

Étude des signaux de transition de phase dans les noyaux excités

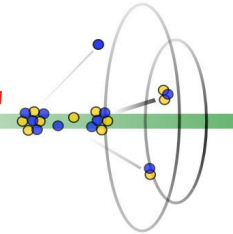


Par

Francis Gagnon-Moisan

GRILL

UNIVERSITÉ
LAVAL



IPN, Orsay
14 décembre 2007

Résumé de la présentation

- Introduction
 - Les principes de base!
 - Équation d'état
 - Transition de phase nucléaire
- Expérience: 5^{ème} campagne INDRA
 - Le multidétecteur
 - Les problèmes rencontrés

Introduction

survol

- Les réactions aux énergies intermédiaires (10-100 AMeV).
- Détections des fragments chargés (et des neutrons...)
 - Masse pour $Z < 5$ (protons, deutons, tritons, etc...)
 - Charge Z jusqu'à $Z \sim 90$
- Analyses à partir de la distribution angulaire des fragments dans le laboratoire (φ, θ), Charge (Z), masse (A) et énergie cinétique (E_k).

Introduction

Les principes de base

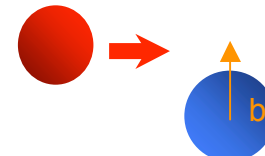
$1\text{fm} = 10^{-15}\text{m}$

$$R \cong r_0 A^{1/3}$$

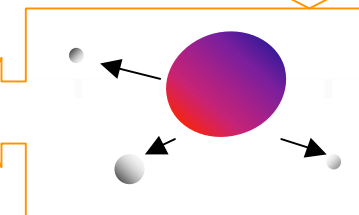
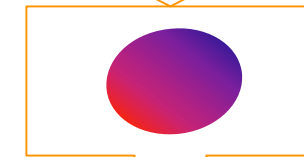
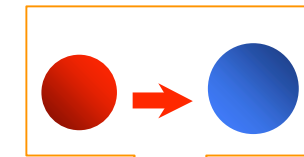
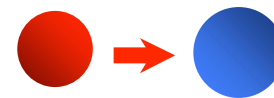
$$r_0 \approx 1.12\text{fm}$$

- Énergie de la particule incidente
 $5\text{AMeV} \leq E_{\text{inc}} \leq 100\text{AMeV}$
- Différents types de collisions: périphériques, centrales, (...)
- Centrales->formation d'un noyau composé

$$b \leq R_p + R_c$$

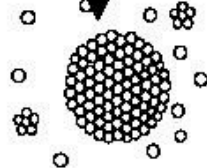
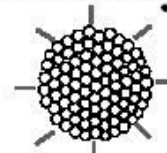


$$b \approx 0$$

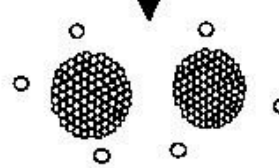


Voies de désexcitation d'un noyau chaud

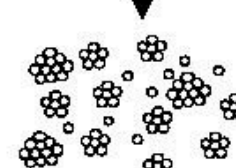
$$E^* = \frac{E_{\text{inc}} A_c}{A_c + A_p} + Q$$



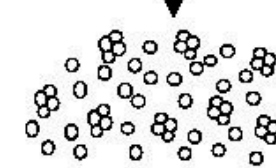
Évaporation



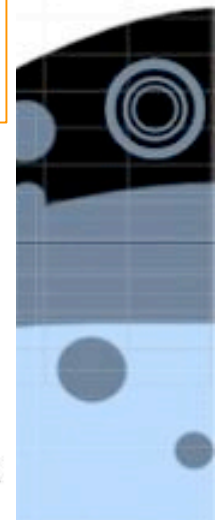
Fission



Multifragmentation

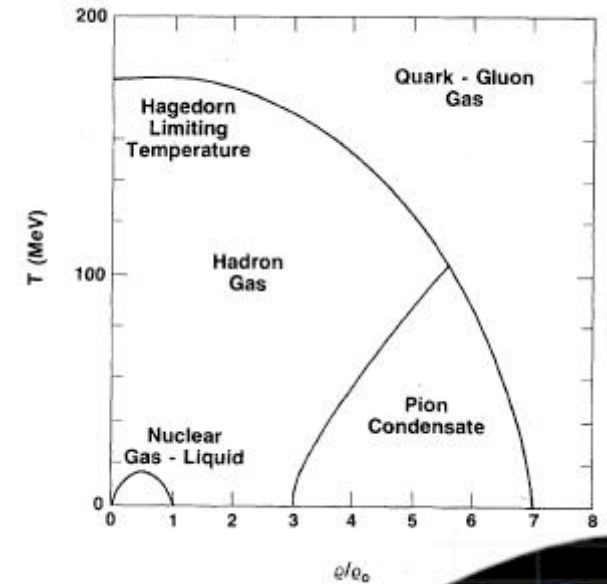
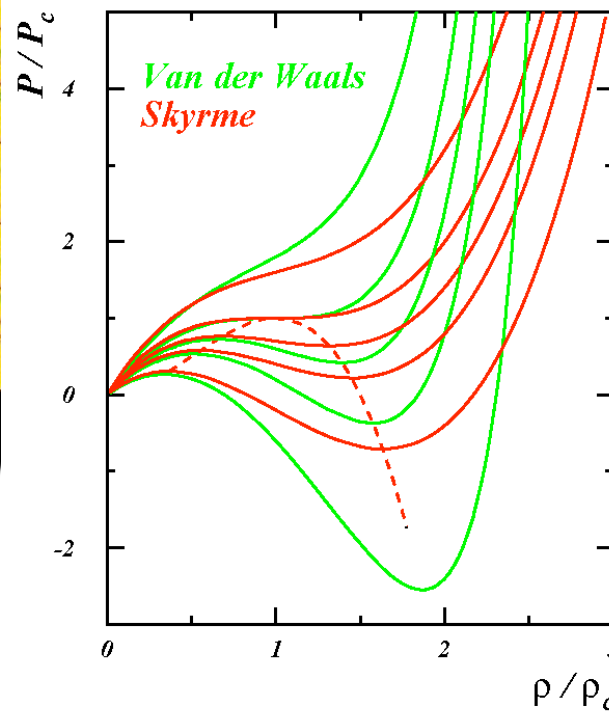
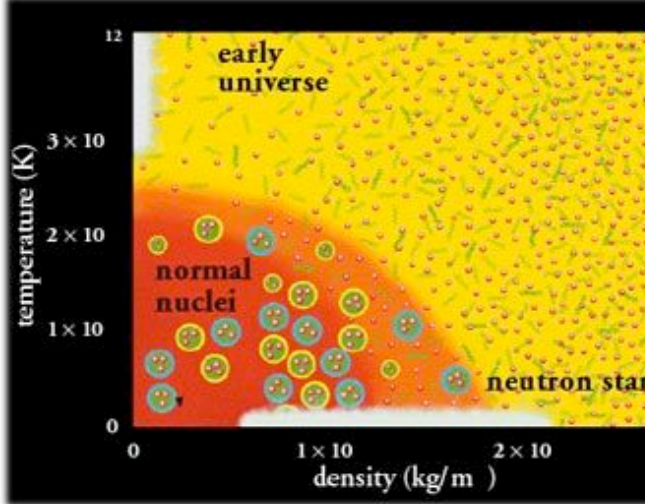


Vaporisation



Équation d'état

L'équation d'état de la matière nucléaire permet de relier les différentes variables thermodynamiques (P, ρ, T, V), décrivant le comportement de cette matière.



$$\left(p + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

a : interaction attractive
 b : ordre de volume des molécules

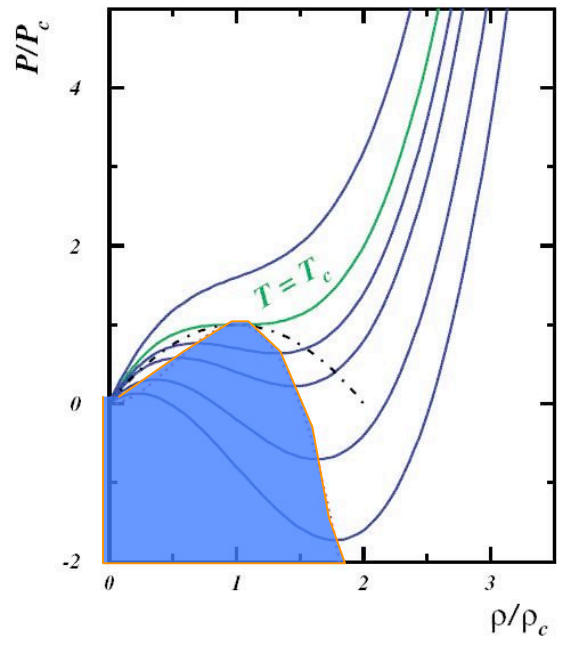
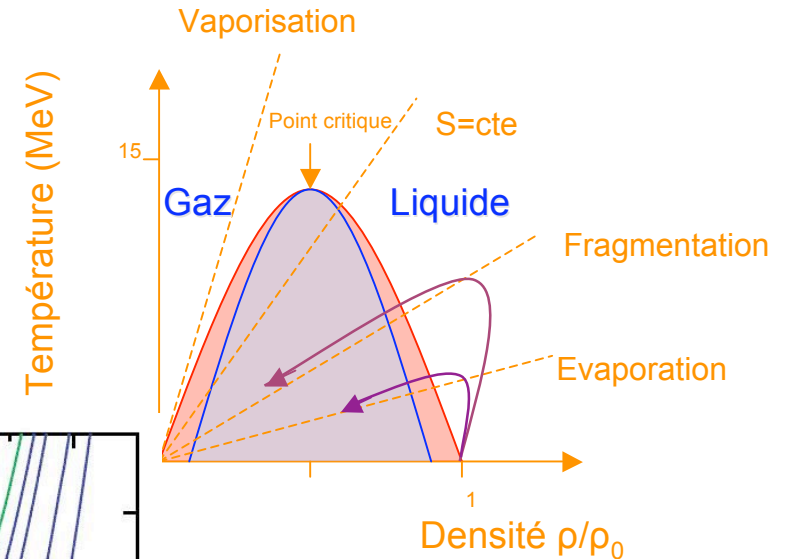
Le comportement de la matière nucléaire n'est pas si différent d'un fluide de Van der Waals!

Transition de phase dans les noyaux *introduction*

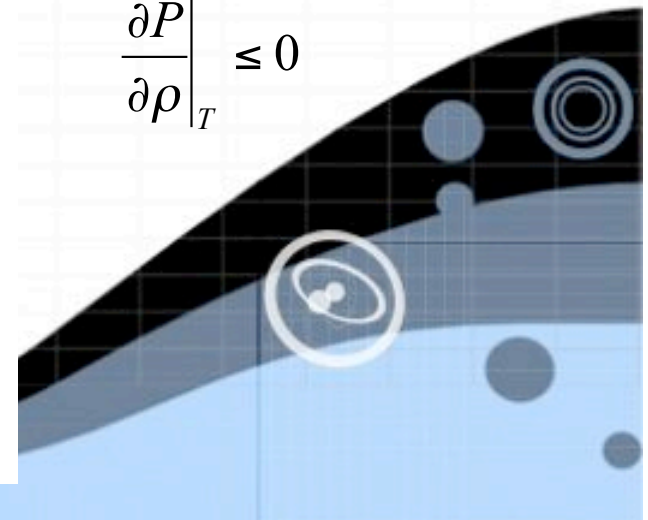
On cherche à explorer le diagramme de phase.

La zone de coexistence est celle où la phase liquide (noyaux) et gazeuse (fragments) coexistent (nucléation).

La zone spinodale est une zone d'instabilités.



$$\left. \frac{\partial P}{\partial \rho} \right|_T \leq 0$$



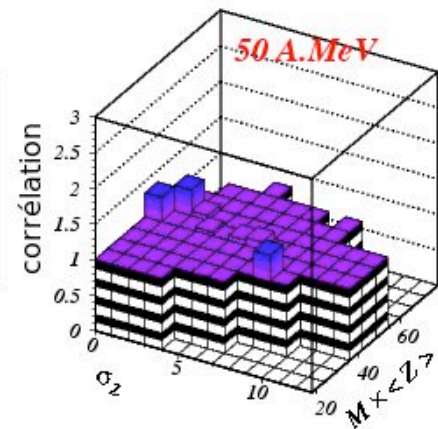
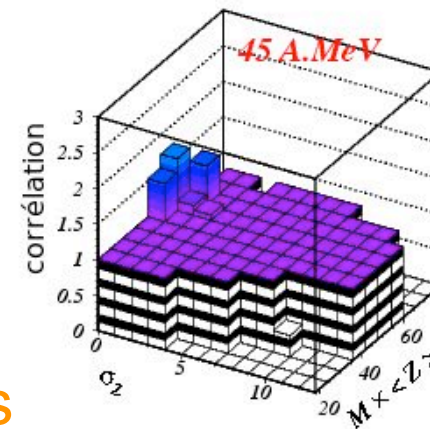
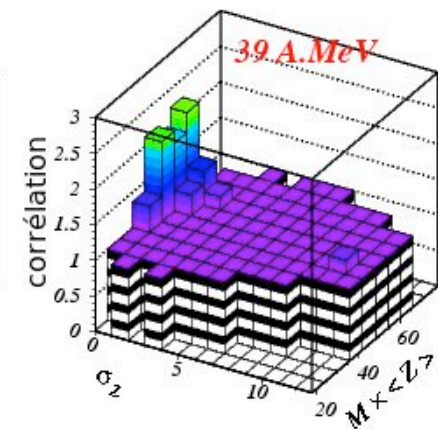
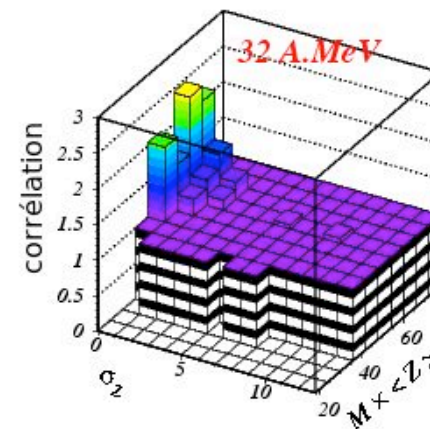
Transition de phase dans les noyaux *signal*

Les modes les plus instables sont favorisés par la décomposition spinodale

Le système est alors brisé en fragments de masses égales.

Faible proportion des événements observés, car:

- Décomposition secondaire des fragments excités
- Nombre fini de composants



INDRA

systemes à l'étude

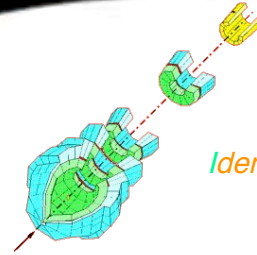
- Le système Xe+Sn est étudié depuis plusieurs années avec INDRA.
- Il s'agit d'un système symétrique assez massif ($Z_{\text{Sn}}=50$ et $Z_{\text{Xe}}=54$).
 → Approprié pour l'étude de la transition de phase.
- Variation de l'isospin dans les limites du possible au moment de l'expérience.

Faisceau	Cible	Isospin N/Z	Énergie AMeV
^{124}Xe	^{112}Sn	1.27	32 et 45
^{136}Xe	^{124}Sn	1.54	32 et 45

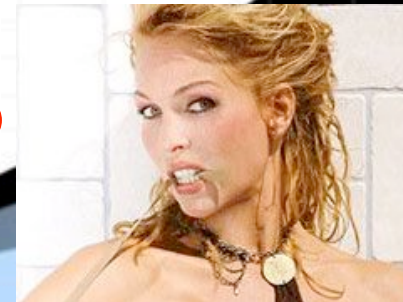
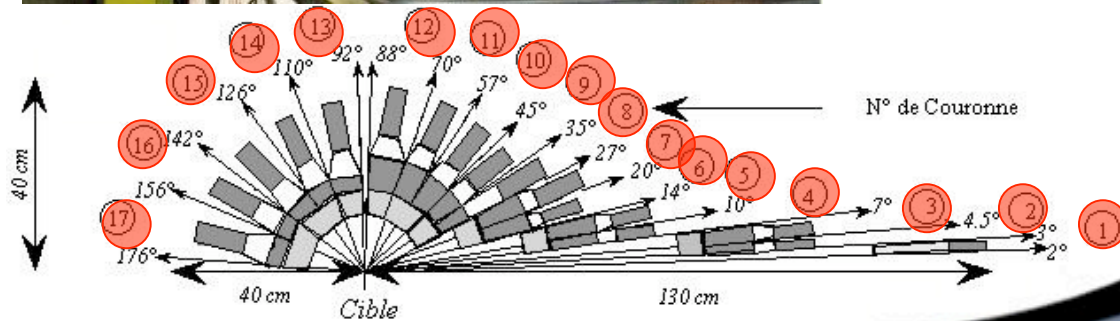
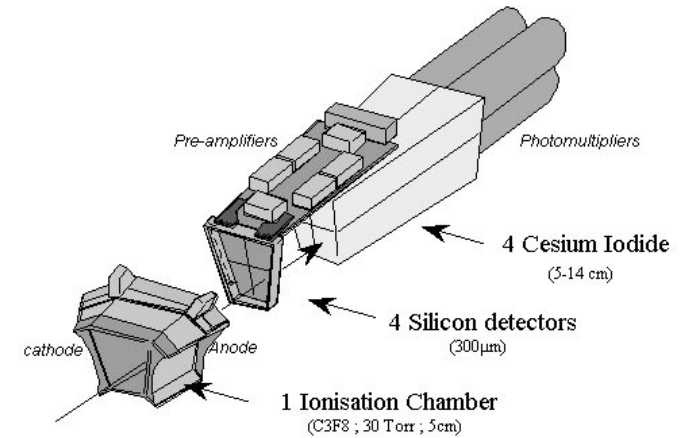
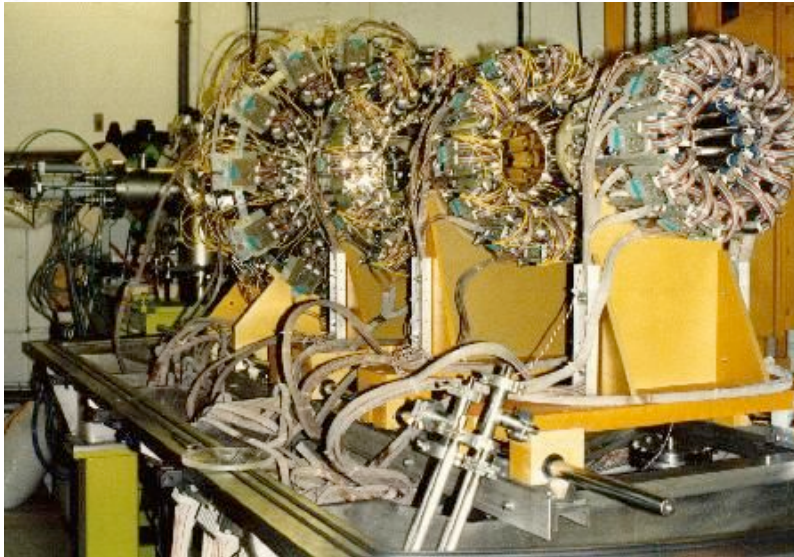
- La plus grande statistique disponible devrait nous permettre de pousser l'analyse de la distribution des fragments de charge égale.

INDRA

Identification de Noyaux et Détection avec Résolutions Accrues



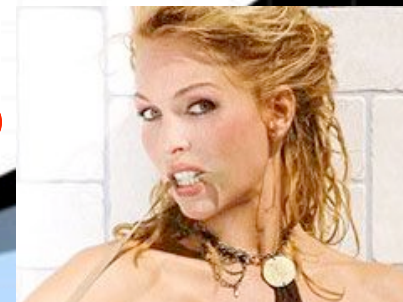
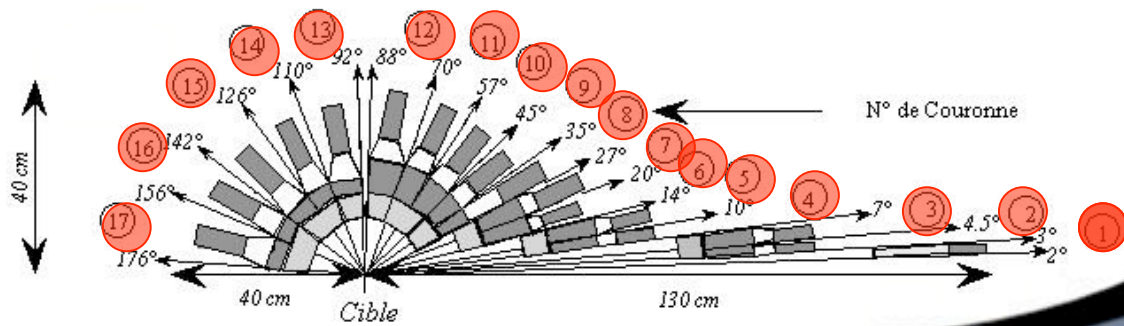
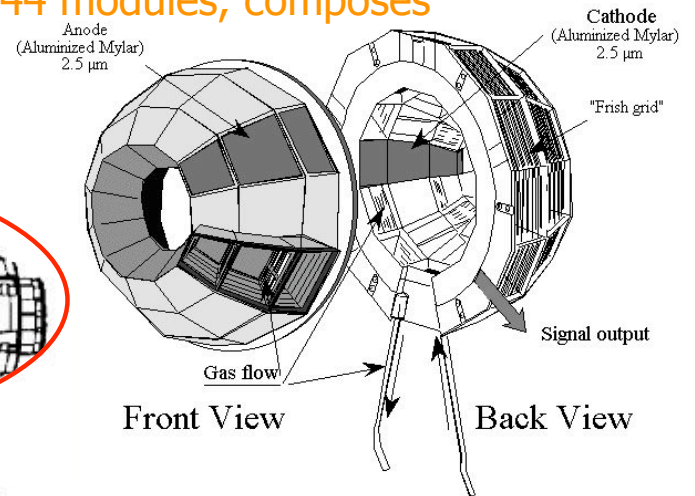
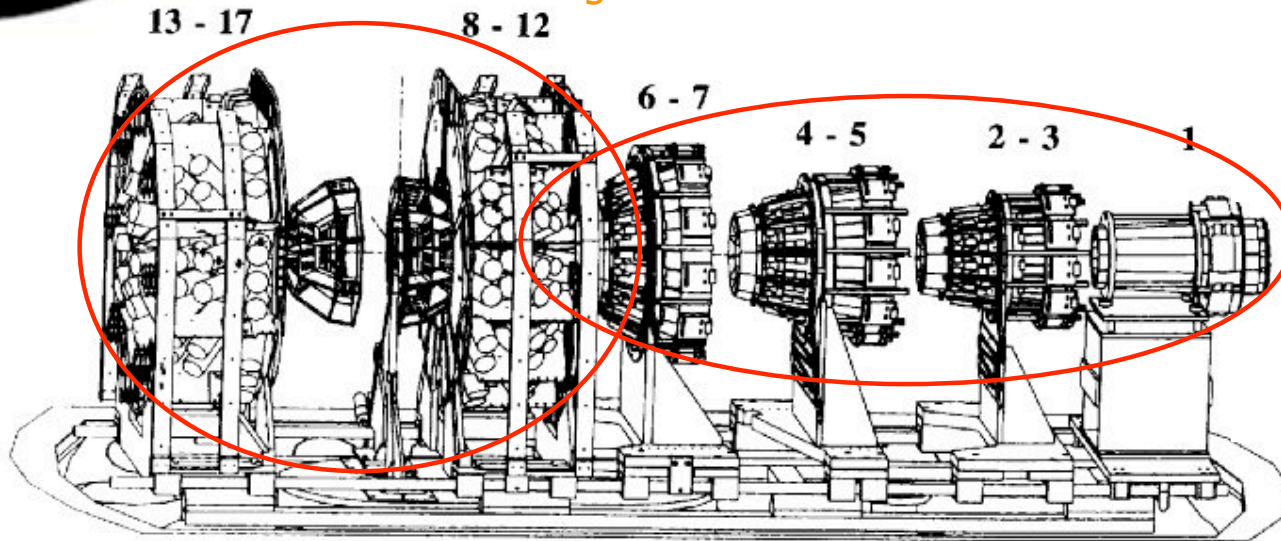
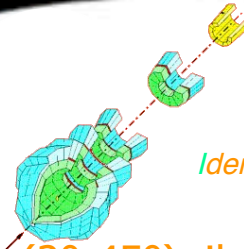
- INDRA est un multidétecteur développé au début des années 90.



INDRA

Identification de Noyaux et Détection avec Résolutions Accrues

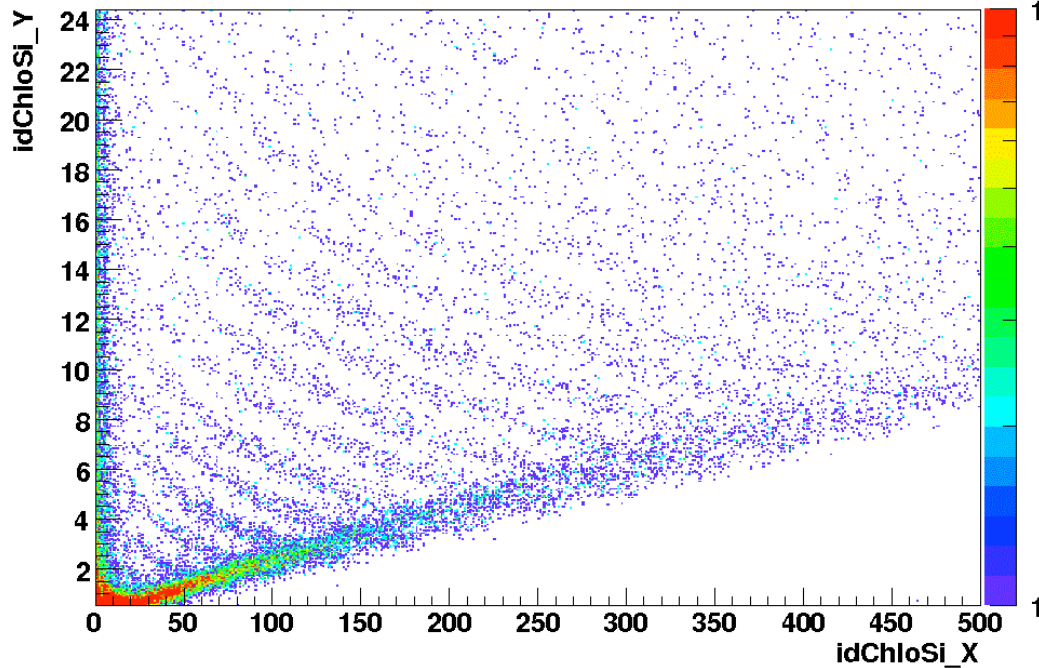
- Aux angles inférieurs (2° - 45°), il y a 192 modules, composés de 3 étages de détecteurs.
- Aux angles plus élevés (45° - 176°), il y a 144 modules, composés de 2 étages de détecteurs.



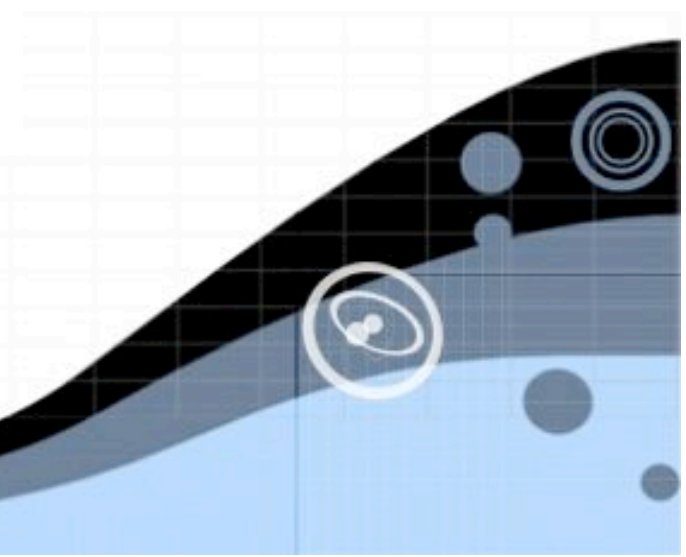
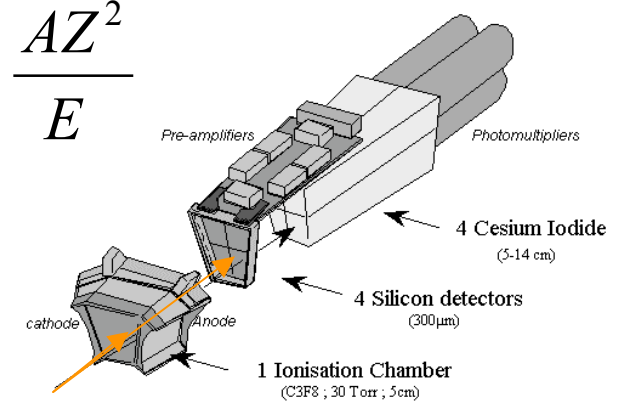
Les Détecteurs et l'identification

Chlo-Si Couronne 7, Module 2

Entries 195772

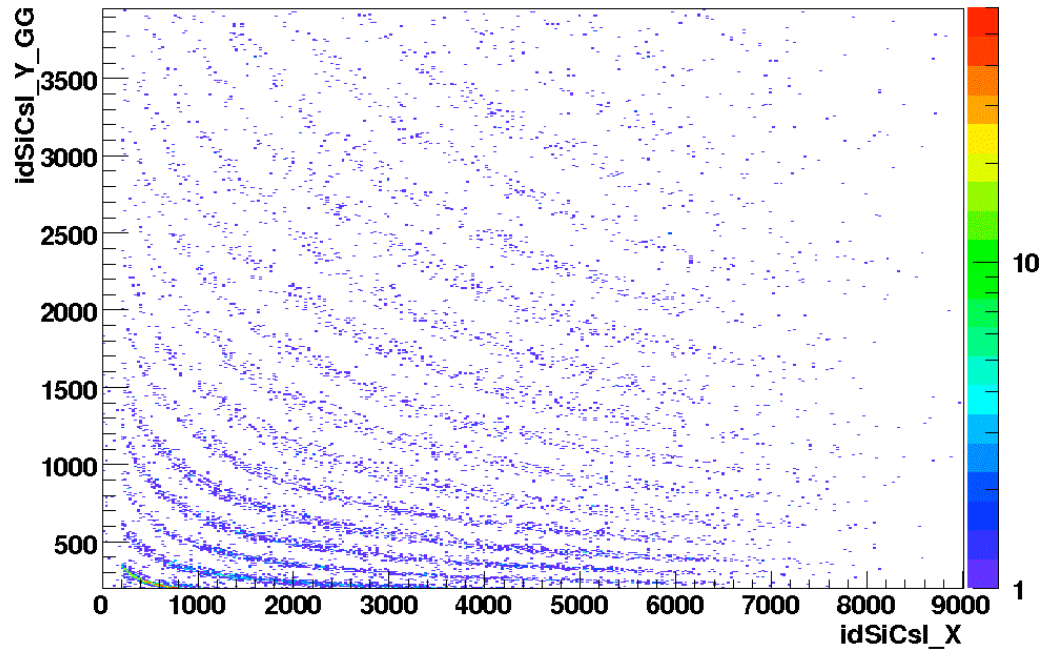


$$10^{\Delta E} \propto \frac{AZ^2}{E}$$

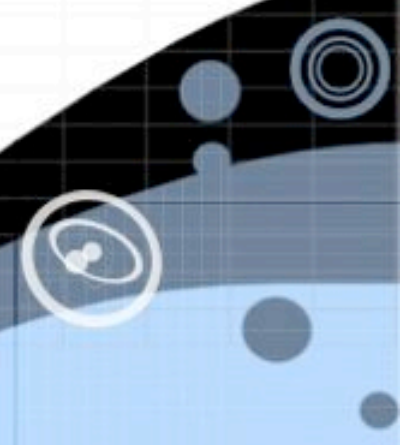
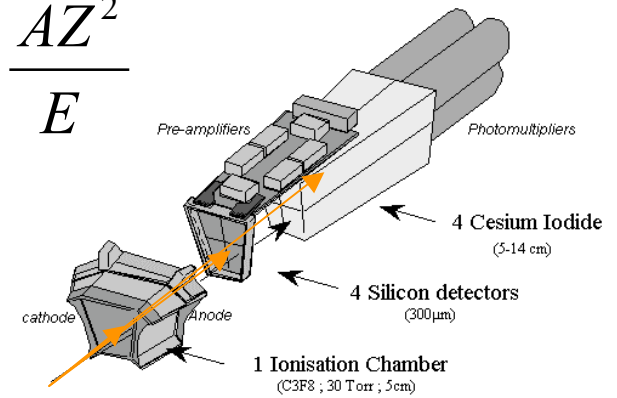


Les Détecteurs et l'identification

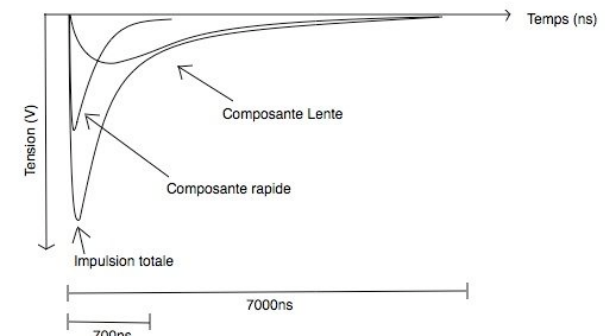
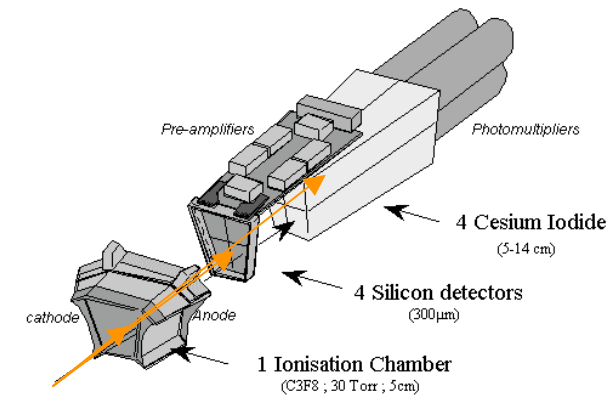
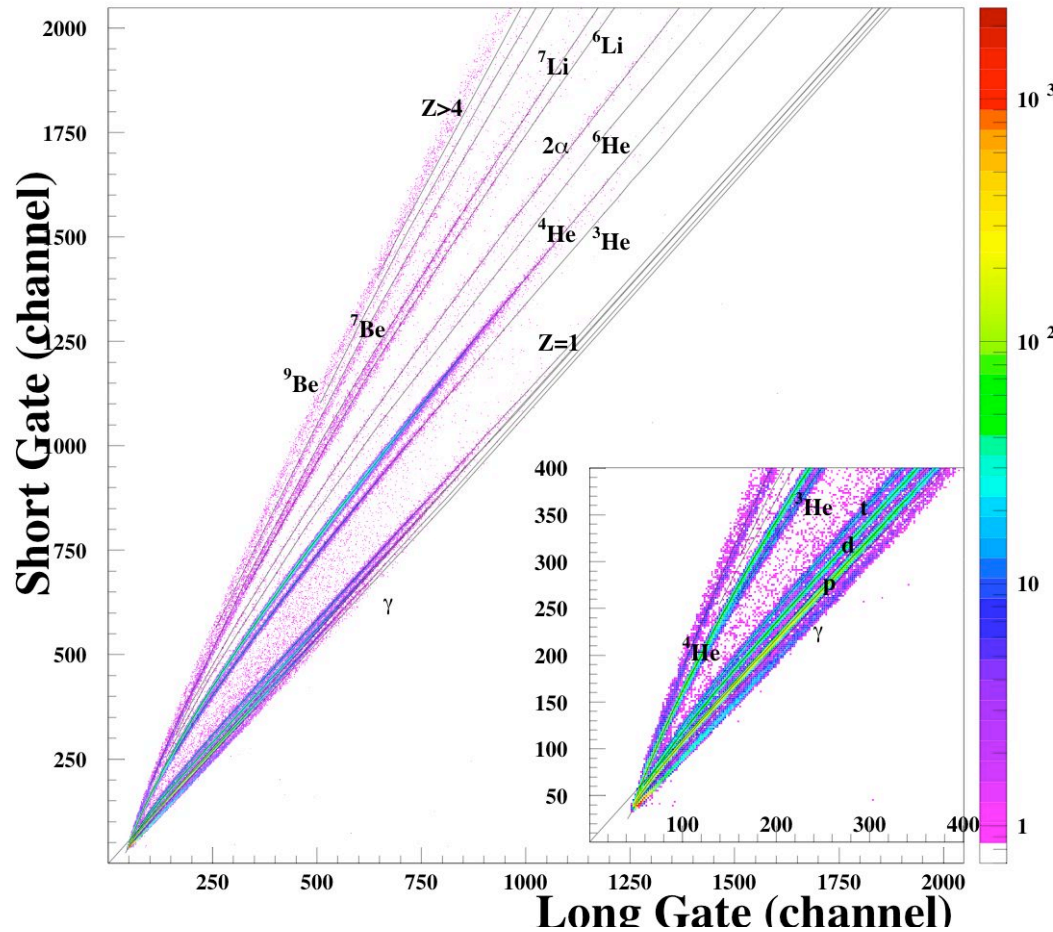
Si-CsI Couronne 4, Module 1



$$\Delta E \propto \frac{AZ^2}{E}$$

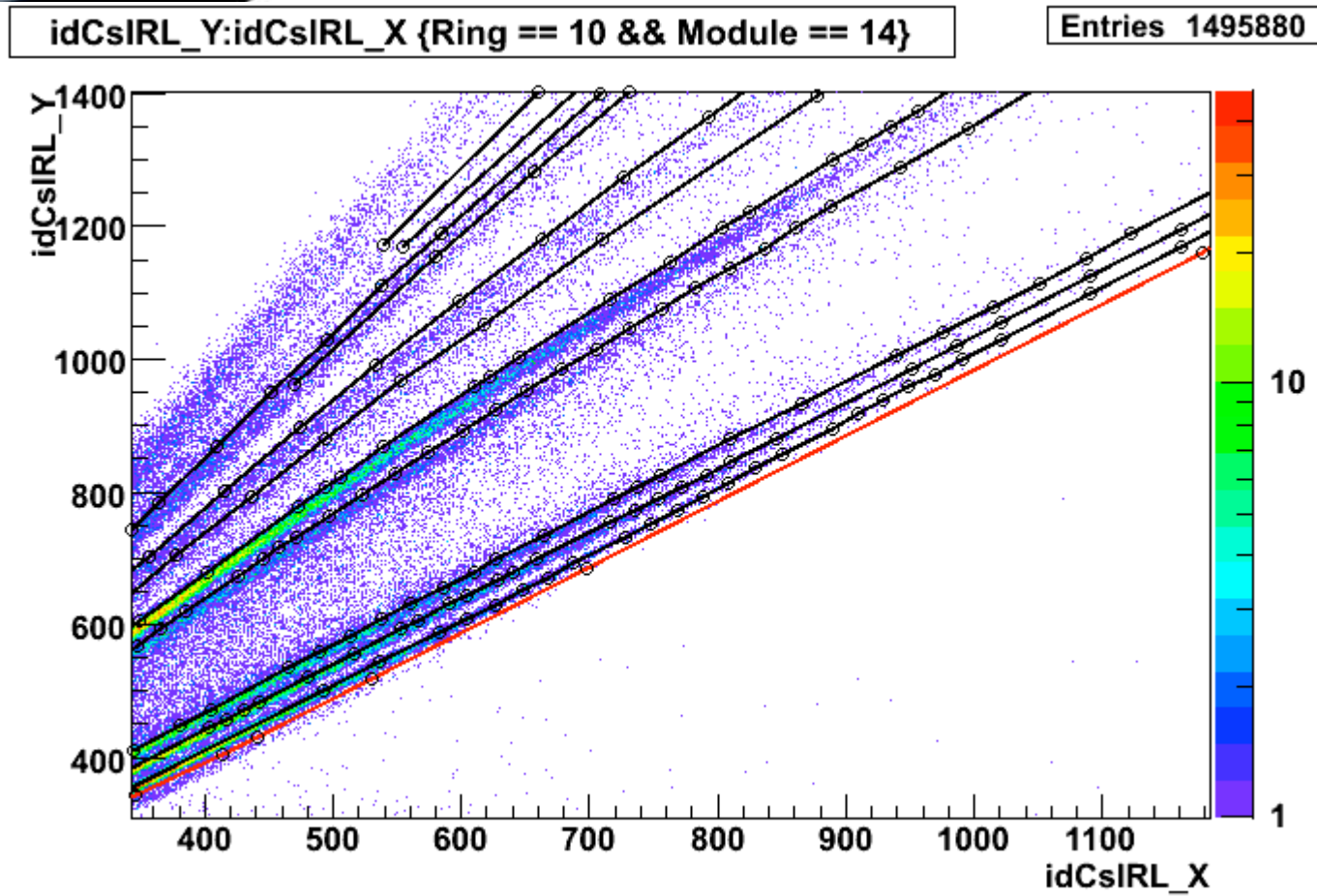


Les Détecteurs et l'identification



$$L = a_1 \left(E_0 \left[1 - a_2 \frac{AZ^2}{E_0} \ln \left(1 + \frac{1}{a_2 \frac{AZ^2}{E_0}} \right) \right] \right) + a_4 a_2 AZ^2 \ln \left(\frac{E_0 + a_2 AZ^2}{E_\delta + a_2 AZ^2} \right)$$

Les problèmes *des CsI(Tl)*



Conclusion

- La recherche d'un signal de transition phase nucléaire est complexe, mais essentielle à la conception d'une équation d'état fiable.
- La compréhension de ce phénomène servira dans les modèles d'étoiles à neutrons.
- La qualité des données est essentielle à la poursuite de cet objectif.

Références

- [1] L. Gingras, thèse de doctorat, Université Laval, 2001.
- [2] M. Gourde, mémoire, Université Laval, mars 1993.
- [3] F. Moisan, mémoire, Université Laval, 2006.
- [4] J. Moisan, mémoire, Université Laval, juillet 2004.
- [5] L. Nalpas, thèse de doctorat, Université de Paris-Sud U.F.R. scientifique d'Orsay, 1997.
- [6] A. Ono, Phys. Rev. C 59 (1999) 853.
- [7] W. Leo, Techniques for Nuclear and Particles Physics Experiments (Springer-Verlag, 1994).
- [8] <http://midas.psi.ch/html/doc/index.html>.
- [9] D. Thériault, thèse de doctorat, Université Laval, 2005.
- [10] J. Pouthas et al., Nucl. Phys. A369 (1995) 222.
- [11] <http://infodan.in2p3.fr/indra/>.
- [12] <http://www.ganil.fr/vamos/index.html>.
- [13] S. Hudan, thèse de doctorat, Université de Caen, 2001.
- [14] B. Borderie et al., Nucl. Phys. A734 (2004) 495.
- [15] L. Moretto et al., Phys. Rev. Lett. 77 (1996).
- [16] P. Désequelles, Phys. Rev. C 65 (2002).
- [17] B. Borderie et al., arXiv :nucl-ex 1 (2001).
- [18] B. Borderie, J.Phys. G :Nucl.Part.Phys. 28 (2002).
- [19] L. Moretto et al., Phys. Rev. C 76 (1996).
- [20] R. Brun and F. Rademakers, Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. A 389 (1997), See also <http://root.cern.ch/>.
- [21] <http://indra.in2p3.fr/KaliVedaDoc/KaliVeda.html>.