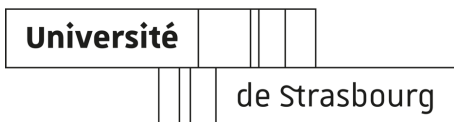




Projet CLINM – WP2

Bridging Physics and Biology in Hadrontherapy through Radiolysis

N. Arbor, D. Betelgueriev, A. Bigot, C. Finck, L. Gesson, L. Garcia, V. Guittet, S. Higuieret, O. Lorgo, M. Vanstalle
C. Galindo, P. Peaupardin, Q. Raffy



Objectifs & défis scientifiques

- CLINM (Cross-sections of Light Ion and Neutron Measurements) : mesures de particules secondaires produites par ions (^4He , ^{12}C , ^{16}O ,...) @ 120-400 MeV/u (CNAO) sur cibles C, $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$, Al pour la hadronthérapie et la radioprotection spatiale
 - **Télescope ΔE -ToF/ ΔE -E** pour l'identification de particules chargées + mesures de neutrons de haute énergie (> 50 MeV)
 - **Utilisation de l'alphaBeast** (compteur neutrons) pour la mesure des neutrons de basse énergie (< 50 MeV)
 - Mesure et simulation de rendements d'espèce de radiolyse de l'eau et de biomolécules

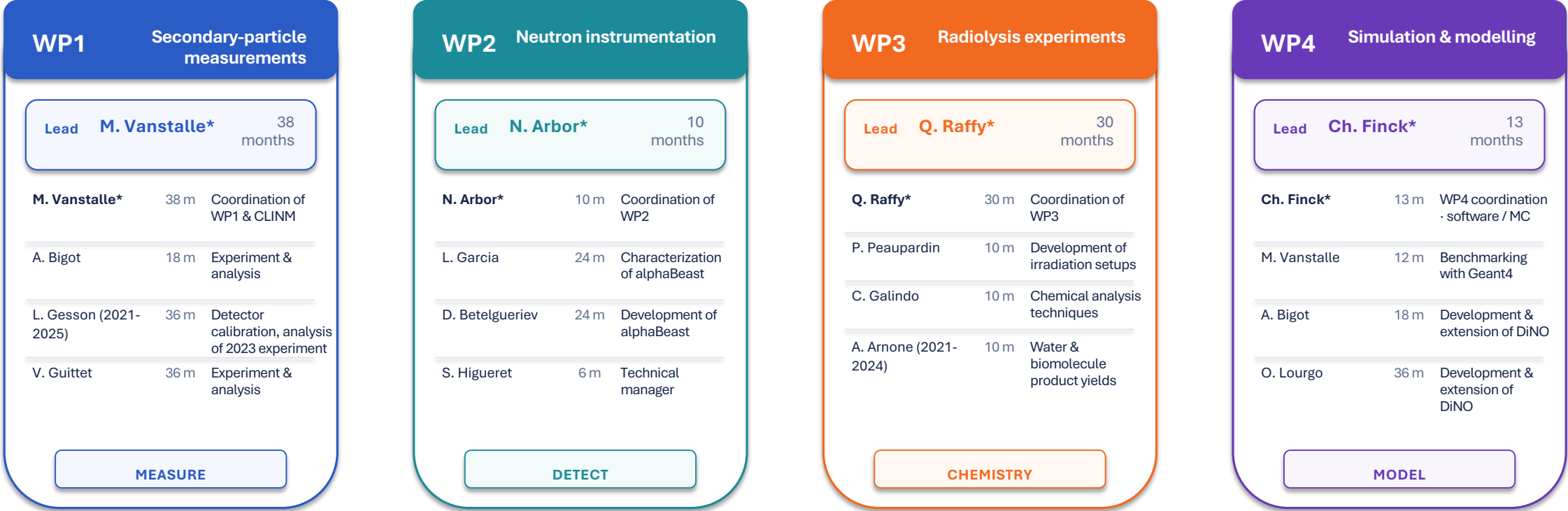
Equipe DeSIS (IPHC)

Equipe Radiochimie (IPHC)

Objectif : implémentation de données physiques et chimiques dans Geant4/Geant4-DNA via un algorithme de Deep-Learning « data-driven » (DiNO)

Structure du projet

CLINM (2024-2029)



WP1 MEASURE → WP2 CHARACTERIZE NEUTRONS → WP3 QUANTIFY RADIOLYSIS → WP4 BENCHMARK & MODEL

Faits marquants 2025-2026

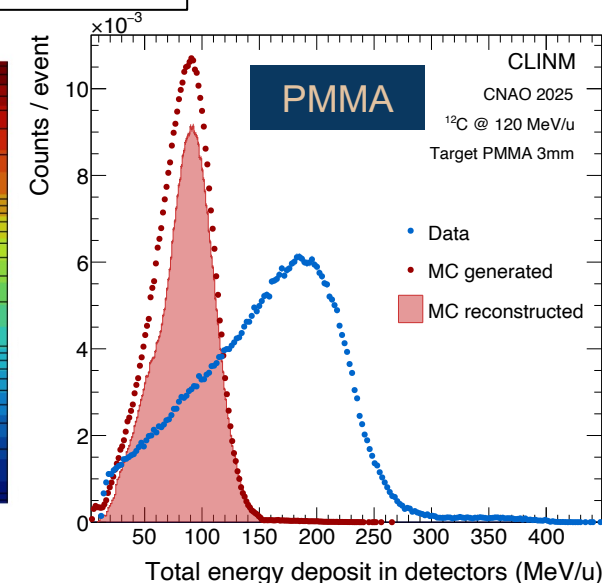
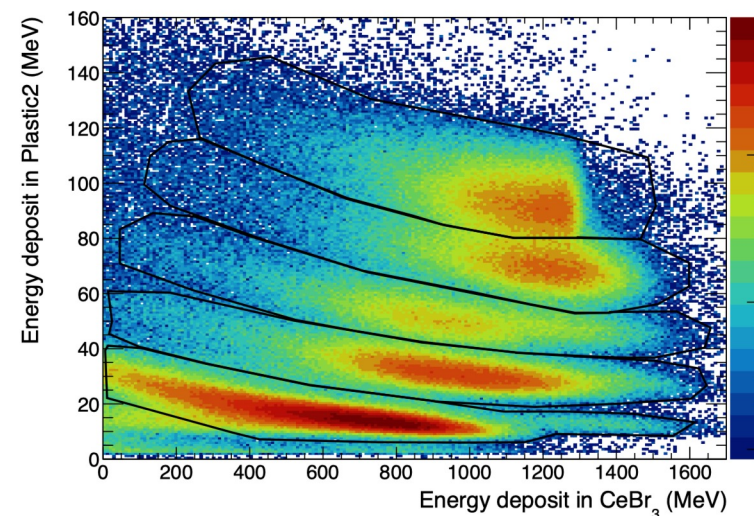
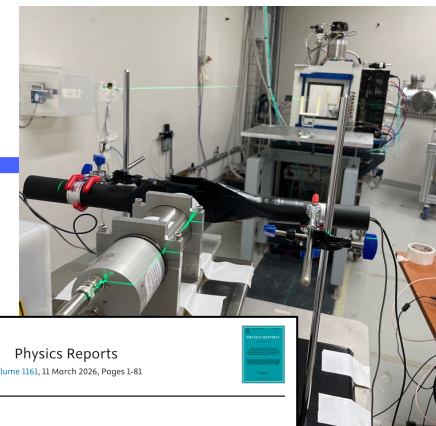
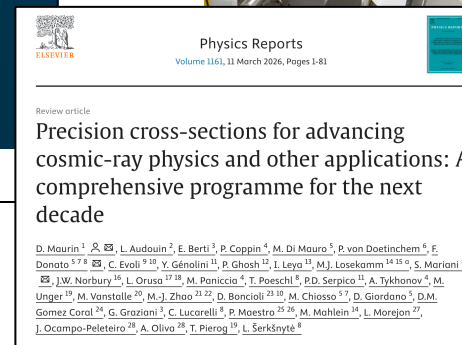
Faits marquants :



- Recrutement de Alexandre Bigot (MCF – sept. 2025)
- Thèse en co-financement CNES-ANR de Violette Guittet commencée le 01/07/2026
- Thèse d'Olivier Lourgou via l'ITI-QMAT (démarrage en octobre 2026)
- Premières publications autour du projet (Gesson et al., 2025 et 2026) + publication dans **Physics Reports** d'une feuille de route sur les mesures de sections efficaces incluant les applications (WP2 – FOOT/CLINM)
- Expériences sous faisceau ^{12}C au CNAO en 2025-2026 $\Rightarrow$ confirmation des résultats de 2023 + nouvelles données en cible mince et avec de la regolith martienne

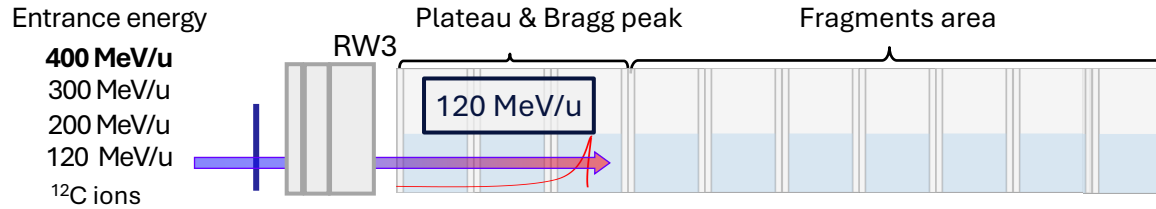
3 publications en 2025-2026

2 thèses soutenues, 2 thèses en cours



Distributions mesurées et simulées de He (A. Bigot, N. Dautreville, E. Provot)

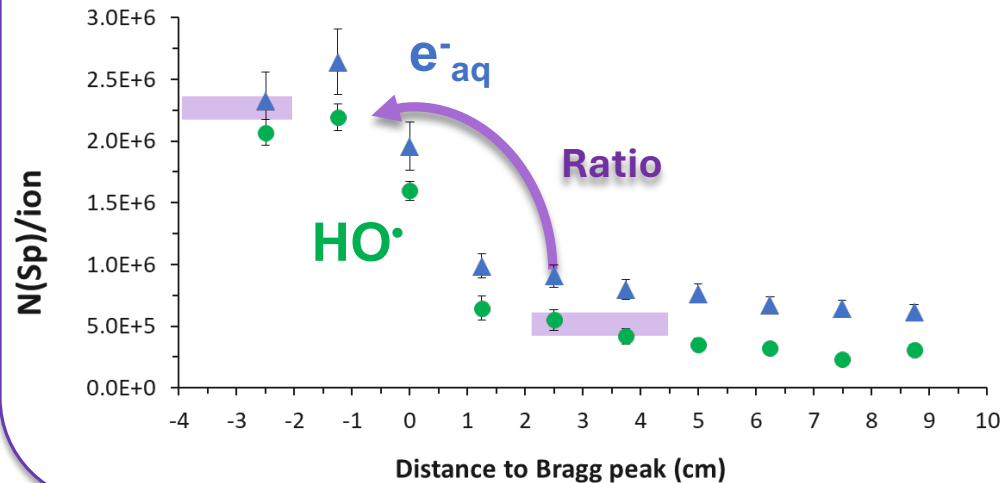
Faits marquants 2025-2026



1 EXTEND THE MEASUREMENT INTO THE FRAGMENT REGION

e^-_{aq} + H_2O_2 measurements

2 CHEMICAL YIELD REMAINS SIGNIFICANT AFTER THE BRAGG PEAK

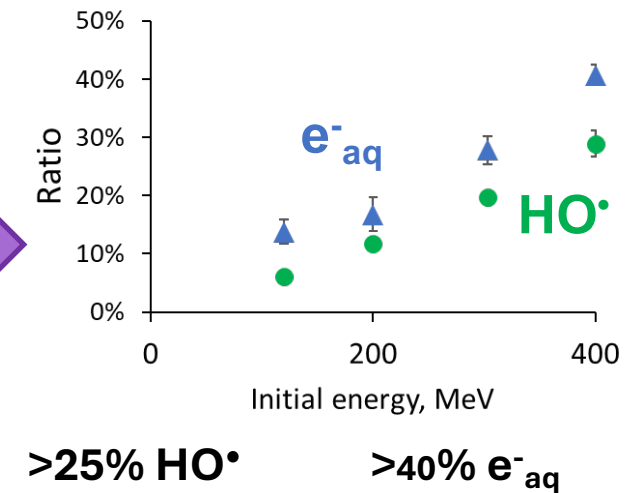


2023 → 2025

Same trend
confirmed with the
expanded dataset

The fragment region is
not chemically
negligible.

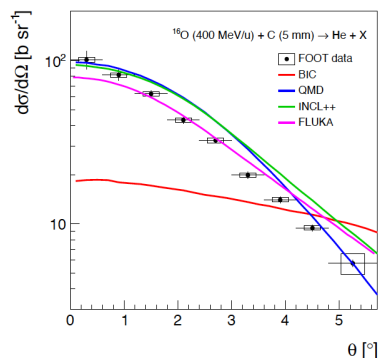
3 QUANTIFY THE POST-BRAGG EFFECT



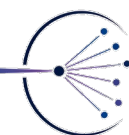
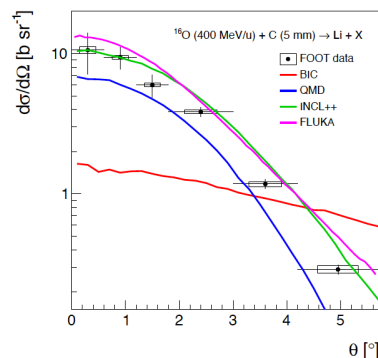
EXTEND THE FRAGMENT REGION → MEASURE RADIOLYSIS PRODUCTS → QUANTIFY THE RESIDUAL CHEMICAL EFFECT

Vision 2030

Mesures de particules secondaires fournies par FOOT & CLINM pour la hadronthérapie et la radioprotection spatiale



R. Ridolfi et al., Phys. Rev. C **112**, (2025) **014610**



CLINM

Données
expérimentales
(sections efficaces)



Modèles hadroniques
théoriques

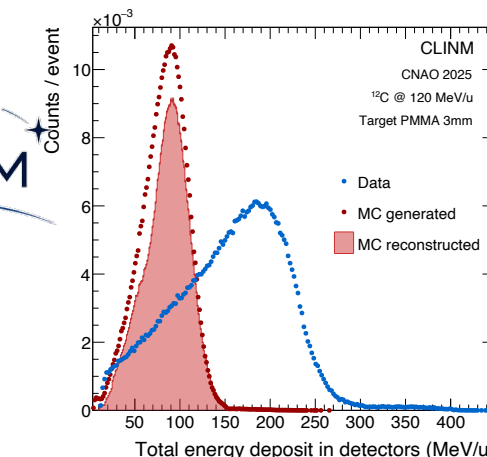


Génération de données
simulées (Geant4,
Geant4-DNA)

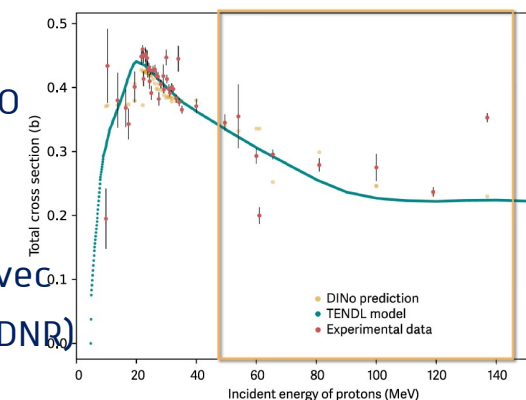
Models update



Algorithme DiNo
développé par
Levana Gesson,
collaboration avec
Greg Henning (DNR)



Courtesy of A. Bigot



L. Gesson et al., Eur. Phys. J. Plus, (2025)

« Hands-on » approach

Développement d'un **modèle**
hadronic data-driven par deep-
learning intégré dans Geant4

Discussions en cours avec la collaboration
Geant4 pour integration de C. Finck, A. Bigot
et M. Vanstalle

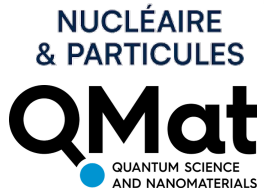
Nouvelles collaborations

- ▶ Collaborations actuelles
 - * CNAO (accord cadre in2p3-CNAO)
 - * CNES (doctorat de V. Guittet)
 - * QST – Himac (Moc Radiochimie)
 - * Groupe DNR – Greg Henning (projet DiNO)

- ▶ Nouvelles collaborations ?
 - * Discussion avec la communauté Geant4 pour rejoindre la collaboration
 - * LPSC – L. Gesson sur DiNO

AAP en cours et visées (2-5 ans)

- Financements en cours et passés :
 - ❖ IN2P3 – MP Hadron – 2 kEuros $\Rightarrow$ financement de deux missions pour beam time CNAO (mai 2026)
 - ❖ ANR PRC – projet CLINM (2024-2029) – 410 kEuros
 - ❖ CNES – demi-financement de thèse (V. Guittet, 2026-2029) - 62 kEuros
 - ❖ ITI QMAT – financement de thèse (2026-2029) – 147 kEuros
 - ❖ ITI QMAT – AAP porté par A. Bigot – 50 kEuros
 - ❖ HITRI+ - financement de 8 shifts (de 8h) au CNAO de 2023 à 2025
- Demandes visées :
 - ❖ ANR PRC autour de DiNO, portée par A. Bigot



Besoins 2027

- RH : 1 post-doc (mais compliqué vu la conjoncture)
- Budget in2p3 2027 : 8h de shifts à CNAO => 3520 euros (non inclus dans les AAP), mais doit pouvoir être couvert par d'autres moyens