

Groupe Physique des réacteurs

- **Présentation du groupe, contexte des recherches, thèmes étudiés**
- **Bilan/réalisations 2009-2014 par thème**
- **Evolution du groupe, projets 2015-2020**

Groupe Physique des réacteurs

Présentation du groupe, contexte des recherches

Groupe créé ~ en 1994

Responsable actuelle: A. Billebaud

9 Enseignants-chercheurs:

A.Bidaud (MCF INPG)
 N.Capellan(MCF INPG)
 G.Kessedjian(MCF INPG)
 E.Liatard (PR UJF)
 O.Méplan (MCF UJF)
 E.Merle-Lucotte (PR INPG)
 A.Nuttin (MCF INPG)
 P.Rubiolo (PR INPG)
 C.Sage (MCF INPG)

2 Doctorants:

A. Chebboubi (3A)
 A. Laureau (3A)

1 Post-doc (CDD 1 an):

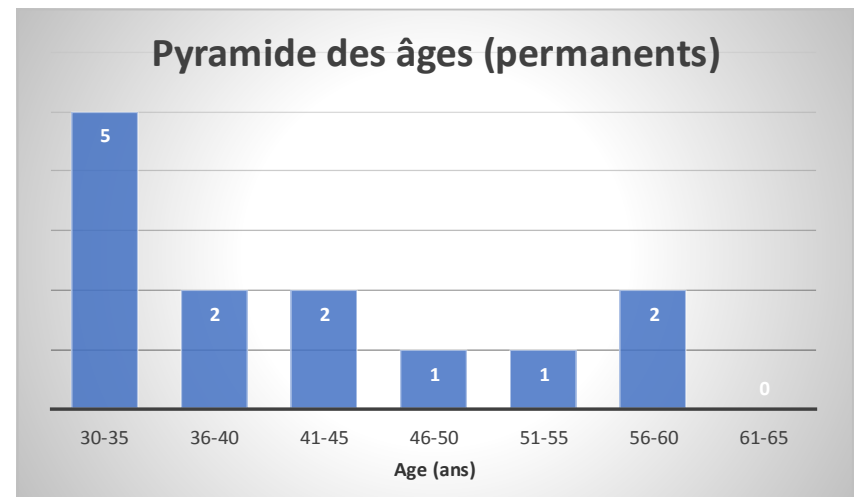
M. Aufiero

4 Chercheurs CNRS:

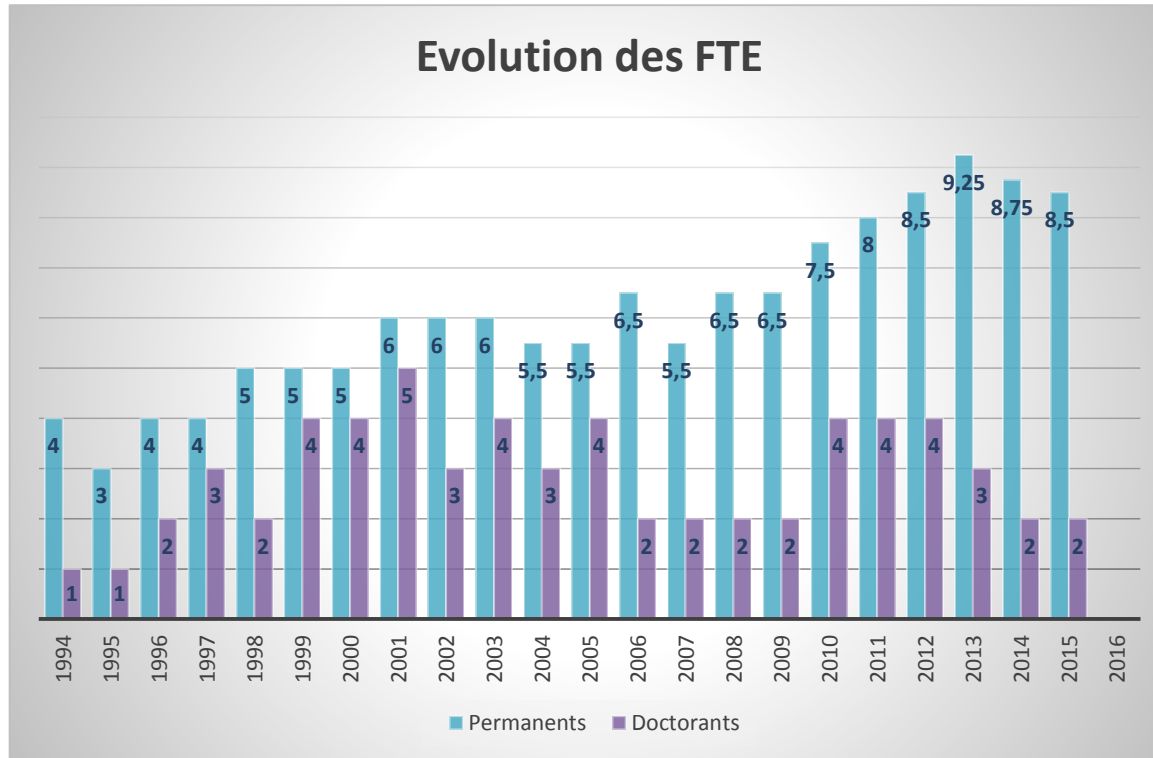
A.Billebaud (DR)
 S.Chabod (CR)
 V.Ghetta (CR)
 D.Heuer (DR)

Collaborateur bénévole:

M.Allibert



Evolution des FTE depuis sa création:



Evolution récente:

Arrivées:

- **G. Kessedjian (MCF) 2009**
- **N. Capellan (MCF) 2010**
- **P. Rubiolo (PR) 2011**
- **C. Sage (MCF) 2012**

Départ:

- **R. Brissot (PR) 2013**

- **Thèse en cours:**

- **A. Chebboubi**

- **Direction:** H. Faust (ILL), Co-encadrement: G. Kessedjian
- **Sujet:** Contribution à l'étude de la dynamique de fission auprès du spectromètre de masse Lohengrin de l'ILL - Développement d'un nouveau spectromètre magnétique gazeux dans le cadre du projet FIPPS
- Soutenance prévue septembre 2015

- **A. Laureau**

- **Co-Direction:** P. Rubiolo, E. Merle-Lucotte, D. Heuer
- **Sujet:** Modélisation multi-physique d'un réacteur à sels fondus en cycle Thorium et à spectre neutronique rapide
- Soutenance prévue septembre 2015

- **Thèses soutenues sur la période:**

- **P. Guillemin (2009)**

- **Direction:** R. Brissot, encadrant A. Nuttin
- **Sujet:** Recherche de la haute conversion en cycle thorium dans les réacteurs CANDU et REP, étude de scénarios symbiotiques (→ CDI EdF)

- **X. Doligez (2010)**

- **Direction:** D. Heuer et E. Merle-Lucotte
- **Sujet:** Influence du retraitement physico-chimique du sel combustible sur le comportement du MSFR et sur le dimensionnement de son unité de retraitement (→ CR2, IPNO)

- **M. Brovchenko (2013)**

- **Direction:** E. Merle-Lucotte et D. Heuer
- **Sujet:** Etudes préliminaires de sûreté du réacteur à sels fondus MSFR (→ CDI IRSN)

- **F. Martin (2013)**

- **Direction:** O. Serot, co-encadrant G. Kessedjian
- **Sujet:** Etude des distributions en masse, charge et énergie cinétique des produits de fission de $^{233}\text{U}(\text{nth},\text{f})$ et du $^{241}\text{Pu}(\text{nth},\text{f})$ mesurées auprès du spectromètre Lohengrin (ILL) (→ MSIS Assistance, groupe AREVA)

- **P. Sabouri (2013)**

- **Direction:** Ivo Kodeli (IJS-Slovenie), co-encadrant A. Bidaud
- **Sujet:** Application de la théorie des perturbations à la propagation des incertitudes des données nucléaires par la méthode des probabilités de première collision (→ post-doc Dartmouth College, NH, USA)

- **HDR :**
 - **A. Nuttin (2012)** : Physique des réacteurs à eau lourde ou légère en cycle thorium, étude par simulation des performances de conversion et de sûreté
- **Post-docs :**
 - **G. Kessedjian**
 - ATER Grenoble INP (2008-2009), données nucléaires (→ MCF INPG au Laboratoire)
 - **C. Sage**
 - ATER Grenoble INP (2010-2012), données nucléaires (→ MCF INPG au Laboratoire)
 - **M. Aufiero**
 - En cours (depuis le 1er avril 2014), simulation physique des réacteurs, projet MSFR

- **Loi(s)**

- Loi du 30/12/91 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs **séparation et transmutation**, stockage géologique profond, conditionnement et entreposage
- Loi de programme du 28/06/06 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs → **réacteurs pilotés par accélérateur** dédiés à la transmutation des déchets

- **Travaux régulièrement auditionnés (échelle nationale) par:**

- **la Commission Nationale d'Evaluation**, l'OPECST, l'Académie des Sciences, Comités interministériels d'Orientation et de Suivi de la Recherche sur l'Aval du Cycle (COSRAC) et sur les SYstèmes Nucléaires (COSSYN)...

- **RDV de la loi de 2006:**

- Participation à la rédaction d'annexes au dossier 2012 « transmutation » (ADS, Thorium, RSF,... rédaction du dossier coordonnée par le CEA) et **future version 2015**
- Débat parlementaire réacteurs rapides, transmutation: 2012-2013
- Débat public 2013: stockage des déchets, projet Cigeo

- **Rôle académique:**

- Participer aux grands axes de R&D nationaux et internationaux sur les déchets et les systèmes nucléaires du futur
- Savoir éclairer le débat sur les questions d'énergie de façon scientifique et transparente, expertise, analyse

- **Nos recherches:**

- Explorer des voies innovantes pour la production d'énergie et la gestion des déchets nucléaires
- Faire de la science en amont, acquérir des connaissances fondamentales (modélisation)
- Développer des méthodes expérimentales innovantes basées sur les techniques de la recherche fondamentale (pilotage réacteur, données nucléaires, instrumentation, détection ...)

- **Les enjeux au-delà de nos recherches:**

- Assurer la formation des étudiants qui travailleront dans la discipline
- Garder l'approche académique qui assure la transmission des savoirs associés à cette science (les enseignants universitaires de demain !)

Tutelles: UJF, IPNG

CNRS:

IN2P3

Programmes dédiés du CNRS:

PACEN (APHIT, ANSF, GEDEPEON) → NEEDS

Energie (Pepitte)

Action Concertée Incitative FIND

Autres:

Institut Carnot Energie du Futur (2008-2010),

Cofinancements de thèses: CEA, EDF

Programmes européens EURATOM (FP5, FP6, FP7):

MUSE

EUROTRANS

FREYA, EVOL, ARCAS, CHANDA

- **Nos thématiques sont axées sur:**

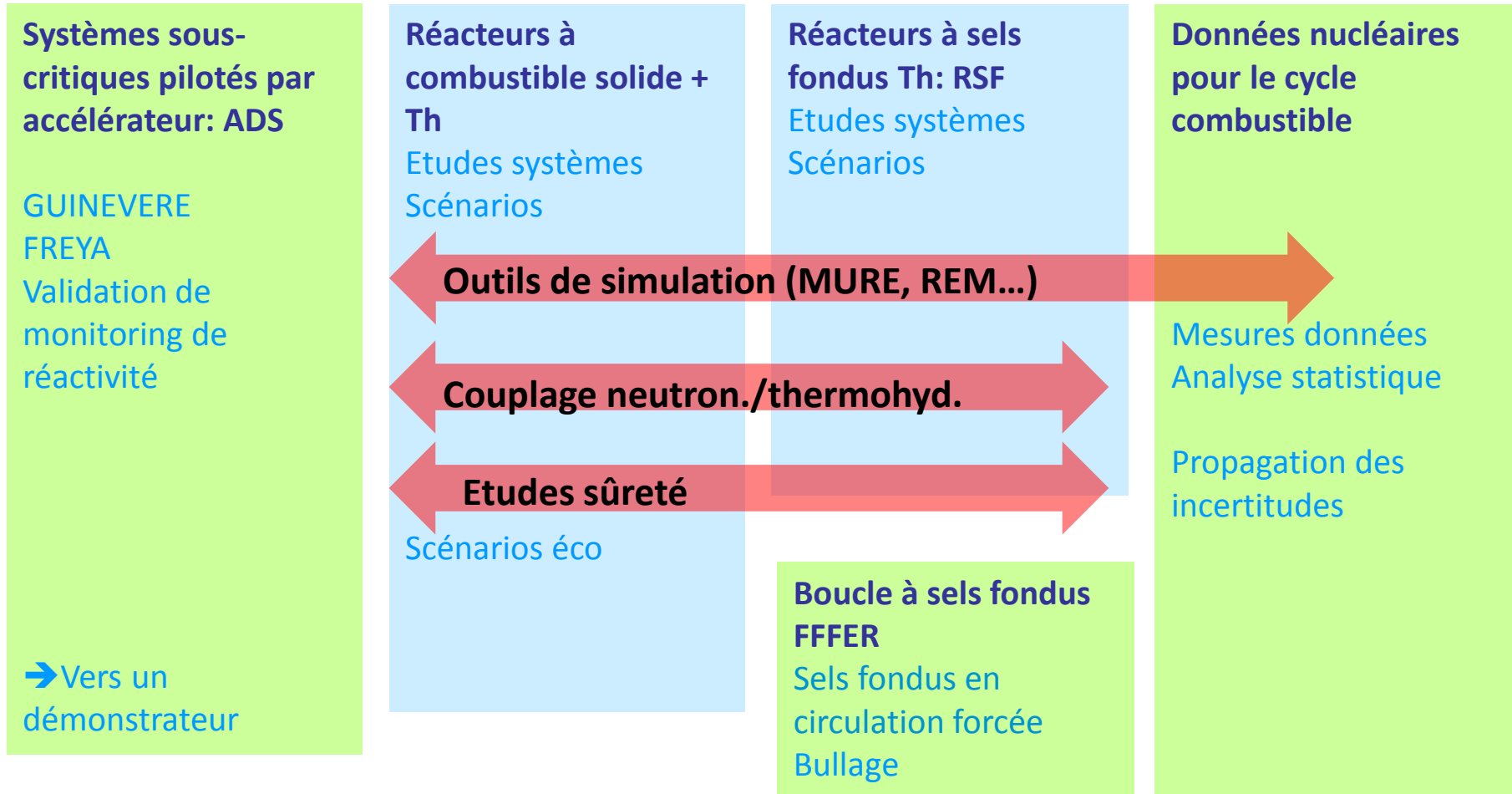
- Gestion des déchets « actuels » : Séparation / Transmutation
→ **recherches sur les ADS**
- Période de transition, retard de l'apparition de la génération IV, besoin d'économie des ressources
→ **investigation des systèmes « actuels » revisités (filères à eau)**
- Production d'énergie à long terme, changement de technologie, cycle thorium
→ **systèmes de génération IV**

Elles s'appuient sur:

- **Développement d'outils de simulation**, de **modélisation** des réacteurs, méthodes numériques
- Etudes de scénarios
- Mesure de **données nucléaires**, données physico-chimiques
- **D'importantes réalisations techniques du laboratoire** (les GENEPIs, FFFER,...)

Nos recherches

Thématiques du groupe



A l'IN2P3: IPNO, LPC Caen, Subatech, IPHC, CENBG

Au niveau national:

CEA/DEN, CEA/DSM

IRSN

EDF

AREVA

local: ILL, EDDEN (Economie du Développement Durable et de l'Énergie), SIMAP (Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés), LEPMI (Laboratoire d'Electrochimie et de Physicochimie des Matériaux et des Interfaces)

Au niveau international:

Europe

Univ. McMaster (Canada)

Ecole Polytechnique Montréal (Canada)

Rosatom (Institut Kurchatov)

Groupe Physique des réacteurs

Bilan/réalisations 2009-2014

Systemes sous-critiques pilotés par accélérateur: ADS

- **Réalisation de l'installation GUINEVERE (2006-2010)**
 - Mise en place du projet à l'IN2P3
 - Réalisation de l'accélérateur GENEPI-3C couplé au réacteur VENUS (projet EUROTRANS-FP6, avec SCK-CEN, CEA): contribution majeure du laboratoire
 - Commissioning et mise en œuvre de l'installation
 - ➔ Maquette d'ADS rapide puissance nulle pour étude sur le monitoring de la réactivité
 - **Exécution du projet FREYA (2011-2016, FP7)**
 - ➔ Programme experimental dédié aux ADS (suite GUINEVERE)
 - Fin de la campagne de mesures du WP1 (coord. CNRS): 2012-2014
 - Analyses en cours
 - Premiers résultats en cours de publication, et présentés aux conférences
- ➔ **Revue projet mi-parcours fin janvier 2015**

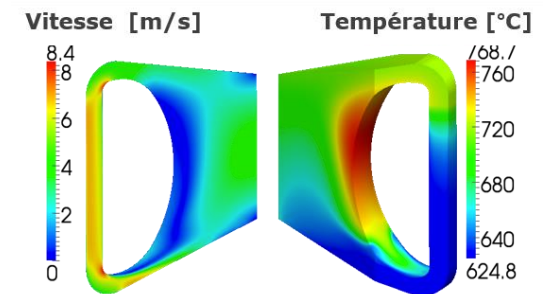


Réacteurs à combustible solide + Th + scénarios

- **Etude des performances de conversion des réacteurs à eau lourde ou légère en cycle thorium :**
 - Evaluation et compréhension des capacités de régénération du CANDU en cycle thorium
 - Mise en évidence de la nécessité d'une forte sous-modération du REP à puissance réduite
- Mise au point des principes du **couplage neutronique thermo-hydraulique** pour les études de sûreté à venir de cœurs complets en 3D
- **Etudes de scénarios / Prospectives**
 - Contribution développement d'un code simplifié de calcul de scénarios (CLASS, composante de l'outil MURE)
 - Collaboration physiciens (IN2P3)
+ économistes (PACTE/EDDEN@Grenoble)
+ Géologues
réalisation de scénarios interdisciplinaires

Réacteurs à sels fondus + Th: MSFR

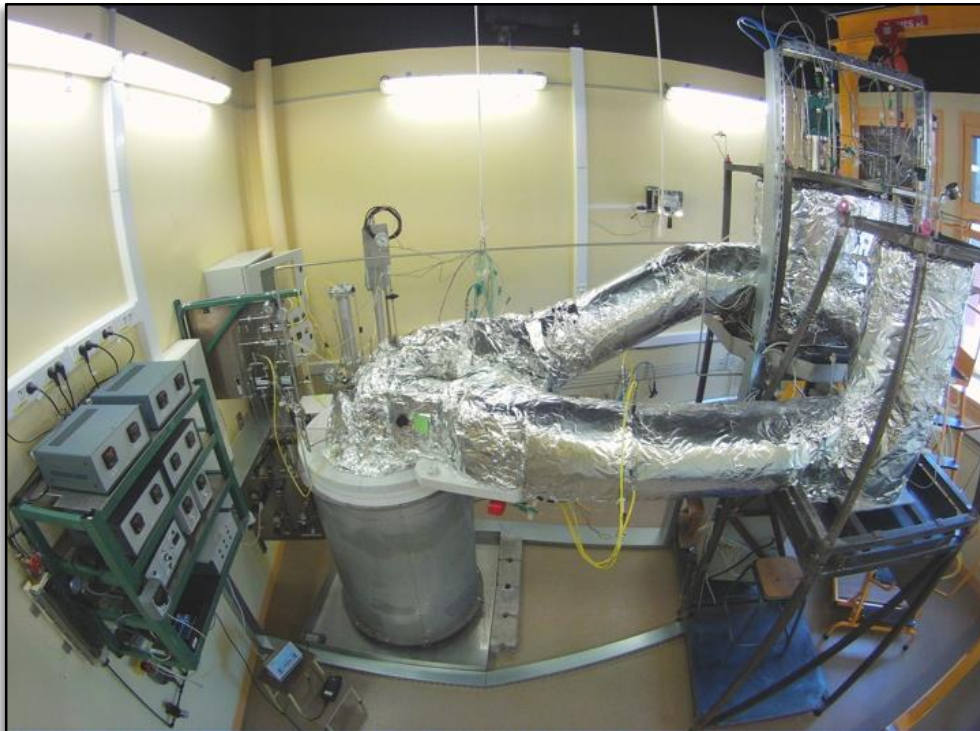
- Réalisation d'une **expertise scientifique sur les RSF** pour le GPR (Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires) de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire) concernant une évaluation des systèmes nucléaires de 4ème génération – (2012-2013)
- **Projet européen “EVOL”** (Evaluation and Viability Of Liquid fuel fast reactor) – FP7 (2011-2013) : coopération Euratom/Rosatom – Optimisation du design du MSFR, validation des outils neutroniques de simulation, études préliminaires de sûreté du concept
- **Projet CLEF** (Combustible Liquide pour une Énergie Future) de l'Université Grenoble-Alpes structurant les activités de recherche grenobloises autour du réacteur à combustible liquide au thorium (2013-2015). Objectifs : contribuer à la modélisation et la simulation numérique du réacteur, les études des matériaux et de la chimie du sel combustible et les études de sûreté et de radioprotection.



Thèse Axel Laureau

Boucle à sels fondus: projet FFFER

- Développement du projet FFFER (Forced Fluoride Flow for Experimental Research)
 - construction d'une boucle de fluorure fondu pour étudier le procédé de bullage appliqué au contexte du MSFR et développement de techniques et instrumentations associées



- 1^{er} test de circulation le 27 Juillet 2014
- Début de la campagne d'essais en novembre 2014,
- actuellement en arrêt, **reprise en Mars**



Données nucléaires pour le cycle du combustible

- Programme de mesures sur les **rendements de fission auprès de l'ILL** initié depuis 2010 : mesures des rendements en masse, charge nucléaire, isomères et des distributions en énergie cinétique et charge ionique associées (U3, Pu41,...); détermination des covariances expérimentales
- Pour répondre aux problématiques suivantes :
 - inventaires de fin de cycles, puissance résiduelle,
 - radio-isotopes utilisés comme traceur de fluence neutron dans les réacteurs
 - calculs de puissance gamma émis par les différents combustibles
 - signature des effets dynamiques induits par la fission en vue de comparer aux modèles microscopiques / phénoménologiques (isomères, preuve de l'existence des modes de fission induite par neutron thermique) → lien avec la physique fondamentale
- En 2012, Couplage d'un **spectromètre magnétique gazeux** au spectro. Lohengrin de l'ILL – Développement de faisceaux isobariques – Projet soutenu dans le projet européen Chanda (FP7)
- Co-organisation avec l'ILL d'un workshop pour le développement du projet **FIPPS** « Workshop on Gas Filled Magnets for Nuclear Fission and Fission Product Spectroscopy » ILL Grenoble – LPSC Grenoble – CEA Cadarache – CEA Saclay, Grenoble, May 20-22 , 2014

Données nucléaires pour le cycle du combustible

- **Etudes de sensibilités depuis les données nucléaires jusqu'au cycle du combustible**
 - Méthodes déterministes et stochastiques: avancée majeure sur calcul des sensibilités de tous paramètres réacteurs (dont cinétique β_{eff} ...) à toutes les données avec l'outil SERPENT
- **Propagation d'incertitudes:** études de sensibilité « déterministes » utilisant des matrices de covariances

Groupe Physique des réacteurs

Evolution, Projets 2015-2020



Groupe Physique des Réacteurs

Equipe Modélisation Analyse Prospective: P. Rubiolo

- *Développement d'outils multi-physiques multi-échelles pour la physique des réacteurs*
- *Études de systèmes nucléaires et scénarios associés*
- *Prospective sur le nucléaire du futur intégrant des aspects économiques*

Equipe Expériences pour les Réacteurs: G. Kessedjian

- *Données nucléaires en lien avec les cycles du combustible*
- *Expériences en réacteur*
- *Fluides à moyennes et hautes températures*

Equipe Système MSFR: E. Merle-Lucotte

- *Etudes physiques pour la conception et le design*
- *Méthodologie de l'analyse de sûreté des réacteurs à combustible liquide*
- *Développement du concept de réacteur MSFR*

Modélisation Analyse Prospective

- Etude de réacteurs sous-modérés (SIRIUS: Simulation de Réacteurs Innovants pour l'économie d'Uranium et l'amélioration de la Sûreté)
- Modélisation multi-physique pour le MSFR (NEEDS, CLEF)
- Modélisation des expériences thermo-hydrauliques avec un sel fondu (WP3 SAMOFAR)
- Couplage études physique / études économiques aval du cycle (CLASS/POLES)
- Prospective sur le nucléaire du futur (**OPTICYCLE**): simulation de la gestion du combustible aux échelles nationale, européenne et internationale, couplée aux aspects économiques

Expériences pour les Réacteurs

- **FIPPS**: collaboration autour de l'ILL dans le but de développer un nouvel instrument dédié à la mesure des particules promptes (n ; γ) et à la spectroscopie des noyaux exotiques de très courtes durées de vie.
 - Complémentaire au spectromètre Lohengrin (TOF 1-2 μ s)
 - Projet d'expériences utilisant des n_{th} , neutrons rapides et des réactions induites par particules chargées
- Projet **MYRTE** soumis à H2020: WP5 dédié à des expériences affinant l'approche de design et licensing du futur réacteur MYRRHA (ADS), projet SCK-CEN
 - Aspects instrumentation, effets de réactivité, situations accidentelles, réponses à des questions de sûreté
- **VENUS-EXPRESS**:
Etude de faisabilité d'un programme de mesures de données intégrales dans des flux de neutrons thermiques, épithermiques et rapides sur VENUS-F; Programme en soutien aux codes de criticité, physique des réacteurs, IRSN
- **LPSC/PEREN**: accueil d'expériences de physique

Expériences pour les Réacteurs

- Projet **SAMOFAR** (Safety Assessment of the Molten salt Fast reactor) soumis à H2020 en 09/2014 – participation au **WP3: *Experimental proof of shut-down concept and natural circulation dynamics for internally heated molten salt***
- Recherche sur des cibles liquides sous faisceau de protons de forte puissance (pour la neutron-thérapie ou bien comme source d'isotopes)

Système MSFR

- Développement d'un simulateur de principes de physique de base du réacteur
- NEEDS – projet fédérateur Systèmes Nucléaires : **projet Sûreté-MSFR** - Études de sûreté et validation numérique du concept MSFR – collaboration avec l'IRSN, AREVA et le LEPMI
- Participation au **forum international Génération 4** : comité de pilotage du système Réacteurs à sels fondus, interaction avec les groupes transverses « Risk and Safety » et « Proliferation and Physical Protection »
- Projet SAMOFAR: participation au **WP1 : *Integral safety approach and system integration***

- **Le groupe:**

- Dans la thématique « énergie nucléaire » à l'IN2P3 le groupe du LPSC est le plus ancien, nombreux, et diversifié, et couvre la plupart des thématiques
- Grande richesse de sujets de recherche à développer mais choix en interne d'adapter nos priorités à nos forces et réorganisation en conséquence
- Bon taux de réussite pour le financement des projets mais les sources diminuent
- Compétences et expertises reconnues

- **Avenir:**

- Lié à celui de la thématique au sein de l'IN2P3 mais selon nous elle reste dans nos missions académiques, et au cœur des métiers de l'IN2P3
- Evolution de nos thématiques à peu près maîtrisée à moyen terme
- Priorité: financement de thèses à mettre en adéquation avec nos besoins: 3-5 sujets à venir dont les financements restent à trouver

Back-up slides

(Auto analyse du groupe)

- **Forces:**
 - Diversité des thèmes et compétences (reconnues), d'où grande adaptabilité à l'évolution des recherches
 - Nombreuses collaborations extérieures (France et étranger)
 - Constant renfort des universités et notamment INPG
 - Assez attractif pour les étudiants
- **Points faibles:**
 - Petits effectifs par thématique
 - Financement (et co-financement) des thèses instable
 - Beaucoup d'enseignants chercheurs, parfois manque de disponibilité pour conjuguer recherche et montage de projets
- **Opportunités:**
 - Pas de grandes échéances internationales ou grands projets collaboratif (comme en physique des hautes énergie par exemple): opportunités à créer
 - Soutien de Université Grenoble Alpes
 - Cadres collaboratifs avec universités et programmes cadres CNRS
 - Emargement aux projets « fission » d'EURATOM
- **Risques:**
 - Financement principal est hors IN2P3 implique recherche annuelle de crédits
 - Rangs B MCF ont peu de perspectives d'avancement

- **A. Bidaud**
 - 2008-2011 responsable Bachelor Nuclear Engineering INPG
 - 2008-2014 Correspondant pédagogique INPG pour l'Institut Franco Chinois de l'Energie Nucléaire (IFCEN)
 - 2008- Co-responsable relations Internationales, Filière Génie Energétique et Nucléaire (GEN) de PHELMA, correspondant European Network on Nuclear Education.
- **G.Kessedjian**
 - 2009-2012 co-responsable de la plateforme de TP Platine (LPSC)
 - Responsable du module Nucléaire de la filière Ingénierie nucléaire (IEN) de E3
- **E. Liatard**
 - Depuis 2007 Responsable de la mention de master ITDD(Ingénierie Nucléaire) Organisée en alternance à l'UJF Valence (M1 + 3 spécialités de M2)
- **E. Merle-Lucotte**
 - Depuis 2006 Responsable de la spécialité de master 2 Energétique Physique de la mention Physique
 - Depuis 2009 Co-responsable de la filière Génie Energétique et Nucléaire de PHELMA et des relations entreprises
 - Depuis 2011 Représentante de la CDEFI au sein du Comité Stratégique de la Filière Nucléaire (CSFN) dans le groupe thématique « Compétences et Formations »
- **P. Rubiolo**
 - Depuis 2012 co-responsable Filière GEN de PHELMA et des relations Internationales de la filière
 - Depuis 2012 Coordinateur d'une collaboration académique sur le nucléaire entre Grenoble INP et des écoles argentines
- **C. Sage**
 - Depuis 2012 responsable de la plateforme de TP d'instrumentation nucléaire Platine (LPSC)

Highlights

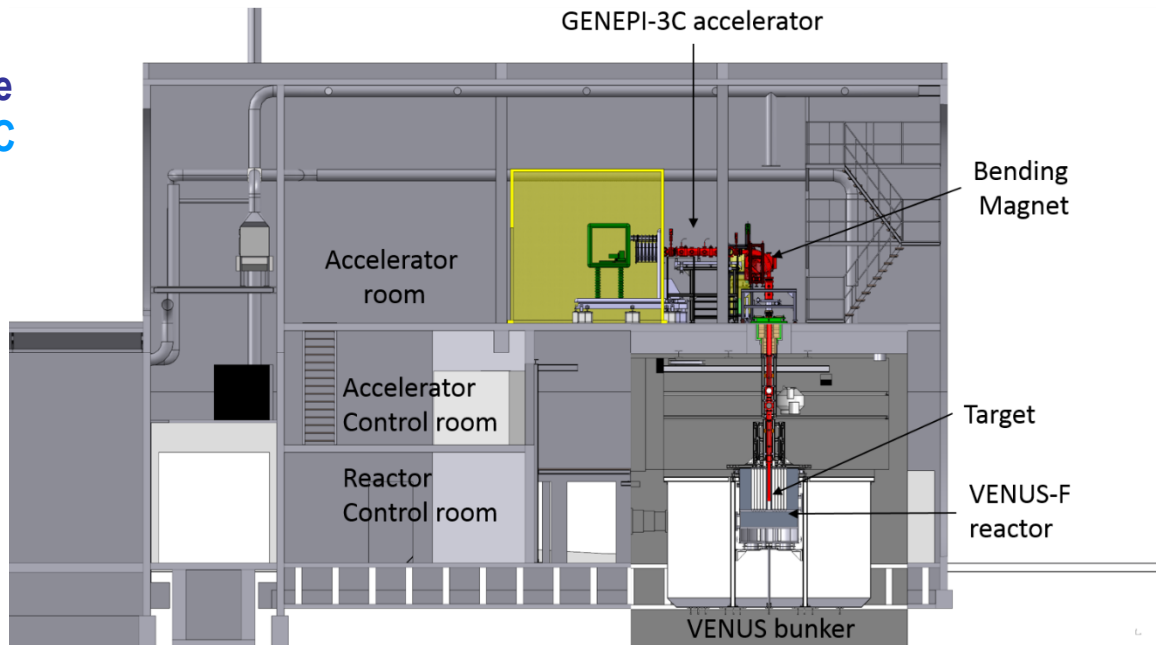
GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (1/3)

- **Recherches pour la gestion des déchets nucléaires** (Lois de 1991 et 2006) sur des systèmes nucléaires dédiés à la **transmutation d'Actinides Mineurs (AM)**
- **ADS (Accelerator Driven System)** : réacteur nucléaire sous-critique rapide (caloporteur plomb), couplé à une source de neutrons externe, générée par un faisceau d'ions: puissance pilotée par l'intensité du faisceau $P \propto I$: accepte une grande quantité d'AM comme combustible
- Nécessité de **démontrer** par l'expérience **la capacité de monitorer le niveau de sous-criticité du réacteur** (critère de sûreté du pilotage du réacteur)
- **Construction d'une installation expérimentale puissance quasi-nulle : couplage du réacteur belge VENUS-F (SCK•CEN, Mol, Belgique) à une source de neutrons** → projet **GUINEVERE*** (intégré au projet **EURATOM EUROTRANS, FP6, 2006-2010**)
- **Projet initié par SCK•CEN et CNRS, avec contribution CEA/DEN**

→ **Construction de l'accélérateur source de neutrons par CNRS/IN2P3: GENEPI-3C**

Maîtrise d'œuvre:

Groupe Accélérateurs et
Groupe Physique des Réacteurs
du LPSC

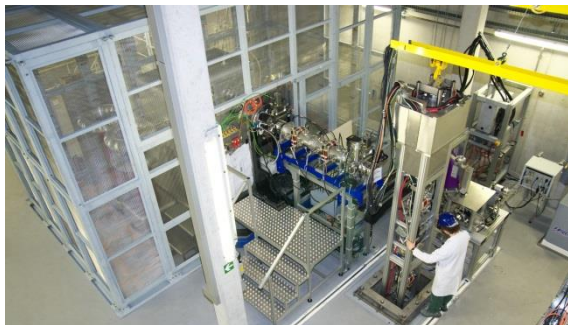


*GUINEVERE: Generator of Uninterrupted Intense NEutron at the lead VENus REactor

GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (2/3)

- 2007-2011: Construction, mise en service et opération de l'accélérateur GENEPI-3C
- GENEPI-3C: accélérateur électrostatique de deutons (250 keV) pour couplage vertical avec réacteur VENUS-F
- Cahier des charges imposé par programme de physique:
 - Différents modes de faisceau: pulsé, DC avec interruptions de faisceau programmées:
 - Pulse court : FWHM < μs
 - Intensité jusqu'à 1 mA en DC
 - Interruptions: Transitions rapides < $1 \mu\text{s}$ et faible taux ($6\% \leq T_{\text{OFF}} / T_{\text{ON}}$)
 - Fortes contraintes liées au couplage avec un réacteur nucléaire
- Conception, construction et qualification (2007-2010):
 - collaboration IN2P3: LPSC, IPNO, LPCC, IPHC
 - LPSC : 47 ETP (mécanique, électronique, informatique, SDI), dont 15 ETP groupe accélérateurs
- Depuis fin 2011, exploitation en INB pour le programme expérimental FREYA:
 - Pilotage de l'accélérateur, maintenances techniques et retour d'expérience

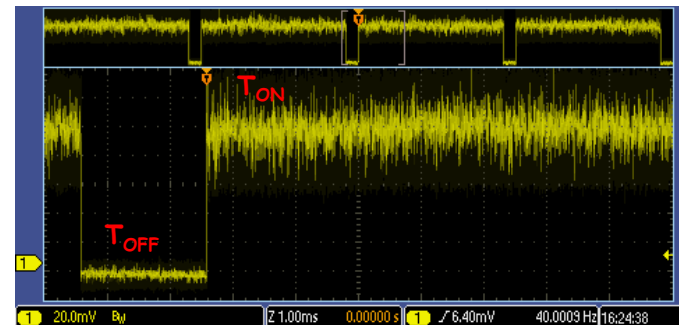
➔ Maquette rapide d'ADS au plomb unique au monde



GENEPI-3C au SCK-CEN



Couplé à VENUS-F



DC interrompu

GUINEVERE: maquette de réacteur piloté par accélérateur (3/3)

- 2011-2016: Expériences de physique des réacteurs: **projet européen FREYA* (EURATOM FP7)**
IN2P3: LPSC (acquisition: électronique, informatique) collaboration avec LPC Caen, IPN Orsay

- **Coordination du WP « ADS on-line reactivity monitoring methodologies » par le LPSC**

- ➔ Expériences pour la validation d'une procédure de monitoring de la réactivité: combinaison de mesures relatives et absolues

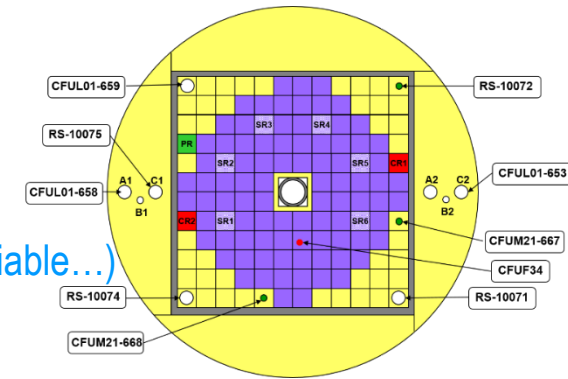
- **Campagnes expérimentales pour ce WP achevées:**

- 2012-2014: 38 semaines de prise de données
- Plusieurs cœurs sous-critiques étudiées ($0.89 < k_{\text{eff}} < 0.97$)
- Plusieurs régimes de source de neutrons (pulsée, continue interrompue, I variable...)

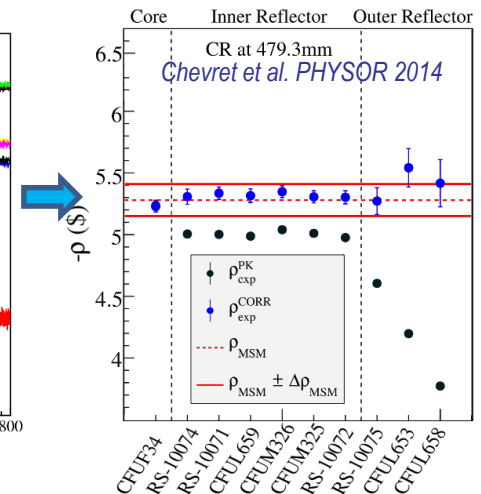
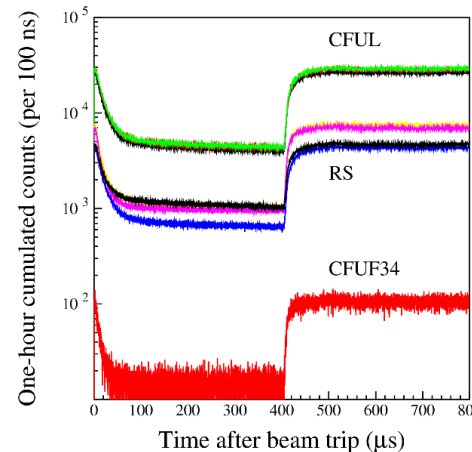
- **Données actuellement en cours d'analyse:**

- Analyse de la décroissance prompte (LPSC)
- Analyse des moniteurs de faisceau (LPSC)
- Analyse des mesures d'interruptions de faisceau: thèse en cours (LPCC + LPSC)

- ➔ Premiers résultats de très bonne qualité
- ➔ Mesure de réactivité dans des interruptions de faisceau en cours de validation



Cœur SC1: $k_{\text{eff}} \sim 0.96$



*FREYA: Fast Reactor Experiments for hYbrid Applications

FFFER* : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (1/3)

*FFFER: Forced Fluoride Flow for Experimental Research

• Réacteurs à Sels Fondus en cycle thorium - MSFR (Molten Salt Fast Reactor)

Nouveau concept de réacteur à l'étude pour la génération IV

→ spécificité: le combustible est liquide et sert aussi de caloporteur, **sel de type $\text{LiF-ThF}_4\text{-UF}_4$**

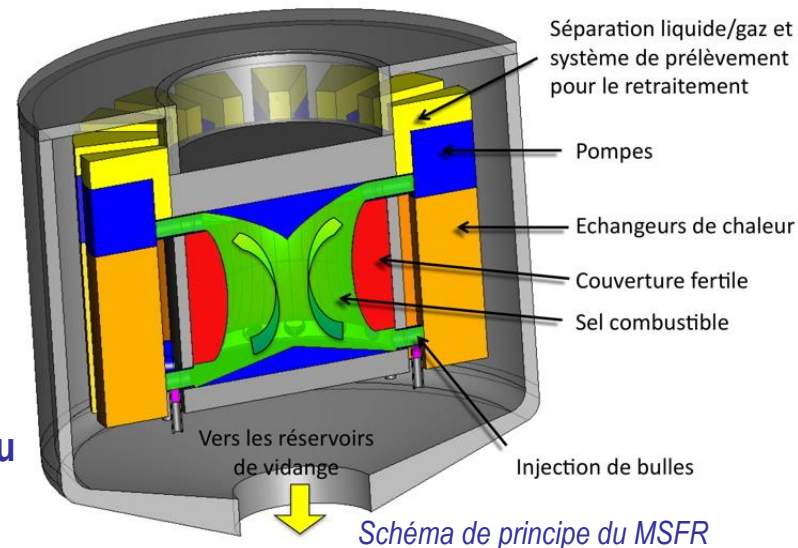
• Nécessité de nettoyer le sel combustible en fonctionnement **pour garantir ses qualités neutroniques et préserver les composants du système** :

- un nettoyage chimique externe est prévu
- un **nettoyage physique en ligne est indispensable** pour extraire les gaz et les matières non solubles

• Etat des lieux : concept des RSF thermiques date des années 60, pas de données expérimentales récentes, perte de savoir et de savoir-faire sur les liquides à haute T

◆ **Projet FFFER** : construction d'une boucle de fluorure fondu pour étudier le procédé de nettoyage physique et développer les outils associés (méthodes, instrumentations, matériels..)

→ Technique de "bullage" : **injection de bulles** dans le sel en circulation, celles-ci constituent des lieux de piégeage des gaz dissous et des particules en suspension, l'extraction a lieu au niveau d'un **séparateur liquide/gaz** : système à intégrer dès le design du réacteur (**verrou technologique pour la conception**)



Projet LPSC - Financement : IN2P3, UJF, PACEN (CNRS) et

FFER : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (2/3)

• Principe de la boucle :

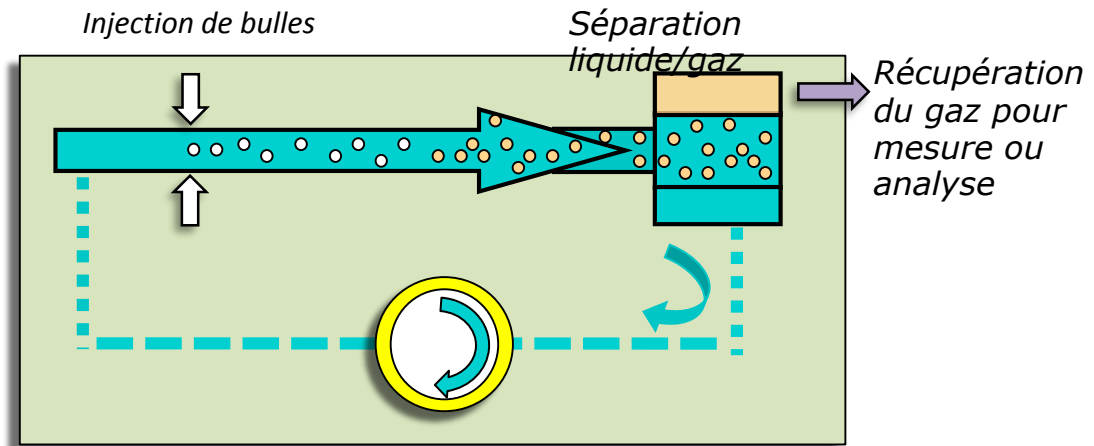
Caractéristiques :

Sel modèle : fluorure (LiF-NaF-KF), $T_f = 460^\circ\text{C}$

Fonctionnement entre 550°C et 700°C

Vitesse circulation : $\geq 1 \text{ m/s}$

Taux de gaz entre 0,1% et 1% volumique



• Objectifs du projet:



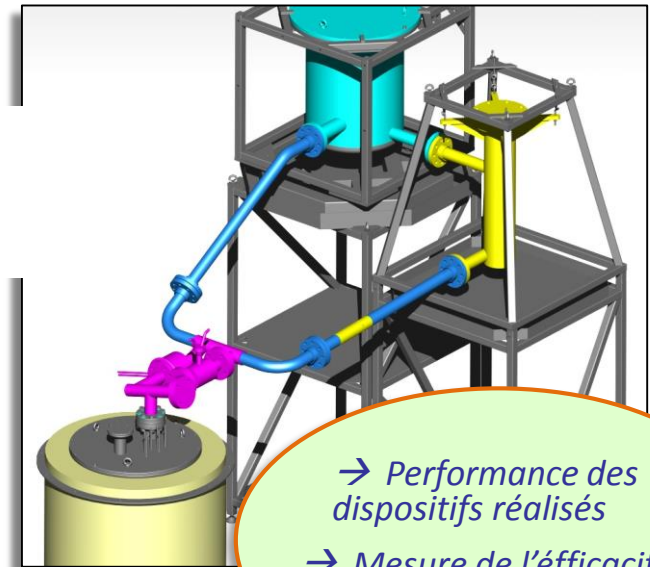
→ Travail expérimental de conception du séparateur liquide/gaz sur maquette

eau : 1,0 litre/s air : $50 \text{ cm}^3/\text{min}$



Circulateur

→ Travail de conception et réalisation de composants



→ Performance des dispositifs réalisés
→ Mesure de l'efficacité de la séparation liquide/gaz

En milieu fluorure liquide

FFFER : boucle de sel fondu en convection forcée pour les RSF (3/3)

• Réalisations :

- Services mécanique, détecteurs et instrumentation, électronique du LPSC, 1 h.an pendant 5 ans et service technique général, + 1 chercheur groupe physique des réacteurs
- Adaptations de locaux (2009)
- Fabrication de 160 kg de sel en boîte à gants (1 an)
- Conception, fabrication, montage, pilotage, tests de la boucle et de ses composants

- 1er test de circulation: 27 juillet 2014
- Début de campagne d'essais: novembre 2014
- Interruption en cours
- Reprise des essais en mars 2015

➔ Installation expérimentale unique

