



SGCN

Secrétariat général du Comité national



COMITE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT NATIONAL DE PHYSIQUE NUCLEAIRE ET DE PHYSIQUE
DES PARTICULES (IN2P3)**

Réunion plénière du

**jeudi 26 octobre - Amphi Marie Curie - et vendredi 27 octobre 2017 - salle Pierre Auger
Campus Michel-Ange - CNRS - PARIS**

“Physique nucléaire ISOL basse énergie”

Conclusions

Hervé Savajols
(GANIL)

Sommaire



- © **Enjeux scientifiques**
- © **Observables et techniques**
- © **Panorama des installations**
- © **Feuille de route**
- © **Organisation**
- © **Conclusions**

La compréhension du noyau ne peut pas se réduire à une seule question

Parmi les questions que les physiciens ISOL basse énergie se posent :

- Comment évolue l'interaction nucléaire en fonction de l'isospin ?
- Comment expliquer les phénomènes collectifs à partir des mouvements individuels ?
- Quelle est l'origine des éléments dans l'univers ?
- Existe-t-il une physique au-delà du modèle standard des particules ?
- Quel est l'impact de la physique nucléaire sur les autres disciplines ?

Les approches théoriques de la \square N sont rentrées dans une nouvelle ère :

Elles bénéficient des acquis des approches du *champ moyen* (et au-delà), et elles ambitionnent de *décrire la structure du noyau « ab-initio »*,

Afin de décrire l'évolution des couches,.....des réactions,.....sans paramètre ajustable,

Forces en présence



La communauté française est importante et dynamique

	Nombre de Chercheurs Enseignants-Chercheurs	ETP ITA Instrumentation ISOL	Nombre de Doctorants Post- Doctorants
CENBG	6	4	2
CSNSM	10	0,25	7
GANIL	10	3	4
IPHC	2	1	0
IPNO	9	1	6
LPC Caen	6	5	0
LPSC	2	3	1
SUBATECH	4	1	2
Total	46	11	22

Récemment l'IRFU/CEA a rejoint cette thématique avec notamment son implication dans la ligne basse énergie de S³

Important travail de développement en cours

- © Faisceaux produits par la technique ISOL sont soit étudiés à **basse-énergie** ou sont soit post-accélérés
 - *Haute intensité, pureté et qualité*
- © Forte imbrication entre la méthode de production et de sélection et des techniques expérimentales
- © Mesures de précisions des propriétés les plus fondamentales
 - *spin, masse, moments électromagnétiques statiques, les rayons de charges, les décroissances radioactives, ...*
- © Nombreux développements expérimentaux

Décroissance

- BEDO
- POLAREX
- Si-Box

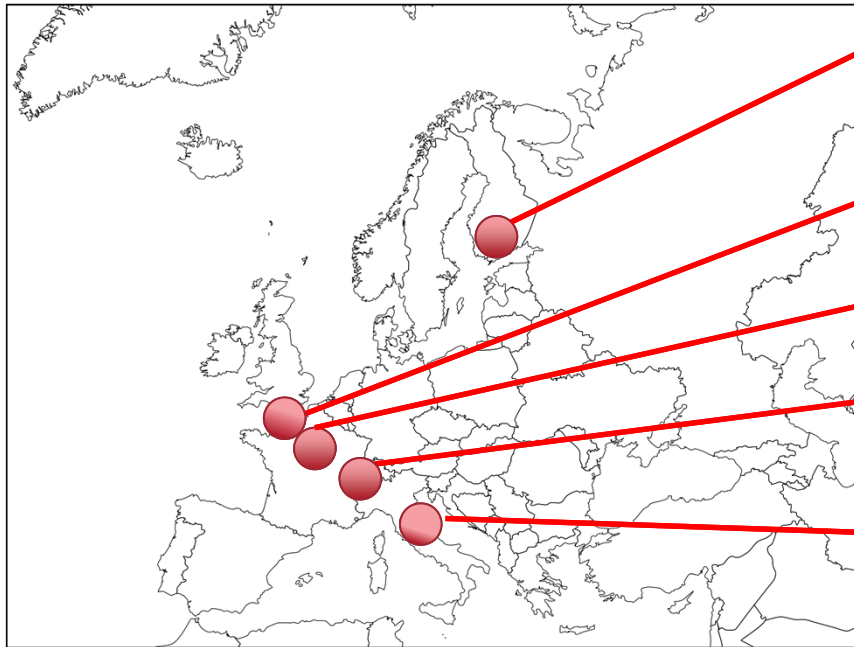
Spectroscopie laser

- REGLIS³
- LINO

Pièges

- LPCTrap/Mora
- PILGRIM
- PIPERADE
- MLLTRAP

Panorama des installations



JYFL-IGISOL: faisceau (p,d) sur cibles minces (p,xn), fission

GANIL: SPIRAL1 et S³-LEB
Fragmentation, fusion-évaporation, transfert

ALTO: photofission

ISOLDE: spallation et fission – faisceau protons 1,4 GeV

SPES: faisceau protons, fission

TRIUMF:

ISAC : spallation et fission faisceau protons 500 MeV
ARIEL : photofission



Actuellement 30-40% des chercheurs sont impliqués dans des programmes scientifiques hors France (ISOLDE, JYFL, TRIUMF, ...)

Feuille de route



Les principaux points forts

- © Enjeux scientifiques clairs et ambitieux

- © Communauté française importante et dynamique : *40-50 Physiciens (production scientifique, visibilité internationale et projets collaboratifs)*

- © Fort support de la physique théorique aux programmes expérimentaux

- © Développement d'une instrumentation de pointe

- © Développement de plateformes nationales complémentaires
 - *ALTO (noyaux riches en neutron de masse intermédiaire)*
 - *SPIRAL1 (noyaux légers)*
 - *S³-LEB (noyaux riches en protons, lourds et superlourds)*
 - *DESIR (Hall expérimental pour GANIL/SPIRAL2)*

- © Une communauté nationale organisée

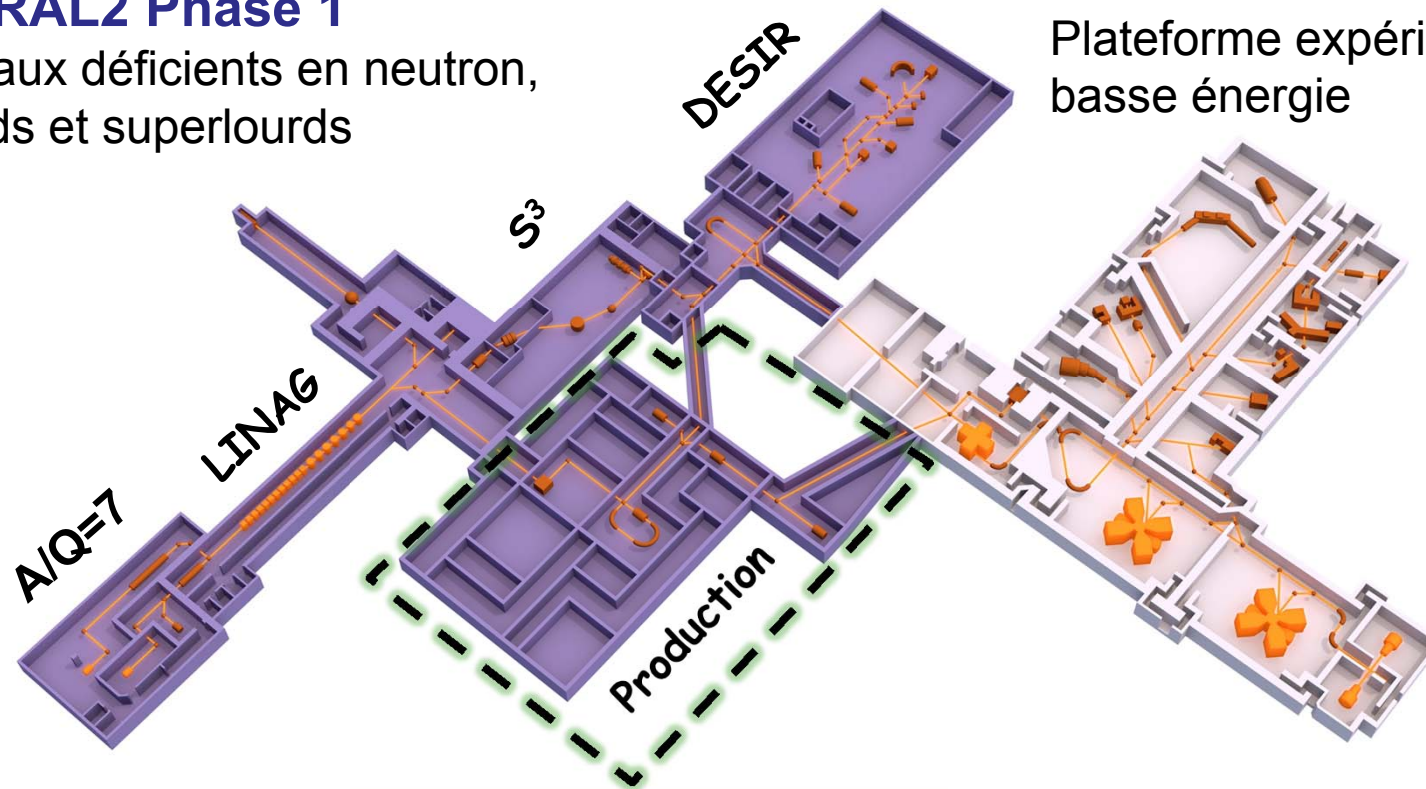
Stratégie à long terme « Scénario 1 »



Développement d'une installation internationale de tout premier plan autour de GANIL/SPIRAL2

SPIRAL2 Phase 1

Noyaux déficients en neutron, lourds et superlourds



DESIR

Plateforme expérimentale ISOL basse énergie

SPIRAL2 Phase 2 "like"

Noyaux intenses riches en neutron ($3 \cdot 10^{13}$ FF/s)
(Coût investissement 2011 : 102 M€)

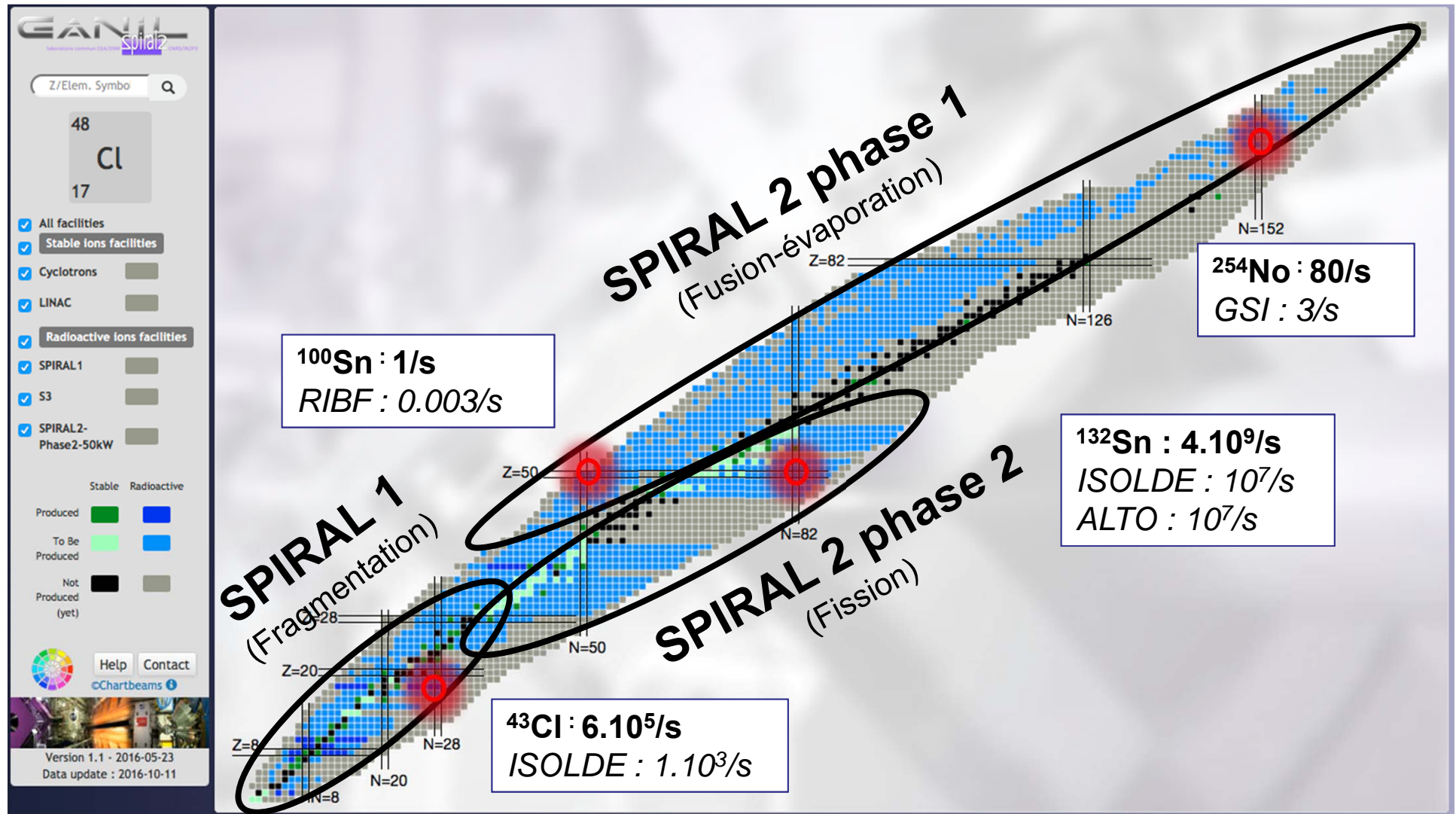
SPIRAL1 Upgrade

Noyaux légers ($A < 80$)

Scénario 1 : Domaines d'excellence



Unicité des faisceaux radioactifs les plus intenses dans ces régions



Scénario 1



© Leadership mondial de la physique nucléaire ISOL basse énergie

- Multifaisceaux ISOL (*fusion-évaporation, transfert, fission, fragmentation*) permettant de répondre à l'ensemble des objectifs scientifiques de la communauté (*structure nucléaire, astrophysique, interaction faible, application*)
- Instrumentation unique avec la plateforme expérimentale DESIR

Au delà :

© **Perspectives uniques avec la post-accélération des faisceaux radioactifs très intenses** vers l'ensemble des salles d'expériences du GANIL (*Meilleure optimisation du projet complet*)

© **Etape intermédiaire indispensable pour aller vers EURISOL**

© **Scénario définit comme la plus haute priorité lors des discussions GANIL 2025**



Stratégie long terme « Scénario 2 »



Emergence le plus rapide possible d'une installation mono-site au GANIL

© Faisceaux exotiques couvrant les trois grandes régions de masse

Noyaux riches en neutron → limitation des taux de fissions par seconde par rapport à SPIRAL2-phase 2

Objectifs : Minimisation des coûts et délais de construction tout en gardant un programme scientifique attractif !

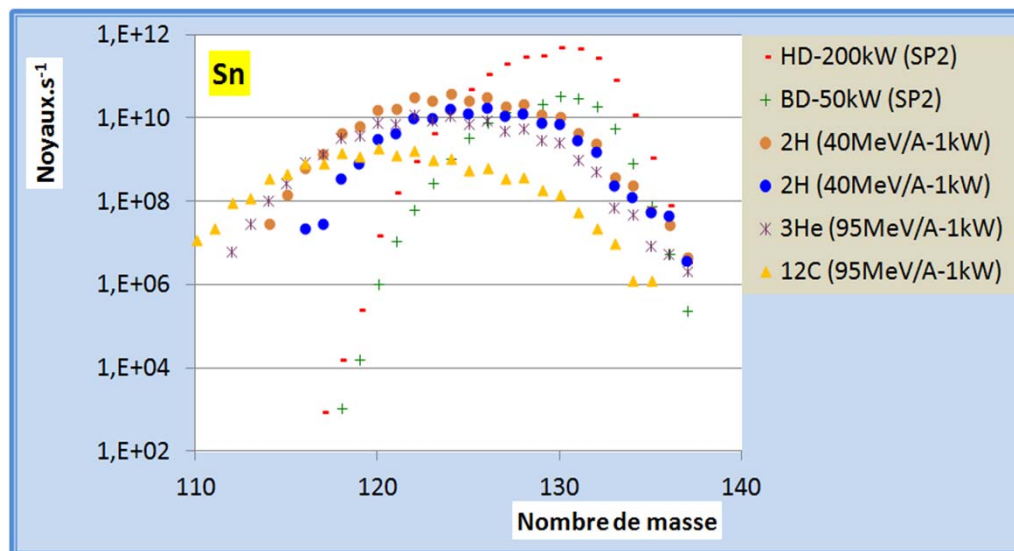
Pistes de réflexion (*non exhaustive*) :

- Photofission dans SPIRAL1 avec un driver d'électrons
- Fission induite par des faisceaux du LINAC de SPIRAL2 dans SPIRAL1
- Fission induite par des faisceaux légers des cyclotrons du GANIL dans SPIRAL1 (*Etude préliminaire dans le cadre de GANIL 2025*)

Scénario 2



Exemple : Fission induite par des faisceaux légers des cyclotrons du GANIL dans SPIRAL1



- Taux de production intéressants pour les noyaux les plus exotiques
- Permet de réaliser une partie des Lols DESIR tel que définis en 2011
- Scénario limité pour la post accélération des faisceaux intenses

Budget d'investissement estimé à environ 20 M€ pour une durée de construction de 6-7 ans (Très très préliminaires)

→ Etudes complémentaires nécessaires pour consolider les solutions techniques

Stratégie à moyen terme « Scénario 3 »



Plateforme multi-sites : French ISOL Distributed Facility

Sites complémentaires (1) Physique, (2) Détecteurs et (3) régions de masses :

- GANIL (S³-LEB-SPIRAL1/DESIR)
- ALTO

- © Scénario clair en cours de développement qui répond au poids relatifs des communautés
- © Scénario pouvant évoluer vers les scénarii 1 et 2 si les moyens pour développer les fragments de fission au GANIL sont réunis
- © Scénario limité en l'absence de perspectives pour une installation mono-site multifaisceaux ISOL ambitieuse au GANIL
 - Compétitivité de ALTO à terme avec des installations existantes (ISOLDE, TRIUMF) et en construction (SPES)
 - Limitation du programme de DESIR
 - Absence de perspectives pour la post-accélération de faisceaux radioactifs

Scénario 3 : ALTO



© Phase 1 BEDO : en cours d'exploitation

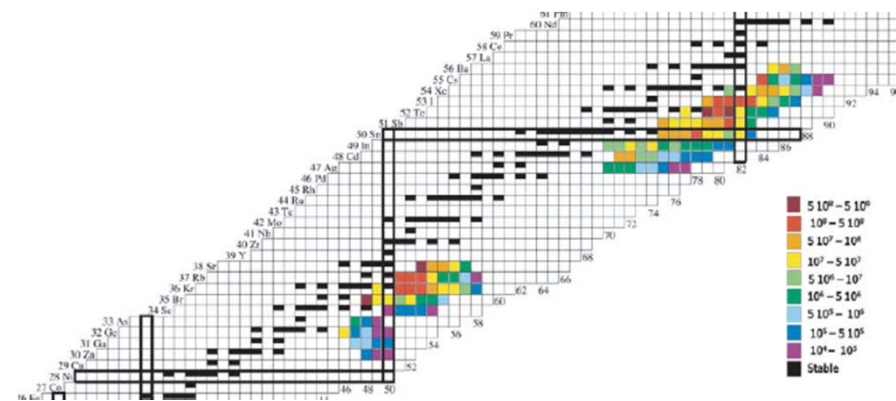
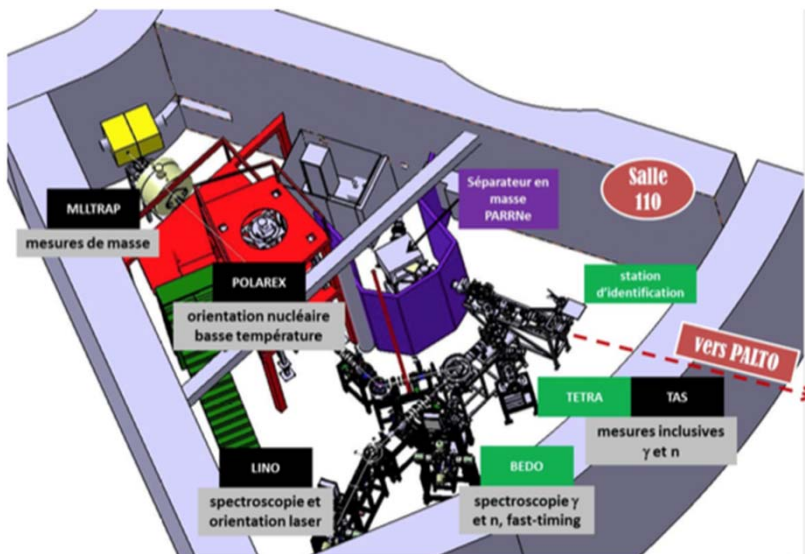
© Phase 2 Terra Incognita : horizon 2019

Financé a hauteur de 1,13 M€ (P2IO, IDF, IPNO)

- Mesures de masse (MLL-Trap) / Spectroscopie Laser (LINO) / Orientation nucléaire (POLAREX)

© Phase 3 PALTO : horizon 2020-

- Extension de 100 m² de la salle 110 d'ALTO (Coût total : 1M€)



→ Taux comparable à ISOLDE pour ^{132}Sn avec faisceau sur convertisseur (qq 10^7 pps)

Scénario 3 : ALTO



Ressources et moyens

- © Ressources humaines actuelles (exploitation, R&D, soutien technique) :
10 ETP ITA

- © Besoins pour la construction de PALTO : 1 M€ (Demande CPER)

- © Besoins pour consolider l'exploitation de ALTO
 - Consolidation des RH
Exploitation (1,5 ETP), R&D (2,5 ETP) et besoin globaux (2 ETP)
Total 6 ETP

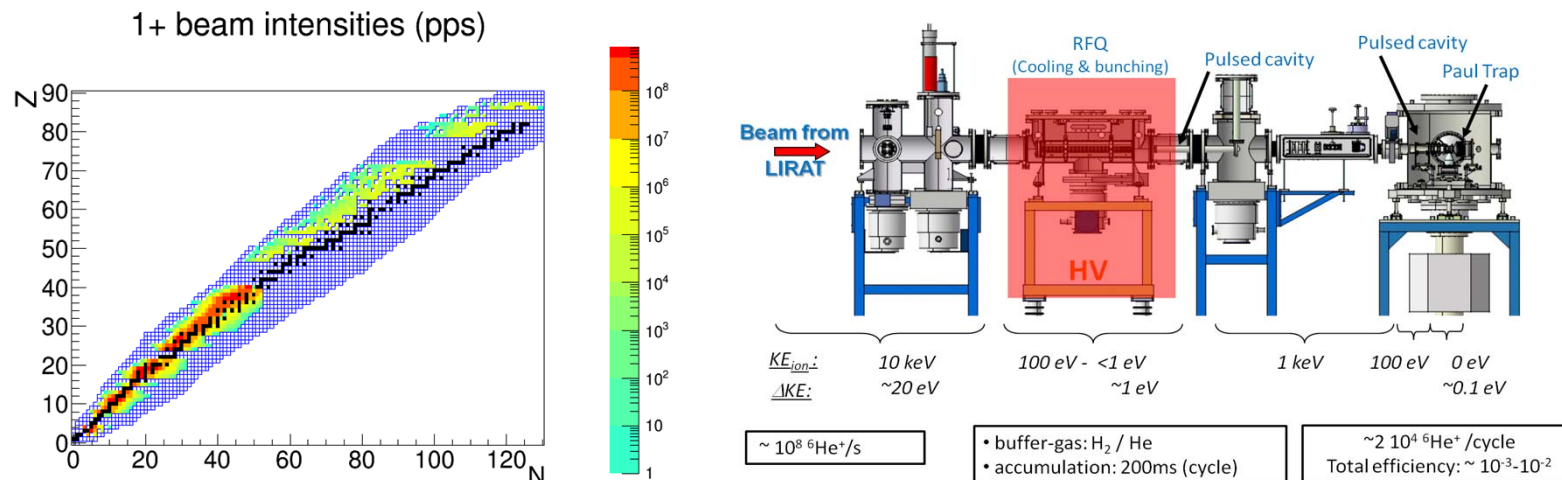
 - Coût de fonctionnement : 200 k€ /an pour 8 semaines de faisceau
(accélérateur, jouvence, maintenance, fluides)

Scénario 3 : GANIL/SPIRAL1



© Phase 1: Mise en service de l'upgrade SPIRAL1 en 2018 (financé)

- Nouveaux faisceaux exotiques légers et masses intermédiaires
 - ✓ Day 1 : *Na, Mg, Al, P, Cl, Ar, K*
 - ✓ Day 2 : *Li, Be, Ca, Fe, Ni, Cu, Zn, Ge, As*
- Instrumentations et observables : Mesures de corrélations angulaires (LPCTrap), de décroissance (station d'identification) et de masse (PILGRIM)
- Thématiques scientifiques : Interactions fondamentales, structure nucléaire et astrophysique nucléaire
- Highlights : Mesures de corrélations β -neutrino.

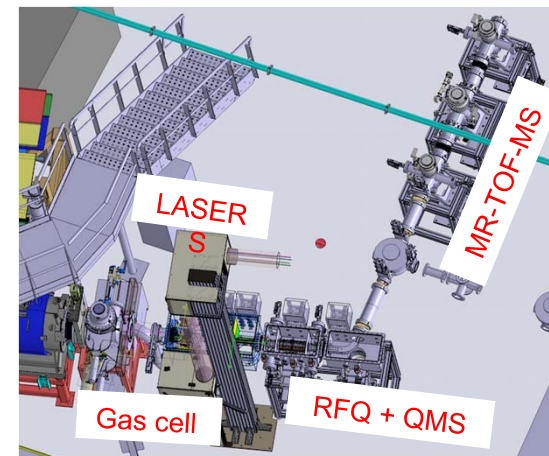
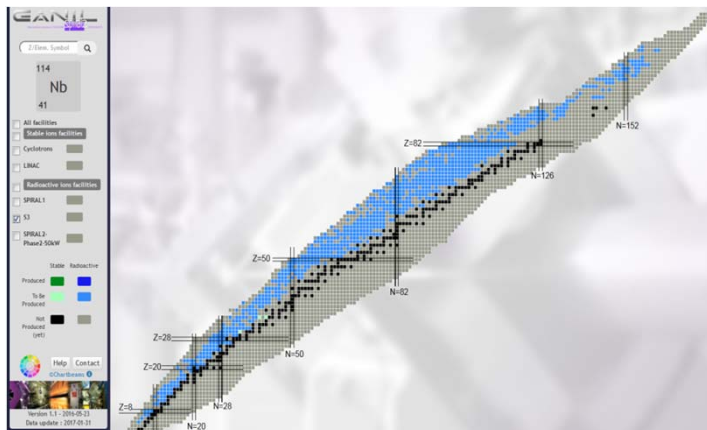


Scénario 3 : GANIL/S³-LEB



© Phase 2 : Mise en service de S³-LEB en 2020 (financé 2,7 M€)

- Nouveaux faisceaux exotiques avec le dispositif REGLIS³
 - ✓ *Noyaux déficients en neutrons (A>80), lourds et très lourds*
- Instrumentations et observables : spectroscopie Laser (REGLIS³), décroissance radioactive (Tape Station et Si-Box) et mesures de masse (PILGRIM)
- Thématiques scientifiques : Structure nucléaire, Astrophysique nucléaire, Décroissances exotiques
- Highlights : Spectroscopie Laser des Super-lourds et N=Z (A>60-80) et mesures de masse autour ¹⁰⁰Sn

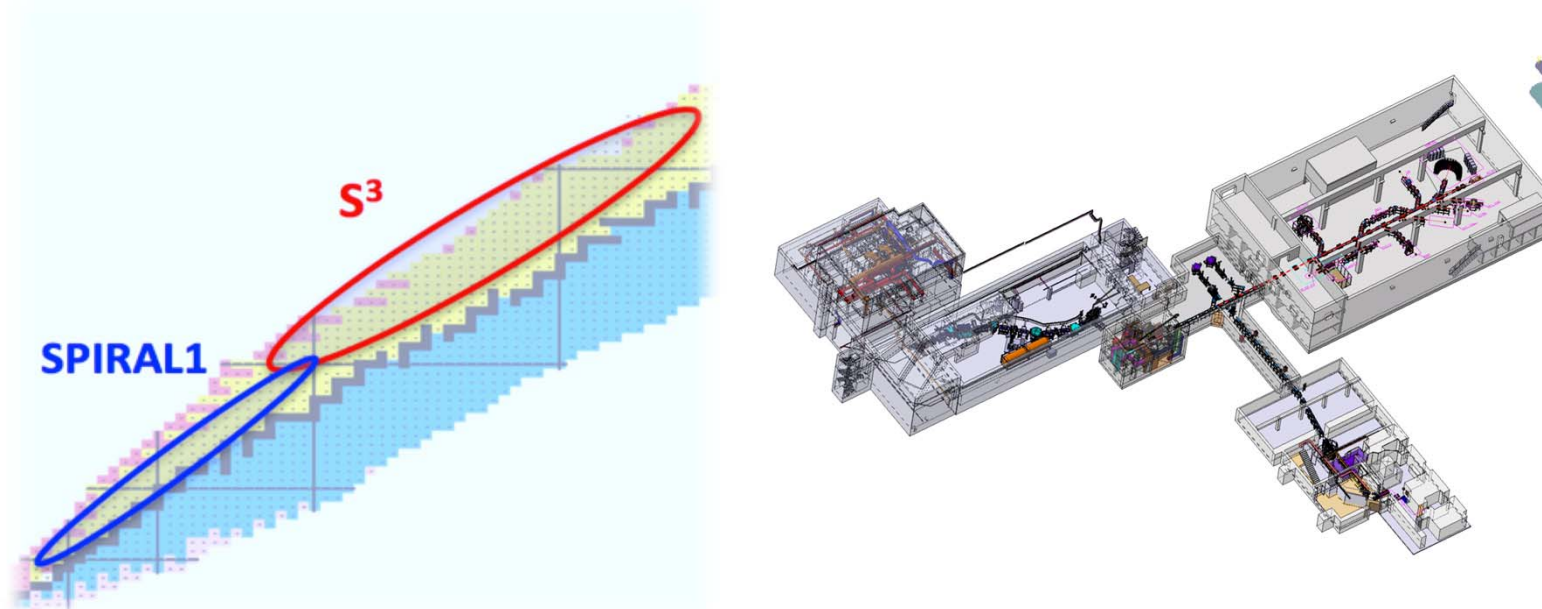


Scénario 3 : GANIL/DESIR



Phase 3 : Mise en service de DESIR en 2023 (financé 24 M€)

- Disponibilité de faisceaux exotiques issus de SPIRAL1 et de S³-LEB
- Instrumentations : DETRAP, LUMIERE et BESTIOL
- Thématiques scientifiques : Structure nucléaire, Interactions fondamentales, Astrophysique nucléaire (processus rp), Décroissances exotiques
- Highlights : Mesure de masse et de spectroscopie laser de hautes précisions pour les noyaux déficitaires en neutrons.



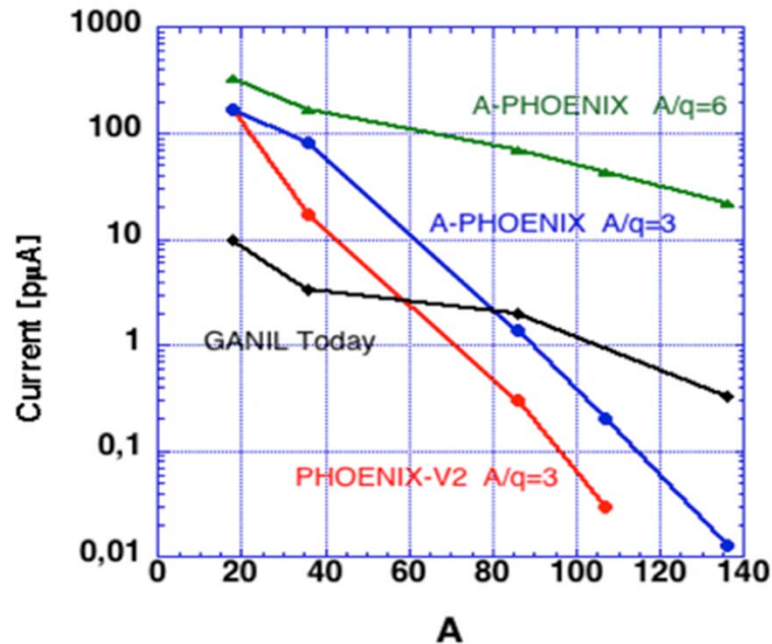
2/2

Scénario 3 : GANIL/Injecteur A/Q=7



Phase 4 : Mise en service du nouvel injecteur A/Q=7 pour SPIRAL2

- Besoin en faisceau d'ions lourds $A > 50$ très intenses
 - ✓ Pour l'étude et la synthèse des noyaux superlourds
 - ✓ Pour l'étude et la synthèse des noyaux très déficient en neutrons



- Durée du projet ~5-6 ans
- Coût investissement estimé à 11,5 M€

Ions	Intensity (pμA) Phoenix V2 PHOENIX V3	High Intensity project (A/Q=7 & SC ECR source)
^4He	850	
^{18}O	216	375
^{19}F	28,6	500
^{36}Ar	17.5	500
^{40}Ar	2.9	120
^{32}S	7.3	50
^{36}S	4.6/9	50
^{40}Ca	3/5	15
^{48}Ca	1.25/2.5	15
^{58}Ni	1.1/2	11
^{50}Ti	1/2	10
^{54}Cr	1/2	10
^{84}Kr	0	33
^{139}Xe	0	18
^{238}U	0	2.5

Scénario 3 : GANIL



Ressources et moyens

© S³-LEB

- Budget S3 (séparateur-spectromètre) : 14 M€ (financé)
- Budget S³-LEB : 2,7 M€ (manque 90k€)
- Ressources humaines : 30 ETP (2017-2019) pour l'achèvement de la construction
 - risque de délais avec conflits de ressources LINAC/exploitation
- Exploitation : ≈ 100 k€/mois (hors accélérateur)
- Besoin de renfort au GANIL en expertise laser pour l'exploitation (1 IR ou CR)

© DESIR

- Budget DESIR : 24 M€ (financé)
- Ressources humaines : 15-20 ETP/an pour la phase installation à partir de 2021
 - consolidation des ressources en cours
- Exploitation : ≈ 110 k€/mois (hors S³ et accélérateur)

© Injecteur A/Q = 7

- Budget estimé : 11,5 M€ (partiellement financé), durée 5-6 ans
- Phase d'étude est financée, mais pas lancée
- Ressources estimées : 4.5 FTE pour APS et 14 FTE pour APD

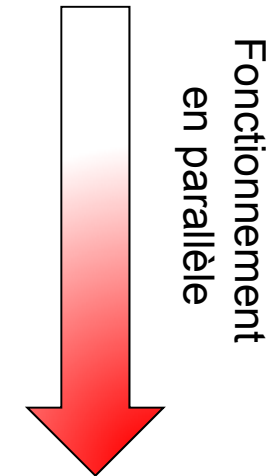
Scénario 3 : GANIL



Opération parallèle de GANIL-SPIRAL1 et SPIRAL2

Planning prévisionnel d'exploitation à consolider

Année	Opération (mois)	Milestone
2018	6 mois	Premières expériences de l'installation NFS
2019	8 mois	
2020	8 mois	Premières expériences avec S3
2021	10 mois	
2022	10 mois	
2023	12 mois	
2024	12 mois	Premières expériences avec DESIR
2025	14 mois	
2026	16 mois	



Opération entre 2018 (6 mois) et 2026 (16 mois) :

- Budget : 3,4 M€ supplémentaire (à consolider)
- Ressources humaines : >11 ETP supplémentaires (à consolider)
(opérateurs, renforcement des groupes techniques d'exploitation).

Projet européen IDEAAL : nouveaux partenaires dans le GIE GANIL pour le développement de l'installation (investissement et coûts de fonctionnement).

Scénario 3



Calendrier de déploiement

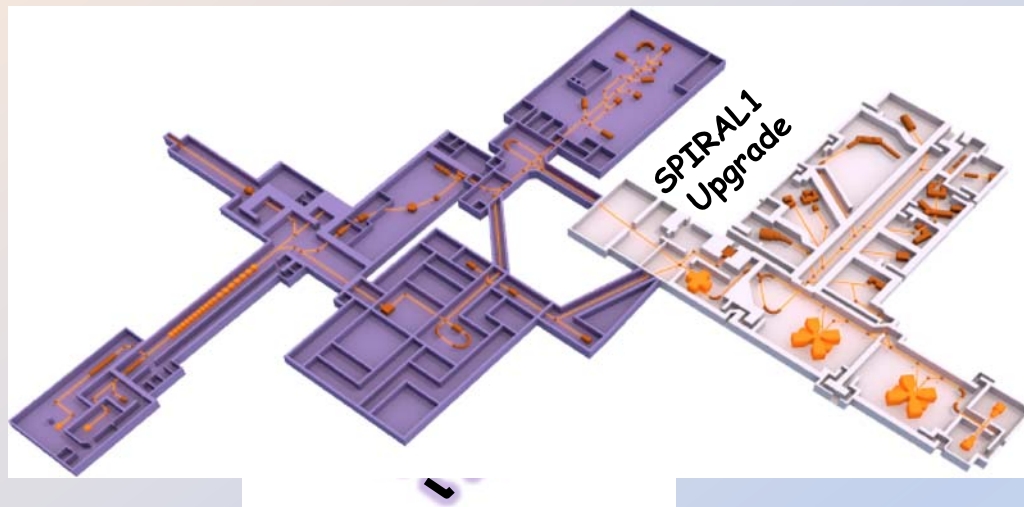
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
ALTO	Operational	Polarex + LINO	MLLTRAP	<i>larger experimental hall?</i>				
SPIRAL 1 upgrade	Commissioning	First experiments	<i>... beams at LIRAT ...</i>	<i>... Continuous target and ion source R&D ...</i>				beams to DESIR
S3-LEB	<i>Off-line tests at LPC Caen</i>		<i>Installation at S3</i>	S3-LEB first experiments			beams to DESIR	
DESIR				Construction	Building ready		First experiments	
Injecteur A/Q=7	APS	APD	Construction	Construction	Construction	Construction		

Ce scénario reste à consolider en terme de budget et de ressources humaines

Un important aspect concerne le temps de faisceau qui sera disponible dans les prochaines années.

Un avenir ambitieux

- Stratégie à long terme « Scénario 1 » : installation mono-site / multi-faisceaux



GANIL

SPIRAL1 Upgrade

Noyaux légers ($A < 80$)

SPIRAL2 Phase 1

Noyaux déficités en neutron, lourds et superlourds

DESIR

Plateforme expérimentale ISOL basse énergie

SPIRAL2 Phase 2 "like"

Noyaux intenses riches en neutron ($3 \cdot 10^{13}$ FF/s)

Perspectives : Post Accélération
EURISOL

- Stratégie à moyen terme « Scénario 3 » : sites complémentaires



GANIL

SPIRAL1 Upgrade

Noyaux légers ($A < 80$)

SPIRAL2 Phase 1

Noyaux déficités en neutron, lourds et superlourds

DESIR

Plateforme expérimentale ISOL basse énergie

IPNO

ALTO → PALTO

Noyaux intenses riches en neutron ($1 \cdot 10^{11}$ FF/s)

Organisation



© Historiquement structurée autour des projets (DESIR, S³, ALTO, ...)

Depuis 2017

© Création structure ISOL France (Mars 2017)

Echanger, lors de réunions annuelles, sur les programmes scientifiques, les développements techniques et de fédérer les équipes de recherche à l'échelle nationale.

Adéquation science, faisceaux et instrumentation :

1. Constitution d'un comité de coordination des programmes scientifiques et pour l'instrumentation et la R&D
2. Valorisation du master projet existant « ions radioactifs »

La communauté ISOL France contribuera au Groupement de Recherche (GDR) RESANET

Conclusions



- © Un cadre scientifique clair et excitant
- © Communauté importante et organisée
- © Instrumentation et plateformes nationales de pointes
- © Feuille de route à long terme ambitieuse «scénario 1» à affiner et à affirmer
- © Feuille de route à court et moyen termes claire :
Sites complémentaires « ISOL France Distributed Facility »
- © ISOL France-DF s'inscrit dans l'initiative EURISOL-DF en cours d'élaboration

Conclusions bis



Perspectives

Scénario 1 :

Développements en cours + Phase 2 like (>100M€)

× 100

Scénario 2 :

Développements en cours + Fragments de Fission avec GANIL existant (≈ 20 M€)

× 10

Scénario 3 :

Développement en cours + optimisation de l'utilisation des faisceaux (PALTO ≈ 1M€)

× 1