



Le projet EmitM

Francis OSSWALD, IPHC



Journées R&T IN₂P₃ @IJCLab 4 octobre 2021



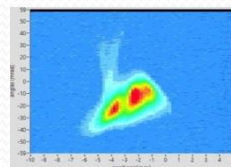
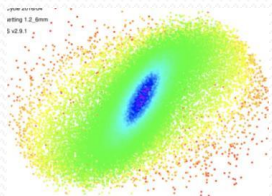
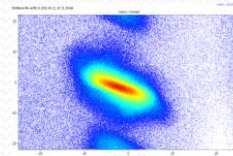
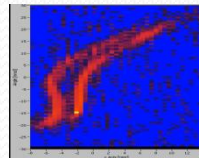
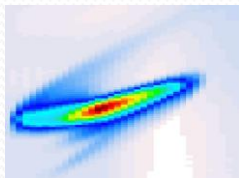
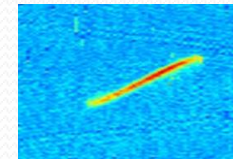
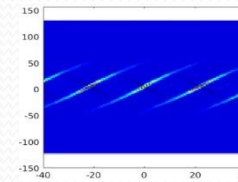
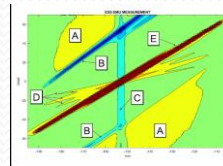
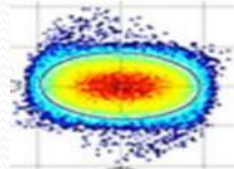
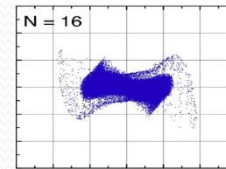
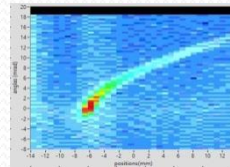
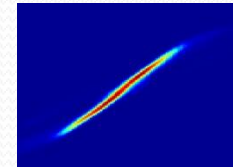
Objectifs

- ❖ Construire un émittance-mètre haute résolution en reprenant une base fiable (2008)
- ❖ Réduire les coûts, renouveler les fournisseurs
 - ❖ Etudier les limites de l'instrument
 - ❖ Maintenir et développer les compétences
 - ❖ Réaliser des campagnes expérimentales (faible et forte intensités, faisceaux pulsés)
- ❖ Mutualiser l'instrument et partager les expériences
 - ❖ Proposer des pistes d'amélioration

Contexte scientifique

Caractère essentiel pour

- La conception d'une installation
 - Indicateur de qualité
 - Diagnostiquer un problème
 - Réduire les pertes faisceau, les dégâts et l'impact sur l'environnement



Nombreuses applications

- Mesure d'émittance RMS
- Aberrations optiques
 - Filamentation
- Densité/homogénéité
- Effet charge d'espace
 - Contaminants
 - Électrons secondaires
- Mais aussi : tomographie 2D, profil, intensité, position...

Principe de mesure « Allison »

Le coin des formules

Hyper volume à 6 dimensions :

$$\mathcal{V}_6 = \iiint \iiint dx \cdot dy \cdot dz \cdot dp_x \cdot dp_y \cdot dp_z$$

Loi de conservation/théorème de Liouville :
 $\Delta \mathcal{V}_6 = 0$ (dans certaines conditions)

$$\mathcal{V}_6 = \iiint \iiint dx \cdot dy \cdot dp_x \cdot dp_y \cdot \iint dz \cdot dp_z$$

Et
 (dans certaines conditions)

$$\mathcal{V}_4^T = \iint dx \cdot dp_x \cdot \iint dy \cdot dp_y$$

Et
 (dans certaines conditions)

Mais $\mathcal{V}_4^T = \iiint \iiint dx \cdot dy \cdot dp_x \cdot dp_y = \bar{p}^2 \cdot \iiint \iiint dx \cdot dy \cdot dx' \cdot dy' = \bar{p}^2 \mathcal{V}_4^T$

Pour passer de l'espace des phases à l'espace des traces (plus pratique en vérité)

Emittance $\varepsilon = \beta x'^2 + 2\alpha x x' + \gamma x^2$

Valeur RMS $\varepsilon_{rms}^x = \sqrt{x^2 x'^2 - (x x')^2}$

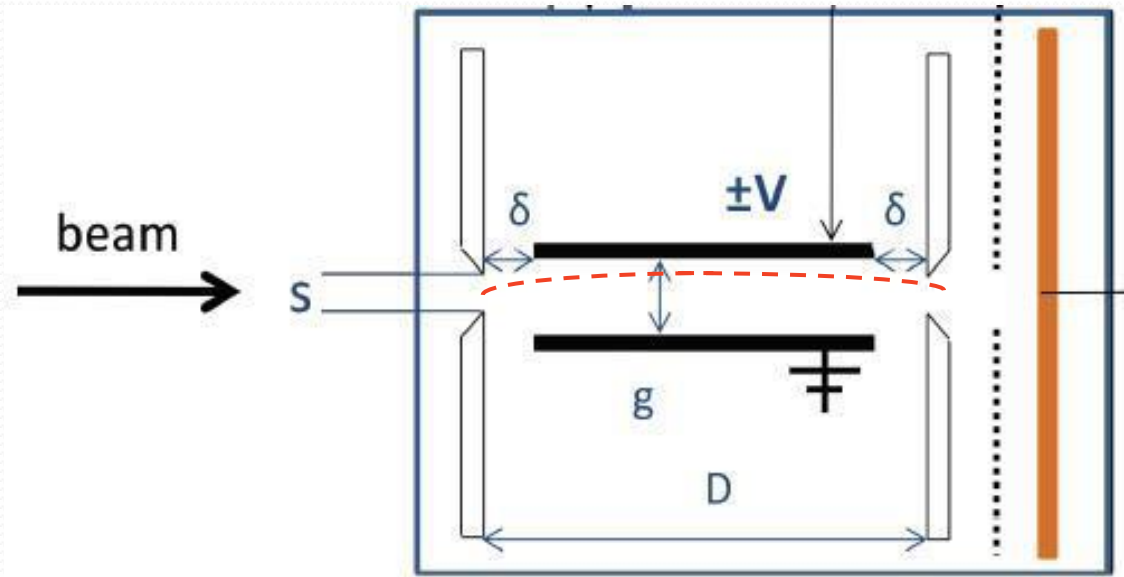
Pour notre système :

$$x' = \Delta V D / 4U g$$

$$x'_{\max} = 2g / D$$

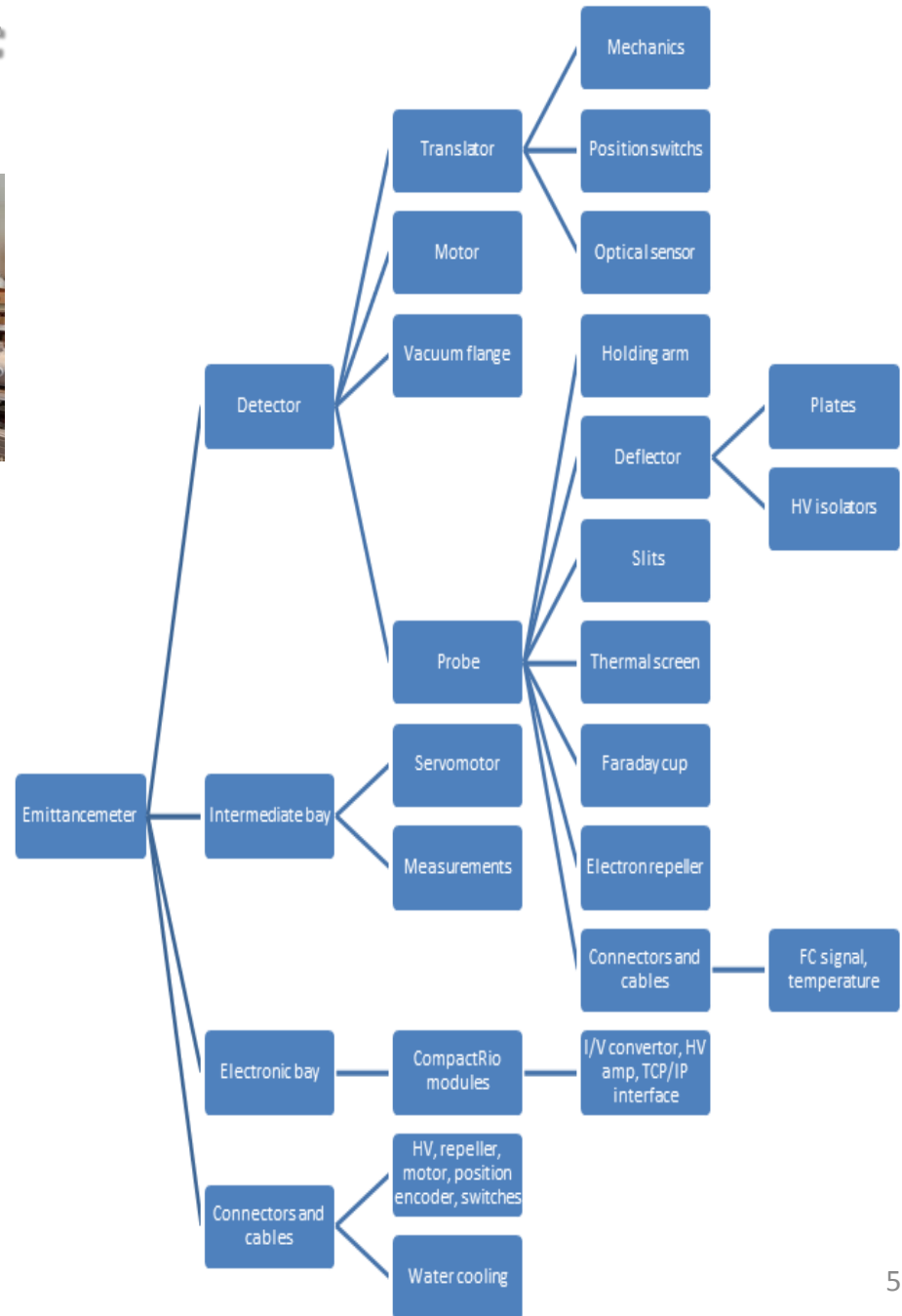
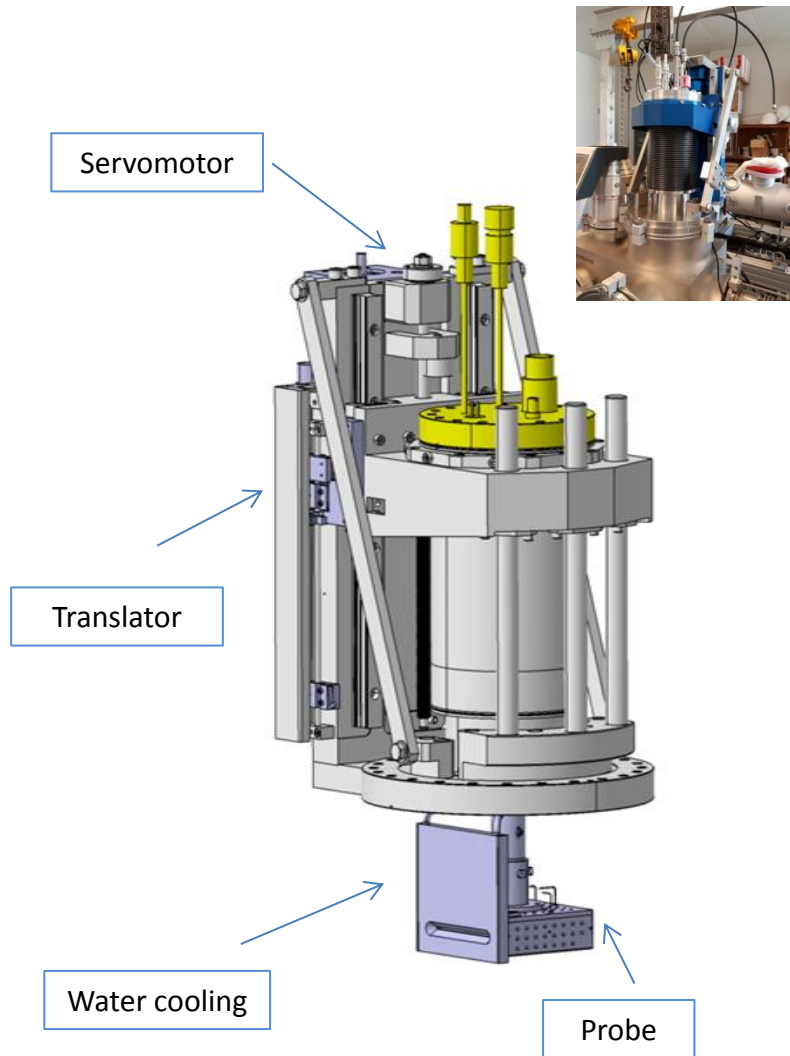
$$\Delta V_{\max} = 8g^2 U / D^2$$

ΔV tension entre plaques, U tension d'accélération



Balayage 1D avec mesure de position - couple fentes symétriques pour sélection selon x' (et E/q) - balayage en tension pour mesure d'angle

L'instrument en bref



Specifications

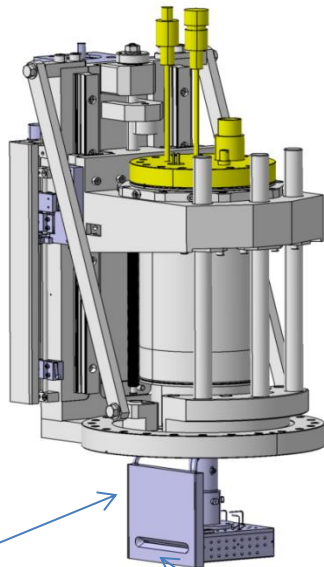
Parameter	Value	Note
Scan plane	Single/horiz. or vertic.	Phase space distributions
Scan speed	Few min. to hours	Resolution dependant
Scan length	≤ 123 mm	Horiz.
Total displacement length	250 mm	Probe position at rest
Resolution in position	100 μm	
Resolution in angle	1 mrad	
Angular acceptance	+/- 100 mrad	
Energy	10-100 keV*q	
Current intensity	100 pA-3 mA	
Power CW (DC)	≤ 300 W	With cooling
Power density	≤ 1 kW/cm ²	With cooling
Emittance normalized	0.01-1 π mm.mrad	(1-150 non-normalized)
Beam transverse envelop	≤ 80 mm in diam.	Beam on axis
Time structure	DC or pulsed	

TRL9, ~ 15 systèmes en service, demande d'utilisateurs pour prêt, commercialisation par Pantechnik

In-kinds and contributions

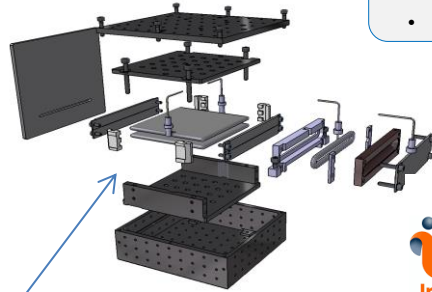


- Design
- Funding
- Sourcing
- Actuator
- Assembly
- Vacuum components
- Connectors
- Integration
- Commissioning



- Probe
- Deflector
- Faraday cup
- Electronics
- HV supplies
- Vacuum chamber (Vakuu Praha)

- I/V converter
- DC and AC tests
- Radioprotection
- Test with beam



- Radioprotection



- Thermal shield



- Slits



- PEEK precision guides and supports
- Test with beam



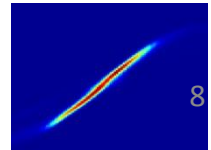
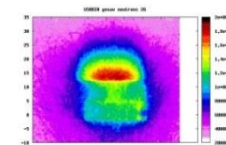
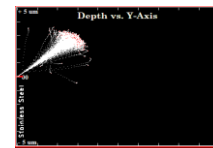
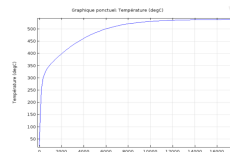
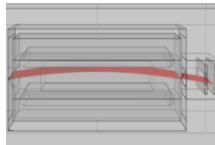
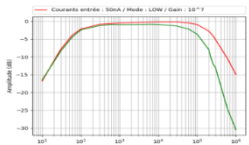
- Tests with beam

Fabrication distribuée sur plusieurs sites, montage, intégration et coordination à l'iphc

Développements techniques réalisés entre 2018 et 2021

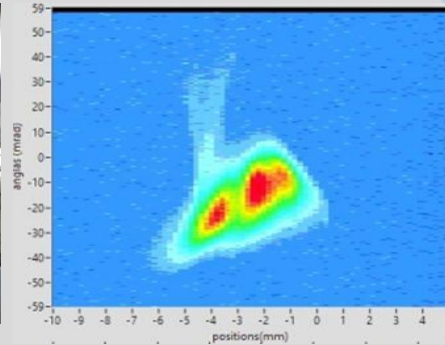
- **I/V front-end convertor**
 - DC linearity, AC BW, dependancy with current intensity and load impedance (DC-20 MHz)
 - Comparison between different products: IPHC, GANIL, Femto, Libera, Cividec
 - Improvement of shielding, grounding and line impedance adaptation
- **Beam optics inside probe**
 - Ion tracking with real acceptance, off-axis trajectories (non-paraxial assumption), fringe fields and space charge
 - Investigations towards the limits to evaluate beam halo
- **Thermal capabilities**
 - Modelling with different heat transfers
 - Assessment of the hot spot temperature, dependancy with beam specs
 - Evaluation of thermal expansion and slit aperture modification
 - Development of a numerical tool to evaluate safe operational conditions (Python based, user friendly, fast, cheap)
- **Beam losses and interaction with environment**
 - Ion-bulk material interaction, sputtering, back-scattering, implantation with 316L (SRIM®)
 - Dependancy with mass, energy and incidence angle
 - Degradation of W due to manufacturing and first approach of surface ageing due to beam (swelling and blistering)
 - Neutron activation i.e. evaluation of radionuclides production (FLUKA, dosimetry, spectrometry)
 - Radiological inventory, decays, residual activity
 - Fractional doses, organization of operation, use and transport of activated materials, procedures, costing

F. Osswald et al., IBIC 2019

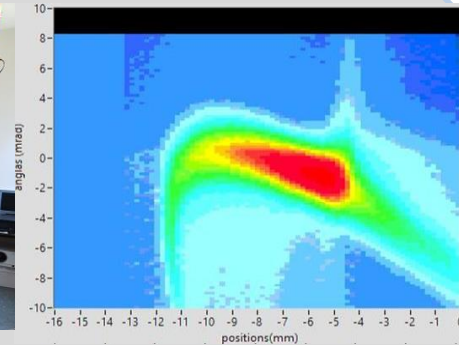


Campagnes de mesure 2021

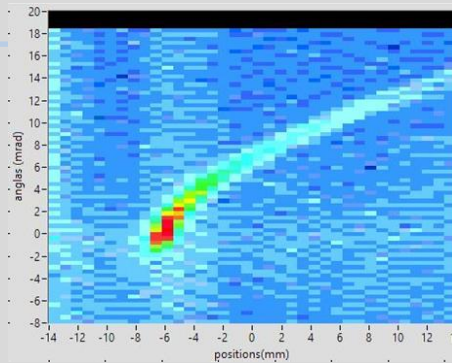
En avant-première (non publiés)



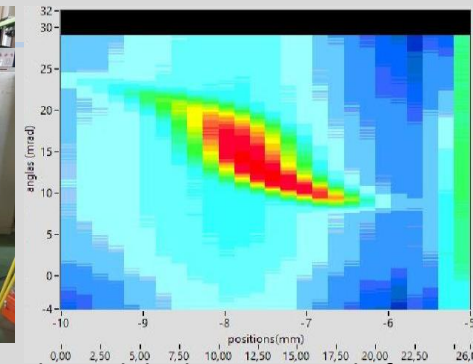
ARRONAX : Installation de l'EmitM dans la ligne d'injection verticale du cyclotron C70 en casemate. Observation de structures de faisceau à densité d'ions non homogènes (avril 2021)



IPHC : Montage de l'EmitM sur un banc pour caractérisation d'une source de type canon à ions césium (HeatWave Labs, Inc). Observation du faisceau focalisé et des aberrations optiques (juin 2021)



CENBG : Installation de l'EmitM en bout de ligne du spectromètre HRS/DESIR/SPIRAL 2. Observation des aberrations optiques créées par les aimants (juin 2021)



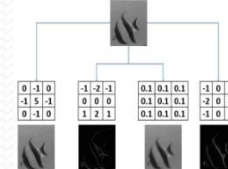
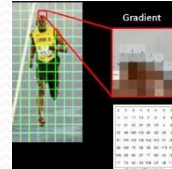
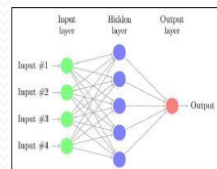
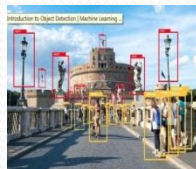
ARIBE : Qualification d'un prototype de module de transport de faisceau à faible perte en réalisant des mesures d'émittance différentielles. Observation de la signature sur les couches périphériques du faisceau lors du passage dans une structure de focalisation quadripolaire (septembre 2021)

A venir : caractérisation de faisceaux radioactifs sur les nouvelles lignes d'ALTO à l'IJCLab et des nouveaux faisceaux sur le canal d'injection du cyclotron DC280 du FLNR/JINR à Dubna (préparatifs en cours)...

Perspectives

- Réaliser des émittance-mètres sur contrat dans le cadre de projets scientifiques de l'in2p3
- Poursuivre les campagnes expérimentales (ALTO, JINR, etc.)
- Proposer un concept innovant en polarisant les dernières évolutions technologiques et en fédérant les forces de plusieurs laboratoires
 - Développer des mesures à faible intensité pour caractériser le halo des faisceaux, application aux pertes faisceau ($< \text{pA}$), améliorer la discrimination et le rapport S/B, l'analyse des données pour améliorer la précision des mesures : CEM, sciences numériques (AI, ML, techniques de lissage, reconstruction d'image, ligne de faisceau virtuelle, zoom numérique, etc.)
 - Outil plus compact/moins cher/plus facile à utiliser/évolutif : démocratiser l'usage, élargir les fonctionnalités (PR, mesure I, BPM), faciliter l'intégration et le montage dans une ligne, réduire les coûts et le délai de fabrication en faisant appel à l'impression 3D et en utilisant des outils logiciels ouverts courants, conception matérielle et logicielle modulaires
 - Identifier de nouvelles techniques de mesure pour une application aux mesures d'émittance en 4D et aux électrons sur la base d'une plateforme commune

De nombreux challenges et une proposition, le projet MBM (porteur : N. Delerue, IJCLab)



Conclusion

- **Objectifs** du projet R&T visés pour 2018-2020 atteints à 95 % !
- **Forces** : performances de l'instrument, fiabilité, compétences dans les laboratoires, engagement dans les projets internationaux, synergies entre laboratoires
- **Faiblesses** : solutions actuelles très conservatrices, nouvelles technologies peu utilisées : IA, codes open source, fabrication additive, matériaux innovants, techno laser, OTR, etc. Etapes expérimentales, de validation, de qualification semées d'obstacles qui freinent les développements (contrôle des conditions expérimentales !). Moyens souvent limités : budget, banc de test dédié, personnel, thèses, donc niveau de publication assez faible
- **Opportunités** : aboutissement d'un cycle, TRL9 atteint ! Les bonnes personnes sur les bonnes thématiques au bon moment pour innover ?
- **Menaces** : thématique en évolution permanente, « old timers » performants (USA, Canada, Allemagne), « new incomers » deviennent compétitifs (Chine, Asie)

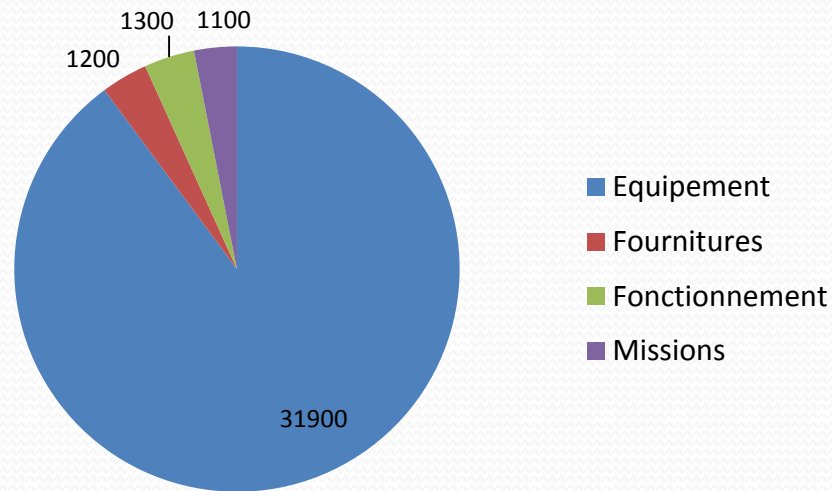
ANNEXES

Références

1. Installation, use and follow up of an emittance-meter at the Arronax cyclotron 70XP, F. Poirier et al., IPAC 2021
2. Transverse Phase Space Scanner Developments at IPHC, F. Osswald, T. Adam, P. Graehling, M. Heine, C. Maazouzi, E. Traykov, IBIC, Malmö 2019
3. SPIRAL2 injector commissioning, R. Ferdinand et al., LINAC 2018
4. Commissioning of the ECR ion source of the high intensity proton injector of the Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR), O. Tuske et al., RSI 89, 052303 (2018)
5. Status of SPIRAL2 and RFQ beam commissioning, R. Ferdinand et al., LINAC 2016
6. Commissioning of the high intensity proton injector of the facility for anti-proton and ion research at CEA-SACLAY, O. Tuske et al., ECRIS 2016
7. The implementation of the SPIRAL 2 injector control system, F. Gougnaud, J.F. Denis, J.F. Gournay, Y. Lussignol, P. Mattei, R. Touzery, P. Gillette, C. Haquin, J. Hosselet, C. Maazouzi, ICALEPCS, Grenoble 2011
8. Status of the future SPIRAL2 control system, D. Touchard et al., Proceedings of PCaPAC, Saskatchewan 2010
9. SPIRAL 2 injector diagnostics, P. Ausset, T.A. Andre, C. Doutressoulles, B. Ducoudret, C. Jamet, W. Le Coz, F. Lepoittevin, E. Swartvagher, J.L. Vignet, C. Maazouzi, C. Olivetto, C. Ruescas, DIPAC, Basel 2009
10. Preliminary implementations for the new SPIRAL 2 project control system, P. Gillette, C. Haquin, E. Lécorché, D. Touchard, J.F. Denis, F. Gougnaud, J.F. Gournay, Y. Lussignol, P. Mattei, P. Graehling, J. Hosselet, C. Maazouzi, C. Olivetto, PCaPAC Ljubljana 2008

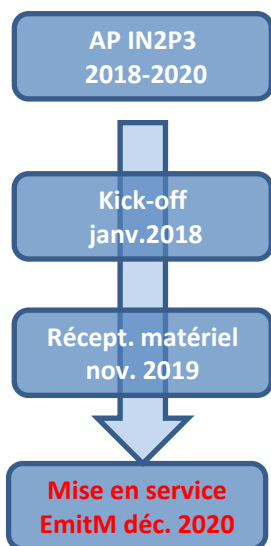
Synthèse budgétaire 2018-2020

Projet EmitM
Budget 35550 €



Hors contribution équipement du
JINR de 25000 €

Planning et chronologie des évènements



	Construction						Applications				
	CDC STB EDP	EDD DD FAB	FAB	R&D	RL, IS	CS, Test s	ARRONAX	IPHC			
2018	Trim 1	Trim 2	Trim 3-4								
2019				Trim 2	Trim 4						
2020						Trim 4					
2021							Trim 1	Trim 2			

Evènement	Période	Retard (ou délai t masqué)	Note
RH indisip.	2018	6 mois	CSTP IPHC, sstr...
Accord cadre CNRS-JINR	2018-2019	(20 mois)	Signatures et livraison in-kinds
COVID19	2020	1 mois	Télétravail
Réparation	2020	1 mois	Test non concluant
TOTAL retard		8 mois	

Légende : EDP Etude de Définition Préliminaire, EDD Etude de Définition Détaillée, DD Dossier de Définition, RL Réception des Lots, IS Intégration système, CS Commissioning Système, FAB Fabrication



EMITTANCE METRE



MODE PULSE READY

AXE EN COURS ANALYSE CONFIG MODBUS ICV108_v.57PLC CONNECTED & OK: Attente Emittance

Etats Emittance-metres
 LBE1 LBE LME
 legen O Run Error

Choix du mode acq
 ACQ PULSE

Choix des axes à faire:

Select ColorMap:

Lancement acquisition:
 START ACQUISITION
 EMITTANCE-METRE

Progression:
 0

TIMEOUT 0
Arrêt de l'acquisition:

STOP ACQUISITION

Tensions accélérations
 VSLBE1(kV) 60
 VSLBEC(kV) 60
 VSLME(keV/A) 731,835

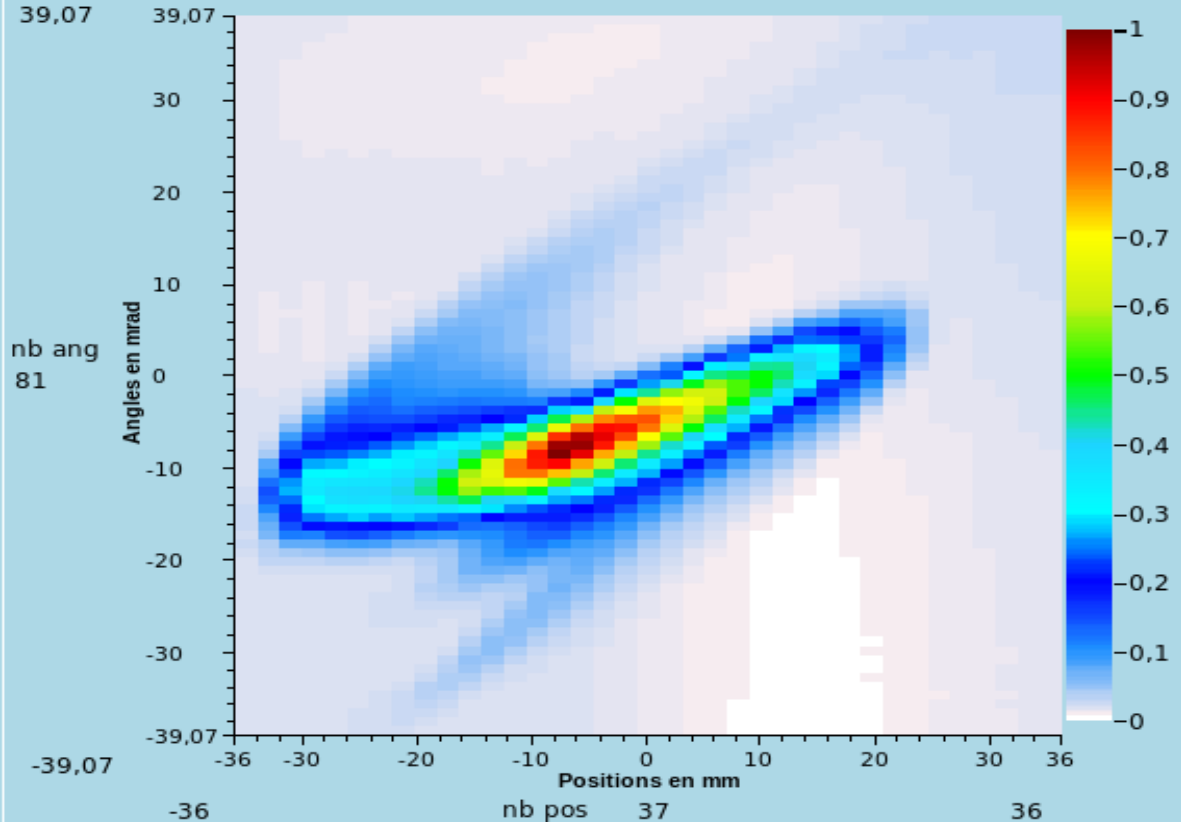
Masses et charges

	LBE1	LBEC/LINAC
Q	6	6
A	18	18
NOM	OXYGENE	OXYGENE

Infos transport beam
 S11-HT:VCons 60000
 SD-HT:VCons 2000
 LBE2-D11:ICons 0

Afficher Ellipse Noise 0

Q	A	ACC (KeV)	Faisceau	Gamma	Beta
6	18	60	oxygene	1,0000213158	0,00652918



- Filtrage
- LBE1V
 - LBE1H
 - LBECV
 - LBEC H
 - LMEV
 - LMEH
 - FILE
 - NewFILE

/home/spiral2/data/emit/eLBEC_H_2016_06_02_17_02_16.dat

Xc(mm)	-5,559	Nrms	1
X'c(mrad)	-5,396	%%	52,75
ε rms	1,213	ε' rms	0,34
ε rms nn	185,812	ε' rms nn	185,81
α	-0,379		
β	1,336		
γ	0,856		