

EXPLOITATION DE L'ACCELERATEUR GENEPI-3C POUR LE PILOTAGE DE L'ADS MAQUETTE GUINEVERE AU SCK•CEN



M. Baylac[#], A. Billebaud, P. Boge, D. Bondoux, J. Bouvier, S. Chabod, G. Dargaud, E. Froidefond, E. Labussière, S. Rey, LPSC, Université Grenoble-Alpes, CNRS/IN2P3, Grenoble

A. Kochetkov, J. Mertens, F. Van Gestel, C. Van Grieken, B. Van Houdt, G. Vittiglio, SCK•CEN, Mol, Belgique
F. Lecolley, J.-L. Lecouey, G. Lehaut, N. Marie, LPC Caen, ENSI Caen/Univ. Caen, CNRS-IN2P3, Caen



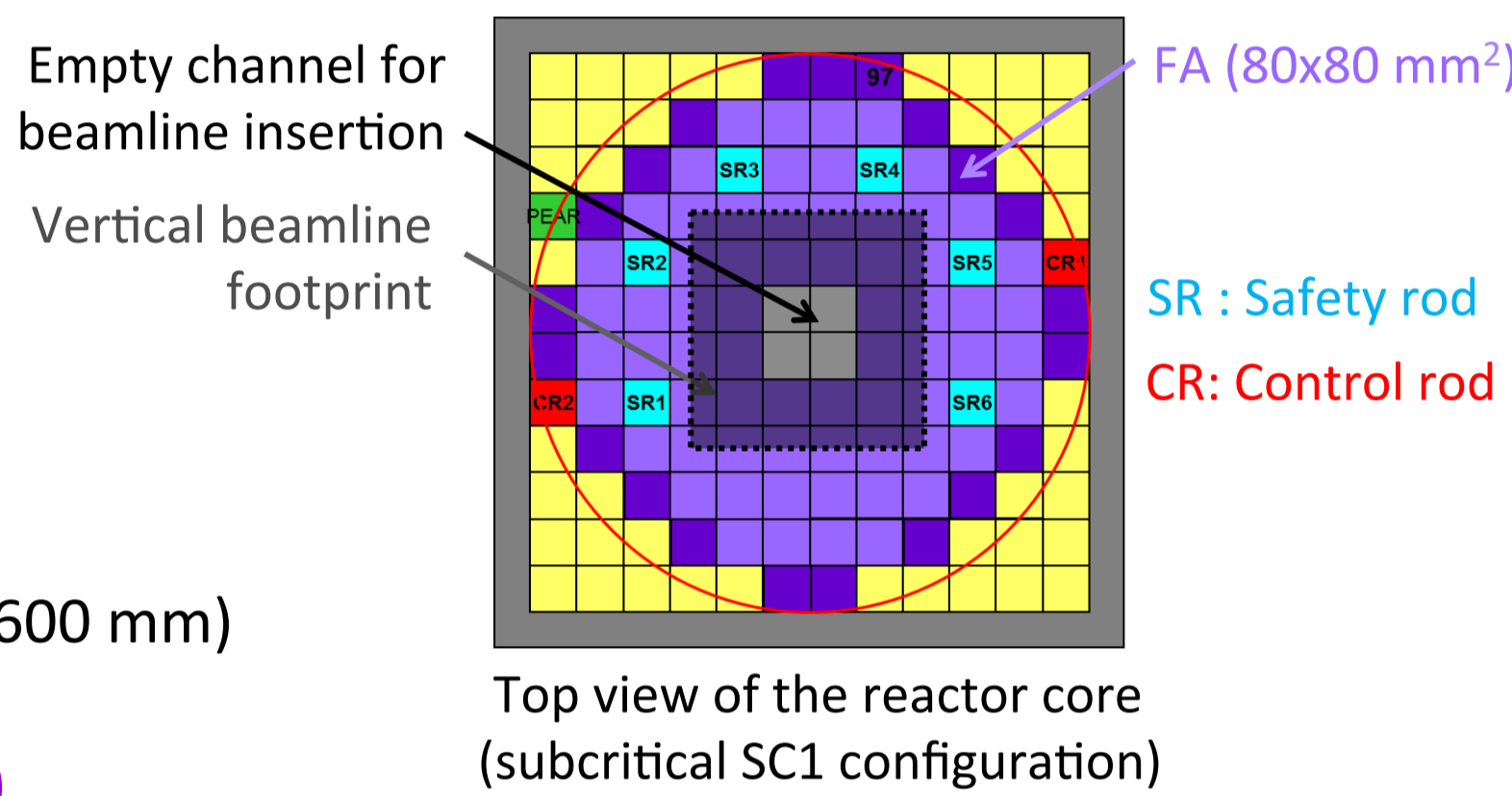
RESUME: GUINEVERE est une maquette de réacteur piloté par accélérateur (Accelerator Driven System ou ADS), de basse puissance constituée par une source de neutrons versatile, GENEPI-3C, pilotant le cœur sous-critique VENUS-F du SCK•CEN (Belgique). GENEPI-3C est un accélérateur électrostatique produisant des neutrons de 14 MeV sous l'impact de faisceaux de deutons (250 keV) sur une cible de tritium située au centre du cœur. Cette machine produit alternativement des faisceaux continus (jusqu'à 1 mA DC) qui peuvent être pourvus de coupures programmables, rapides et ajustables, ou des impulsions brèves et intenses de deutons (~25 mA crête, 1 µs). L'installation expérimentale et les performances machines sont présentées, puis l'exploitation en mode couplé de l'accélérateur avec le réacteur est analysée.

OBJECTIFS DE GUINEVERE

- **GUINEVERE : Generator of Uninterrupted Intense NEutrons at the lead Venus Reactor**
- **Instrument représentatif d'un démonstrateur d'ADS pour étudier**
 - ❖ le monitoring en ligne de la réactivité
 - ❖ la détermination de la sous-criticité
 - ❖ les procédures opérationnelles d'un ADS
- **Couplage à basse puissance**
 - ❖ du réacteur rapide, VENUS-F (SCK•CEN)
 - ❖ de la source de neutrons versatile fournie par l'accélérateur GENEPI-3C (CNRS/IN2P3)
- **Installation unique en Europe pour les études expérimentales de faisabilité des ADS**
 - ❖ Premier couplage obtenu en octobre 2011
 - ❖ Opération en mode couplé pour le programme expérimental depuis avril 2012

REACTEUR

- **Réacteur VENUS-F**
 - ❖ modifié en cœur rapide
 - ❖ mode critique ou sous-critique
- **Mode sous-critique [1]**
 - ❖ 93 assemblages de combustible, ou FA (SC1)
 - ❖ FA : ²³⁵U enrichi à 30% et plomb solide
 - ❖ Réflecteur de plomb axial et radial
 - ❖ Cœur compact (diamètre: 800 mm, hauteur: 600 mm)
- **Conçu et exploité par le SCK•CEN (Belgique)**



ACCELERATEUR

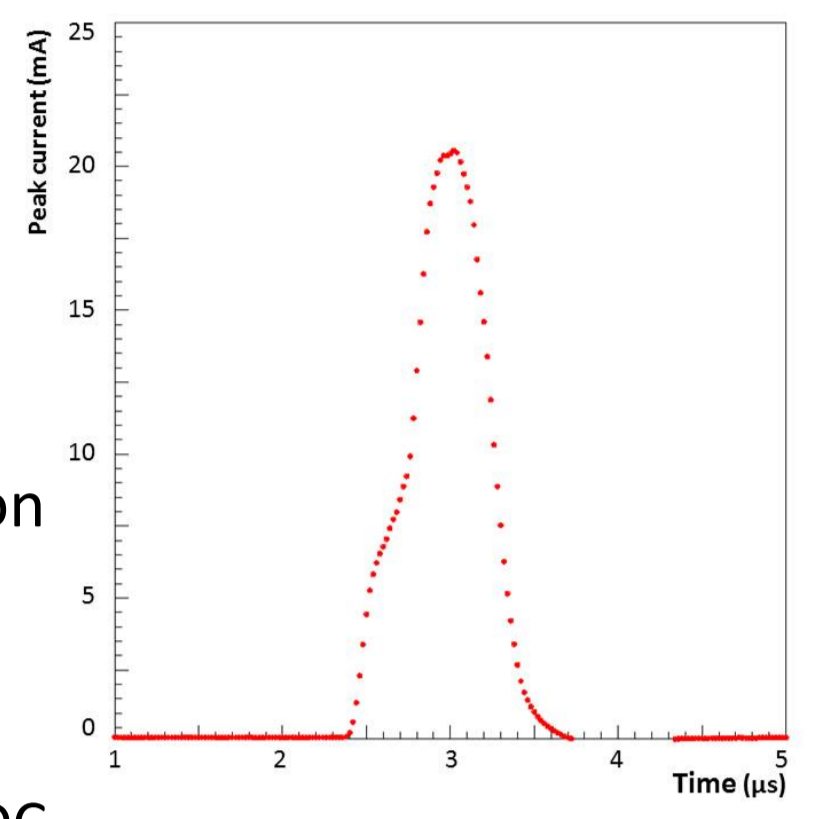
- **Genérateur de Neutrons Pulsé & Intense (GENEPI-3C)**
 - ❖ Accélérateur électrostatique de deutons (240 keV)
 - ❖ Neutrons (14 MeV) produits via T(d,n)⁴He
- **Modes de fonctionnement machine**
 - ❖ Pulsé intense
 - ❖ Continu (DC) avec possibilité d'interruptions de faisceau rapides et programmables
- **Conçu, construit et opéré par le CNRS/IN2P3**
- **Principaux éléments de l'accélérateur [2]**
 - ❖ **Source d'ions duoplasmatron**
 - Génération des structures temporelles et des intensités des différents faisceaux
 - Source et électrodes situées dans la plateforme haute tension (250 kV)
 - ❖ **Ligne de transport de faisceau line**
 - Sections horizontale et verticale
 - 12 quadripôles électrostatiques, 4 correcteurs magnétiques
 - ❖ **Dipôle**
 - Sélection magnétique des espèces et déviation des ions D⁺ verticalement vers le cœur
 - Structure mobile pour permettre le retrait de la ligne verticale pour les opérations de maintenance
 - ❖ **Cible de Tritium**
 - Dépôt d'une couche mince de TIT (12 Ci)
 - Refroidissement par air pour dissiper la puissance du faisceau (250 W)
 - ❖ **Moniteurs de neutrons**
 - 2 détecteurs silicium pour mesurer la production de neutrons
 - Situé sur le dessus du réacteur et sur le dipôle

Pulsed mode (beam bunches)	DC interrupted mode (beam interruptions)
$I_{peak} \sim 25$ mA	I_{mean} : 50 µA – 1 mA
Rate : 10 Hz – 5 kHz	Interruption rate: 0.1 Hz – 200 Hz
Width ~ 0.7 µs	Interruption duration: ~ 20 µs – 10 ms
Reproducibility $\sim 1\%$	Interruption transition duration ~ 1 µs

PERFORMANCES DE LA MACHINE

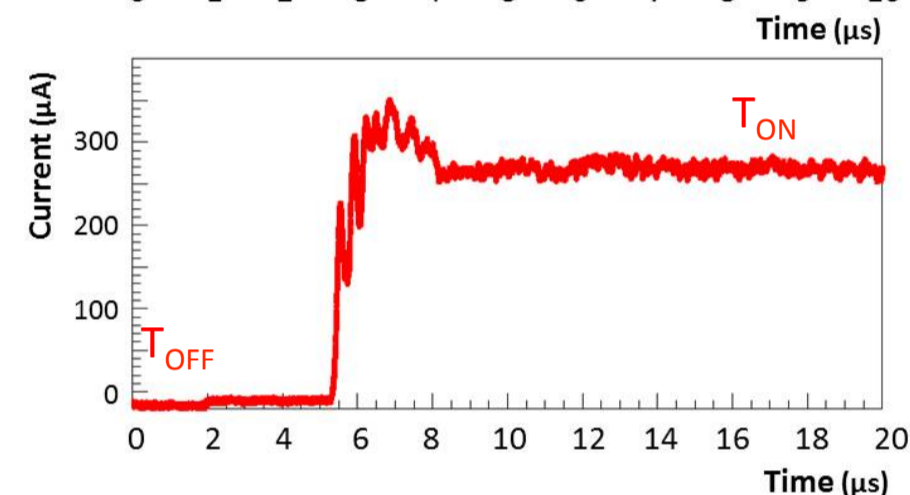
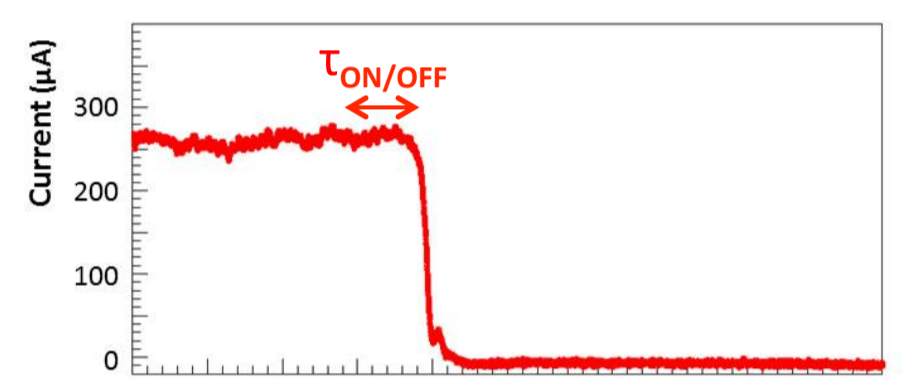
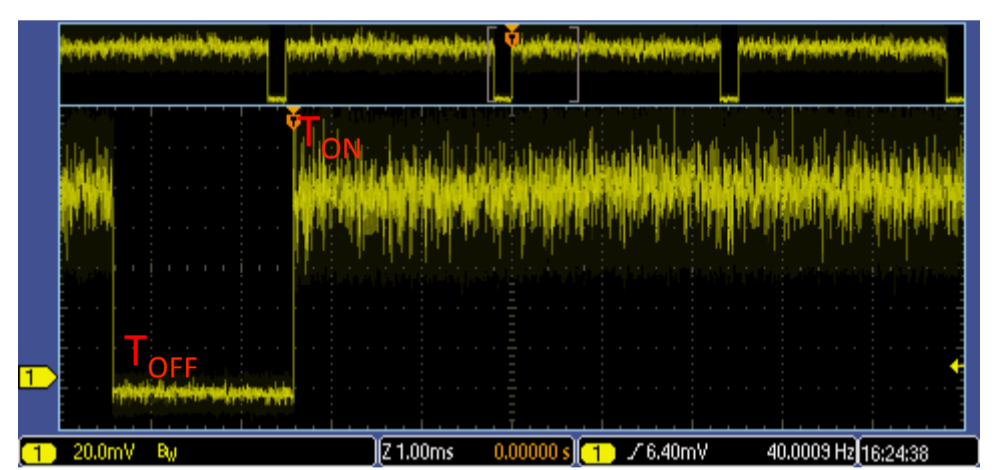
1. MODE PULSE

- **Résultats**
 - ❖ Courant de faisceau : $I_{peak} \sim 20-25$ mA
 - ❖ Largeur de pulse: $T_{pulse} \sim 550$ ns (FWHM)
 - ❖ Stabilité du pulse: $\sigma(T_{pulse})/T_{pulse} < 1\%$
- **Difficultés**
 - ❖ décroissance de l'intensité pendant les ~ 2 premières heures d'opération
 - Effet thermique sur la source d'ions?
 - Indépendant du mode de faisceau
 - ❖ I_{peak} limité à 25 mA
 - Limitation du diamètre de l'anode pour optimiser le transport en mode DC
 - Peu d'impact sur le programme de physique



2. MODE DC AVEC INTERRUPTIONS RAPIDES PROGRAMMABLES

- **Résultats**
 - ❖ Courant de faisceau : $I_{average}$ jusqu'à 1 mA
 - ❖ Durée de transition de l'interruption : $\tau_{ON/OFF} < 1$ µs
 - ❖ Plage de réglage de l'interruption: $6\% < T_{OFF}/T_{ON} < 90\%$
- **Réglages standards**
 - ❖ Courant de faisceau : $I_{average} = 200-400$ µA
 - ❖ Deux types d'interruptions :
 - longues : 2 ms à 40 Hz ($T_{OFF}/T_{ON} = 8\%$)
 - courtes : 300 µs à 200 Hz ($T_{OFF}/T_{ON} = 6\%$)
 - ❖ Jusqu'à ~ 10 C sur cible par jour (~ 8 heures de faisceau)
- **Difficultés**
 - ❖ Peu de commissioning : problèmes découverts pendant l'exploitation
 - ❖ Décharges haute tension à fort courant, parfois créant des dégâts
 - ❖ Améliorations pour réduire ces décharges : réglages (source, transport), CEM, air ambiant



3. PRODUCTION DE NEUTRONS

- **Production de neutrons mesurée à 10^{11} n.s⁻¹.mA⁻¹ avec une cible neuve (mode DC)**

EXPLOITATION COUPLEE DE L'ACCELERATEUR SUR LE REACTEUR

- **Mode pulsé (faible courant moyen): simple**
 - ❖ Pas de difficulté opérationnelle, disponibilité excellente
- **Mode DC, avec ou sans interruption (courant moyen plus important): compliqué**
 - ❖ **Certaines décharges importantes peuvent déclencher un arrêt d'urgence du réacteur (SCRAM)**
 - Décharge → perte du faisceau → chute de la production de neutrons dans le réacteur (dizaines de µs)
 - Le taux de neutrons détecté par les moniteurs du réacteur diminue lors d'une interruption longue (\sim s)
 - Au retour du faisceau, les moniteurs détectent une hausse soudaine du taux de neutrons
 - Si cette augmentation dépasse le seuil de sûreté du réacteur (temps de doublement du flux) → **SCRAM réacteur : chute des barres (sûreté, contrôle)**
 - ❖ **Redémarrage du réacteur requis après chaque SCRAM**
 - Montée des barres : 6 barres de sûreté individuellement, puis 2 barres de contrôle simultanément
 - **Procédure de ~ 30 minutes, sur une exploitation quotidienne de 8 heures**
 - ❖ **SCRAM réacteur : principale cause d'arrêt machine (facility downtime)**
 - ❖ Quelques mauvaises périodes: jusqu'à 6 SCRAM par jour
 - ❖ Après les dernières optimisations machine pour réduire les décharges
 - aucun SCRAM pendant les 2 dernières semaines d'exploitation (juin 2014)
 - ❖ **Règles de sûreté de VENUS-F, dont le SCRAM sur perte de faisceau, prévues pour réacteurs critiques**
 - Conditions pénalisantes inadaptées pour un ADS (réacteur toujours sous-critique)
 - Vraisemblablement, ces contraintes pourraient être levées dans le futur

CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

- **Maquette basse puissance d'un ADS exploitée en mode couplé depuis plus de 2 ans**
- **Performances machine conformes au cahier des charges**
- **Source d'ions unique pour les différents modes faisceau : changement rapide d'un mode à l'autre (~ 15 minutes)**
- **Principale limitation opérationnelle : arrêts induits par les décharges HT générant des SCRAM réacteur**
- **Programme expérimental en cours pour la physique des réacteurs avec de premiers résultats [3]**
 - ❖ Malgré une disponibilité de l'installation limitée, les performances machine sont excellentes
 - ❖ Campagne expérimentale importante prévue pour les prochaines années
- **Amélioration de la disponibilité de l'installation attendue pour le futur grâce**
 - ❖ Aux améliorations pour minimiser les décharges
 - ❖ Aux optimisations des règles de sûreté pour un réacteur en mode ADS
- **Reprise d'opération de l'accélérateur après 1 an d'exploitation en mode critique (octobre 2015)**
- **Analyse de l'opération de GUINEVERE précieuse pour le projet de démonstrateur d'ADS MYRRHA [4]**

Références

- [1] A. Billebaud *et al.*, "The GUINEVERE Project for Accelerator Driven System Physics", Proc. of the Global 2009 conference, Paris, France (2009).
- [2] M. Baylac *et al.*, "A versatile neutron source for the low power ADS GUINEVERE", Proc. of the International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators (AccApp '11), Knoxville, USA (2011).
- [3] S. Chabod *et al.*, "Prompt decay experiments analysis for ADS reactivity monitoring at VENUS-F"; N. Marie-Noury *et al.*, "Reactivity monitoring using the area method for the VENUS-F subcritical core", Proc. of TC-ADS2, Nantes, France (2013).
- [4] <http://myrrha.sckcen.be/>

Remerciements

Ce travail a été partiellement financé dans le cadre du programme FP6 IP-EUROTRANS par le contrat # FI6W-CT-2005-516520, des programmes FP7 FREYA et MAX (contrats # 269665 et # 269565) et par le programme PACEN du CNRS.

baylac@lpsc.in2p3.fr

