

➤ Modélisation MC du ProteusOne pour le calcul de doses secondaires

6^{èmes} Journées scientifiques francophones

Codes de calcul en radioprotection, radiophysique et dosimétrie

1 et 2 février 2018

Sochaux – Musée Peugeot

➤ Introduction

▶ Le ProteusOne au Centre Antoine Lacassagne (Nice)

- ▶ Synchrocyclotron supraconducteur prototype S2C2
- ▶ Faisceau proton de 230 MeV (100–230)
- ▶ Pencil-beam scanning
- ▶ Bras isocentric compact 220°
- ▶ Installé en 2014, premier patient en 2016

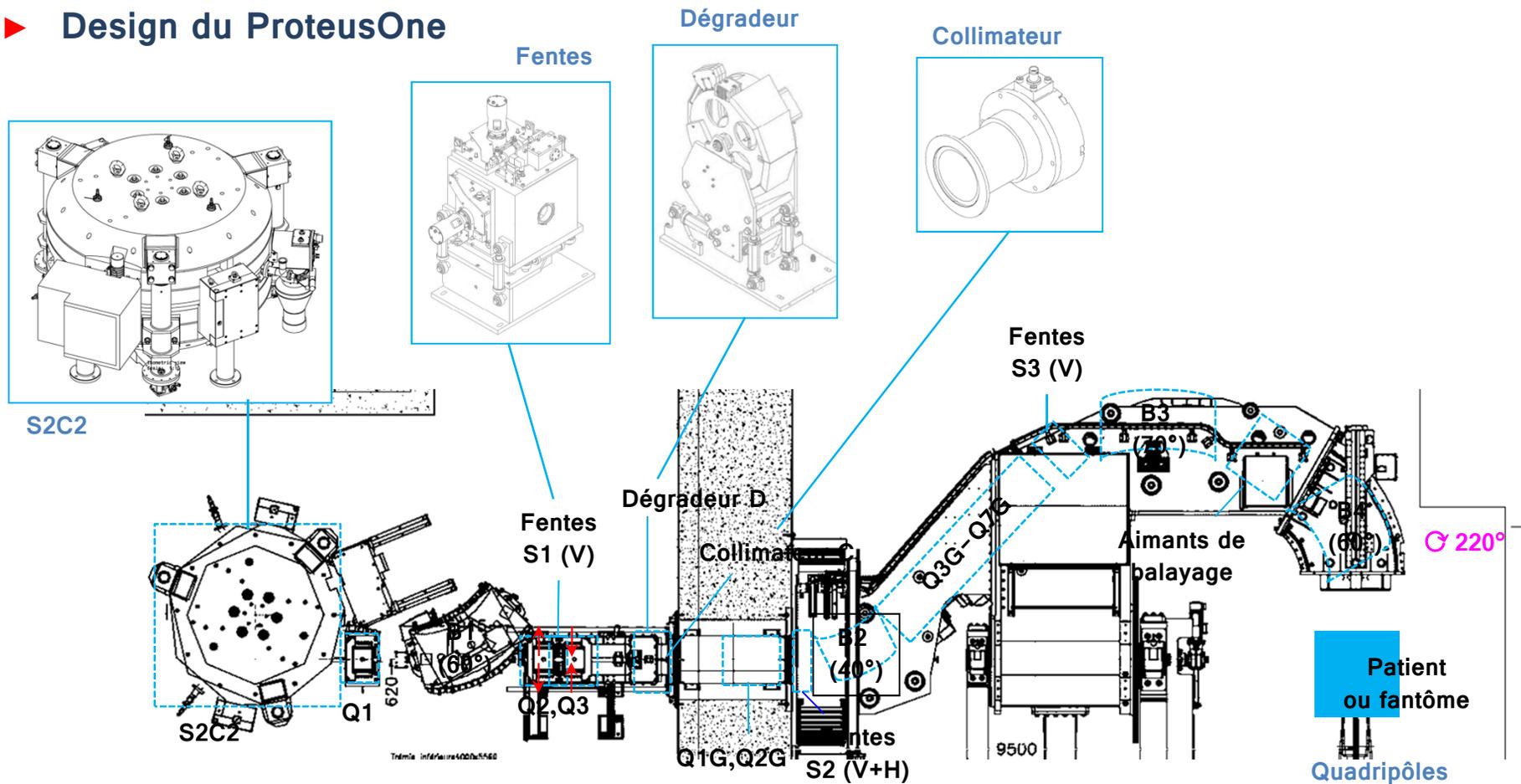


▶ Doses secondaires en protonthérapie

- ▶ Génération du champ secondaire aux endroits de pertes de faisceau sur l'accélérateur et la ligne
- ▶ Risque d'exposition externe pour le travailleur et le **patient**, concernant spécialement les **doses neutroniques**, plus importantes, et les **patients pédiatriques** (radiosensibilité majeur et espérance de vie plus longue)
- ▶ Très grande variabilité des doses en fonction des paramètres d'irradiation, position, type de délivrance de faisceau, composants de la ligne... -> besoin de caractériser l'installation

ProteusOne

► Design du ProteusOne



- L'énergie varie de 70/100 à 226 MeV
- La gantry tourne 220°
- L'ouverture des slits varie en fonction de l'énergie
- Le champ magnétique des aimants après le dégradeur varie en fonction de l'énergie

▶ Pertes de faisceau

- ▶ Pertes de faisceau → génération de particules secondaires
 - ▶ **Pertes dans l'accélérateur**
 - ▶ Derniers tours (uniformément près du rayon d'extraction)
 - ▶ Sur l'extraction (septum et pré-septum)
 - ▶ **Pertes sur la ligne**
 - ▶ Pertes principales : collimateur, S1, dégradeur
 - ▶ Autres pertes à considérer : Q2, Q3, Q2G, S2
 - ▶ Pertes dans la gantry négligeables
 - ▶ S1 non pris en compte sur l'étude initial de pertes
 - ▶ Données issues de calculs réalisés avant l'installation de la ligne et basés sur des hypothèses de l'optique du faisceau
-

➤ Objectif du travail et approche

▶ Objectif

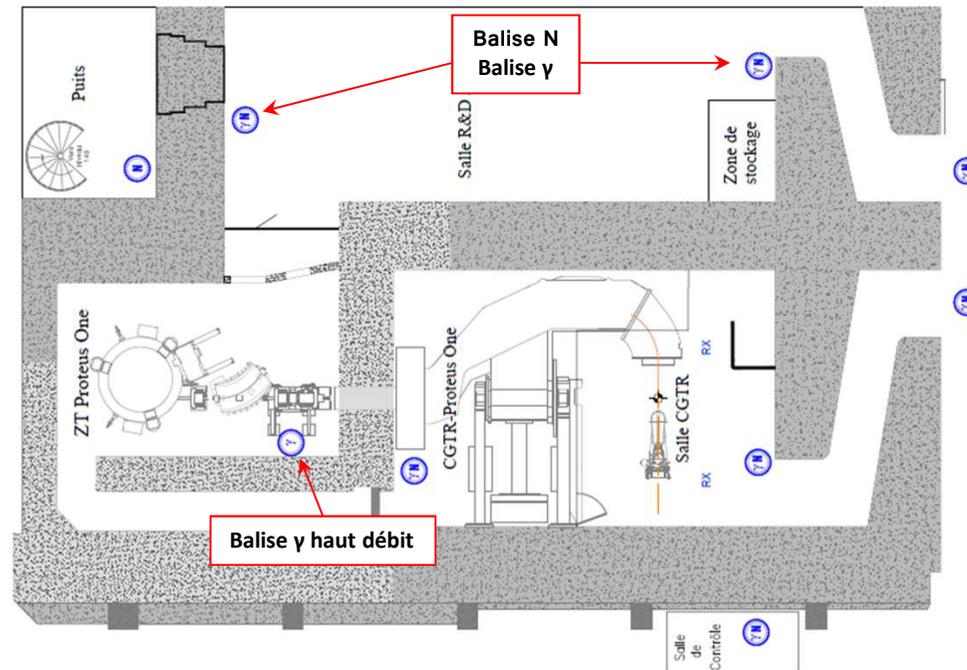
Créer un model de simulation MC du ProteusOne pour les études de radioprotection: dose secondaire au patient, études de blindage, zonage, optimisation...

▶ Réalisation du modèle

- ▶ Ligne entière: **casemate**, salle de la gantry et salle de traitement
 - ▶ Modèle réaliste capable de bien prendre en compte les pertes significatives de faisceau, y compris aux quadripôles → nouvelle approche envisagée: inclusion du **champ magnétique** des quadripôles
 - ▶ Code Monte Carlo retenu: MCNP6 (particle ray tracing)
 - ▶ Réalisation du model:
 - ▶ Plans Autocad (MCAM)
 - ▶ Pertes nominales
 - ▶ Optique du faisceau
 - ▶ Validation du modèle
 - ▶ Balises de radioprotection à poste fixe
-

Mesures de débit de dose

Balises de radioprotection

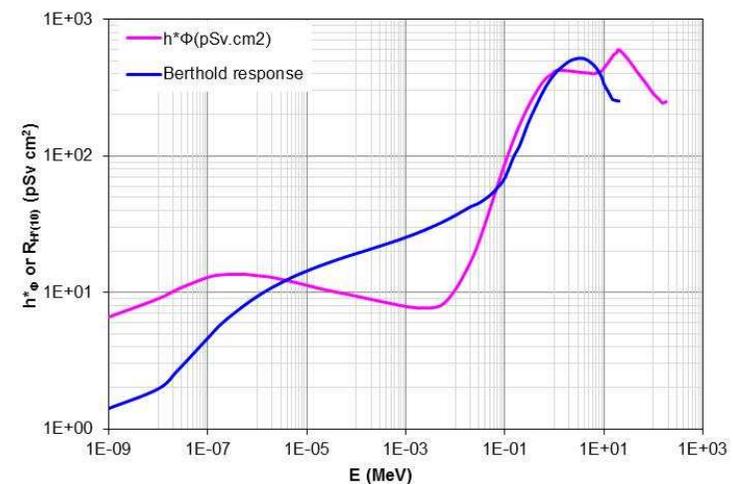


Balises radioprotection :

- ▶ Neutron (<100 mSv/h; 10 meV–20 MeV)
- ▶ Gamma (<10 mSv/h; 65 KeV–1,3 MeV)
- ▶ Gamma haut débit (<10 Sv/h; 50 KeV–3 MeV)

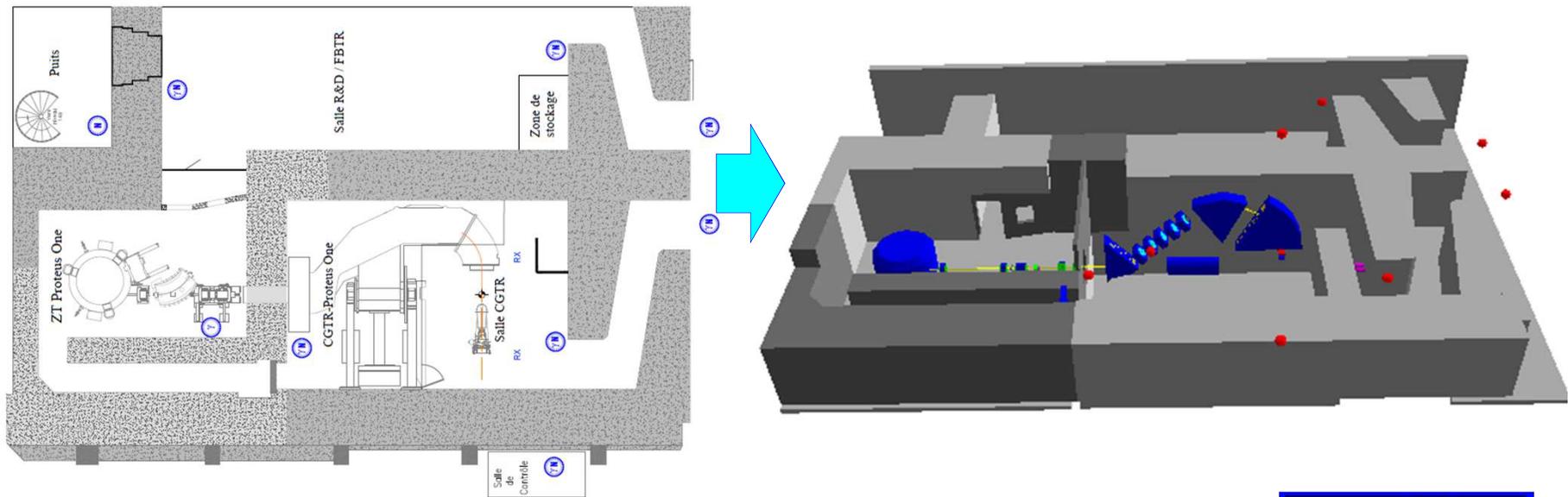
Tallies mcnp6 :

- ▶ $H^*(10) \rightarrow \Phi \times h^*_\phi$ ou $\Phi \times R_{H^*(10)}$
(balises : f4-de4, cartes dose: rmesh1-dose)
- ▶ Fluence spectrale neutronique/gamma sur les volumes des balises (f4-e4)

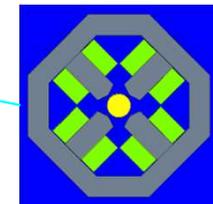
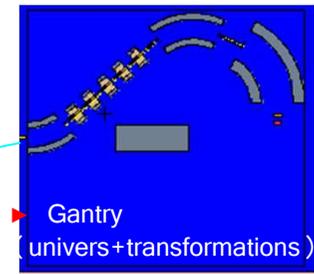
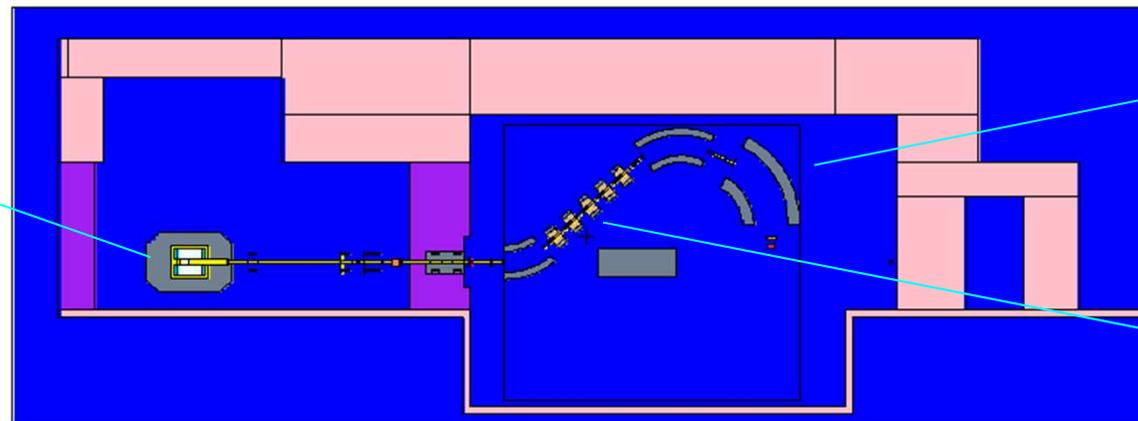
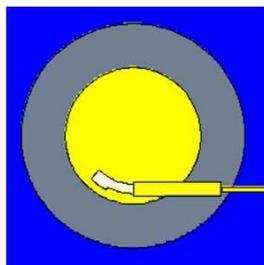


➤ Géométrie du modèle

- ▶ Création de la géométrie (bunker, accélérateur, pas de détails) avec le logiciel **MCAM** à partir des plans Autocad



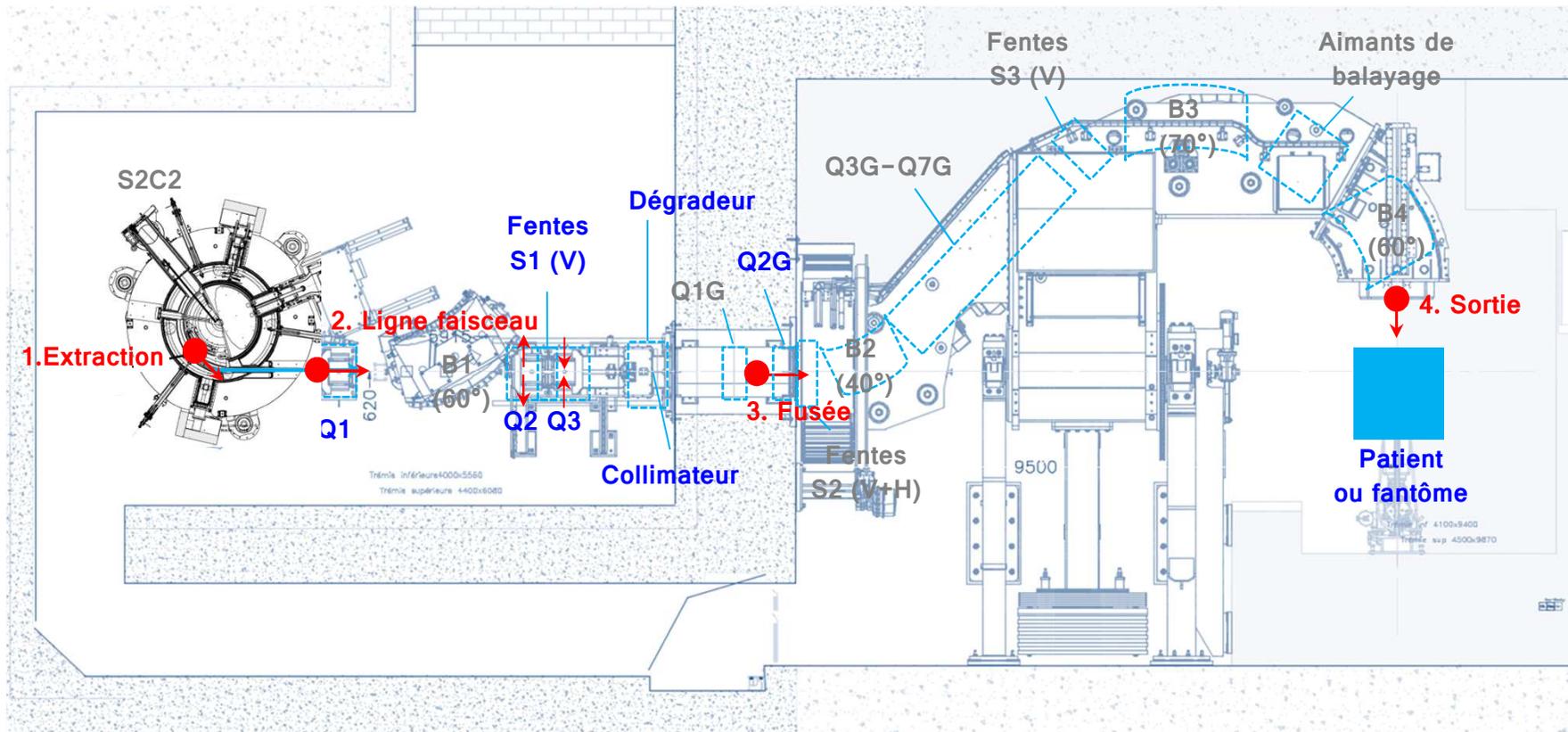
- ▶ S2C2



- ▶ Quadripôles

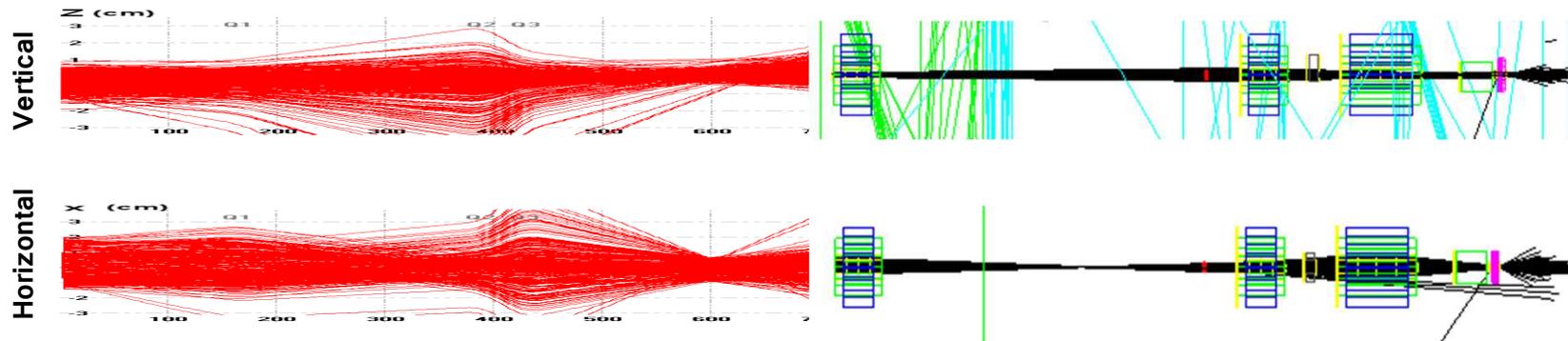
➤ Sources

- ▶ Approche: utilisation de 4 sources indépendantes



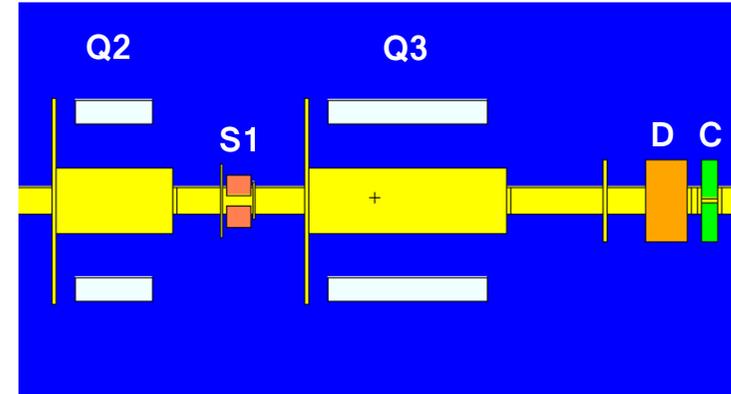
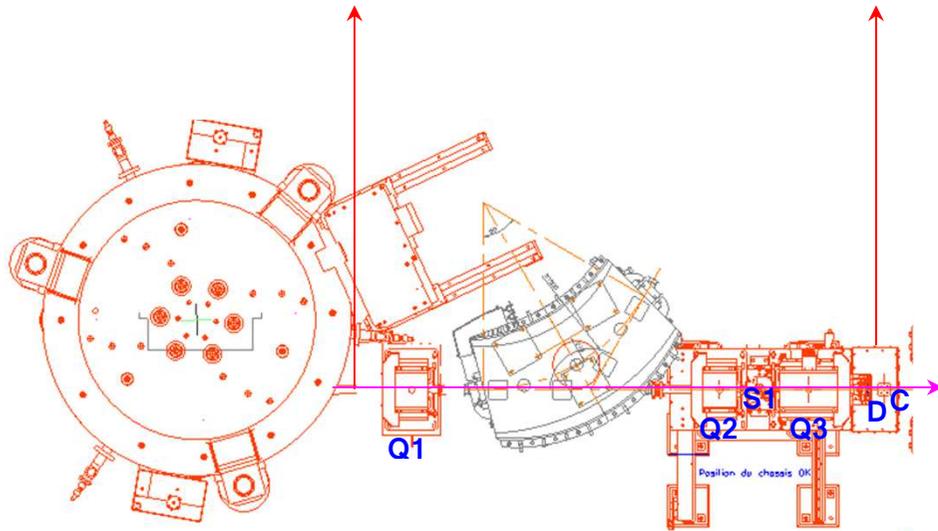
> Ligne dans la casemate

- Modification des gradients sur Q1-Q3 pour reproduire l'optique du faisceau (*ptrac*) et les pertes théoriques



Caractéristiques du faisceau avant Q1

Faisceau focalisé au dégradeur

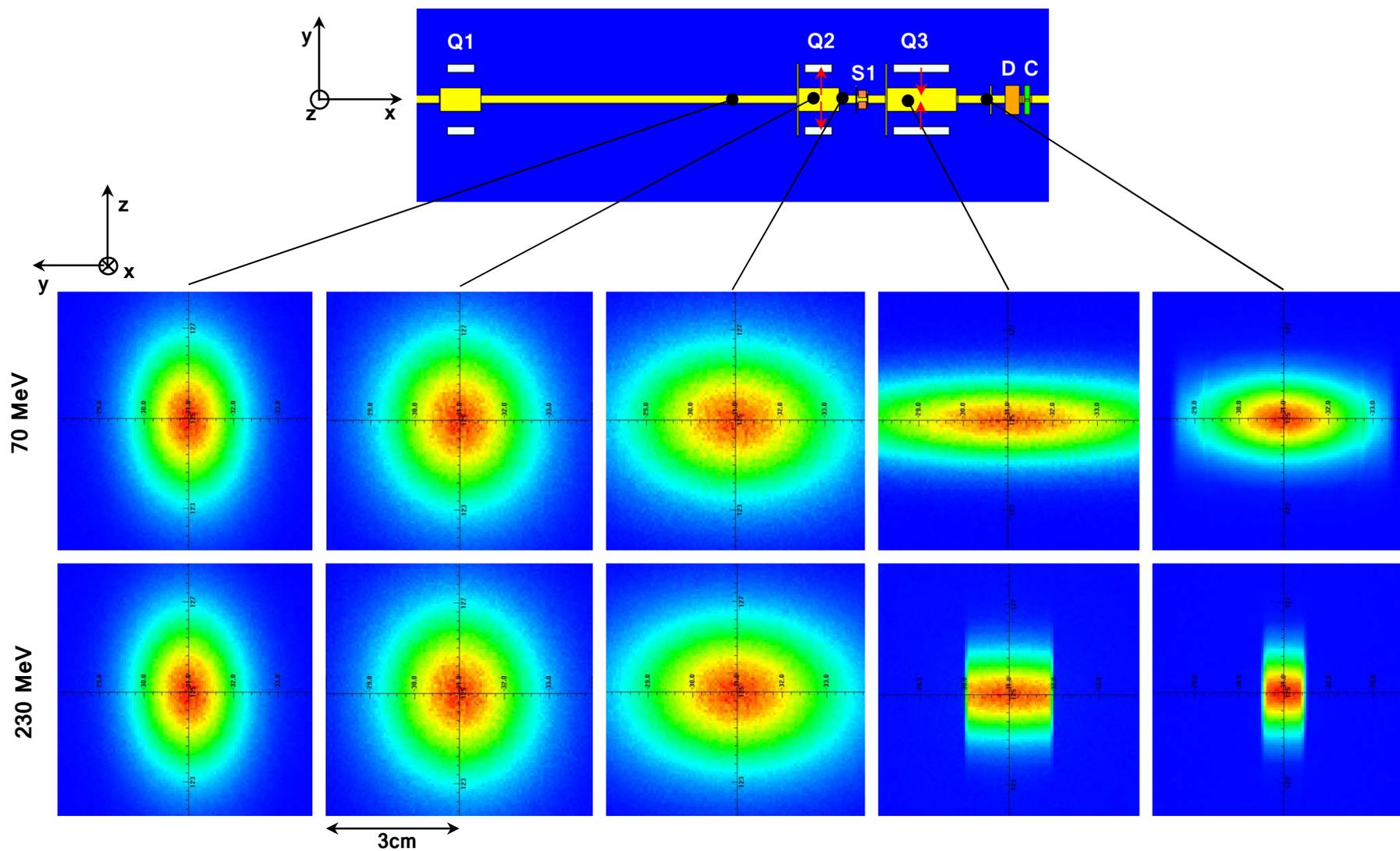


► Tallies mcnp6:

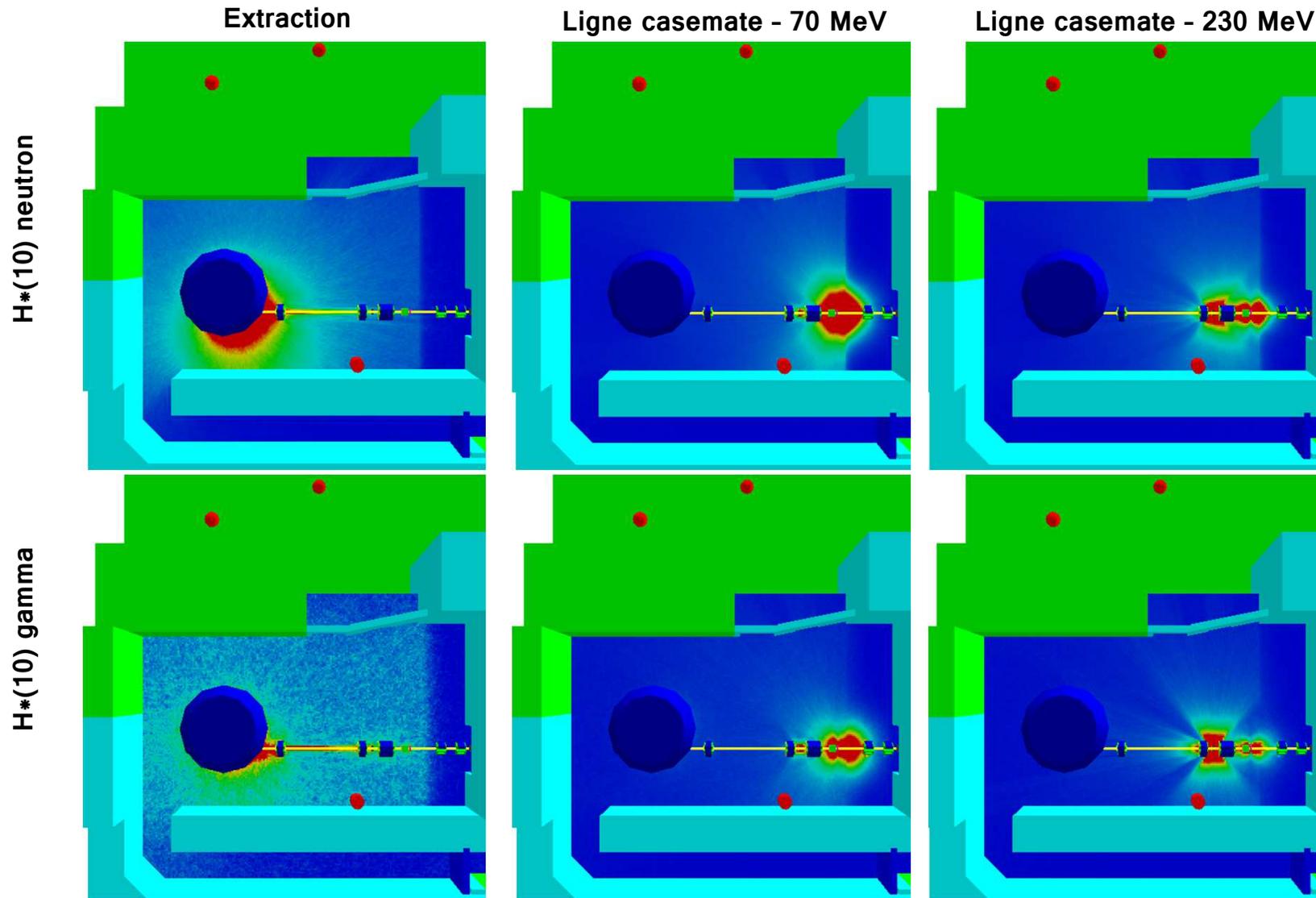
- Pertes: fluence proton à l'entrée et sortie de chaque composant (f4:h)
- Taille et forme du faisceau: distribution 2D fluence protons (rmesh1:h)

➤ Résultats : optique de la ligne

▶ Optique du faisceau



➤ Résultats : cartes d'équivalent de dose ambient

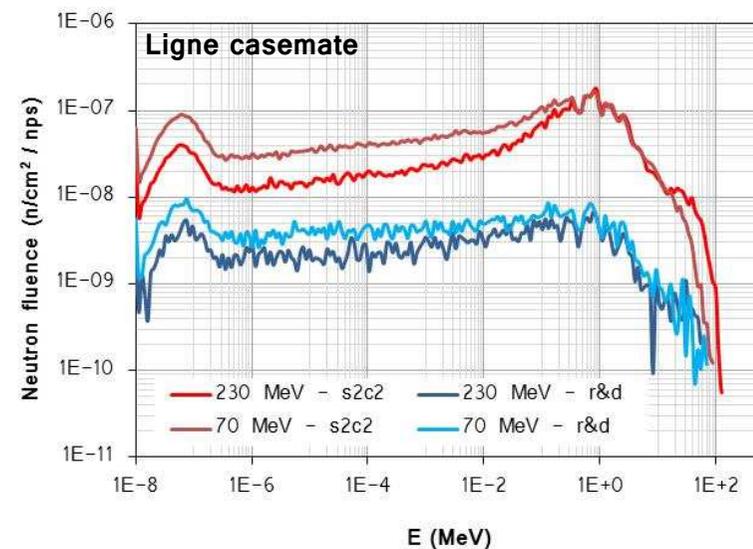
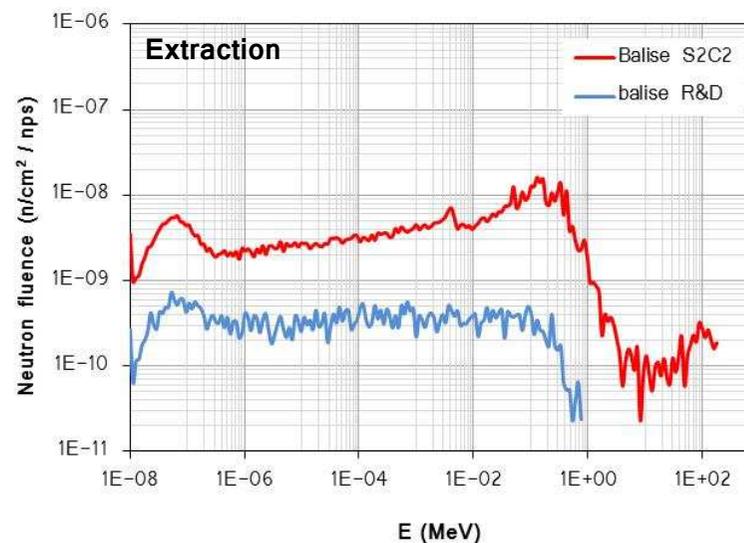
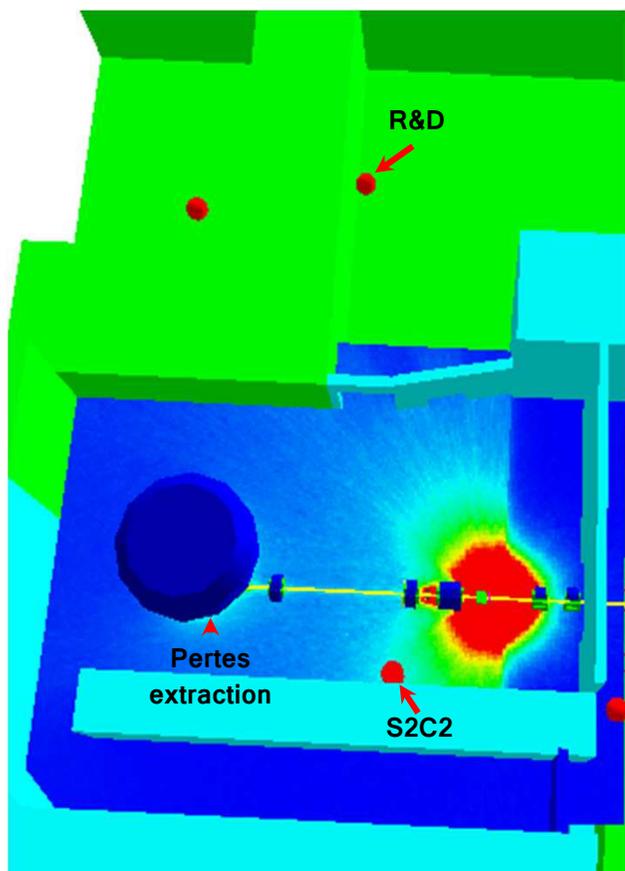


(Cartes non normalisées à la même échelle)

➤ Résultats : fluence spectrale neutronique

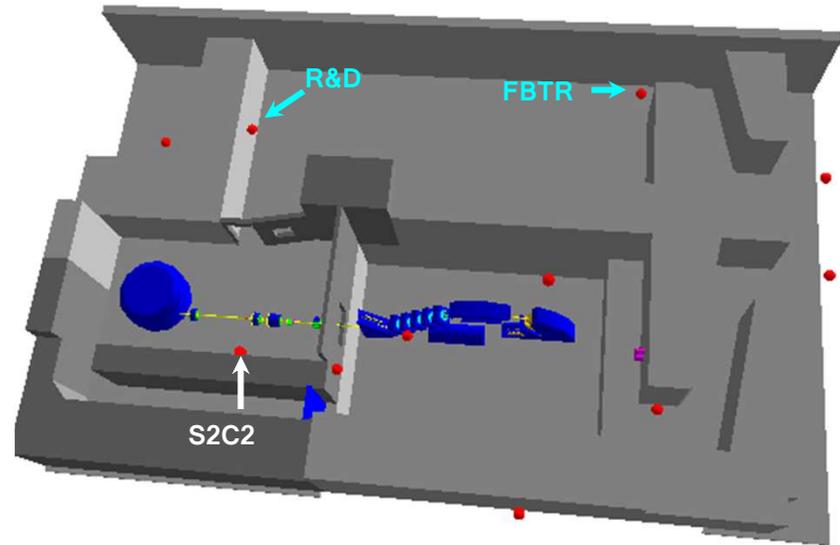
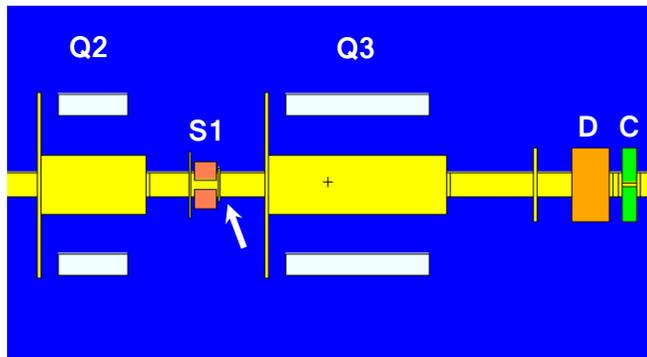
▶ Extraction + ligne casemate

H*(10) neutron, 70 MeV



➤ Résultats : validation du modèle

<p>E=70 MeV (min) Slits ouverts $I_{\text{cyclo}} = 80 \text{ nA}$ $I_{\text{slits}} = 64 \text{ nA}$ $I_{\text{nozzle}} = 0,2 \text{ nA}$</p>	<p>E=230 MeV Slits fermés $I_{\text{cyclo}} = 30 \text{ nA}$ $I_{\text{slits}} = 4,4 \text{ nA}$ $I_{\text{nozzle}} = 1,55 \text{ nA}$</p>
---	---



Balise	Type mesure	70 MeV				230 MeV			
		mcnp6		Balise mSv/h	Ratio	mcnp6		Balise mSv/h	Ratio
		Sv/nps	mSv/h			Sv/nps	mSv/h		
R&D N	H*(10)	6.75E-17	99	---	---	5.12E-17	14.8	---	---
	Balise	6.79E-17	100	55.2	0.55	5.17E-17	15.0	22.1	1.48
FBTR N	H*(10)	1.06E-18	1.52	---	---	7.12E-19	0.20	---	---
	Balise	1.06E-18	1.52	0.67	0.44	7.12E-19	0.20	0.23	1.13
S2C2 N	H*(10)	1.29E-15	1883	---	---	1.25E-15	359	---	---
	Balise	1.30E-15	1887	---	---	1.26E-15	362	---	---
R&D G	H*(10)	6.75E-19	0.97	4.36	4.50	4.34E-19	0.12	1.66	13.8
FBTR G	H*(10)	3.07E-20	0.04	0.14	3.31	2.22E-20	0.01	0.04	7.18
S2C2 G	H*(10)	8.36E-18	12.15	---	---	1.07E-17	3.09	---	---

➤ Conclusions et suite du travail

▶ Conclusions préliminaires

- ▶ Le *particle ray tracing* (magnetic particle tracking) de MCNP6 est très adapté pour le calcul de doses secondaires générés sur les pertes des lignes avec des composants actifs
- ▶ L'exactitude du modèle dépend en grande mesure de la précision des données sur l'optique du faisceau et les pertes à la ligne
- ▶ Les résultats préliminaires sont prometteurs considérant le type de calcul, la complexité du modèle et l'incertitude des données utilisés

▶ Suite du travail

- ▶ Valider les résultats avec la balise S2C2
 - ▶ Eteindre le modèle au reste de la ligne
-