

ÉMITTANCE-MÈTRE IPHC : DÉVELOPPEMENTS EN COURS

T. Adam, P. Graehling, M. Heine, V. Juste, C. Maazouzi, F.Osswald*, E. Traykov, IPHC/IN2P3/CNRS, Université de Strasbourg
 S. Mitrofanov, R. Kabytayeva, FLNR/JINR, Dubna, Russia
 F. Poirier, F. Bulteau-Harel, ARRONAX, Nantes

L'émittance-mètre a été conçu à l'IPHC il y a une dizaine d'années et bénéficie depuis de mises au point et du retour d'expérience des utilisateurs qui ont conduit à ce programme de développement. Le programme comporte une partie théorique et expérimentale et concerne l'étage électronique d'entrée, le comportement thermique de la tête de mesure, l'élimination de contaminants du faisceau et la radioprotection

SPÉCIFICATIONS

L'émittance-mètre est un scanner de l'espace des phases transverses basé sur le principe Allison. Il est dédié aux faisceaux d'ions basse énergie : 100 keV, 3 mA

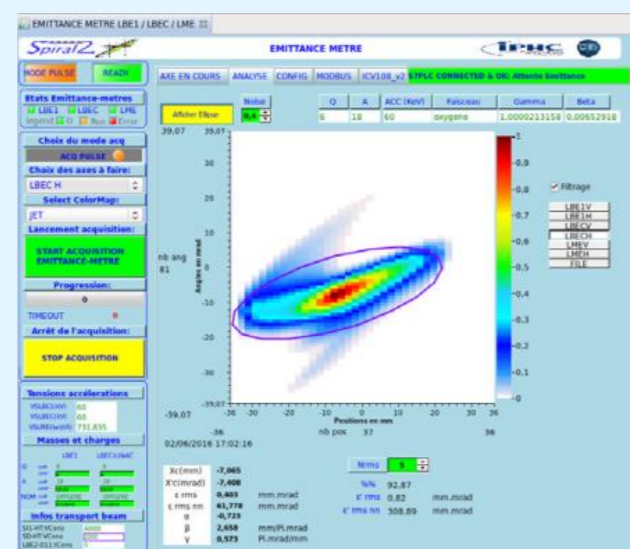
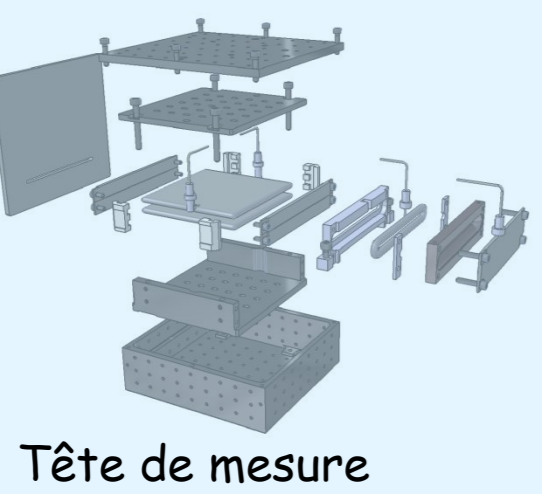


Figure d'émittance

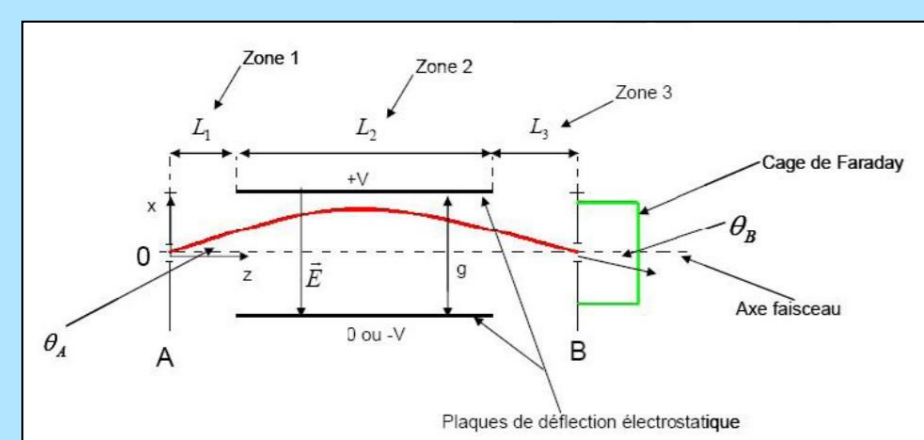
Montage à deux têtes



Tête de mesure



Ecran thermique



La tête de mesure balaye le faisceau pour prélever des échantillons de 120 µm de large. Les ions sont déviés par un déflecteur électrostatique selon un angle fonction de leur vitesse, de leur charge et de leur masse. Ceux présentant le rapport Q/A correspondant à la tension appliquée atteignent la CF qui mesure l'intensité du pinceau

Principe d'analyse des faisceau par la méthode Allison

Parameter	Value	Note
Scan plane	Single/horiz. or vertic.	Emittance distributions
Scan speed	Few min. to few hours	Resolution dependant
Scan length	± 123 mm	Horiz.
Total displacement length	250 mm	Probe position at rest
Resolution in position	100 µm	
Resolution in angle	100 µrad	
Angular acceptance	+/- 100 mrad	
Energy	10-100 keV/q	1 ≤ q ≤ 25
Charge state (positive)	1-25 (Xe)	Standard range
Current intensity	10-3000 µA	Max range
Power CW (DC)	≤ 300 W	With cooling
Emittance normalized	0.01-1 π mm.mrad	Max range
Beam transverse envelop	≤ 80 mm in diam.	Beam aligned on axis
Time structure	DC or pulsed	
Electron repeler	1 kV	

Principales spécifications

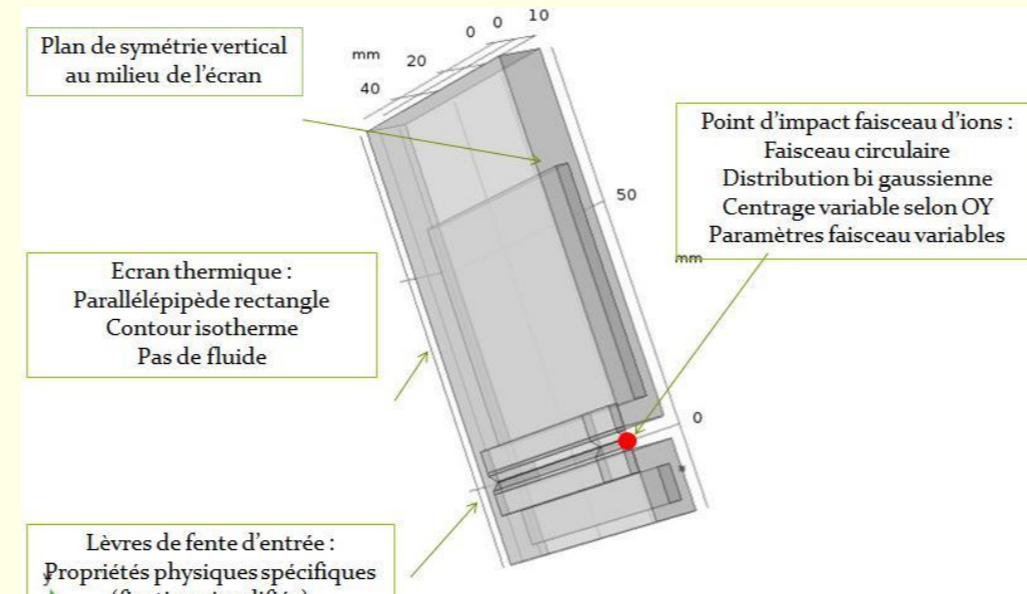
Objectifs des développements

- Étudier le comportement thermique et définir des termes de correction
- Proposer un outil pratique pour calculer les conditions limites des paramètres faisceau
- Caractériser la réponse en fréquence de l'étage d'entrée, établir une correction des mesures pour les faibles courants
- Envisager une amélioration de la vitesse de mesure d'émittance
- Estimer la précision et la limite en énergie
- Évaluer les risques en radioprotection et estimer l'activité induite par l'accélérateur
- Réaliser des études génériques pour préparer une innovation

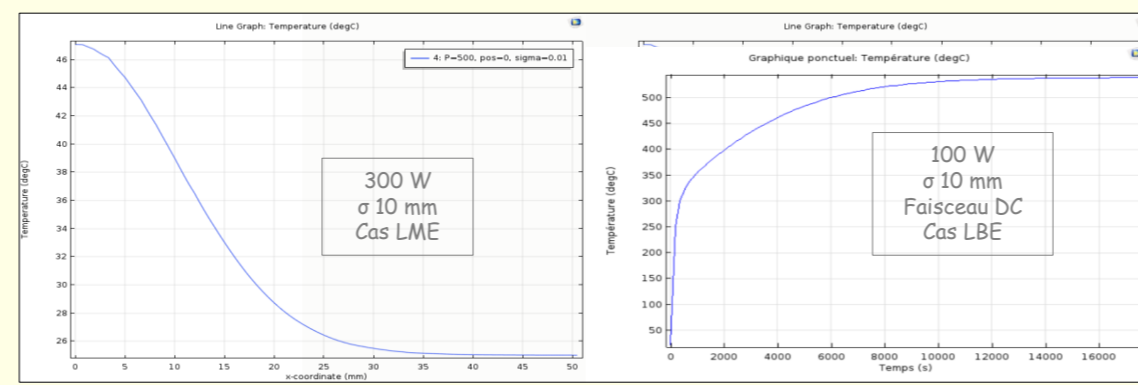
CALCULS

Etude thermique

Le travail consiste à étudier le comportement de la fente d'entrée et de l'écran thermique lorsqu'ils sont soumis à l'irradiation d'un faisceau d'ions en basse énergie de 300 W en régime continu et pulsé



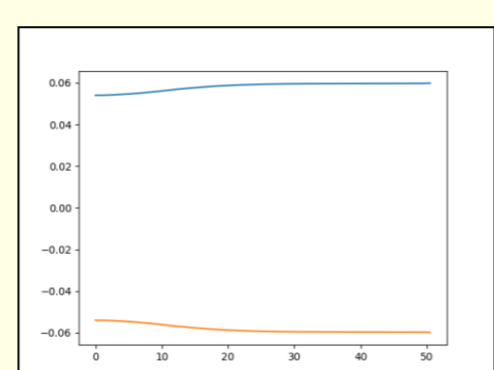
Modèle numérique 3D avec échanges par conduction et rayonnement (plan de symétrie vertical passant par le milieu)



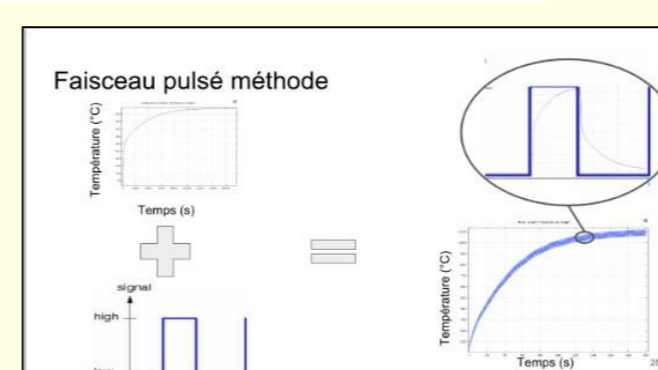
Distribution radiale de température et distribution temporelle

DC mode	LME configuration			
Beam power (W)	300	300	100	100
Sigma (mm)	1	10	50	10
Temp. (°C)	727	37	25	26
Time 95 % (s)	0,2	0,4	0,7	0,4
Expansion (%)	6	0	0	0
Error (%)	10	10	10	10

Valeurs max



Profil de dilatation de fente. Cas FAIR à 100 keV, 100 mA, 4 Hz, 2 %, σ 10 mm



Régime pulsé avec la forme pseudo stationnaire classique et la microstructure propre au régime dynamique

Pouvoir d'arrêt de la fente d'entrée

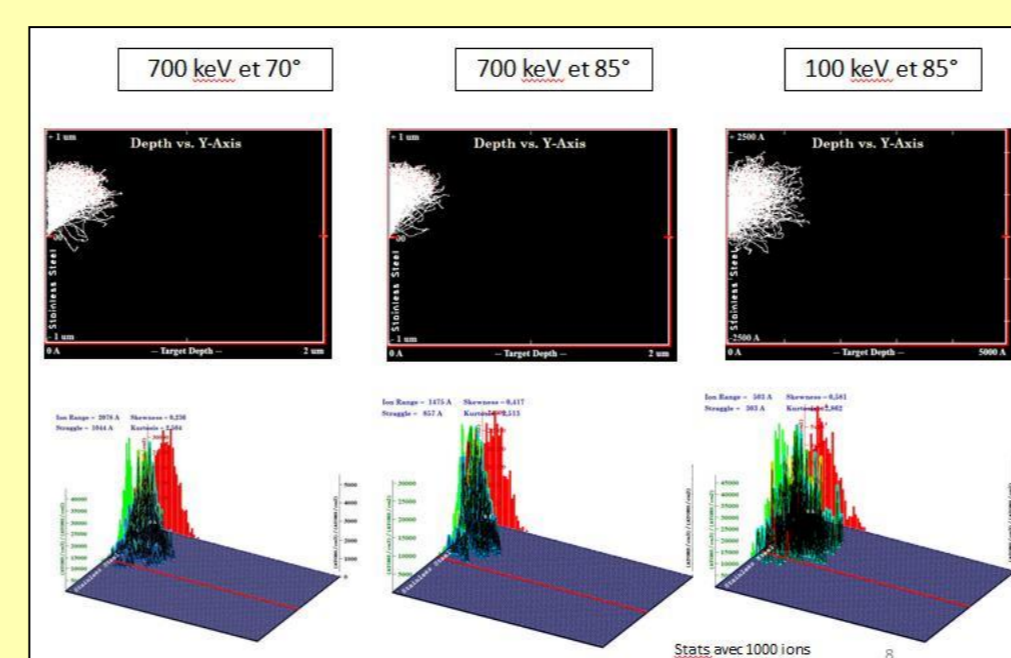
Le pouvoir d'arrêt est plus faible pour les protons. La profondeur de pénétration est < 4 µm. L'épaisseur de la fente (0,3 mm au minimum, profil triangulaire) suffit amplement pour arrêter tous les ions et former un pinceau de faisceau précis pour l'analyse. Par contre, son inclinaison ne favorise pas la dissipation de la chaleur déposée par le faisceau (incidence normale). Un compromis est nécessaire pour réduire l'émission de surface

A ion (amu)	U (kV)	Charge state	Kinetic energy (keV)	Range (µm)	Note
1	100	1	100	0.46	Proton
1	700	1	700	3.85	Proton
14	100	1	100	0.65	Nitrogen 1 ⁺
14	700	1	700	4	Nitrogen 1 ⁺
132	100	1	100	0.13	Xenon 1 ⁺
132	4	25	100	0.13	Xenon 25 ⁺
132	100	25	2500	2.51	Xenon 25 ⁺
238	100	1	100	0.1	Uranium 1 ⁺
238	4	25	100	0.1	Uranium 25 ⁺
238	100	25	2500	1.29	Uranium 25 ⁺
238	100	40	4000	2.08	Uranium 40 ⁺

Incidence orthogonale sur tungsten (selon SRIM2013)

Emission de surface Cas du déflecteur

L'émission de surface diminue avec l'énergie des ions incidents et augmente avec leur masse atomique. Le scattering et le sputtering augmentent en incidence rasante. Pour des angles < 85°, l'émission diminue fortement et l'étude des distributions angulaires permet d'affiner le choix de l'angle de profilage de la surface pour réduire les contaminants dans le faisceau



Ion energy (keV)	700	700	100
Angle (°)	70	85°	85°
Range (µm)	0.21	0.15	0.05
Backscattering (ion/1000)	100	~ 10-120	486
Angle (°)			610
Sputtering (atom/ion)	Cr 0.1041 Fe 0.7828 Ni 0.1922	Cr 0.3824 Fe 3.57 Ni 0.8779	Cr 0.7327 Fe 6.24 Ni 1.53
Angle (°)	~ 20-160	~ 20-150	~ 10-160

Ions azote incidents à 100 et 700 keV sur inox

EXPÉRIENCES

Validation thermique du modèle numérique

Il s'agit de déposer une puissance de 300 W sur une surface composée de tungstène (fente) ou de cuivre (écran thermique) en alignant le faisceau sur la fente (ouverture de 120 µm). De préférence avec plusieurs points de mesure entre 10 et 300 W en DC. Dépôt avec spot de rayon entre 1 à 50 mm. La température maximale se situe sur le bord de la fente et atteint plusieurs centaines de °C. On se limite en service à 100 °C en jouant sur les paramètres faisceau. Le point de fonctionnement est fixé par un rapport puissance/surface pour respecter une température limite. D'autres valeurs sont possibles en jouant sur la structure temporelle du faisceau

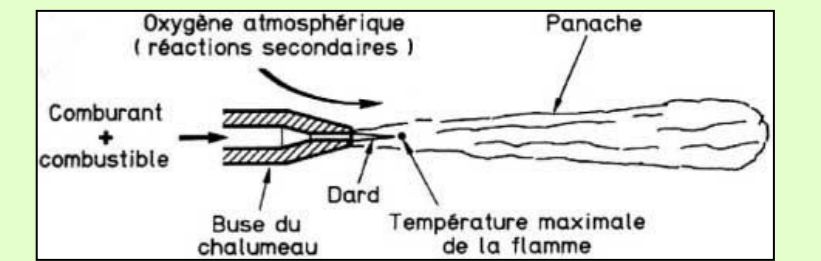


Option 1 en cours d'évaluation : dépôt par faisceau laser (crédit IREPA Laser)



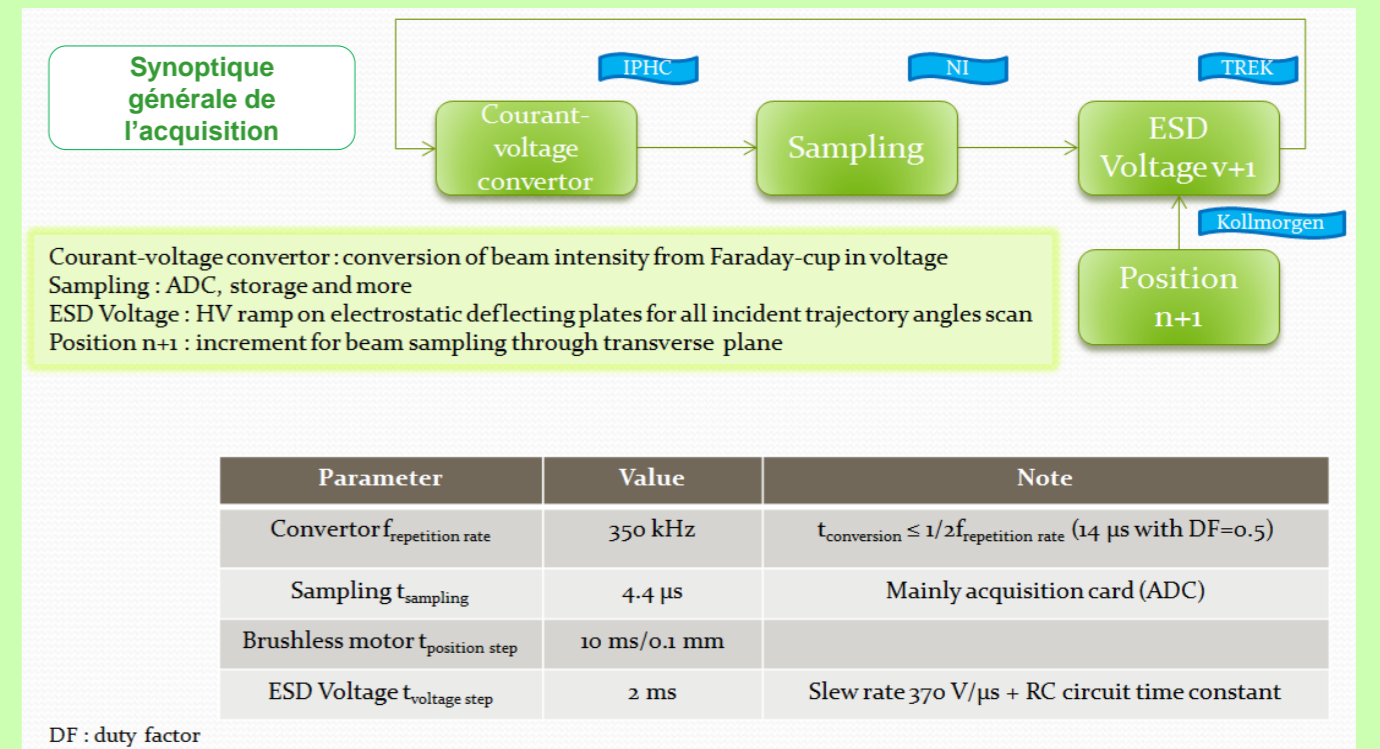
Option 2 en cours d'évaluation : Dépôt par flamme de chalumeau (crédit ANTEX et Techniques de l'ingénieur)

Exemple du butane :
 $C_4H_{10} + 13/2 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 5 H_2O$
 Dégageant de 126 kJ/mol, T° flamme 1900°C
 PCI du butane ~ 120 MJ/m³
 Pour fournir 300 W sur la cible, un débit de 3 cm³/s est nécessaire

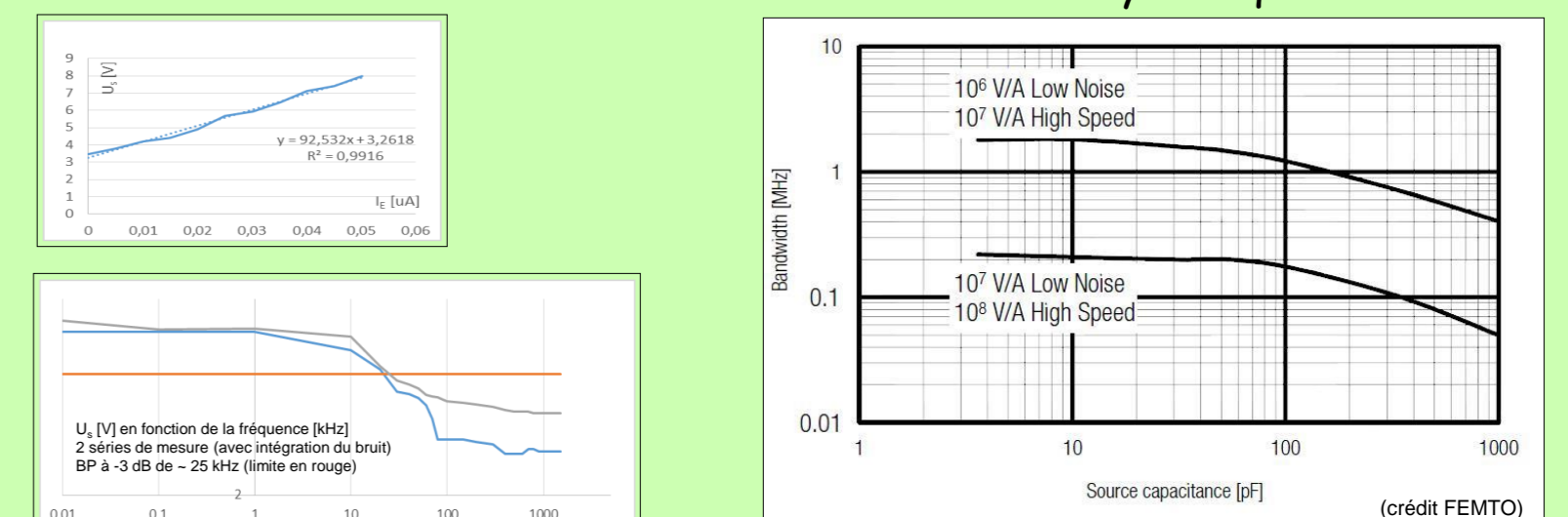


Option 3 à évaluer : Chauffage par induction

Caractérisation de l'étage électronique d'entrée Convertisseur courant-tension



+ buffer de mémoire tampon pour traitement pulse/pulse offline et mesure d'émittance dynamique !



Mesure de la linéarité et de la BP du convertisseur courant-tension. Cas déterminant aux faibles intensités (< 50 nA). La BP augmente avec l'intensité mais diminue avec la capacité de la charge (~ 1 pF)

Campagnes expérimentales avec faisceau



Tests fonctionnels complets sur site de l'implanter 200 kV ACACIA/iCUBE/INSIS. Installation en cours de préparation avec le concours du FLNR/JINR et du LPSC

Encinte tampon

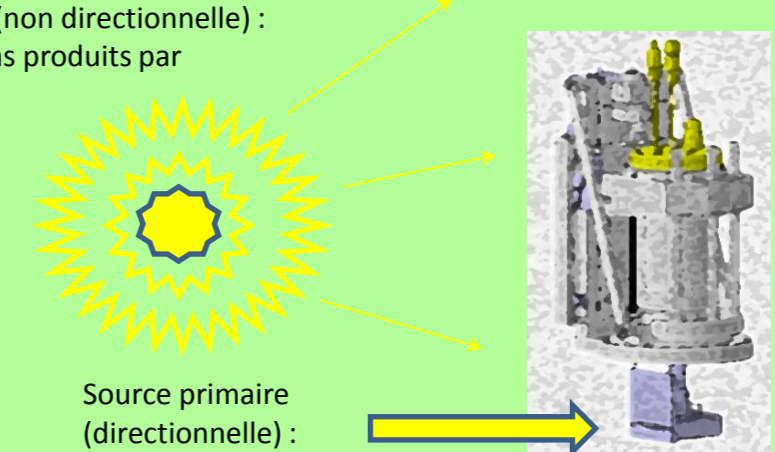
Encinte pour tests



Préparation du dispositif de radioprotection pour exploitation future : Mesure de dose et d'activation sur échantillons au DC280 du FLNR au JINR. Comparaison avec les simulations MC

Estimation de l'activation induite, de l'activité résiduelle et inventaire radiologique. Modèle de terme source neutrons-gammas et cible simplifiée avec FLUKA

Source secondaire (non directionnelle) : neutrons et gammas produits par l'accélérateur



Source primaire (directionnelle) : faisceau d'ions basse énergie

Les simulations Monte Carlo prennent en compte plusieurs scénarii et profils d'irradiation afin d'évaluer la radioactivité résiduelle et les doses max induites notamment par activation neutronique : travail en cours...