

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



www.cea.fr

Projet SOMETIME

Système Optique de MEsure des Températures sous Irradiation dans le réacteur MASURCA

Adriana Morana¹, Frédéric Mellier², Guy Cheymol³,
Christophe Destouches², Jacques Di Salvo², Sylvain Girard¹,
Guillaume Laffont⁴ et Emmanuel Marin¹

¹ Laboratoire Hubert Curien, Univ. Jean Monnet St Etienne (UMR 5516)

² : CEA/DEN/CAD/DER/SPEX (LPE, LE2M, LREM)

³ : CEA/DEN/DANS/DPC/SEARS/LISL

⁴ : CEA/DRT/LIST/DM2I/LCAE

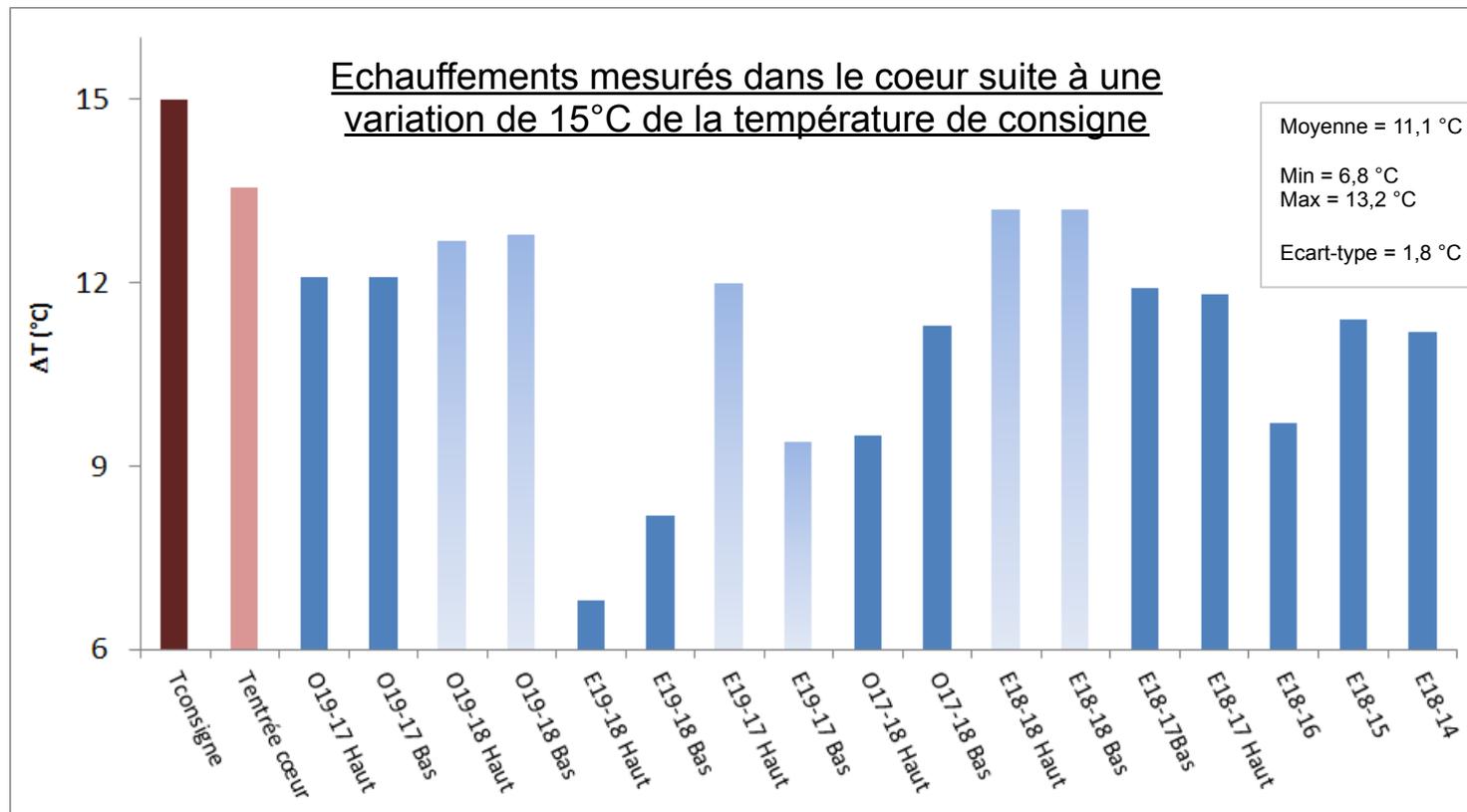
- Un nouvel outil de mesures à mettre en oeuvre pour le redémarrage de la maquette critique MASURCA

- Nécessité de réduire les incertitudes expérimentales
 - *les performances des outils de calcul ont très largement progressé mais les réacteurs de recherche sont restés les mêmes*

- Un plan de travail sur trois axes
 - *l'amélioration des techniques et des chaînes de mesure et des méthodes d'extraction des grandeurs d'intérêt*
 - *la prise en compte des incertitudes technologiques*
 - *la maîtrise des conditions de réalisation des expériences (bilan matière, température, hygrométrie,*

■ Un système insuffisant au regard des exigences actuelles et futures

- Pas de principes bien établis pour répartir les capteurs dans le coeur
- Un nombre limité d'assemblages surveillés (<< 50 %)
- Des résultats pas toujours aisément interprétables
- **Incertitude, sur le coefficient de température, estimée à 20%**



- Etudier la faisabilité d'un système de mesure des températures à base de capteurs optiques à réseaux de Bragg
 - températures comprises entre 20 et 100°C, justesse de la mesure ~ 1°C
 - fluence ~ quelques 10^{15} n/cm²
 - échantillonnage ~ toutes les 10 s.

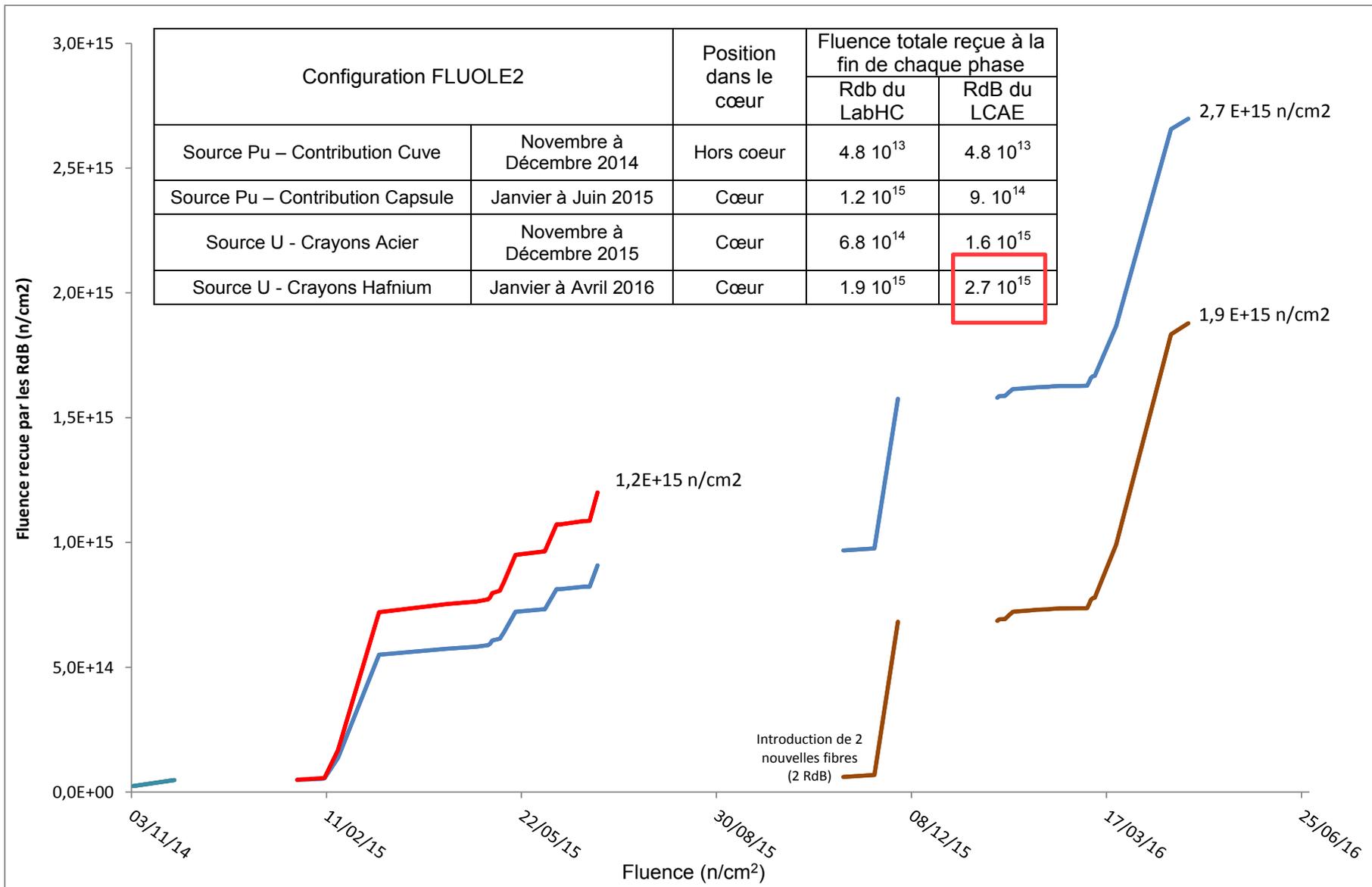
- Un projet à deux volets
 - 1 volet "**Irradiation dans la maquette critique EOLE**" ayant pour but final de sélectionner la fibre la plus adaptée au besoin MASURCA

 - 1 volet "**Essais sur un assemblage MASURCA**" visant à tester la faisabilité opérationnel de la mesure par FO dans des conditions représentatives
 - mise en place dans les tubes
 - comportement lors des opérations de manutention
 - connection/déconnection à distance

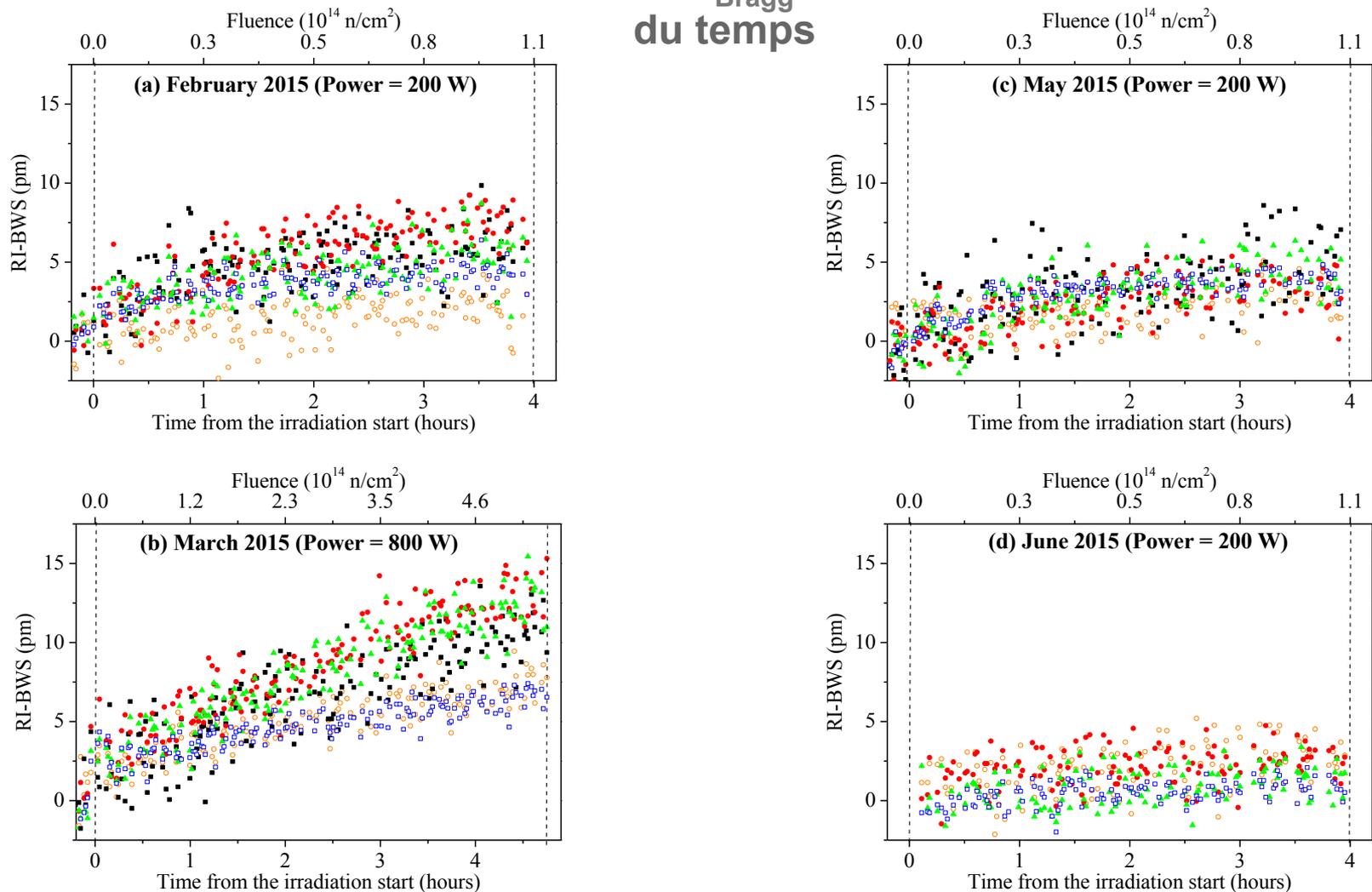
- Des partenaires experts dans la recherche et l'utilisation des fibres optiques en milieu radiatif (LabHC, CEA Tech/List, DEN/DPC/SEARS)

- **Mesures à température régulée** ($20 \pm 0,1$ °C), sonde PT100 comme capteur de référence
- Vingt réseaux de Bragg fournis par le LabHC (4 RdB/4 fibres) et le LCAE (16 RdB/4 fibres)
- Acquisitions en ligne (1 mesure toutes les minutes) avec une résolution de 1 pm (équivalent à une variation de 0,1 °C)
- Fluence maximale recue par les réseaux : quelques 10^{15} n/cm²

Volet 1 : Irradiations dans EOLE

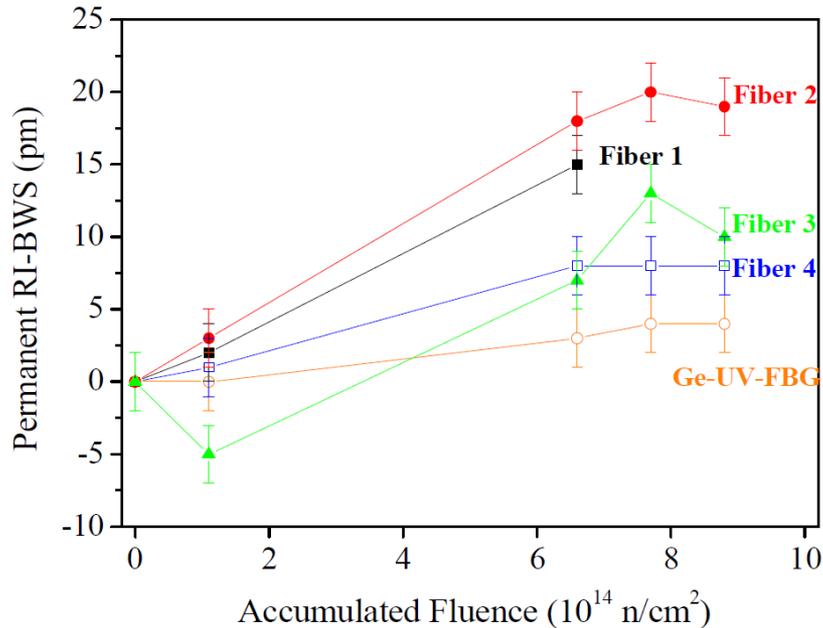


Volet 1 : Irradiations dans EOLE

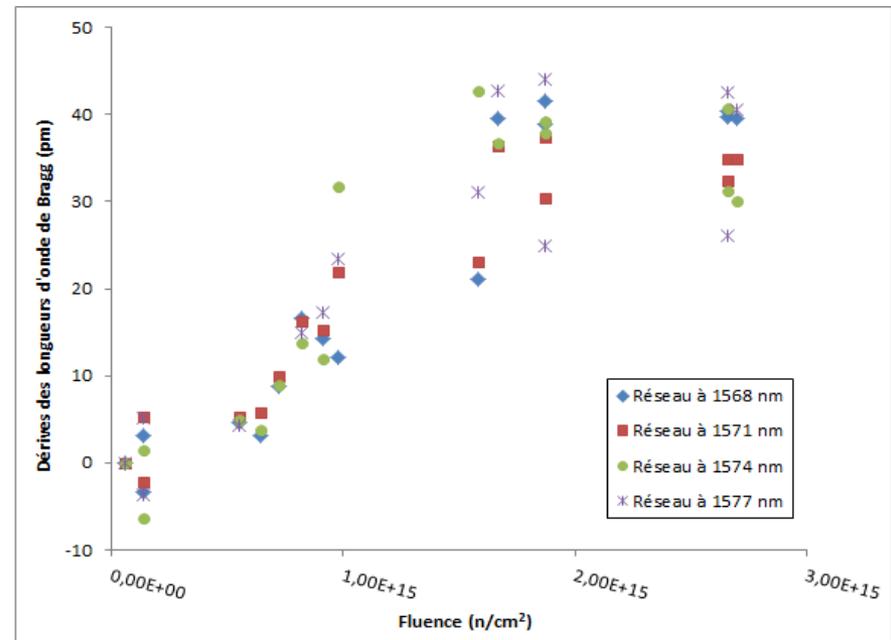
Dérive des λ_{Bragg} au cours du temps

Décalages permanents des longueurs d'onde de Bragg en fonction de la fluence totale reçue par les réseaux

Résultats intermédiaires au 09/06/2015



Résultats complets pour les réseaux à 1568, 1571, 1574 et 1577 nm



A. Morana & al., "Irradiation campaign in the EOLE critical facility of fiber optic Bragg gratings dedicated to the online temperature measurement in zero power research reactors".
A paraître dans TNS (DOI 10.1109/TNS.2016.2618906)

SYNTHÈSE

- Effet de l'irradiation équivaut à une variation de température de 4 °C (au maximum) pour une fluence d'environ $3 \cdot 10^{15}$ n/cm²
- En première analyse, **n'importe quelle fibre convient pour le besoin MASURCA**
- Résultats présentés à ANIMMA 2015 et publiés prochainement dans Transactions on Nuclear Science

■ Différentes questions à considérer

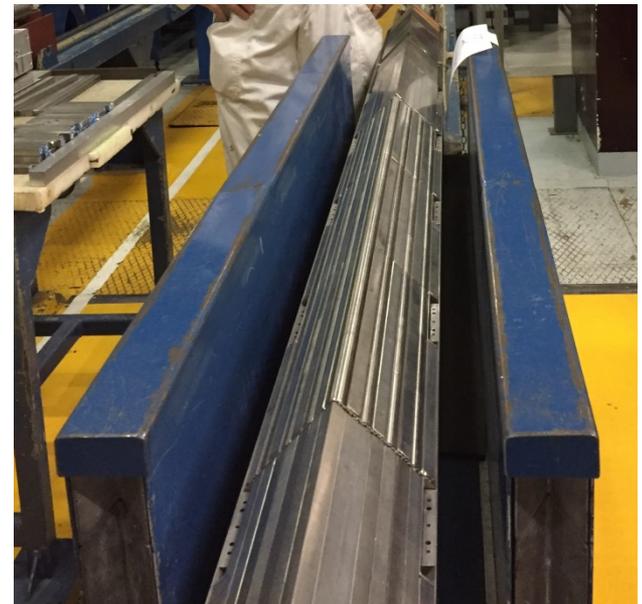
- Nature de la FO à utiliser (fibre protégée par une gaine métallique ϕ 1 mm)
- Mise en place dans le tube
- Contraintes éventuelles sur les fibres lors des opérations de manutention
- Connexion à distance au système d'acquisition

■ Assemblage d'essai représentatif (masse d'environ 180 kg, géométrie interne similaire à celle d'un assemblage combustible)

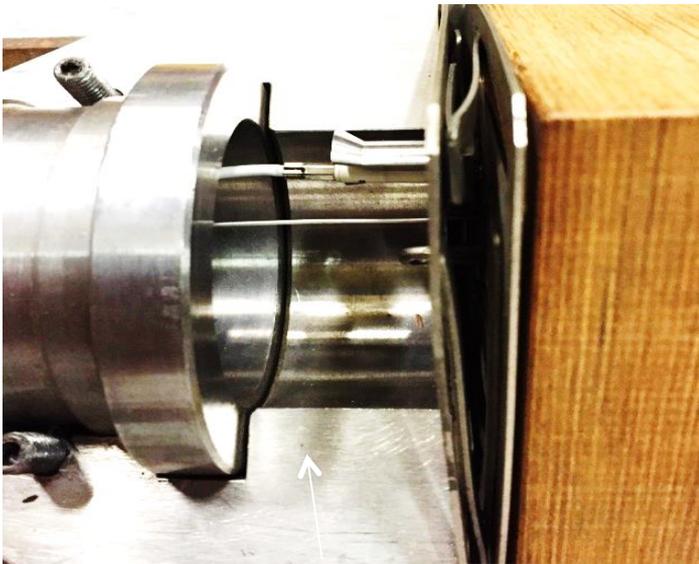
■ Essais de déverminage semaines 18 et 19

■ Essais avec nos partenaires semaine 23

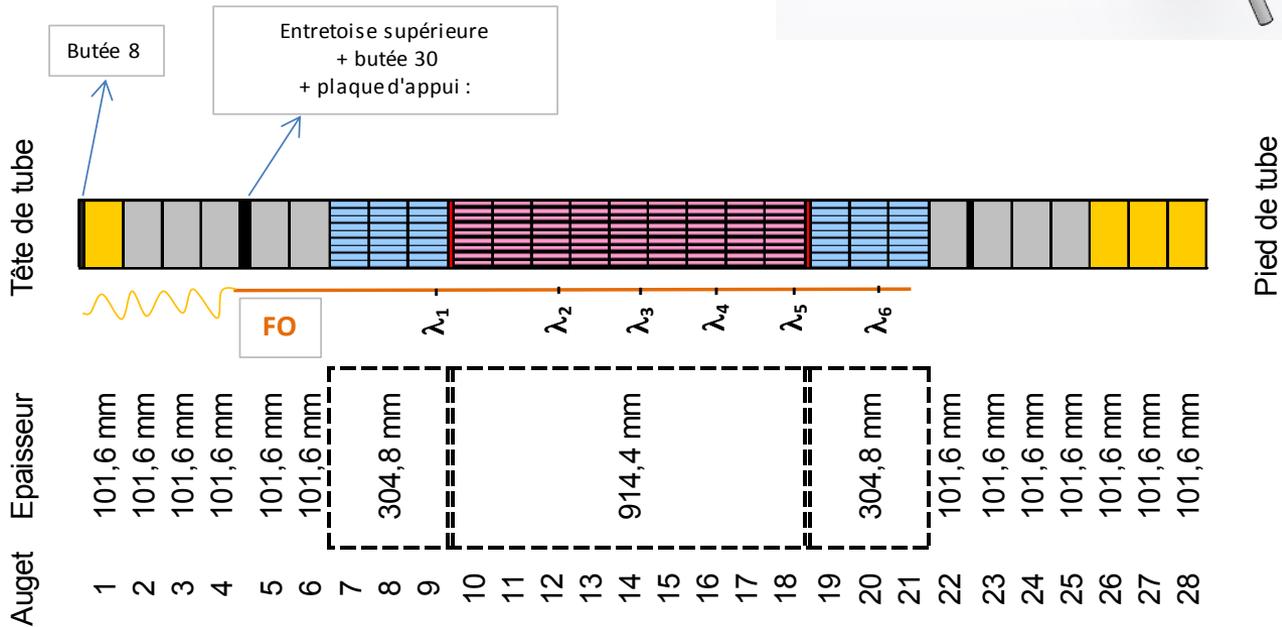
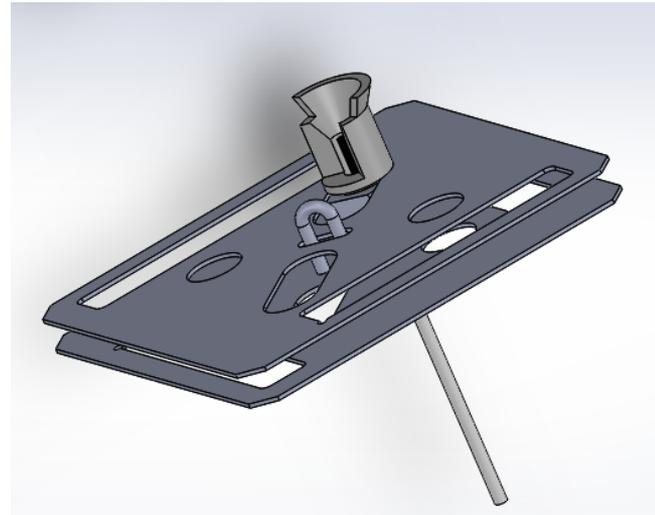
■ Essai en température complémentaire semaine 24



Volet 2 : essais sur un tube MASURCA



Demi-tulipe pour connexion entre la fibre de mesure et la fibre de transmission



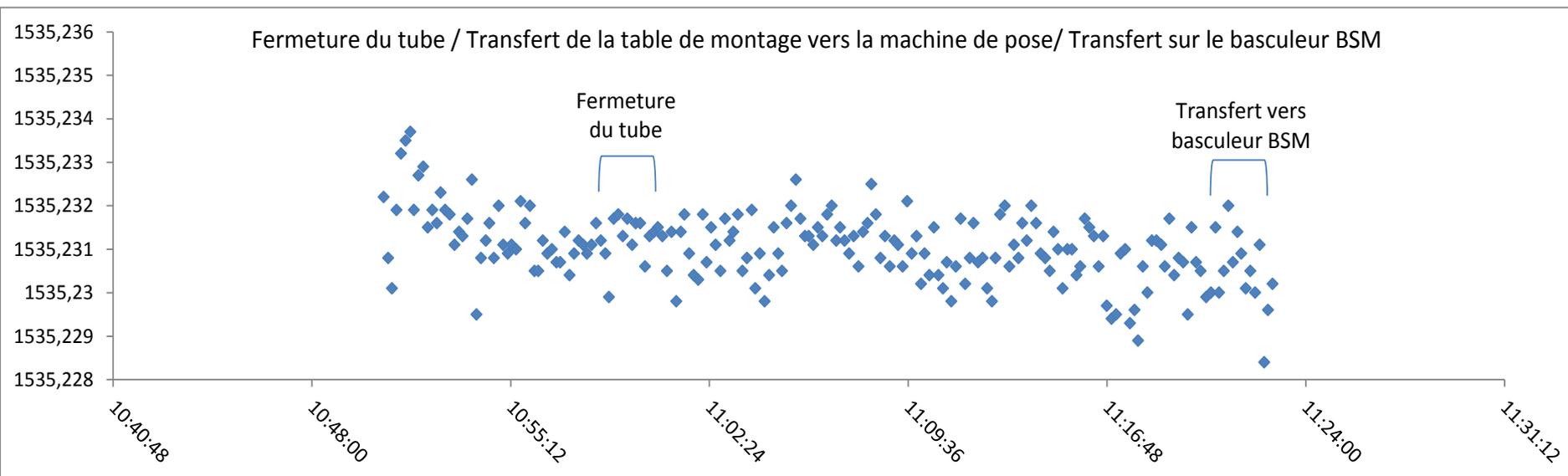
Mesures pendant les opération de manutention

- BSM [- lors du passage de la table de montage vers la machine de pose/dépose
- lors du transfert de la machine pose/dépose vers le basculeur SCM
- BR [- lors de la montée du basculeur BR



Mesures sur le circuit de manutention

- BSM [- lors du passage de la table de montage vers la machine de pose/dépose
 - lors du transfert de la machine pose/dépose vers le basculeur SCM
- BR [- lors de la montée du basculeur BR

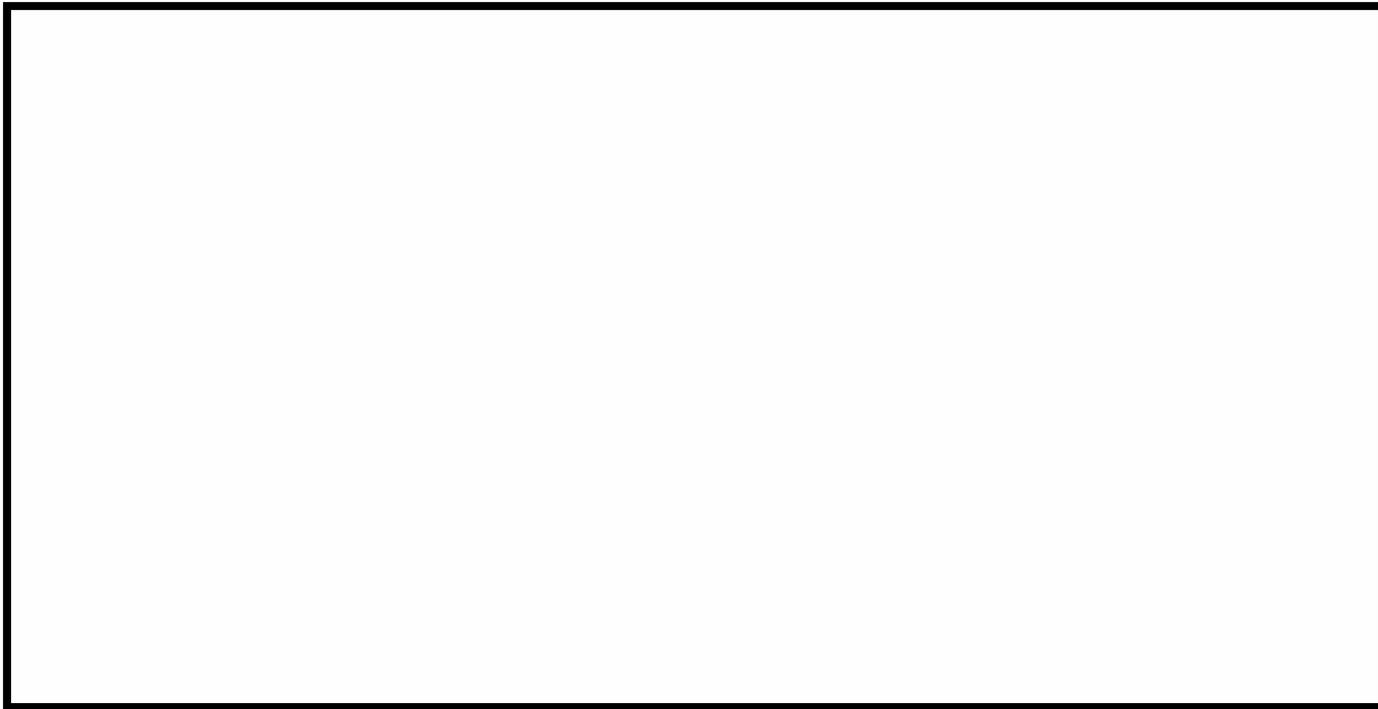


Pas d'effet observable

■ Mesures sur le circuit de manutention

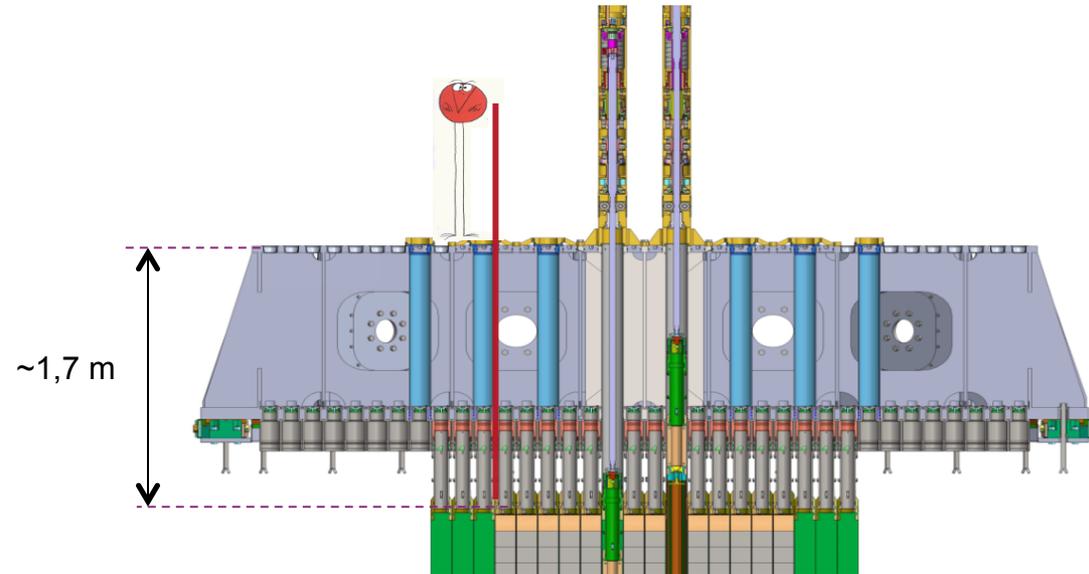
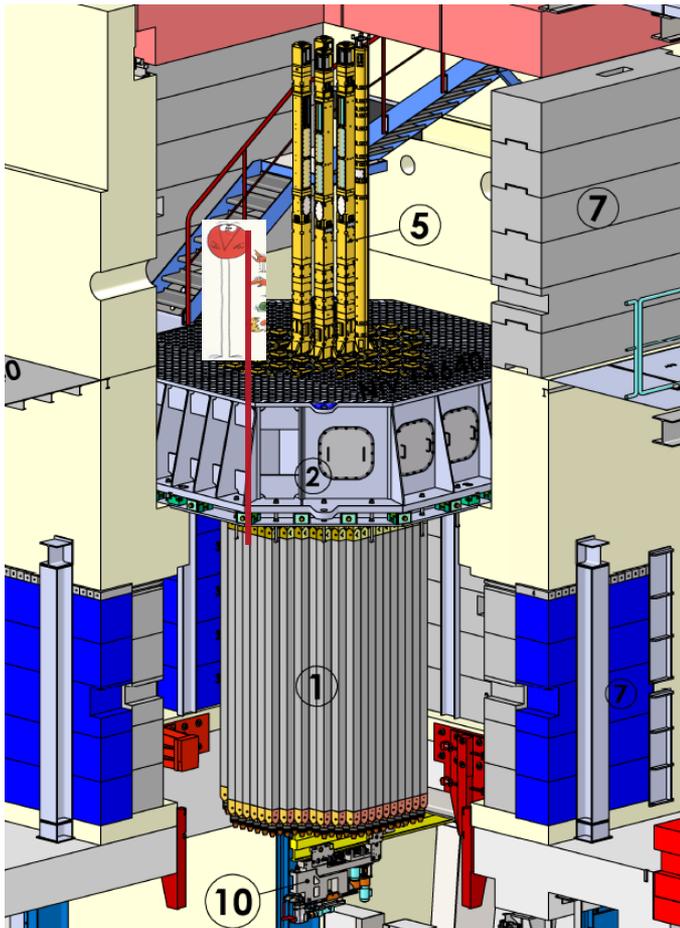
BSM [- lors du passage de la table de montage vers la machine de pose/dépose
- lors du transfert de la machine pose/dépose vers le basculeur SCM

BR [- **lors de la montée du basculeur BR**



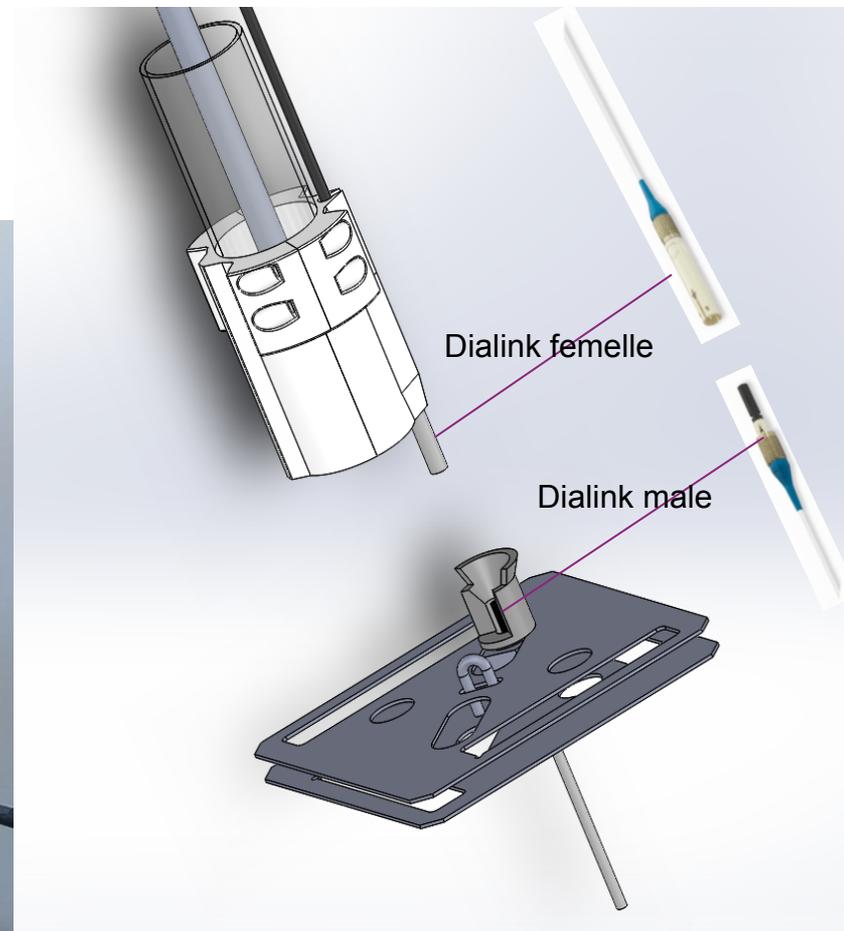
Pas d'effet
observable

■ Connexion à la fibre de transmission



■ Connexion à la fibre de transmission

- Utilisation d'une sonde vidéoendoscopique
- Connexion Dialink "push-pull"



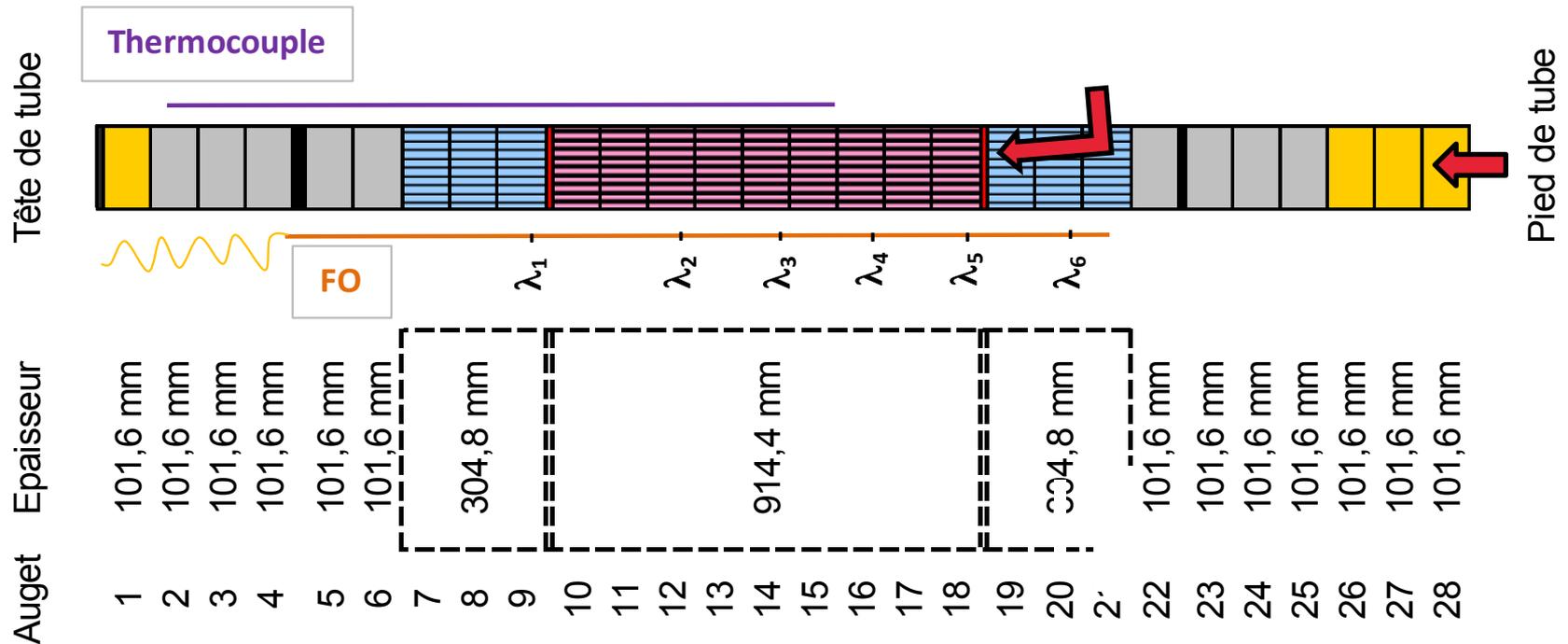
■ Connexion à la fibre de transmission



Le système a été pris en main par un membre du groupe exploitant en quelques secondes

SYNTHÈSE

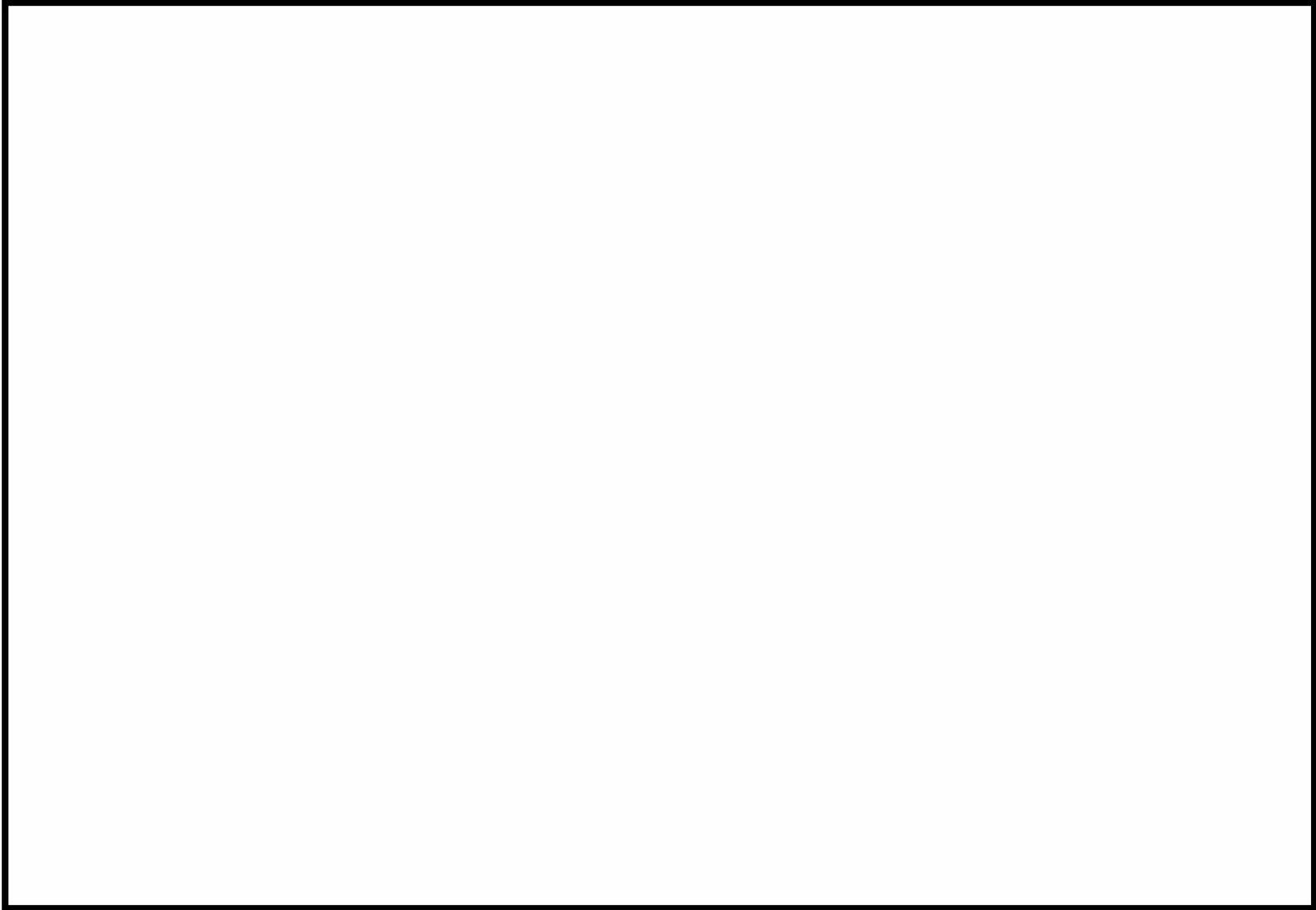
- **Mise en place : position de la “tulipe” à réétudier**
- **Phases de manutention : le signal optique réfléchi par les réseaux de Bragg ne subit pas d’altérations**
- **Connexion à distance : résultats satisfaisants (système pris en main par un exploitant en quelques secondes)**

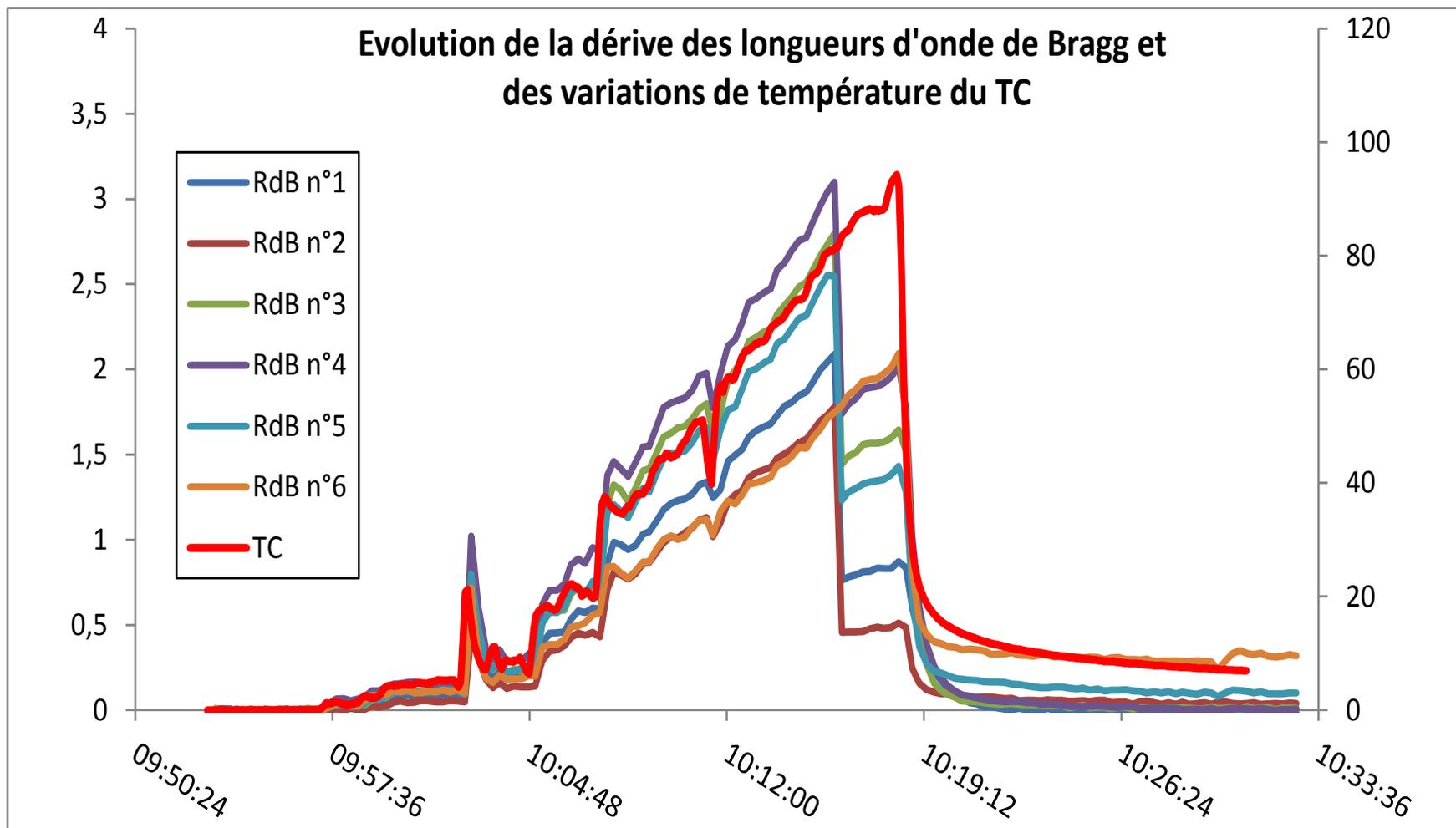


■ **Dispositif expérimental légèrement modifié pour prendre en compte l'inertie thermique des tubes**

- Canal de ventilation introduit aussi dans la partie simulant le milieu fissile
- Réseaux de Bragg et TC de référence placés dans ce canal
- Chauffage à partir du bas de la zone fissile (réflecteur inférieur partiellement retiré)

Volet 2 : Essais de chauffe





- La faisabilité de la mesure de température par réseaux de Bragg dans MASURCA a été démontrée

- Sa mise en œuvre dans les conditions correspondant à l'exploitation normale de l'installation doit être maintenant étudiée et le cout associé chiffré

	<p style="text-align: center; border: 1px solid red; padding: 5px;">DIFFUSION RESTREINTE</p> <p style="text-align: center; font-size: small;">Ne pas diffuser sans autorisation de l'émetteur</p>	
	<p style="text-align: center;">Note technique CEA/DEN</p>	<p style="text-align: right;">Page 1/38</p>

Direction de l'Energie Nucléaire
 CEA de Cadarache
 Département d'Études des Réacteurs
 Service de Physique Expérimentale
 Laboratoire des Programmes Expérimentaux

**Compte rendu des expériences menées dans le cadre
 du projet SOMETIME**

F. Mellier⁽¹⁾, S. Amiroli⁽²⁾, A. Boukenter⁽³⁾, G. Cheymol⁽⁴⁾, G. Chichereau⁽¹⁾,
 J. Di Salvo⁽¹⁾, C. Destouches⁽¹⁾, S. Girard⁽³⁾, A. Gruel⁽¹⁾, G. Laffont⁽²⁾, E. Marin⁽³⁾,
 A. Morana⁽³⁾, Y. Ouerdane⁽³⁾, R. Pradelles⁽¹⁾

(1) CEA/DEN/CAD/DER/SPEX
 (2) (4) CEA/DRT/LIST/DM2/LCAE
 (3) Laboratoire Hubert Curien – Université de Saint Etienne
 (4) CEA/DEN/DANS/DPC/SEARS/LISL

SPEX/LPE/NT/2016/n°indice

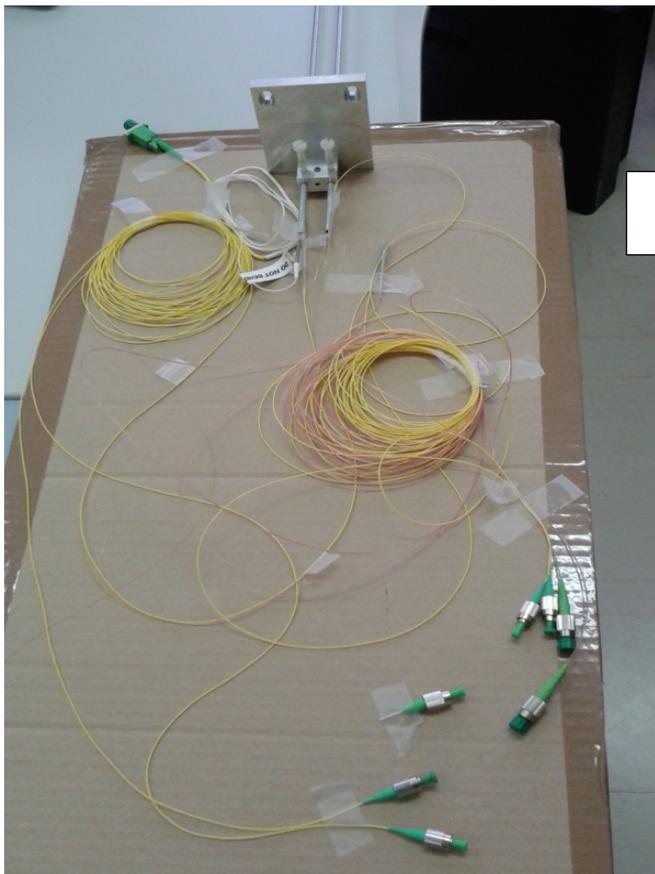
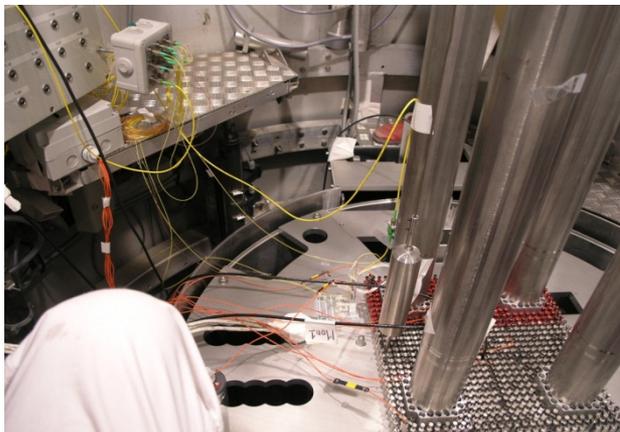
Document émis dans le cadre de l'accord
 <Convention générale NEEDS et
 convention spécifique PF « Systèmes nucléaires et scénarios »>

Modèle de document technique
 Formulaire 00SYQN200FI0072 indice B

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
 Centre de Cadarache – SPEX/LPE – Bâtiment 238
 Tél. : 33 – 04 42 25 79 62 – Fax : 33 – 04 42 25 79 79 – spexlpe@cea.fr
 Etablissement public à caractère industriel et commercial
 R.C.S. PARIS B 775 685 019

Classement GED : XX.XX.XX

Réf du modèle : 00SYQ N200 FI0072 Ind B. Révision mai 2012.
 Document propriété du CEA – Reproduction et diffusion externes au CEA soumises à l'autorisation de l'émetteur
 Document émis par le CEA dans le cadre de l'accord XXXX – Reproduction et diffusion soumises aux termes de l'accord



Des questions ???

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Cadarache | 13115 Saint-Paul-les-Durance Cedex
T. +33 (0)4 42 25 79 62 | F. +33 (0)4 42 25 78 76
Établissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775
685 019

Direction de l'Énergie Nucléaire
Département d'Études des Réacteurs
Service de Physique Expérimentale
Laboratoire des Programmes Expérimentaux

Pour un paramètre donné, réduction de l'incertitude de calcul apportée par une unique expérience (théorie)

Représentativité
(mesure du rapprochement, des sensibilités aux DB, de l'expérience et de l'application réacteur)

$$\left(\frac{\varepsilon'_A}{\varepsilon_A} \right)^2 = 1 - \frac{r_{AE}^2}{1 + \frac{\eta_E^2}{\varepsilon_E^2}}$$

Réduction de l'incertitude de calcul associée à l'application réacteur

Incertitude expérimentale

Incertitude de calcul associée à l'expérience

- Action lancée dans le cadre de l'appel à projet **NEEDS 2014**

- Hébergée (au CEA) par le projet **INSNU**

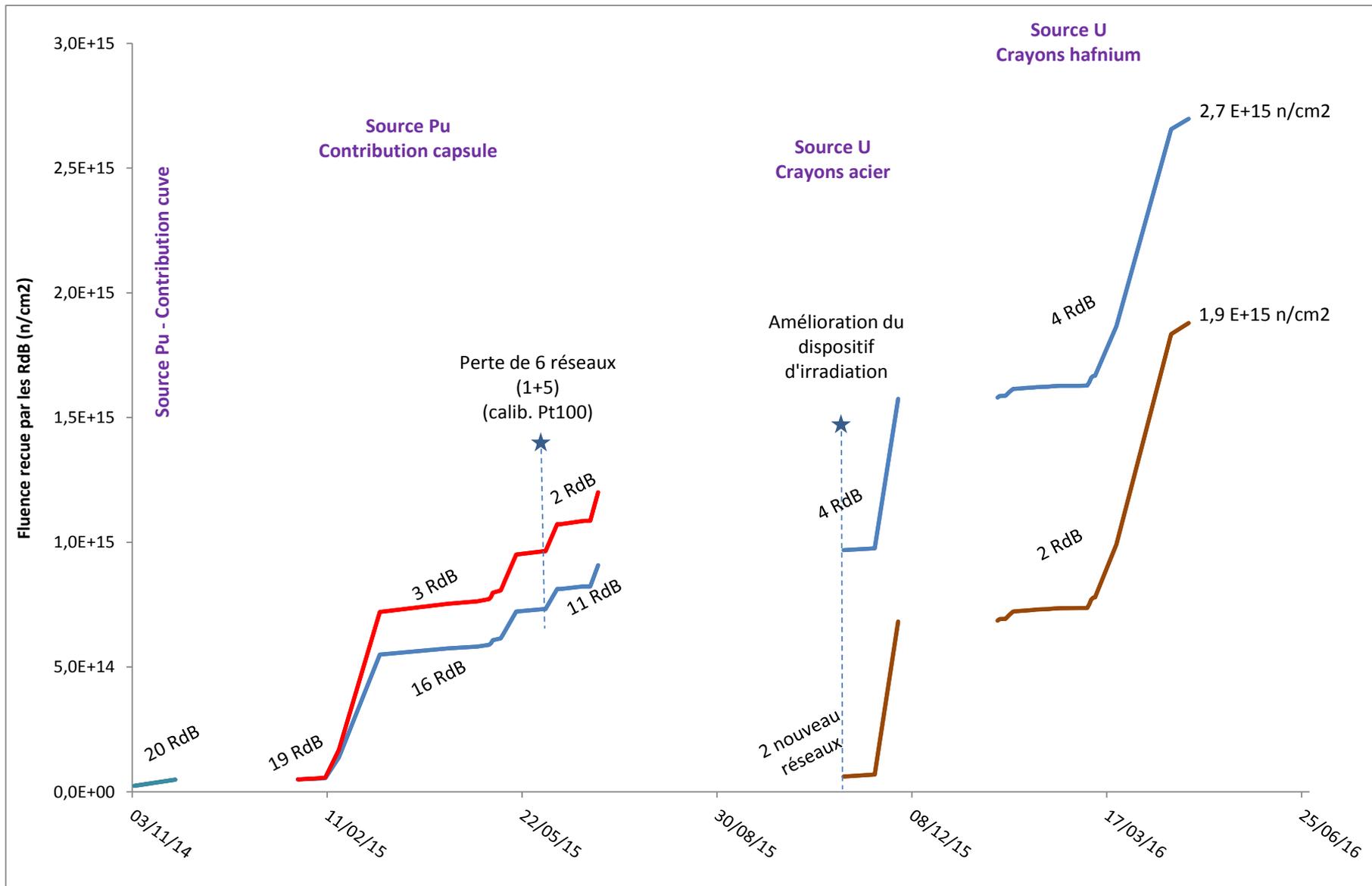
- **Partenaires**
 - **UMR CNRS 5516 (Laboratoire Hubert Curien de l'université de Saint-Etienne)**
 - Fab. FBGs durcis, analyse des mesures, caractérisation post-mortem, compréhension des mécanismes induits à l'échelle microscopique sous irradiation

 - **CEA/DRT/SAC/Département Métrologie Instrumentation et Information/Laboratoire Capteurs et Architectures Electroniques**
 - Fab FBGs durcis, électronique de mesures

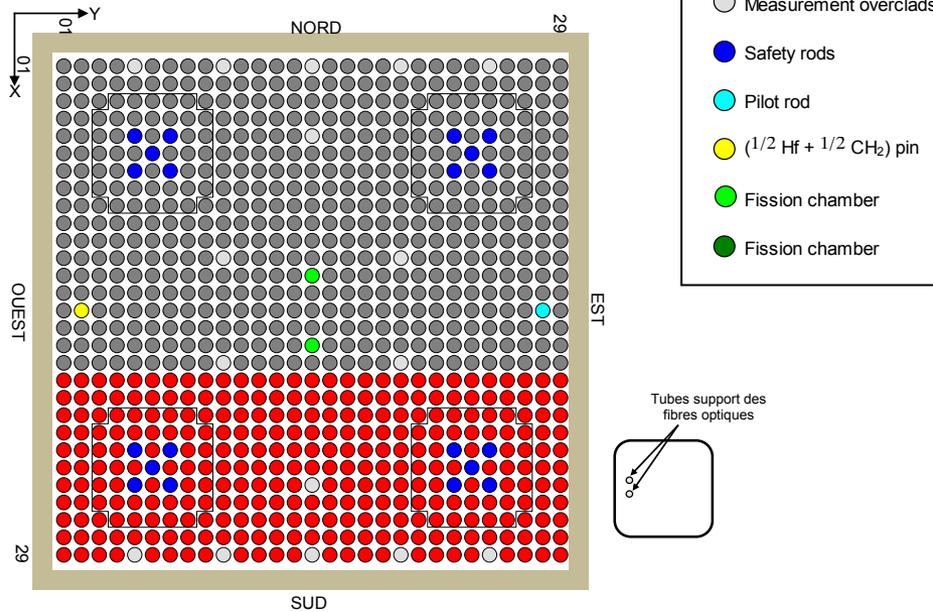
 - **CEA/DEN/DANS/Département de Physico-Chimie/Service d'Etudes Analytiques et de Réactivité des Surfaces/Laboratoire d'Ingénierie des Surfaces et des Lasers**
 - Utilisation des FBG en milieu radiatif, interfaces entre le capteur et le DAQ, analyse des mesures

 - **SPEX (L2EM, LREM, LPE)**
 - Exploitant et utilisateur des 3 maquettes critiques du CEA,

Volet 1 : Irradiations dans EOLE

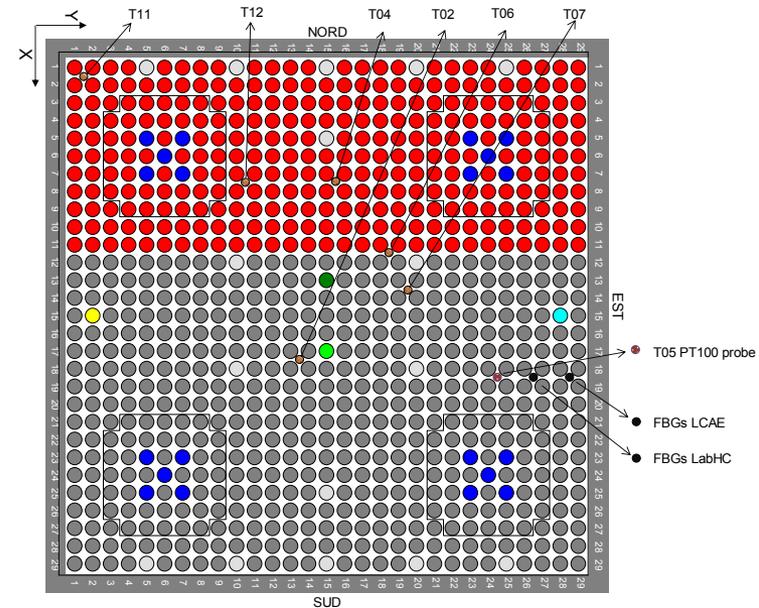


2014 : novembre et décembre



$$\phi_{\max.} \sim 1.7 \cdot 10^9 \text{ n.cm}^2.\text{s}^{-1} \quad (\text{à } 200 \text{ W})$$

2015 : janvier à juillet



$$\phi_{\max.} \sim 7.7 \cdot 10^9 \text{ n.cm}^2.\text{s}^{-1} \quad (\text{à } 200 \text{ W})$$

■ A la fin du programme (juillet 2015)

- fluence totale > $1,1 \cdot 10^{15} \text{ n.cm}^2$

- dose gamma $\sim 4 \text{ kGy}$

($\sim 45 \%$ de flux rapide : $E_n > 0,1 \text{ MeV}$)