

**IRSN**

INSTITUT  
DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

*Faire avancer la sûreté nucléaire*

# Comparaisons en dosimétrie des neutrons Calculs MCNPX, mesures opérationnelles et spectrométrie

Michaël PETIT, Véronique LACOSTE,  
Vincent GRESSIER

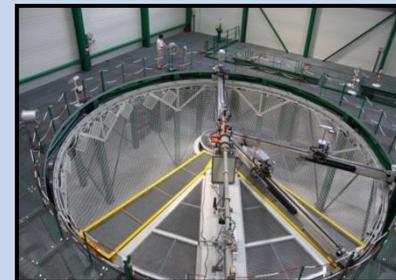
*IRSN/PSE-SANTE/SDOS/LMDN*

*Cadarache - France*

Congrès SFRP

Codes de calculs

2 Février 2018- Sochaux



# Présentation du LMDN

## Laboratoire de micro-irradiation, de métrologie et de dosimétrie des neutrons

- Laboratoire associé au LNE (institut national de métrologie) pour la métrologie des neutrons
- Une zone expérimentale de 300 m de rayon (STIRCA)
- Deux installations et quatre dispositifs expérimentaux dont trois de production de neutrons

### Zone STIRCA

Site Technique d'Irradiation miRcom Cezane Amande



AMANDE-MIRCOM



CEZANE



# Installations expérimentales du LMDN 1/2

## Installation CEZANE :

- Un irradiateur neutron avec des sources de  $^{241}\text{AmBe}$ , de  $^{252}\text{Cf}$  et de  $^{137}\text{Cs}$  (Van Gogh)
  - Référence primaire pour les grandeurs de fluence et d'équivalent de dose neutrons.
- Un accélérateur T400 (400 kV) à fort courant
  - Couplé avec le dispositif CANEL pour créer des champs réalistes
  - Couplé avec un bloc modérateur en graphite pour créer un champ thermique (en projet)

Accélérateur T400 avec CANEL



Irradiateur Van Gogh



# Installations expérimentales du LMDN 2/2

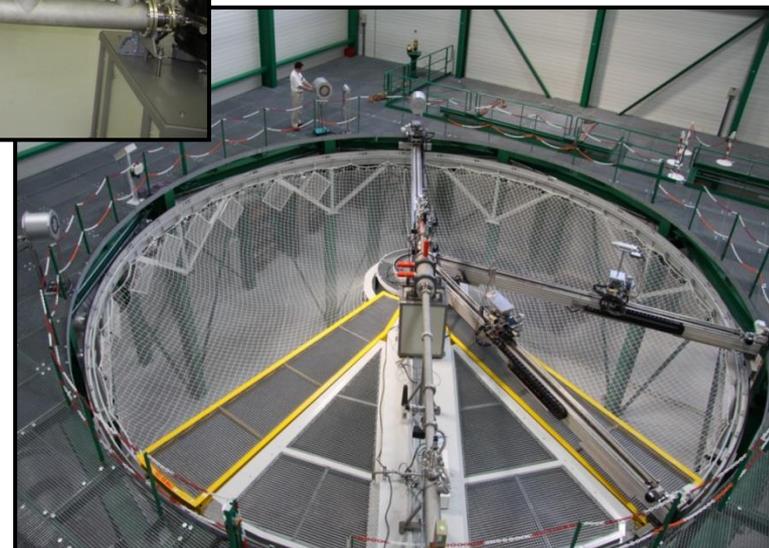
Installation AMANDE-MIRCOM : un accélérateur Tandetron de 2 MV qui alimente

- une ligne dédiée à la production de champ neutronique monoénergétique -> AMANDE (2004)
- une ligne dédiée à la micro-irradiation cellulaire -> MIRCOM (2016)



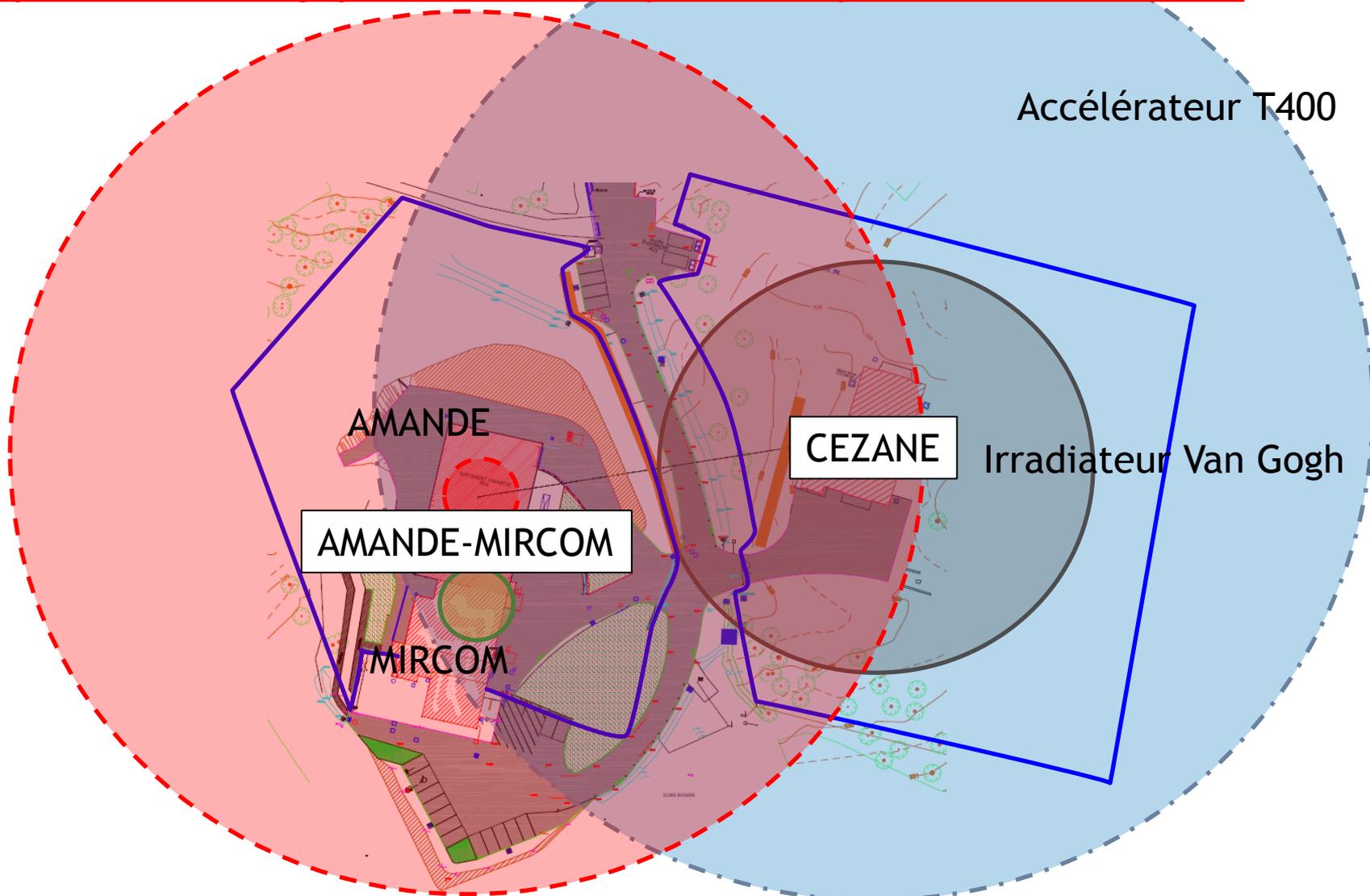
AMANDE

MIRCOM



# Impact radiologique et neutronique sur la zone STIRCA

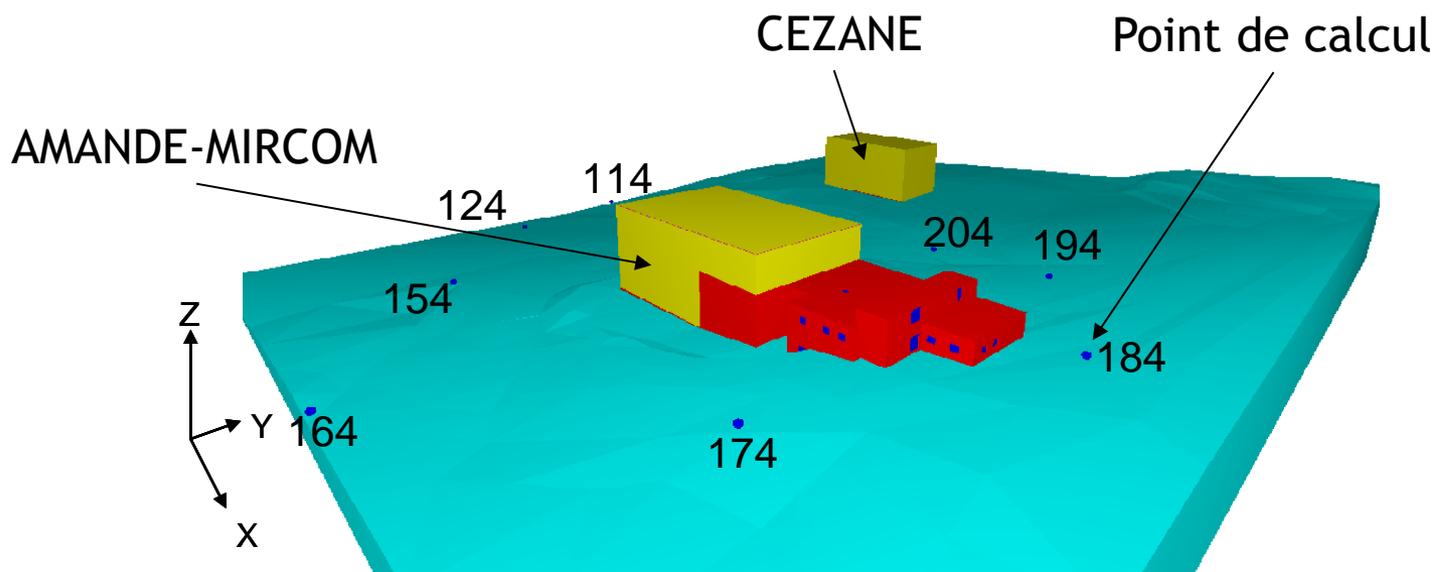
Pas de protection biologique autour des dispositifs de production de neutrons



# Modèle MCNPX de la zone STIRCA

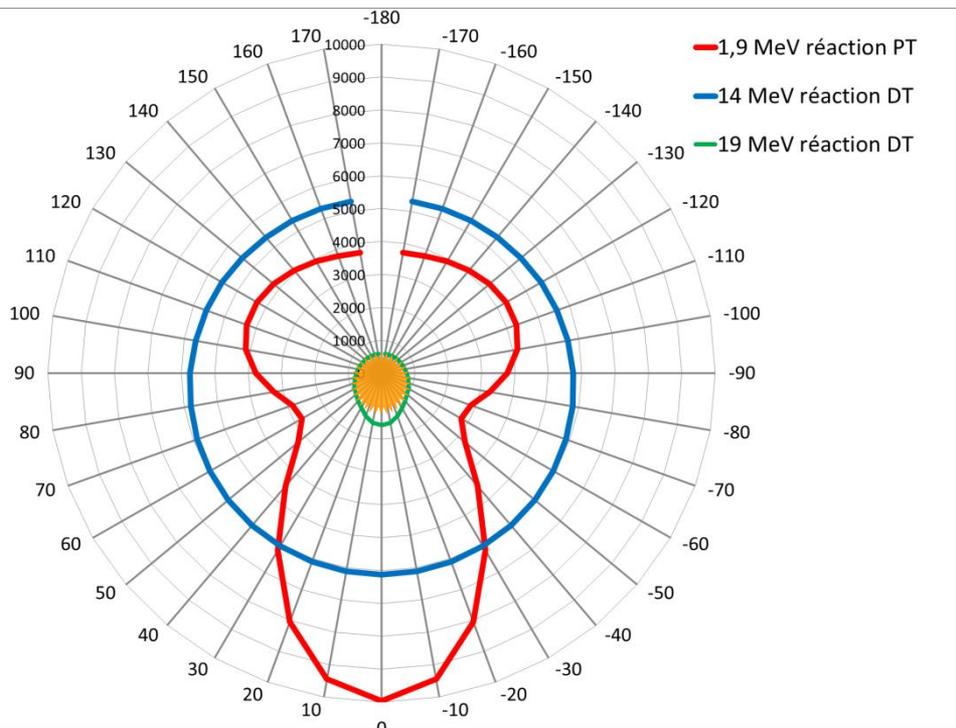
## Trois problématiques de modélisation traitées

- Modélisation des sources pour la production de neutrons par accélérateur
- Prise en compte de la topographie extérieure
- Détermination expérimentale de la composition des bétons des installations



Vue du modèle MCNPX réalisé

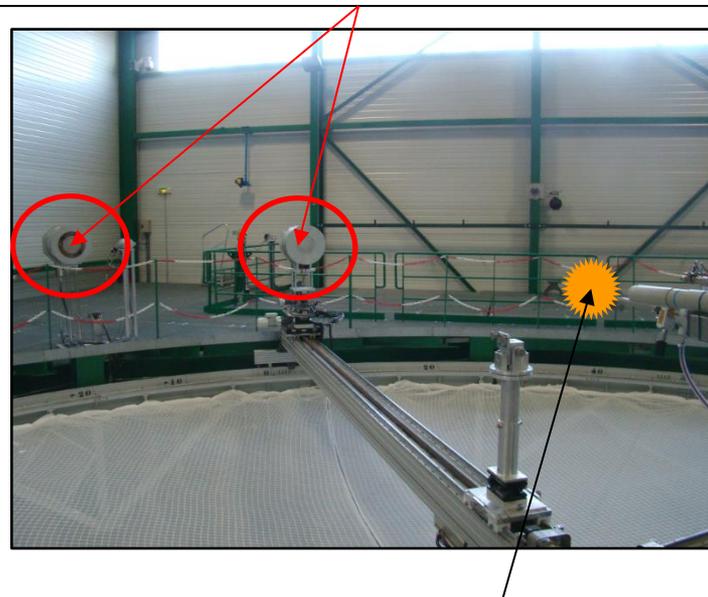
# Sources neutroniques par accélérateur



## Normalisation des sources

- Référence = long compteur
- Moniteurs

## Détecteurs pour la normalisation

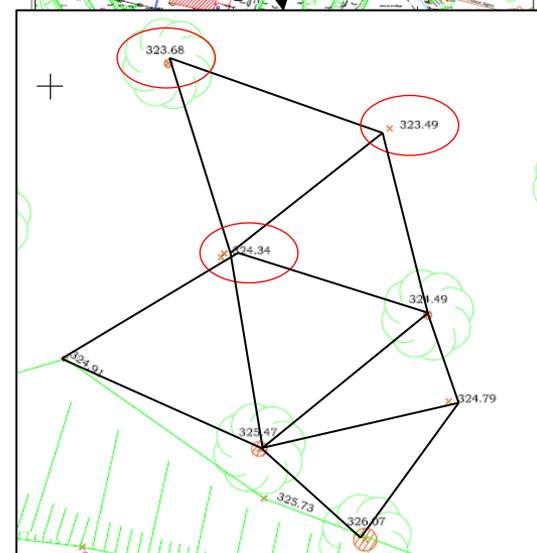
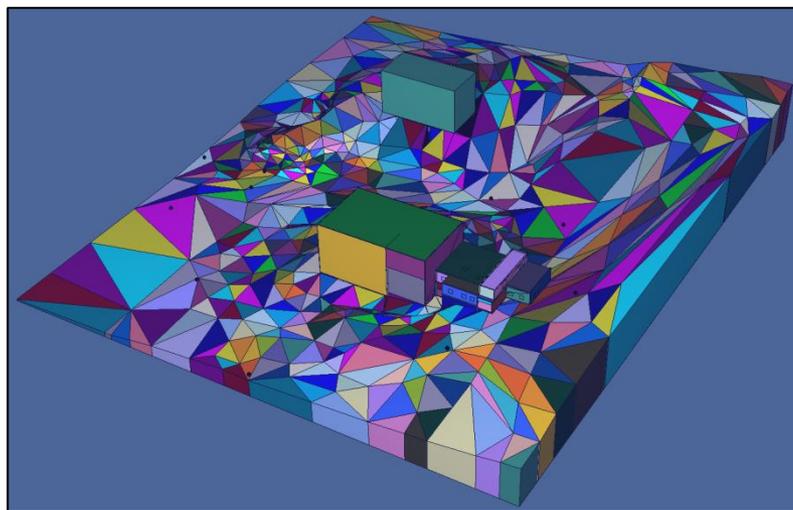
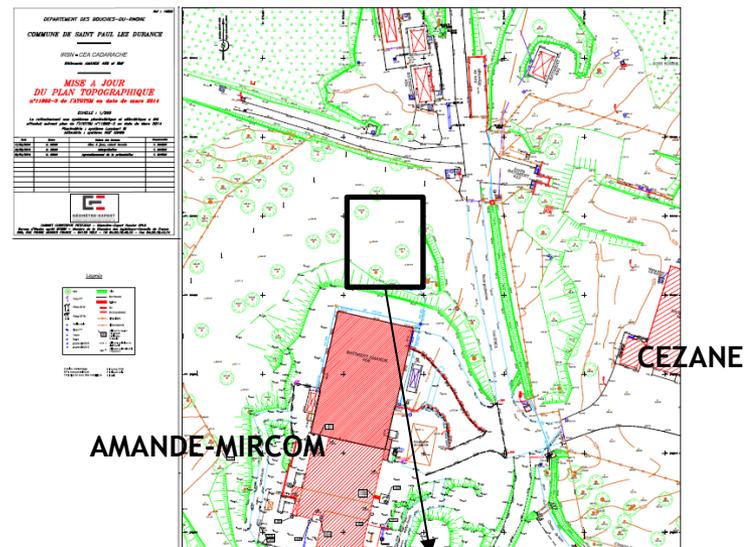


Source neutronique  
(cible accélérateur)

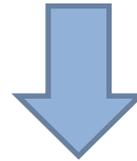
## Modélisation des sources

- Logiciel TARGET (PTB) + TARGET2MCNP (IRSN)
- Logiciel NeuSDesc (JRC-Geel)

# Modèle MCNPX - modélisation des extérieurs



# Modèle MCNPX - composition des bétons



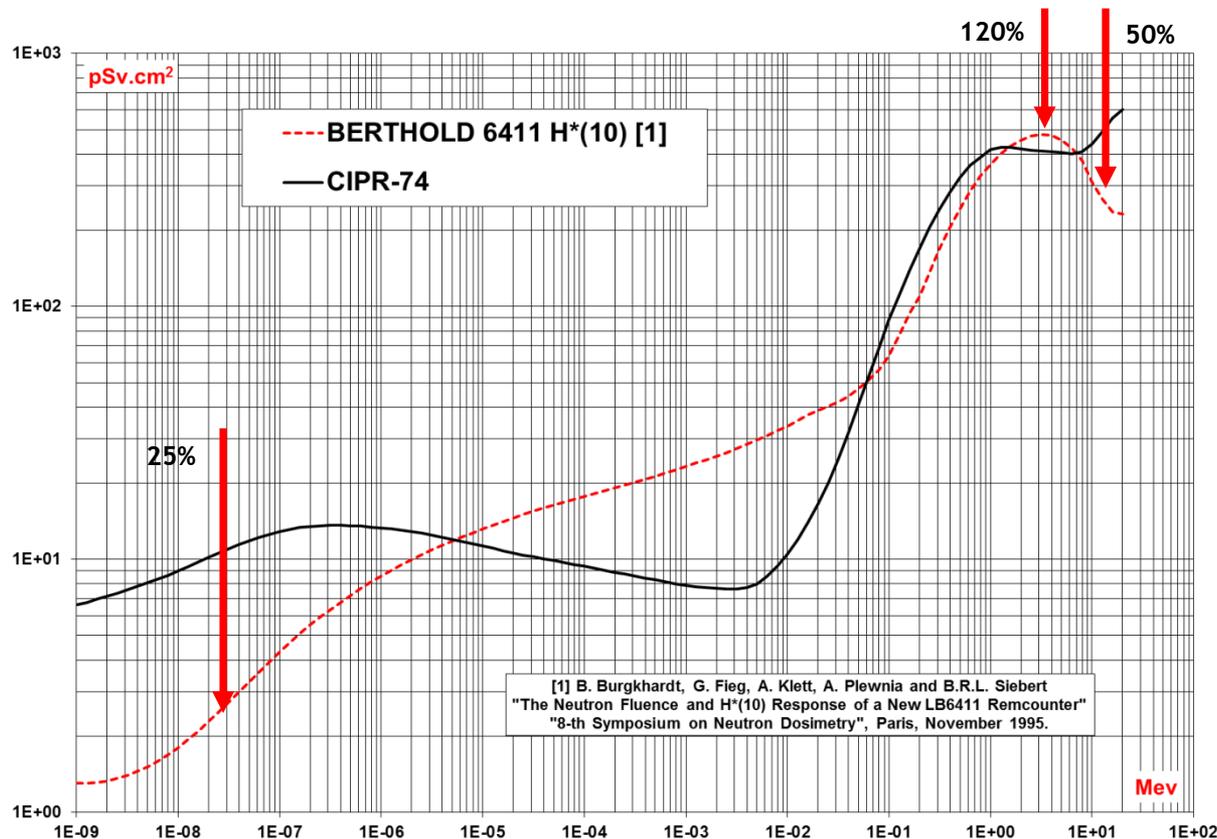
2016 2003

		MIRCOM	AMANDE
densité		2,3	2,3
Elément	Z	% massique	
H	1	0,86%	0,65%
B	5		
C	6	7,41%	6,40%
N	7	0,19%	0,20%
O	8	46,59%	45,83%
F	9		
Na	11		
Mg	12	0,51%	0,65%
Al	13	1,63%	1,73%
Si	14	7,08%	11,55%
P	15		
S	16	0,21%	0,17%
K	19	0,38%	0,38%
Ca	20	34,13%	31,30%
Ti	22	0,10%	0,10%
Mn	25	0,03%	0,03%
Fe	26	0,83%	0,83%
Zn	30	0,00%	0,00%
Ba	56		

# Moyens de mesure de débit d'équivalent de dose

## ■ Radiamètre neutron Berthold LB6411

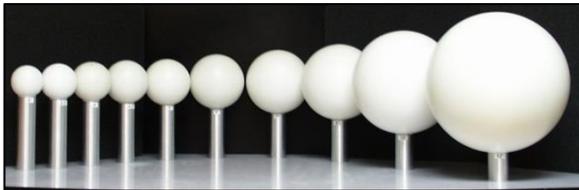
- Version mobile et fixes (balises)
- Incertitude minimale de 15%



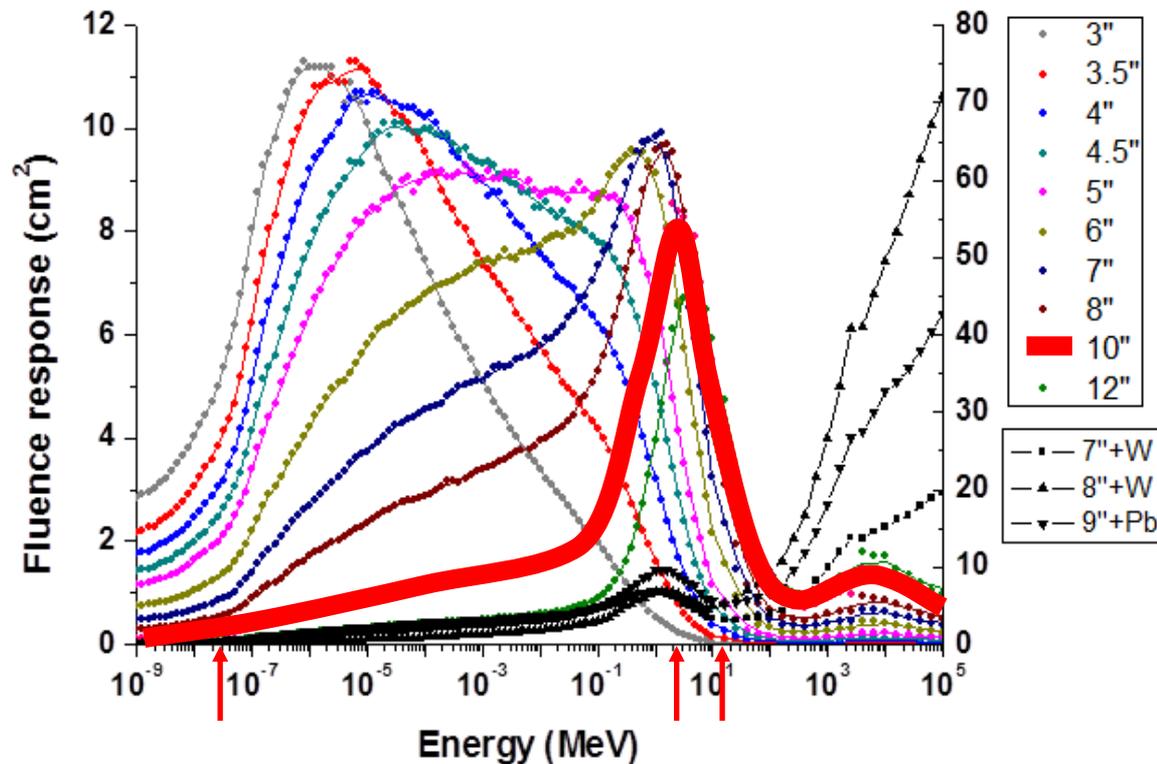
# Spectrométrie des neutrons

## ■ Système de sphères de Bonner HERMEIS

- Sphères de polyéthylène de taille variable (jusqu'à 15") avec au centre un compteur  $^3\text{He}$
- Réponse dépendant de la taille de la sphère et de l'énergie incidente du neutron



Système de sphères de Bonner du LMDN



Fonctions de réponse évaluées pour les sphères de Bonner

# Configurations expérimentales

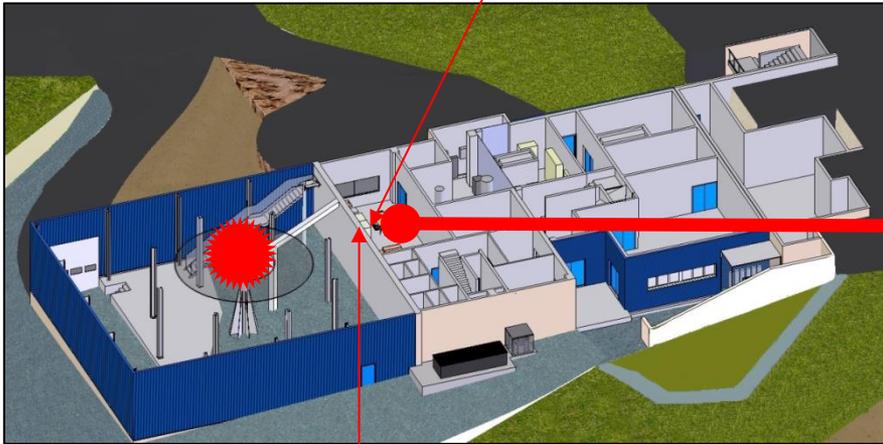
## Deux configurations

- Réaction “DD”  $d(^2\text{H}, ^3\text{He})n$  à 432 kV -> neutrons de 3,4 MeV à  $0^\circ$
- Réaction “DT”  $d(^3\text{H}, ^4\text{He})n$  à 432 kV -> neutrons de 15 MeV à  $0^\circ$

## Localisation des mesures

- Spectrométrie : Salle de commande d’AMANDE-MIRCOM
- Mesures radiamètres : diverses localisations

### Localisation de la spectrométrie

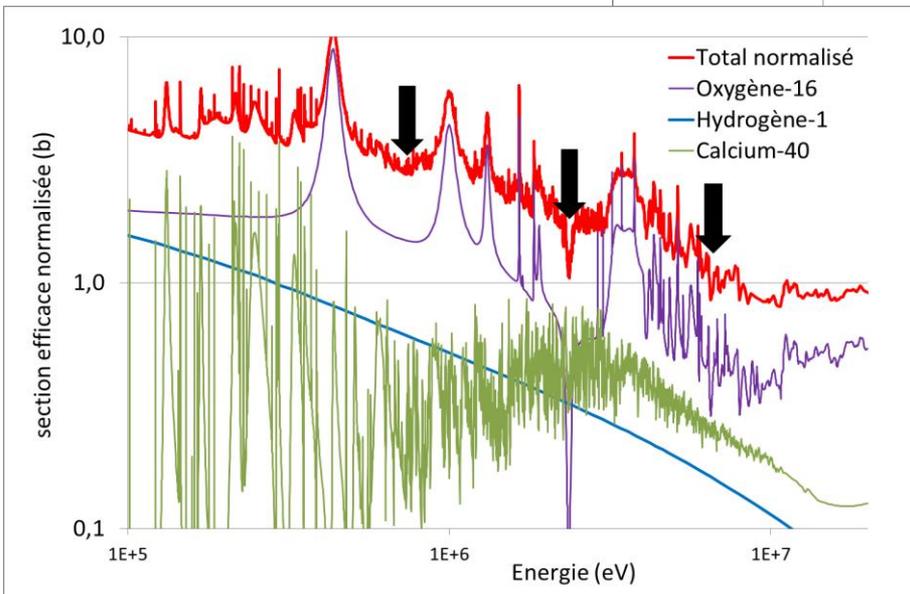
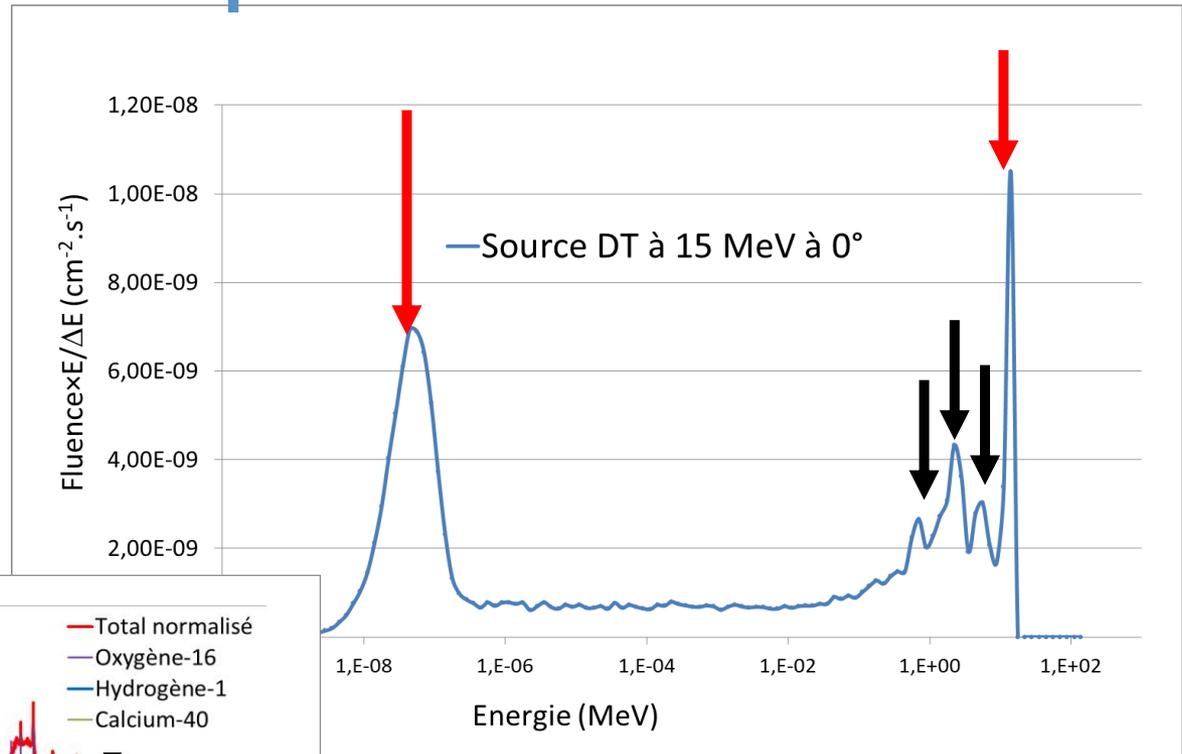


Mur béton de 40 cm d'épaisseur



Derrière la cloison

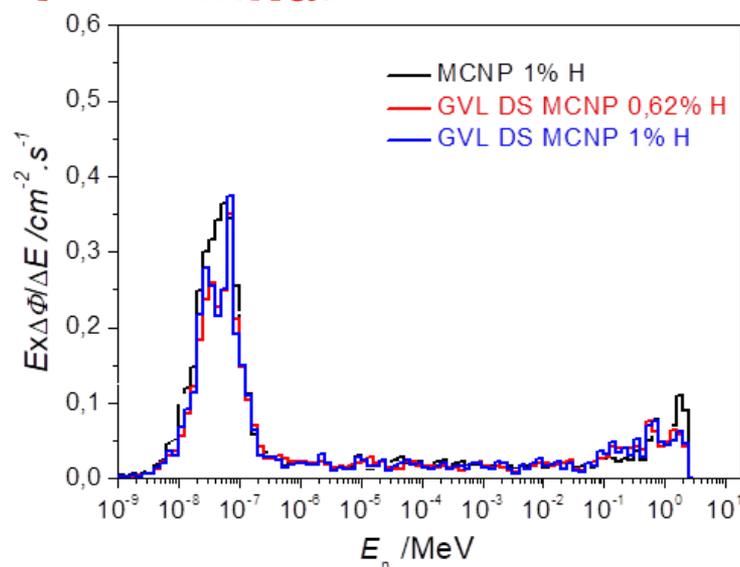
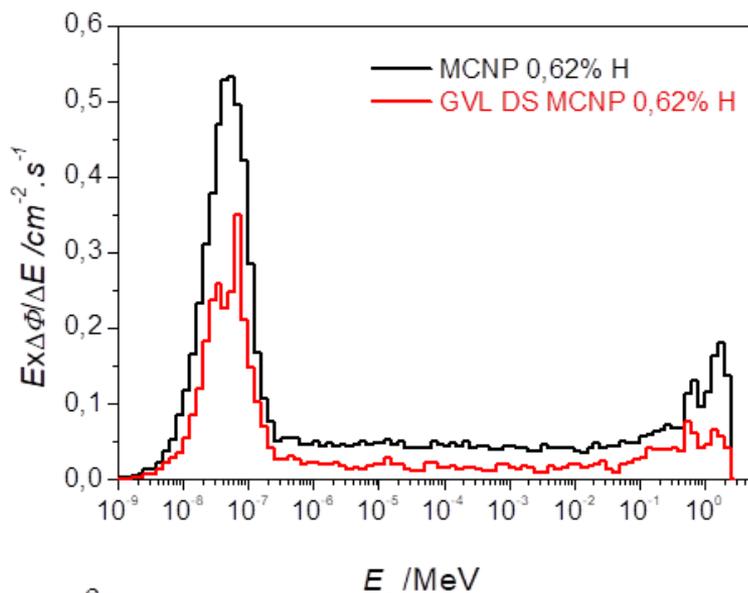
# Distribution théorique de la fluence



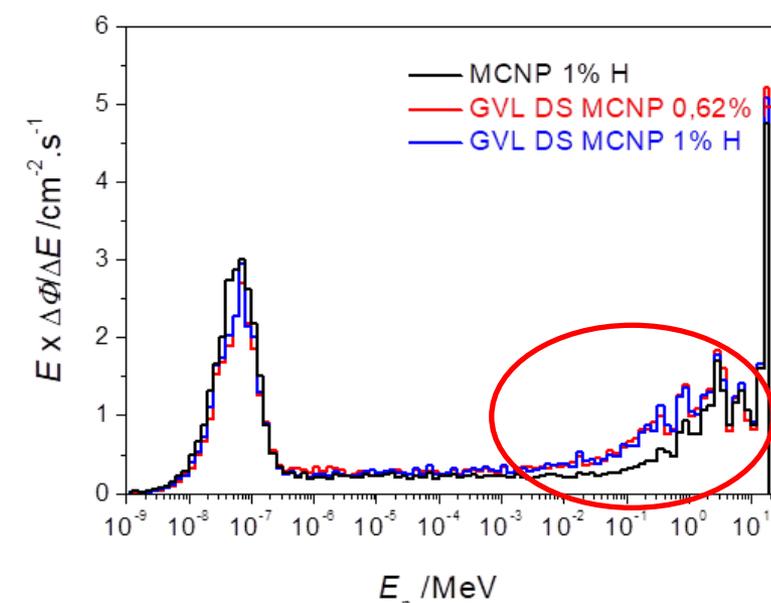
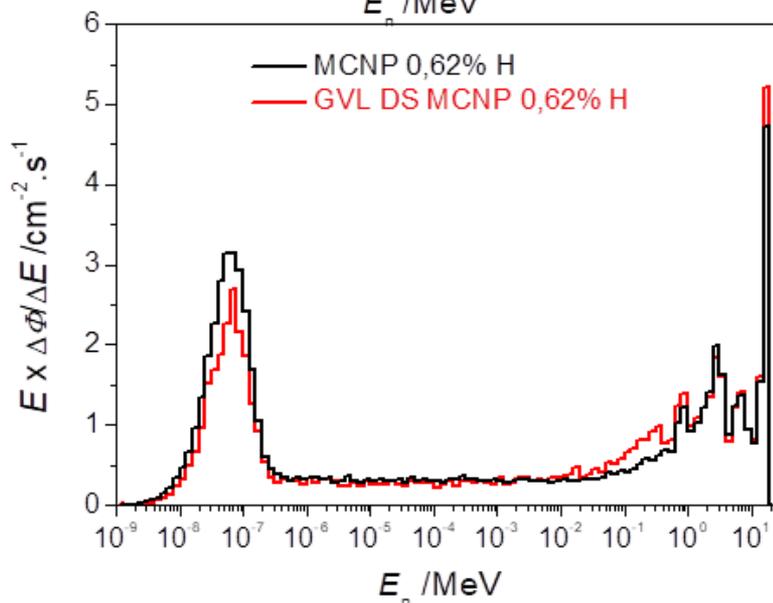
# Spectrométrie

## Résultats préliminaires

3,4 MeV à 0°



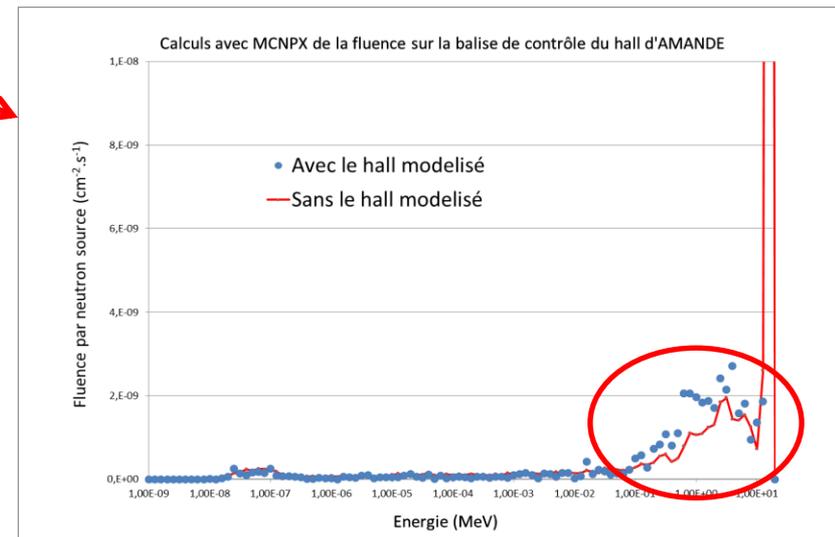
15 MeV à 0°



# Débit de dose et fluence



MCNPX CIPR « hall vide » : 68  $\mu\text{Sv/h}$   
 MCNPX Berthold « hall vide » : 36  $\mu\text{Sv/h}$   
 MCNPX Berthold « hall modélisé » : 44  $\mu\text{Sv/h}$   
 Mesuré Berthold : 58  $\mu\text{Sv/h}$



## Résultats préliminaires

3,4 MeV neutrons point d'expertise	fluence en ( $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Dose en $\mu\text{Sv/h}$
Calcul MCNPX ; 1% Hydrogène - d=2,2	1,30 ± 0,05	0,287 ± 0,015
HERMEIS ; déconvolution GRAVEL	0,998 ± 0,064	0,282 ± 0,016

15 MeV neutrons point d'expertise	fluence en ( $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	Dose en $\mu\text{Sv/h}$
Calcul MCNPX ; 1% Hydrogène - d=2,2	13,96 ± 0,40	8,19 ± 0,20
HERMEIS ; déconvolution GRAVEL	15,85 ± 0,87	8,88 ± 0,55

# Conclusions

## Un modèle MCNPX spécifique

- Utilisation de modélisations adaptées à une source de neutrons générée par accélérateur
- Modélisation des extérieurs de l'installation par une technique simple et efficace
- Détermination expérimentale de la composition des bétons

## Spectrométrie d'expertise

- Comparaison initiale : accord calcul/mesures pour la forme des spectres neutrons
  - Modélisation nécessitant :
    - de revoir la quantité d'hydrogène dans le béton !?
    - de prendre en compte hall complet (à venir)
  - Afin d'obtenir :
    - une amélioration de l'accord à 3,4 MeV et 15 MeV

## Perspective

- Mesures à très faible débit de dose ( $< 0,1 \mu\text{Sv/h}$ ) avec le spectromètre neutrons HERMEIS
- Mise à jour du modèle global de MCNPX
  - Meilleure estimation des neutrons diffusés (applications métrologique)
  - Évaluation de l'impact entre dispositifs (vérification métrologique)
  - Gestion de la radioprotection

# Remerciements particuliers

---

- **Véronique LACOSTE** (LMDN) qui a notamment réalisé la totalité de la spectrométrie neutron,
- **Vincent GRESSIER** (LMDN), notamment pour la définition des sources neutronique,
- **Hervé GUEGAN** (ARCANE) pour l'analyse des bétons
- **Pavel KLENOV** et **Rémi GOUTTEBROZE** (Assystem) pour leurs contributions décisives aux modèles MCNPX

Merci de votre attention