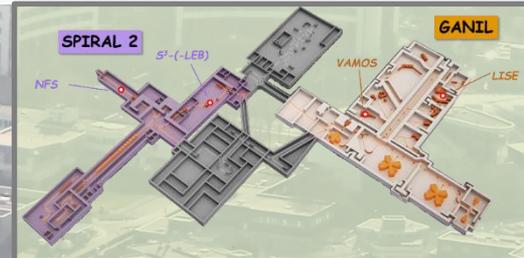




# French Language Teacher Program 2021

*12 Janvier 2022 – 17h-20h*

## Découverte de l'installation GANIL-SPIRAL2



Jean-Charles Thomas, [thomasjc@ganil.fr](mailto:thomasjc@ganil.fr)



**Campus Jules Horowitz**  
Epron – Caen – Hérouville Saint-Clair

Un centre pluridisciplinaire  
pour la recherche avec des faisceaux  
d'ions lourds et de particules

Vidéos: <https://www.dailymotion.com/ganil-spiral2>  
-> métiers (5 min) : <https://www.dailymotion.com/playlist/x3v0um>



Physique atomique  
Sciences des matériaux  
Radiobiologie

Sciences de la vie



# Le GANIL en chiffres

**1976** : création du **GANIL**

**1983** : première expérience

**2001** : lancement de SPIRAL1

**2006** : lancement du projet **SPIRAL2**

**2019**: mise en service de SPIRAL2 Phase1

-> NFS, S<sup>3</sup>, DESIR

**Futur long terme** : SPIRAL2 Phase2

## Plateforme d'accueil

- ~ 250 personnes (CEA, CNRS)
- Budget de fonct. ~ 10M€/an
- ~5000 h de faisceau/an
- Communauté:
  - ~ 700 personnes
  - ~ 100 laboratoires
- Applications industrielles (5-10%)

## Une des 5 installations majeures dans le monde pour les faisceaux d'ions exotiques

Avec RIBF/RIKEN (Japon), GSI/FAIR (Allemagne), MSU (USA), ISOLDE (CERN) ...

## Enseignement

- 50 étudiants/an (Post-doc, Thésards, étudiants)
- activités d'enseignement
- ~ 1500 visiteurs/an dont ~800 scolaires

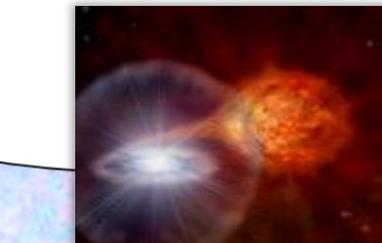
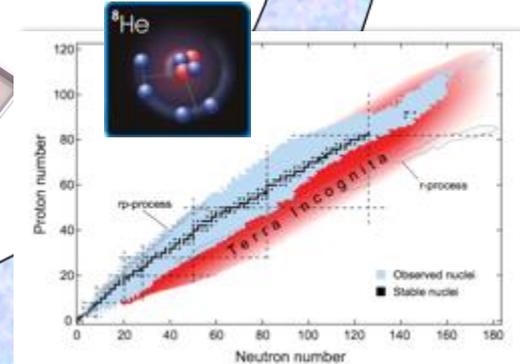
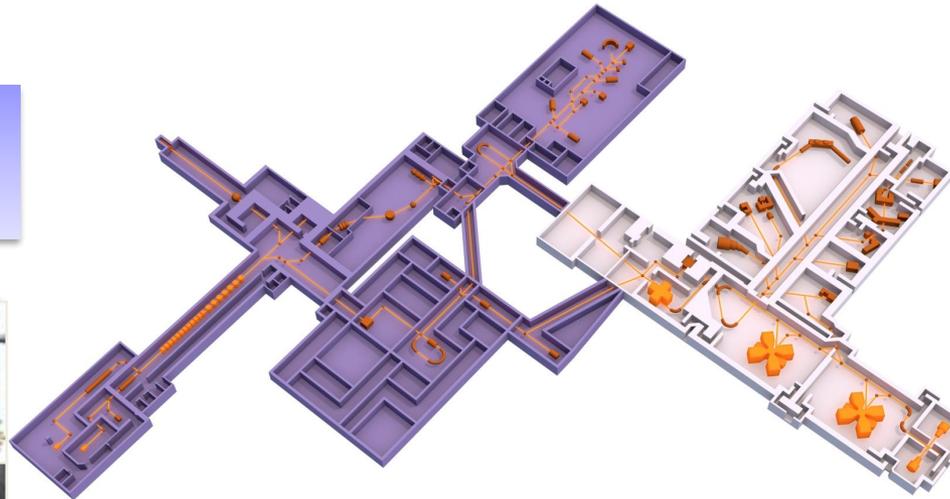
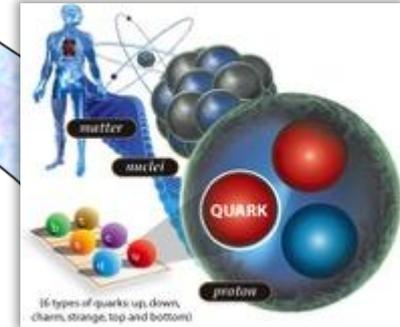
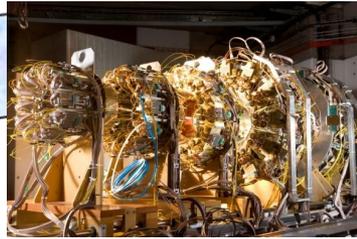
## Production scientifique

- organisation de conférences internationales
- ~ 150 publications/an



# Mots clés

Recherche fondamentale et appliquée, Développements techniques, Valorisation, Formation, Communication



**Science et technologie des accélérateurs**

**Instrumentation**

**Interactions fondamentales**

**Physique atomique, radiobiologie Applications industrielles**

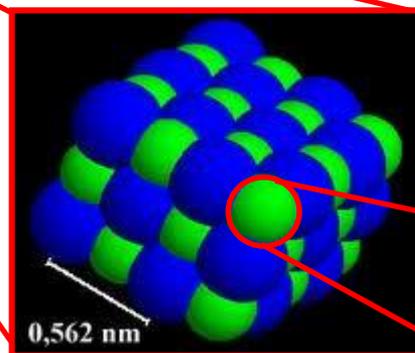
**Astrophysique nucléaire**

**Structure et réactions nucléaires**

# Sonder la matière à différentes échelles à l'aide d'ions lourds

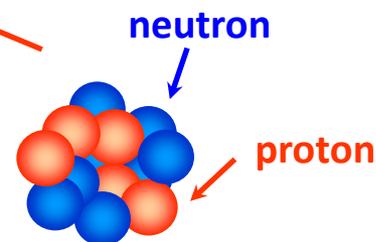
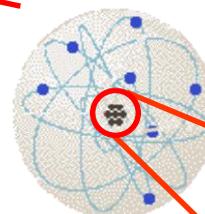


Les cristaux de sel  
**1 mm / 100**



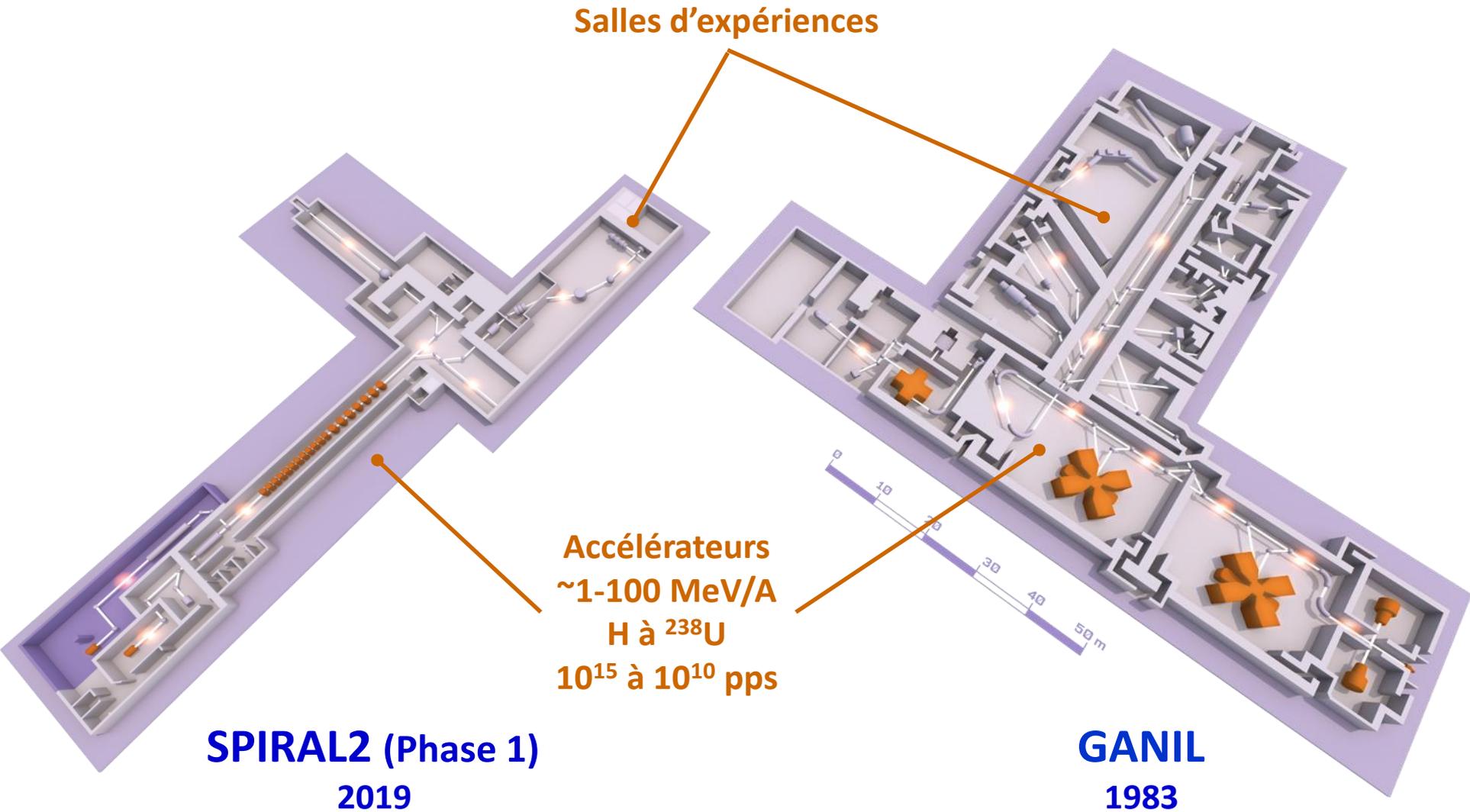
Un arrangement régulier d'atomes de **sodium "Na"** et de **chlore "Cl"**

**1 mm / 10 000 000**  
L'atome : un coeur compact (le noyau) entouré d'électrons



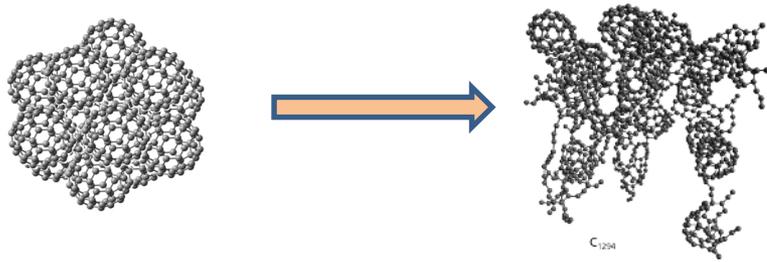
Le noyau atomique : un ensemble de **protons** et de **neutrons** (nucléons)  
**1 mm / 100 000 000 000**

# Architecture du site GANIL SPIRAL2

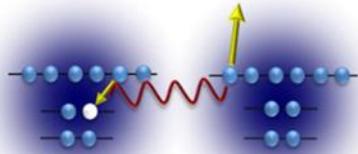


[https://u.ganil-spiral2.eu/virtualvisit\\_fr/](https://u.ganil-spiral2.eu/virtualvisit_fr/)

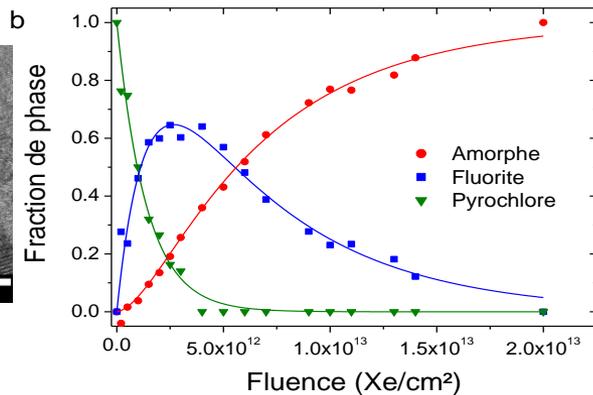
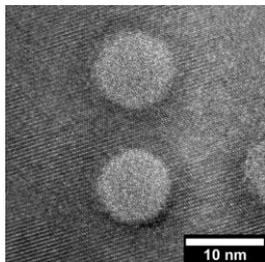
## Matière diluée, molécules, clusters



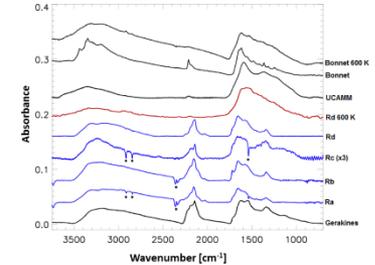
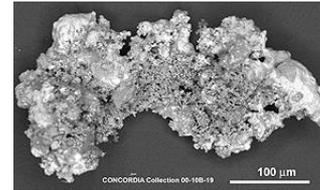
## Physique atomique, plasma



## Science des matériaux

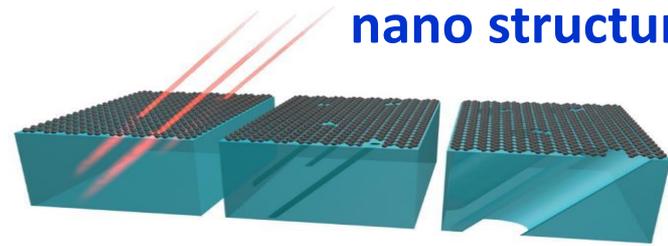


## Radiochimie, Astrophysique/chimie



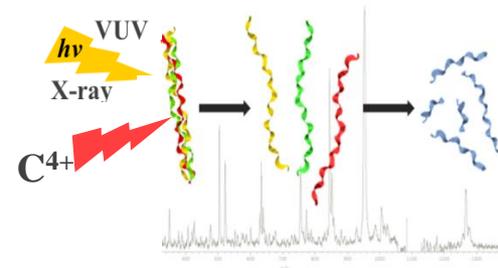
Influence des ions lourds sur la composition chimique de matériaux cosmiques (glaces, météorites,...)

## nano structuration



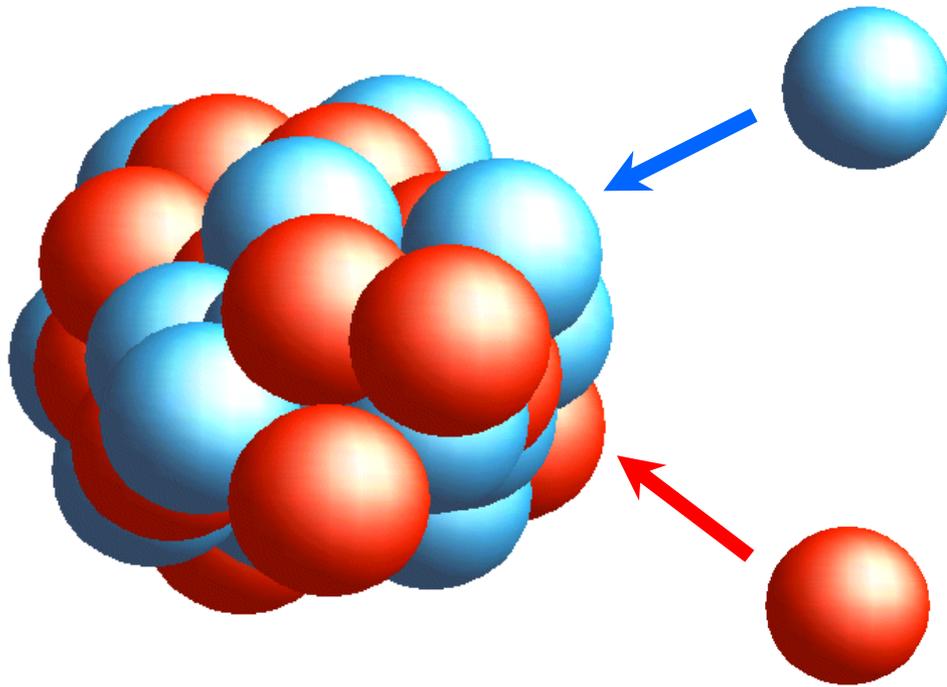
membranes composites graphène/polymère

## Radiobiologie



Irradiation de fibres de collagène

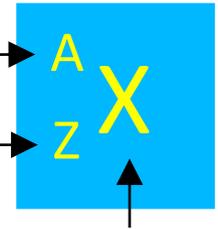
# Le noyau atomique au cœur de la matière



**Neutron :**  
particule neutre

Nombre de nucléons

Nombre de protons (charge)



Symbole chimique

**Proton :**  
particule positive

Densité : 200 millions de tonnes/cm<sup>3</sup>

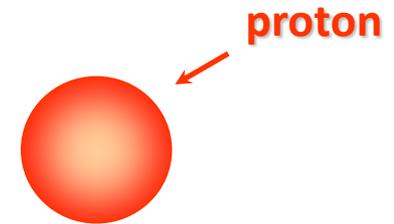
Température : ~qq million °C (1 MeV)

Forces :

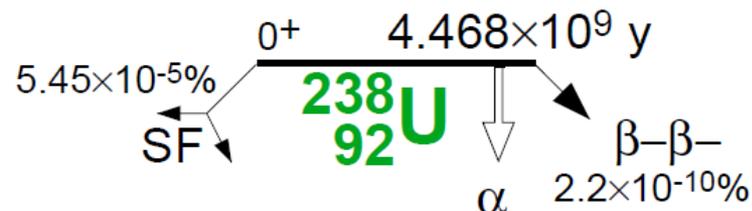
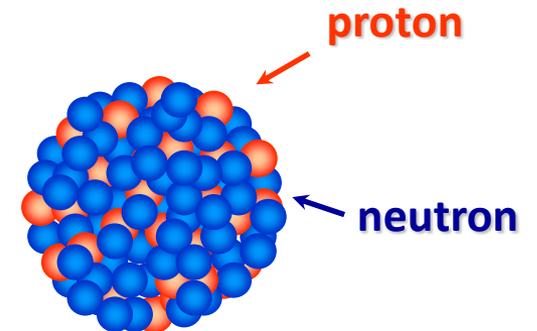
- Coulombienne
- Nucléaire forte (liaison)
- Nucléaire faible (radioactivité  $\beta$ )

# Les noyaux « stables »

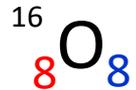
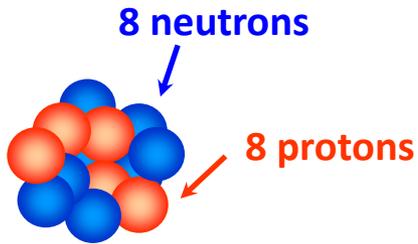
Le plus léger : le noyau d'hydrogène composé d'un unique proton.



Le plus lourd : le noyau d'uranium 238 composé de 92 protons et de 146 neutrons.

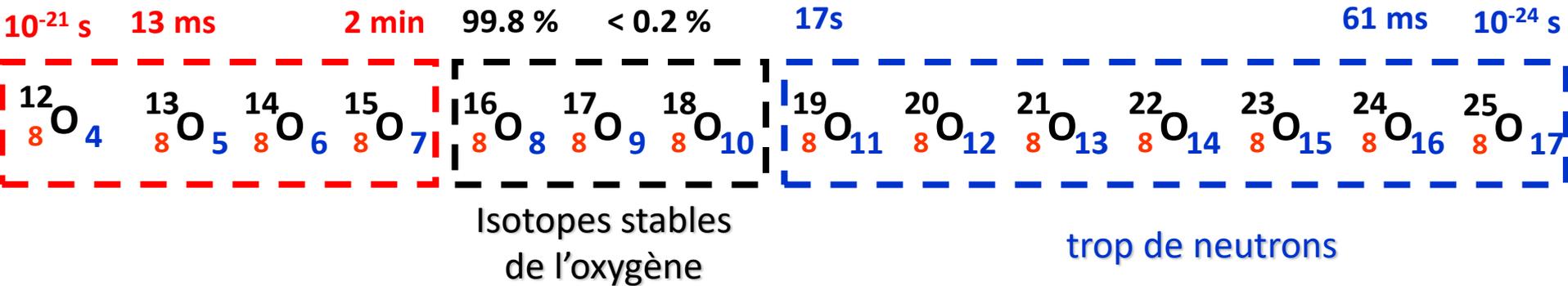


# Le noyau d'oxygène et ses isotopes



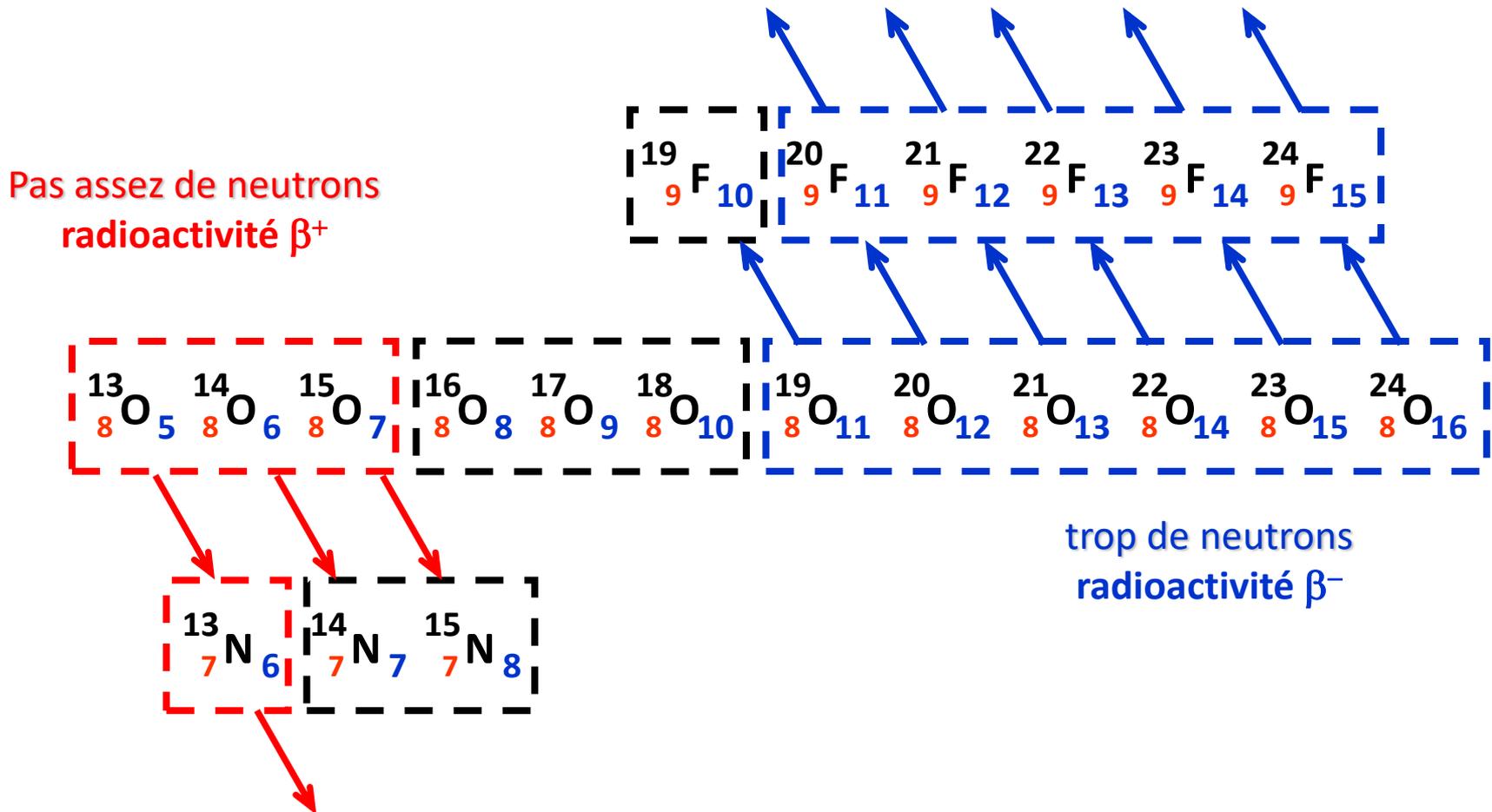
Suivant le nombre de neutrons dans le noyau d'un l'atome, les isotopes correspondant sont stables ou bien radioactifs.

Pas assez de neutrons

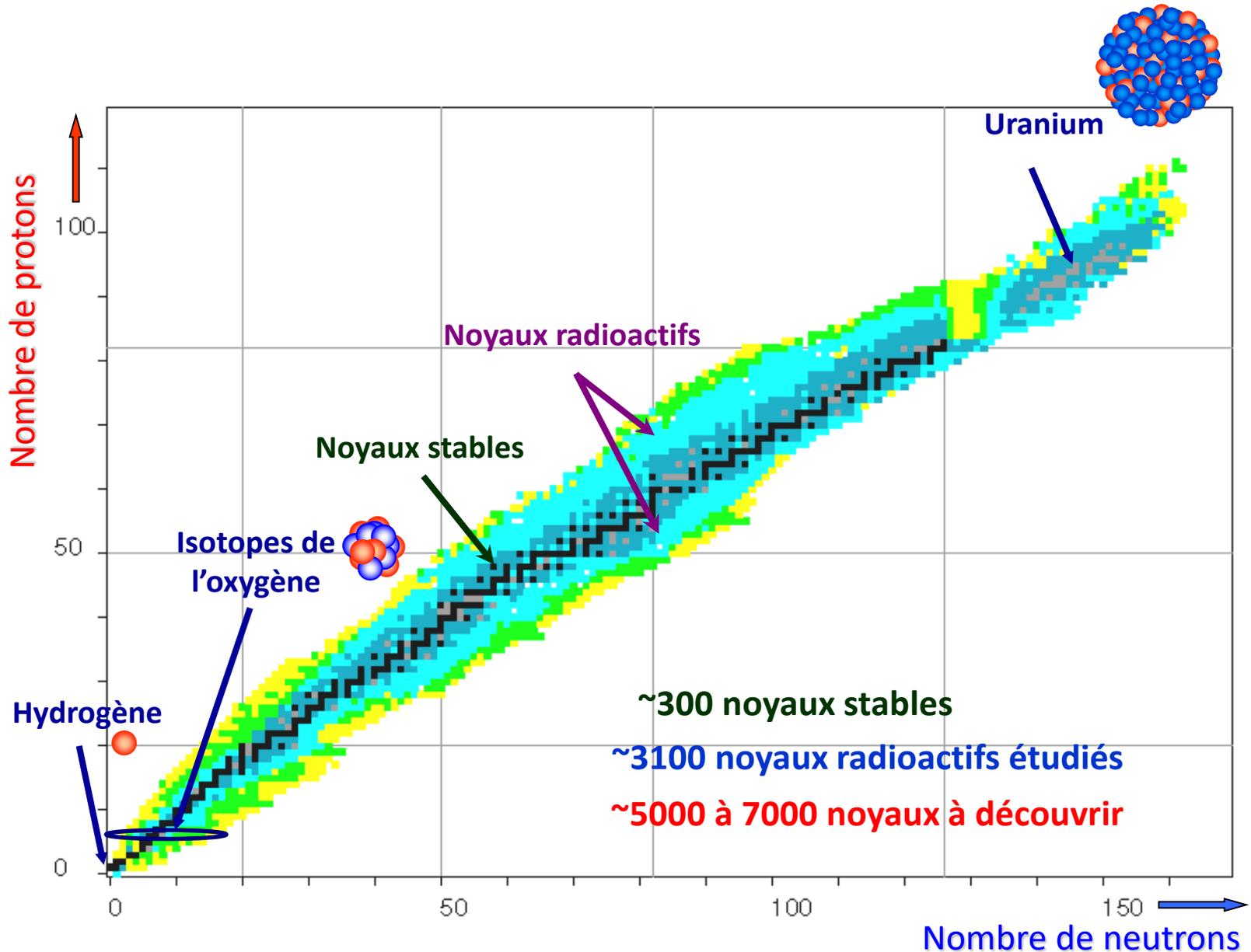


# La radioactivité $\beta$

Un isotope radioactif va se transformer pour « gagner en stabilité » : c'est le phénomène de radioactivité



# Le terrain de jeu du physicien nucléaire : la carte des noyaux



# Le noyau atomique : des questions fondamentales !

## Origine des éléments ?

- Astrophysique nucléaire



## Forces nucléaires ?

- Structures, formes, magieité
- Modes d'excitation
- Interactions fondamentales

## Limites d'existence ?

## Mécanismes de réaction

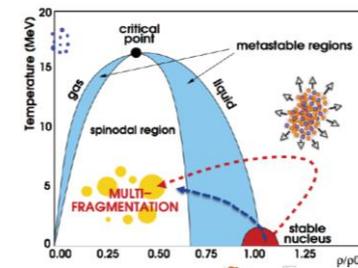
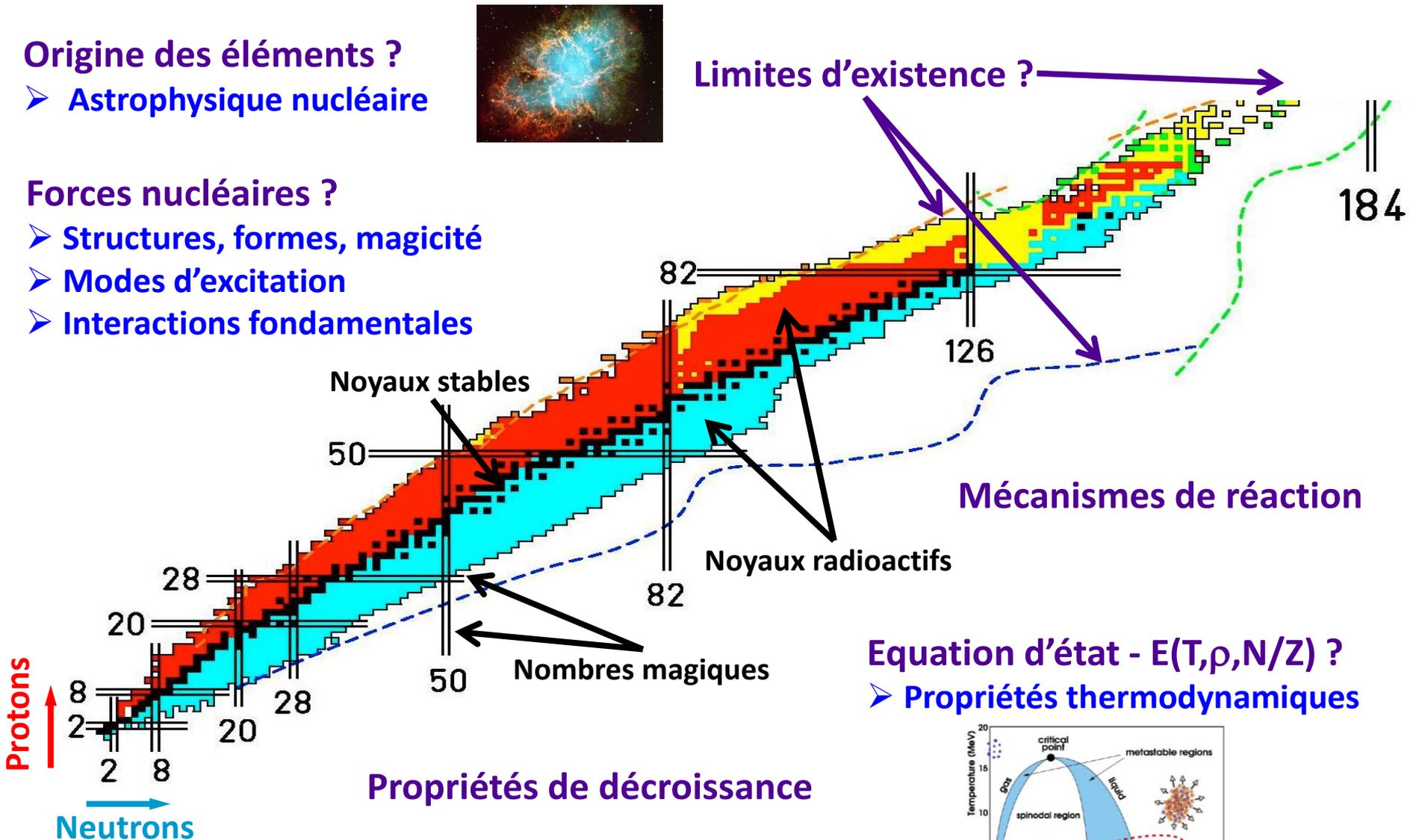
## Equation d'état - $E(T, \rho, N/Z)$ ?

- Propriétés thermodynamiques

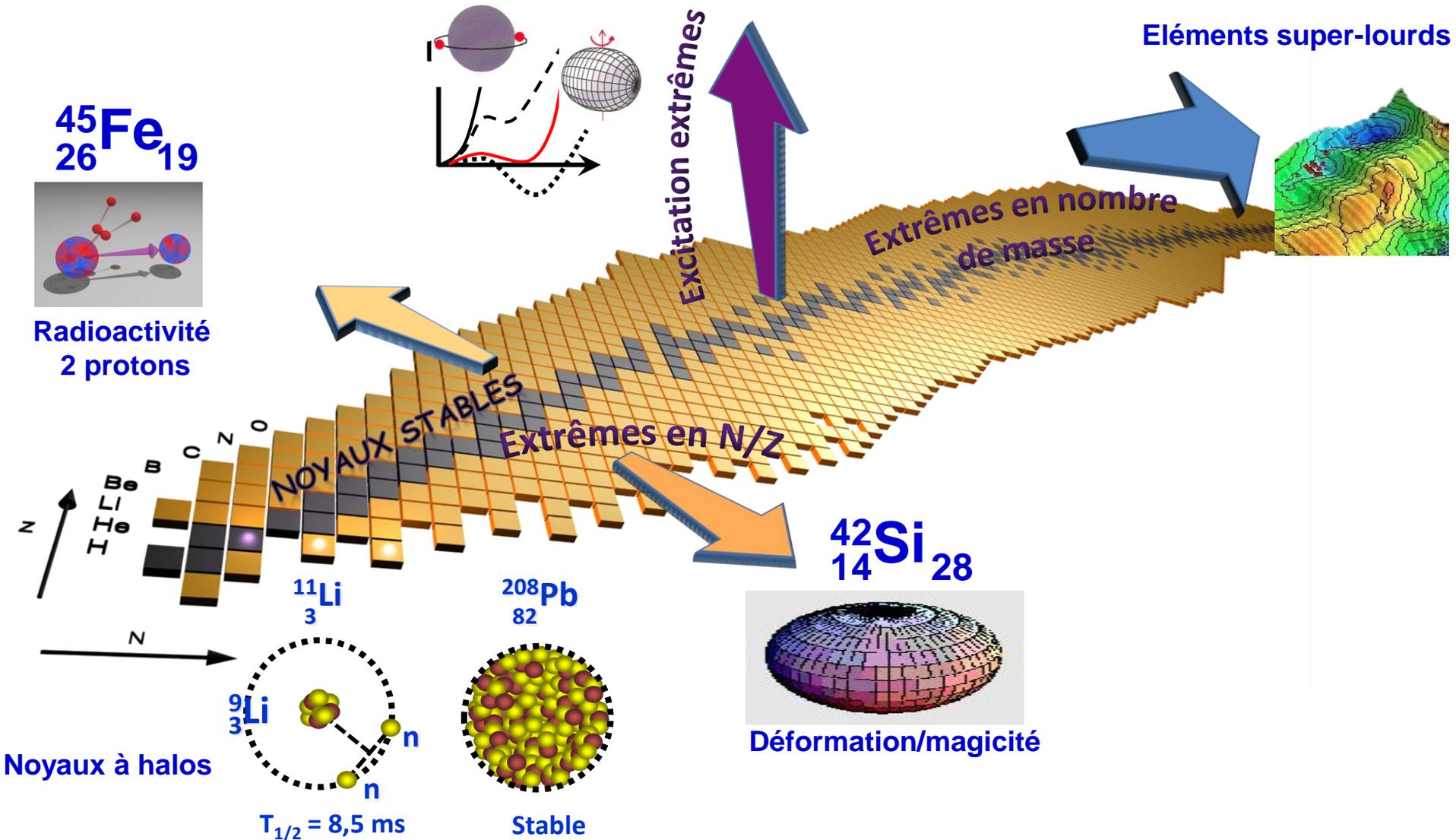
## Propriétés de décroissance

Protons

Neutrons

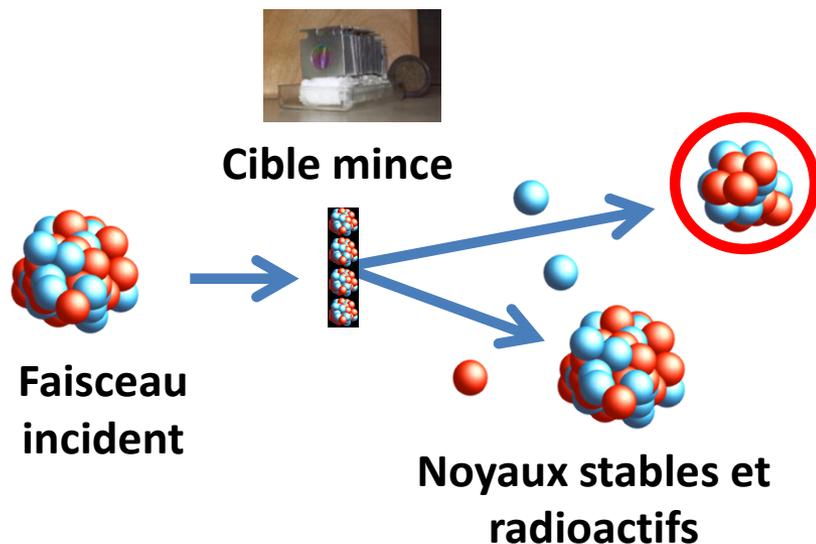


# GANIL-SPIRAL2 : la quête des extrêmes

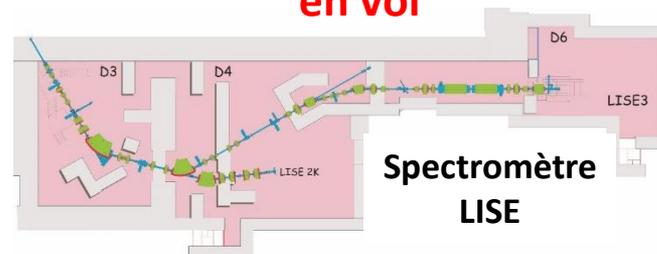


# Production d'ions radioactifs auprès du GANIL

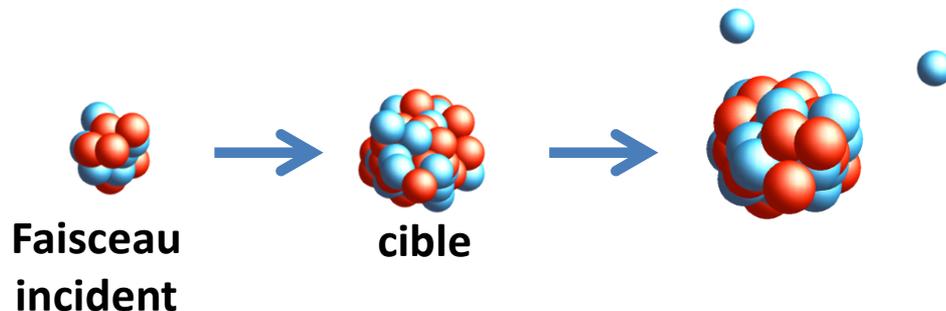
## \* La fragmentation en vol dans une cible mince



## Sélection : séparation en vol



## \* La fusion d'ions lourds stables dans une cible mince



## Sélection : identification des résidus

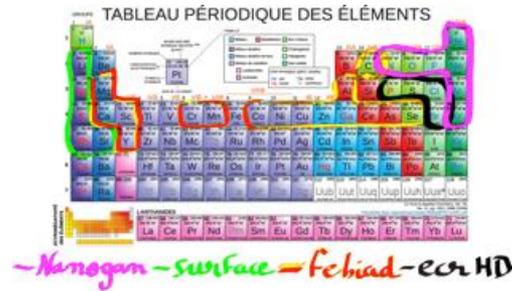
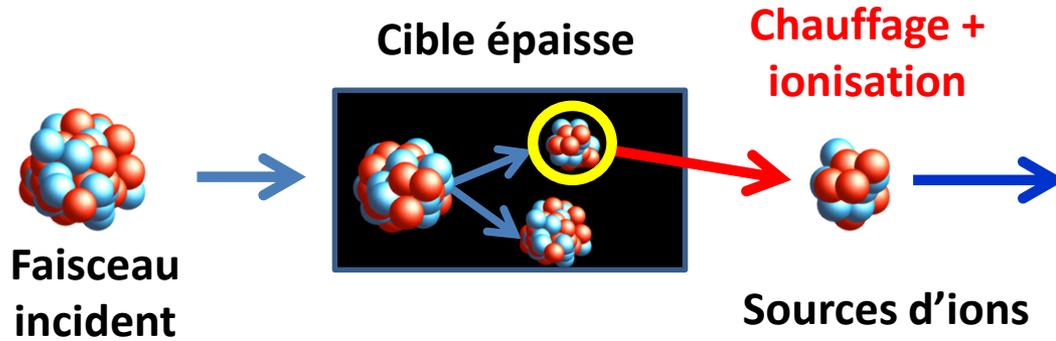


Spectromètre VAMOS

# Production d'ions radioactifs avec SPIRAL (2001)

\* La fragmentation dans une cible épaisse

Post-accélération  
CIME

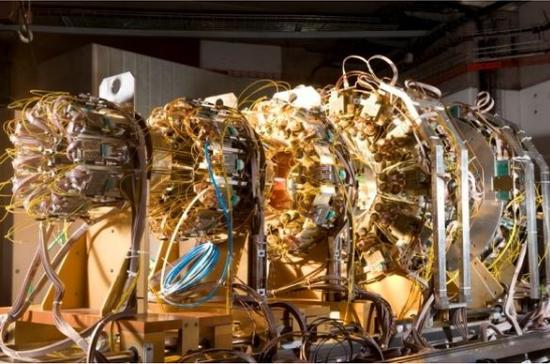


# Production et étude des noyaux radioactifs : illustration

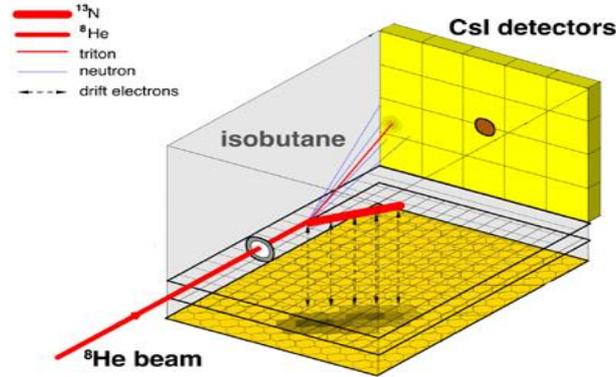


# Exemples de détecteurs utilisés au GANIL

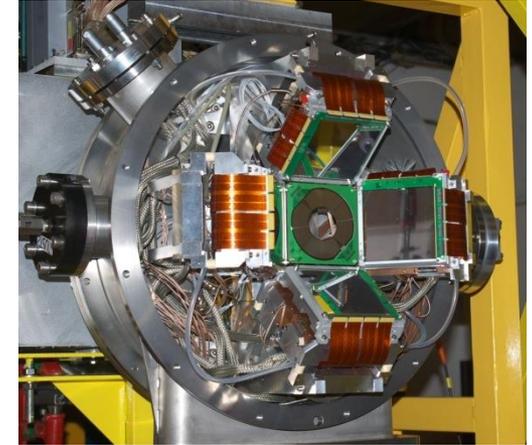
## INDRA



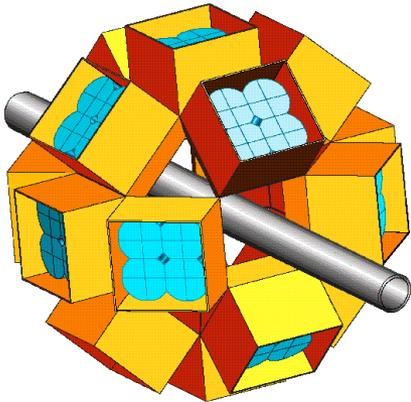
## MAYA



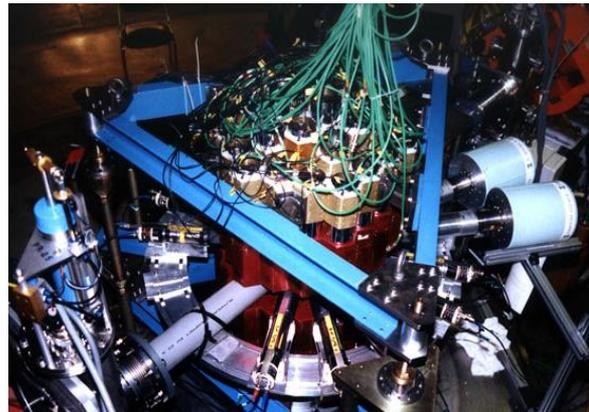
## MUST2



## EXOGAM



## Château de Crystal

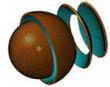
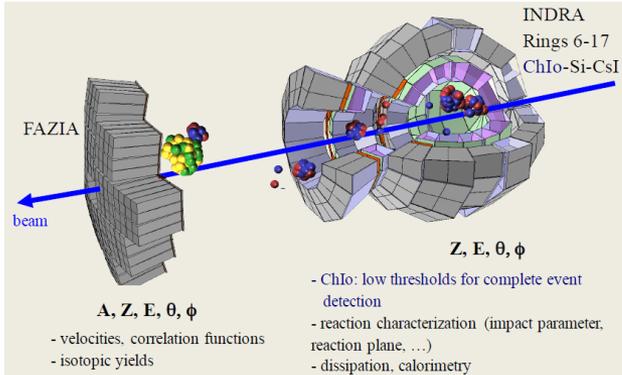


## DEMON



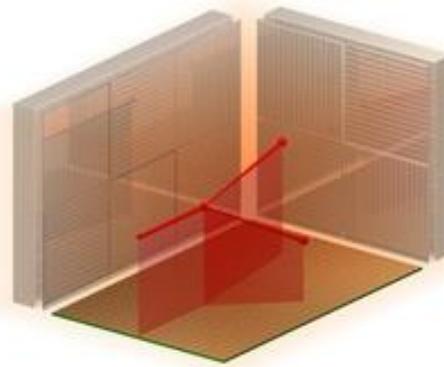
# Développement de détecteurs en lien avec SPIRAL2

## FAZIA+INDRA



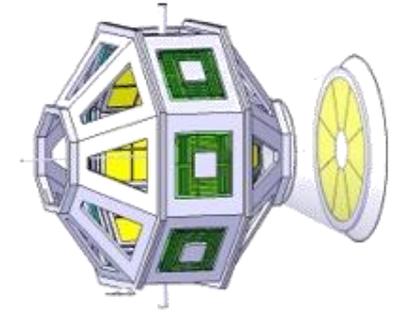
**Four-pi A and Z  
Identification Array**

## ACTAR



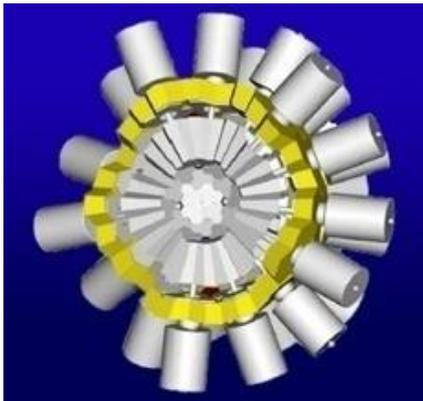
**Active TARgets**

## MUGAST



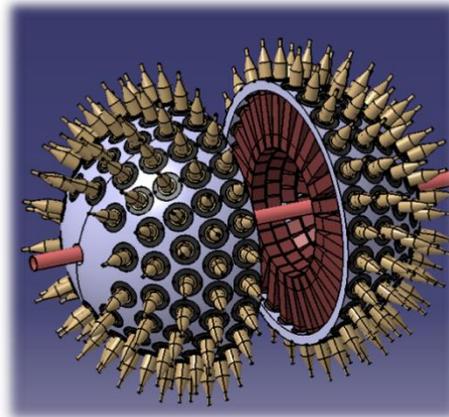
**Gamma SPectroscopy  
And PARTicle Detection**

## AGATA



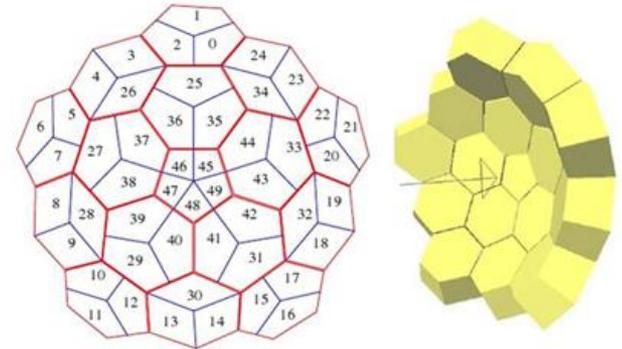
**Advanced Gamma  
Tracking Array**

## PARIS



**Photons Array for studies with  
Radioactive Ion and Stable beams**

## NEDA



**NEutron Detector Array**

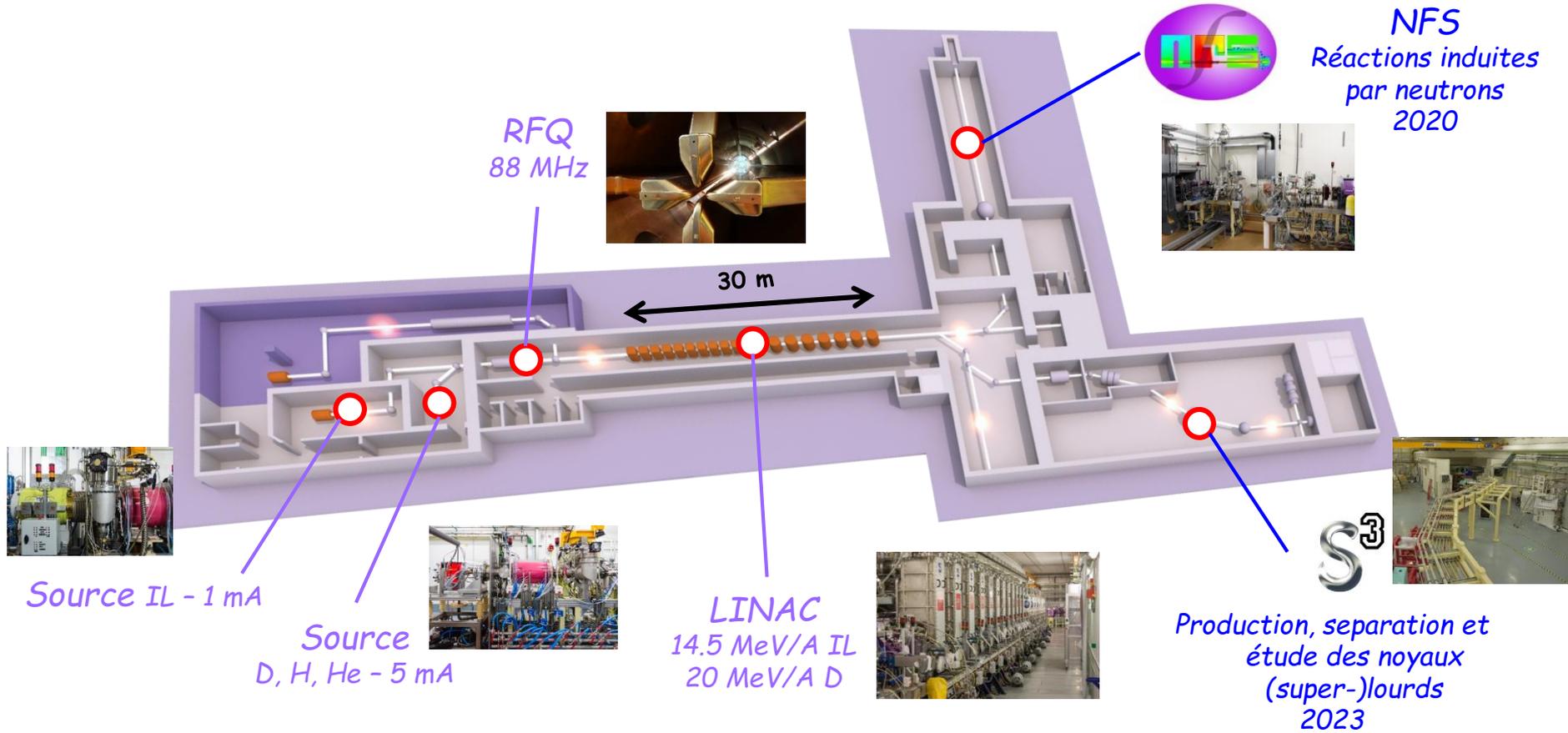
# Du GANIL existant à SPIRAL2

**GANIL**



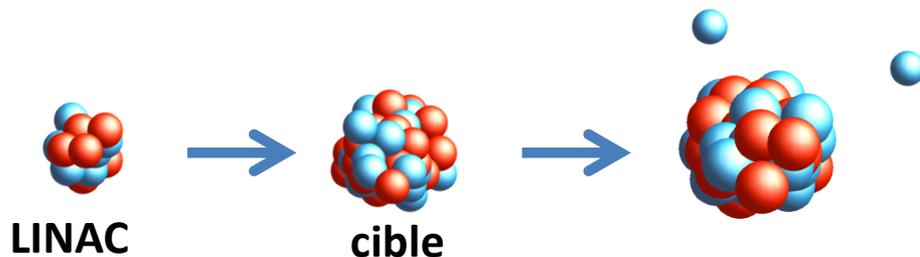
**SPIRAL2 Phase 1**

# S'ouvrir de nouveaux horizons avec (GANIL-)SPIRAL2

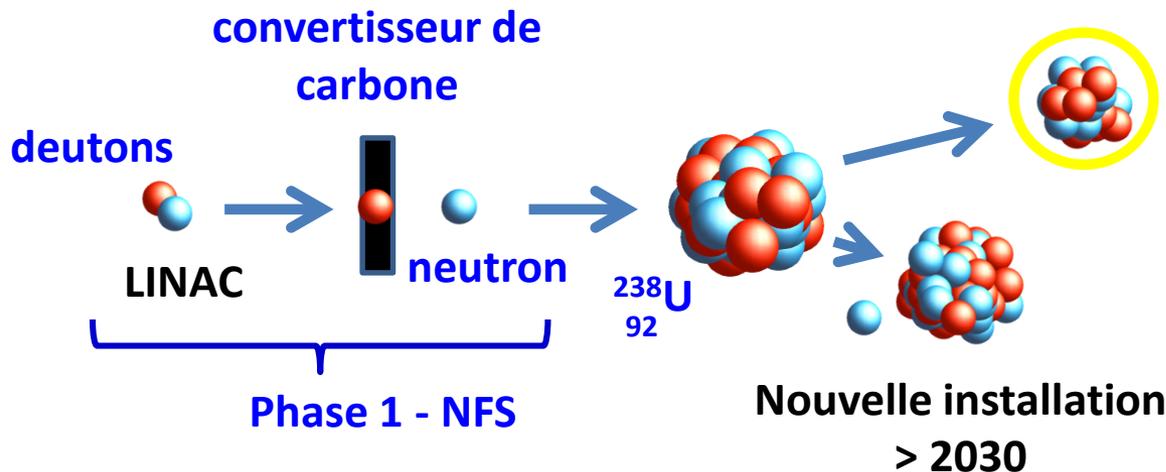


# Les modes de production d'ions radioactifs auprès de SPIRAL2

## \* La fusion d'ions lourds stables (Phase 1 - S<sup>3</sup>)

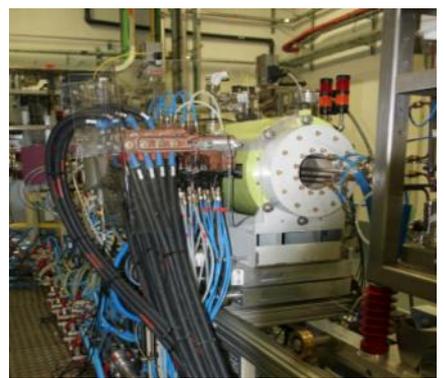
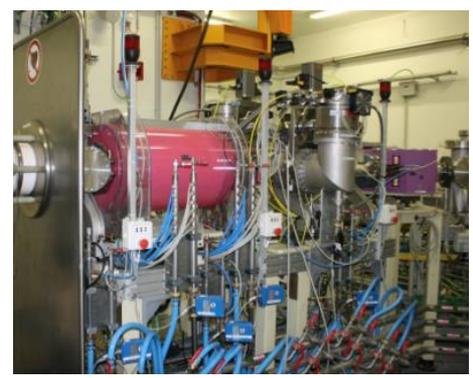
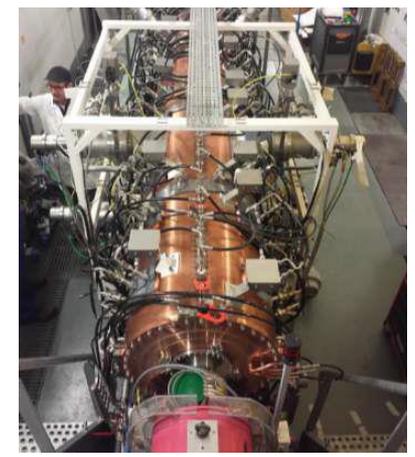
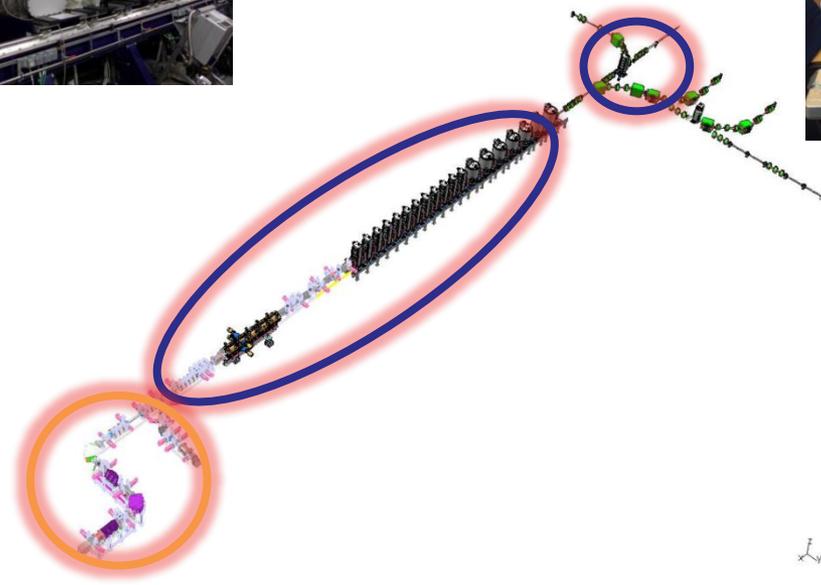


## \* La fission induite de l'uranium naturel avec des neutrons (Phase 2)





# L'accélérateur linéaire de SPIRAL2



**Faisceaux d'ions:**  
**Proton : 5 mA**  
**Ions lourds: 1 mA**

## Faisceaux intenses de neutrons entre 100 keV et 40 MeV

## Stations d'irradiation pour les réactions induites (protons, neutrons, ions lourds)

Mesures de données nucléaires

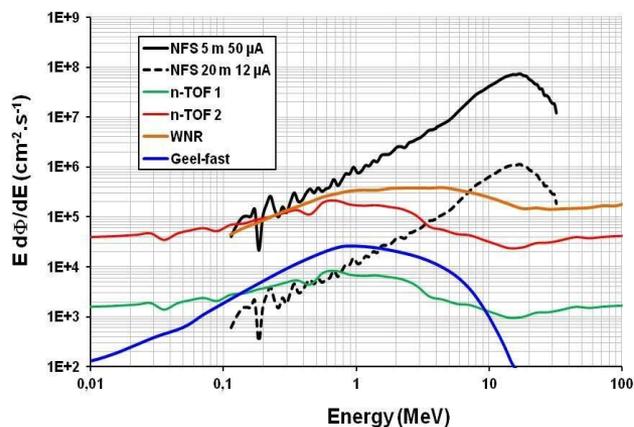
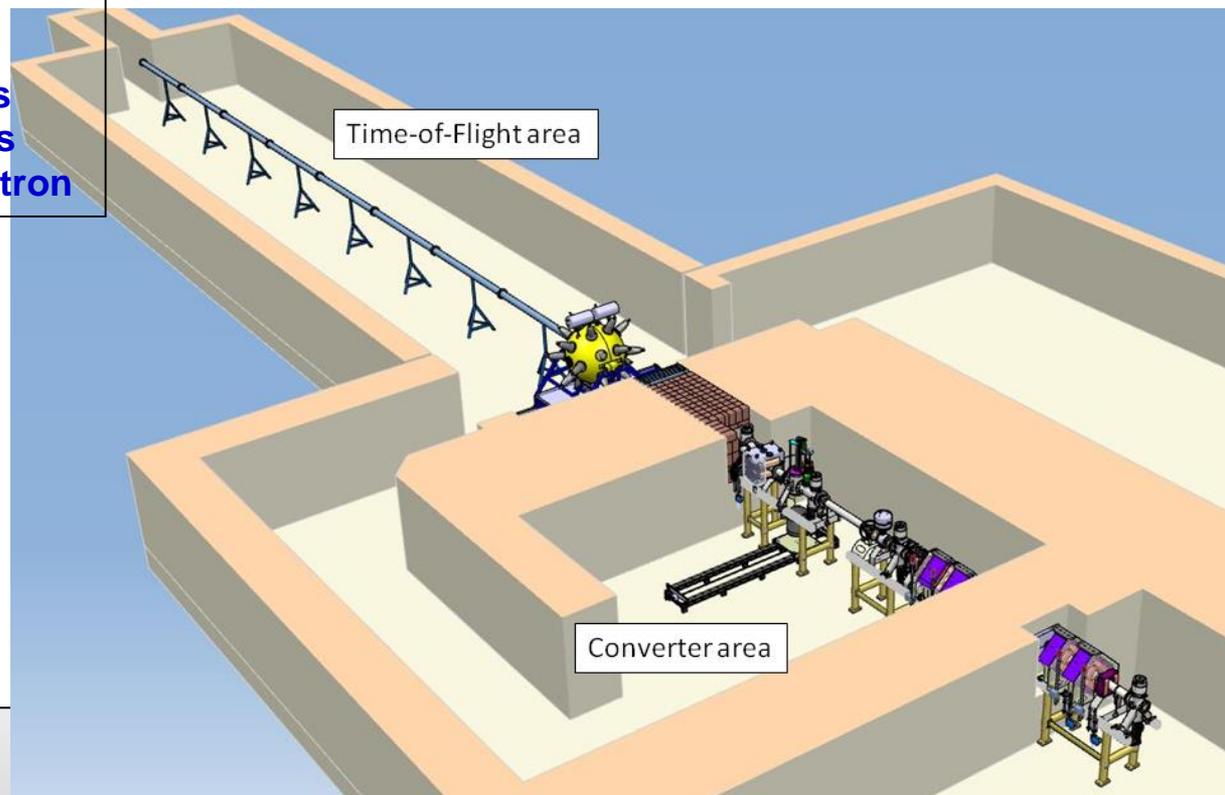
Médecine et Biologie

Le développement détecteurs

Irradiation de puces et de composants

Analyse d'échantillons par irradiations

Réactions nucléaires induites par neutron



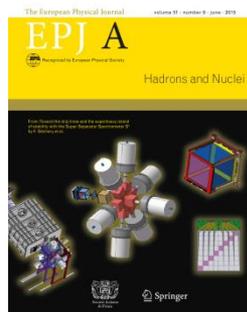
## Flux de neutrons très intenses

$\Phi > 1,5 \cdot 10^{13} \text{ n/s}$  ( $4\pi$ )

## Spectre continu ou quasi monocinétique

## Faisceaux collimatés

# Le « Super-separateur-spectromètre »

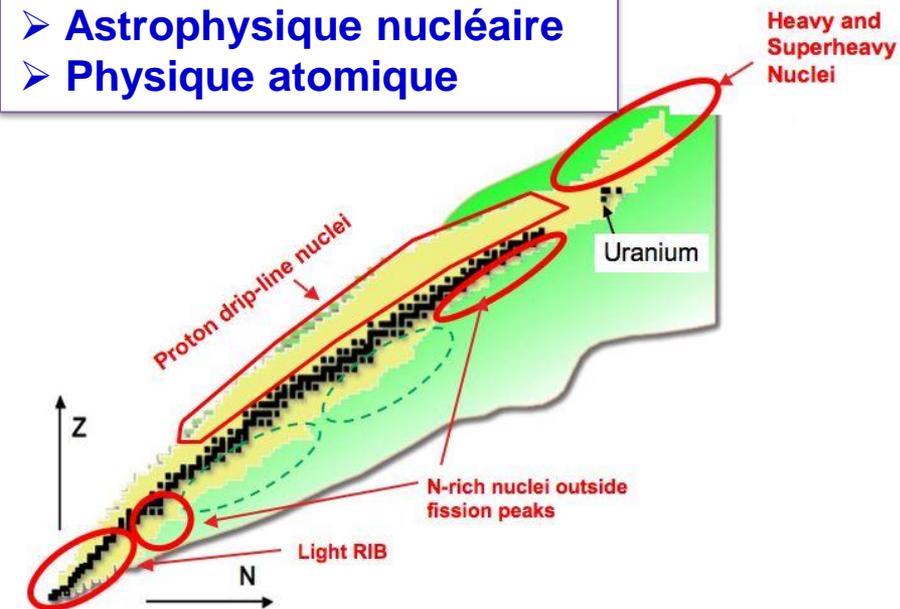


Faisceaux stables  
très intenses



## Thèmes de recherche

- Noyaux super-lourds
- Noyaux riches en protons
- Astrophysique nucléaire
- Physique atomique



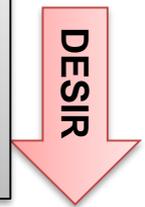
- Haute sélectivité et transmission
- Sensibilité 1 evt/mois
- Interaction faisceau-faisceau

### Synthèse et décroissance

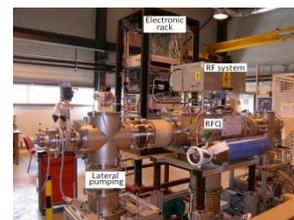
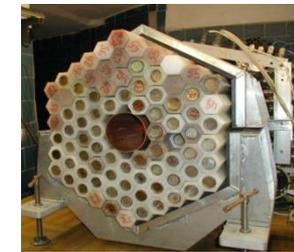
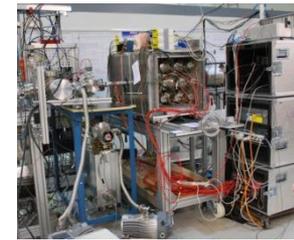
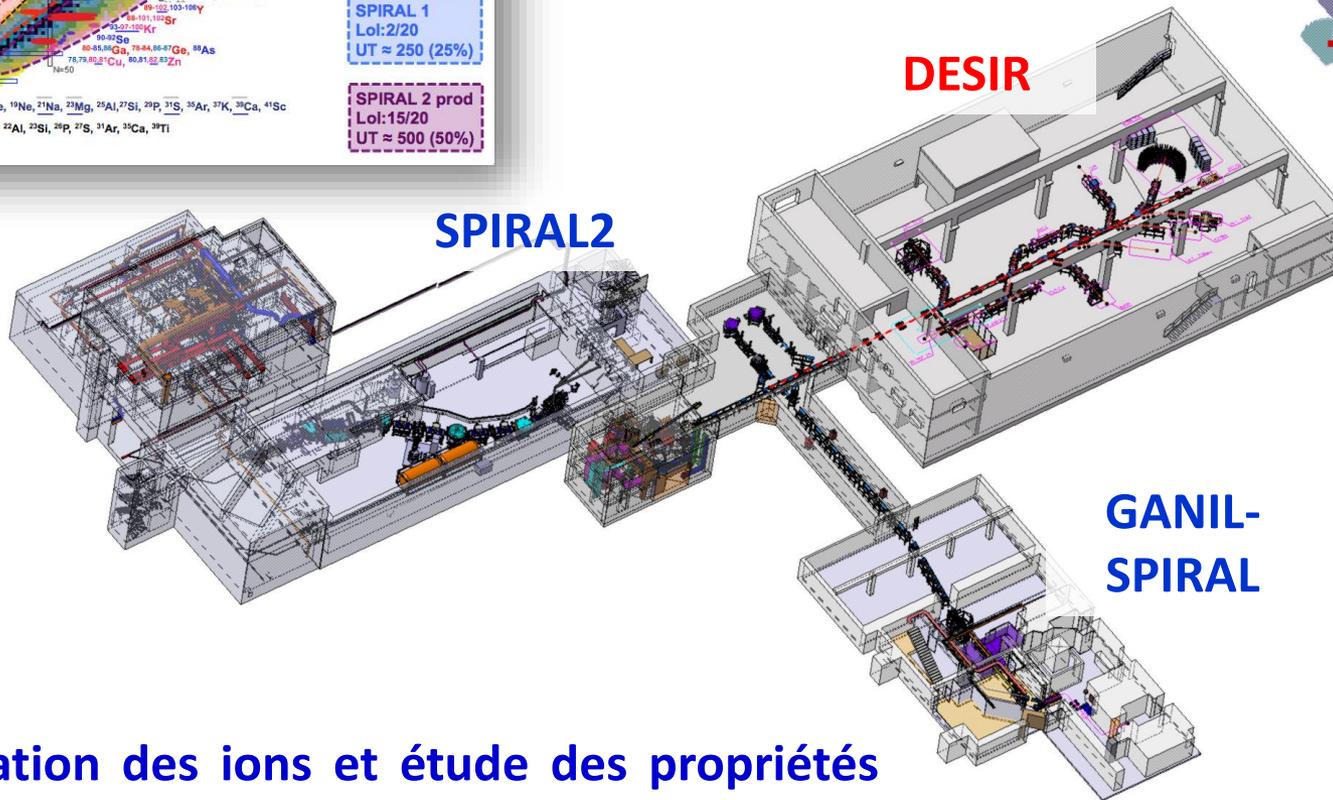
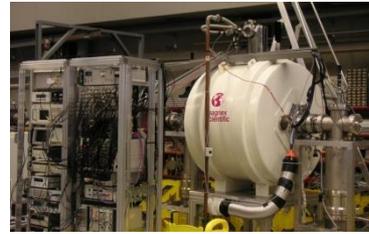
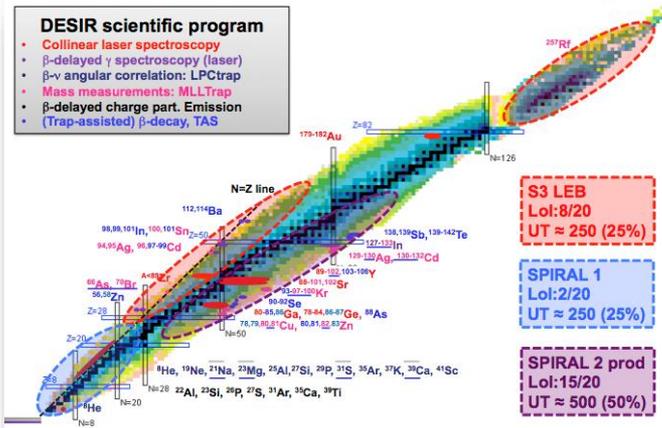
**SIRIUS**

### Propriétés fondamentales (mass, size, moments, spins)

**REGLIS<sup>3</sup>**



# Horizon 2027 : plateforme basse énergie



XZx

Manipulation des ions et étude des propriétés du noyau atomique (masse, forme, propriétés de décroissances, structure du noyau...)

# GANIL-SPIRAL2 à terme

