

# *Diagnostics pour les faisceaux*



@



**SPIRAL2**

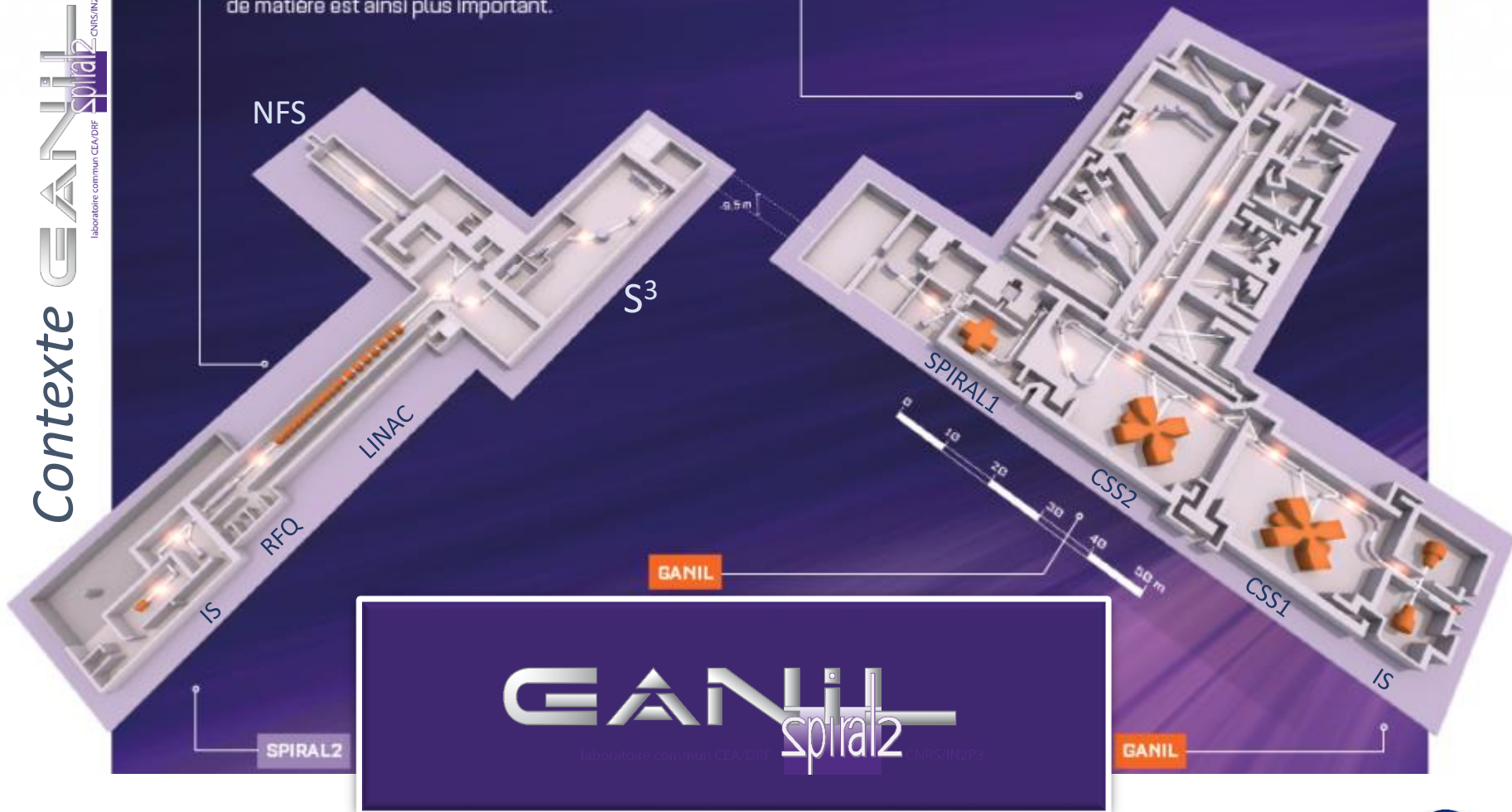
**L'ACCÉLÉRATEUR LINÉAIRE SUPRACONDUCTEUR**

délivre des faisceaux de particules de très grande intensité : le nombre de collisions entre les particules accélérées et les noyaux de la cible de matière est ainsi plus important.

**GANIL**

**LES SALLES D'EXPÉRIENCES**

renferment des systèmes de détection et de mesure très sophistiqués, permettant d'étudier les propriétés de noyaux très exotiques.



**GANIL**

**GANIL**

**GANIL**  
 spiral2  
 laboratoire commun CEA/DRF - CNRS/IN2P3

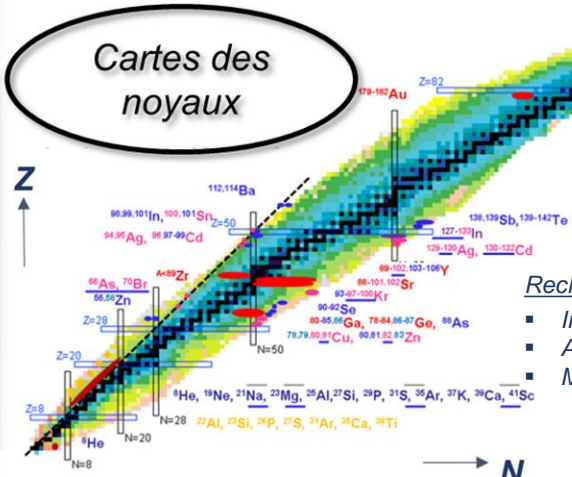
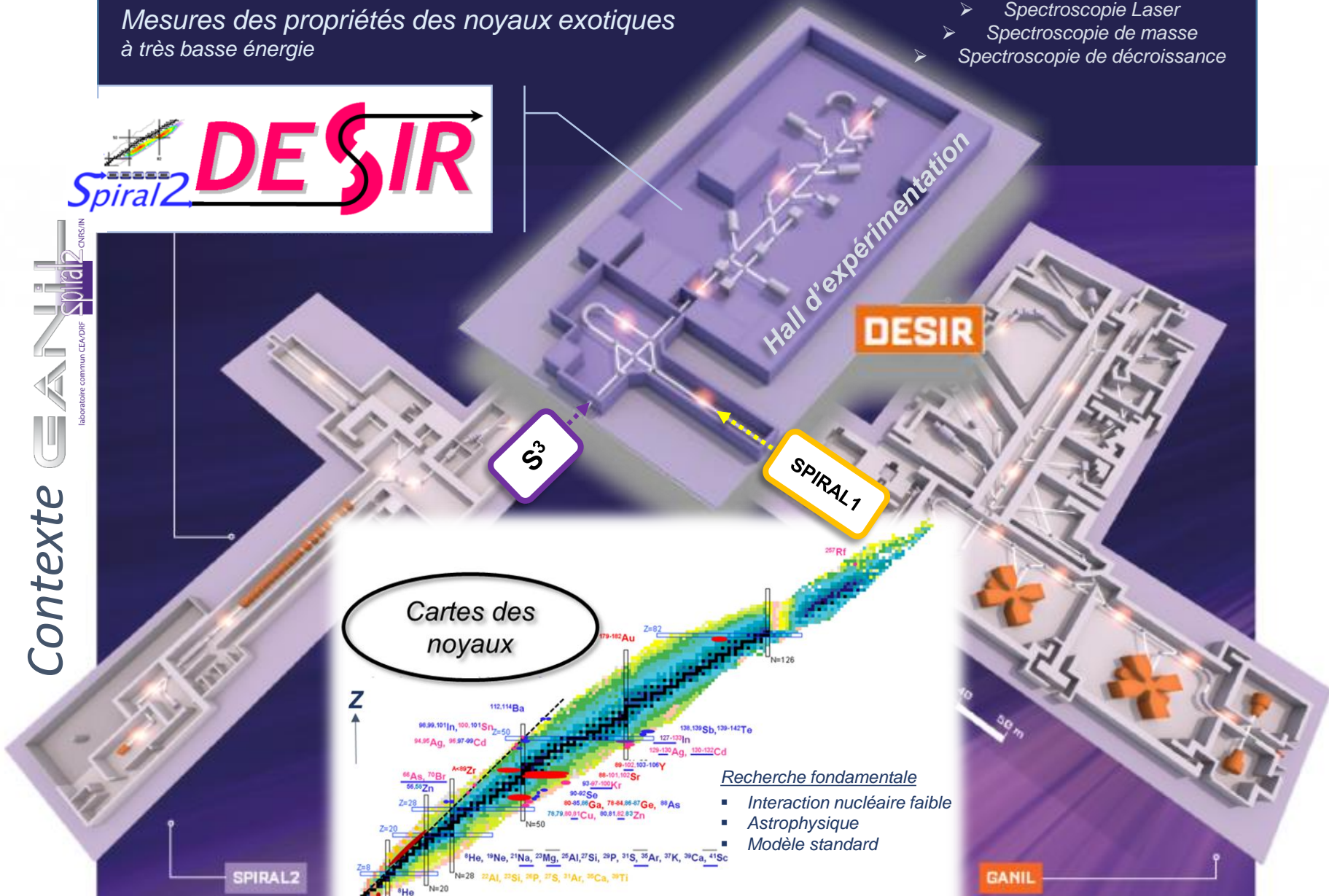
# Mesures des propriétés des noyaux exotiques à très basse énergie

- Spectroscopie Laser
- Spectroscopie de masse
- Spectroscopie de décroissance



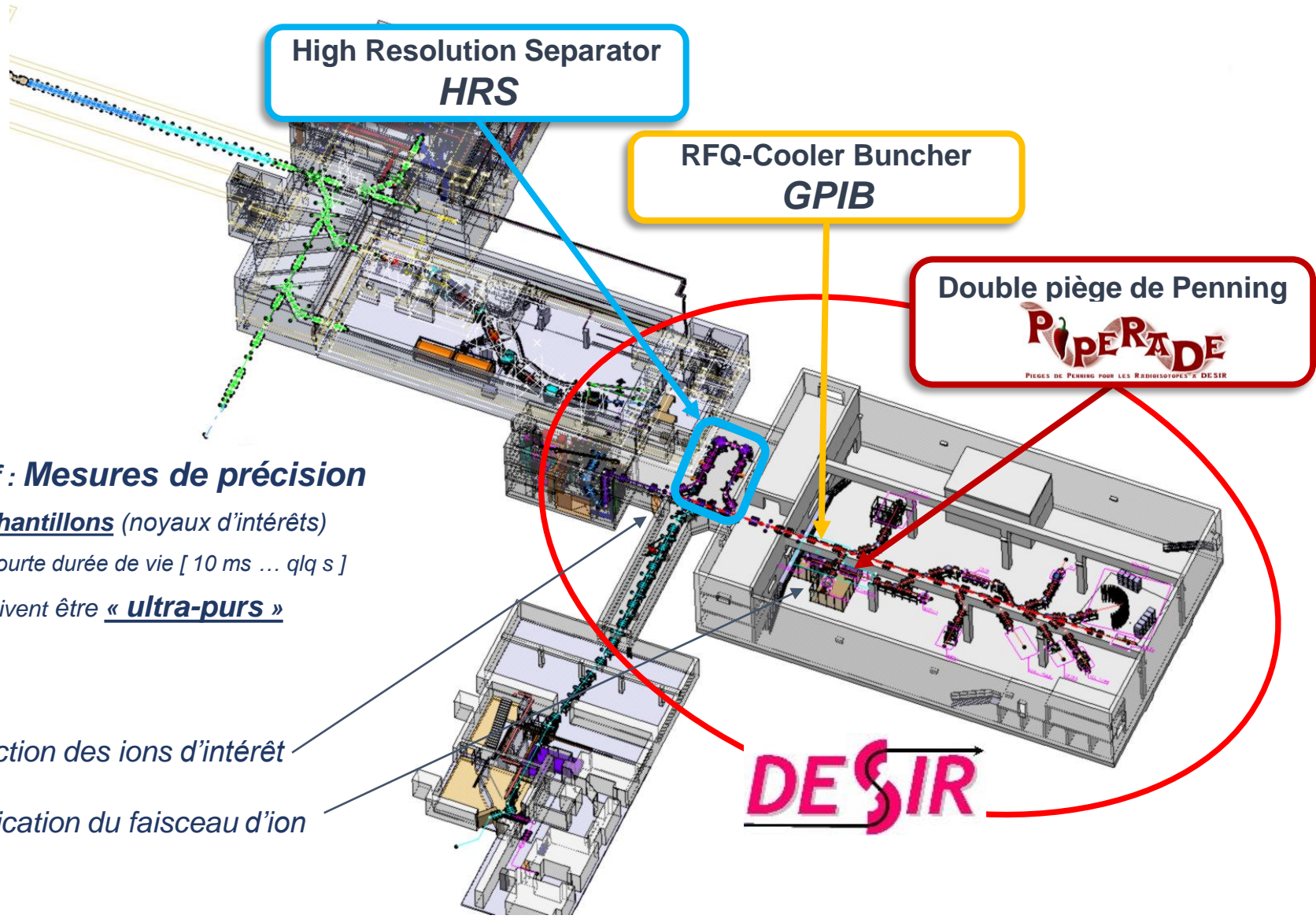
Contexte GANIL

laboratoire commun CEA/DRF



- Recherche fondamentale
- Interaction nucléaire faible
  - Astrophysique
  - Modèle standard





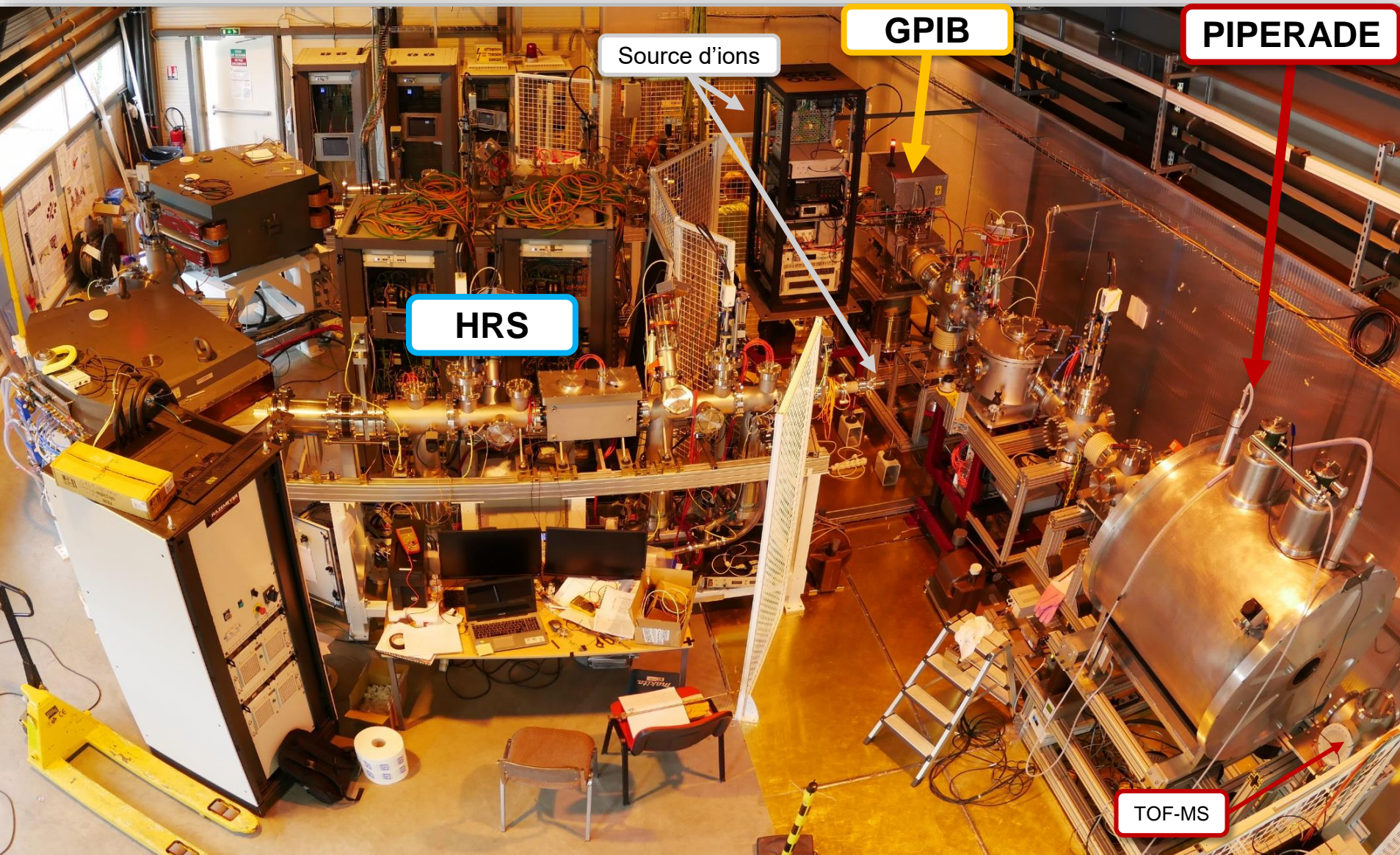
**Objectif : Mesures de précision**

➤ Echantillons (noyaux d'intérêts)  
de très courte durée de vie [ 10 ms ... qlq s ]  
doivent être « ultra-purs »

- ❑ Sélection des ions d'intérêt
- ❑ Purification du faisceau d'ion

**DESIR**





Source d'ions

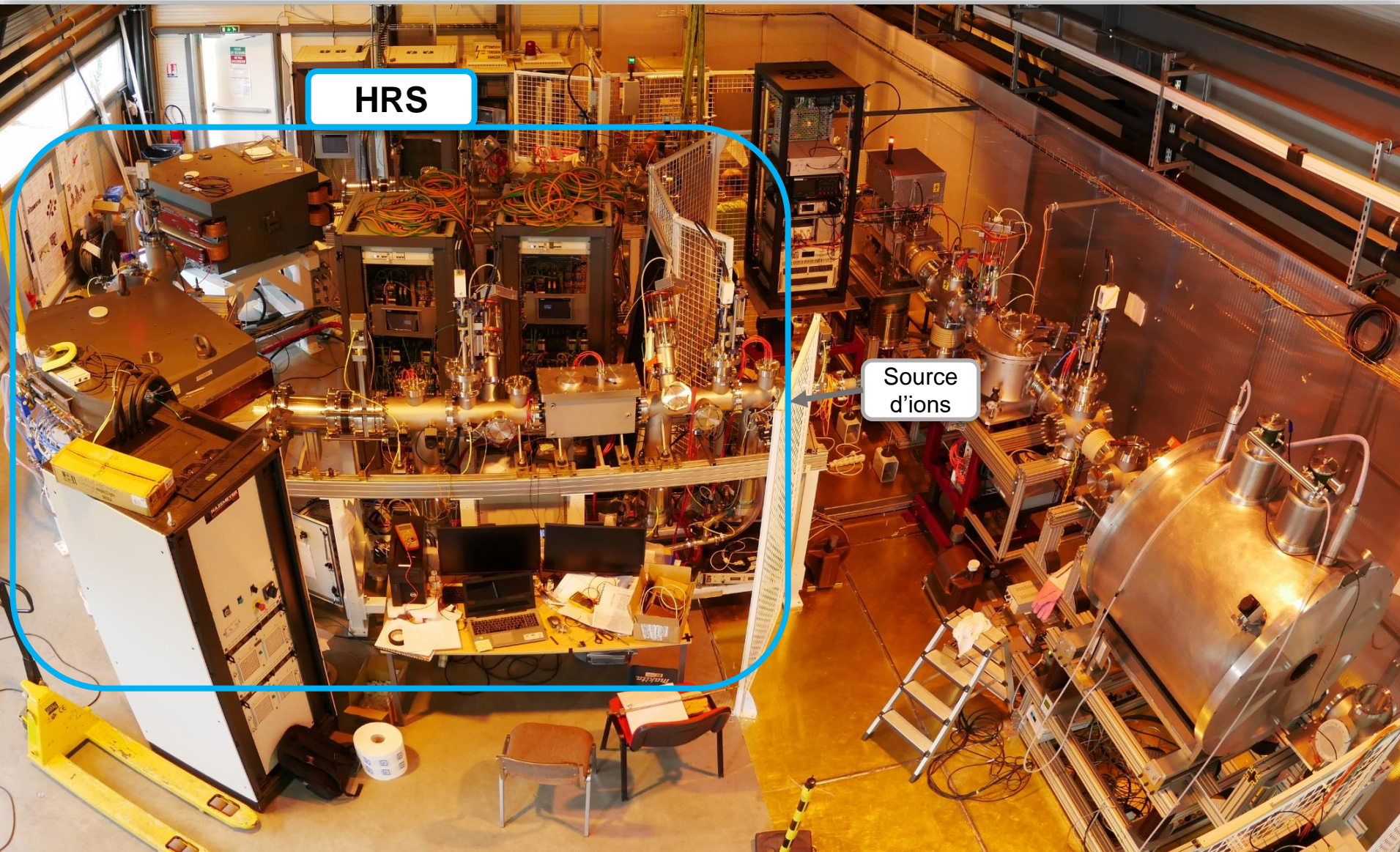
GPIB

PIPERADE

HRS

TOF-MS

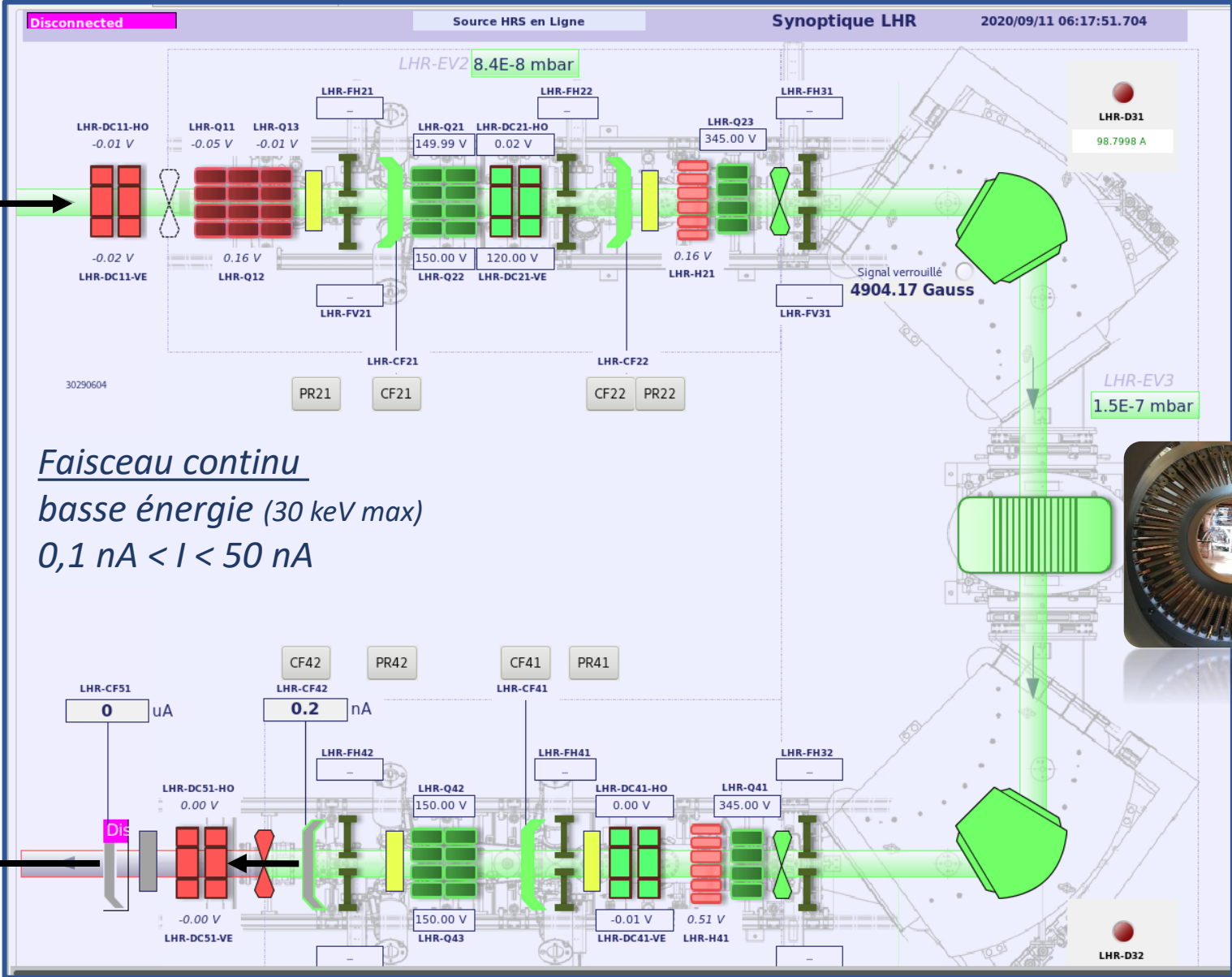




HRS

Source d'ions

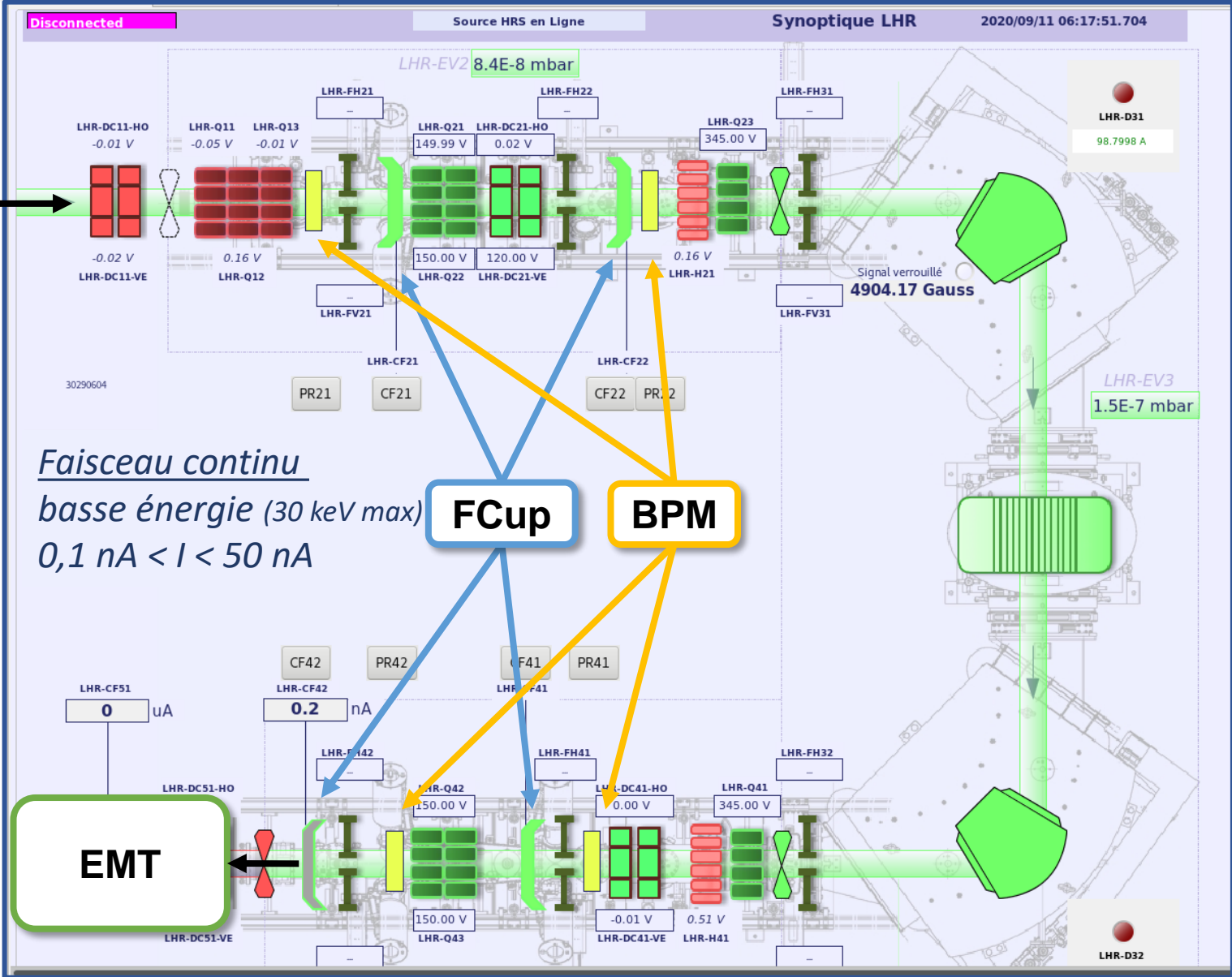




*Faisceau continu  
basse énergie (30 keV max)  
0,1 nA < I < 50 nA*

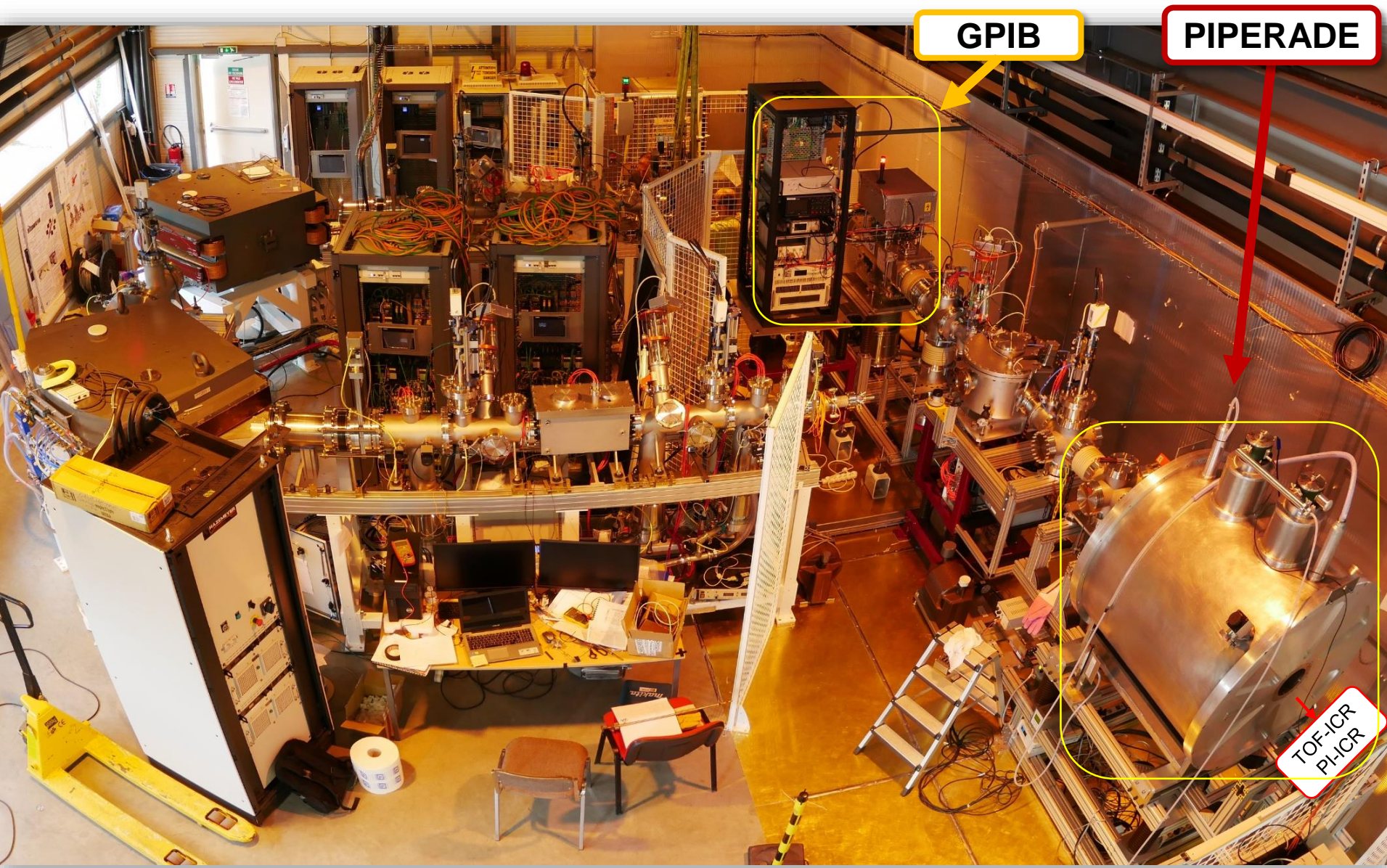


**30kV**  
**Source d'ions Cs<sup>+</sup>**



*Faisceau continu  
basse énergie (30 keV max)  
0,1 nA < I < 50 nA*



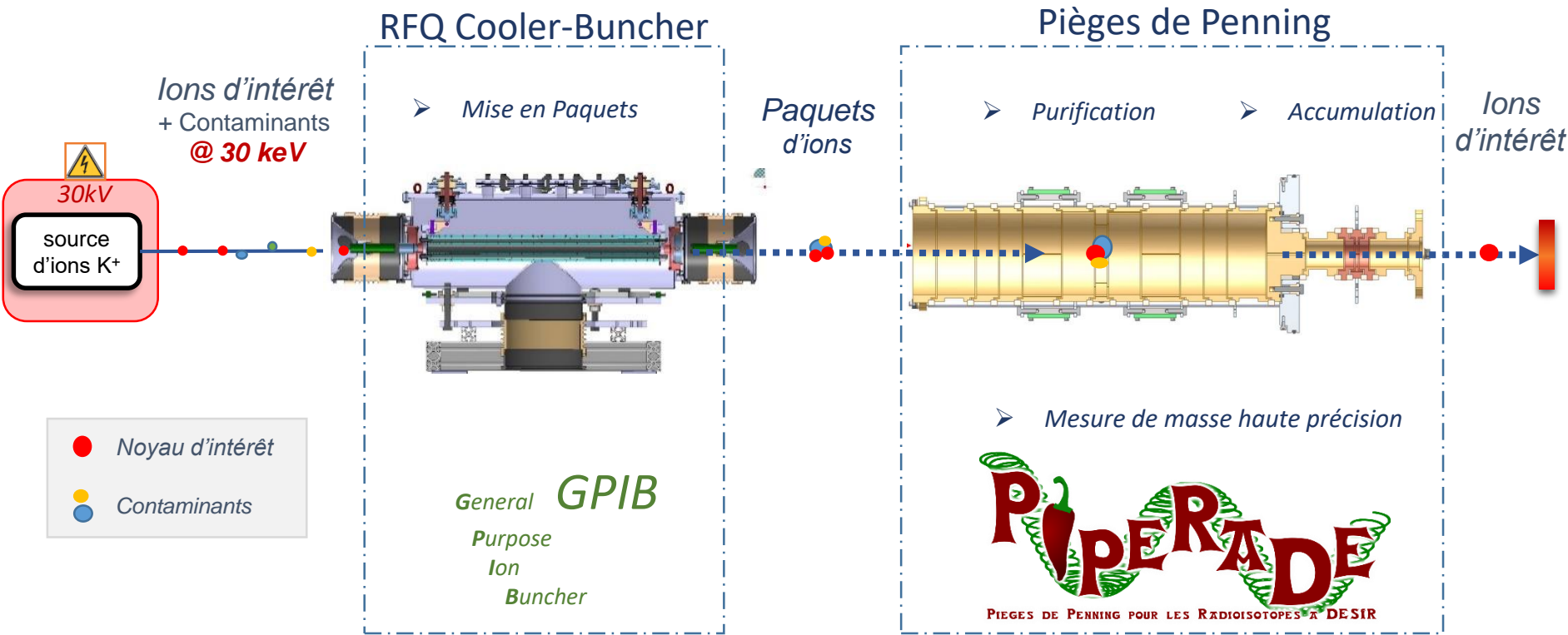


GPIB

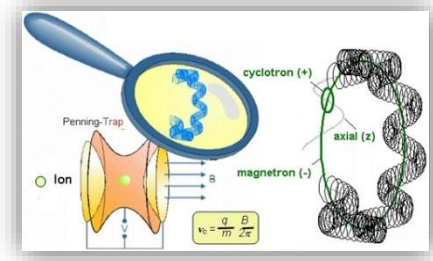
PIPERADE

TOF-ICR  
PL-ICR



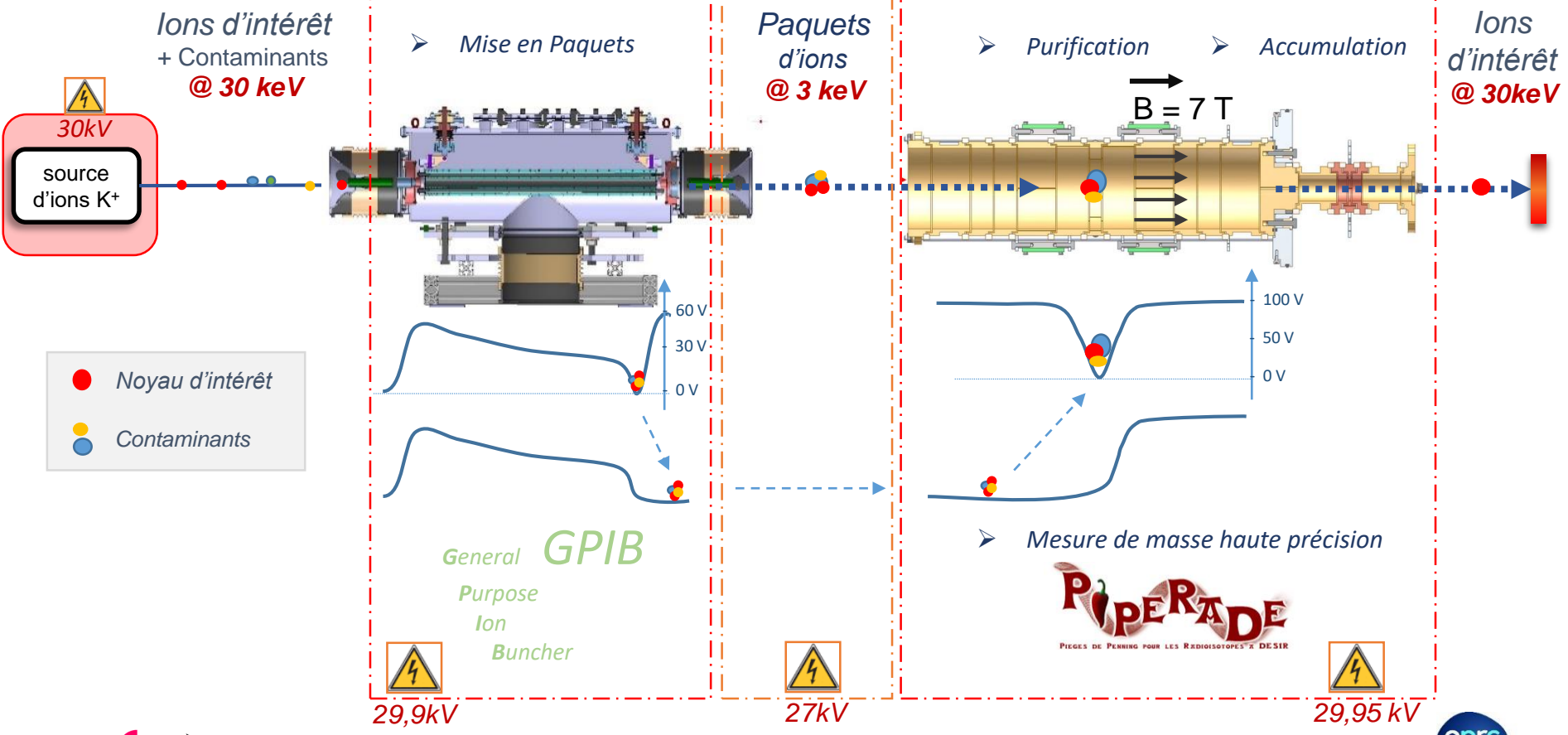






**RFQ Cooler-Buncher**

**Pièges de Penning**



● Noyau d'intérêt  
● Contaminants

## CW 30 keV

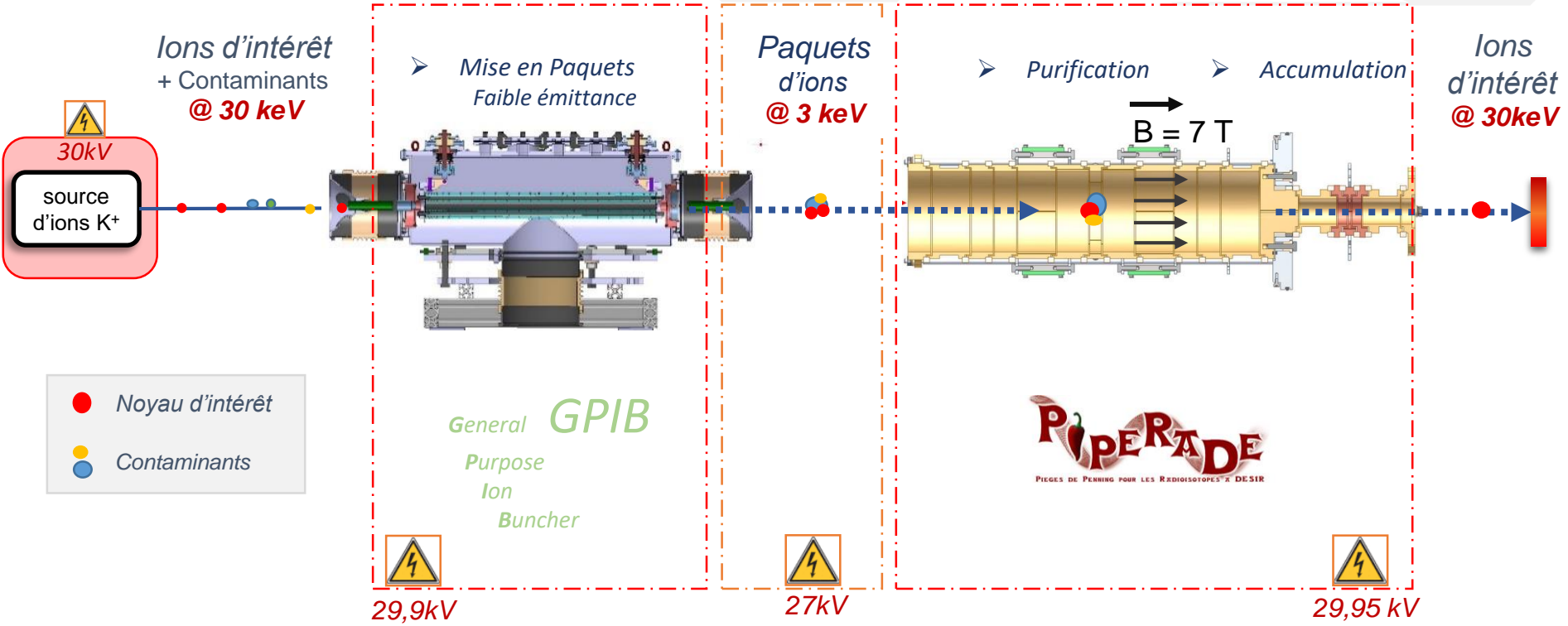
- $10 \text{ pA} < I < 1 \text{ nA}$

## bunch 3 keV

- Longueur : Typ.  $1 \mu\text{s}$
- Période :  $100 \text{ ms} \dots 1 \text{ s}$
- $1 \text{ ppp}^{(*)} < I \text{ Bunch} < 10^8 \text{ ppp}$

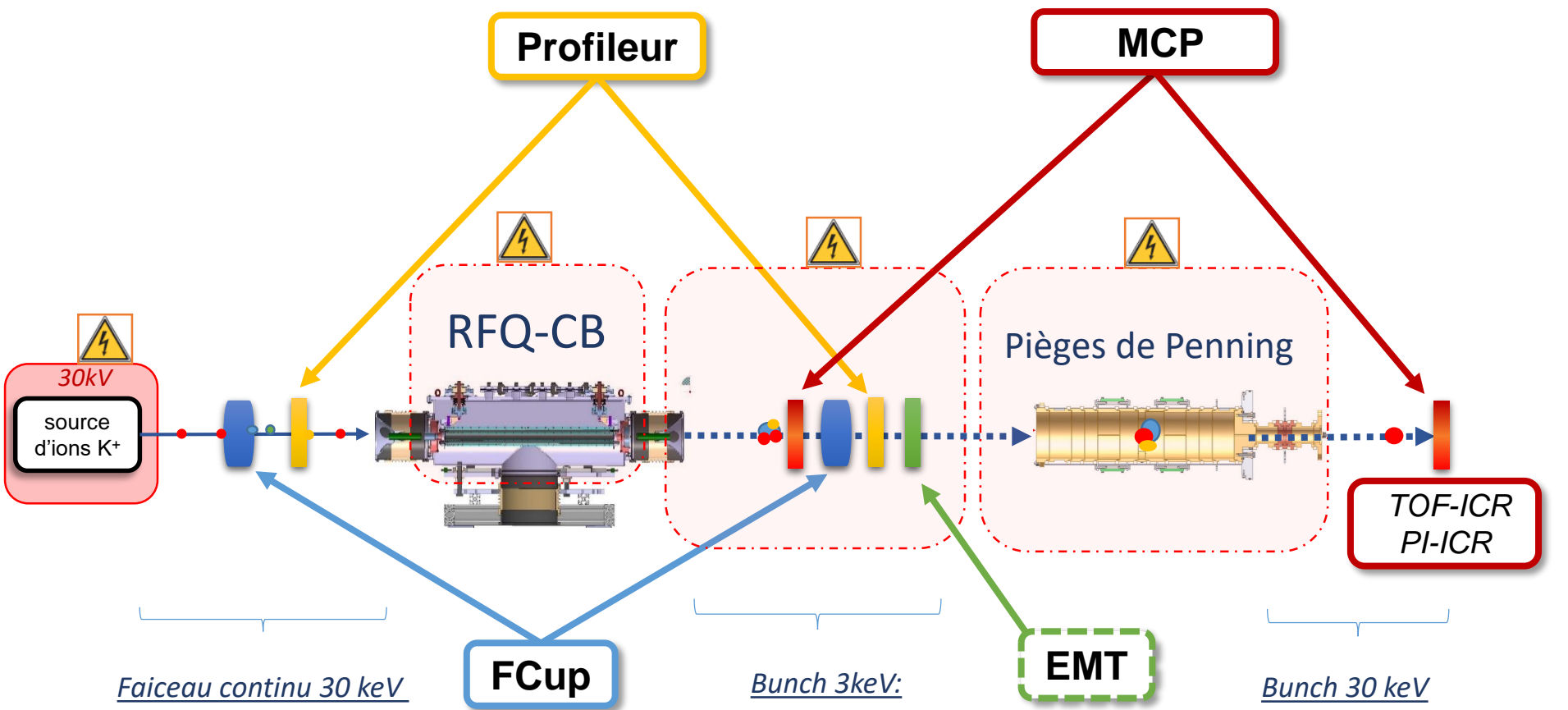
## bunch 30 keV

- Longueur :  $0,5 \text{ à } 500 \mu\text{s}$
- Période :  $500 \text{ ms} \dots 2 \text{ s}$
- $1 \text{ ppp}^{(*)} < I \text{ Bunch} < 10^5 \text{ ppp}$



(\*) ppp : particules par paquet





Faisceau continu 30 keV

$10 \text{ pA} < I < 1 \text{ nA}$

**FCup**

Bunch 3keV:

- Longueur : Typ. 1  $\mu\text{s}$
- Période : 100 ms ... 1 s
- 1 ppp(\*) < I Faisceau < 10<sup>8</sup> ppp

**EMT**

Bunch 30 keV

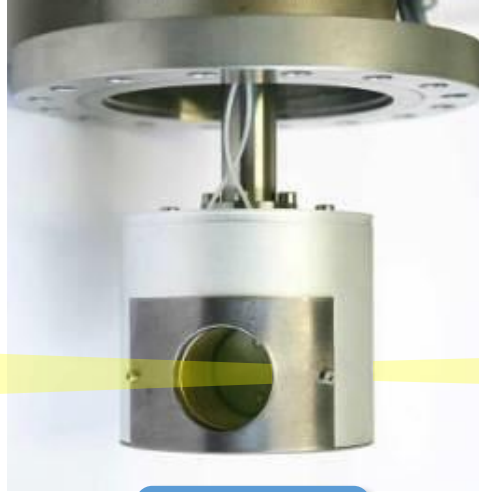
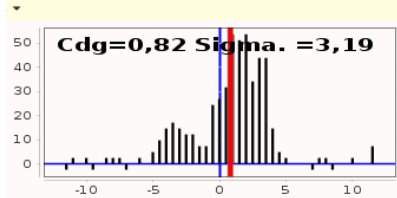
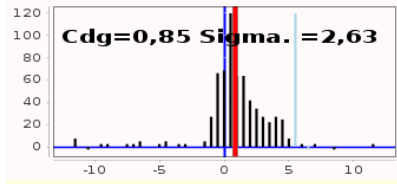
- Longueur : 0,5 à 500  $\mu\text{s}$
- Période : 500 ms ... 2 s
- 1 ppp(\*) < I Faisceau < 10<sup>5</sup> ppp

(\*) ppp : particules par paquet



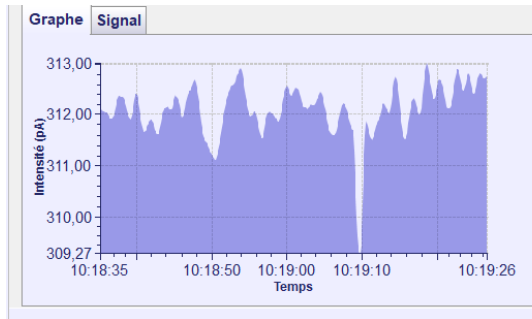
**BPM**

✓ SPIRAL2 PR-EMS



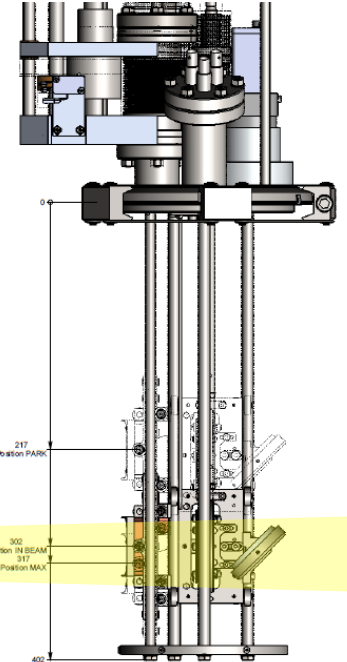
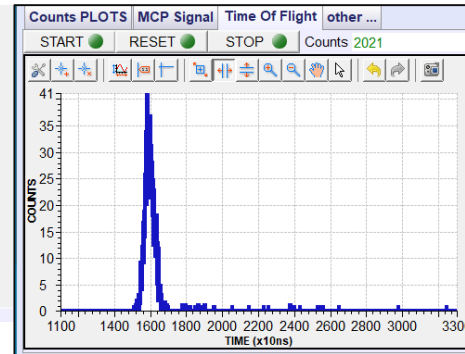
**FCup**

✓ SPIRAL2 CF



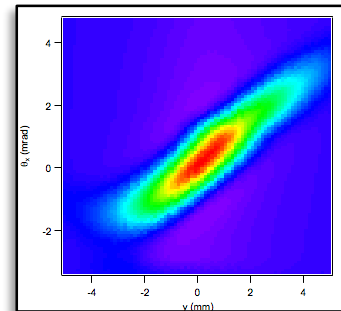
**MCP**

✓ CENBG

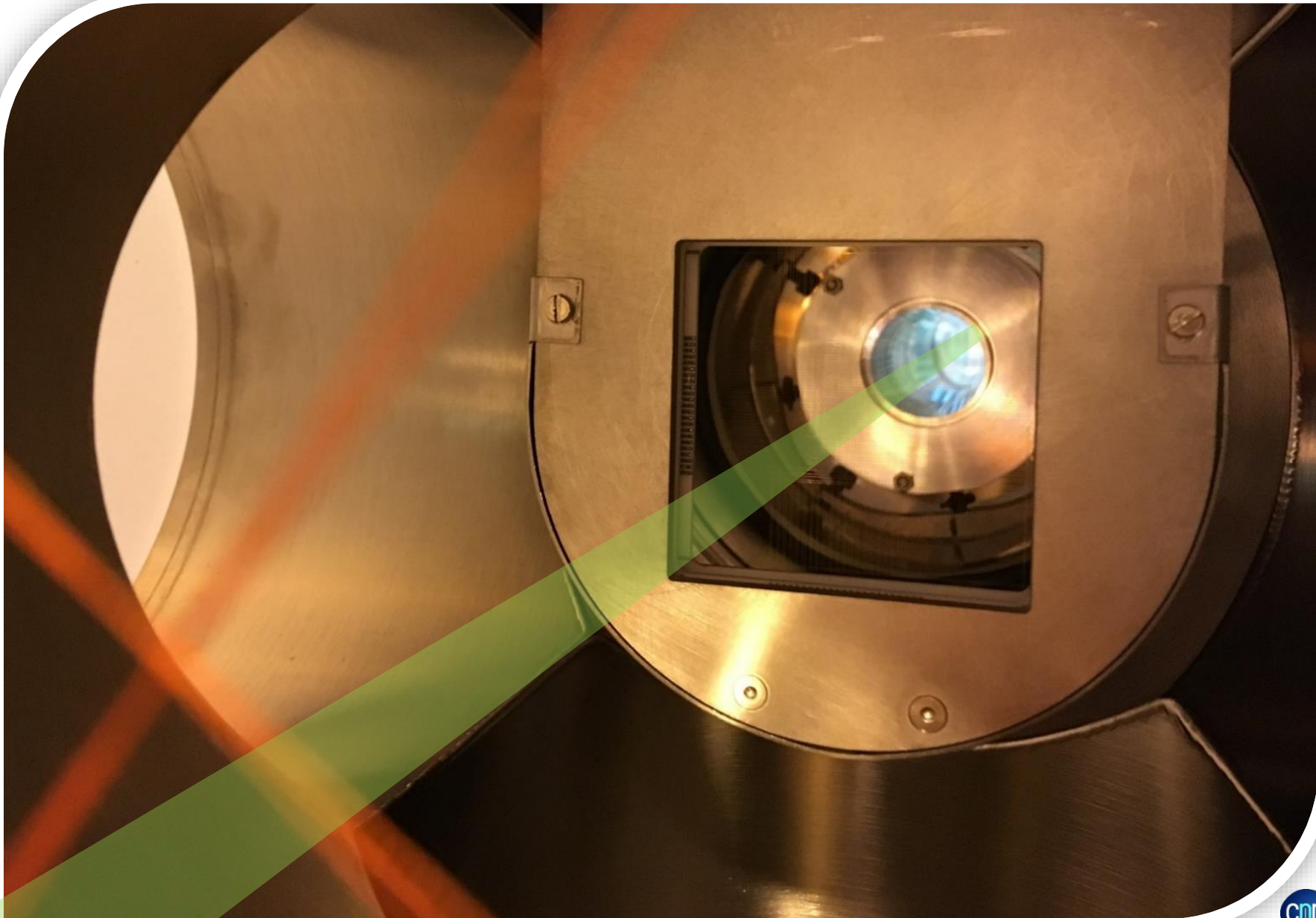


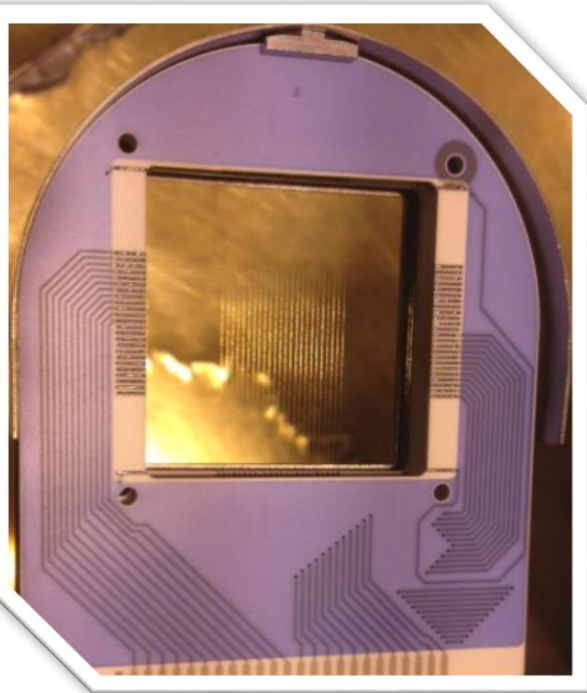
**EMT**

✓ Alison scanner  
✓ Pepper-pot





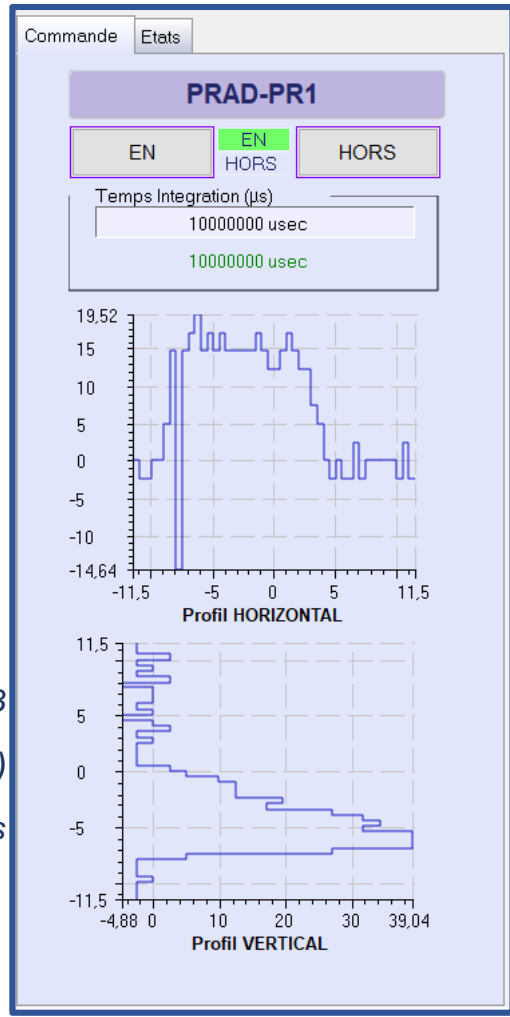




## Profileurs à Fils PR-EMS :

- ✓ Fils W / Au 70 µm diam. ;
- ✓ Semi-interceptif : Transparence > 90% ;
- ✓ 47 Fils / plan - Pas de 0,5mm
- ✓ Plans Horizontal + Vertical : Profil 23 mm x 23 mm ;
- ✓ Tps Intégration : 1 ms à 10 secondes
- ✓ PCB en céramique (Alumine) ;

➤ **Faisceau CW** « large » en entrée du GPIB  
**30keV K<sup>+</sup> @ 190 pA (10<sup>9</sup> pps)**  
Profil intégré pendant 10 secondes





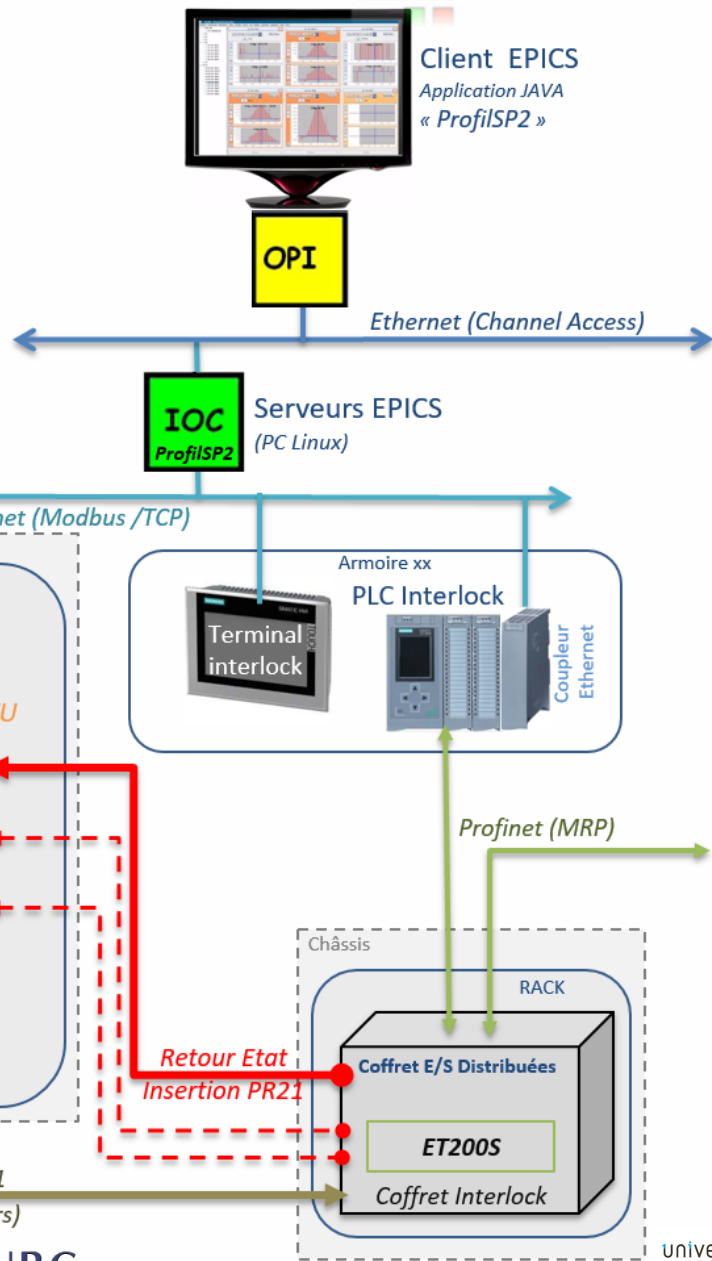
# PROFILEUR : *Electronique, Automatisation et Ctrl-Cde*



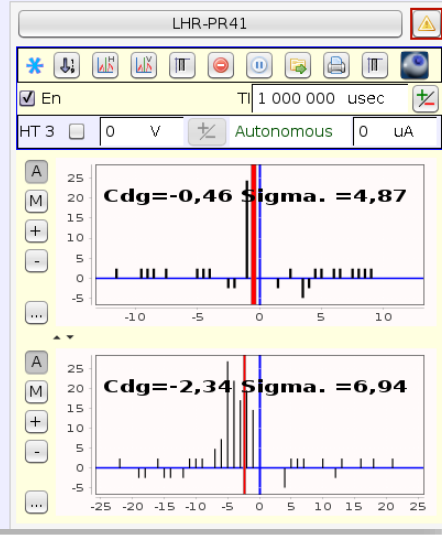
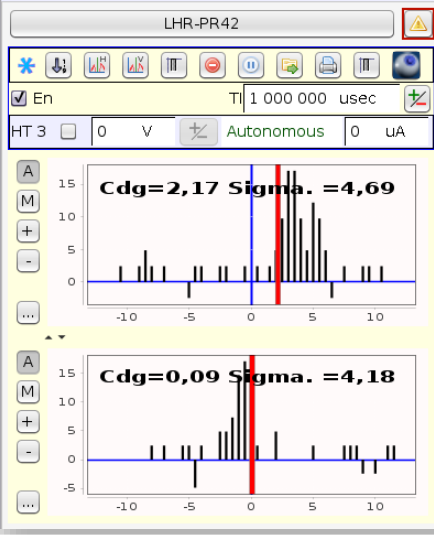
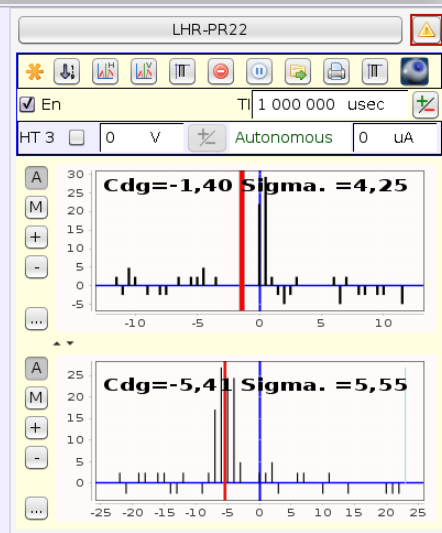
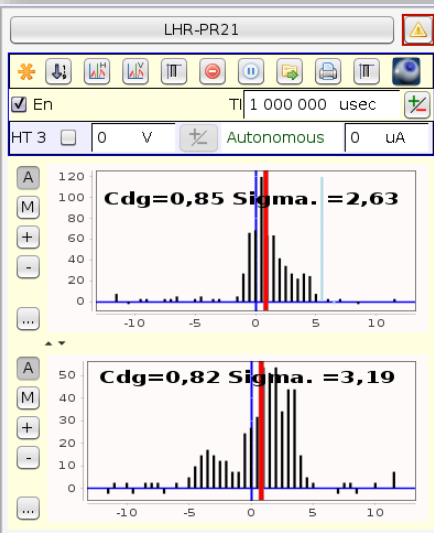
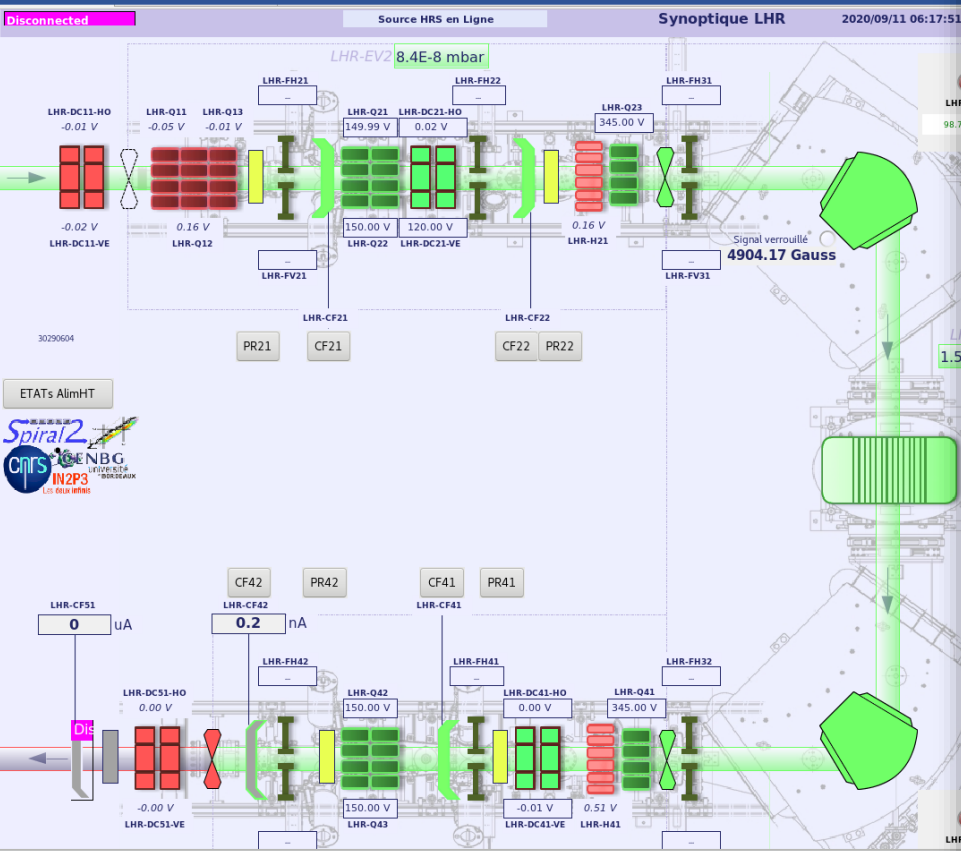
**LS-PR21**  
Profileur EMS

Signaux Profil Horizontal  
Signaux Profil Vertical

faisceau



# Clients EPICS du HRS DESIR : Synoptique et Application « Profils »



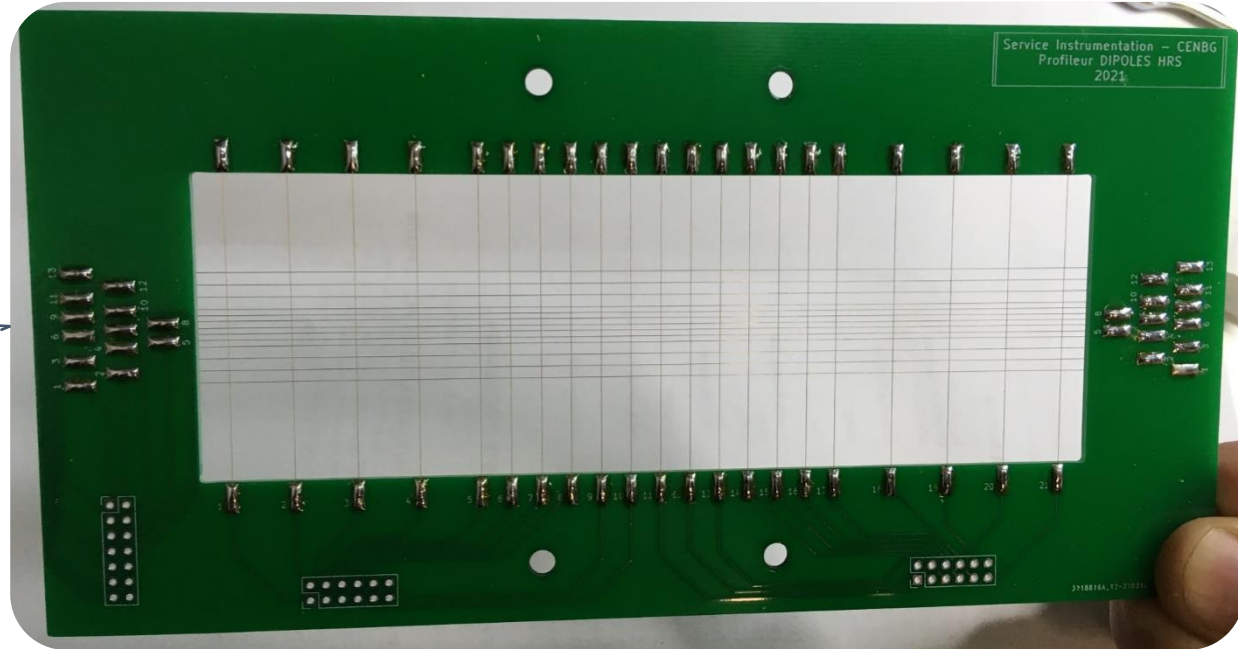
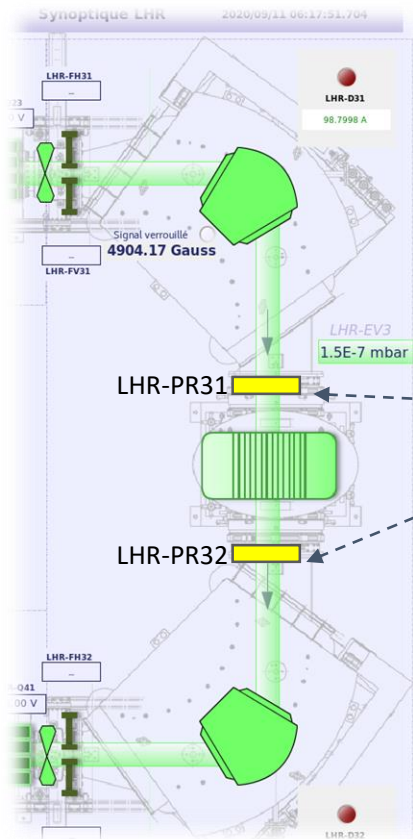


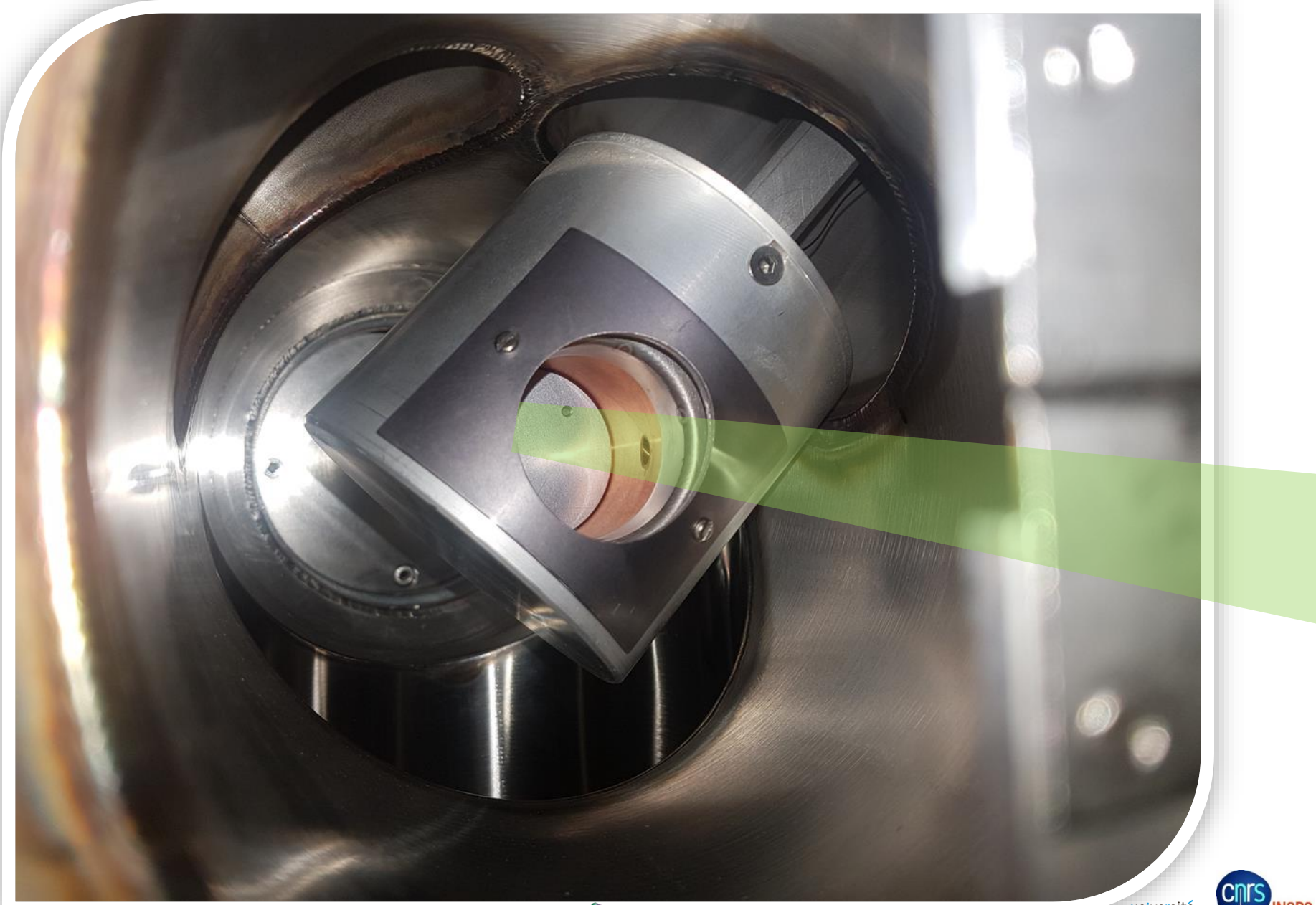
# Fabrication de profileurs spécifiques

## ✓ Profileurs à Fils « Dipôles HRS » LHR-PR31 & LHR-PR32:

- ❑ Fils W/Au : diamètre = 100  $\mu\text{m}$  ;
- ❑ Plan Horizontal : 21 Fils - Pas de 5 et 10 mm ;
- ❑ Plan Vertical : 13 Fils – Pas de 1 et 2 mm ;

Réalisation : B. Lachacinski



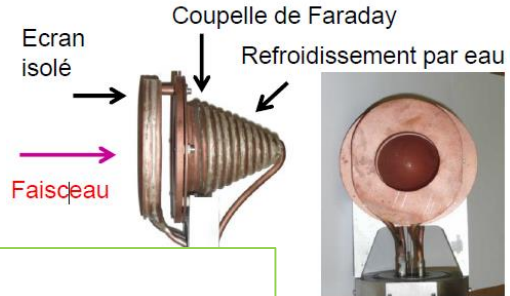






## SPIRAL2 Phase 1 : Accélérateur Linéaire – NFS – S3

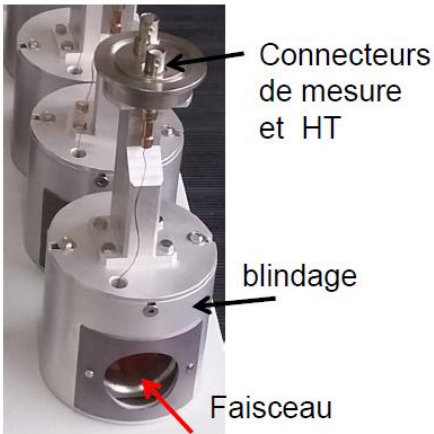
- ✓ Version refroidie pour accepter des puissances de faisceau jusqu'à 3kW
- ✓ Gamme d'intensité : 0,1  $\mu$ A à 10 mA



voir présentation de **Christophe Jamet** sur Indico :  
 « Réseau Instrumentation Faisceau : Réunion du 27 et 28 mars 2019 ... »

## SPIRAL2 Phase 1+ : DESIR

- ✓ Non refroidie : Faisceau basse intensité @ 60 keV max
- ✓ Gamme d'intensité : 10 fA à 100  $\mu$ A



**Objectif :**

- Mesure absolue de l'intensité faisceau

**Faisceau DESIR**

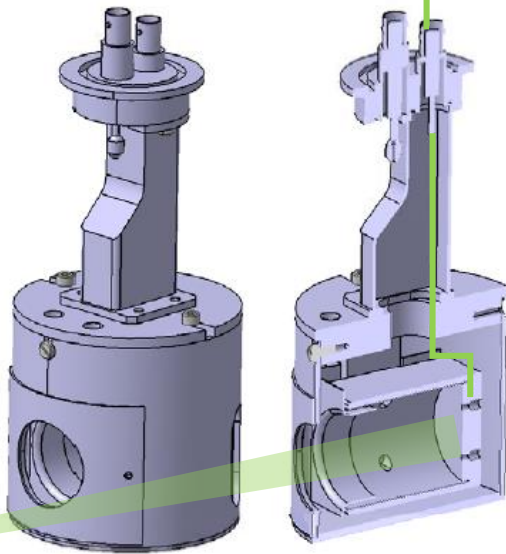
- ✓ Faible intensité : qq **nA** jusqu'à ..... qq ions.s<sup>-1</sup>
- ✓ Continu ou en Paquets (qq μs)

**Electronique d'Amplification**

compromis « Sensibilité / Dynamique »

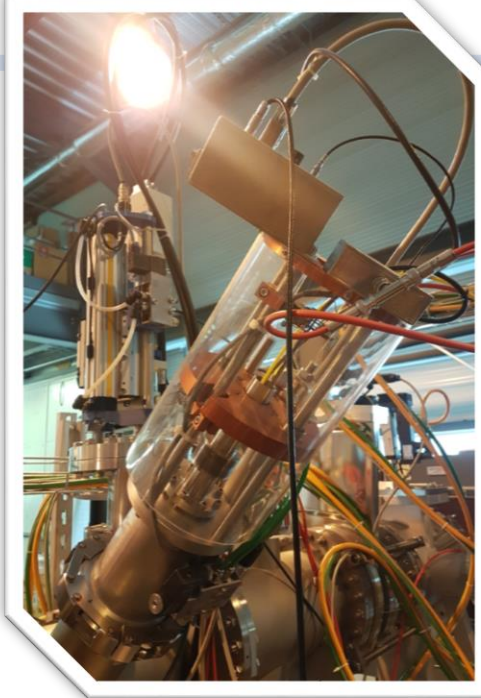
Deux électroniques utilisées :

- ❑ « PICO-LIN » :
  - Très sensible & très lent :  
mesure Faisceaux continus
- ❑ « FEMTO » :
  - « rapide » mais bien moins sensible que PICO-LIN ...  
mesure Bunchs et faisceaux continus « intenses »

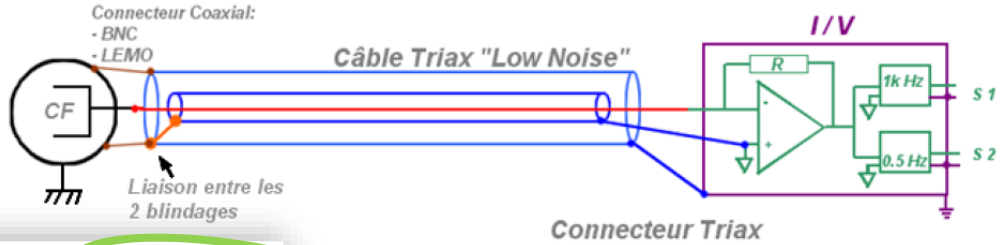




# CF faisceaux continus : « PICO-LIN » GANIL



- ✓ Boîtier I / V PICO-LIN : Amplificateurs de transimpédance
  - ✓ Développement SPIRAL2 par le GANIL (C. Jamet)
  - ✓ *Electronique Linéaire* embarquée au dessus de la CF
  - ✓ *Entrée Triax « bas bruit »*



*I Faisceau*

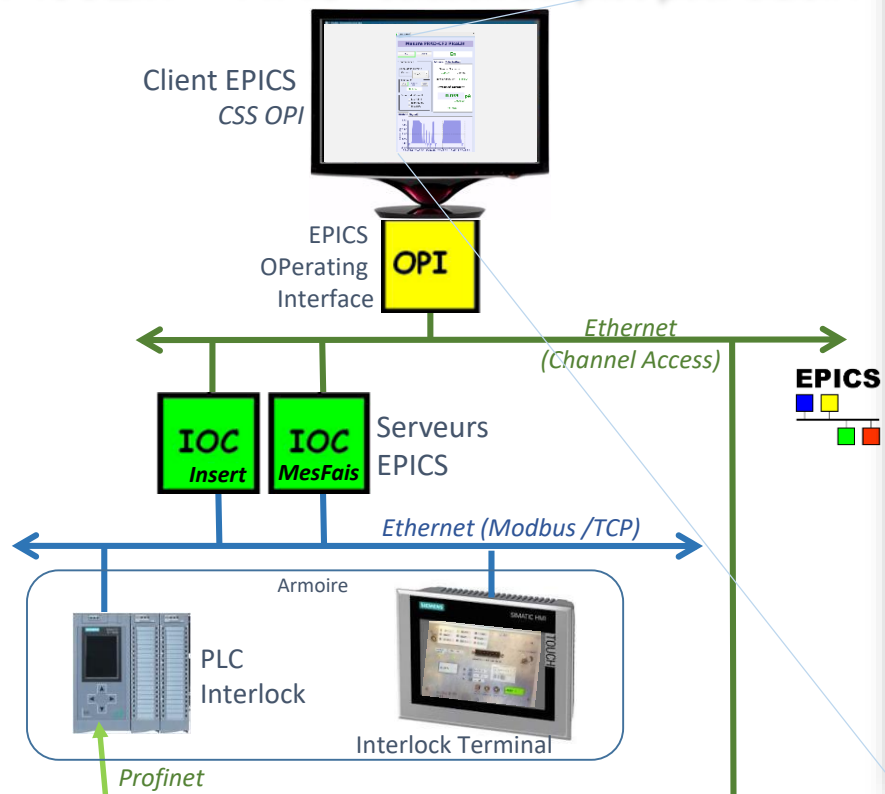


En modes LOCAL ou DISTANT (CC)

- 8 Gammes de mesures : **1 pA/V** (BP 0,9Hz) .... **10 μA/V** (BP 1kHz)
- 3 sources test (5 pA / 500 pA / 50 nA)

Faisceaux continus mesurés sur PIPERADE :  
100 fA < I Faisceau < 1 nA : Excellent rapport S/N

# Ctrl-Cde « CF-PicoLin » HRS solution adoptée pour DESIR



### Mesure PRAD-CF1 PicoLin

EN HORS **En**

Commandes

Choix de la Gamme  
Gamme 100pA/V

Polarisation  
ON Power ON No Bus OFF  
-50,01 V

Sources de Courant  
Test 50nA  
Test 500pA  
Test 5pA

Mesure Polarisation

Gamme Slectionnée  
100pA/V Gamme

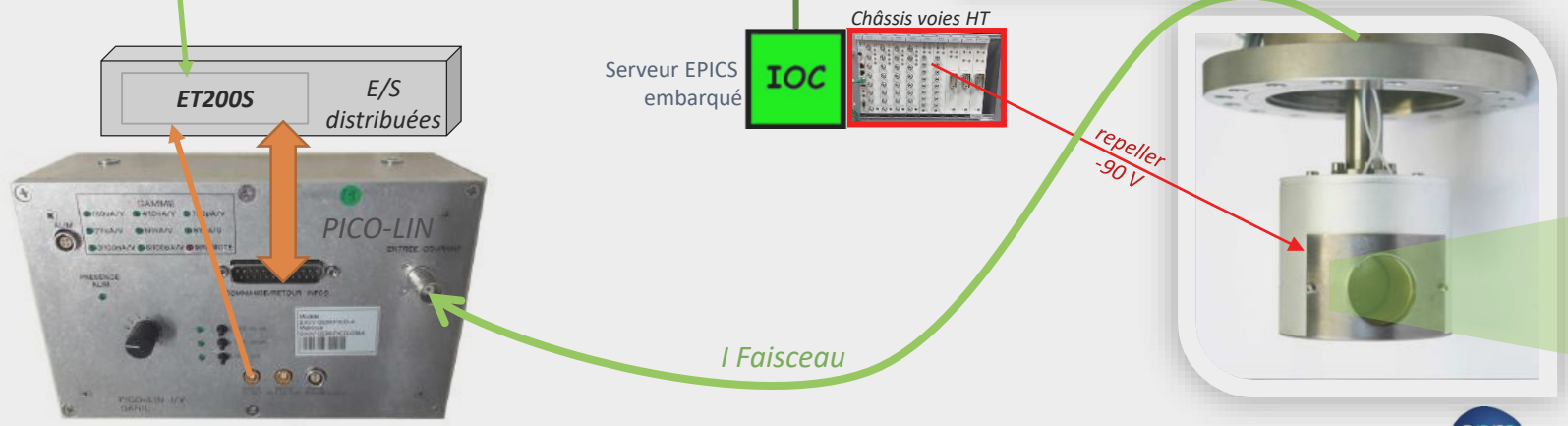
Tension Mes. (V) : 3,127 V

Intensité Mesurée :

**312,695 pA**  
312,695 pA  
No Power

Graphe Signal

LIGNE de FAISCEAU

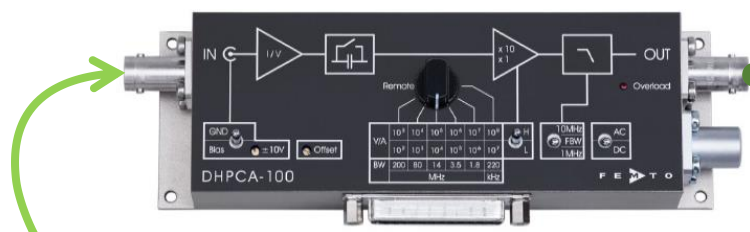




# CF pour Bunch : Ampli rapide « Femto »

## Femto DHPCA-100

- Transimpedance (gain) switchable from  $1 \times 10^2$  to  $1 \times 10^8$  V/A
- Bandwidth from DC up to 200 MHz
- Upper cut-off frequency switchable to 1 MHz, 10 MHz or full bandwidth
- Switchable AC/DC coupling
- Adjustable bias voltage for use with external photo detectors
- Input protection against  $\pm 1.5$  kV transients
- Local and remote control of all main functions



Gain setting (high speed) (V/A)	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	$10^8$
Upper cut-off frequency (-3 dB)	175 MHz	80 MHz	14 MHz	3.5 MHz	1.8 MHz	220 kHz
Rise/fall time (10% - 90%)	2.0 ns	4.4 ns	25 ns	0.1 $\mu$ s	0.2 $\mu$ s	1.6 $\mu$ s
Input noise current density ( $\sqrt{\text{Hz}}$ )	155 pA	6.1 pA	1.5 pA	440 fA	140 fA	51 fA
measured at	1 MHz	1 MHz	1 MHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz
Integr. input noise current (RMS)*	2.8 $\mu$ A	280 nA	18 nA	3.0 nA	0.72 nA	60 pA
Max. input current ( $\pm$ )	1 mA	0.1 mA	10 $\mu$ A	1 $\mu$ A	0.1 $\mu$ A	10 nA
DC input impedance	50 $\Omega$	50 $\Omega$	60 $\Omega$	100 $\Omega$	1 k $\Omega$	10 k $\Omega$

- $10^6$  V/A : Limites [ 1  $\mu$ s & 5 nA ]  $\rightarrow$  bunch 1 $\mu$ s >  $6 \cdot 10^4$  ppb
- $10^7$  V/A : Limites [ 5  $\mu$ s & 1 nA ]  $\rightarrow$  bunch 5 $\mu$ s >  $2 \cdot 10^4$  ppb

# CF « Femto » pour Bunch : Acquisition & Ctrl-Cde EPICS



redpitaya

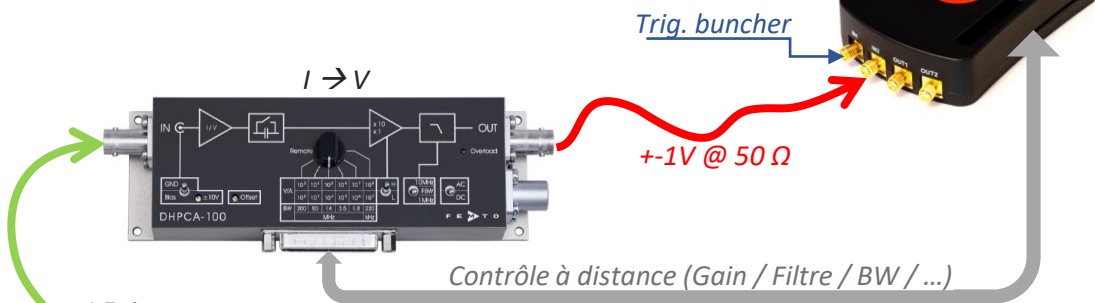


STEMLab 125-14

- Dual core ARM + FPGA Xilinx - OS : Linux Debian
- Oscilloscope 2 voies \_ 125 MS/s \_ ADC 14bits (+/- 1 V)
- Serveur WEB : Scope & Génér de fonctions ....
- Serveur EPICS développé par « Australian-Synchrotron »

• Ajouts CENBG - B. Lachacinski :

- Contrôle à distance FEMTO par DIO
- Complément Database / IOC EPICS embarqué



Réseau Ethernet (Channel Access)



**Mesure PRAD-CF2-FEMTO**

EN HORS **En**

Commandes

Choix de la Gamme  
Gamme 100 nA/V

Polarisation  
ON Power ON No Busy OFF  
-49,81 V

Bandwidth Full  
AC/DC

Oscillo Tension Gene Mesure

Start ACQ  SINGLE ACQ  
 Stop ACQ  Reset

CH1\_PE Trigger  
0,500 V Trigger Level  
10000 ns Trigger Delay (ns)

Samples 1  
Sampling Rate 125 MHz  
Sleep time 0,001 s

Averaging  
Low Low

IN1 Visible  IN2 Visible

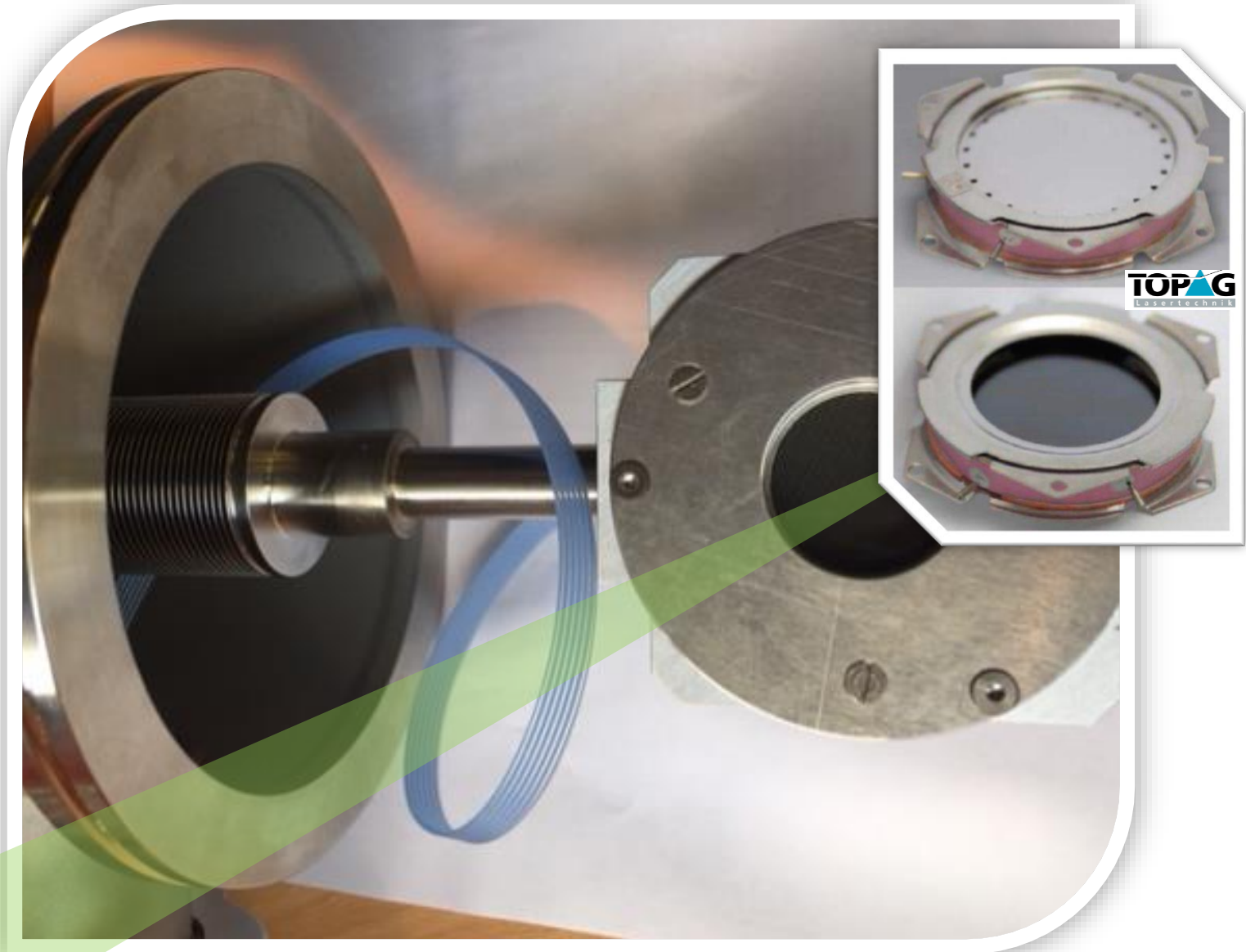
Graph Signal

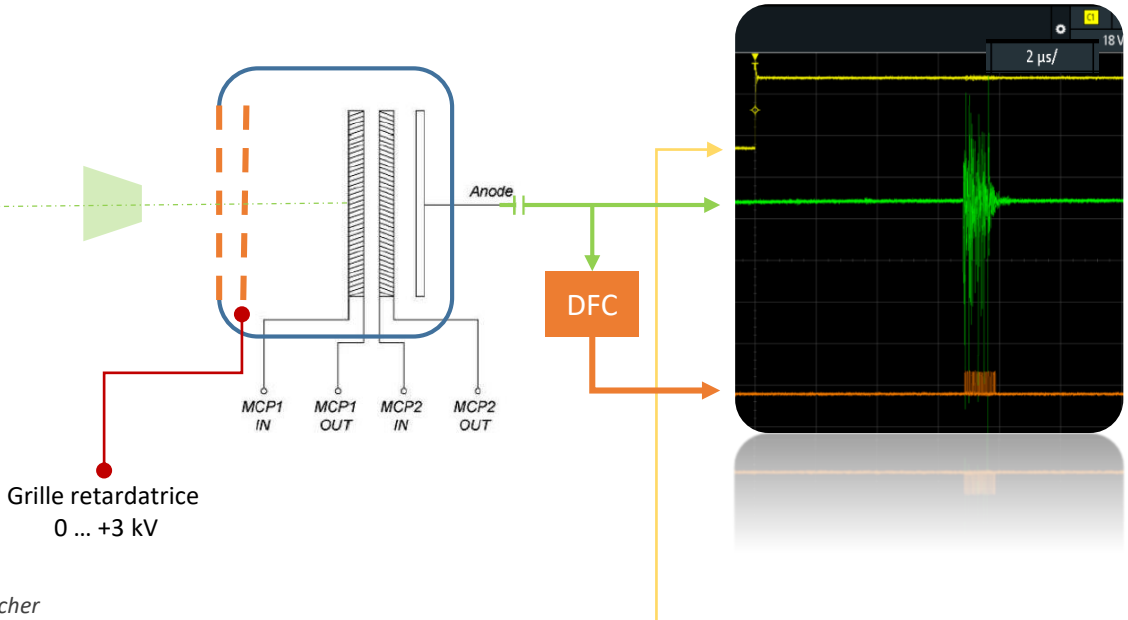
IN1 (V) IN2 (V)

Time (µs)



# Micro Channel Plates



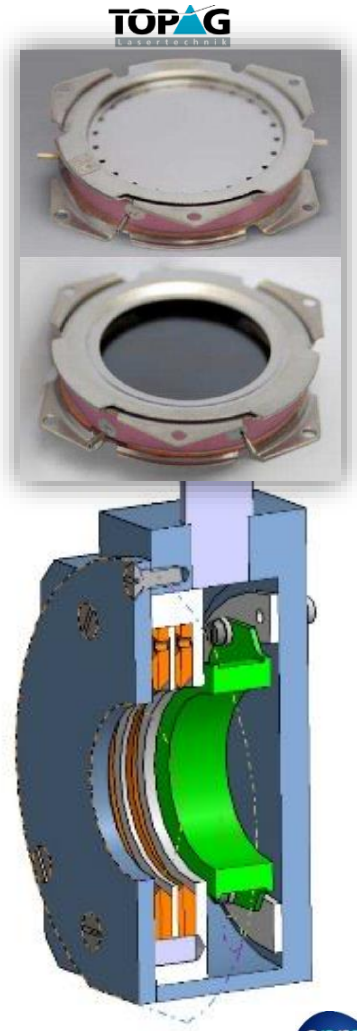


TRIG Buncher

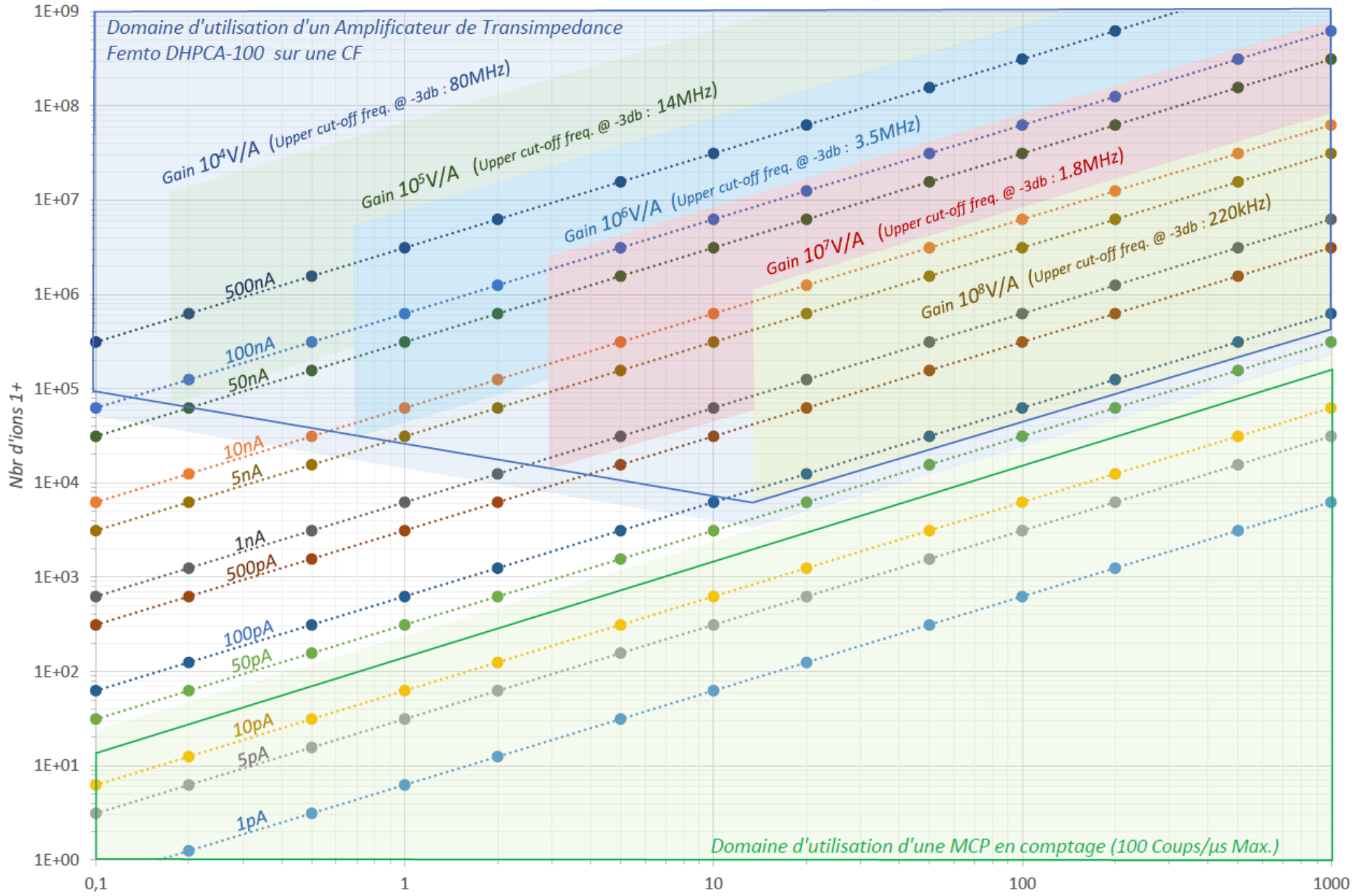
Répond aux besoins de :

- ✓ Caractérisation des paquets d'ions produits
  - Intensité des paquets ( Transmission / Capacité de piégeage )
  - Durée des paquets / Distribution temporelle
  - Distribution en énergie des ions d'un paquet
- ✓ Mesure de Temps-de-vol : Mesure de masse par TOF-ICR
- ✓ Mesure de très faible intensité ( 1 ions/s à 10 pA ) - faisceaux continus.

Inconvénient majeur : Mesure non absolue ... Efficacité à mesurer

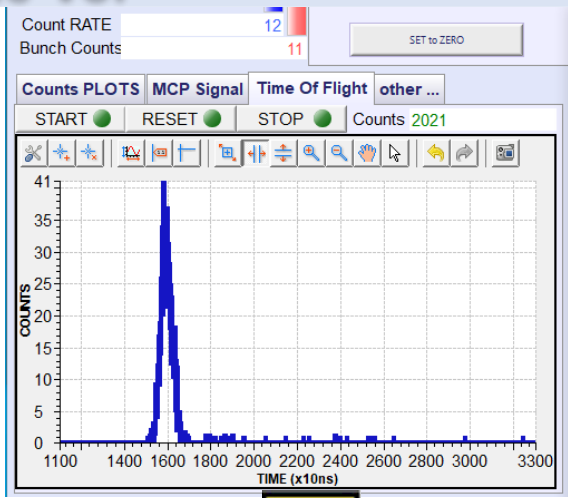
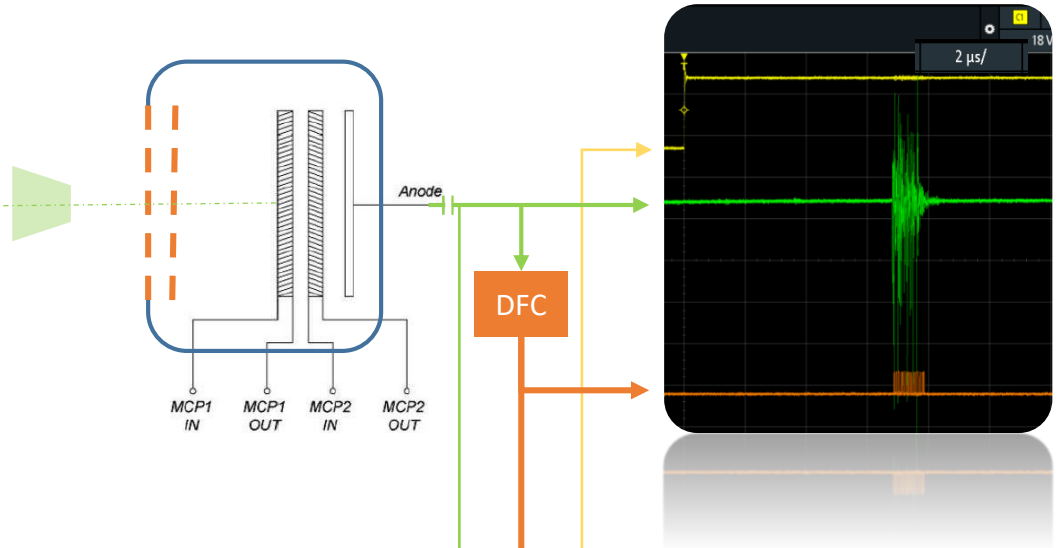


# Mesure d'intensité d'un bunch : CF ... MCP Complémentaires





# MCP pour *Bunch* : Acquisition / Comptage / Temps de Vol

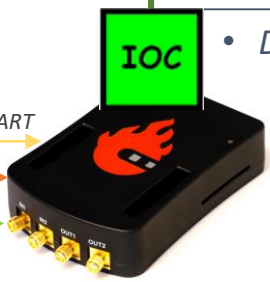


TRIG Buncher

EPICS

Réseau Ethernet (Channel Access)

OPI

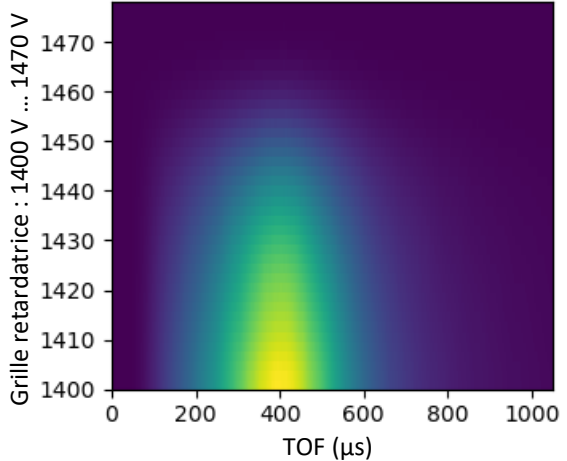
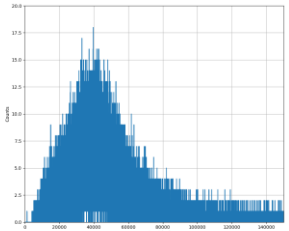
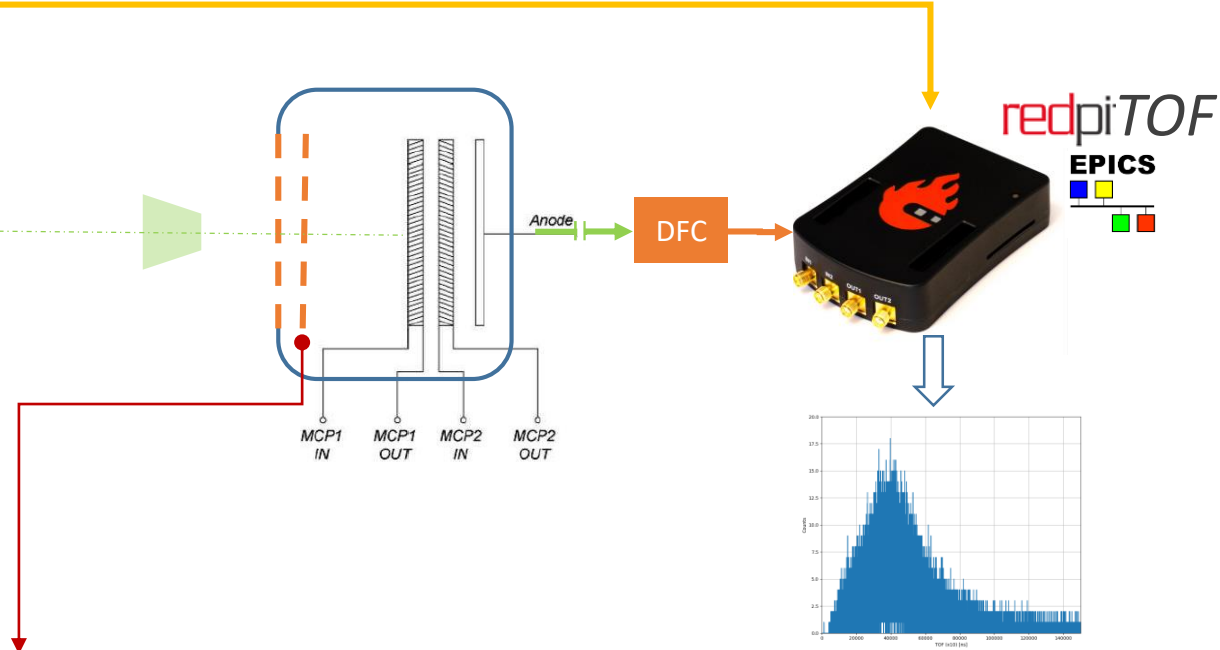


redpiTOF

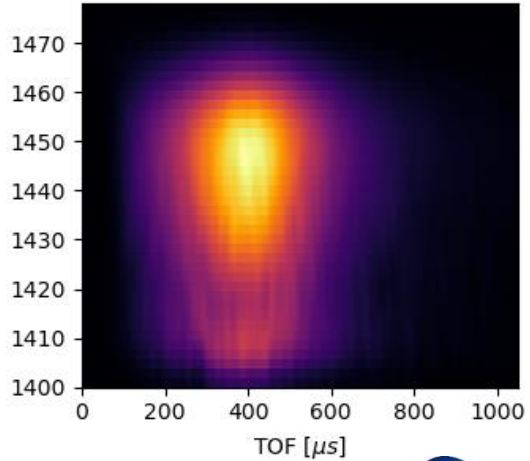
- Développement CENBG - B. Lachacinski
  - FPGA Logique & Proc :
    - Entrée de comptage 100MHz (TTL)
    - Temps de Vol – résolution 10ns
    - Histo TOF – 16.000 canaux.
    - ... Autres options en Dev ...
  - IOC EPICS
    - Taux comptage (total & /bunch)
    - START / STOP / RESET
    - Histogramme TOF
    - Aire TOF

# MCP pour *Bunch* : autre application ...

Buncher Trig



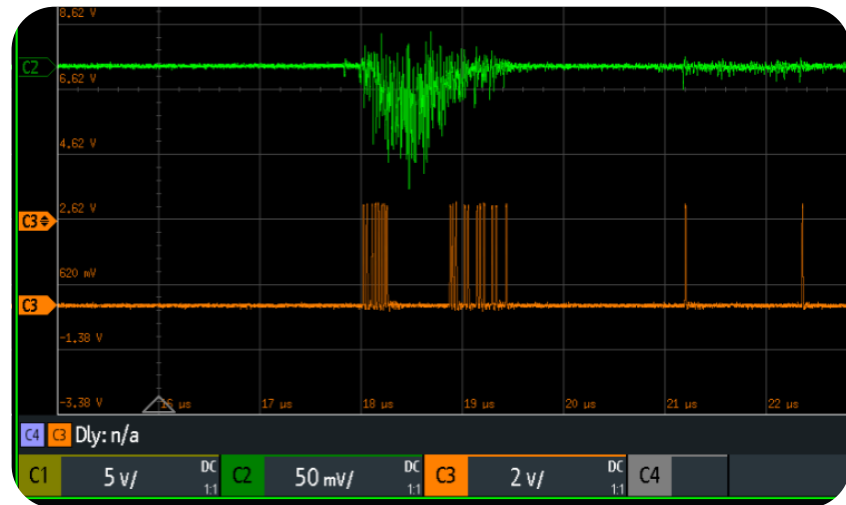
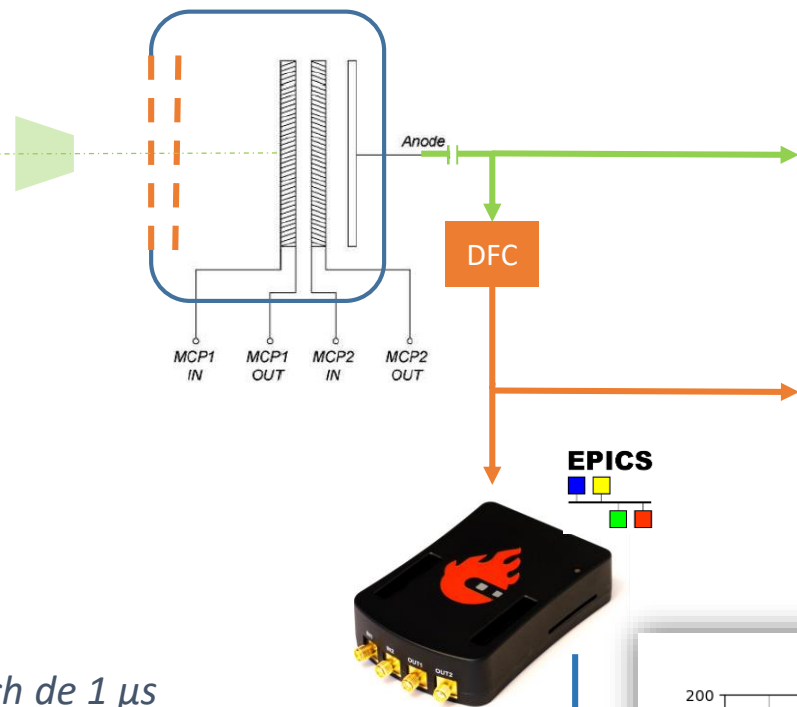
- Audric HUSSON (CENBG)
- *Scan de la tension Grille*
  - *Mesures de TOF*
  - *Calcul **Emittance longitudinale***



# MCP pour Bunch : *Limites de comptage ...*

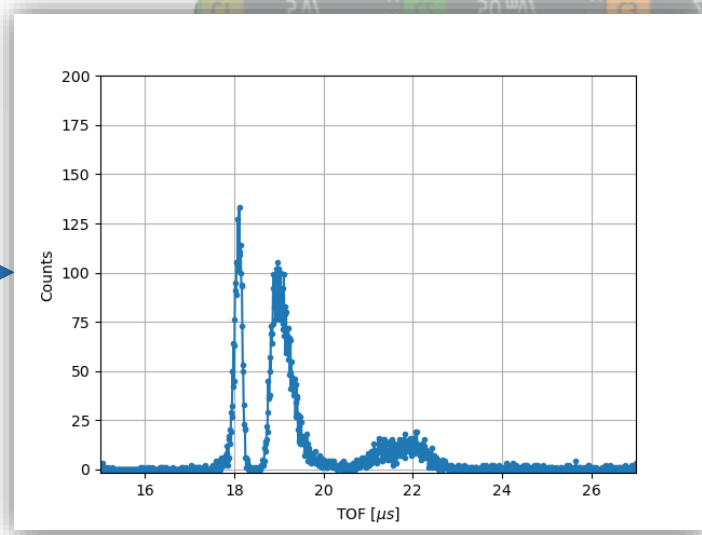
## Limites Mode COMPTAGE :

- Signaux MCP : *qlq ns*
- DFC\_out : *impulsions 10 ns*
  - TxCpt\_Max : 50 Mcps

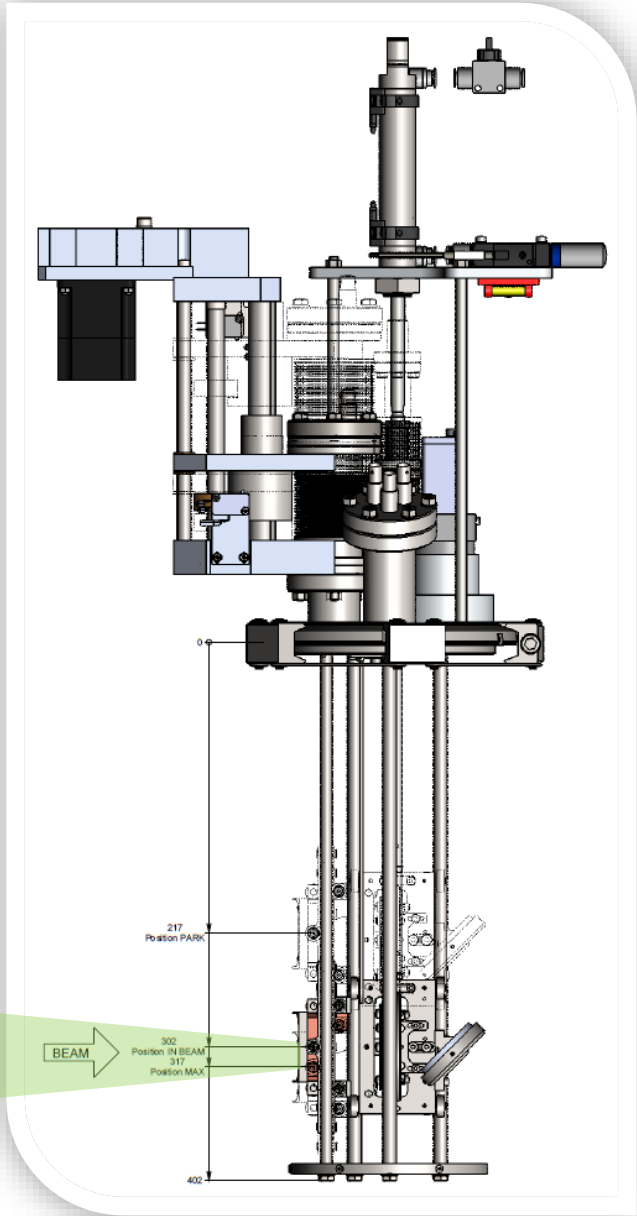


## Cas d'un Bunch de 1 $\mu$ s

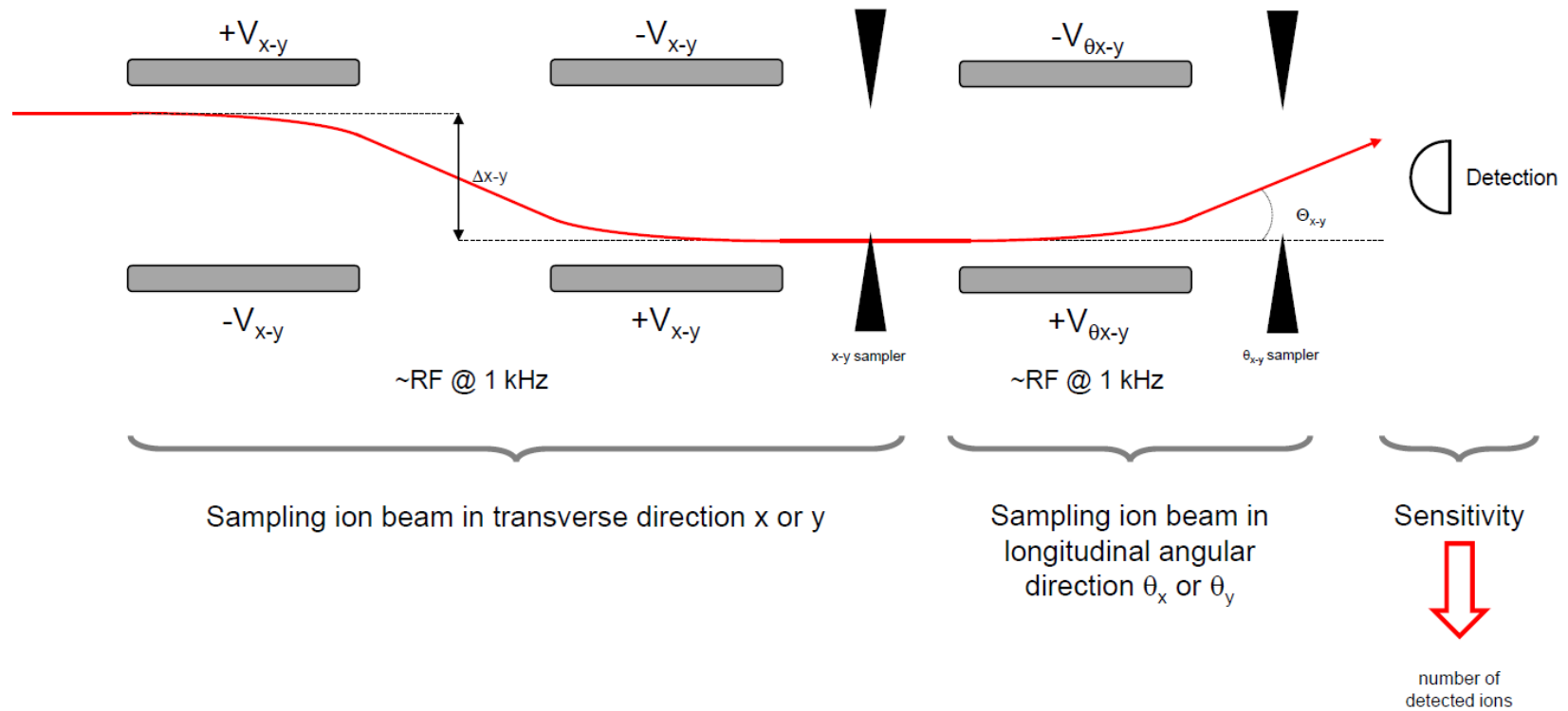
1. Mode COMPTAGE jusqu'à 50 coups / bunch
  - Si MCP\_eff = 10%  $\rightarrow$   $5 \cdot 10^2$  ions / bunch
  - « MCP\_eff » peut être réduite volontairement par un masque ou une grille
2. Mode ANALOGIQUE si > 50 coups / bunch
3. Mesure COURANT CF :  $I > 5 \cdot 10^4$  ions / bunch





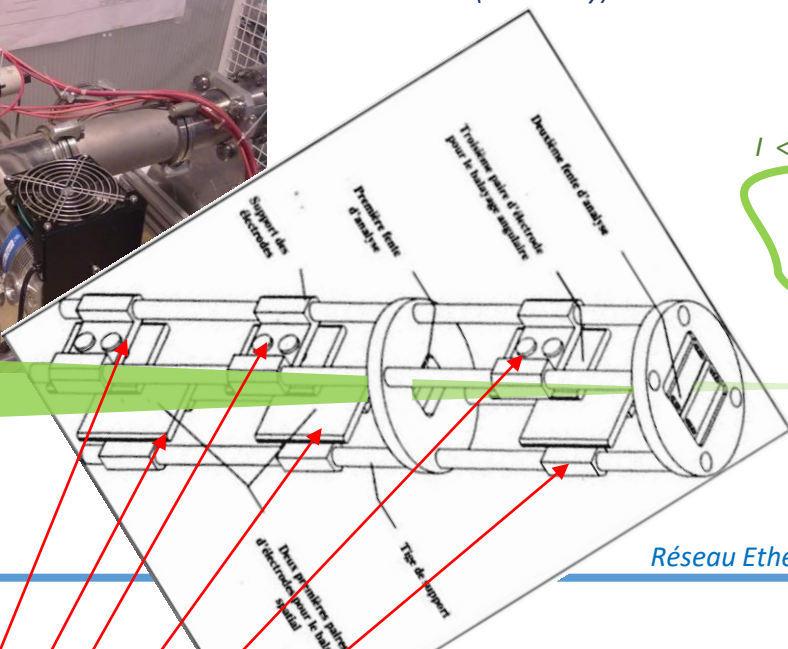
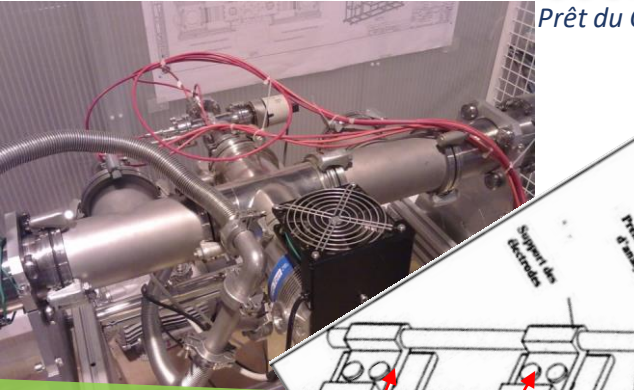


## General principle of Alisson emittance-meter



Benjamin THOMAS

Prêt du CSNSM – (D. Lunney)

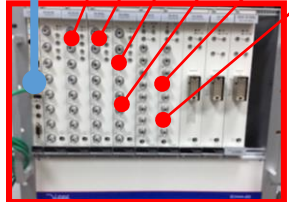


- Gammes utilisables :
- au mieux : 100 pA/V \_ BP=88Hz
  - Sinon : 10 pA/V \_ BP=0,88Hz



Réseau Ethernet

1 Mesure = typ. 40 minutes



- Châssis multivoies HT ISEG
- Modules Bipolaires / zero crossing
    - +/- 500V utilisé
    - +/- 3000V possible

**PIPERADE Emittance parameter settings**

STOP

Input parameters

Beam Kinetic energy: **30,000k eV**

Position (0): 0    Angle (X'): 0

Nbr Steps x	50	Nbr Steps y	50
Vx_max	1000,00	Vx'_max	-330,00
Vx_min	-1000,00	Vx'_min	-470,00
Delta_Vx	40,0	Delta_Vy	2,8

Run Time (s): 1544  
Remaining time (s): 0  
Iterations: 2601/2601

Measures: Vx\_cons HV POWER

Vx (V)	Vy (V)	Vx' (V)	Vy' (V)
1000,00	1000,00	-330,00	164,98
500,00 V	500,00 V	500,00 V	500,00 V

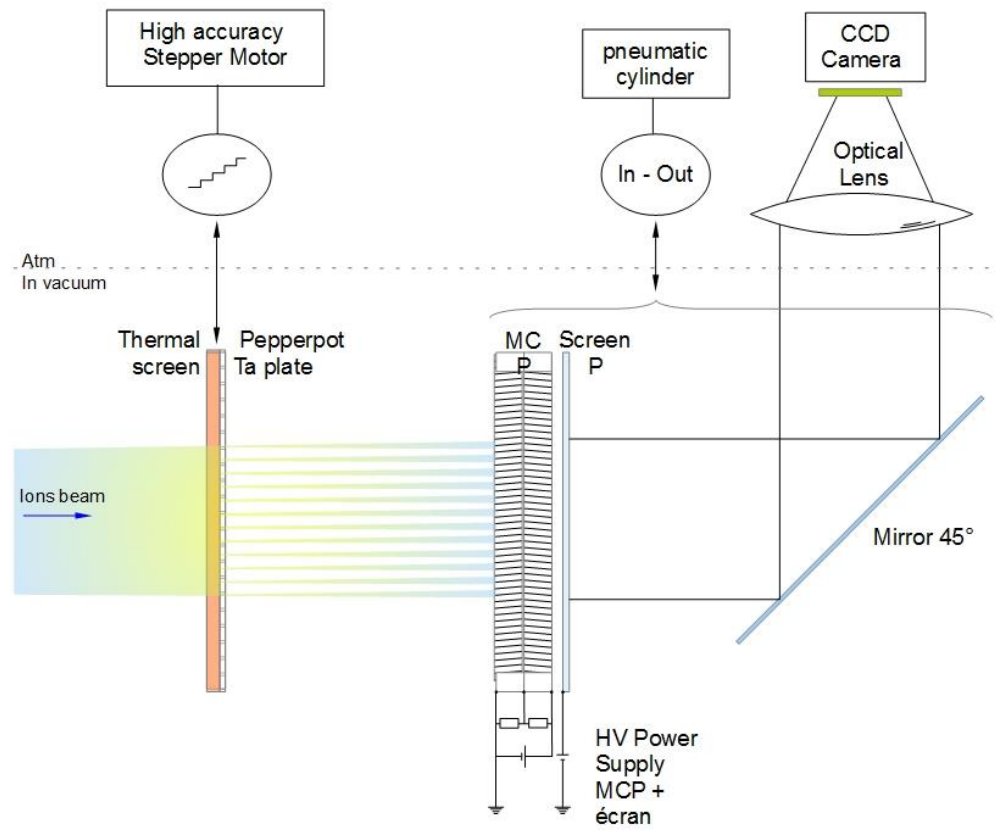
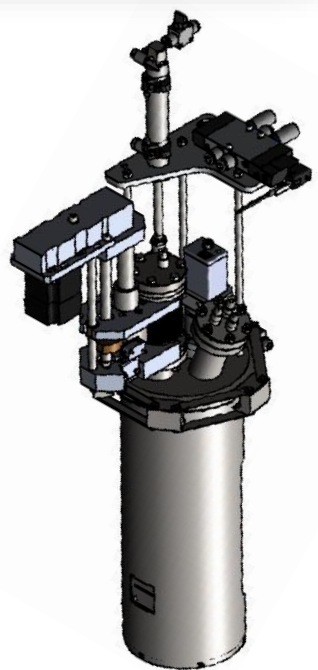
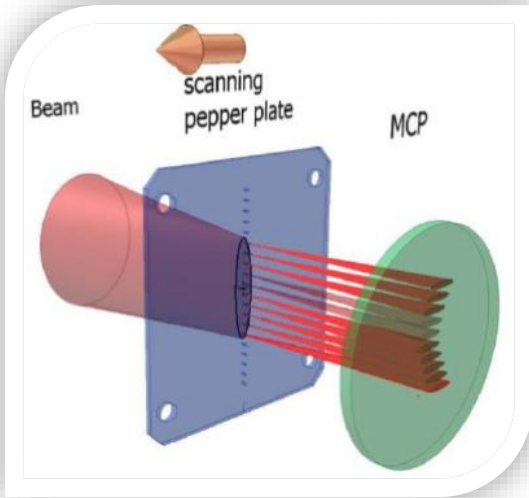
3: PicoLin 1kHz  
I: Faisceau  
-0,02 pA

Save DATA  
scales VOLTS  
Last Meas I  
dt/pts 0,50 s

Intensity (pA) vs X (V) vs Y (V) plot



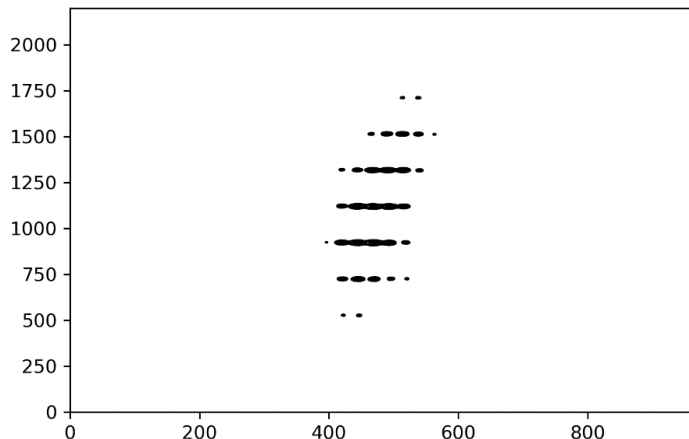
# Emittancemètre 2 : Pepperpot « Pantechnik »



# Emittancemetre 2 : Pepperpot « Pantechnik »

Julien MICHAUD (CENBG)

## Mesure d'émittance du HRS

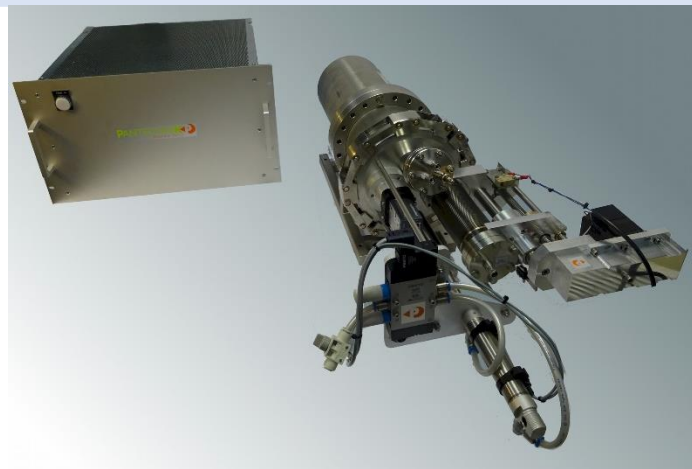


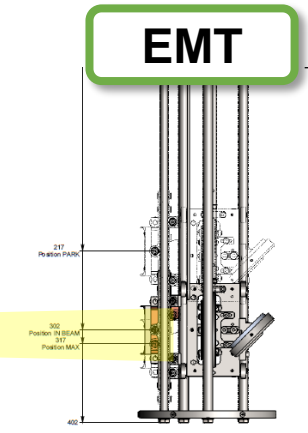
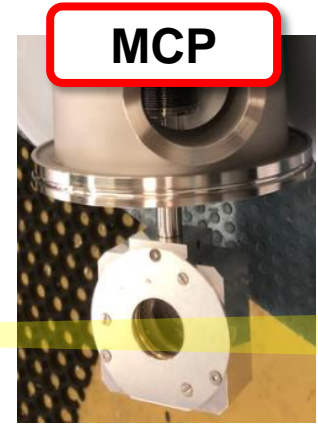
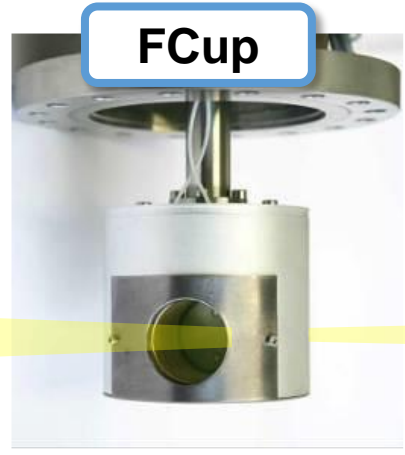
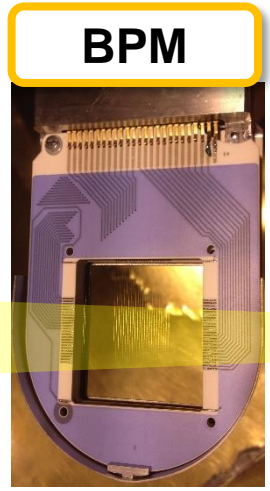
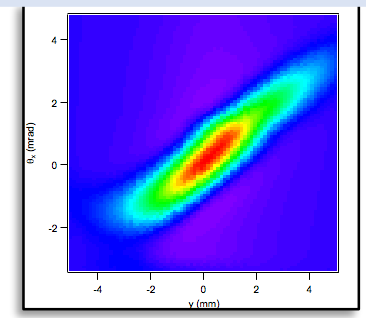
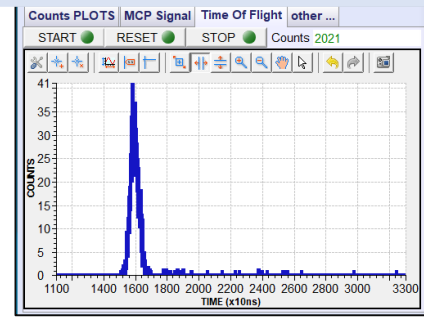
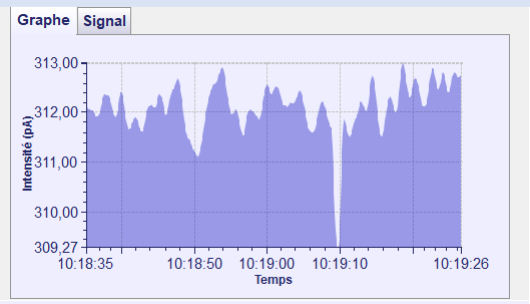
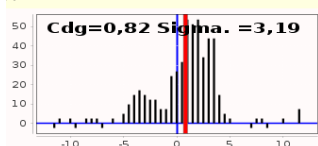
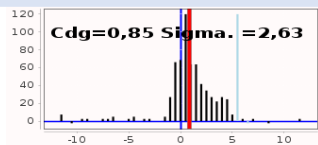
Données brutes EM

66	65	66	66	68	68	69	67	69	67	67	67	66	65	64	65	64	65
66	66	68	66	66	67	68	71	68	69	69	67	67	67	67	65	65	66
66	67	67	68	70	72	73	72	74	69	67	68	66	66	68	66	66	66
65	68	69	70	72	77	79	81	78	75	74	71	70	67	67	66	67	65
64	69	68	73	73	81	88	93	87	85	78	78	71	70	69	68	65	68
67	69	72	76	82	95	104	107	110	102	89	80	74	70	69	67	66	65
68	68	73	78	93	115	146	166	156	134	111	92	80	76	72	70	66	65
68	68	72	84	102	150	207	253	226	179	134	103	83	72	71	68	66	68
67	70	73	87	110	161	245	287	264	214	151	111	89	75	70	67	65	64
68	70	76	82	105	139	193	203	202	190	149	105	82	74	71	69	67	67
68	69	70	81	93	110	136	141	141	138	116	91	77	73	69	68	67	65
67	71	71	74	80	91	99	110	106	104	93	83	75	71	67	66	65	65
67	69	69	71	74	77	83	86	88	86	82	75	74	69	68	65	67	65
65	67	67	69	70	73	73	75	75	75	75	70	70	70	66	67	65	65
67	65	64	67	69	69	72	70	72	74	72	70	68	67	67	66	66	65
68	67	64	66	67	68	70	67	69	69	67	68	66	66	67	64	66	65
66	65	65	64	66	67	68	67	67	66	66	66	65	64	64	63	65	63
66	64	64	67	63	67	67	66	66	64	67	67	65	66	64	65	64	66



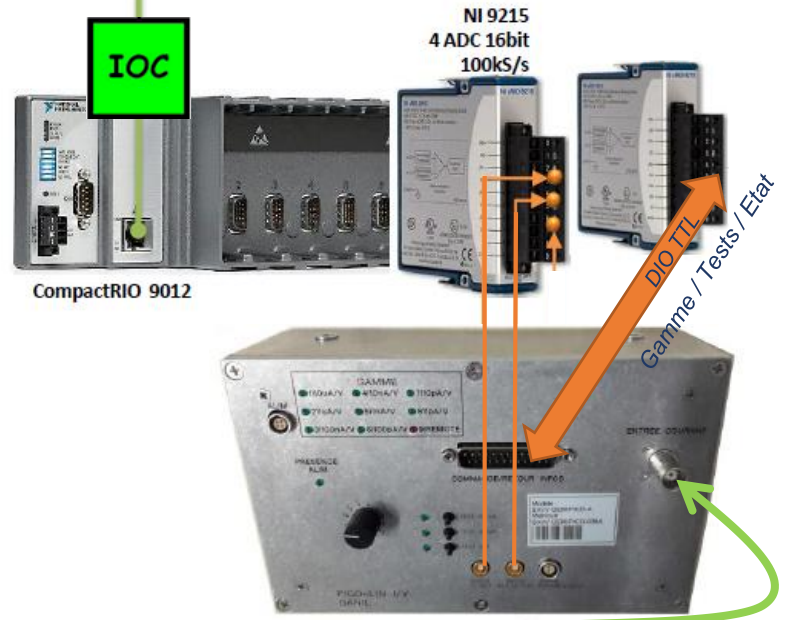
## CALCUL de l'émittance du HRS





MERCI DE VOTRE ATTENTION !





### Mesure PRAD-CF1 PicoLin

EN HORS **En**

Commandes

Choix de la Gamme  
Gamme 100pA/V

Polarisation  
 ON Power ON No Busy  OFF  
-50,01 V

Sources de Courant  
 Test 50nA  
 Test 500pA  
 Test 5pA

Mesure Polarisation

Gamme Slectionnée  
100pA/V Gamme

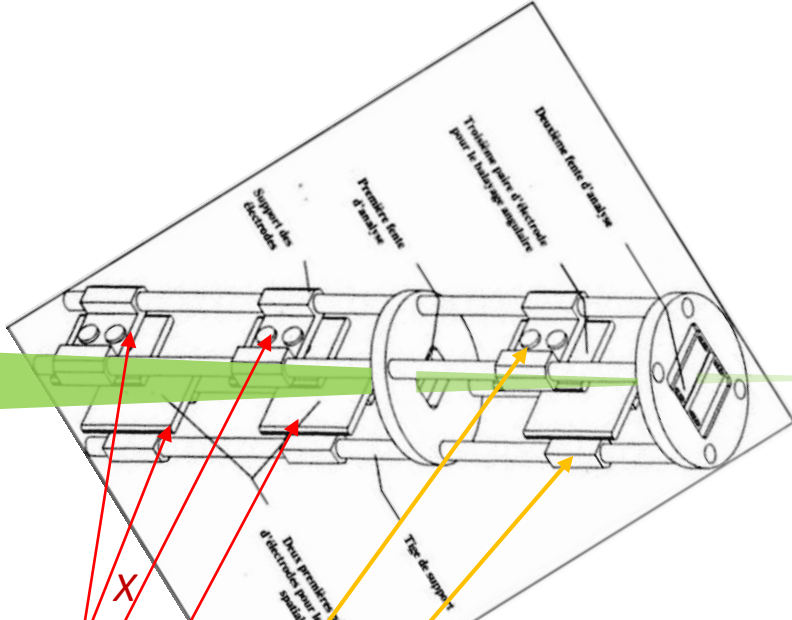
Tension Mes. (V) : 3,127 V

Intensité Mesurée :  
**312,695 pA**  
312,695 pA  
No Power

Graphe Signal

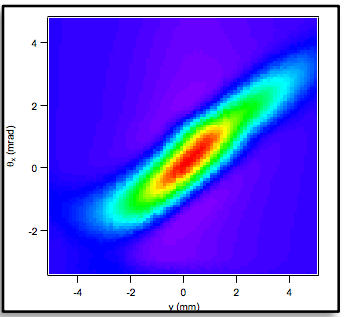
✓ Faisceau continu :  $10 \text{ fA} < I \text{ Faisceau} < 100 \text{ }\mu\text{A}$

# Emittancemètre 1 : Alisson Scanner – évolution possible ...



M  
C  
P

DFC



« Hivolt.de » HV Amplifiers  
Model HA2B5 +/- 2 kV  
slew rate = 18V /  $\mu$ s



**Reprise du système de balayage rapide d' AIFIRA « CRionScan »**

- Contrôleur / Mesure : CompactRio
  - Générateur de Scan Rapide (100.000 points/s max)
  - Comptage jusqu'à 80M Count/s : Images SEM par comptage  $e^-$
  - Construction / Intégration Image EMT
- Mesure rapide d'intensité : (MCP / Channeltron / MagneTOF)
- Amplificateur HT « Hivolt.de » utilisé sur AIFIRA