



énergie atomique • énergies alternatives

LE SERVICE DE PHYSIQUE DES REACTEURS ET DU CYCLE

CEA



Direction de l'Energie Nucléaire



Département d'Etudes des Réacteurs

METIER

- La Neutronique (Cœur – Protections – Cycle)
- La Physique nucléaire

COMPETENCES

- Les Données Nucléaires
- La Qualification des Formulaires
- Les Etudes de systèmes (réacteurs et cycles)
- Les scénarios électronucléaires

RESSOURCES HUMAINES

- 4 Laboratoires
- 70 salariés (90% d'ingénieurs, 10 % techniciens et secrétaires)
- ~ 12 Collaborateurs (Thèses, Post-doc, ...)
- Age moyen = 43 ans

Les Laboratoires

LEPh (Labo d'Etudes de Physique)

CDL : C. De Saint Jean

- Données nucléaires
- Qualification des formulaires: APOLLO, ERANOS
- Simulation: (Modélisation physique fine en neutronique)

LEDC (Labo d'Etudes et de Développement des Cœurs)

CDL : B. Fontaine

- Soutien PHENIX
- Transmutation Loi 91
- Conception réacteurs : HTR, GFR, SFR, Innovation REP

LECy (Labo d'Etudes du Cycle)

CDL : R. Eshbach

- Qualification des formulaires cycle: DARWIN, CRISTAL
- Etudes des cycles (Cogema, PHENIX)
- Scénarios électronucléaires: Dév. COSI, Etudes

LPN (Labo de Projets Nucléaires)

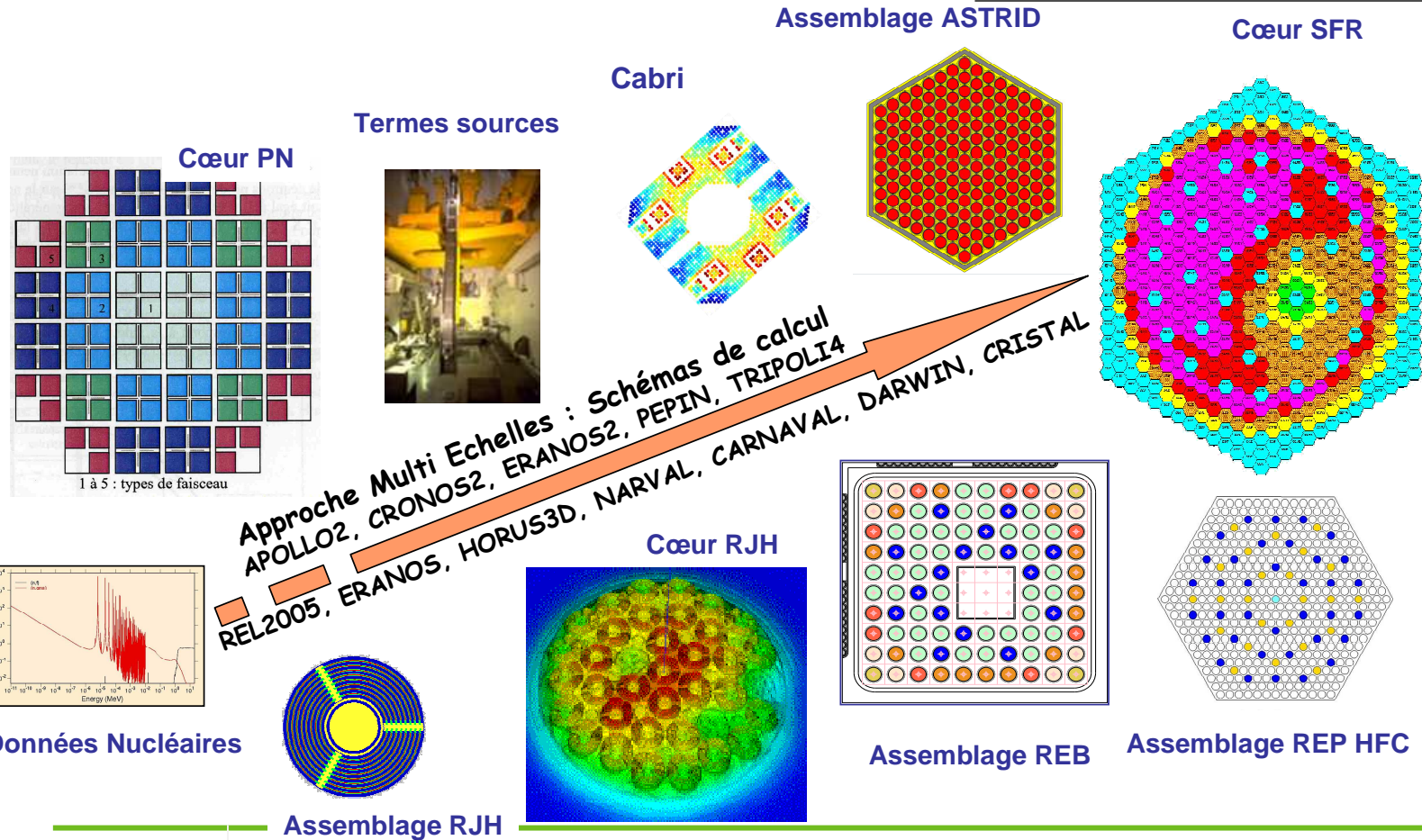
CDL : J.P. Hudelot

- Dév. et qualification formulaire PN: NARVAL
- Dév. et qualification formulaire RJH: HORUS, OSIRIS : ANUBIS
- Soutien réacteurs expérimentaux : PHEBUS, CABRI, OSIRIS, RJH

- Savoir prédire le comportement des cœurs de réacteurs
- Evaluer les impacts sur la physique du cycle
- Comprendre les phénomènes physiques



- Evaluer les données nucléaires
- Mettre au point des schémas de calcul et des formulaires validés et qualifiés
- Garantir les incertitudes sur les grandeurs physiques



La simulation en physique neutronique repose sur

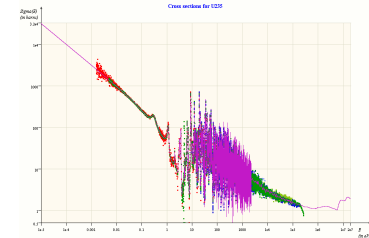
- des ingénieurs/physiciens **utilisateurs conscients des limites** des modèles et des logiciels qu'ils mettent en œuvre

⇒ Expression de **Précisions Cibles**

- des **logiciels** intégrant des

a. **Données nucléaires** ← théories/mesures nucléaires

b. **Solveurs et procédures de calcul** ← modèles physiques, équations du transport des neutrons/gamma et d'évolution



$$\begin{aligned} v^{-1} \frac{\partial \Psi}{\partial t} &= H\Psi + S \\ \frac{\partial N}{\partial t} &= AN \end{aligned}$$

- des **schémas de calcul recommandés et qualifiés** pour un domaine d'application précis

- **Validation numérique** ou inter modèles
→ comparaisons à des calculs étalon (Monte Carlo)
- **Qualification expérimentale**
 - analytiques → phénomènes élémentaires
 - globales → phénomènes couplés

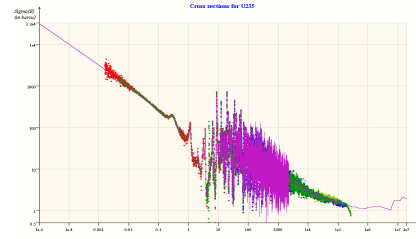
⇒ **Précisions garanties** pour l'utilisateur

⇒ rôle crucial des **réacteurs maquettes** du DER et du REX du parc

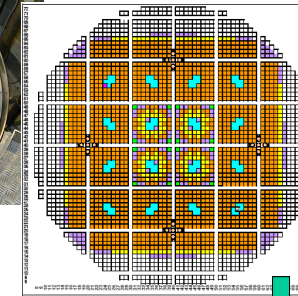


- Données nucléaires :
Evaluations, Modèles, Codes de
calcul (CONRAD) → JEFF 3
- Développement, Validation et
Qualification des schémas de
calcul APOLLO 2 pour les cœurs
des Réacteurs à Eau Légère
- Développement du formulaire
ERANOS 2 / PARIS pour les
cœurs des Réacteurs à Neutrons
Rapides
- Développement de la
démarche de validation
générique pour la nouvelle
génération des codes
neutroniques « APOLLO3 »

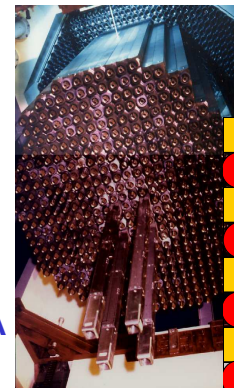
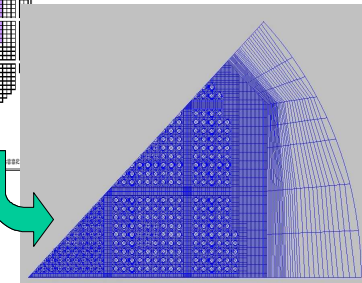
Conrad



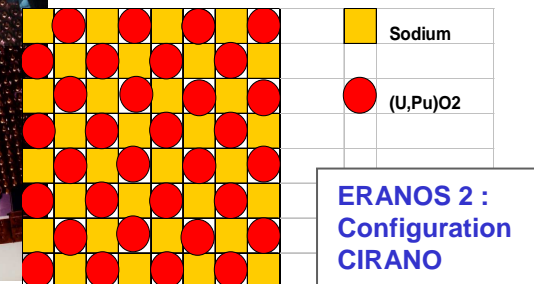
EOLE



APOLLO2 /MOC : configuration BASALA

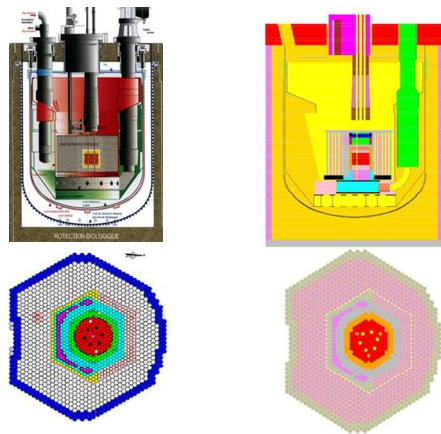


MASURCA

ERANOS 2 :
Configuration
CIRANO

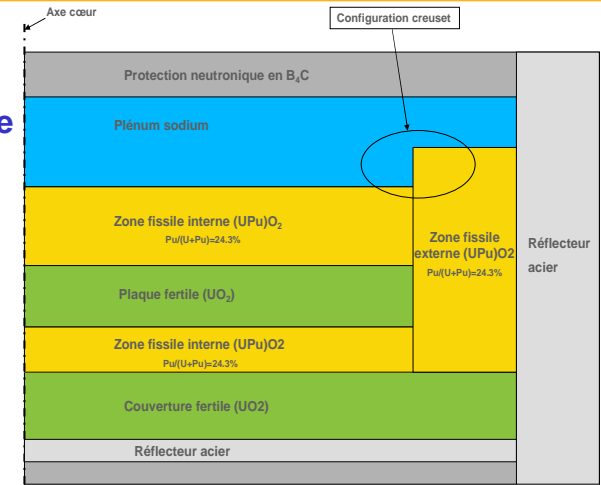
- Conception des cœurs RNR
- Soutien PHENIX pour les essais neutroniques ultimes et le démantèlement

description Phénix
(Modèle 3D
TRIPOLI4)

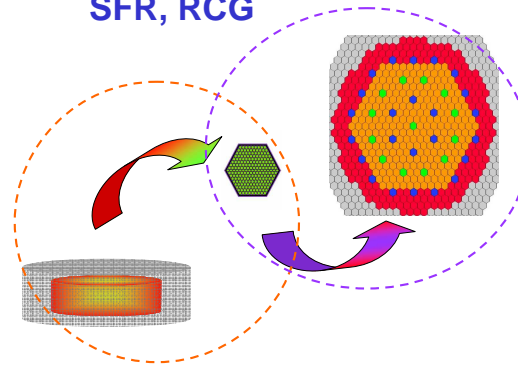


- La physique et les études de Transmutation : Loi sur la gestion des déchets
- Conception des cœurs innovants pour les Réacteurs à Eau Légère (REP et REB)

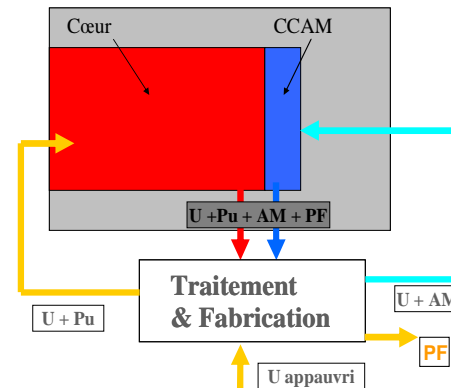
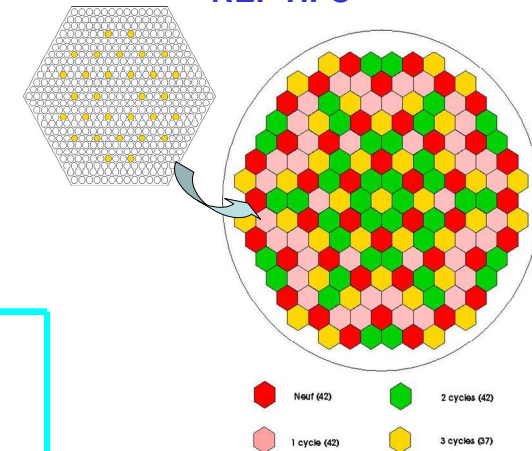
Cœur Faible Vidange



SFR, RCG

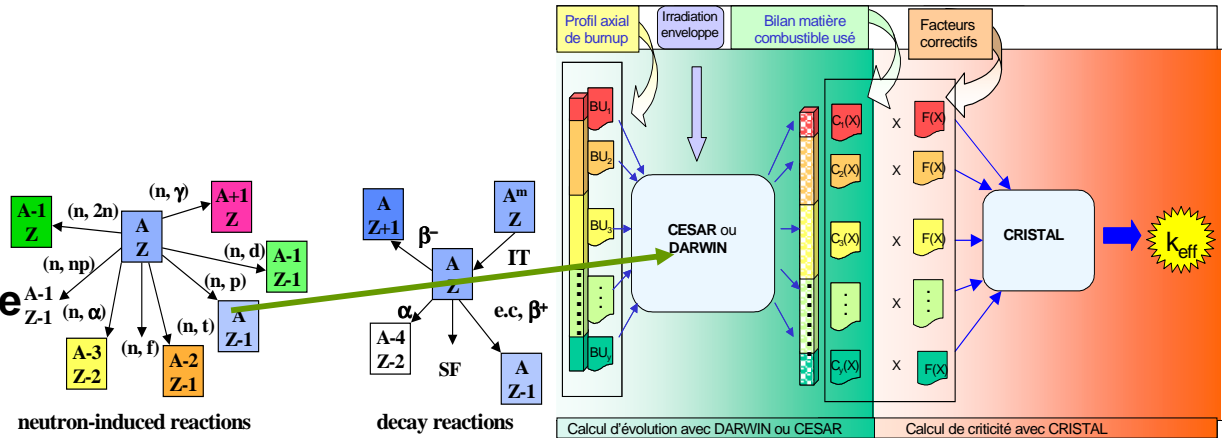


REP HFC



➤ Développements des formulaires DARWIN (évolution) et CRISTAL (criticité) pour la physique du cycle

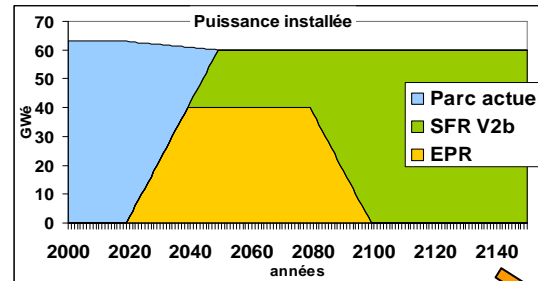
➤ Schéma de calcul pour la prise en compte du Crédit Burn Up dans les études de sûreté-criticité



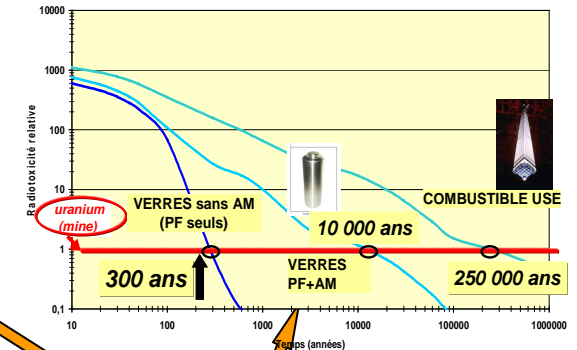
➤ Scénarios électronucléaires: Développement du code COSI, Etudes prospectives (loi juin 2006)

➤ Etudes en soutien aux installations du cycle (terme source des combustibles et des déchets)

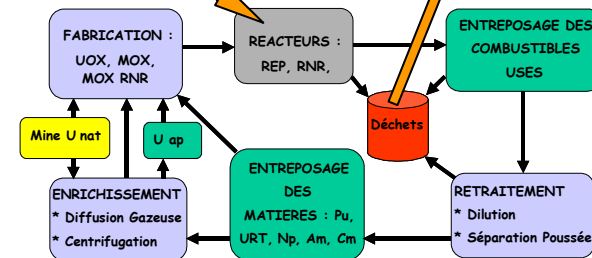
➤ Développement du code industriel d'évolution CESAR



RADIOTOXICITE DES DECHETS ULTIMES

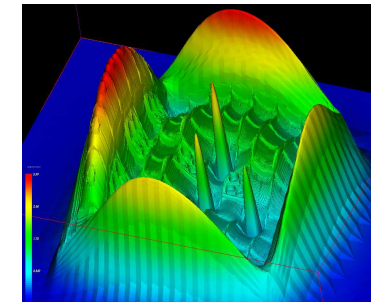
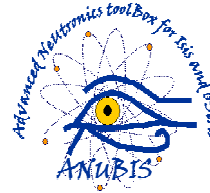


CESAR à La Hague

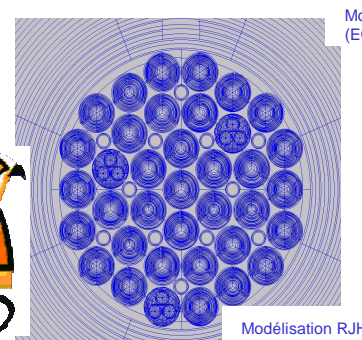
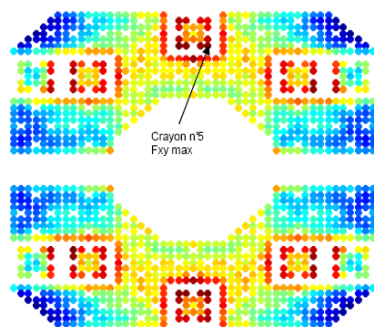


- Développements des formulaires NARVAL (cœur) et CARNAVAL (protection) pour les cœurs de la propulsion navale
- Développements des formulaires cœurs ANUBIS (OSIRIS) et HORUS (RJH)
- Soutien neutronique aux réacteurs expérimentaux : CABRI, OSIRIS, RJH, RES

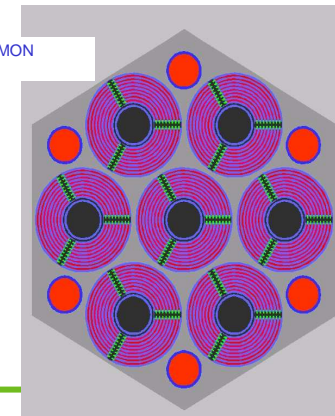
La Propulsion Navale : NARVAL, CARNAVAL



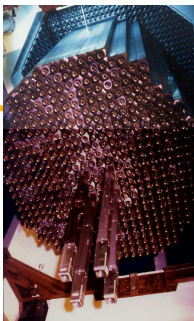
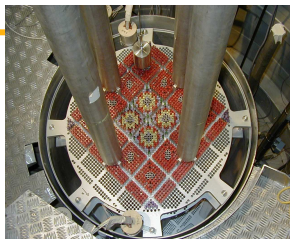
Coeur CABRI 3D (grilles) - Boucle sodium (Ni 8mm) + CIP02
BCS à 595 mm - BTR 0.6 b He3
Distribution de puissance par crayon



Modélisation AMMON (EOLE)



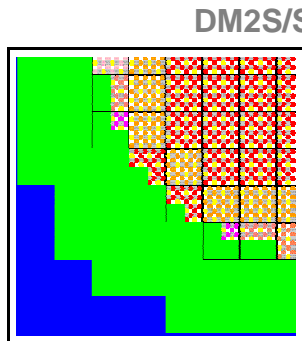
Les collaborations au SPRC



Expériences analytiques

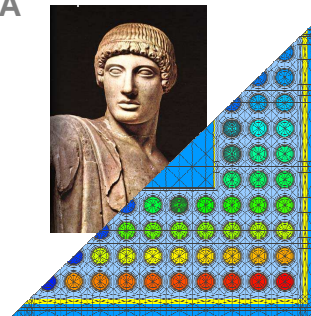


MASURCA
EOLE
MINERVE
REP, REB,
RNR



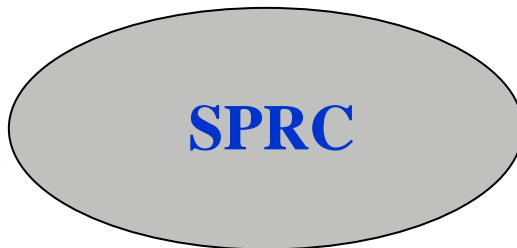
TRIPOLI

DM2S/SERMA



APOLLO

Logiciels de Simulation

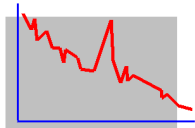
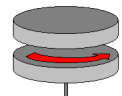


TALYS

CEA/DAM + NRJ (NL)



Mesures différentielles



CEA/DSM/IRFU

CNRS/LPSC

CENBG-Bordeaux



ERANOS

- CEA
- EDF
- AREVA NP
- CEA-M
- CNRS

- ANL
- INEL
- Purdue University
- University of Michigan
- Idaho State University
- Georgia Tech University
- University of Nevada
- North Carolina State Univ.

- ENEA
- Sapienza Roma University
- Politecnico di Torino
- CERN RISERCA

- IGCAR
- BARC

- KAERI
- FZK
- Chalmers University
- PSI
- INFN

- JAEA
- NRG
- JRC
- IFE

Accords de Licences

Les publications internationales au SPRC

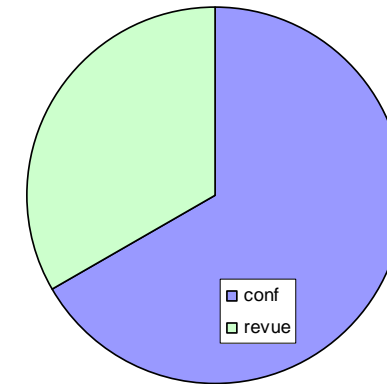
Les Revues :

Journal of Nuclear Science and Technology
Dan Gabriel Cacuci Editor. SPRINGER Reference
Annals of Nuclear Energy
Nuclear Science and Engineering
Energy Conversion and Management
Il Nuovo Cimento C
Nuclear Physics
Physical Review
Nuclear Instrumentation and Methods in Physics Research
Physics Letters
Nuclear Instrumentation Method
IEEE Transactions on nuclear science

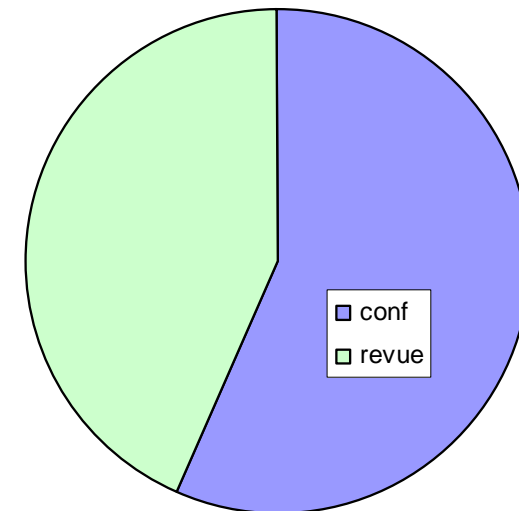
Les Congrès :

AFPPT 2010, AEN, San Francisco (USA) November 1- 5, 2010
ICONE 18, Xi'an (Chine) May 17-21, 2010
ND 2010 Jeju (Korea) April 26-30, 2010
PHYSOR 2010, Pittsburgh (USA) May 9-14, 2010
ANS meeting , San Diego (USA) June 13-17, 2010
ENC 2010 30 may - 2 June 2010, Barcelona, Spain
Seminar on Fission, Gand (Belgique), May 17-20, 2010
Neutron Cross-Section Covariances, Vienne Sept 27-30, 2010

publications en 2009 (48)



publications en 2010 (39)



L'expertise :

- 2 Directeurs de recherche
 - 8 Experts Séniors rang 3
 - 5 Experts Séniors rang 2
 - 3 HDR(+1), plusieurs en préparation
- Nombreuses sollicitations (national et international)

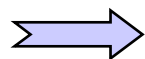
La formation :

- Professionnelle → Scientifique et Technique
- Accueil de collaborateurs étrangers, doctorants, post doctorants, stagiaires,
- Enseignements
 - **20 salariés SPRC**
 - **500 h.**

Compétences reconnues par l'AERES (A+):

→ <http://www.aeres-evaluation.fr/Etablissements/COMMISSARIAT-A-L-ENERGIE-ATOMIQUE-ET-AUX-ENERGIES-ALTERNATIVES-CEA>

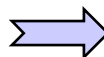
MISSION



Élaborer et Qualifier des données, méthodes et logiciels de calcul de neutronique pour les besoins de la physique des réacteurs nucléaires et le cycle

Physique Nucléaire
Physique Neutronique
Physique des Réacteurs
Mathématiques Appliquées

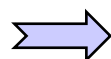
DOMAINES



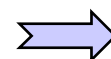
- Données Nucléaires
 - Fission
 - Sections efficaces
 - Radio-décroissance
 - Activation
 - **Echauffement Nucléaire**
- Simulation/Études
- Interprétation d'expériences
 - REL
 - RNR
 - Hybride



PROFILS



Formation Phelma/Master EP



OK

Stagiaires et Thésards (actuellement ~ 6 Phelma)

Perspectives Professionnelles

EDF/AREVA/CEA/CNRS

● Les Données Nucléaires

LEPh 2012-03, 2012-04, 2012-05, 2012-06, 2012-07, 2012-08, 2012-09

Exemples : « **Modélisation des sections efficaces de Fission à partir de calculs de pénétrabilités de barrières de Fission avec une description de Cramer-Nix.** »
« **Interprétation de l'expérience ICARE-R dans le réacteur MELUSINE pour la qualification des sections de capture des actinides U, Pu, Am, Cm en REL.** »

● La Qualification des Formulaires

LEPh 2012-01, 2012-02, 2012-10, 2012-11

LPN 2012-01, 2012-03, 2012-04 et LEDC 2012-06

Exemples : « **Interprétation du P/A dans les cœurs mixtes UOX/MOX de MISTRAL-4.** »
« **Participation à l'interprétation d'expériences par des calculs neutroniques dans le cadre du programme expérimental AMMON.** »

● Les Etudes de systèmes (réacteurs et cycles)

LEDC 2012-01, 2012-02, 2012-03, 2012-04, 2012-05, 2012-07

Exemples : « **Etude de performances du cycle d'un RNR refroidi au sodium** »
« **Etude neutronique d'assemblages REP à rapport de modération accru (crayons annulaires) et à combustible thorium** »

● Les scénarios électronucléaires

LECy 2012-01, 2012-02

Exemple : « **Etude de scénarios électronucléaires avec des modèles physiques simplifiés; comparaison avec les études de référence.** »

Sujets de Thèse 2011

LEDC

SL-DEN-11-0097 «Etudes des contre-réactions dans un réacteur à neutrons rapides à caloporteur sodium : Impact des données neutroniques et de conception sur les incertitudes.



LPN

SL-DEN-11-0086 «Validation des calculs en évolution d'échauffements gamma dans les dispositifs d'irradiation. Application au dispositif CARMEN du RJH. Validation of calculations in evolution of gamma heating in irradiation devices. Application to the CARMEN device of JRH reactor



LECy

SL-DEN-11-0268 «Le cycle du combustible électronucléaire et la prise en compte des incertitudes
Assessment of uncertainties in nuclear fuel cycle

LEPh

SL-DEN-11-0302 Modélisation des Sections Efficaces Neutroniques et Production des Matrices de Covariance Multi-Gruppe pour les Réacteurs à Neutrons Rapides

SL-DEN-11-0210 Condensation et homogénéisation des sections efficaces pour les codes de transport déterministes par la méthode de Monte Carlo – Application aux réacteurs à neutrons rapides de GEN IV
Monte Carlo computations of homogenized multigroup cross sections for deterministic transport codes – GENIV fast neutron reactors applications



SL-DEN-11-0256 Contribution à la modélisation des spectres de neutrons prompts de fission. Propagation d'incertitudes sur un calcul de fluence cuve. Contribution to the prompt fission neutron spectrum study. Uncertainty propagation on a reactor vessel fluence calculation.

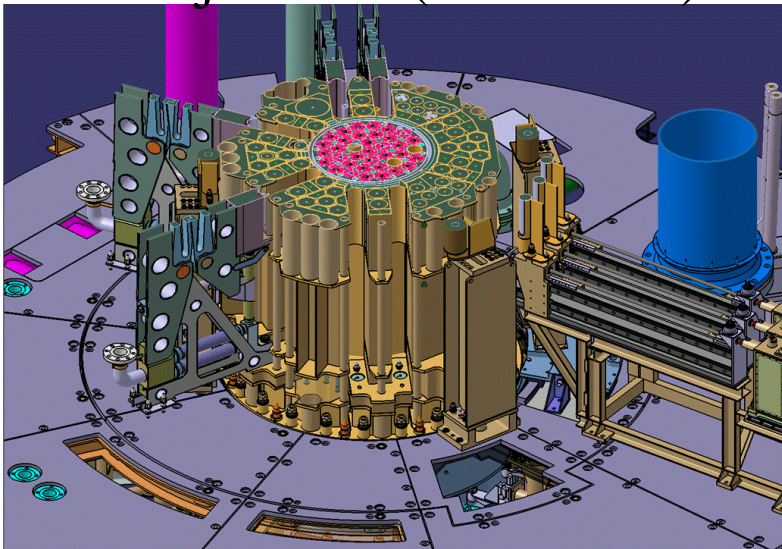
Sujets de Thèse 2012 : 2011 + en cours de rédaction

Modes de financement : INSTN, Projets CEA, Mixte (CEA/CNRS)

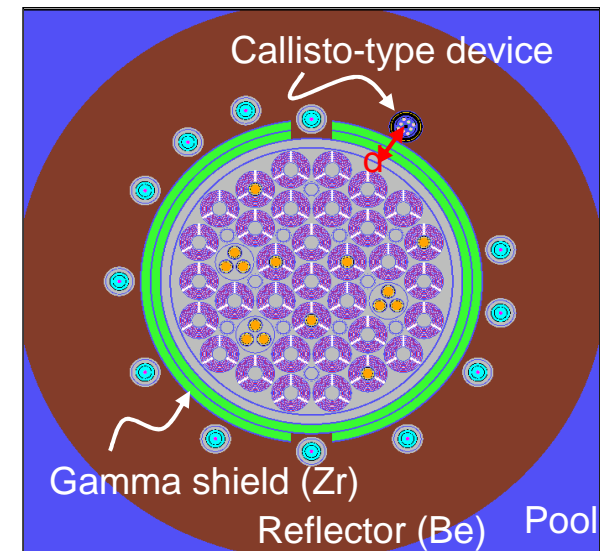
Les projets et les moyens au SPRC

DISN	: Direction de l'innovation et du soutien nucléaire	
→ SIMU	: programme Simulation	26 ETPT
→ R4G	: Réacteurs de 4 ^{ème} génération	13 ETPT
→ GEN2-3	: Réacteurs de 2 ^{ème} et 3 ^{ème} génération	6 ETPT
→ VALO	: Valorisation (ici Propulsion Navale)	10 ETPT
→ Etc		
→ 2 Chefs de projet		
→ 5 Responsables de lot		

Projet RJH (~ 4 ETPT)



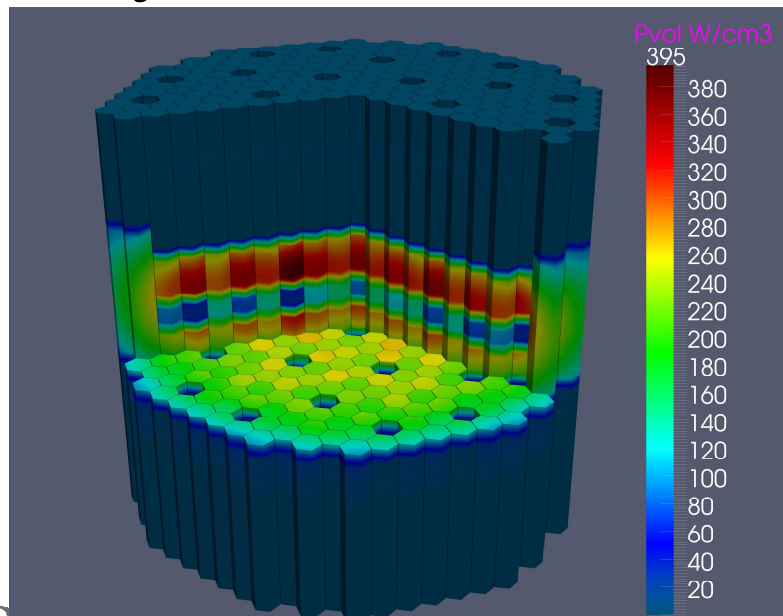
TRIPOLI4 3D Monte Carlo simulation : 10^7 neutrons



Les projets et les moyens au SPRC

DISN	: Direction de l'innovation et du soutien nucléaire	
→ SIMU	: programme Simulation	26 ETPT
→ R4G	: Réacteurs de 4 ^{ème} génération	13 ETPT
→ GEN2-3	: Réacteurs de 2 ^{ème} et 3 ^{ème} génération	6 ETPT
→ VALO	: Valorisation (ici Propulsion Navale)	10 ETPT
→ Etc		
→ 2 Chefs de projet		
→ 5 Responsables de lot		

Projet ASTRID (~ 13 ETPT)



Soutien via R4G/SIMU:

- Etudes de conception
- Calculs de Références
- Conception/Analyse

Expériences dans MASURCA



Utilisation intensive:
Outils CEA déterministe
+ Monte-Carlo

Les projets et les moyens au SPRC

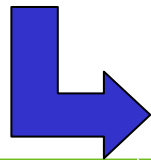
DISN	: Direction de l'innovation et du soutien nucléaire	
→ SIMU	: programme Simulation	26 ETPT
→ R4G	: Réacteurs de 4 ^{ème} génération	13 ETPT
→ GEN2-3	: Réacteurs de 2 ^{ème} et 3 ^{ème} génération	6 ETPT
→ VALO	: Valorisation (ici Propulsion Navale)	10 ETPT
→ Etc		
→ 2 Chefs de projet		
→ 5 Responsables de lot		

Soutien au Parc Actuel (~ 8 ETPT)

Via Gen2-3/SIMU:

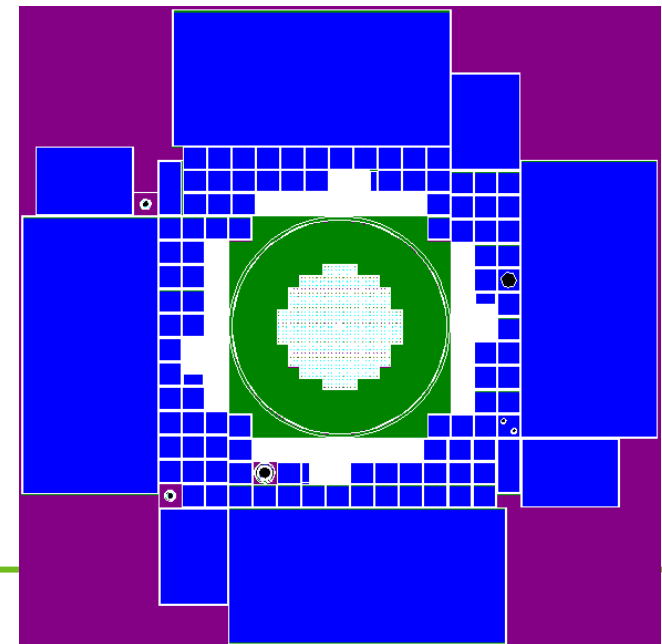
- Etudes de conception
- Calculs de Références
- Conception/Analyse

Expériences MINERVE/EOLE



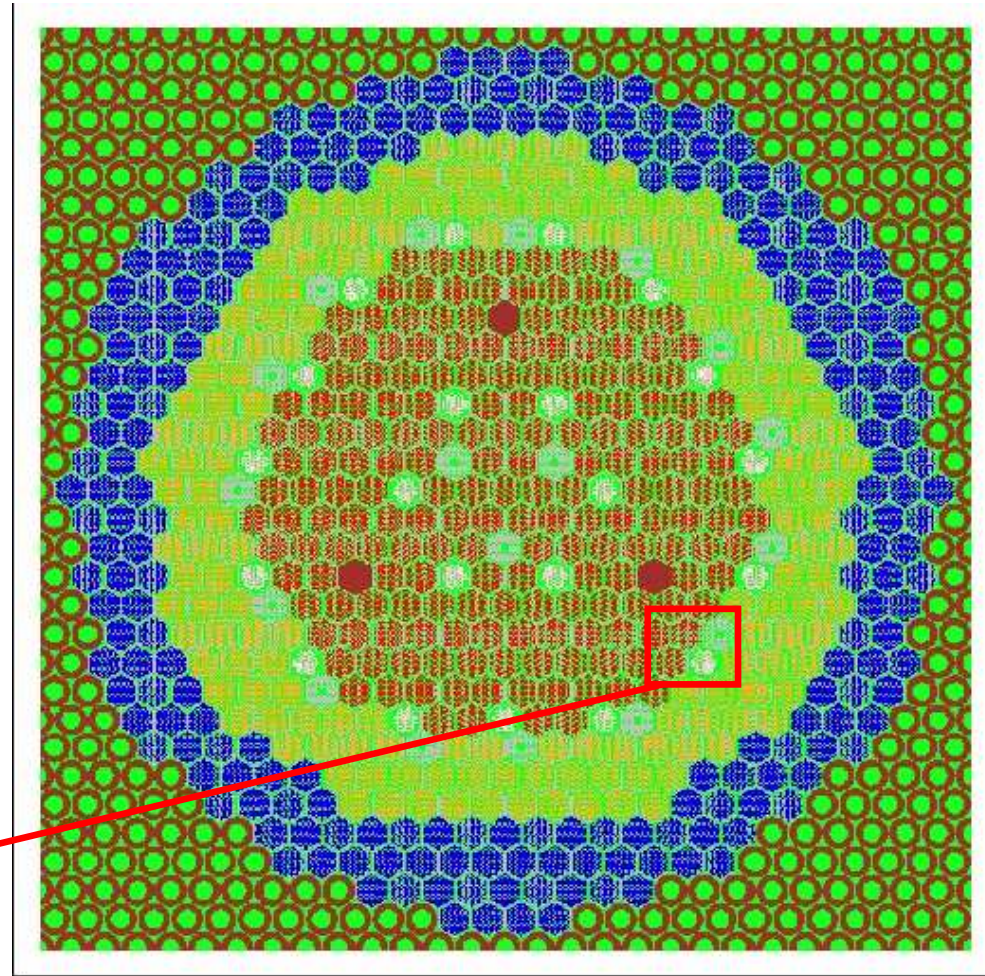
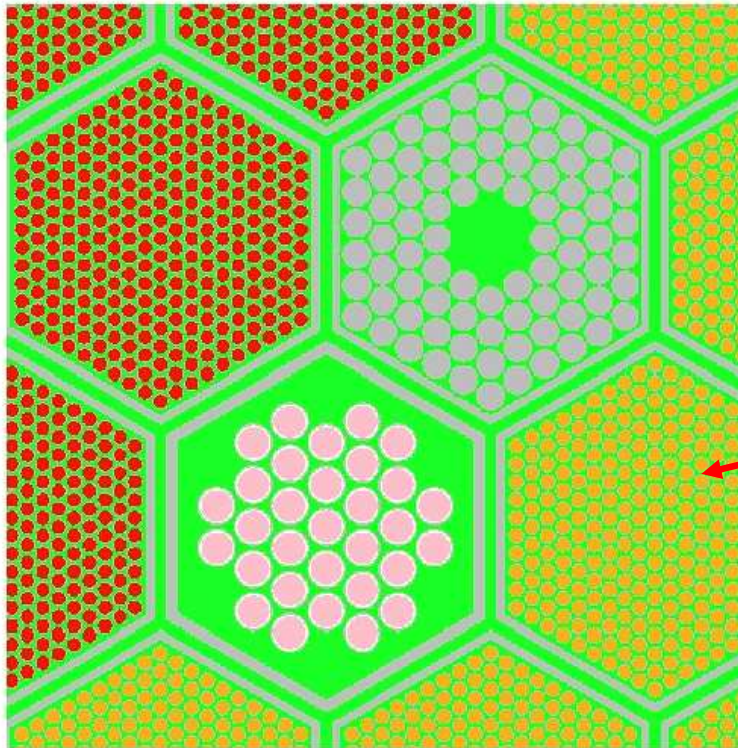
Utilisation intensive:
Outils CEA déterministe
+ Monte-Carlo

Minerve Facility
With MCNP

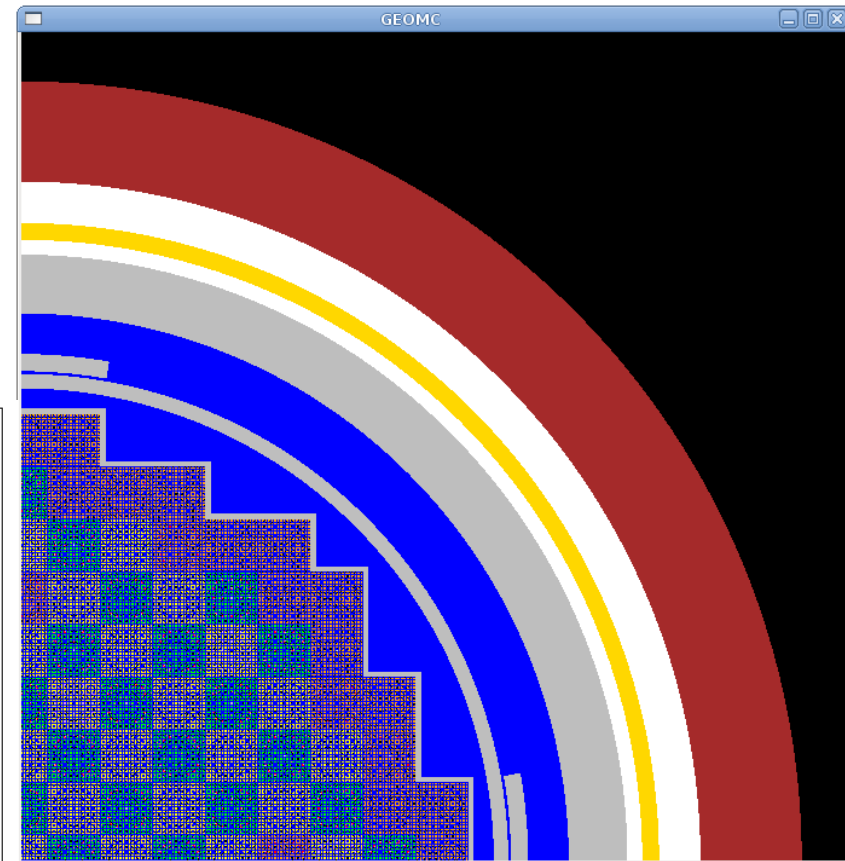
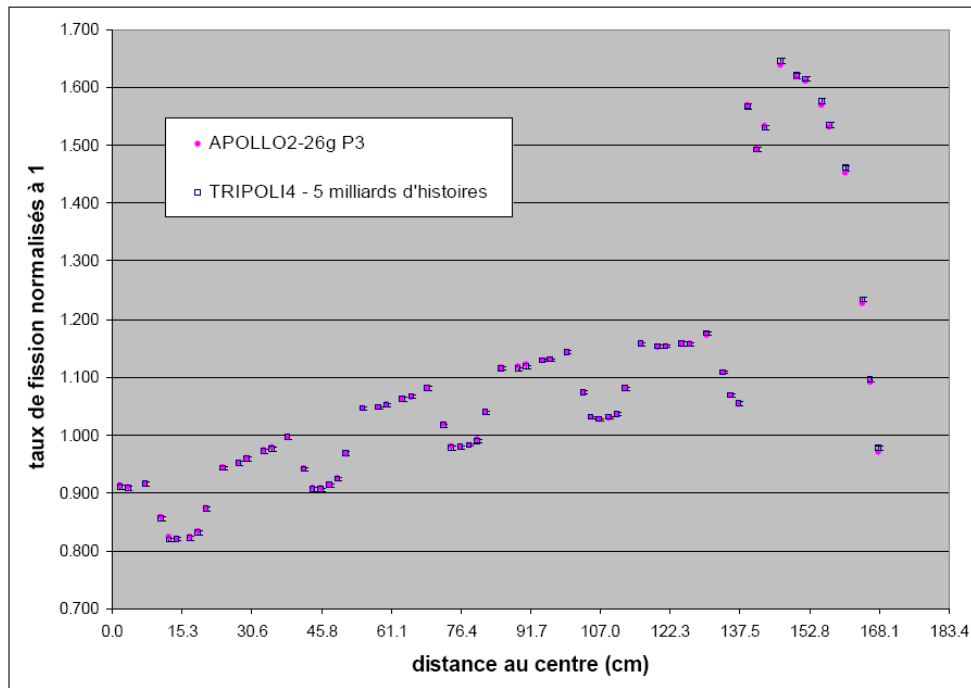


Extensive use of Monte-Carlo : SuperPhenix Reactor


Super-Phénix
With Tripoli4

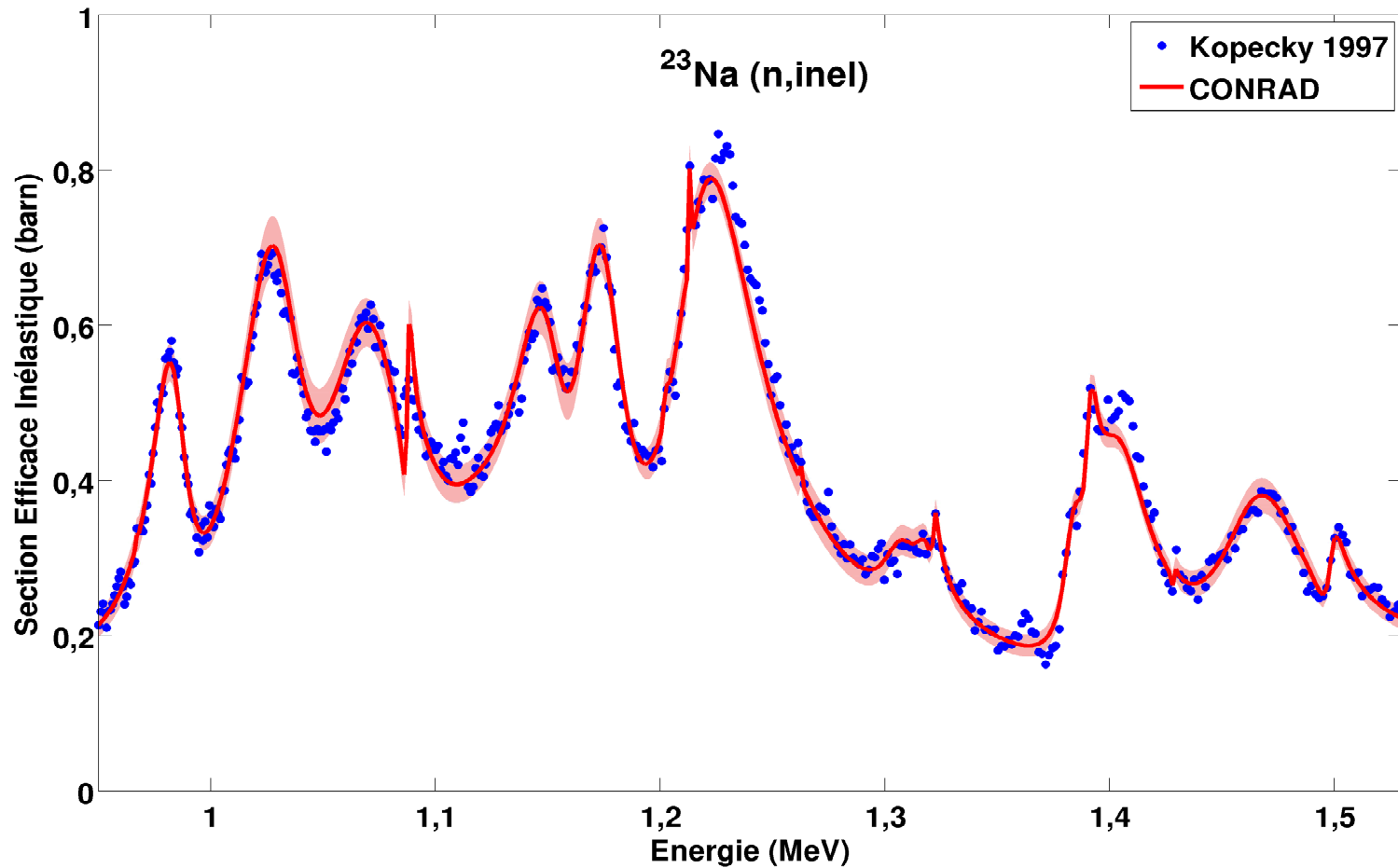


French EDF-N4 With Tripoli4

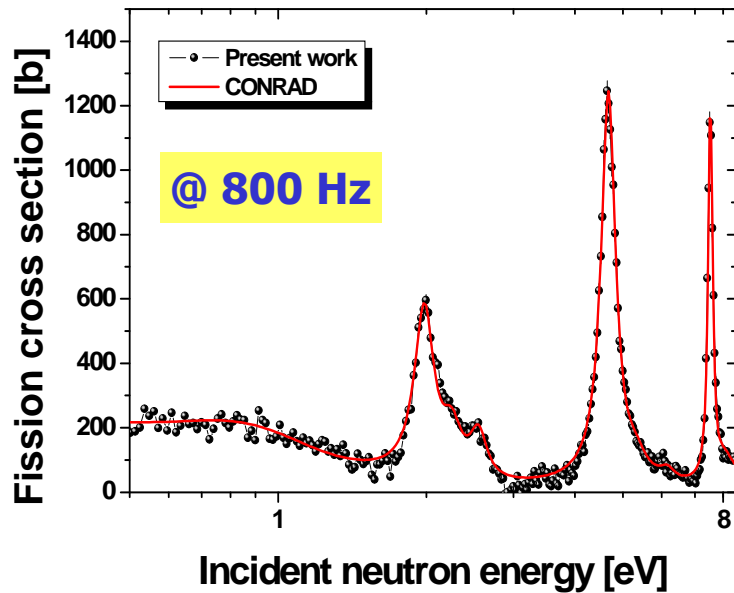
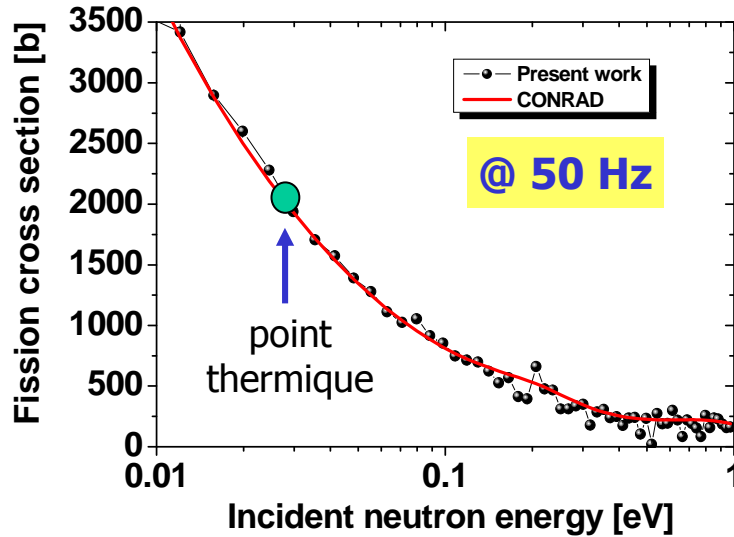


Section efficace inélastique $460 \text{ keV} < E < 20 \text{ MeV}$

Modélisation Reich-Moore de la section inélastique dans le code CONRAD afin de représenter les structures du 1^{er} niveau inélastique (seuil à 460 keV) 



Thèse
P. Archier
Phelma 2008



Incertitudes Systématiques:

- Facteur de normalisation
- bruit de fond
-

Incertitudes Statistiques

Experimental data fitted using **CONRAD code** (CEA-Cadarache)

Reich-Moore formalism

Mesure du point thermique:

Importante comme point de normalisation; permet de réduire les incertitudes

FIFRELIN :

Simuler la désexcitation
des fragments de fission
FF par évaporation des
neutrons/gamma prompts
jusqu'à l'obtention des
produits de fission PF

Objectifs :

- Prédire les spectres, multiplicités, énergies dégagées, ... correspondants aux neutrons et gamma de façon à améliorer le contenu des bibliothèques de données nucléaires,
- Sonder, tester, les idées, les modèles nucléaires.

Hypothèse :
gamma prompts
émis après émission
des neutrons prompts

