



LES RENDEZ-VOUS FIABILITE DU CFF



# Tech Hour

Le rendez-vous mensuel  
des technologies et procédés innovants

Le GANIL,  
Fiabilité des composants soumis à irradiation  
Eloïse DESSAY

Le mardi 25 février 2025

# GANIL



# TECH HOUR

## FORMAT & DÉROULÉ

### 🚩 Agenda du Tech Hour – 12h30 à 13h30 :

- 🚩 Introduction
- 🚩 Présentation de la technologie et de ses avancées
- 🚩 Présentations d'applications



### 🚩 Format et règles de fonctionnement :

- 🚩 Le Tech Hour se déroule via l'outil de **web-conférence Microsoft TEAMS**,
- 🚩 Les **micros seront coupés** pendant la présentation (*environ 45 min*),
- 🚩 Vous pouvez poser vos questions par « **chat** », à l'attention de l'organisateur,
- 🚩 Il n'y a pas de nécessité de connecter sa webcam



# TECH HOUR

## ORGANISATEURS



**Normandie AeroEspace (NAE)**, la filière d'excellence en Normandie dans l'aéronautique, le spatial, la défense et la sécurité.

**ASTech** Paris Region, pôle de compétitivité dans le domaine de l'aéronautique, de l'espace et de la défense.



Pôle de compétitivité européen, **NextMove** rassemble en Normandie et Île-de-France, la « Mobility valley » française, toutes les énergies de l'écosystème Automobile et Mobilités

Ancré dans la Région Hauts-de-France, **i-Trans** est le pôle de compétitivité des transports, de la mobilité et de la logistique.



**L'IRT Saint-Exupéry**, est un institut de recherche, accélérateur de science, de recherche technologique et de transfert vers les industries de l'aéronautique et du spatial.

**Normandie Maritime**, la filière d'excellence en Normandie du maritime et du fluvial.



Filière d'excellence, **Logistique Seine-Normandie (LSN)** fédère 185 adhérents : des entreprises du transport et de la logistique et des acteurs économiques de Normandie.

Filière d'excellence, **Normandie Energies** soutient le développement économique du territoire en fédérant plus de 240 acteurs normands de l'énergie.



**ACSIEL Alliance Electronique** est l'organisation professionnelle des acteurs industriels de la chaîne de valeur de la filière électronique en France.

Basé à Lille, le **Pôle MEDEE** est un cluster qui fédère et anime une communauté d'acteurs spécialisés en génie électrique.





# LE CENTRE FRANÇAIS DE FIABILITÉ [CFF]

Le regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



## Contexte :

- Intégration de plus en plus forte des systèmes
- Montée en puissance des composants de puissance
- La mise sur le marché de composants électroniques très intégrés
- L'accroissement de la complexité des systèmes électroniques embarqués

## Objectifs

La vocation du **Centre Français de Fiabilité [CFF]** est de réunir **des experts des Composants et des Systèmes Electroniques Embarqués** pour aider les industriels à améliorer leurs produits ou services.

Périmètre : Tous les secteurs sont concernés par des problèmes de fiabilité très sérieux : **automobile, aéronautique, ferroviaire, naval, défense , énergie, ...**

Sous l'impulsion des pôles et filières de compétitivité (ASTech Paris Région, NAE et Nextmove) et de l'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint-Exupéry de Toulouse, **le CFF est destiné à créer une synergie entre les universitaires, les laboratoires, les PME/PMI et les industries autour de la fiabilité des Composants et des Systèmes Electroniques**. Le CFF vient compléter une brique de la Sécurité de Fonctionnement des systèmes.

Brochure des acteurs du CFF

Cartographie d'acteurs du CFF



## Temps Forts



LES RENDEZ-VOUS FIABILITE DU CFF

Les Séminaires CFF

## Rejoignez la communauté CFF

Notre compte LinkedIn :

[LinkedIn | Centre Francais de Fiabilite](#)

Notre site internet :

[www.cff-fiabilite.fr](http://www.cff-fiabilite.fr)

Notre adresse email :

[cff@nae.fr](mailto:cff@nae.fr)





# LE CENTRE FRANÇAIS DE FIABILITÉ [CFF]

Le regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



Le **NRTW (National Reliability Technology Workshop)** se veut un espace d'échanges et de rencontres des acteurs de la fiabilité du secteur électronique. Une occasion unique de renforcer les synergies et le rayonnement national de ce réseau.

Le prochain Symposium **NRTW** se tiendra, en présentiel, les mercredi 19 et jeudi 20 mars 2025, en Normandie.

- **Thème :** Essais Environnementaux et Irradiations : Garantir la Fiabilité des Systèmes et Composants en Conditions Extrêmes
- **Lieu :** GANIL, Bd Henri Becquerel, à Caen
- **Date :** mercredi 19 et jeudi 20 mars 2025 [2j]

## Programme

1. Contexte et enjeux de la fiabilité en conditions extrêmes
2. Essais Environnementaux Accélérés et Aggravés (en synergie avec ASTE)
3. Irradiation des Composants : Méthodologies et Effets
4. Modélisation de la Fiabilité Prédictive
5. Visite des installations

Accès payant en présentiel.  
Tarifs préférentiels aux membres CFF.  
Inscription obligatoire.

Info et Billetterie :  
<https://www.cff-fiabilite.fr/symposium-nrtw>

Organisé par [ASTech Paris Région](#), [NAE](#) et [NextMove](#), le [GANIL](#). Et le partenariat de [ASTE](#).

# TECH HOUR

## SUJET DU JOUR

mardi 25 février 2025

### Le Tech Hour du jour

**Le GANIL,**  
Fiabilité des composants soumis à irradiation

### GANIL

Grand Accélérateur National d'Ions Lourds  
Bd Henri Becquerel, 14000 Caen

L'intervention sera réalisée par :  
Eloïse Dessay    Chargée de valorisation et des partenariats industriels

GANIL : Une infrastructure de Recherche nationale qui permet à l'industrie d'éprouver les systèmes électroniques soumis à des faisceaux d'ions pour tester leur niveau résistance dans l'espace. Le GANIL met à disposition des industriels un panel d'essais d'irradiation ions lourds afin de valider la fiabilité des composants et des systèmes, notamment pour le secteur spatial, et ce dans un large panel d'énergie et d'intensité.

[www.ganil-spiral2.eu](http://www.ganil-spiral2.eu)



# CANIL

Une Infrastructure de Recherche fondamentale en  
physique nucléaire, au service des industriels pour la  
mesure des effets des radiations sur les systèmes  
électroniques



# Deux installations pour étudier le cœur de la matière

**GANIL**



NAE - TECH HOUR - GANIL - DESSAY Eloïse



# Structure administrative



## Création du GIE en 1976

- Groupement d'intérêt économique CEA/CNRS
- Etabli initialement pour 30 ans, prolongé jusqu'en 2046

## Direction alternée tous les 5 ans

- 2022 – 2026  
Directrice : Patricia ROUSSEL CHOMAZ (CEA)  
Directrice adjointe : Fanny FARGET (CNRS)

## Installation Nucléaire de Base

- Contrôlé par l'ASNR  
(Autorité de Sureté Nucléaire et de Radioprotection)

## Zone à Régime Restrictif

- Contrôlé par la préfecture

## Infrastructure de Recherche \*

- Définie sur la feuille de route du Ministère de l'Education Nationale, de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur



# Laboratoire d'accueil

## Mission

- Mettre en commun les savoir-faire et les moyens techniques de ses membres, en vue de leur permettre de concevoir, réaliser et réussir des expériences et projets scientifiques en physique nucléaire ainsi que dans des domaines pluridisciplinaires ayant recours aux faisceaux d'ions (radiothérapie et hadronthérapie, physique des matériaux, de l'atome...).

## Terrain de jeu de la recherche

- 700 chercheurs
- issus de 65 laboratoires
- repartis dans 30 pays
- 5000 heures de faisceaux par an

## Des équipes pluridisciplinaires

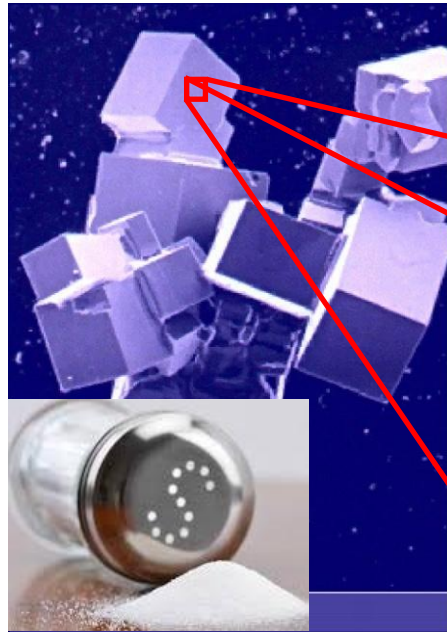
- 230 personnels CEA/CNRS + ~80 non permanents  
Compétences scientifiques, techniques et administratives très riches
- 80 stagiaires – tous niveaux confondus





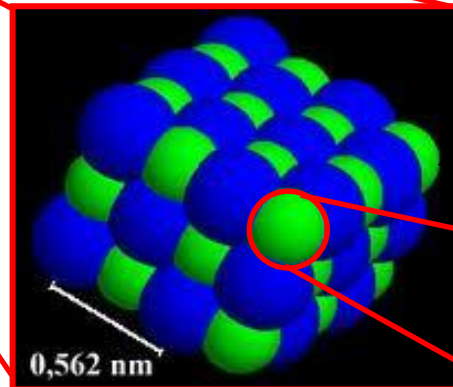
# Le noyau atomique

1 mm / 100



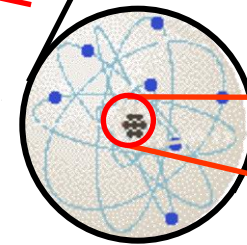
Les cristaux de sel

1 mm / 1000



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

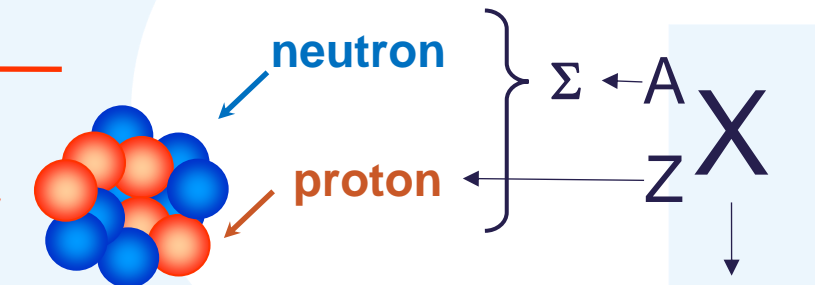
1 mm / 10 000 000



L'atome : un cœur compact (le noyau) entouré d'électrons

Un **ion** : un atome ayant gagné ou perdu un ou plusieurs électrons

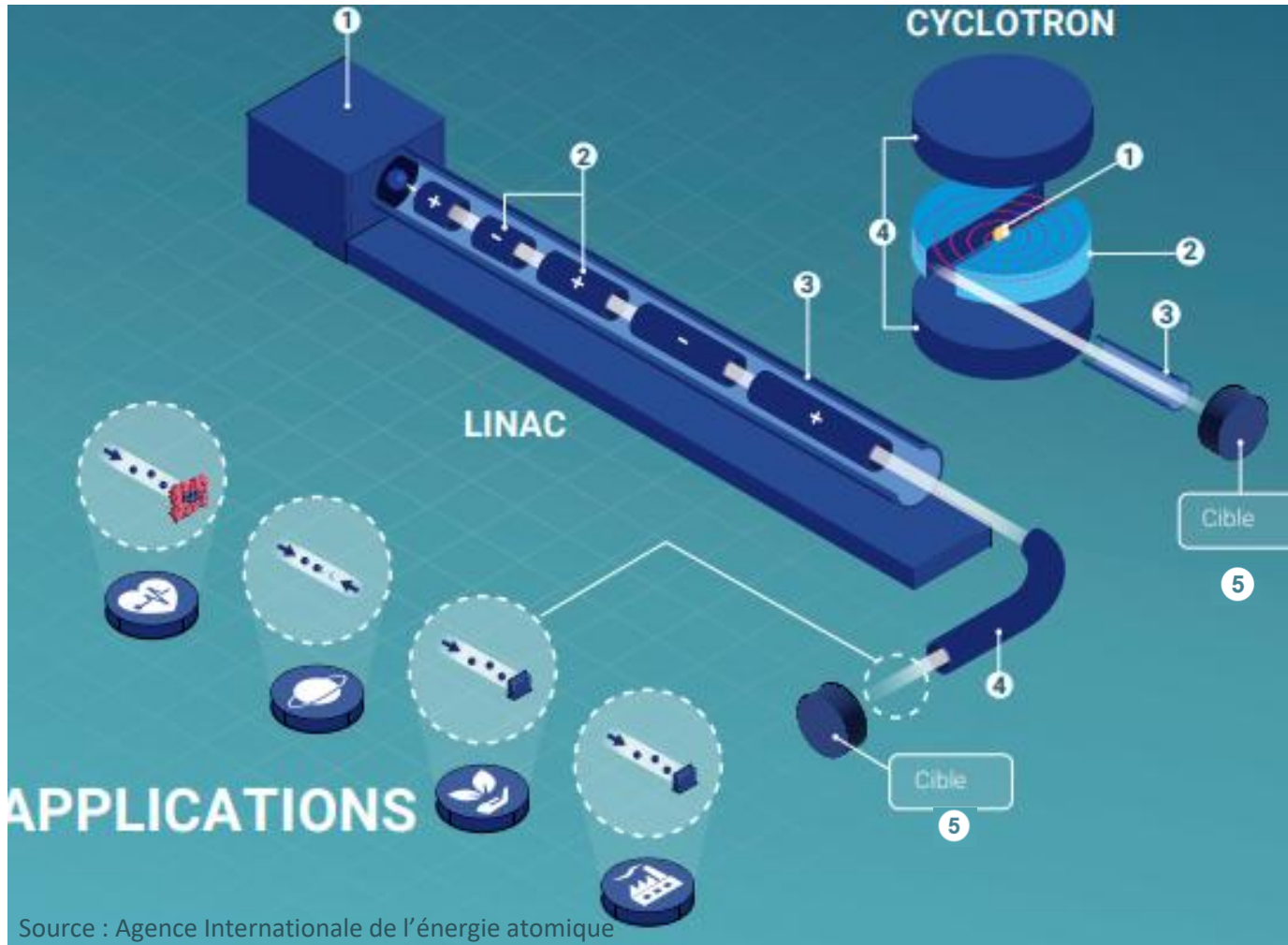
1 mm / 100 000 000 000



Le noyau atomique : un ensemble de **protons** et de **neutrons** (nucléons)

Symbole chimique

# Un accélérateur de particules

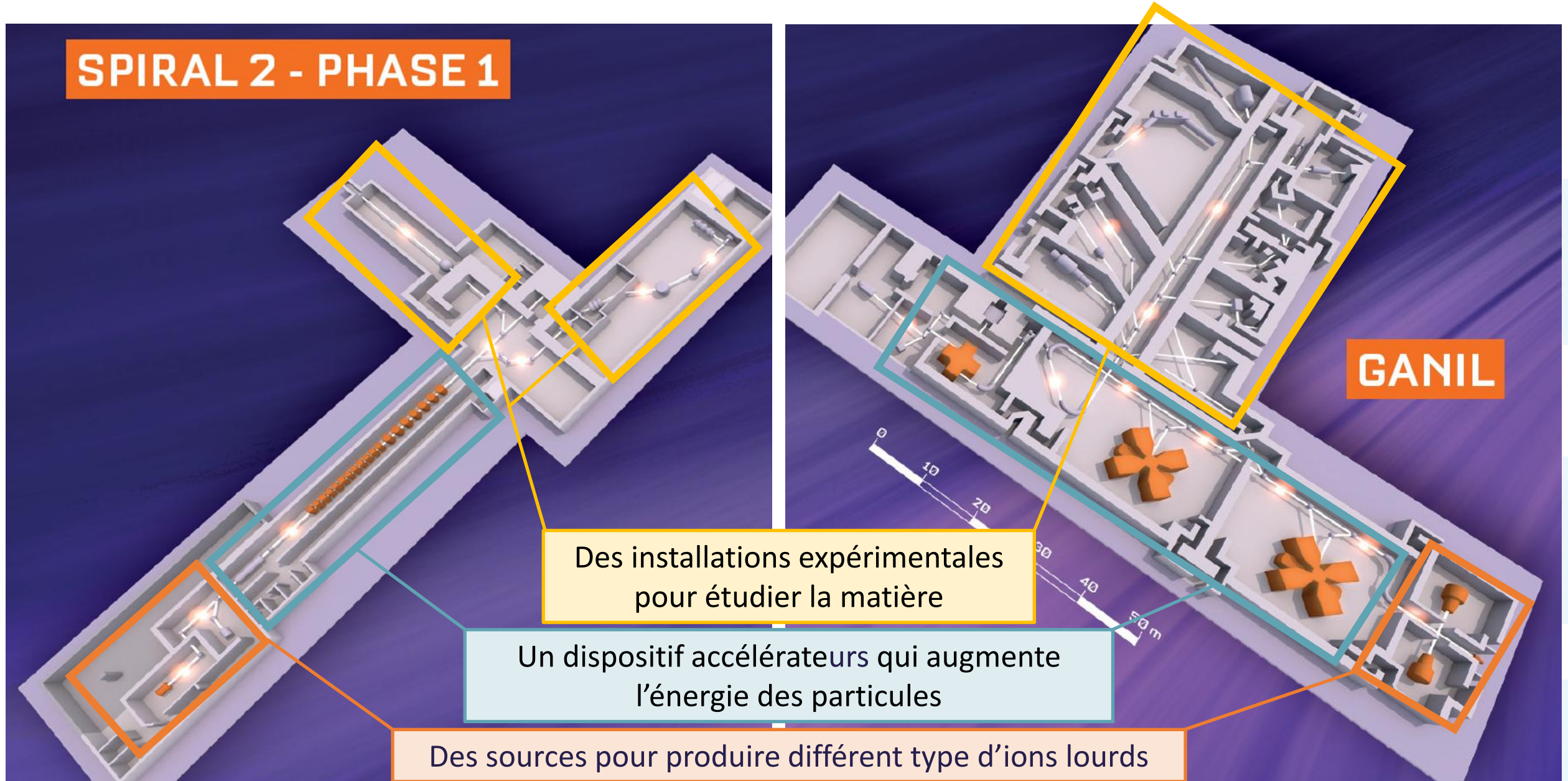


Les accélérateurs produisent et accélèrent des faisceaux de particules chargées : des ions pour le GANIL

- 1 Une **source** pour produire les ions lourds
- 2 Un **dispositif** complexe **qui augmente l'énergie** des particules au moyen de champs électromagnétique
- 3 Une série de **tubes métalliques sous vide** qui permettent aux particules de se déplacer sans rencontrer d'obstacles qui risqueraient de disperser le faisceau
- 4 Des éléments électromagnétiques et des diagnostics qui permette de **contrôler la trajectoire** des ions
- 5 Des **dispositifs expérimentaux** à l'intérieur desquels les ions sont propulsés sur une **cible** pour étudier la matière



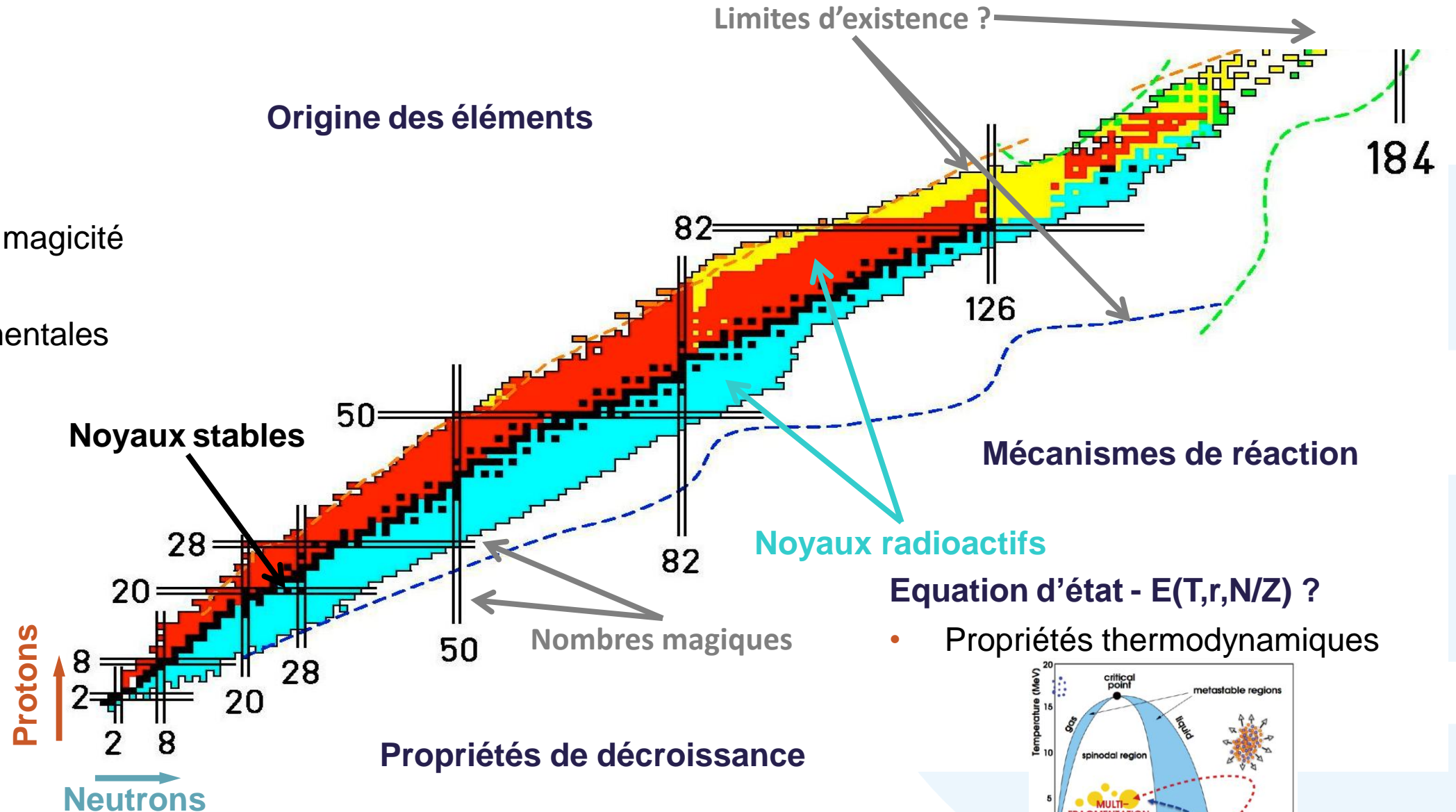
# Les accélérateurs du GANIL



# Pour la recherche en physique nucléaire... **GANIL**

## Forces nucléaires

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





# ...mais pas que !

Astrophysique  
nucléaire



Astrochimie

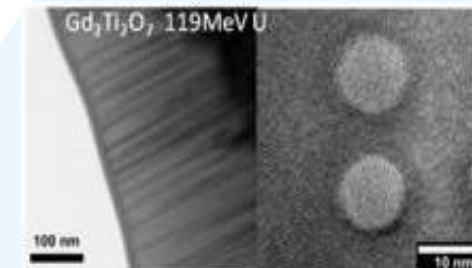


Radiobiologie



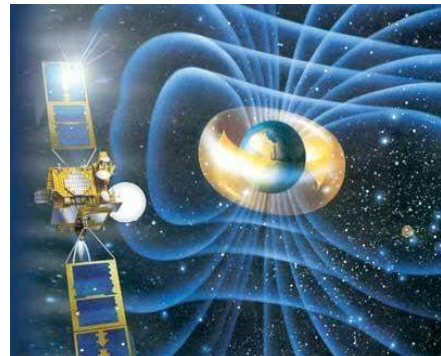
**Repousser toujours plus loin les  
frontières de la connaissance**

Matériaux



sous irradiation

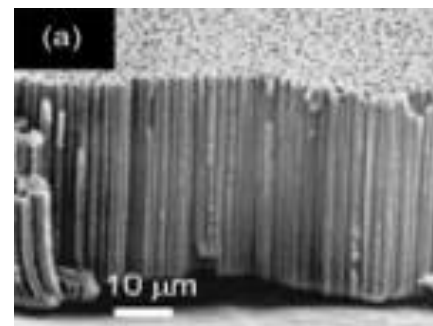
**Une technologie au service de la  
compréhension de la nature**



Applications  
industrielles

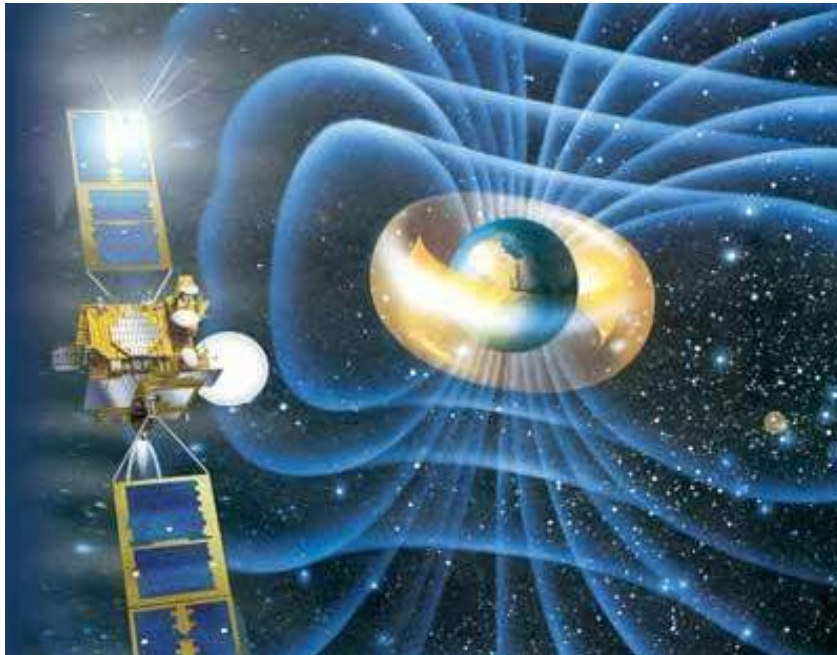


Sciences et techniques des  
détecteurs et accélérateurs



Nanostructuration

## Garantir le succès des missions spatiales en assurant la fiabilité des composants électroniques



### Déterminer l'environnement radiatif de la mission spatial

- Effets **cumulatifs** (Dose ionisante ou non ionisante)
- Effets **singuliers** (Destructifs ou non destructifs)

### Sélectionner des composants suffisamment robustes

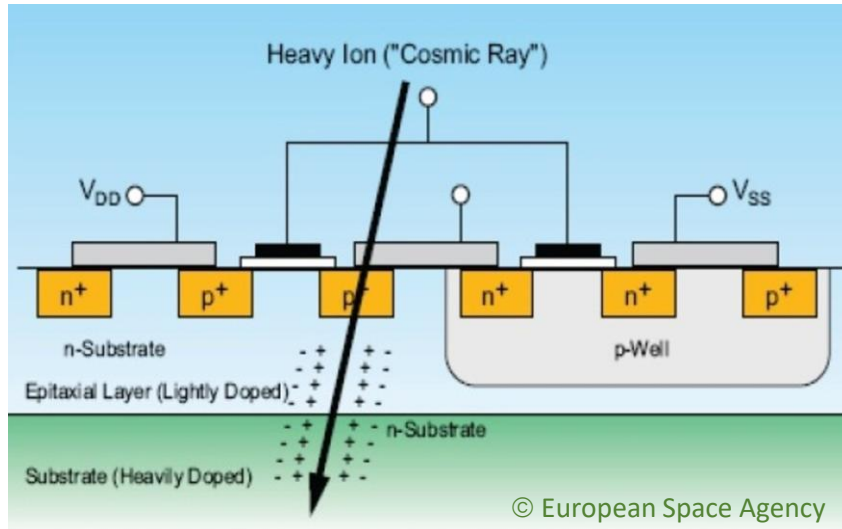
- Vérifier leur robustesse
- Identifier et tester des modes de pannes pour concevoir des architectures tolérantes

### Utilisation des accélérateurs de particules

- Vérifier la tenue des composants soumis aux radiations
  - Monitorer les réactions au stress radiatif



# Les Single Event Effect (SEE)



L'**interaction** d'un ion lourd avec un matériau semi-conducteur crée une colonne de **paires électron/trou**

Si elles sont collectées par un transistor élémentaire elles sont susceptibles d'induire des **effets destructifs ou pas** (erreur logique ou changement d'état dans une cellule mémoire)

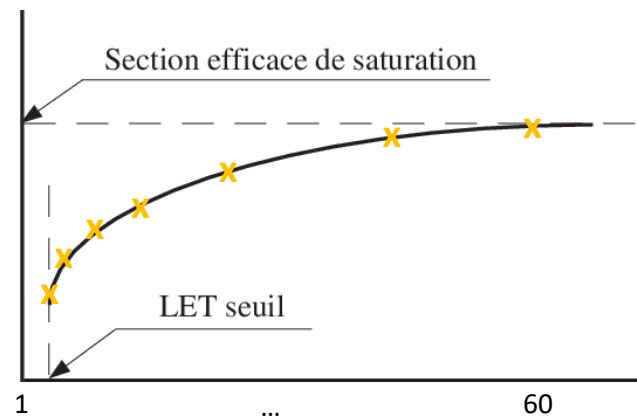
Ces SEE induits sur les composants élémentaires peuvent **se propager au niveau du circuit ou du système**, conduisant par exemple dans un cas extrême à une perte de contrôle sur un satellite.

Le composant est testé pendant qu'il est exposé au faisceau pour :

- **Prouver son insensibilité**
- **Caractériser sa sensibilité**

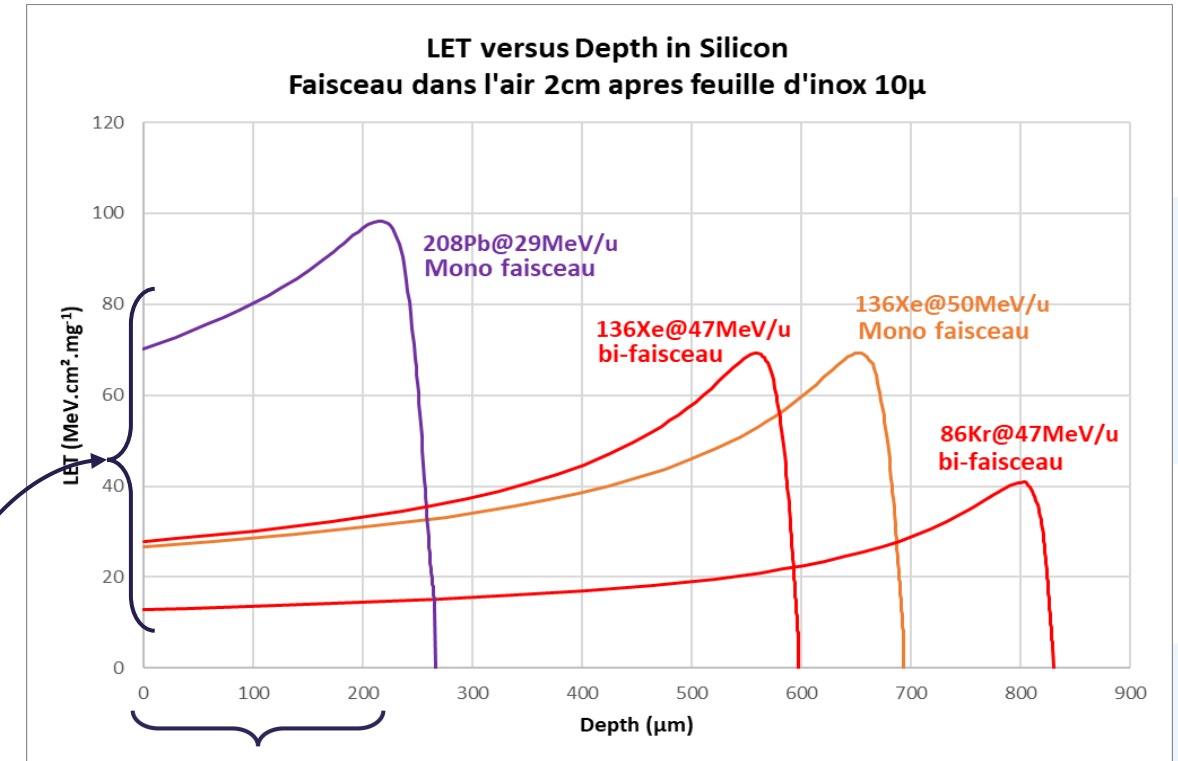
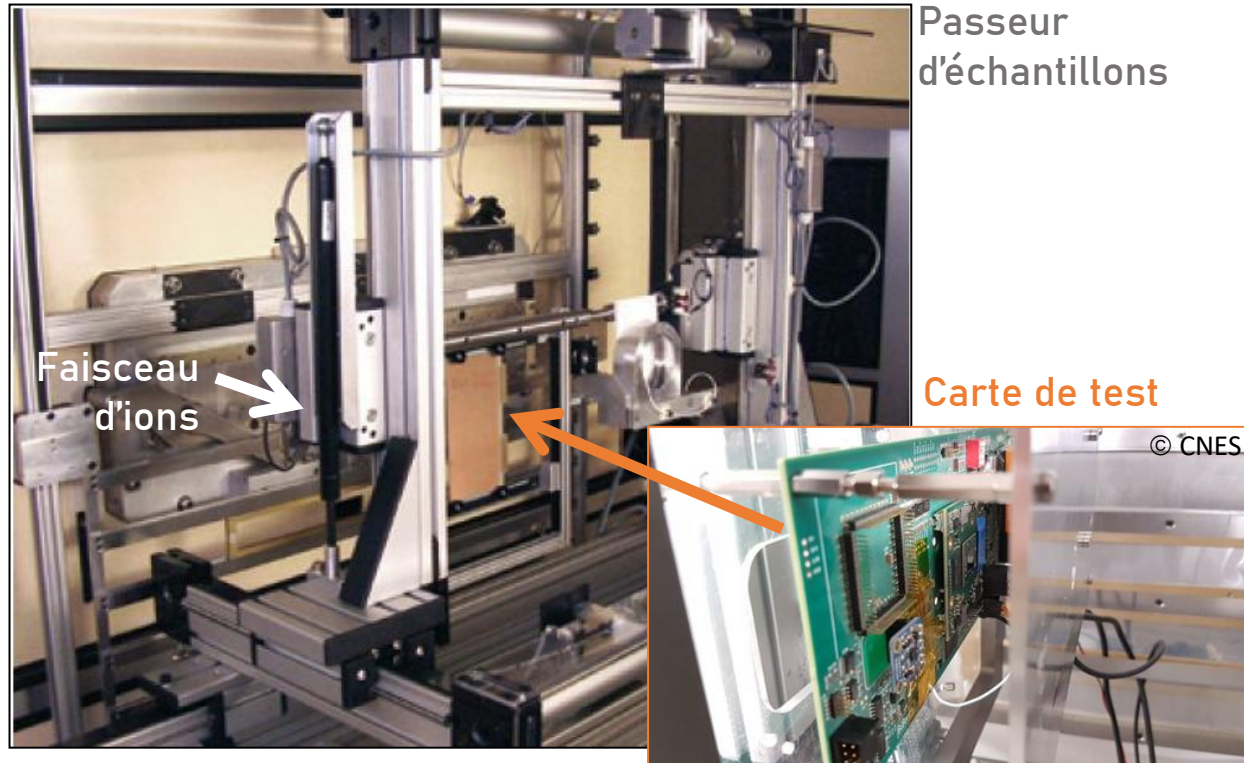
Evaluation de l'impact du transfert linéique d'énergie : le LET dans la surface utile du composant

- **Mesures** à différents LET selon les **normes** en vigueur



**LET** : quantité qui décrit l'énergie transférée par une particule ionisante traversant la matière, par unité de distance

# L'installation GANIL pour les tests SEE



## Atouts GANIL

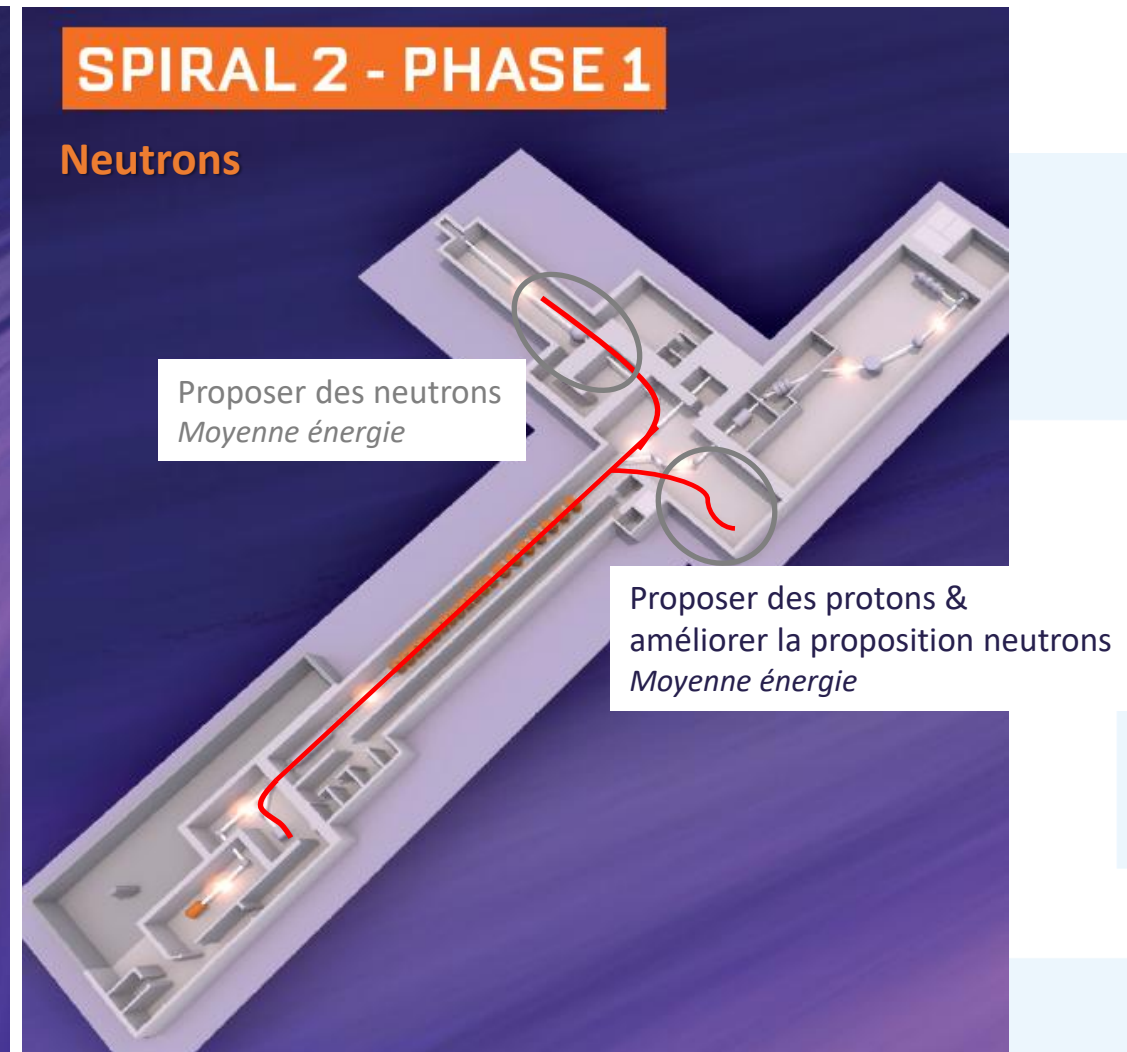
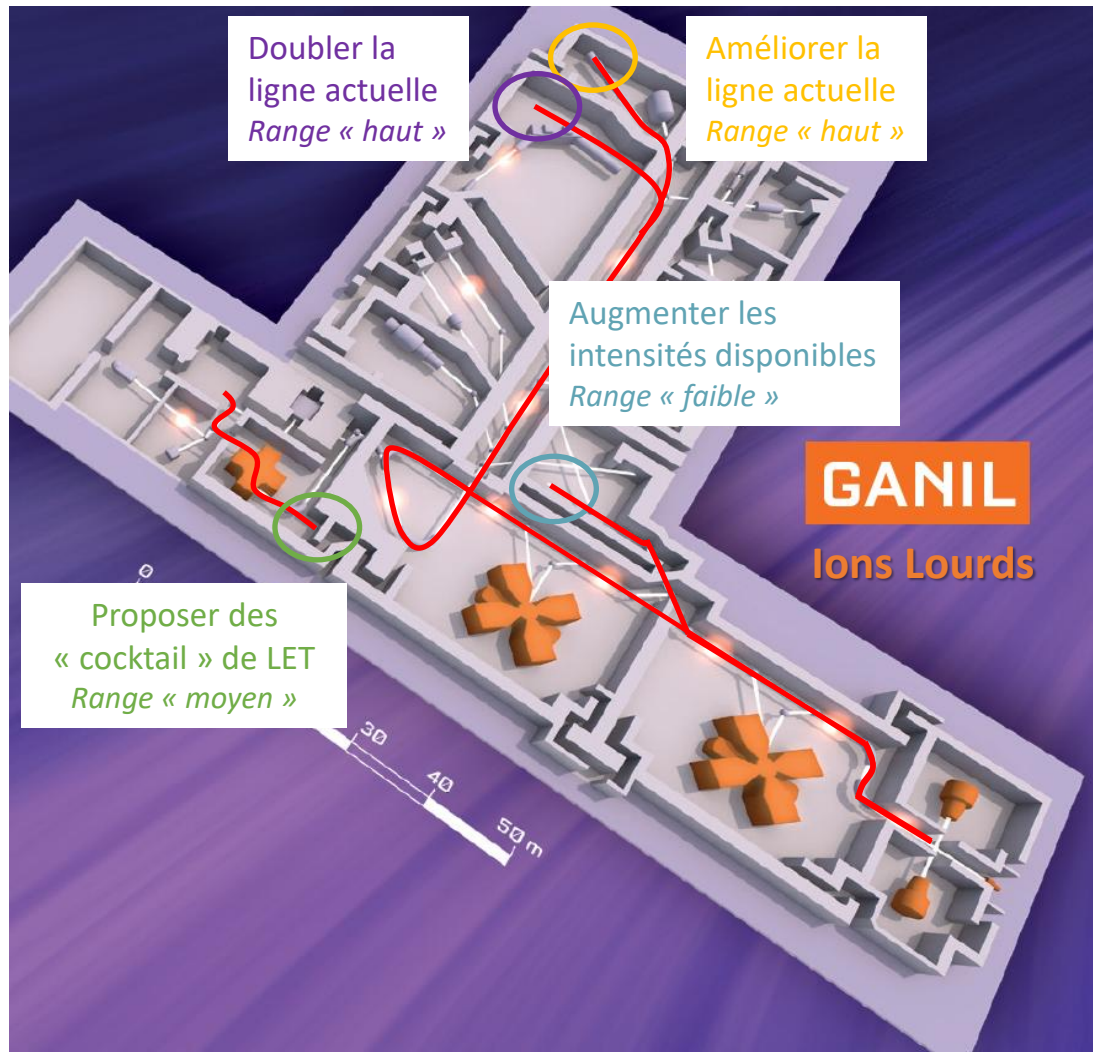
- Ligne de faisceau et équipe dédiée industriels
- Tests de LET possibles entre 18 et 80
- Pénétration dans le silicium 200 $\mu$ m et plus
- Irradiation d'ans l'air
- Flux réglable entre 10 à 10<sup>4</sup> p/s/cm<sup>2</sup>

## Faiblesses GANIL

- Changement de LET rapide limité
  - Pas de LET < 18
- Formalités administratives d'une Installation Nucléaire de Base
- Installation optimisée pour la recherche

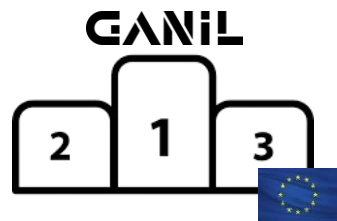


# Evolutions envisagées



# Projet SAGA (Space Applications at Ganil Accelerators) **GANiL**

Améliorer les installations du GANiL  
pour mieux répondre à la communauté  
industrielle et académique  
des tests radiatifs électronique



Une Infrastructure de Recherche  
nationale pour accompagner  
la compétitivité et la souveraineté  
de l'industrie spatiale française



Ancrer le GANiL dans l'environnement  
socio-économique



Augmenter la valorisation commerciale  
de la plateforme de recherche



Développer une politique  
partenariale nationale poussée



Accentuer le rayonnement  
scientifique français



# GANiL





# GANIL

Merci pour votre attention

**Eloïse Dessay**

Chargée de valorisation et des partenariats industriels

Cheffe de projet SAGA

T. +33 (0)2 31 45 46 79

P. +33 (0)6 72 83 02 08

[dessay@ganil.fr](mailto:dessay@ganil.fr) | [www.ganil-spiral2.eu](http://www.ganil-spiral2.eu)





# Merci pour votre attention

## Des questions ?







# LE CENTRE FRANÇAIS DE FIABILITÉ [CFF]

Le regroupement d'experts de la fiabilité des systèmes et des composants électroniques



Le **NRTW (National Reliability Technology Workshop)** se veut un espace d'échanges et de rencontres des acteurs de la fiabilité du secteur électronique. Une occasion unique de renforcer les synergies et le rayonnement national de ce réseau.

Le prochain Symposium **NRTW** se tiendra, en présentiel, les mercredi 19 et jeudi 20 mars 2025, en Normandie.

- **Thème :** Essais Environnementaux et Irradiations : Garantir la Fiabilité des Systèmes et Composants en Conditions Extrêmes
- **Lieu :** GANIL, Bd Henri Becquerel, à Caen
- **Date :** mercredi 19 et jeudi 20 mars 2025 [2j]

## Programme

1. Contexte et enjeux de la fiabilité en conditions extrêmes
2. Essais Environnementaux Accélérés et Aggravés (en synergie avec ASTE)
3. Irradiation des Composants : Méthodologies et Effets
4. Modélisation de la Fiabilité Prédictive
5. Visite des installations

Accès payant en présentiel.  
Tarifs préférentiels aux membres CFF.  
Inscription obligatoire.

Info et Billetterie :  
<https://www.cff-fiabilite.fr/symposium-nrtw>

Organisé par [ASTech Paris Région](#), [NAE](#) et [NextMove](#), le [GANIL](#). Et le partenariat de [ASTE](#).

# Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe → I A 18

Période ↓

1 2 3 4 5 6 7

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Hydrogène 1 H 1,007975

Lithium 3 Li 6,9395

Sodium 11 Na 22,98976928

Potassium 19 K 39,0983 (1)

Rubidium 37 Rb 85,4678 (3)

Césium 55 Cs 132,905452

Francium 87 Fr [223]

Béryllium 4 Be 9,0121831

Magnésium 12 Mg 24,3055

Strontium 38 Sr 87,62 (1)

Baryum 56 Ba 137,327 (7)

Radium 88 Ra [226]

Scandium 21 Sc 44,955908 (5)

Yttrium 39 Y 88,90584

Lanthanides 57-71

Actinides 89-103

Titane 22 Ti 47,867 (1)

Zirconium 40 Zr 91,224 (2)

Hafnium 72 Hf 178,49 (2)

Ruthénium 44 Ru 101,07 (2)

Rhodium 45 Rh 102,90550

Palladium 46 Pd 106,42 (1)

Argent 47 Ag 107,8682 (2)

Cadmium 48 Cd 112,414 (4)

Indium 49 In 114,818 (1)

Étain 50 Sn 118,710 (7)

Antimoine 51 Sb 121,760 (1)

Tellure 52 Te 127,60 (3)

Polonium 84 Po [209]

Astato 85 At [210]

Radon 86 Rn [222]

Vanadium 23 V 50,9415 (1)

Niobium 41 Nb 92,90637

Tantale 73 Ta 180,94788

Tungstène 74 W 183,84 (1)

Rhénium 75 Re 186,207 (1)

Osmium 76 Os 190,23 (3)

Iridium 77 Ir 192,217 (3)

Platine 78 Pt 195,084 (9)

Or 79 Au 196,966569

Mercure 80 Hg 200,592 (3)

Thallium 81 Tl 204,3835

Plomb 82 Pb 207,2 (1)

Bismuth 83 Bi 208,98040

Polonium 84 Po [209]

Astato 85 At [210]

Radon 86 Rn [222]

Cobalt 27 Co 58,933194

Nickel 28 Ni 58,6934 (4)

Cuivre 29 Cu 63,546 (3)

Zinc 30 Zn 65,38 (2)

Gallium 31 Ga 69,723 (1)

Germanium 32 Ge 72,630 (8)

Arsenic 33 As 74,921595

Sélénium 34 Se 78,971 (8)

Brome 35 Br 79,904

Krypton 36 Kr 83,798 (2)

Xénon 54 Xe 131,293 (6)

Oganeson 118 Og [294]

Lanthane 57 La 138,90547

Cérium 58 Ce 140,116 (1)

Praséodyme 59 Pr 140,90766

Néodyme 60 Nd 144,242 (3)

Prométhium 61 Pm [145]

Samarium 62 Sm 150,36 (2)

Europium 63 Eu 151,964 (1)

Gadolinium 64 Gd 157,25 (3)

Terbium 65 Tb 158,92535

Dysprosium 66 Dy 162,500 (1)

Holmium 67 Ho 164,93033

Erbium 68 Er 167,259 (3)

Thulium 69 Tm 168,93422

Ytterbium 70 Yb 173,045

Lutécium 71 Lu 174,9668

Actinium 89 Ac [227]

Thorium 90 Th 232,0377

Protactinium 91 Pa 231,03588

Uranium 92 U 238,02891

Neptunium 93 Np [237]

Plutonium 94 Pu [244]

Américium 95 Am [243]

Curium 96 Cm [247]

Berkélium 97 Bk [247]

Californium 98 Cf [251]

Einsteinium 99 Es [252]

Fermium 100 Fm [257]

Mendélévium 101 Md [258]

Nobélium 102 No [259]

Lawrencium 103 Lr [266]

Métaux

Alcalins Alcalino-terreux Lanthanides Actinides Métaux de transition Métaux pauvres Métalloïdes

Non métaux

Autres non-métaux Halogènes Gaz nobles Non classés

primordial désintégration d'autres éléments synthétique



# TECH HOUR

## PROCHAIN SUJET

Mardi 25 mars 2025

**Retenez la date  
du prochain  
Tech Hour**

**Maîtriser les risques sol d'une opération drone  
avec DROSERAC**

**ONERA**

6, chemin de la Vauve aux Granges - 91120 PALAISEAU

L'intervention sera réalisée par :

Nicolas Raballa

[nicolas.raballand@onera.fr](mailto:nicolas.raballand@onera.fr)

Ingénieur de recherche

01 80 38 66 68

Le logiciel DROSERAC évalue les risques sol lors de la préparation des missions drones. Il facilite la mise en œuvre de la méthodologie SORA (Specific Operations Risk Assessment), telle que définie par l'EASA (Agence européenne de la sécurité aérienne) pour l'obtention d'une autorisation d'exploitation. Dans ce but, il calcule automatiquement des indicateurs pour quantifier et localiser les risques au sol, il produit également une synthèse globale de ces risques.

