

GUINEVERE : VERS UNE ENERGIE NUCLEAIRE PLUS PROPRE

Conférence de presse
Mercredi 11 janvier 2012

Contacts presse

CNRS | Priscilla Dacher | T 01 44 96 46 06 | priscilla.dacher@cnrs-dir.fr



Sommaire

Communiqué de presse « GUINEVERE : vers une énergie nucléaire plus propre »

L'installation GUINEVERE est opérationnelle

Présentation d'Annick Billebaud, responsable du projet GUINEVERE à l'Institut national de physique nucléaire et physique des particules (IN2P3) du CNRS

Présentation d'Hamid Aït Abderrahim, directeur général adjoint du Centre d'étude de l'énergie nucléaire belge (SCK•CEN)





www.cnrs.fr



COMMUNIQUÉ DE PRESSE NATIONAL | PARIS | 11 JANVIER 2012

GUINEVERE : vers une énergie nucléaire plus propre

C'est une première mondiale : le Centre d'étude de l'énergie nucléaire (SCK•CEN) de Belgique a réussi à faire fonctionner un réacteur nucléaire au plomb piloté par un accélérateur de particules construit par le CNRS. L'enjeu d'un tel couplage est de pouvoir, à terme, contrôler plus facilement le fonctionnement des réacteurs nucléaires, et de produire des déchets nucléaires moins polluants. Cette maquette opérationnelle GUINEVERE a été réalisée également en collaboration avec le CEA, la Commission européenne et une dizaine de laboratoires européens.

GUINEVERE se compose d'un réacteur entièrement constitué de combustible nucléaire et de plomb et d'un accélérateur de particules qui commande le réacteur. Il s'agit de la maquette d'un système piloté par accélérateur de particules appelé ADS (Accelerator Driven System). Les ADS sont facilement contrôlables et présentent une sûreté accrue. Ils possèdent en effet un cœur dit sous-critique : le réacteur d'un ADS a besoin d'une source externe de neutrons pour fonctionner, fournie par un accélérateur de particules. Ainsi, l'arrêt de l'accélérateur permet d'arrêter le réacteur.

Par ailleurs, contrairement aux réacteurs classiques, des systèmes tels que GUINEVERE produisent des neutrons rapides permettant la fission de certains déchets hautement radioactifs de longue vie en produits d'une radiotoxicité moindre.

GUINEVERE est une installation de recherche d'une puissance limitée, mais ce modèle de démonstration est d'une importance capitale pour la mise au point de procédures destinées à réguler et contrôler le fonctionnement de futurs réacteurs sous-critiques comme MYRRHA, qui sera opérationnel en 2023. MYRRHA contribuera également au développement de solutions novatrices aussi bien dans le domaine du nucléaire que dans ceux de la médecine et de l'industrie et des énergies renouvelables.

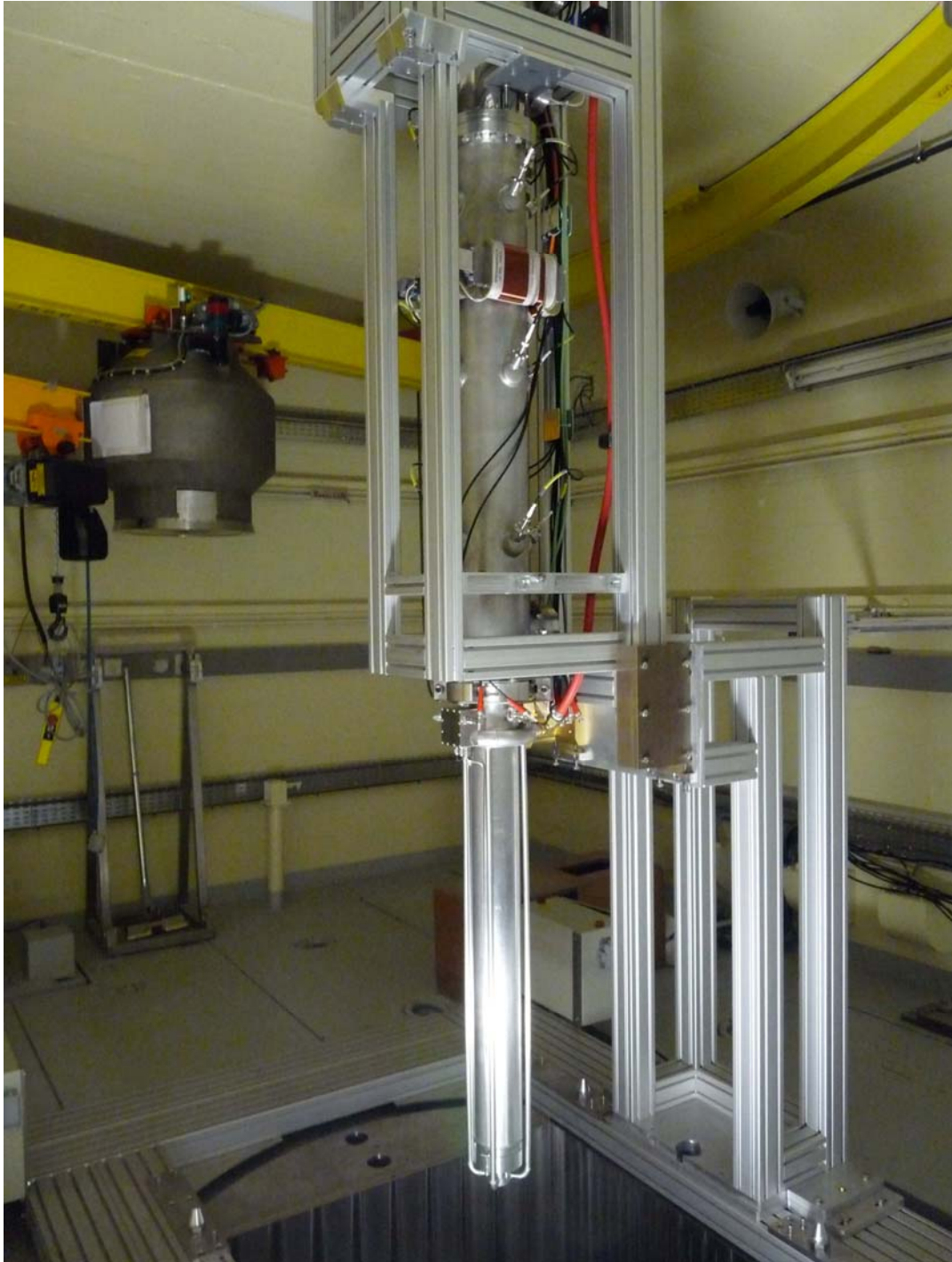
L'accélérateur de GUINEVERE a été construit par le CNRS. Le CEA, pour sa part, a contribué à la conception du cœur et s'est chargé de la fourniture du combustible pour le réacteur.

Contact

Presse CNRS | Priscilla Dacher | T 01 44 96 46 06 | priscilla.dacher@cnrs-dir.fr



www.cnrs.fr



*Insertion de la ligne verticale de l'accélérateur Genepi-3C dans le cœur du réacteur de GUINEVERE © CNRS.
Cette image est disponible à la photothèque du CNRS, phototheque@cnrs-bellevue.fr*



L'installation GUINEVERE est opérationnelle

Intérêts des réacteurs « sous-critiques » pilotés par accélérateur

Suite à la loi française du 30 décembre 1991 (loi dite « Bataille » prolongée par une nouvelle loi en 2006) invitant les organismes de recherche à s'atteler à la problématique des déchets nucléaires, le CNRS s'est engagé dans l'étude des réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur (ou « Accelerator Driven System » - ADS en anglais).

Dans des réacteurs nucléaires « sous-critiques », la réaction en chaîne n'est pas auto-entretenu comme dans les réacteurs classiques « critiques ». Pour fonctionner, ils nécessitent donc d'être couplés à une source externe de neutrons qui peut être fournie par un accélérateur de particules. Ainsi ces systèmes sont « pilotés » par l'accélérateur, puisque l'arrêt de ce dernier entraîne automatiquement l'arrêt du réacteur.

De tels systèmes offrent un intérêt pour la transmutation¹ de certains déchets nucléaires radioactifs à vie longue, comme les noyaux lourds d'actinides mineurs², en éléments à durée de vie beaucoup plus courte. En effet, ils peuvent faire fissionner (casser en deux parties) les déchets radioactifs pour les transformer en noyaux radioactifs plus légers à vie plus courte. Ces déchets à transmuter sont ainsi utilisés comme du combustible nucléaire, ce qui est possible dans un système comme l'ADS car il est plus tolérant qu'un réacteur classique sur la composition de son combustible.

GUINEVERE pour comprendre le comportement spécifique d'un ADS

L'étude de ces systèmes, dont le concept date des années 50, nécessite la mise en place d'expériences sur des réacteurs de recherche. Dès les années 90, le CNRS a pris une part importante dans la mise en place et l'exécution de ces expériences. En 2006, il s'est engagé, aux côtés du Centre d'étude de l'énergie nucléaire belge (SCK•CEN), en collaboration avec le CEA et avec la participation d'une dizaine de partenaires européens (projet européen EUROTRANS), dans la réalisation d'une maquette d'ADS auprès du réacteur belge VENUS³ : l'installation GUINEVERE⁴ construite à Mol en Belgique.

GUINEVERE consiste en un accélérateur de particules couplé au réacteur VENUS en configuration sous-critique et constitué d'uranium et de plomb. Inaugurée officiellement en mars 2010⁵, cette installation, première du genre, **est à présent opérationnelle après le couplage réussi des deux éléments (accélérateur et réacteur)**. Cette maquette, dont la puissance quasi nulle facilite l'expérimentation, sert d'appui au projet MYRRHA⁶ porté par le SCK•CEN, qui verra la construction du premier ADS rapide de démonstration d'ici 2023.

Les expériences sur GUINEVERE ont plusieurs objectifs. Elles sont tout d'abord destinées à l'étude des procédures permettant de réguler et de contrôler le fonctionnement de réacteurs sous-critiques de plus grande puissance, ce qui est un aspect crucial de la sûreté de ces réacteurs. Ensuite, elles permettront d'étudier les différentes configurations de cœur envisagées pour MYRRHA et de valider les codes de calcul neutroniques utilisés pour la conception de MYRRHA par la mesure de certains paramètres physiques.

Contributions de quatre laboratoires rattachés au CNRS

Les équipes techniques et les physiciens des laboratoires rattachés au CNRS contribuent à deux niveaux dans ce programme. Tout d'abord, fortes de leur expérience notamment dans la réalisation d'un accélérateur pour une autre maquette d'ADS à la fin des années 90 (expérience MUSE à Cadarache,

¹ Transformation d'un élément en un autre.

² Ce sont le neptunium, l'américium et le curium.

³ Vulcain Experimental Nuclear Study

⁴ Generator of Uninterrupted Intense NEutrons at the lead VEnus REactor

⁵ Voir communiqué de presse : <http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/1819.htm?debut=24&theme1=1>

⁶ Multi-purpose HYbrid Research Reactor for High-tech Applications



1998-2004), les équipes techniques ont fourni l'accélérateur de particules, conçu spécialement pour ce programme. Les physiciens quant à eux sont impliqués dans la réalisation et l'interprétation des expériences actuellement en cours sur GUINEVERE.

L'accélérateur fourni, appelé « GENEPI-3C » (GENérateur de Neutrons Pulsé Intense- 3 Continu), est un accélérateur envoyant des particules légères (des deutons, isotopes de l'hydrogène) de basse énergie (250 000 eV) sur une cible également constituée d'atomes légers (du tritium, autre isotope de l'hydrogène), ce qui produit des réactions nucléaires libérant des neutrons de haute énergie. Cette machine a dû répondre à plusieurs spécificités :

- géométrique : il a fallu adapter la ligne de faisceau de cet accélérateur au réacteur VENUS existant : la cible produisant les neutrons devant être située au milieu du réacteur, la ligne de faisceau de l'accélérateur devait s'insérer dans le réacteur verticalement (par le haut) et pouvoir être amovible, d'où un système spécifique de support de la ligne verticale et la construction par le SCK d'un étage supérieur complet pour accueillir l'accélérateur ;
- physique : la source de neutrons produite par cet accélérateur devait répondre à un cahier des charges précis : pouvoir fournir des neutrons de façon cyclique ou continue, avec possibilité de créer des interruptions dans le mode continu, avec des quantités de neutrons bien définies ;
- thermique : le faisceau de particules amène sur la cible une puissance qu'il faut évacuer sous peine de la faire fondre ; un dispositif spécial à l'air comprimé a dû être développé pour refroidir la cible sans apport d'eau (exclue dans un réacteur rapide).

Cette machine a été conçue et construite en collaboration par :

- le Laboratoire de physique corpusculaire de Caen (LPCC, CNRS/Ensicaen/Université de Caen),
- l'Institut de physique nucléaire d'Orsay (IPNO, CNRS/Université Paris-Sud),
- l'Institut de physique Hubert Curien (IPHC, CNRS/Université de Strasbourg) et,
- le Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie (LPSC, CNRS/Université Joseph Fourier/Grenoble-INP) qui en a assuré la maîtrise d'œuvre.

Cette réalisation s'est déroulée rapidement : l'année 2007 a été consacrée aux études de conception en collaboration étroite avec le SCK•CEN ; 2008 à la fabrication des différents constituants ; l'accélérateur a fini d'être assemblé sur le site du LPSC à Grenoble durant l'été 2009. Après des tests de mise en service, la machine a été désassemblée à l'automne pour être transférée sur le site du SCK•CEN à Mol. Son installation auprès du réacteur VENUS s'est achevée fin 2009. Parallèlement à cela, le bâtiment et le réacteur VENUS subissaient d'importantes modifications afin d'accueillir l'accélérateur pour l'un, et de devenir un réacteur rapide « uranium-plomb » pour l'autre. Cette installation en configuration non nucléaire fut inaugurée officiellement en Belgique le 4 mars 2010. Depuis, l'Agence fédérale de contrôle nucléaire (FANC) belge a donné son aval pour procéder à différents tests non nucléaires sur l'installation (système de ventilation, systèmes de sécurité, accélérateur de particules, etc). L'autorisation de chargement du combustible dans le cœur de VENUS a été obtenue en janvier 2011. Le réacteur a fonctionné pour la première fois en mode « critique » le 4 février 2011, et après toute une série de mesures de certification du cœur il a été reconfiguré en mode « sous-critique » pour être couplé à l'accélérateur. **L'installation GUINEVERE, premier modèle à puissance réduite d'un ADS rapide au plomb, est donc aujourd'hui opérationnelle et en service.** À présent, les équipes de physiciens du LPSC, du LPCC et de l'IPHC se relaient auprès de l'installation pour exécuter les expériences qui se déroulent, depuis mars 2011, dans le cadre du projet européen FREYA (7^{ème} programme cadre d'EURATOM). Elles se poursuivront jusqu'en 2015. En parallèle, le CNRS met à nouveau en œuvre, son savoir-faire en participant à la conception de l'accélérateur de plus grande échelle de l'ADS MYRRHA.

Contact chercheur

Annick Billebaud, directrice de recherche CNRS au LPSC | T 04 76 28 40 57 | billebaud@lpsc.in2p3.fr



www.cnrs.fr

Premier couplage de la maquette d'ADS GUINEVERE

Dr Annick Billebaud

Directrice de Recherche au CNRS

Responsable scientifique du projet GUINEVERE CNRS/IN2P3

Groupe Physique des Réacteurs

LPSC-UJF Grenoble 1-CNRS/IN2P3-INPG

Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie, Grenoble

Institut national de physique nucléaire et de physique des particules du CNRS
(CNRS-IN2P3)



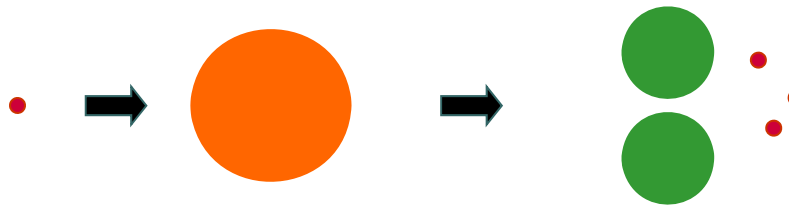
Présentation

- Premier “couplage” et donc mise en service de l’installation expérimentale GUINEVERE, maquette de réacteur sous-critique au plomb piloté par accélérateur, système envisagé pour réaliser la transmutation de certains déchets nucléaires
- *Contexte des recherches sur la transmutation*
- *Les réacteurs sous-critiques pilotés par accélérateur (ADS)*
- *Le projet et l’installation GUINEVERE*
- *La contribution du CNRS à GUINEVERE*



Contexte des recherches

- Travaux de recherche du CNRS (entre autres) orientés vers la problématique de la transmutation des déchets nucléaires suite à la loi française du 30/12/91
(loi invitant les organismes de recherche français à travailler sur la problématique de la gestion des déchets nucléaires, prolongée d'une 2^{ème} loi le 28/06/06)
- *Approche de la transmutation*
 - On souhaite réduire la radiotoxicité des déchets à long terme (>1000 ans) ainsi que réduire la surface des sites de stockage géologique profond
 - Pour cela on procède à la "transmutation" des déchets les plus radiotoxiques (noyaux lourds)
- *Qu'est-ce que la transmutation ?*
 - Transformation d'un noyau radiotoxique en un noyau moins radiotoxique
 - Un noyau lourd peut-être "cassé" en deux noyaux plus légers par "fission" par un neutron "rapide"





Contexte des recherches

➤ *Pourquoi des neutrons rapides ?*

- Certains noyaux ne peuvent être fissionnés efficacement qu'avec des neutrons rapides : avec des neutrons lents ils deviennent plus lourds sans fissionner

➤ *Une des stratégies possibles :*

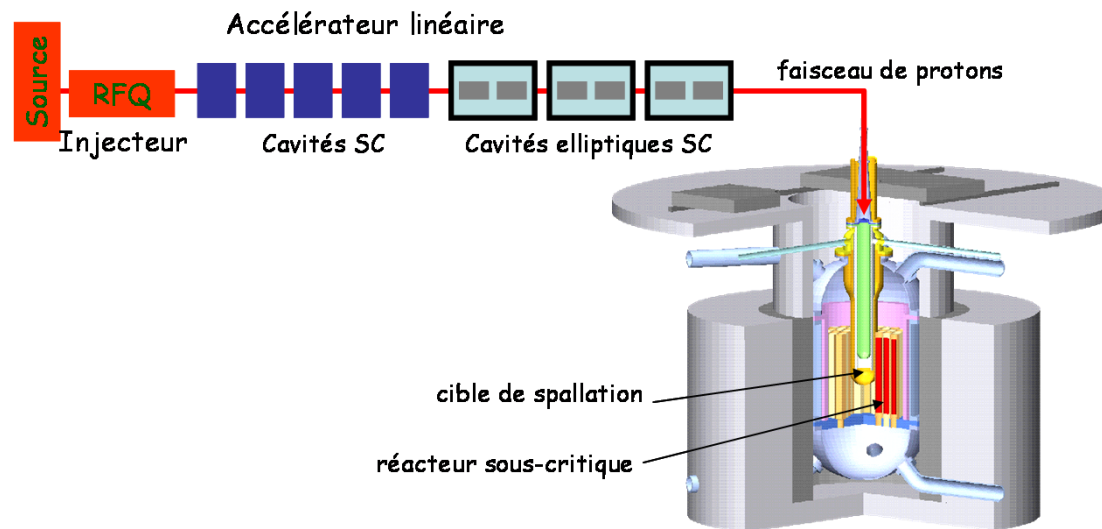
- Transmutation de certains actinides mineurs en réacteurs "dédiés" (scénarios "double strate")
- Unique réacteur dédié possible = réacteur sous-critique rapide piloté par accélérateur (ADS)
 - ➔ permet d'utiliser de grandes quantités d'actinides comme "combustible" (~50%) contrairement aux réacteurs rapides critiques
- Réduction des surfaces de déchets de Haute Activité à Vie Longue à enfouir d'un facteur 5 et de leur radiotoxicité d'un facteur ~100 après 1000 ans.



Les réacteurs pilotés par accélérateur (ADS)

➤ *Qu'est-ce qu'un ADS ?*

- un réacteur "sous-critique" dont la réaction en chaîne n'est pas auto-entrenue
- besoin d'une source externe de neutrons fournie par un accélérateur de particules



- ➔ Réacteur simple à piloter: lorsque l'accélérateur s'arrête; la réaction en chaîne s'arrête également. Caractéristique intéressante du point de vue de la sûreté
- ➔ Ces systèmes font actuellement l'objet de recherches internationales



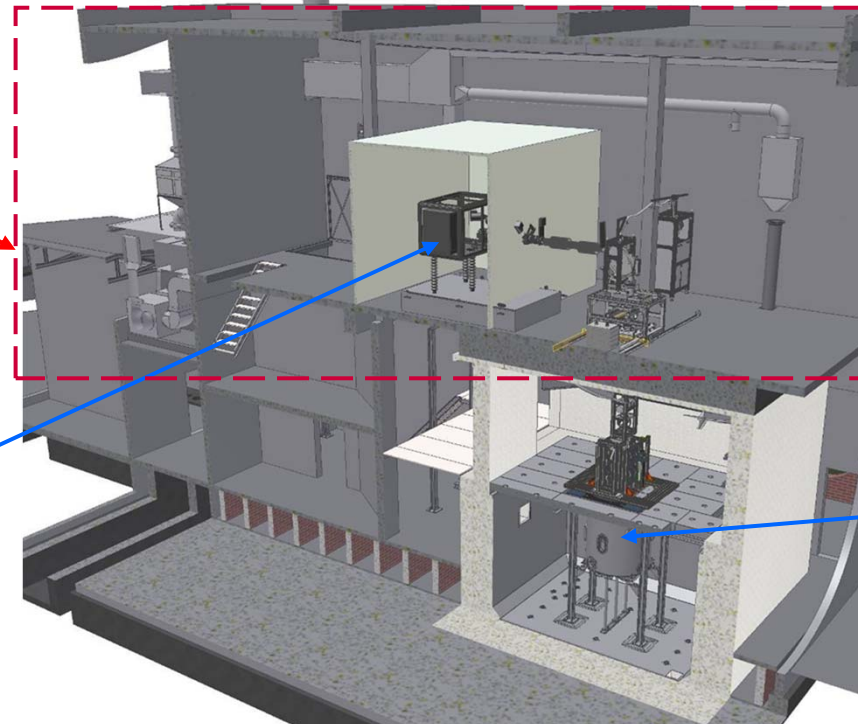
Le projet et l'installation GUINEVERE

➤ *Qu'est-ce que GUINEVERE ?*

- Expérience "maquette" qui reproduit un ADS au plomb à neutrons rapides pour la recherche et les études de faisabilité d'un ADS de plus grande échelle: MYRRHA
- Projet initié par le SCK•CEN et le CNRS et réalisé dans le cadre du projet "EUROTRANS" du 6^{ème} PC d'EURATOM avec une douzaine de partenaires européens
- L'installation: couplage du réacteur VENUS (SCK•CEN, Mol) chargé avec du combustible fourni par le CEA avec un accélérateur de particules fourni par le CNRS

Nouvel étage bâti par SCK

Accélérateur GENEPI-3C
construit par le CNRS



Réacteur VENUS :
Uranium + Plomb



Le projet et l'installation GUINEVERE

➤ *Quels sont les objectifs de GUINEVERE ?*

- Etude des procédures de contrôle et de monitoring d'un réacteur sous-critique
 - mesure du niveau de sous-criticité requise pour la sûreté en exploitation

 - Etude de différentes configurations de coeur envisagées pour le réacteur belge MYRRHA, validation des marges de sûreté
 - mise au point des outils de calcul
- ➔ Le succès du couplage de GUINEVERE est le point départ de ce programme expérimental qui est à présent mené dans cadre du projet FREYA, FP7 d'EURATOM (2011-2015) et qui conduira à la réalisation future de MYRRHA



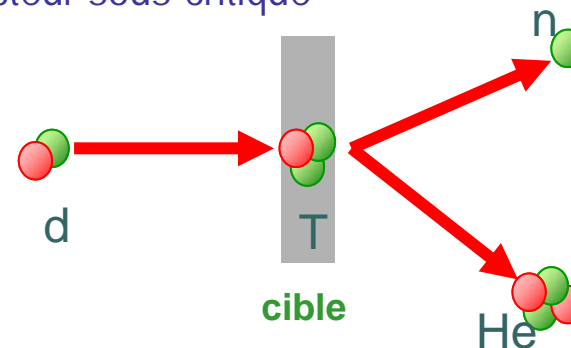
La contribution du CNRS à GUINEVERE

- *Conception et construction de l'accélérateur de particules GENEPI-3C*
 - Deuxième accélérateur construit par le CNRS pour une expérience sur maquette d'ADS (expérience MUSE sur réacteur MASURCA au CEA 1998-2004)
 - GENEPI-3C conçu et construit par 4 laboratoires rattachés au CNRS
LPC Caen , IPN Orsay, IPHC Strasbourg, et LPSC Grenoble maître d'oeuvre du projet
 - Cahier des charges fixé par les besoins des expériences prévues sur GUINEVERE

- *Principe de l'accélérateur, source de neutrons*

- Accélération de particules légères (ions deutons) sur une cible d'atomes légers (tritium) pour produire des réactions nucléaires qui émettent des neutrons rapides: ces neutrons permettent le pilotage du réacteur sous-critique

accélérateur

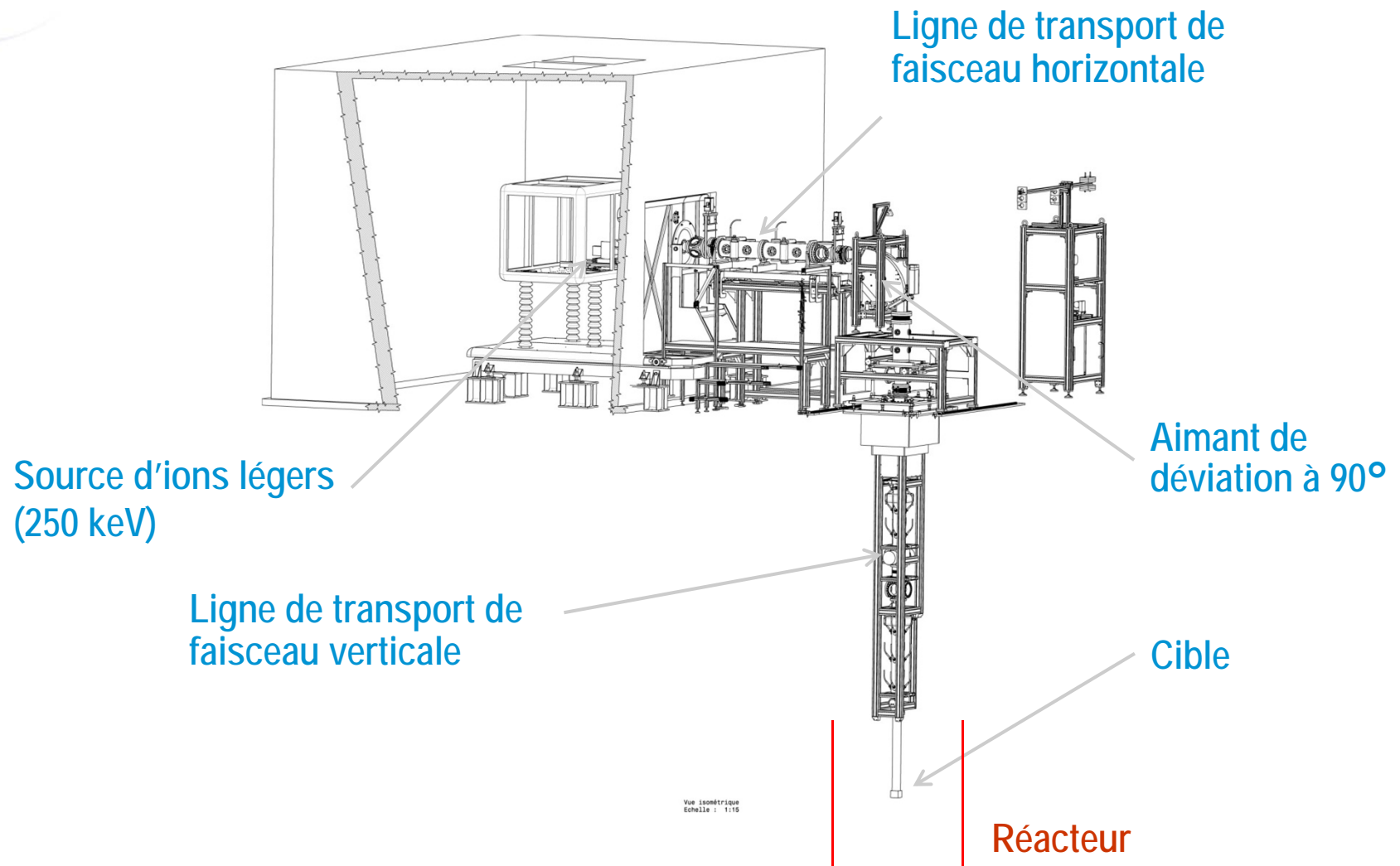


- Cible située au centre du réacteur:



La contribution du CNRS à GUINEVERE

➤ Schéma de l'accélérateur





La contribution du CNRS à GUINEVERE

➤ *Caractéristiques spécifiques et défis (R&D)*

- Ligne verticale "amovible" (→ aimant de déviation escamotable également)
- Modes de fonctionnement de la source: pulsé (cyclique) et continu (challenge pour la source d'ions)
- Source de neutrons intense : 10 milliards de neutrons/s (10^{10} n/s) en mode continu (pour 1 mA d'intensité de faisceau)
- Système de refroidissement de la cible spécifique à air comprimé pour évacuer la puissance déposée sur la cible par le faisceau (eau prohibée dans un réacteur rapide).

➔ L'ensemble de la machine est également conçue pour être compatible avec un environnement nucléaire.

➤ *Autre contribution majeure*

- Les physiciens du CNRS, impliqués dans les recherches sur les ADS depuis les années 90, se relaient à présent auprès de l'installation GUINEVERE pour mettre en oeuvre le programme expérimental dont ils ont en partie la charge et travaillent également à l'analyse des données et l'interprétation des résultats.



Le CNRS et MYRRHA

- En raison des accélérateurs de pointe requis pour la physique nucléaire et des particules, qui est la mission scientifique première du CNRS-IN2P3, cet institut du CNRS fait partie des leaders mondiaux dans le domaine depuis 40 ans. Depuis les années 90, le CNRS a aussi été le coordinateur de la partie accélérateur dans les groupes de travail techniques institués par les gouvernements européens ainsi que dans tous les projets EURATOM consécutifs axés sur la transmutation.
- A présent ces travaux de R&D se concentrent sur l'accélérateur pour MYRRHA à travers le projet MAX du FP7 d'EURATOM, coordonné par le CNRS.
- L'accélérateur pour MYRRHA repose fortement sur l'utilisation de cavités SPOKE supraconductrices qui sont un développement original du CNRS, aussi bien que sur des cavités elliptiques dont la R&D est réalisée en collaboration avec des partenaires internationaux.
- Les investissements de R&D du CNRS dans sa plate-forme SUPRATECH à Orsay ont fait de cette installation un endroit privilégié où poursuivre la collaboration avec le SCK•CEN pour l'accélérateur de MYRRHA en vue de finaliser ses éléments prototypes et de pouvoir lancer rapidement leur production en série dans l'industrie.

GUINEVERE

Une Première Mondiale
en support pour le développement
de la technologie des
systèmes pilotés par accélérateurs (ADS)
(MYRRHA)

Présentation pour la Presse

11 Janvier 2012

Prof. Dr. Hamid Aït Abderrahim

SCK•CEN, Deputy Director General / Director of MYRRHA

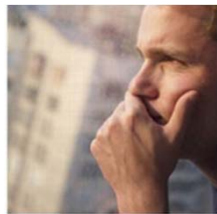
haitabde@sckcen.be; myrrha@sckcen.be



**déchets
radioactifs**



**utilisation de
la ressource**



sûreté renforcée

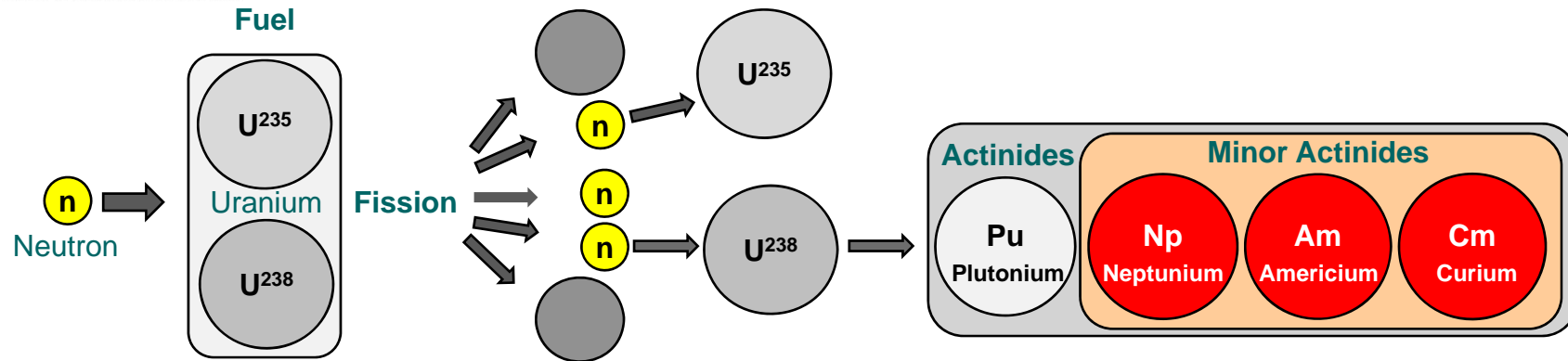


**risques de
prolifération**



**réponse à des
besoins sociétaux**

Le défi des déchets nucléaires

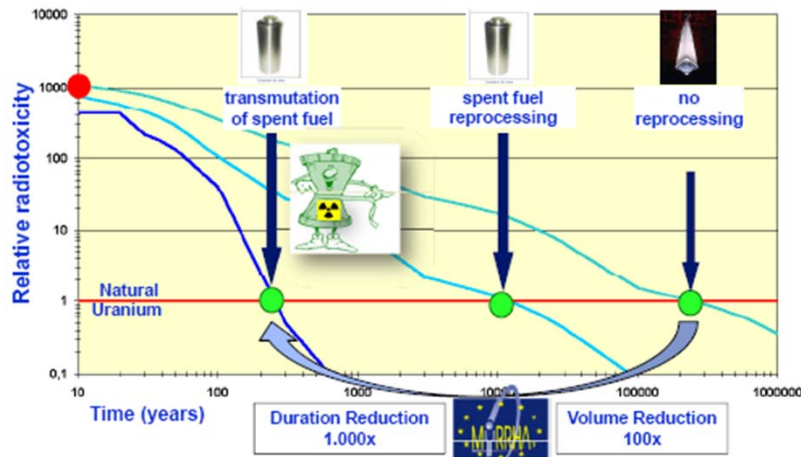


Réduction de la radiotoxicité pour l'homme et l'environnement

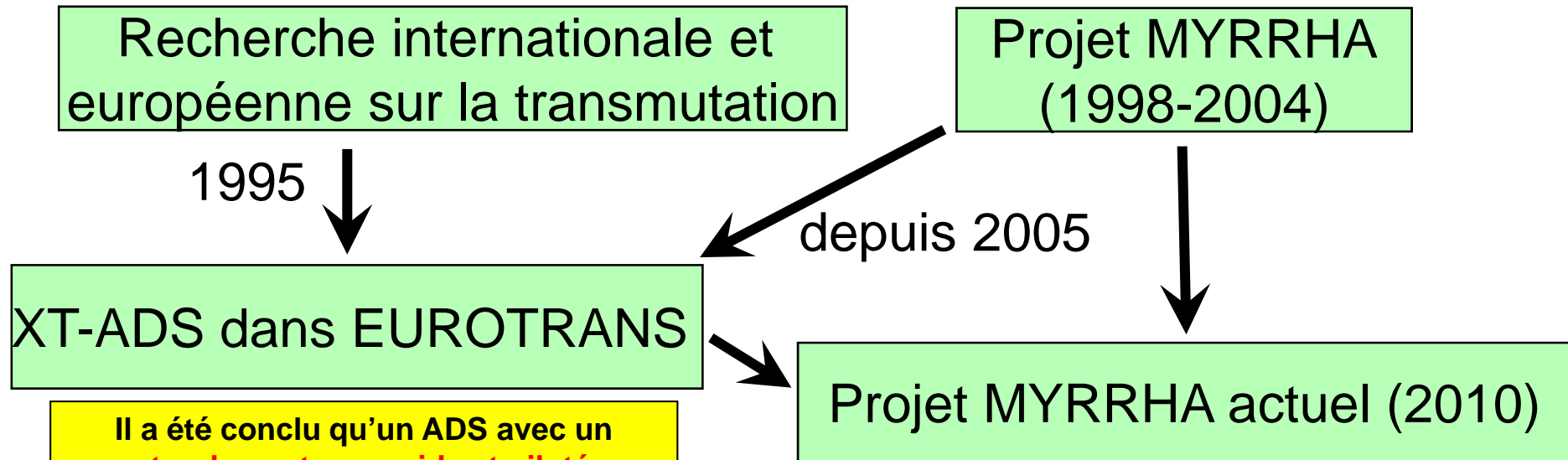


Actinides Mineurs
Ces déchets sont difficiles à stocker dûs à:

- Longue durée (>1,000 ans)
- Hautement toxique

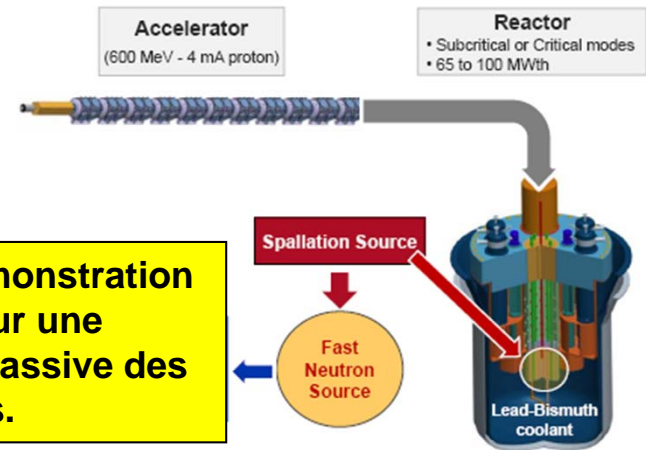


Historique de la transmutation par ADS et le projet MYRRHA



Il a été conclu qu'un ADS avec un **spectre de neutron rapide et piloté par un accélérateur en mode continu** est la voie la plus prometteuse pour réaliser efficacement la transmutation des actinides mineurs

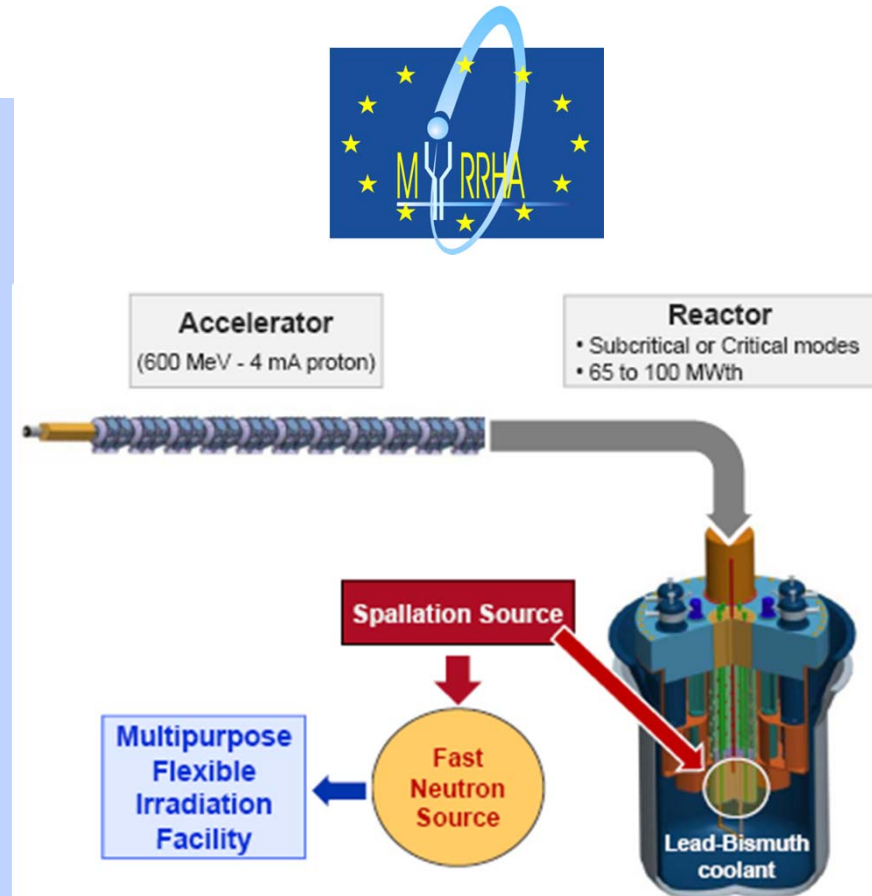
MYRRHA contribue à la démonstration des systèmes ADS pour une transmutation efficace et massive des actinides mineurs.



Démonstration complète du concept ADS par couplage des 3 composants:

1. Accélérateur
2. Cible de spallation
3. Réacteur sous-critique

à un niveau de puissance suffisant pour permettre le retour d'expérience sur opération extrapolable pour un démonstrateur industriel



3 raisons pour construire GUINEVERE

Pour préparer la construction de MYRRHA,
il faut construire un modèle à puissance réduite («*baby MYRRHA*»)
sur le site qui va accueillir MYRRHA



COMPETENCE

Démontrer que les autorités belges de sûreté sont compétentes pour valider et autoriser ce type d'expériences.



DEMONSTRATION

Démontrer expérimentalement que les procédures de contrôle et d'exploitation des systèmes ADS en général, et MYRRHA en particulier, répondent aux objectifs fixés par les autorités de sûreté.



CONFIRMATION

Confirmer les marges de sûreté de fonctionnement prévues dans le design de MYRRHA sur base expérimentale avec GUINEVERE.

Une première mondiale

Plusieurs expériences de couplage
(FEAT, MUSE, YALINA, RACE)
ont déjà été réalisées
*(accélérateur en mode pulsé
et/ou spectre de neutron thermique)*
mais qui ne sont pas des conditions
représentatives d'un ADS industriel
*(accélérateur en mode continu
et spectre de neutron rapide)*



GUINEVERE
est une ***première mondiale***
qui reproduit
expérimentalement les
conditions d'un
ADS industriel



GUINEVERE reproduit les
conditions les plus
proches de la réalité d'un
ADS industriel
ou d'une **usine pilote**
comme MYRRHA

Réacteur au plomb avec spectre de neutron rapide

Intensité de la source élevée :
autorisant la validation de toutes les techniques
expérimentales de mesure de la sous-criticité

Régime de fonctionnement de l'accélérateur en continu

MYRRHA: SYSTEME PILOTE PAR ACCELERATEUR EXPERIMENTAL

Une infrastructure pan-européenne, innovante et unique

- Horizon de temps: opérationnel vers 2023
- Coûts: ~ EUR 960 millions