

Nouvel accès expérimental à la fission nucléaire au moyen des faisceaux relativistes

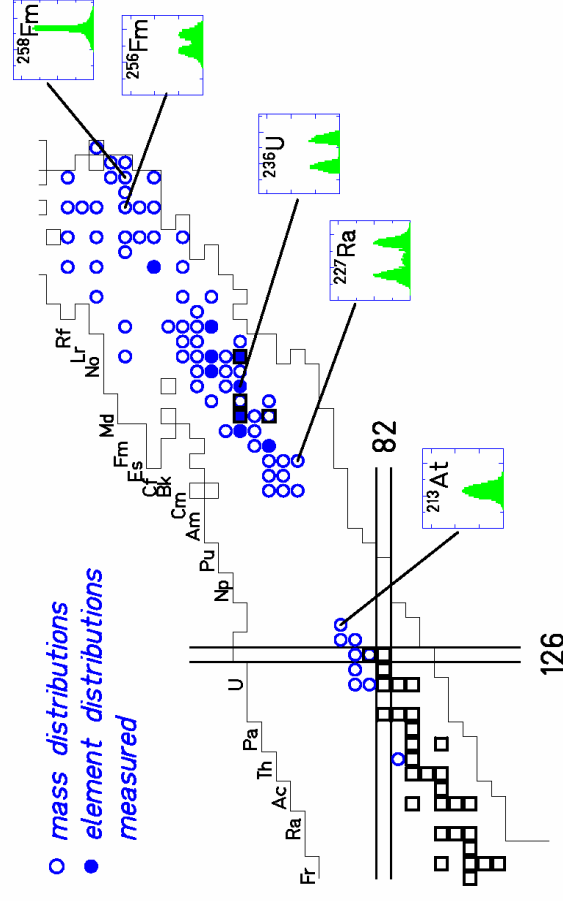
- résultats et perspectives

Karl-Heinz Schmidt, GSI Darmstadt

Information expérimentale générale précédente

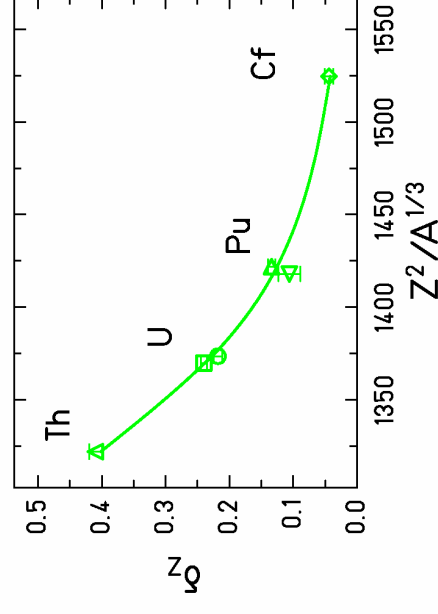
« Fission channels »

- variation en fonction de E^*
- variation en fonction de A et Z du système fissionnant



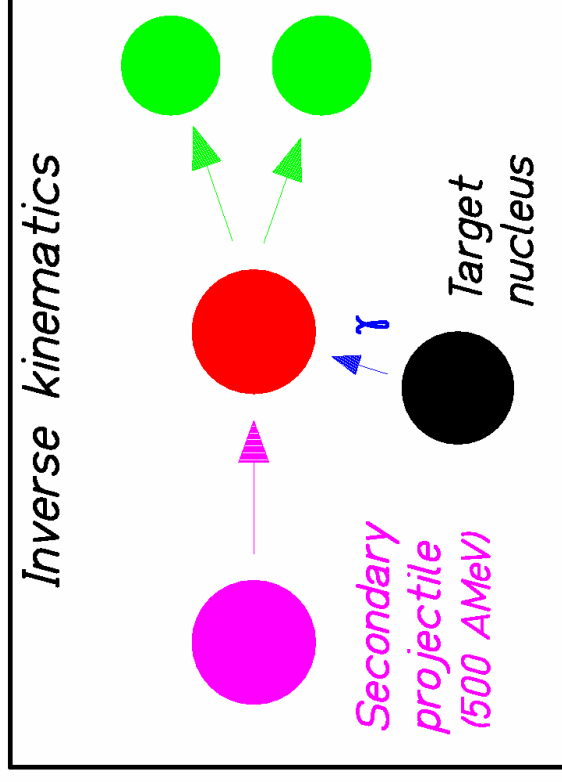
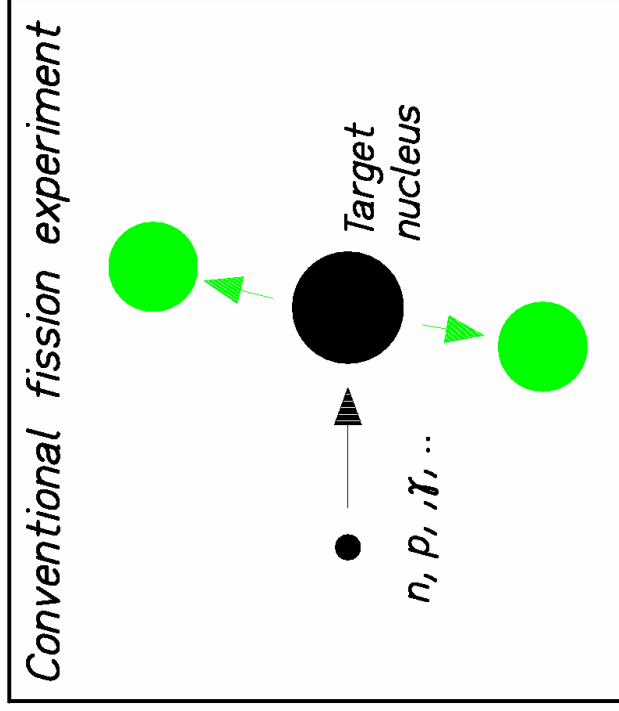
Effet pair - impair des rendements en Z

- variation en fonction de E^*
- variation en fonction de $Z^2/A^{1/3}$



Rendement de neutrons,
Énergie cinétique,

...



Fission de la cible

Fission du projectile

1. Meilleurs moyens de détection par la haute vitesse des produits !
2. Noyaux à courte période accessibles !

Progrès expérimental (résumé des méthodes différentes)

Moyens de détection des fragments

- découverte de la fission (1939) ► *identification chimique en Z*
- énergie cinétique des fragments ► *chambre à ionisation*
- rendements cumulatifs (après désintégration β) ► *spectroscopie gamma*
- $\approx A_1$ et A_2 ► *double E, double ToF*
- éléments Z ► *rayons X*
- A et Z des fragments légers ► *Spectrographe (Lohengrin) + perte d'énergie*
(limité aux cibles à longue période et neutrons thermiques)
- **A et Z ► identification en vol en cinématique inverse**
- **Z_1 et Z_2 ► identification en vol en cinématique inverse**
- **A et Z ► masse à haute résolution (trappes), normalisation ?**

Choix de systèmes fissionnants

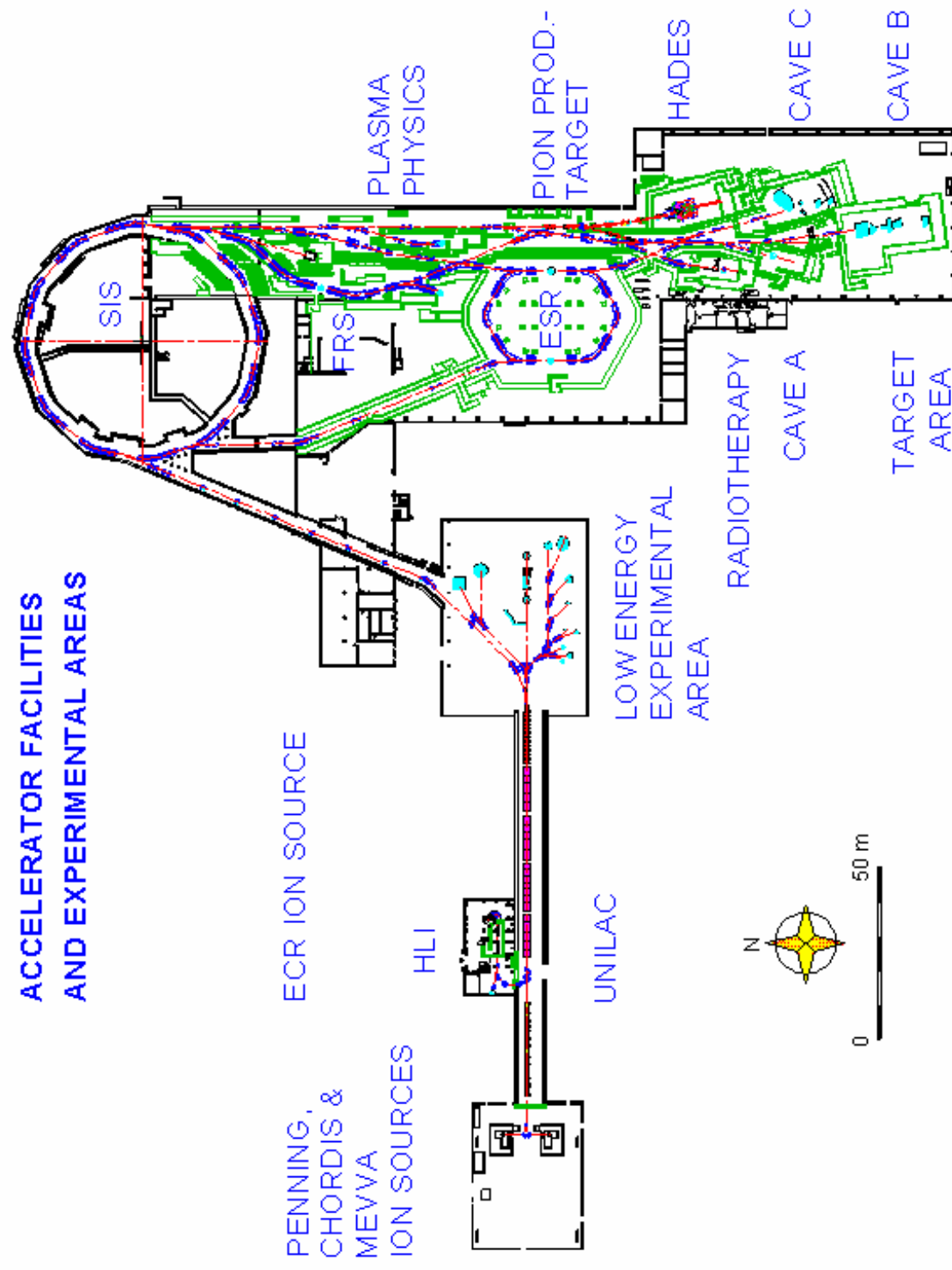
- noyaux primordiaux (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th) ► *cible*
- réacteurs de fission (capture de neutrons - β) ► *cible* (nuclides de longue période)
- explosions nucléaires (capture de neutrons - β) ► *cible* (nuclides de longue période)
- produits de réactions directes ► *cibles* (nuclides de longue période)
- **fragmentation du projectile ($A < 238$) ► *faisceau* (période > 100 ns)**

Moyen de déclenchement :

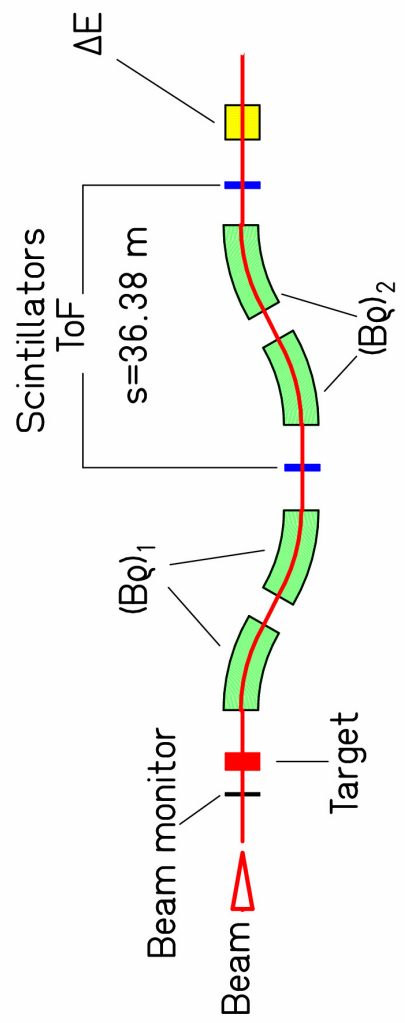
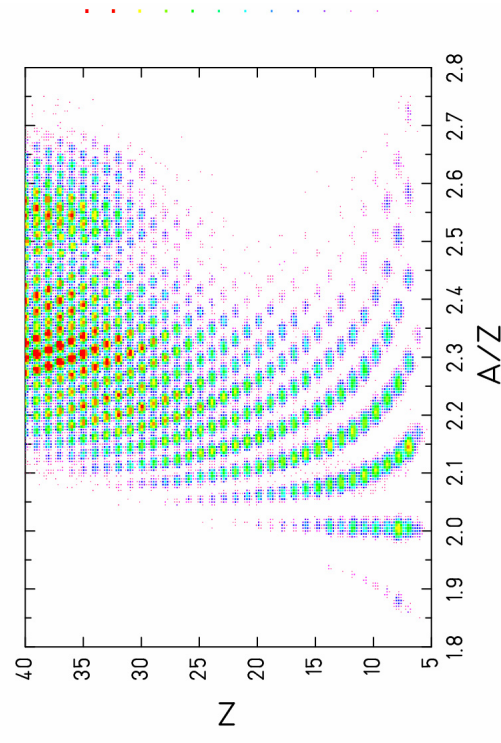
- neutrons (thermiques, « rapides », mono énergétiques)
- électrons
- photons (bremsstrahlung, mono énergétiques)
- protons et d'autres particules chargées (fusion, réactions directes)
- fission spontanée
- **interaction électromagnétique et nucléaire en cinématique inverse**
 - cible nucléaire (GSI) -> distribution en E^* ($\approx$ RGD en e.m. et $E^* \uparrow$ en nucl.)
 - **collider électrons – ions (FAIR) -> E^* définie**

Les installations du GSI utilisées actuellement pour étudier la fission

ACCELERATOR FACILITIES AND EXPERIMENTAL AREAS



Le séparateur de fragments comme spectromètre magnétique



Spectromètre

Résolution $p/\Delta p \approx 2000$.

Acceptance $\Delta B\rho/B\rho = 3\%$ et $\Theta_{\max} = 15\text{ mr}$.

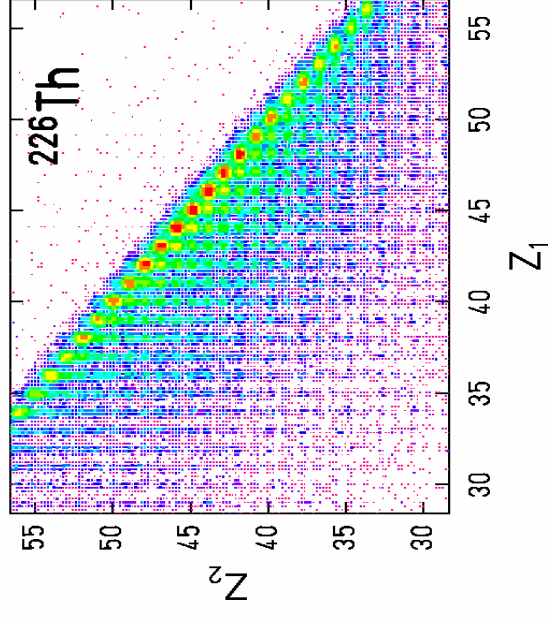
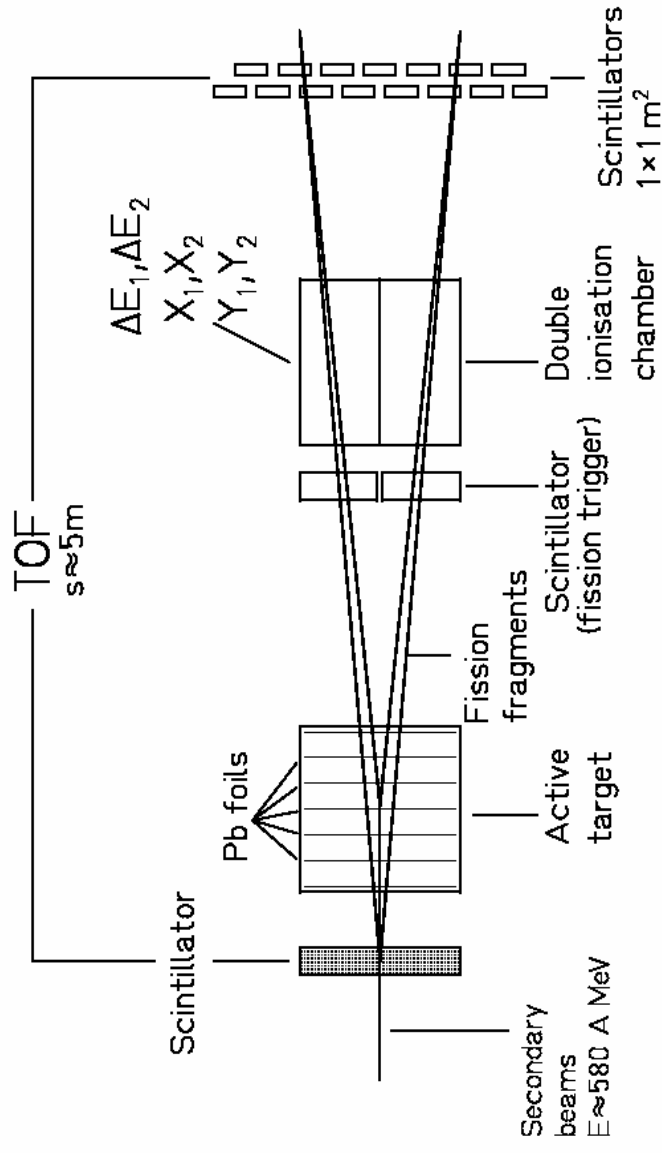
Identification en Z et A par déflexion magnétique, tracking, ToF et ΔE .

Équations de base: $B\rho = m_0 A c \beta \gamma / (e Z)$ et $\Delta E \propto Z^2 / v^2$

Identification des nuclides

(M. V. Ricciardi)

Chambre à ionisation double – mur de temps de vol

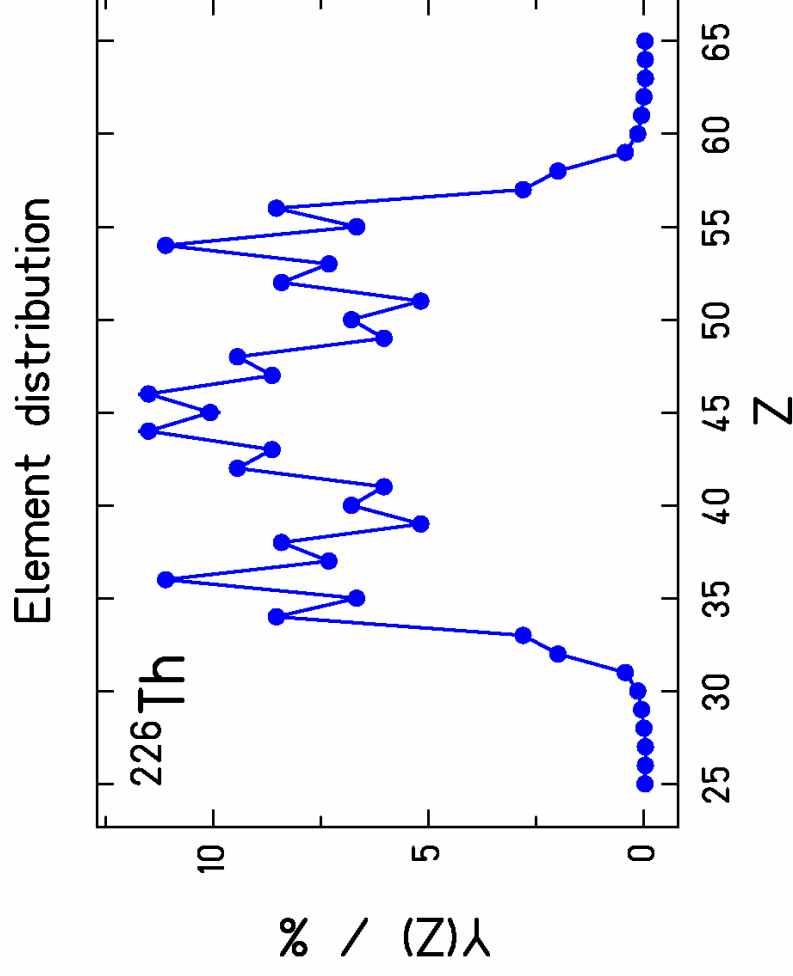


Les détecteurs

Identification des deux fragments en Z

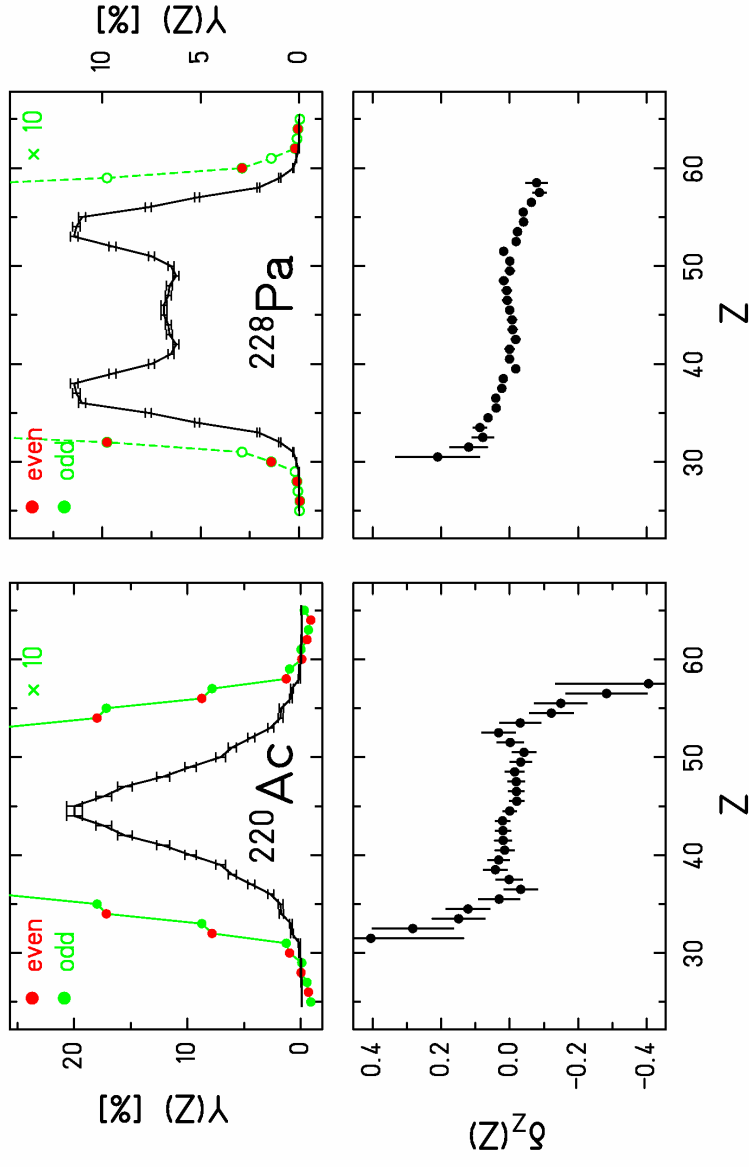
Quelques résultats obtenus en cinématique inverse

Distributions en Z



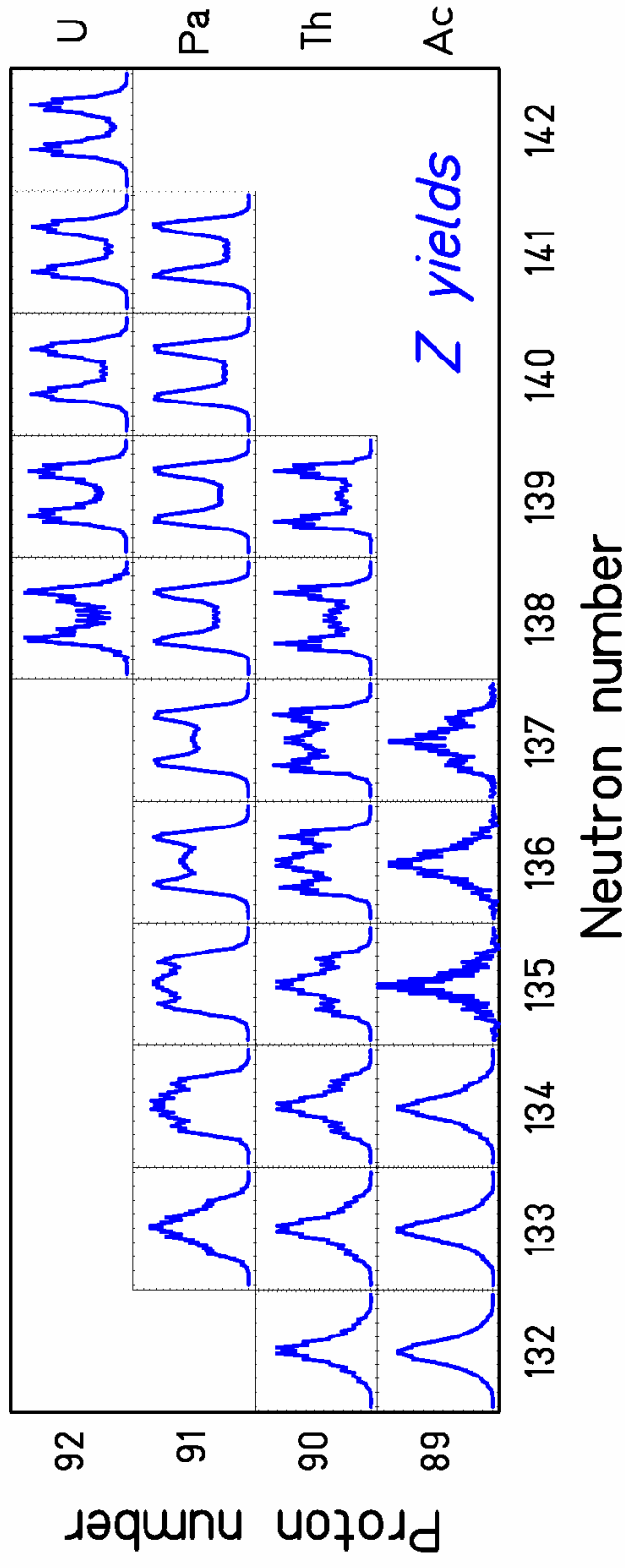
Fission après excitation de la résonance géante dipolaire.
($T_{1/2}$ de ^{226}Th = 31 minutes !)

Apparition d'un effet pair-impair pour des éléments fissionnants impairs



Explication statistique par l'espace de phase disponible pour un proton individuel dans les deux fragments à la scission ($g \sim A$).

Fission bimodale des actinides déficitants en neutrons

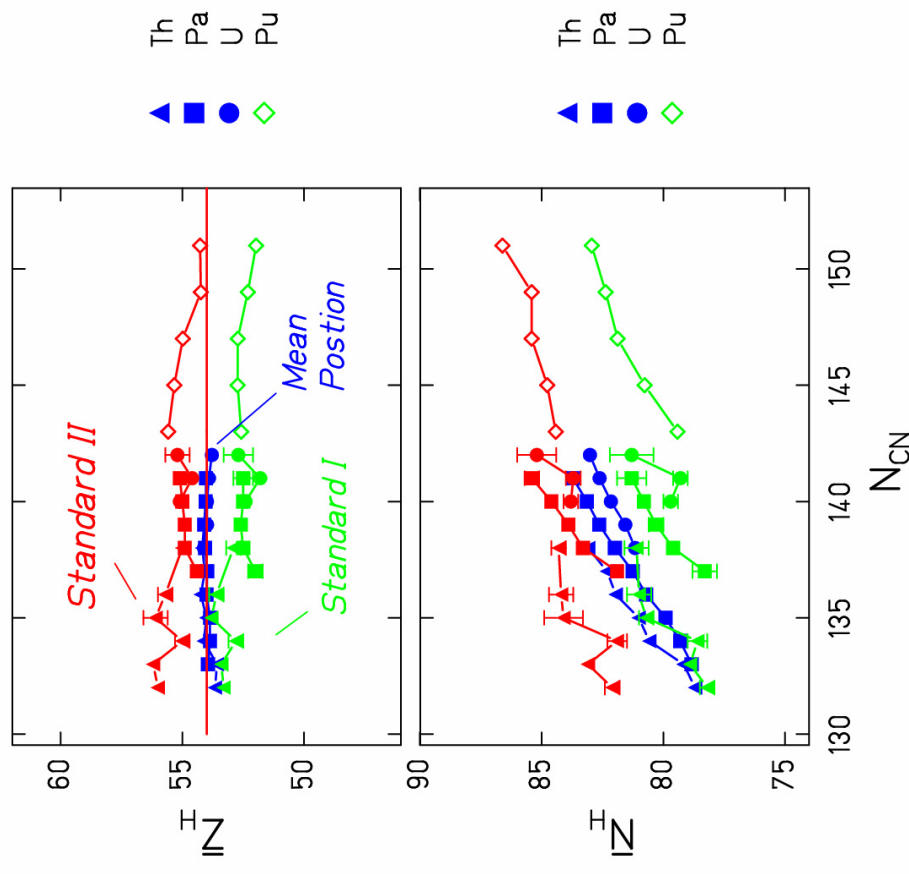


Distributions en Z après excitation de la RGD ($E^* \approx 11$ MeV)

(K.-H. Schmidt et al., NPA 665 (2000) 221)

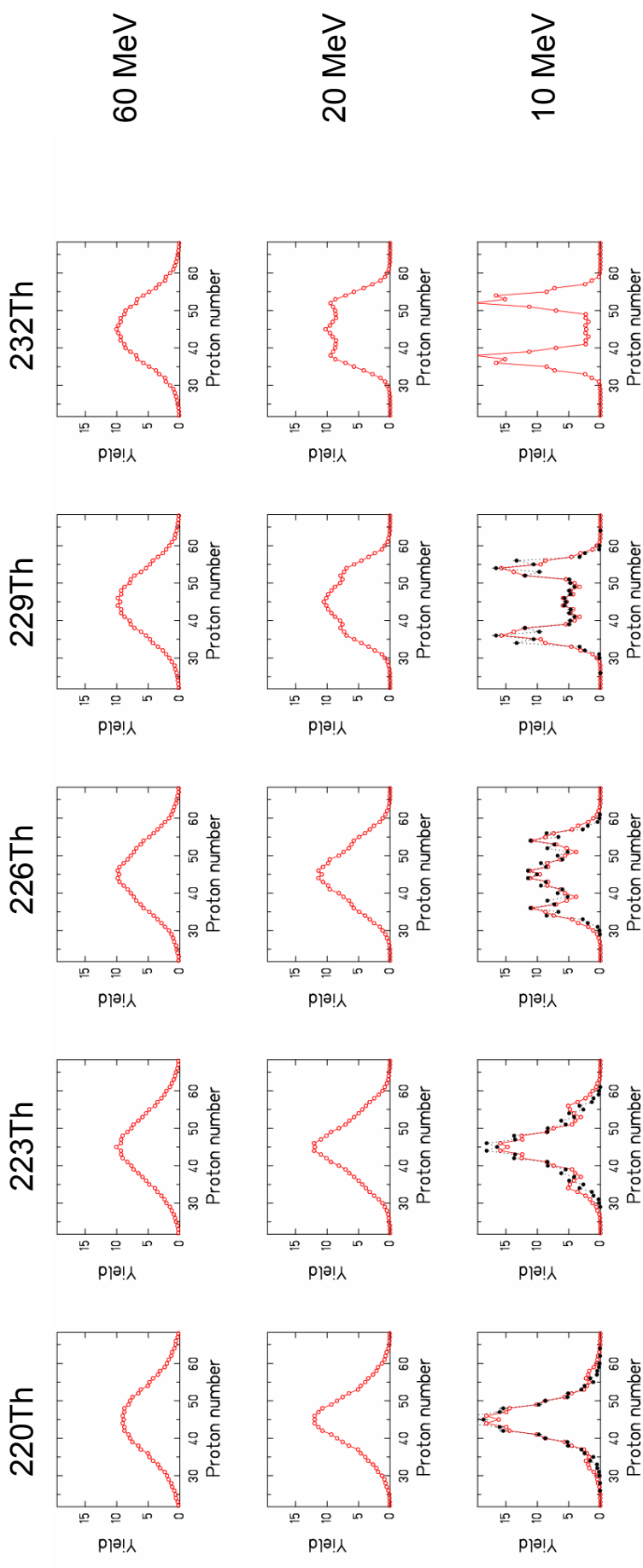
Vue générale expérimentale sur la fission des actinides légers par des faisceaux secondaires des nucléides radioactifs.

Stabilité de la position du groupe lourd à $Z = 54$



Surprenant, parce qu'on croit que les couches de neutrons détermines des modes.

Évolution des distributions de fission en fonction de A et E*



rouge: calculs PROFIL, **noir:** données expérimentales (K.-H. Schmidt et al., NPA 665 (2000) 221)

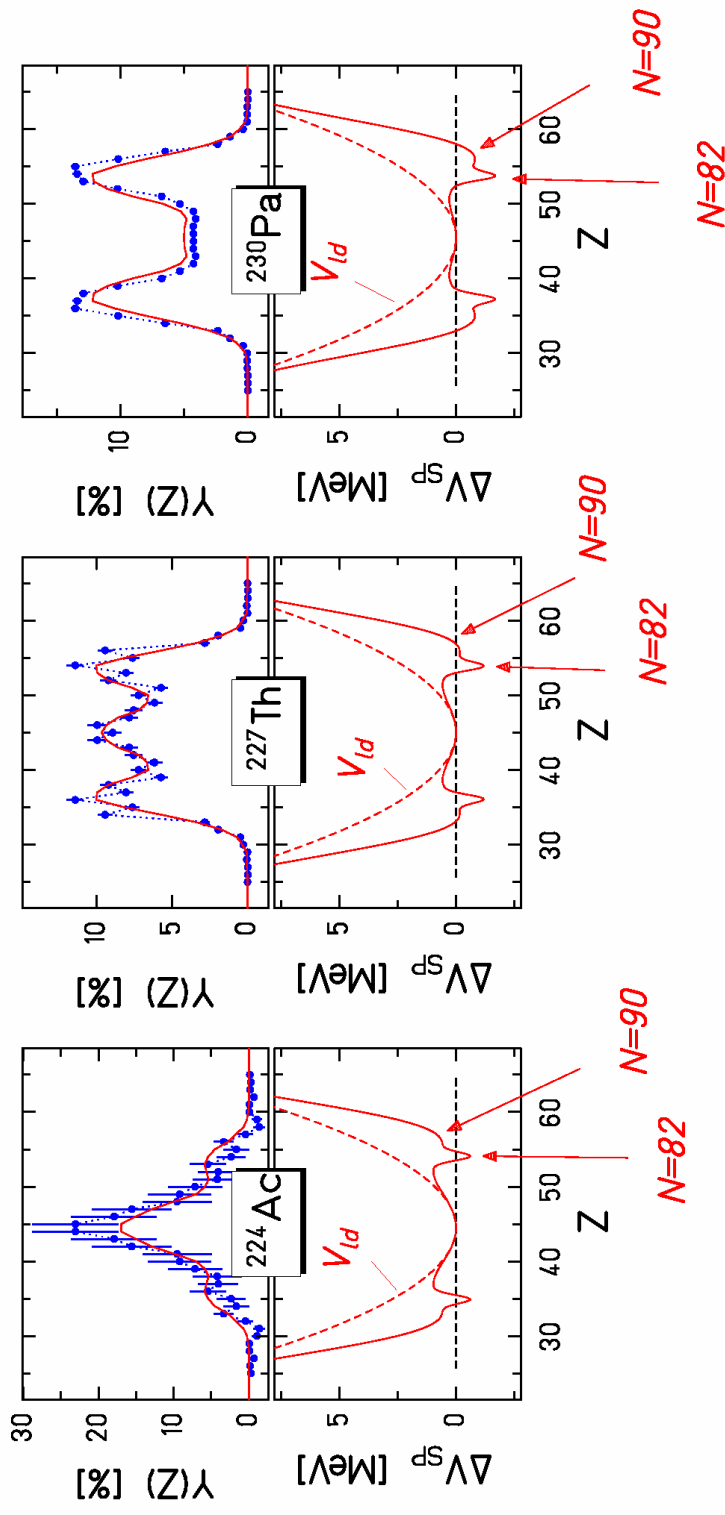
Ingrédients du modèle de fission: Densité de niveaux, suppositions sur la dynamique, potentiel ajusté.

Potentiel macroscopique: propriété du noyau composé, favorise la fission symétrique.

Couches: propriété des fragments (modèle de 2-centre), favorise les modes de fission; disparaît avec E*.

Distribution des nuclides: superposition de la fission des noyaux différents aux E* différentes.

Variation du potentiel auprès du seuil externe



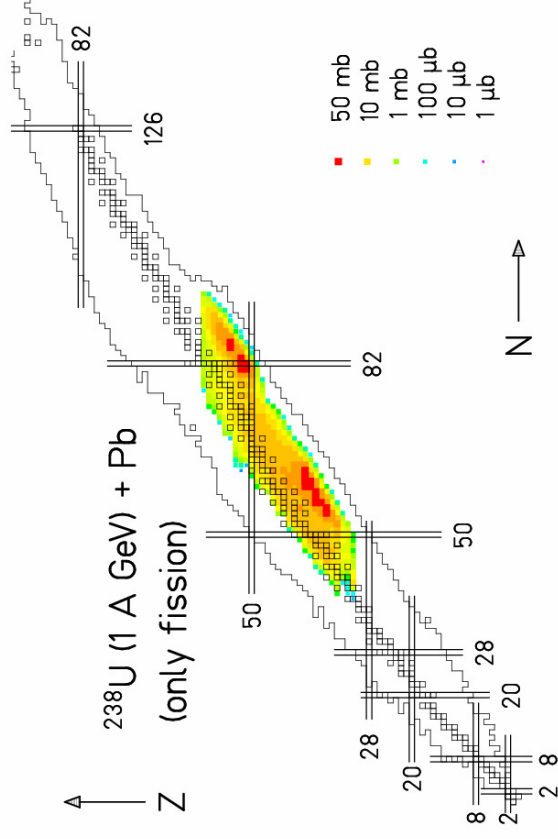
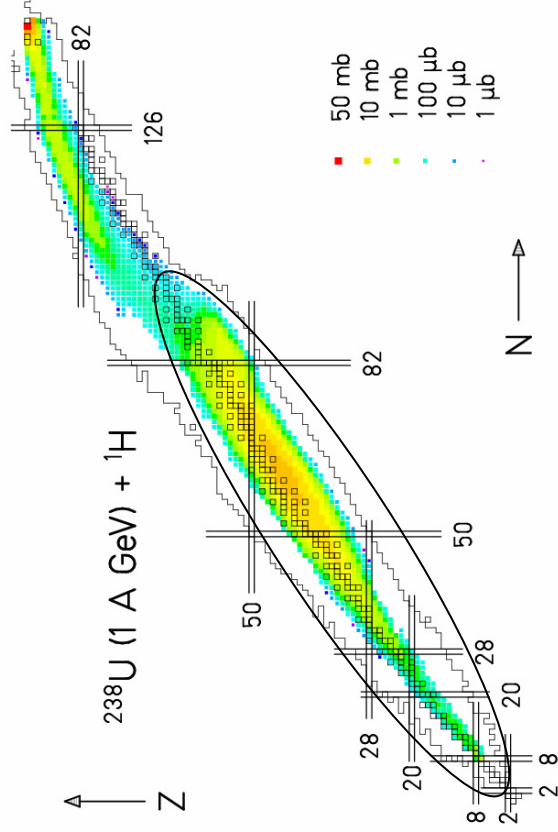
Transition from single-humped to double-humped distributions investigated experimentally (K.-H. Schmidt et al., NPA 665 (2000) 221) and explained by macroscopic (CN) and microscopic (nascent fragments) properties of the potential-energy landscape near saddle

Essential ingredient: Vanishing of shell effects with increasing excitation energy.

(J. Benlliure et al., Nucl. Phys. A 628 (1998) 458).

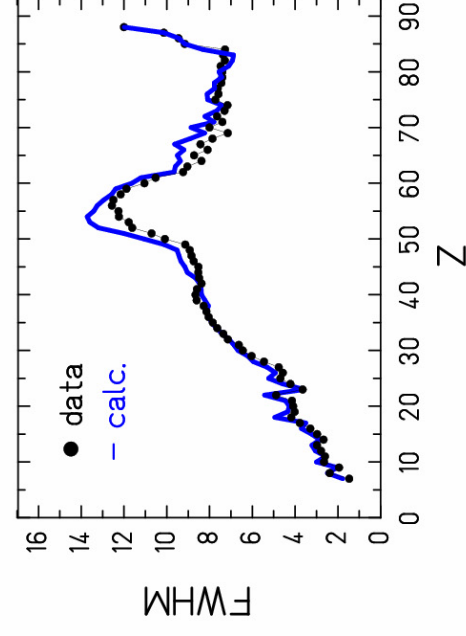
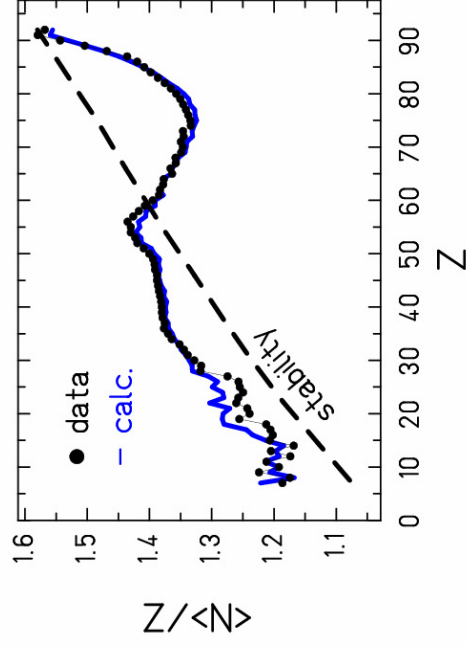
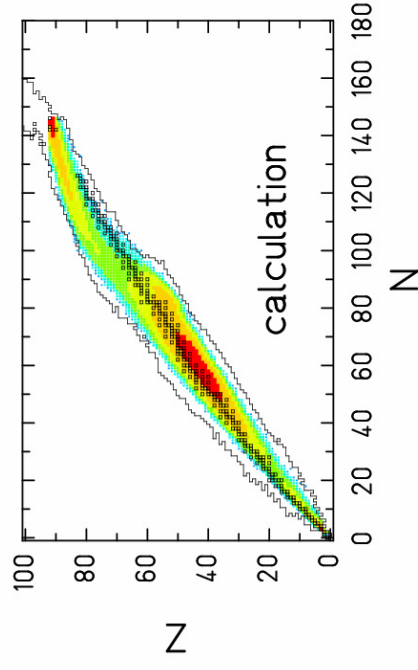
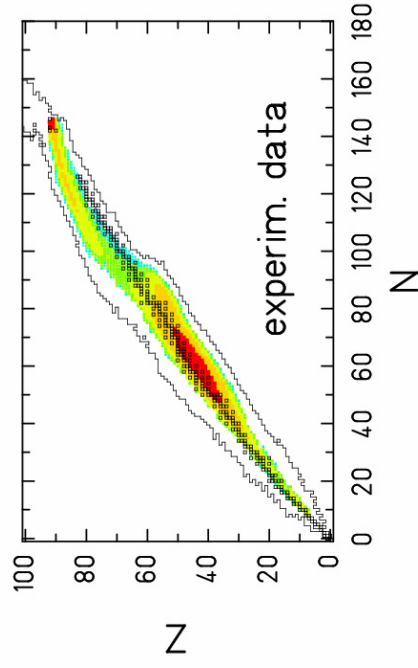
Distributions des nuclides complètes

Comparaison de deux systèmes



Fission de ^{238}U induite dans une cible d'hydrogène et de plomb:
Des distributions de nuclides très différentes.

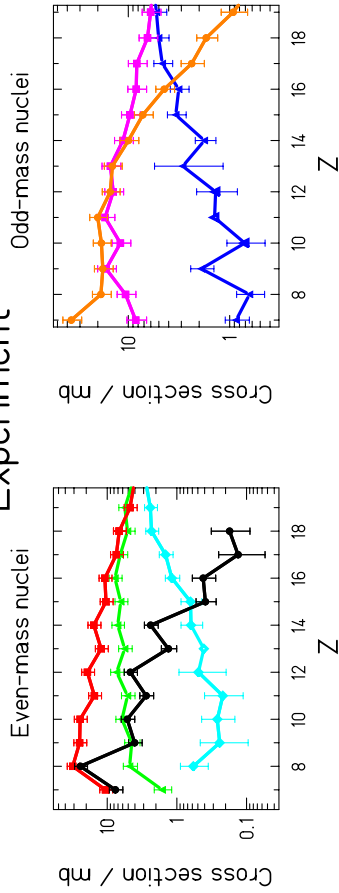
Reproduction de $^{238}\text{U} (1 \text{ A GeV}) + ^1\text{H}$



Effet pair-impair des fragments très légers

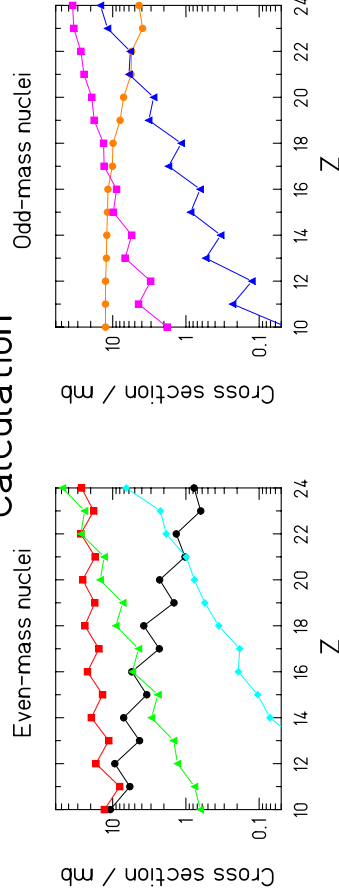
Observation dans les réactions à haute énergie induite (étudiées systématiquement au GSI) relié à la transition de phase fluide – super fluide pendant le processus d’évaporation.

Experiment



Effet pair-impair dans la production des fragments légers en $^{238}\text{U} (1 \text{ A GeV}) + \text{Ti}$. (Caractère complexe!)

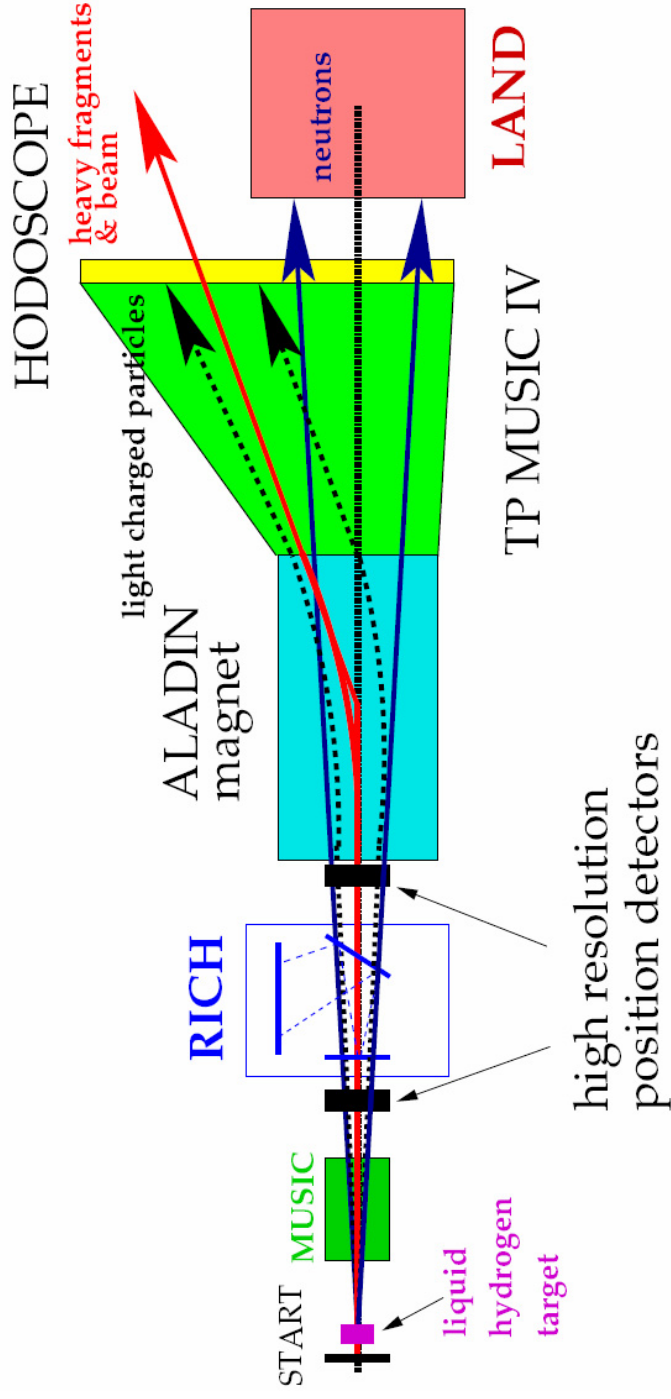
Calculation



Reproduction des caractéristiques principales par des calculs statistiques. Importance de la compétition γ !

Spectromètre à grande acceptance (en préparation)

SPALADIN @ GSI



Détection de neutrons, particules chargées / mais résolution en masse limitée

Spectromètres de plus grande acceptance / meilleure résolution

Anneaux de stockage, colliders électrons — ions

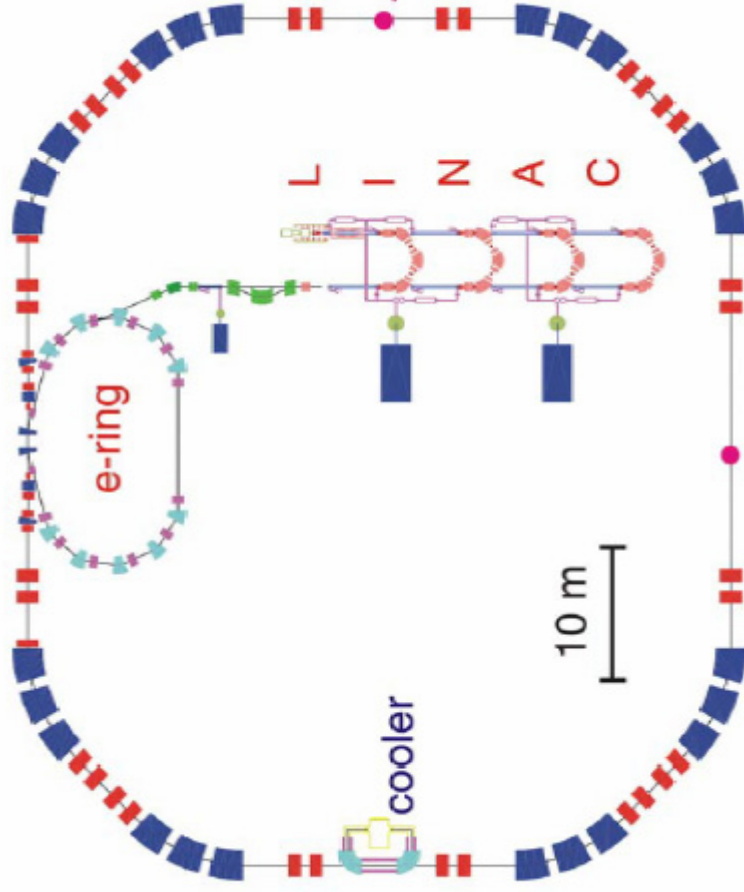
Collider électrons-ions – l’outil idéal ?

Détermination de l'énergie d'excitation par mesure des électrons diffusés.

Pas de diffusion angulaire dans la cible.

Pas de contribution de réactions nucléaires.

Nécessite un spectromètre à grande acceptance pour les fragments de fission.



Peter Armbruster, Antoine Bacquias, Lydie Giot, Vladimir Henzl, Daniela Henzlova, Aleksandra Kelić, Strahinja Lukić, Pavel Nadochty, Radek Pleskač, Maria Valentina Ricciardi, Karl-Heinz Schmidt, Florence Vivès , Bernd Voss, Orlin Yordanov
GSI, Planckstr. 1, D-64291 Darmstadt, Germany

Laurent Audouin, Charles-Olivier Bacri, Monique Bernas, Brahim Mustapha, Claude Stéphan, Laurent Tassan-Got
IPN Orsay, B.P. n. 1, F-91406 Orsay, France

Alain Boudard, Jean-Erique Ducret, Beatriz Fernandez, Sylvie Leray, Claude Volant, Carmen Villagrasa, Wojciek Wlaslo
DAPNIA/SPhN, CEA Saclay, F-91191 Gif sur Yvette Cedex, France

Julien Taieb

DEN/DM2S/SERMA/LENR, CEA Saclay, F-91191 Gif sur Yvette Cedex, France

Christelle Schmitt

IPNL, Université Lyon, Groupe Matière Nucleaire, 4, rue Enrico Fermi, F-69622 Villeurbanne Cedex, France

Serge Czajkowski, Beatriz Jurado, Michael Pravikoff

CENBG, Le Haut Vigneau, F-33175 Bordeaux-Gradignan, Cedex, France

Paolo Napolitani, Fanny Rejmund

GANIL, B.P. 5027, F-14076 Caen Cedex 5, France

Jose Benlliure, Jorge Pereira, Enrique Casarejos, Manuel Fernandez, Teresa Kurtukian
Univ. Santiago de Compostela, E-15706 Santiago de Compostela, Spain

Arnd Junghans

Forschungszentrum Rossendorf, Postfach 510119, D-01314 Dresden, Germany