 1.000 /h
$^{208}Pb(^{54}Cr, 1n)^{261}Sg$	2	15 /h	\rightarrow 30 /h
$^{207}Pb(^{64}Ni, 1n)^{270}Ds$	0.013	1 /d	\rightarrow 2 /d \rightarrow 0.5 /h

(2015) 257-307

$$\sigma_{EvR}(E) \approx \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) P_{cont}(E, l) P_{CN}(A_1 + A_2 \rightarrow C; E, l) P_{EvR}(C \rightarrow B; E^*, l).$$

Faisceau stable, 10^{11} à 10^{13} pps

Cible stable ou actinide, $300\mu g/cm^2$

Sections efficaces de quelques microbarns à <picobarn

Mécanisme de production

Peut-on comprendre et optimiser les mécanismes de production des noyaux superlourds ?

Réaction de Fusion-évaporation

UNILAC intensities ($\approx 1\mu A/10^{12}$ particles/s) \rightarrow SPIRAL2 day 1 \rightarrow phase 1++ reaction	σ /nbarn	countrate/countrate/countrate		
$^{208}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{254}\text{No}$	2000	15000 /h	\rightarrow 40.000 /h	\rightarrow 240.000 /h
$^{206}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 2n)^{252}\text{No}$	430	3300 /h	\rightarrow 8.000 /h	\rightarrow 48.000 /h
$^{206}\text{Pb}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{251}\text{No}$	25	200 /h	\rightarrow 500 /h	\rightarrow 3.000 /h
$^{209}\text{Bi}(^{40}\text{Ar}, 2n)^{247}\text{Md}$	7	80 /h	\rightarrow 300 /h	\rightarrow 1.000 /h
$^{208}\text{Pb}(^{54}\text{Cr}, 1n)^{261}\text{Sg}$	2	15 /h	\rightarrow 30 /h	
$^{207}\text{Pb}(^{64}\text{Ni}, 1n)^{270}\text{Ds}$	0.013	1 /d	\rightarrow 2 /d	\rightarrow 0.5 /h

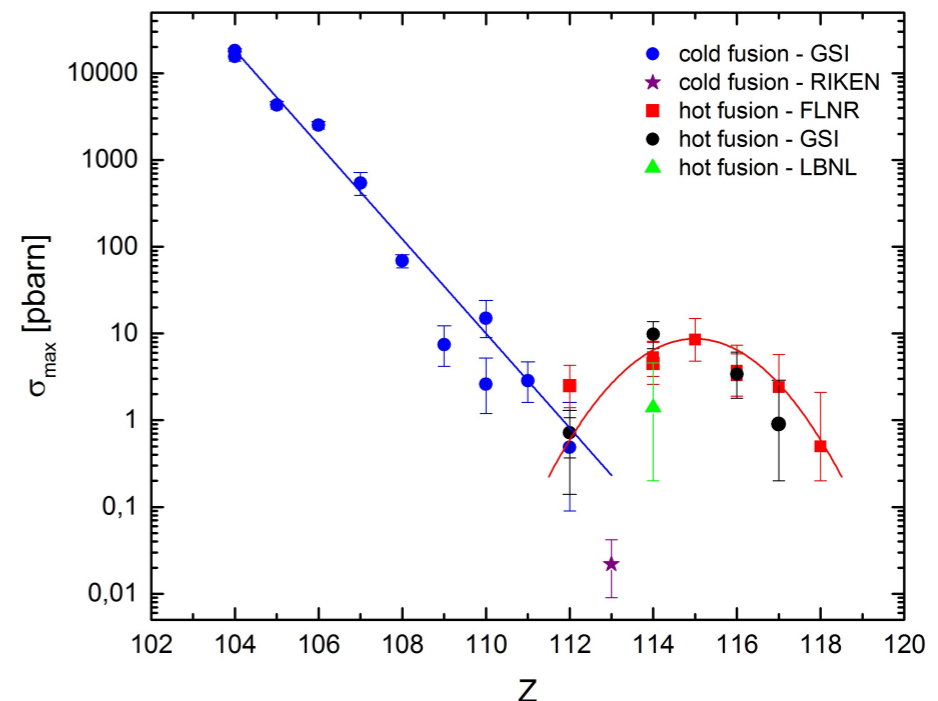
(2015) 257-307

$$\sigma_{\text{EvR}}(E) \approx \frac{\pi}{k^2} \sum_{l=0}^{\infty} (2l+1) P_{\text{cont}}(E, l) P_{\text{CN}}(A_1 +$$

Faisceau stable, 10^{11} à 10^{13} pps

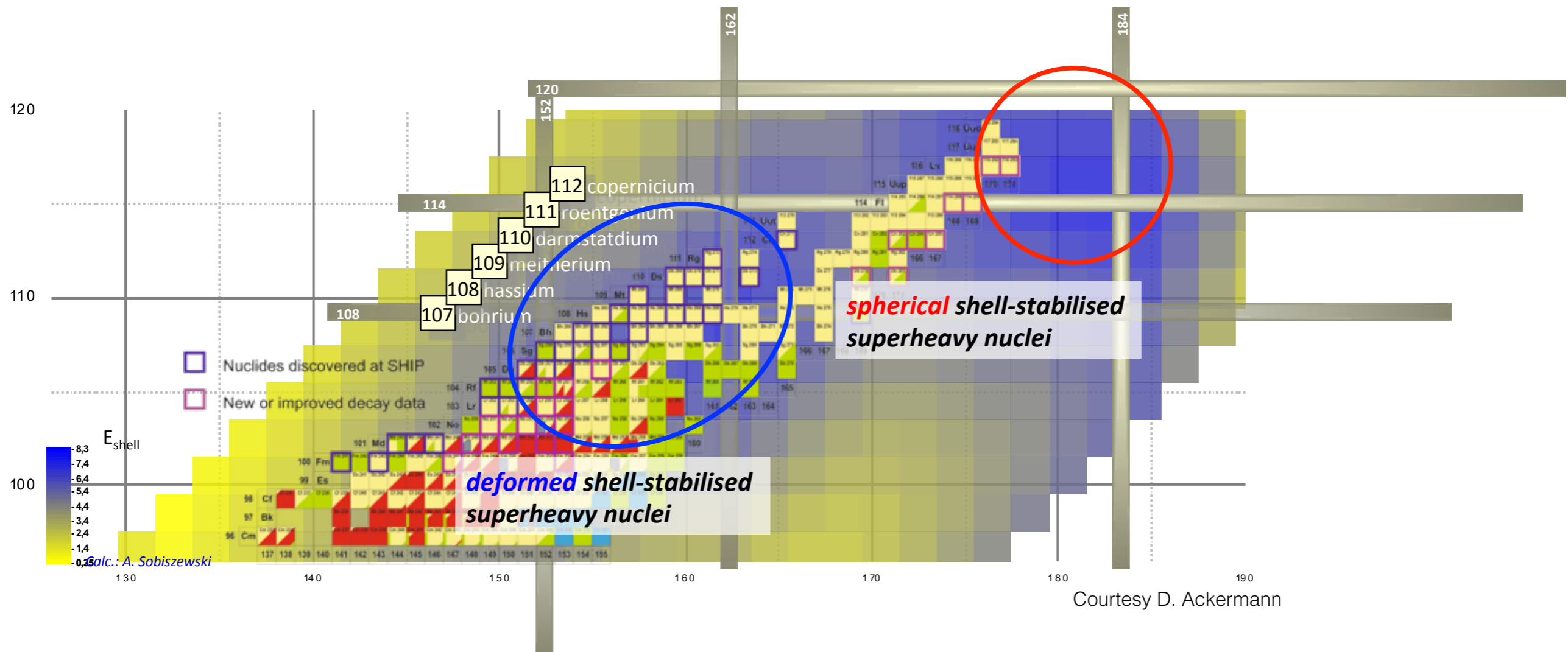
Cible stable ou actinide, $300\mu\text{g}/\text{cm}^2$

Sections efficaces de quelques



Spectroscopie

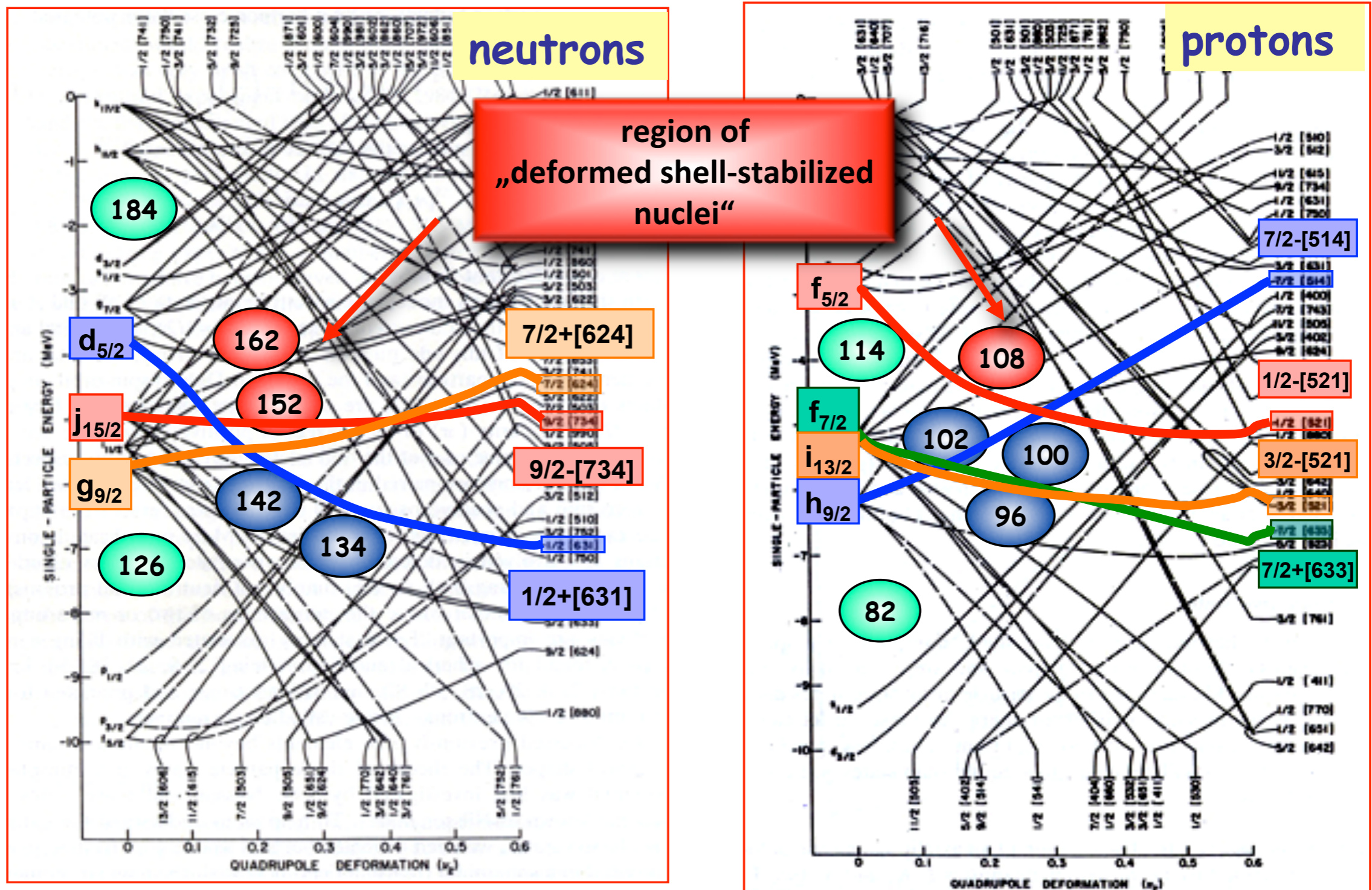
Les noyaux superlourds sont-ils différents des autres noyaux ?
Où se situe l'îlot de stabilité superlourd ? quelles sont ses propriétés ?



Observer la structure nucléaire :

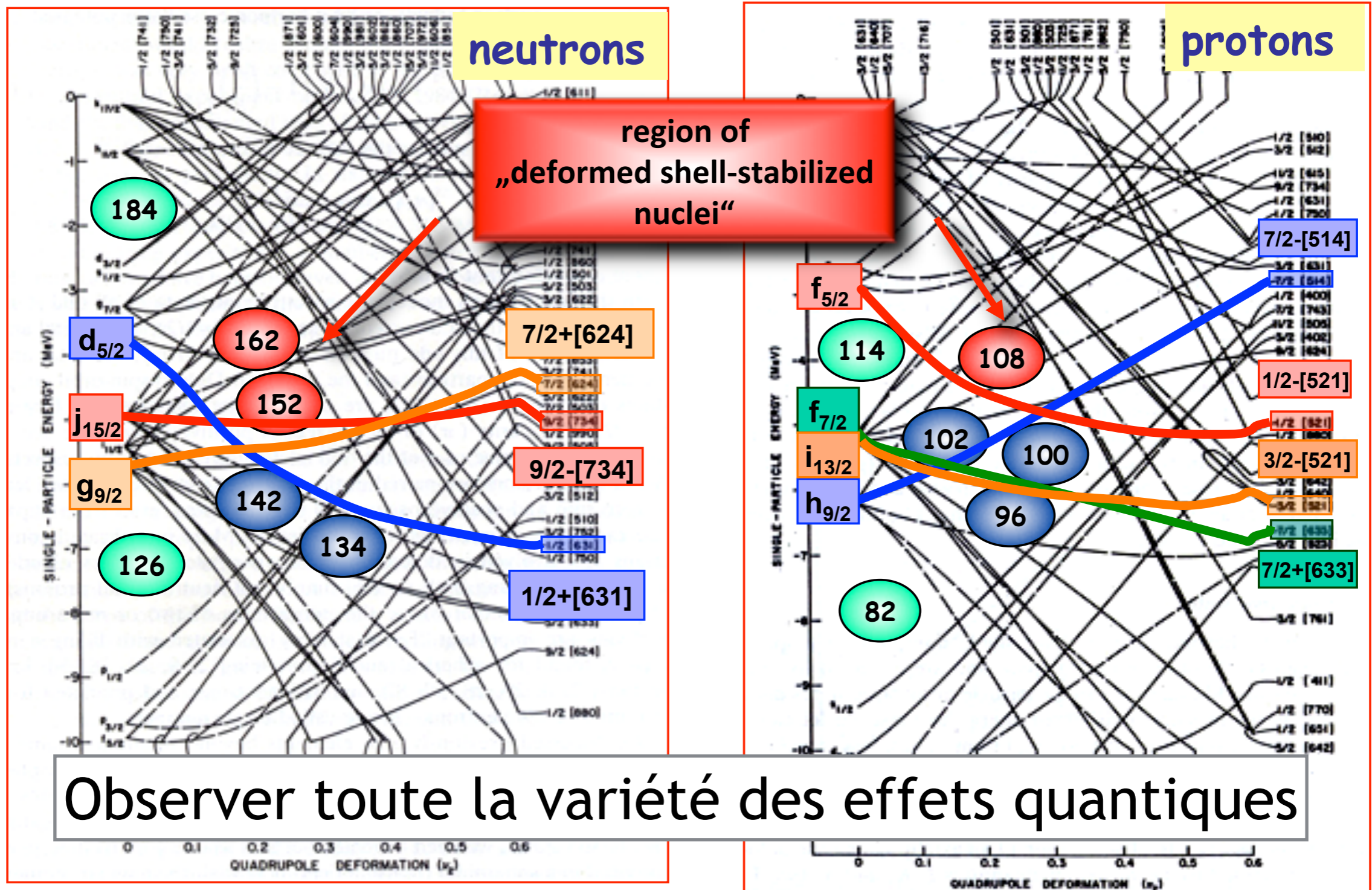
Spectroscopie alpha, gamma, electrons
autour de la cible, après séparation

Spectroscopie



mic-mac model (FRDM) by Peter Möller

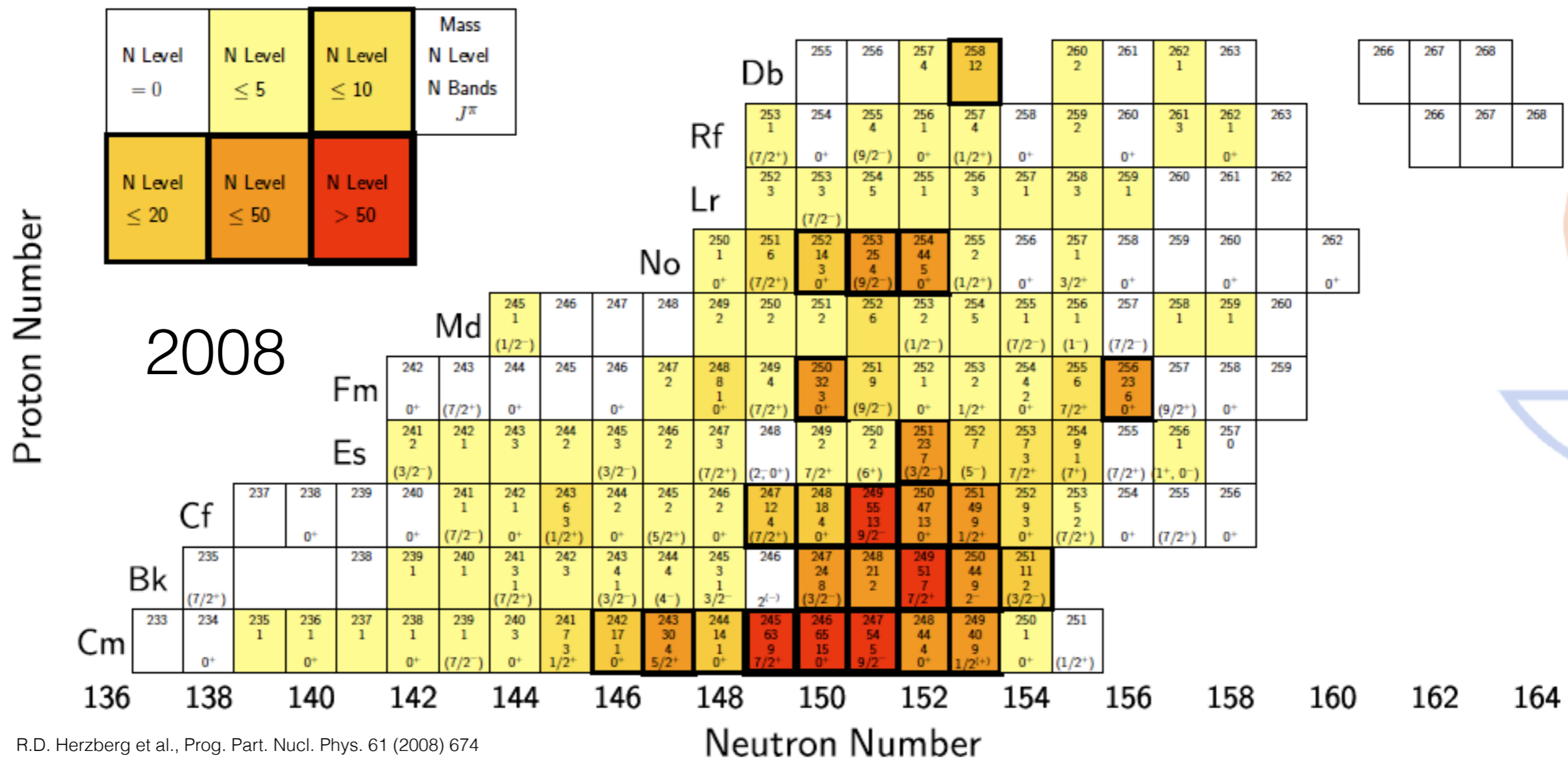
Spectroscopie



Observer toute la variété des effets quantiques

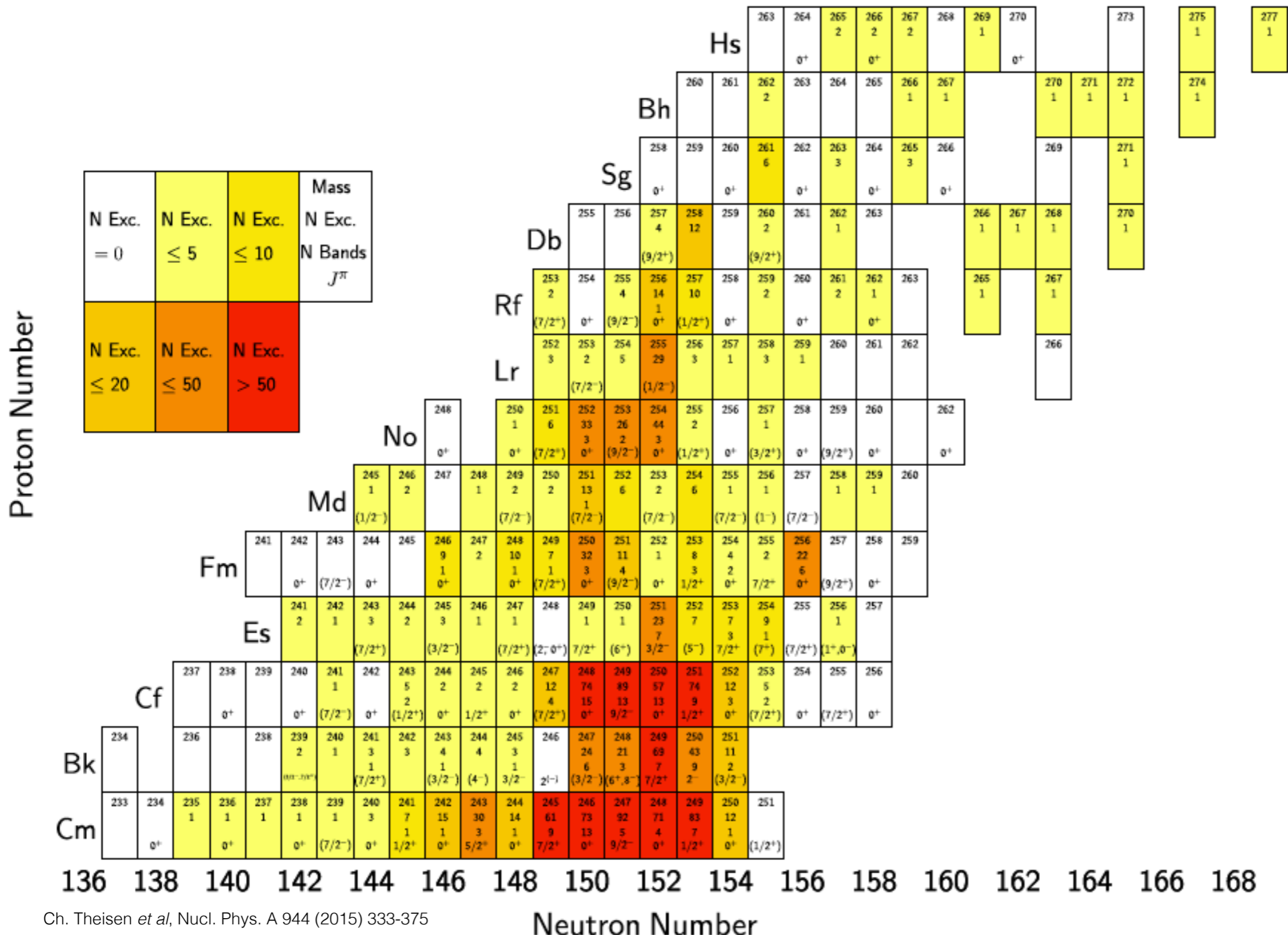
mic-mac model (FRDM) by Peter Möller

Spectroscopie



R.D. Herzberg et al., Prog. Part. Nucl. Phys. 61 (2008) 674

Spectroscopie

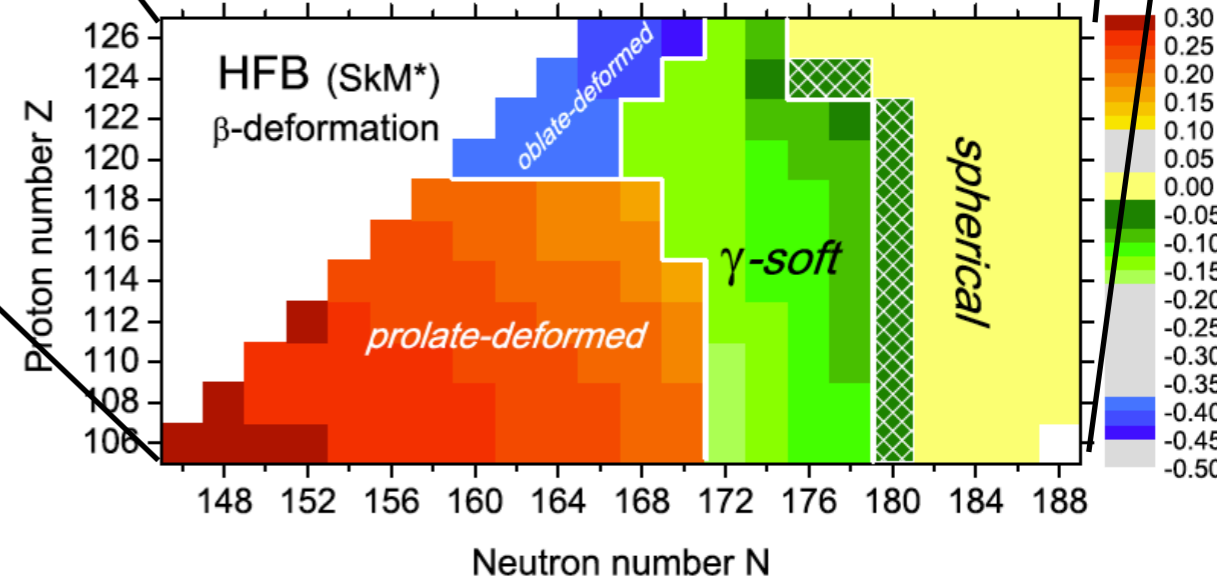
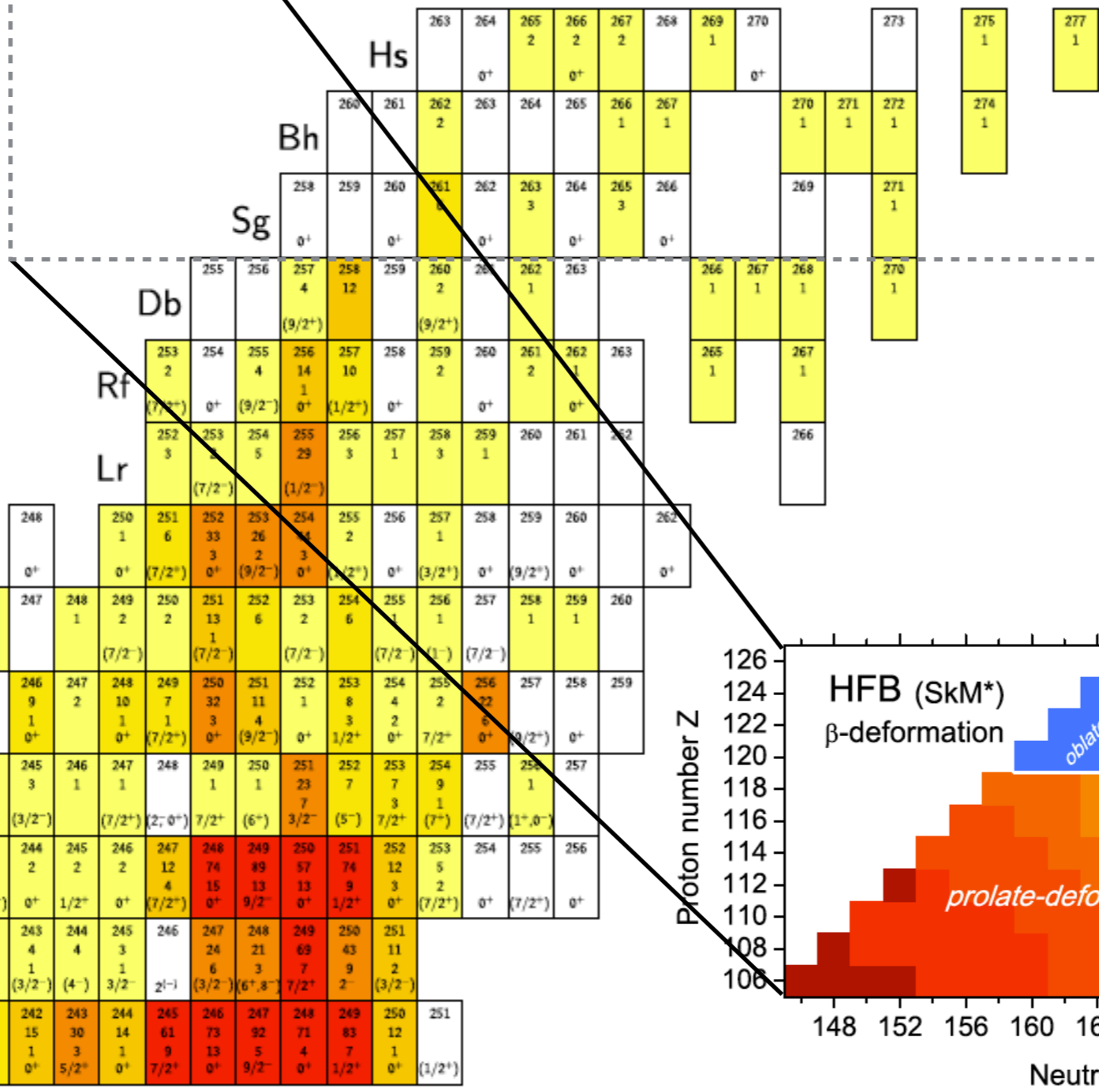


Ch. Theisen *et al*, Nucl. Phys. A 944 (2015) 333-375

Spectroscopie

Proton Number

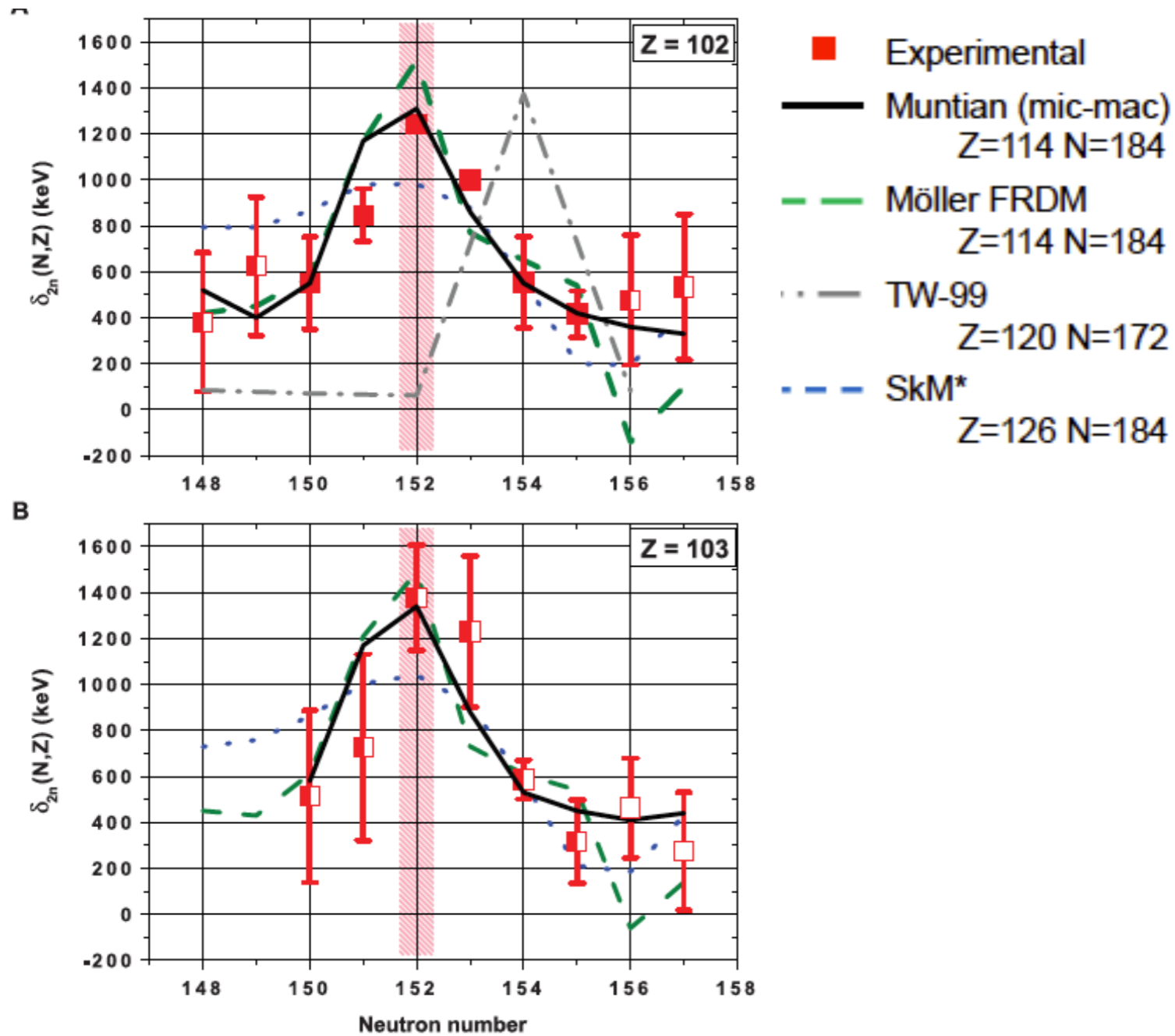
N Exc. = 0	N Exc. ≤ 5	N Exc. ≤ 10	Mass N Exc. J^π
N Exc. ≤ 20	N Exc. ≤ 50	N Exc. > 50	



Ch. Theisen *et al*, Nucl. Phys. A 944 (2015) 333-375

P.H. Heenen *et al*, Nucl. Phys. A 944 (2015) 415-441

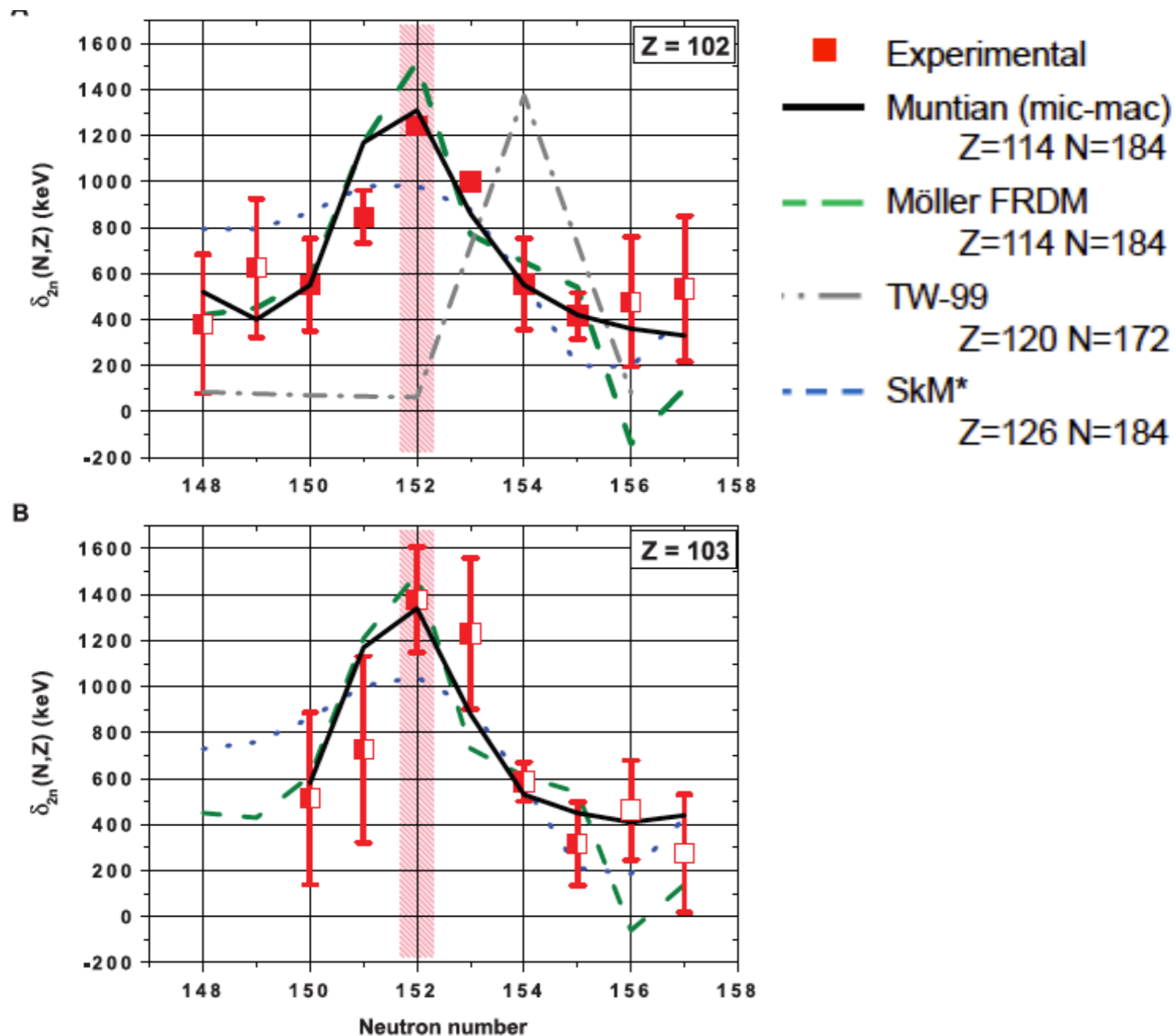
Mesures de masse



Observer la position
des sous-couches
déformées

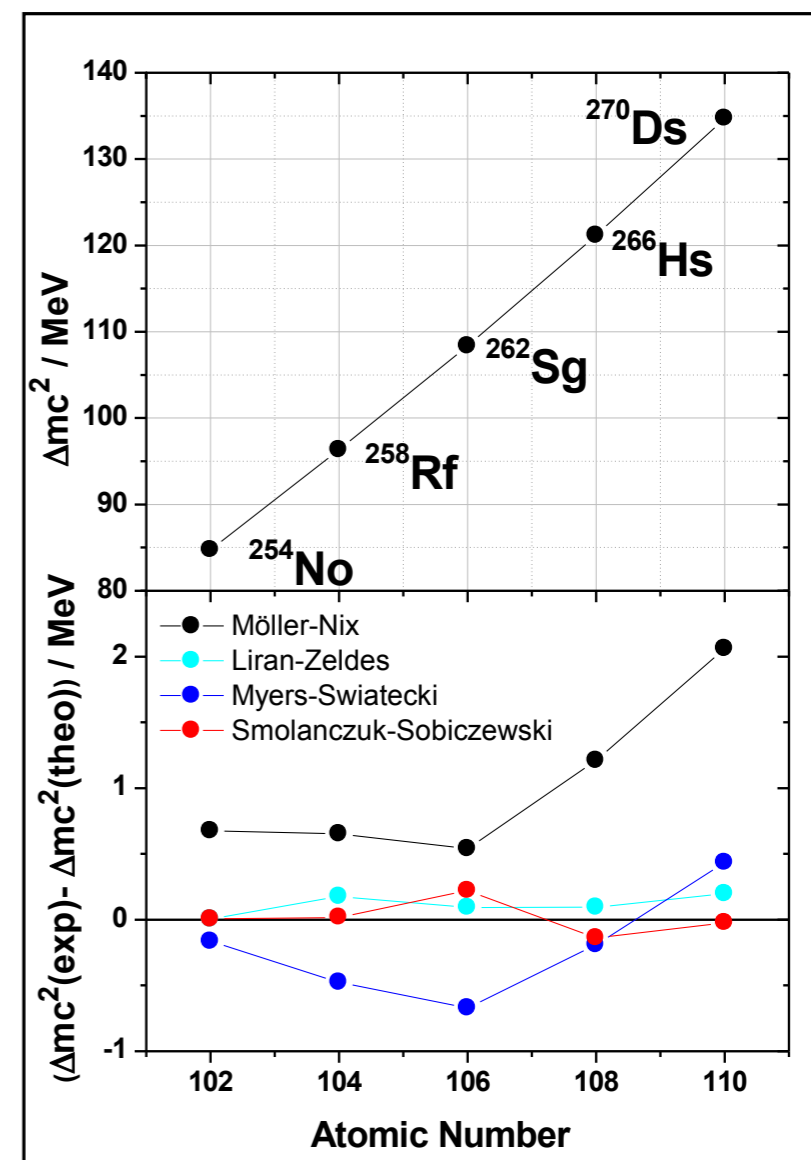
E. Minaya-ramirez *et al.*, Science 337 (2012) 1207

Mesures de masse

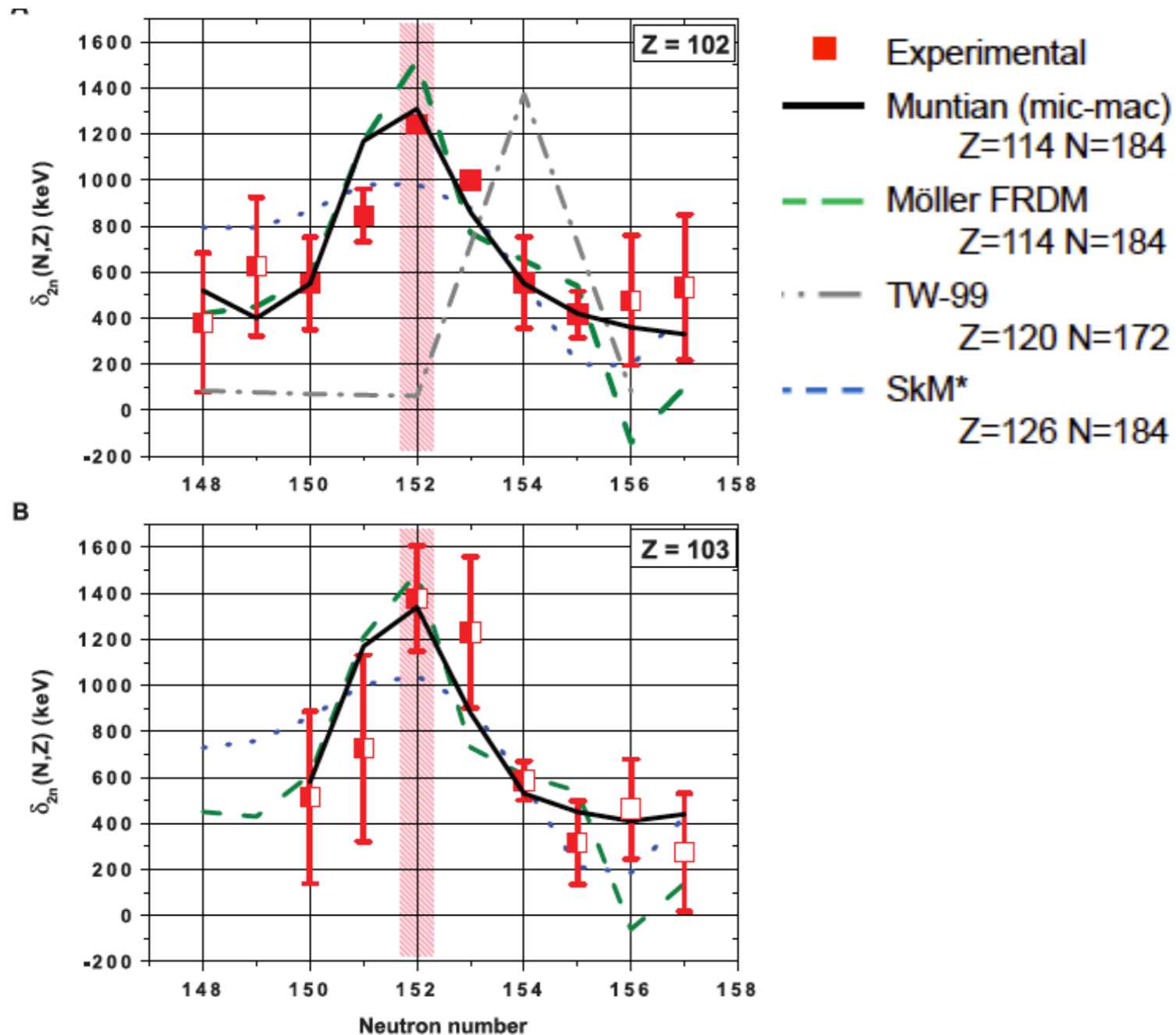


E. Minaya-ramirez *et al.*, Science 337 (2012) 1207

Observer la position des sous-couches déformées

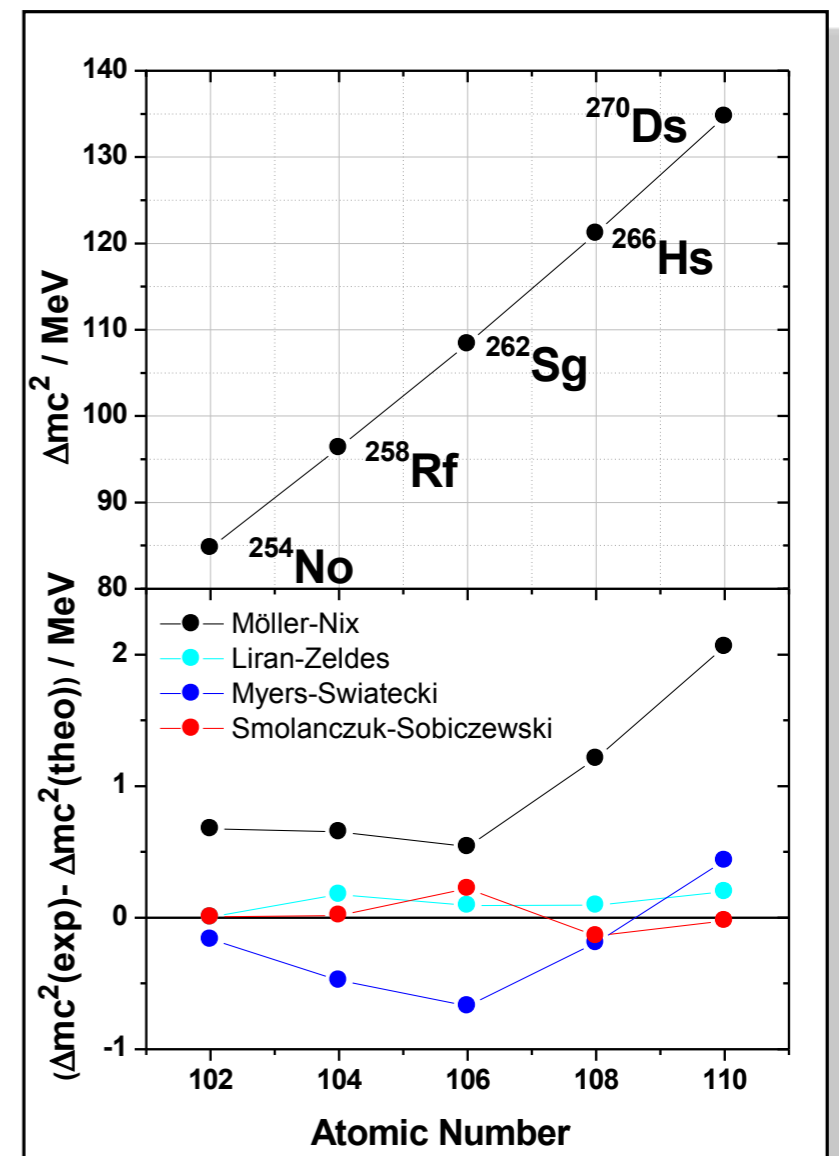


Mesures de masse



E. Minaya-ramirez *et al.*, Science 337 (2012) 1207

Observer la position des sous-couches déformées

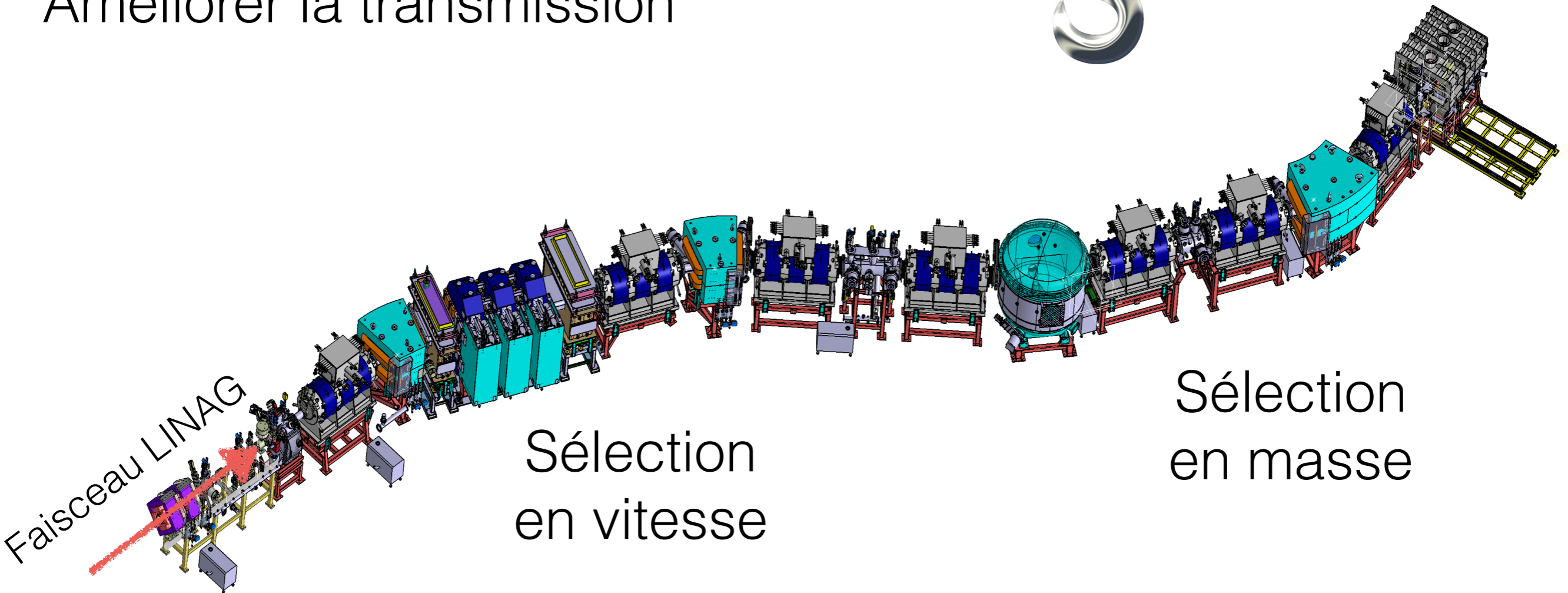


Améliorer l'identification des noyaux créés

Comment aller au-delà ?

Augmenter la production d'ions
Améliorer la transmission

S³



D'AVENIR

Collaboration

170 physiciens du monde entier

irfu GANIL CNRS INP IN2P3 Les deux infinis

cea UPMC SORBONNE UNIVERSITÉS IANSP Institut des NeuroSciences de Paris

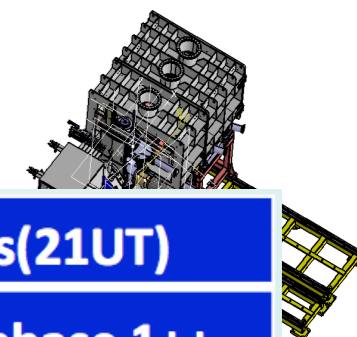
saclay

- ✓ Faisceaux très intenses
- ✓ Haute transmission
- ✓ Forte réjection

Comment aller au-delà ?

Augmenter la production d'ions
Améliorer la transmission

S³



nuclide	reaction	feature	X-section [pbarn]	rate [Hz]	integral counts(21UT)	
					day 1	phase 1++
²⁵⁴ No	⁴⁸ Ca+ ²⁰⁸ Pb	K-isomer	2000×10 ³	60.000	1×10 ⁷	6×10 ⁷
²⁵⁶ Rf	⁵⁰ Ti+ ²⁰⁸ Pb	K-isomer	17×10 ³	550	90.000	540.000
²⁶⁶ Hs	⁶⁴ Ni+ ²⁰⁷ Pb	ER	15 (²⁷⁰ Ds)	0.34	57	285
^{266m} Hs	⁶⁴ Ni+ ²⁰⁷ Pb	K-isomer	15 (²⁷⁰ Ds)	0.01	2.5	12.5
²⁷⁰ Ds	⁶⁴ Ni+ ²⁰⁷ Pb	ER	15	0.45	76	380
^{270m} Ds	⁶⁴ Ni+ ²⁰⁷ Pb	K-isomer	15 (²⁷⁰ Ds)	0.22	38	190
²⁶² Sg	⁶⁴ Ni+ ²⁰⁷ Pb	α-decay	15 (²⁷⁰ Ds)	0.02	5	25
²⁷⁶ Cn	⁷⁰ Zn+ ²⁰⁷ Pb	K-Isomer search	0.5 (²⁷⁷ Cn)	0.01	2.5	12.5
²⁸⁸ 115	⁴⁸ Ca+ ²⁴³ Am	ER	10	0.3	50	300
²⁸⁸ 115	⁴⁸ Ca+ ²⁴³ Am	L X-rays	10	1,8	300	1800

Faisce

es

Etudier les noyaux les plus rares

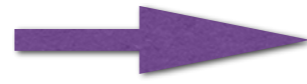
Comment étudier quelques événements par jour, semaine ?

Purifier et sélectionner



S^3

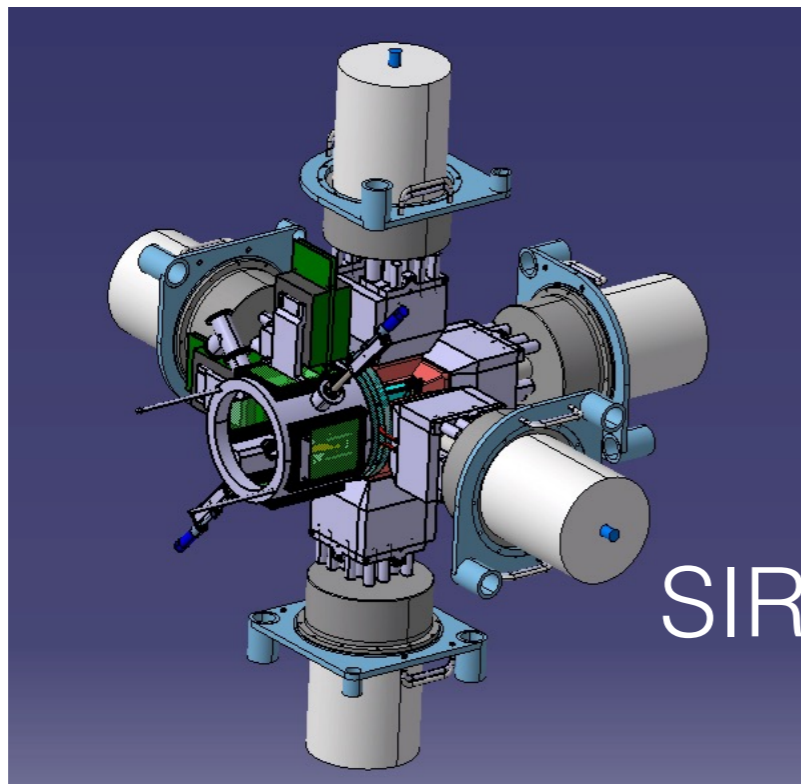
Identifier



Décroissance, Laser

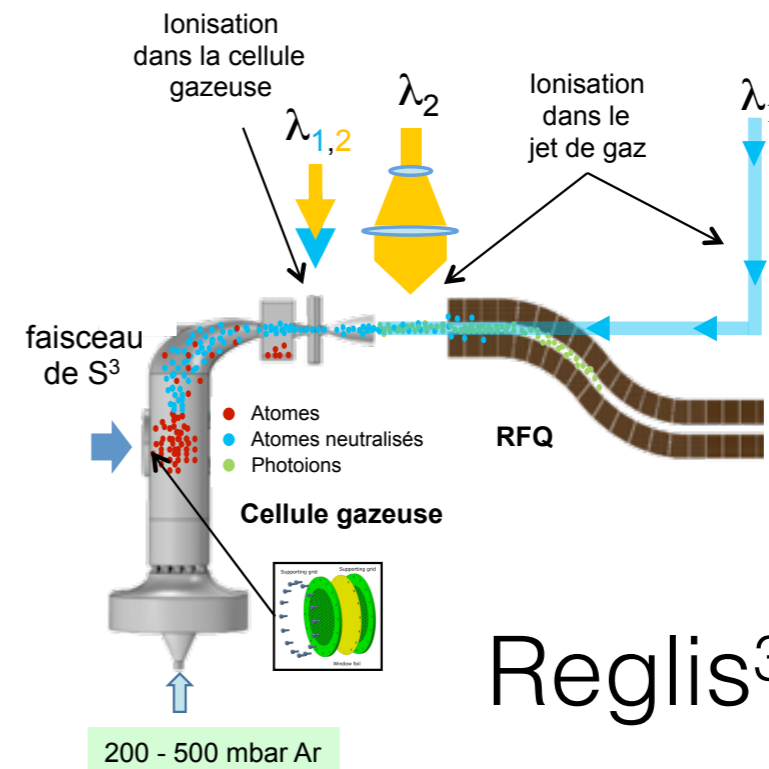
Etudier

Deux instruments complémentaires pour tout connaître des noyaux



SIRIUS

Etude de la structure nucléaire



Reglis³

Etude des propriétés fondamentales



Les noyaux superlourds pour tester l'interaction nucléaire à la limite de la stabilité

Créer de nouveaux éléments

Observer les effets quantiques sans la barrière de fission

Tester l'interaction nucléaire avec un très grand nombre de nucléons

Mettre à l'épreuve le pouvoir prédictif des modèles

Trois questions :

Quel est l'élément le plus lourd qu'on puisse produire ?

Où est l'îlot de stabilité superlourd ?

Quelles sont les propriétés physiques et chimiques des noyaux superlourds ?

Trois questions :

Quel est l'élément le plus lourd qu'on puisse produire ?

Où est l'îlot de stabilité superlourd ?

Quelles sont les propriétés physiques et chimiques des noyaux superlourds ?

Pour y répondre :

Trois questions :

Quel est l'élément le plus lourd qu'on puisse produire ?

Où est l'îlot de stabilité superlourd ?

Quelles sont les propriétés physiques et chimiques des noyaux superlourds ?

Pour y répondre :

- S3
- Aller vers les noyaux riches en neutrons
- Comprendre la stabilisation des noyaux superlourds

Les noyaux superlourds dans la culture populaire



Adressée à International Union of Pure and Applied Chemistry

Support Lemmy tribute, help make 'Lemmium' the new chemical name for Heavy Metal 115 in the Periodic Table. Follow us @LemmiumMetal and www.lemmium.org

 **John Wright** York, Royaume-Uni

Signez cette pétition

156 418 soutiens

43 582 nécessaires pour atteindre 200 000




Les noyaux superlourds dans la culture populaire



Application Industrielle :

Adressée à International Union of Pure and Applied Chemistry

Support Lemmy tribute, help make 'Lemmium' the new chemical name for Heavy Metal 115 in the Periodic Table. Follow us @LemmiumMetal and www.lemmium.org

 **John Wright** York, Royaume-Uni

Signez cette pétition

156 418 soutiens

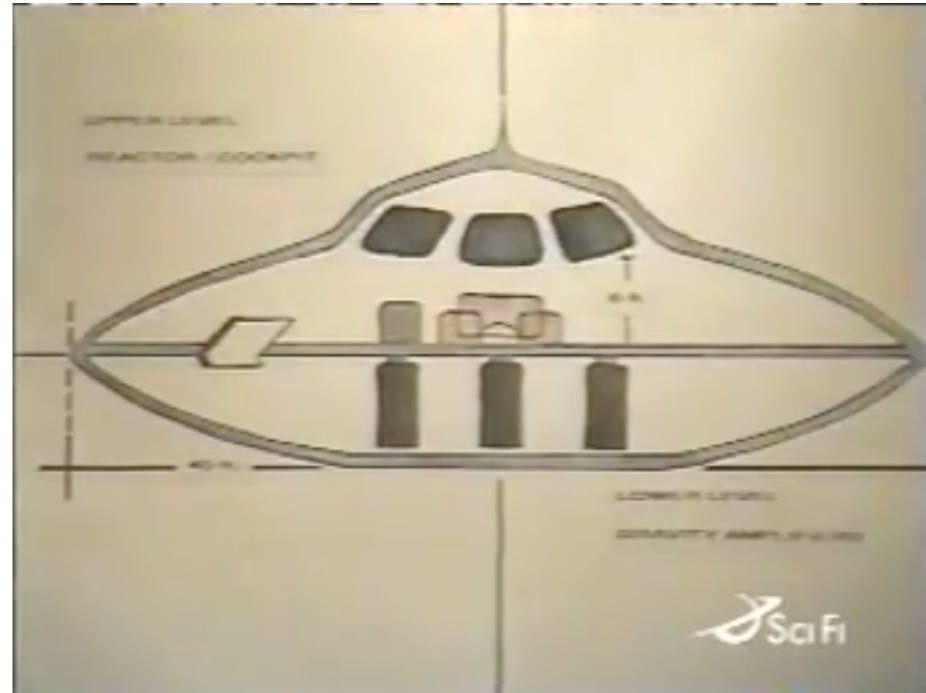
43 582 nécessaires pour atteindre 200 000



Les noyaux superlourds dans la culture populaire




Application Industrielle :



Adressée à International Union of Pure and Applied Chemistry

Support Lemmy tribute, help make 'Lemmium' the new chemical name for Heavy Metal 115 in the Periodic Table. Follow us @LemmiumMetal and www.lemmium.org

 **John Wright** York, Royaume-Uni

Signez cette pétition

156 418 soutiens

43 582 nécessaires pour atteindre 200 000

Prénom

Nom de famille

E-mail

France

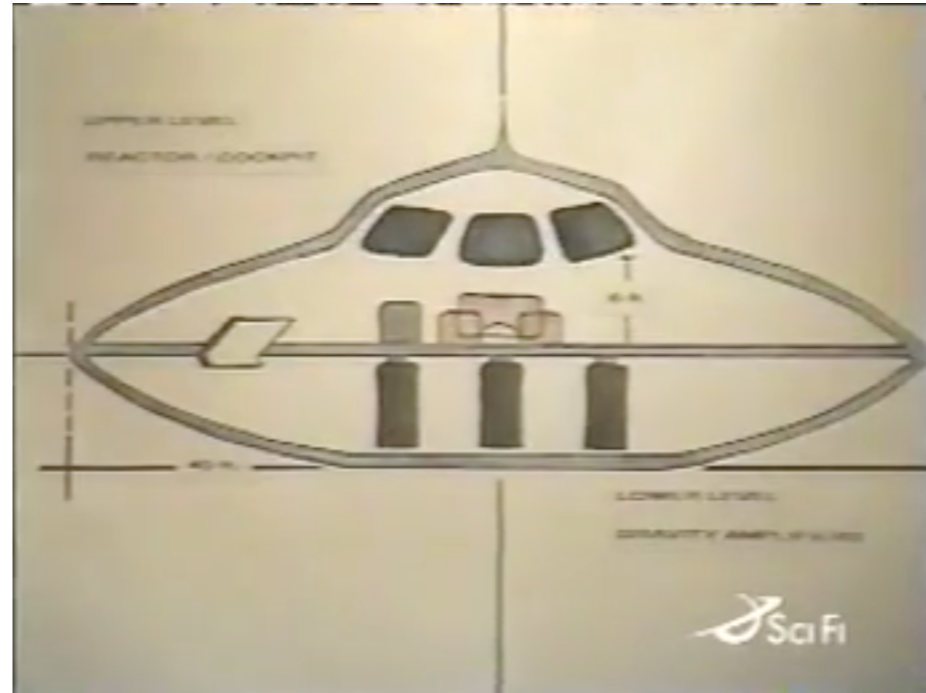
Code postal



Les noyaux superlourds dans la culture populaire



Application Industrielle :



Adressée à International Union of Pure and Applied Chemistry

Support Lemmy tribute, help make 'Lemmium' the new chemical name for Heavy Metal 115 in the Periodic Table. Follow us @LemmiumMetal and www.lemmium.org

John Wright York, Royaume-Uni

Signez cette pétition

156 418 soutiens

43 582 nécessaires pour atteindre 200 000

Prénom

Nom de famille

E-mail

France

Code postal



« Element 115 is in the top of the reactor. The base of the reactor apparently is something similar to a cyclotron. It's a particle accelerator. A particle is accelerated to high speed and then deflected to a tube and it's aimed at [the] 115. It transmutes the 115. Similar to the way we do that in a normal particle accelerator. This causes a reaction, a radiation emission that we really haven't seen before. It produces antimatter. This antimatter is guided down a tuned tube and reacts with a gas. When matter and antimatter react, they convert to a 100% energy. This energy, heat energy, is converted to electrical power in the reactor itself. This is through a thermoelectric converter and this electrical power is used to power other subsystems on the craft.

That's also almost a byproduct of the reaction, but the reactor produces a gravitational wave out of 115 being bombarded. »

Bob Lazar, SciFi Network 1999