

Etude et réalisation du spectromètre HEDA2

*Alexandre Gonnin, Bruno Mercier, Christophe Prévost et les ateliers du SDTM
Et nos collègues de PITZ, Sakhorn Rimjaem et Joachim Meissner*

■ Introduction

- Historique du projet
- La machine PITZ
- Le spectromètre HEDA2
- L'implication du LAL

■ Nos contributions au projet

- Etudes vides
- Fabrication ICT
- Stations de diagnostic
 - DISP3.Scr1 & 2
- Intégration
 - Chambres à vide dipôles & système de réglage dipôle
 - Système complet

■ Etat d'avancement

■ Conclusions

Introduction

■ Début 2008

- Contrat Européen IA-SFS JRA5 en cours (fin en Février 2009).
- LAL avait en charge l'étude, la fabrication et l'utilisation d'éléments de 2 spectromètres pour la ligne de faisceau PITZ (premier installé en 2008)
- Contact de DESY pour évaluer une possible participation pour le second
- 46k€ restant sur la ligne

■ Avril 2008

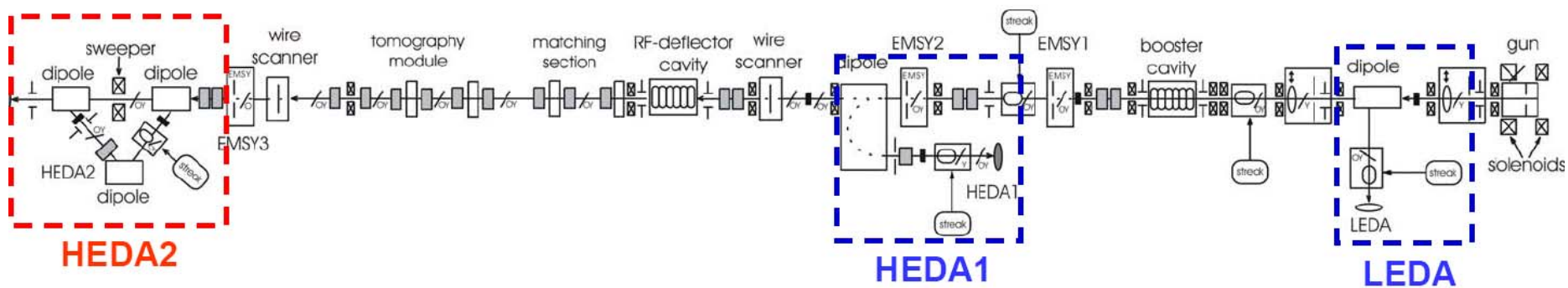
- Sous l'impulsion d'Alessandro nous nous rendons à Zeuthen
- Décision de participer au projet HEDA2
 - Projet intéressant d'un point de vue technique
 - Collaboration enrichissante autour d'une machine performante
 - Synergie importante avec les projets accélérateur en cours (PHIL et ThomX)
 - Risque de voir disparaître l'argent Européen

- Machine dédiée à l'étude de la source d'électron pour le futur laser électron européen

- Caractéristiques faisceau

- $E = 40\text{MeV max}$
- $C = 1\text{nC @ } 10\text{Hz}$
 - 7200 impulsions pour FLASH ($800\ \mu\text{s}$)
 - 3250 impulsions pour XFEL ($650\ \mu\text{s}$)
- Emittance rms normalisée : env. 1mm mrad

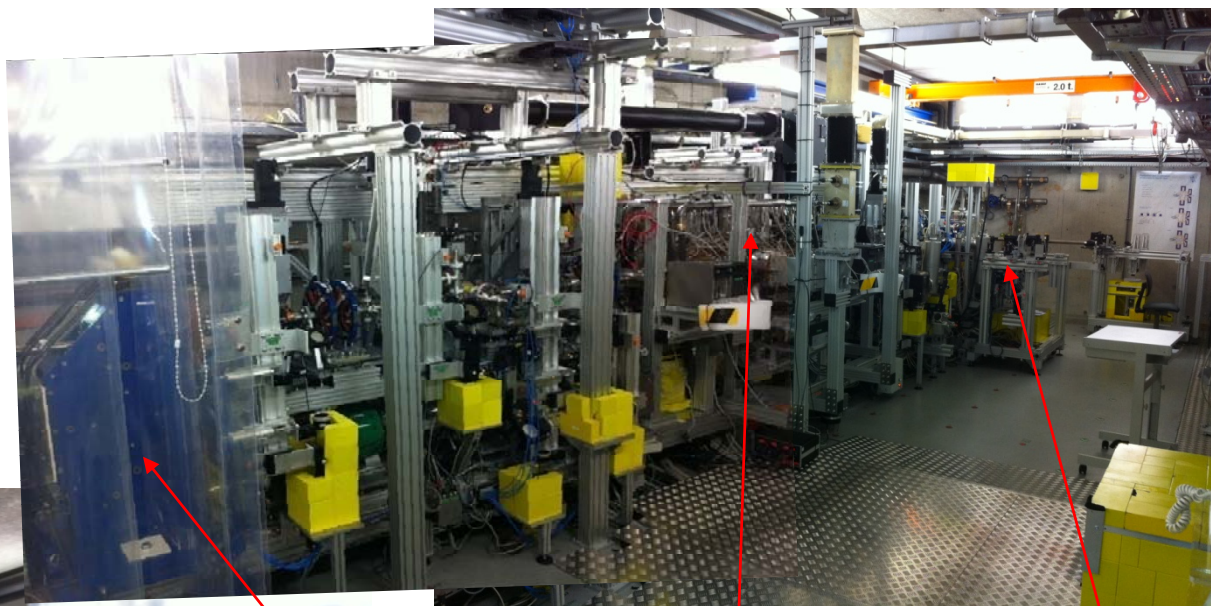
- Synoptique :



Env. 20m

Quelques photos

Futur emplacement
de HEDA2



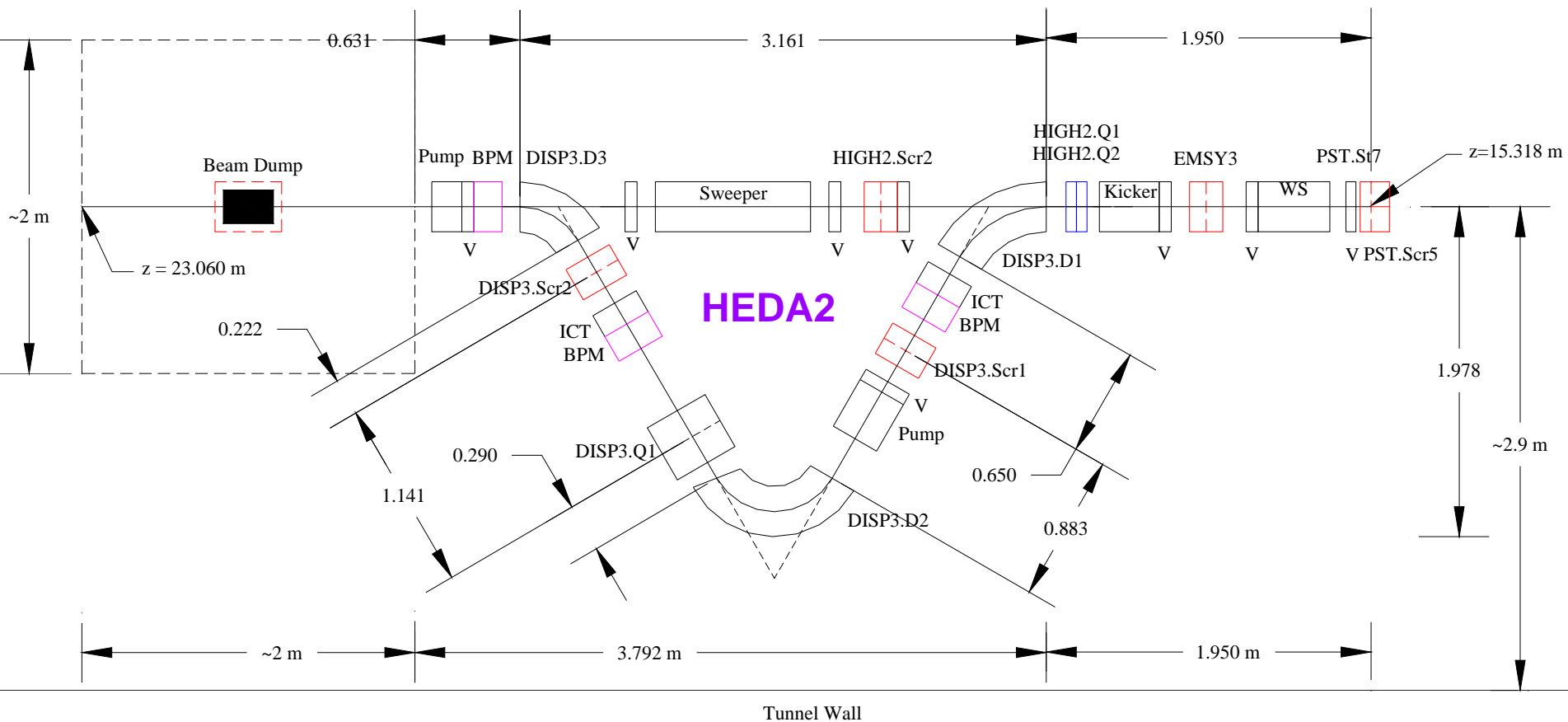
Canon

Booster

HEDA1

- **Energie du faisceau et sa distribution jusqu'à des faisceaux de 40MeV (30MeV nominal)**
- **Etudier la dispersion en energie avec une résolution de ~ 1 keV/c en utilisant la combinaison de :**
 - Un dipôle, une cavité RF défectrice et un écran de diag
- **Longueur de paquet**
 - Cerenkov/OTR + streak caméra
 - Cavité défectrice + écran
- **Emittance transverse dans le plan vertical**
 - Plan horizontal @ HEDA1
- **Possibilité de mesurer les propriétés des paquets le long de l'impulsion avec un kicker transverse**

Synoptique de HEDA2



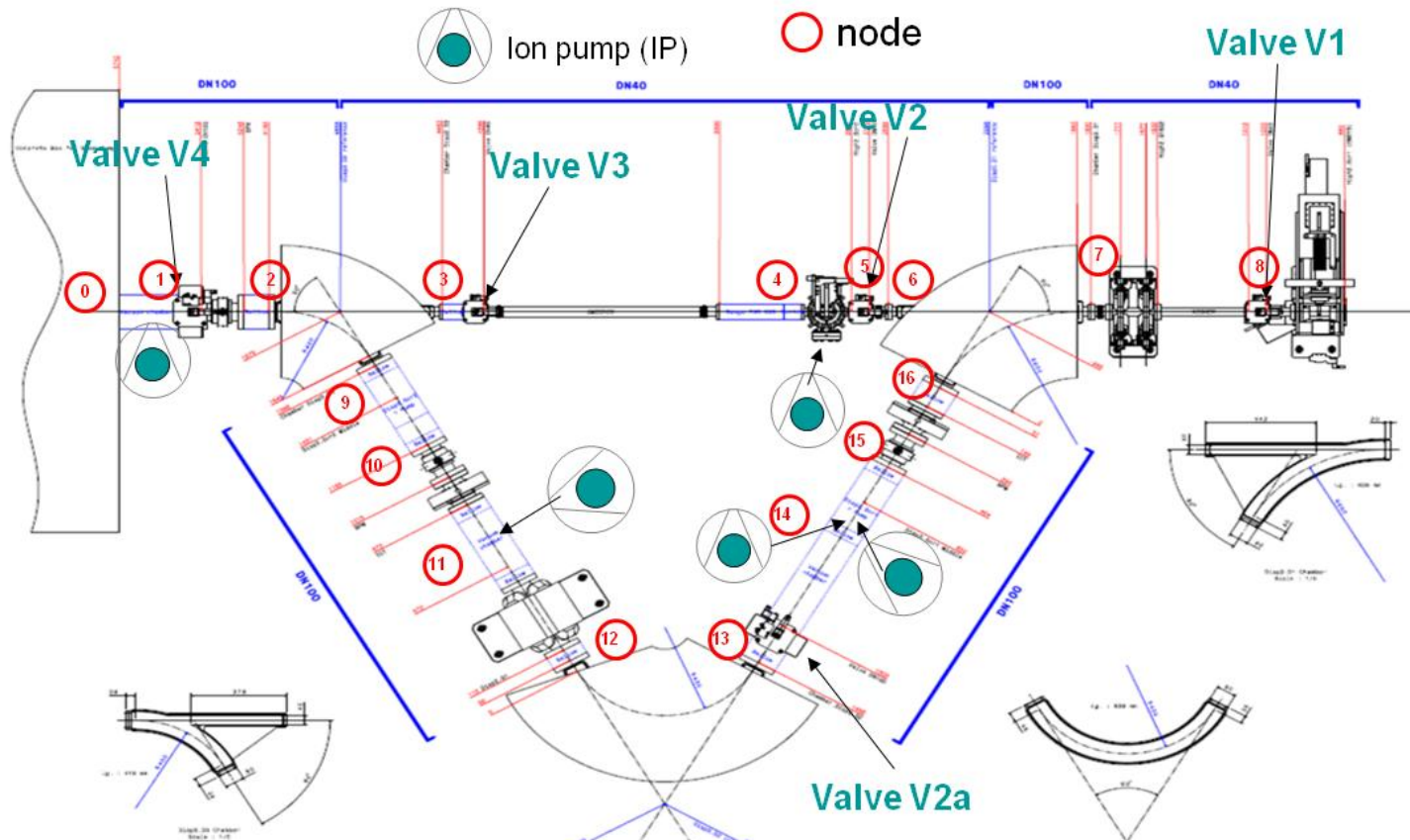
- **Design mécanique et vide du spectromètre**
 - Groupe vide (CP+BM)
 - BE (AG+MJ)
- **Fabrication des éléments « critiques » à hauteur de notre budget (env. 40k€ restant) :**
 - DISP3.Scr1 : 25k€
 - DISP3.Scr2 : 10k€
 - Mécanique ICT 2k€
 - Support dipôle 3k€

- **Commissioning et tests au LAL**
- **Participation au montage à PITZ**
- **Participation possible au commissioning du spectromètre**
 - Ouvert aux agents du Département Accélérateur

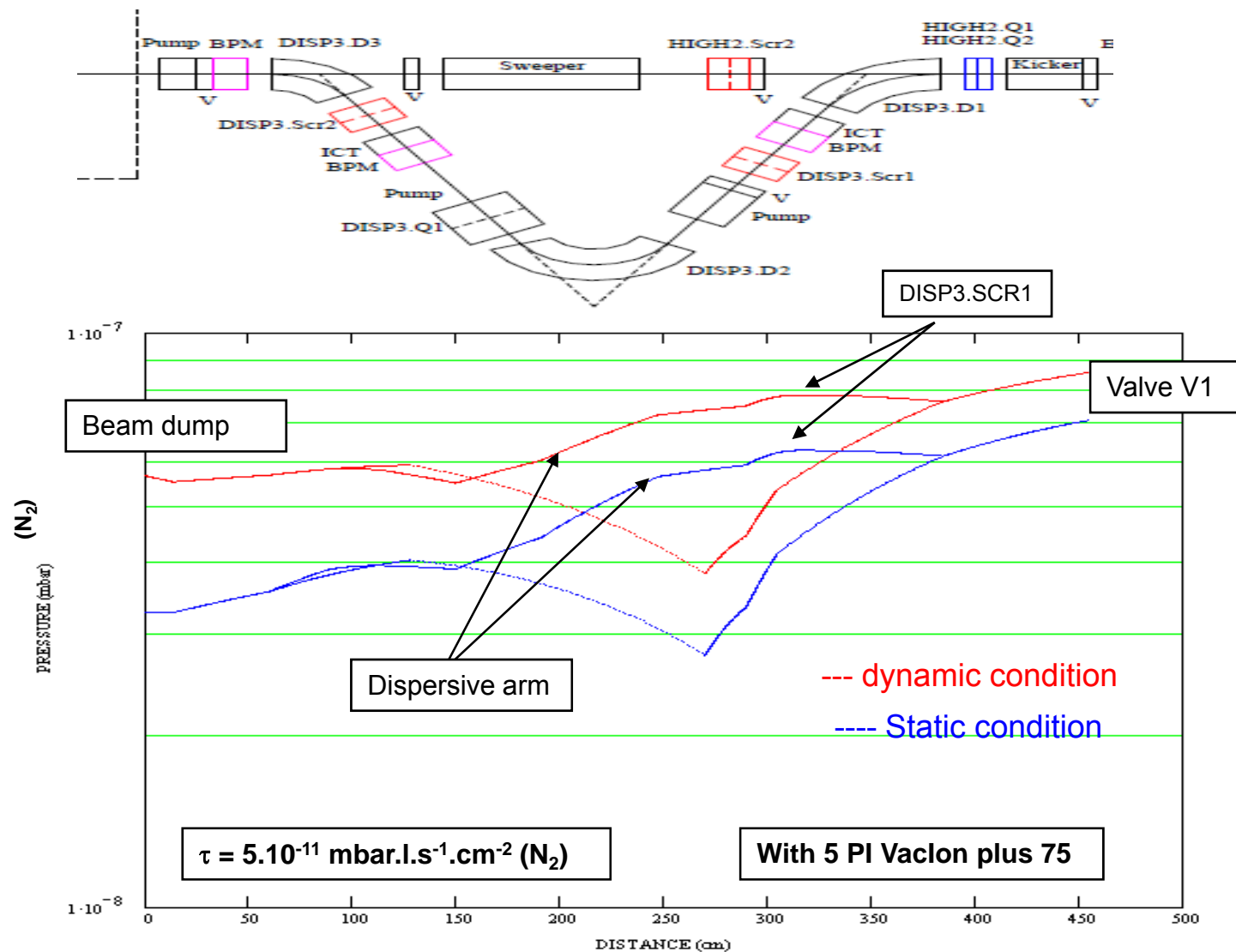
- **Le reste est sous la responsabilité de PITZ et est évalué à environ 300k€**

Nos contributions au projet

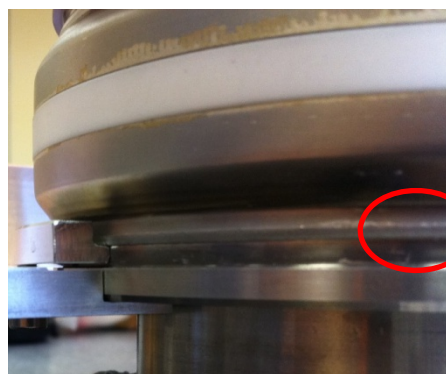
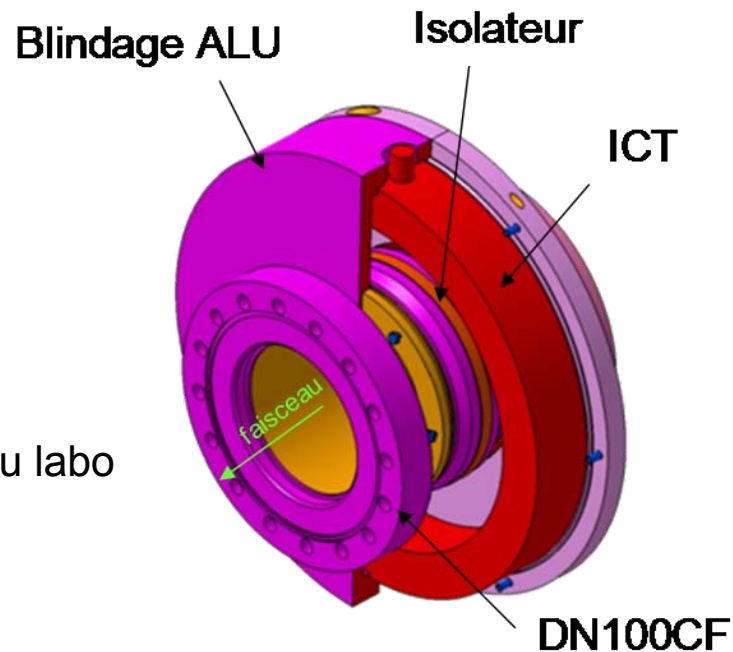
- CdC : $10^{-9}\text{mbar} < P < 10^{-6}\text{mbar}$ sans étuvage
- Effectuées par le service vide du SDTM
 - ➔ programme Vasco
 - ➔ L'ensemble est découpé en plusieurs segments



Résultats

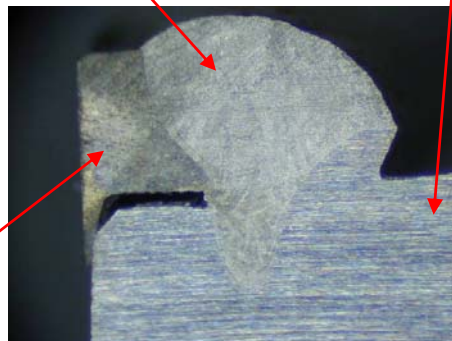


- ICT mesure la charge du faisceau avec une très bonne résolution (0,1%)
- Soudure jupe isolateur/CàV en FE
 - ➔ Développements effectués dans les ateliers du labo



Soudure FE

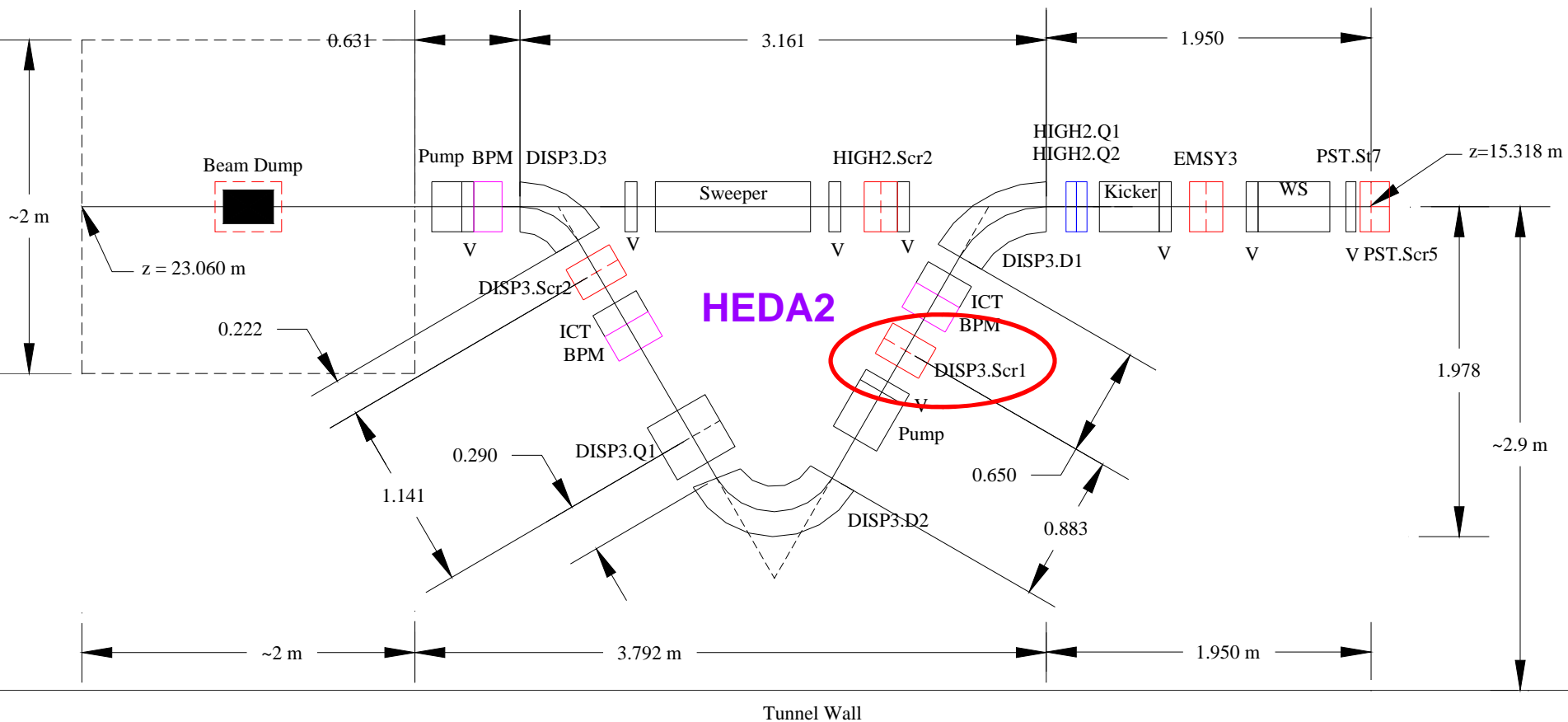
Inox

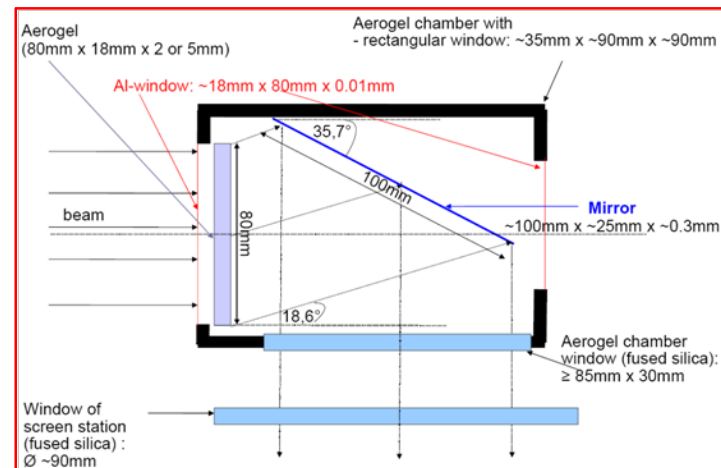
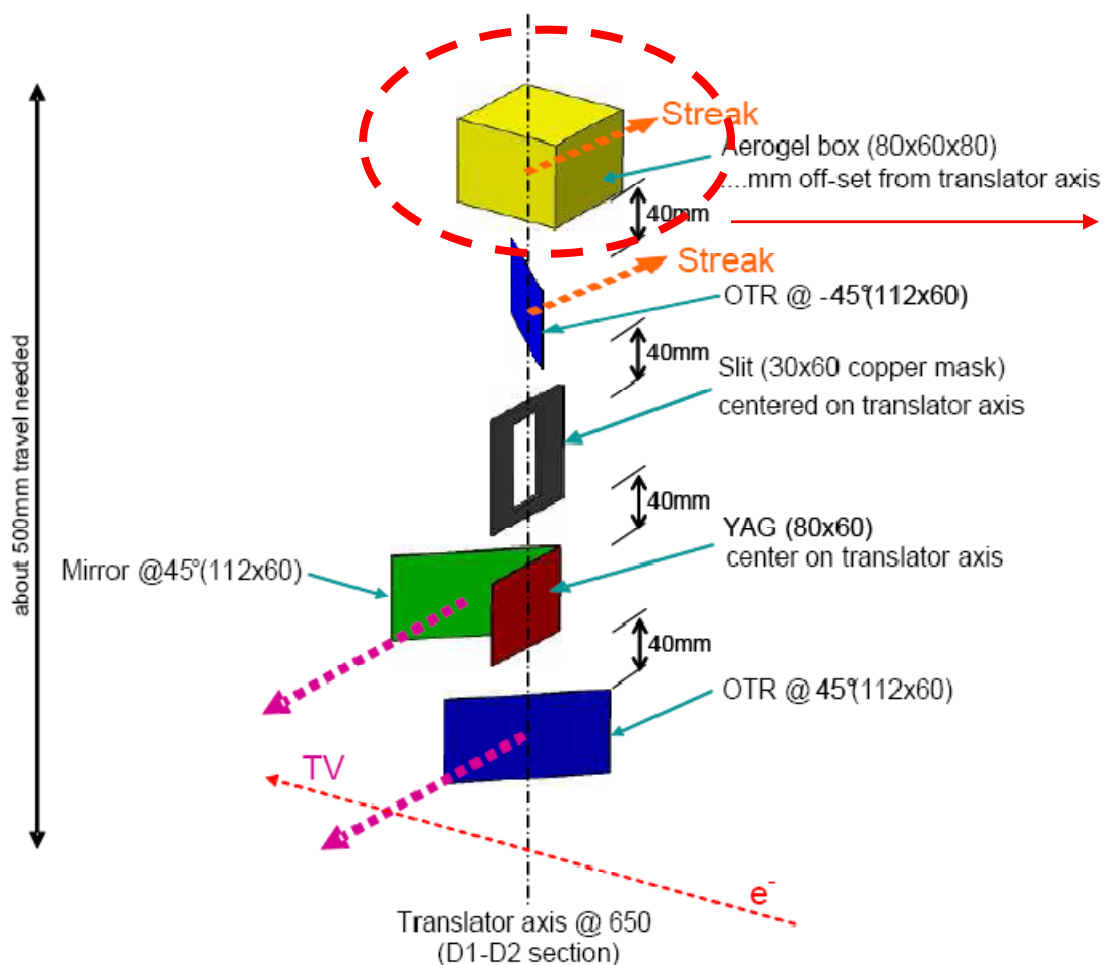


Kovar



DISP3.Scr1 dans HEDA2





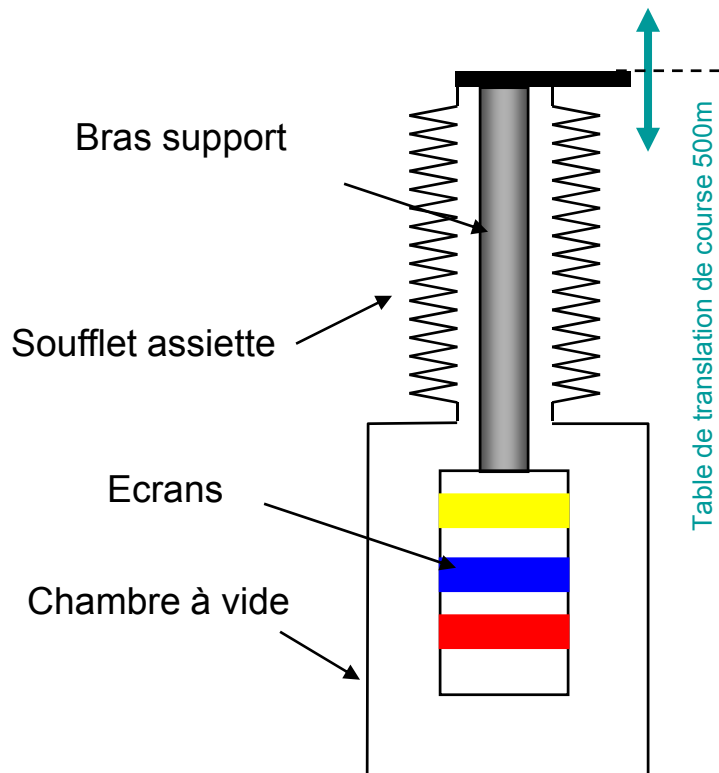
- ➔ UHV
- ➔ Précision de 0,1mm
- ➔ Compact et stable
- ➔ Ecran Aerogel dans une boîte isolée du vide machine
- ➔ YAG et aerogel avancés de 50mm
 - Garder les mêmes sorties
 - Réduire la taille du soufflet

Figure 7: The 2nd design configuration for screens and slit in DISP3.Scr1 screen station.

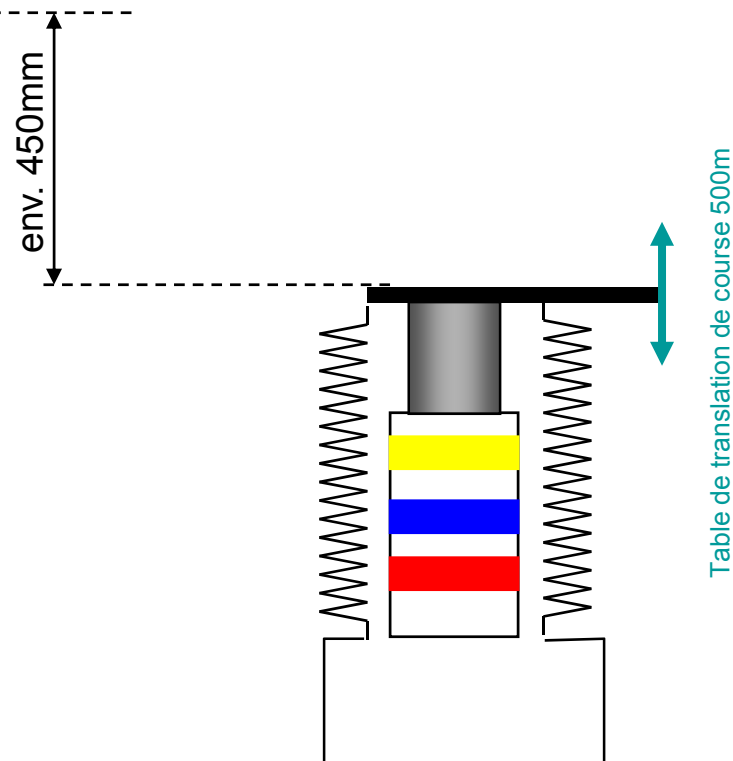
from "Design and Construction of Screen Stations in HEDA2", S.Rimjaem

Choix technologique

Solution classique



Solution retenue

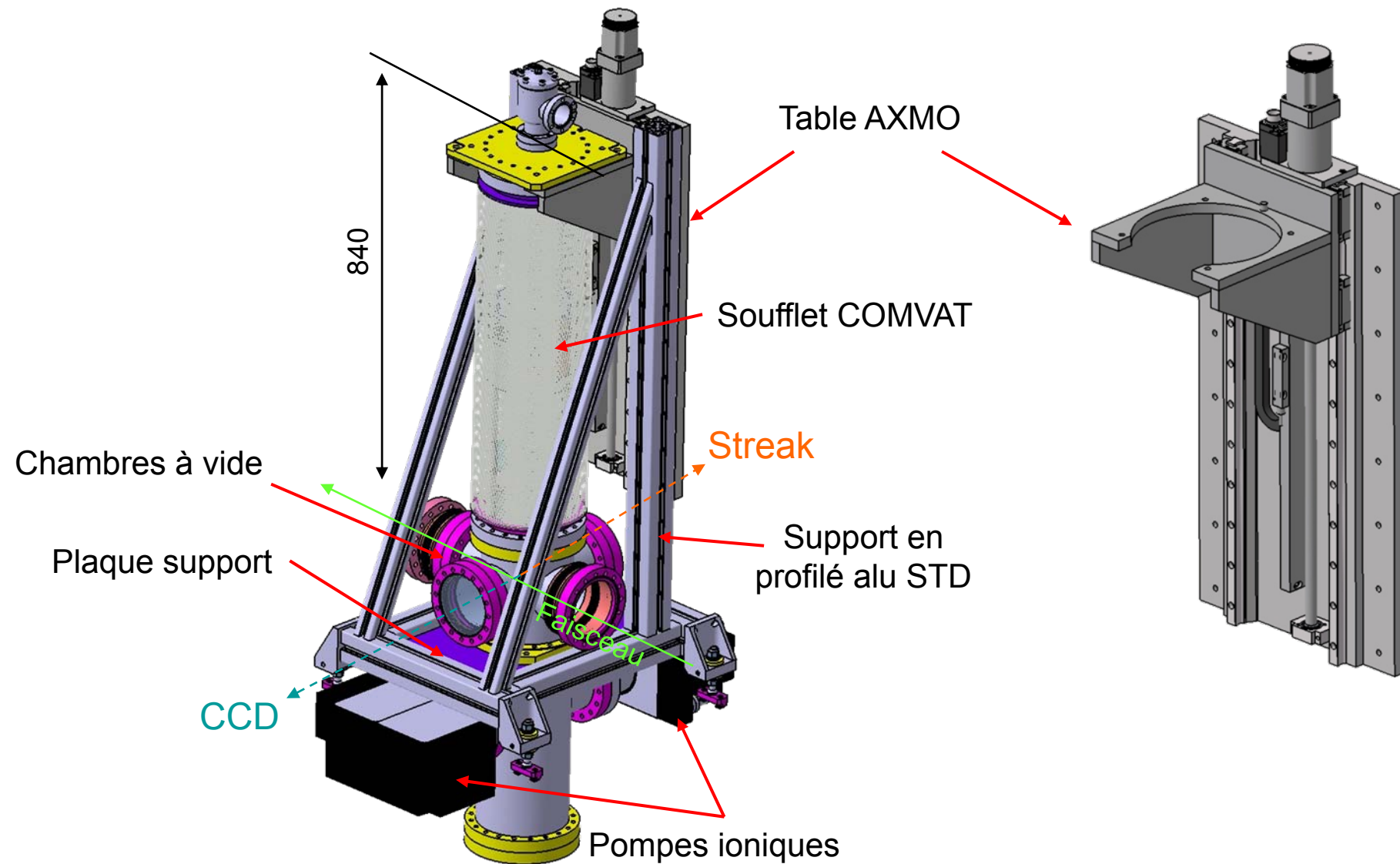


+ : bon marché et faible effort
- : moins stable et plus encombrant

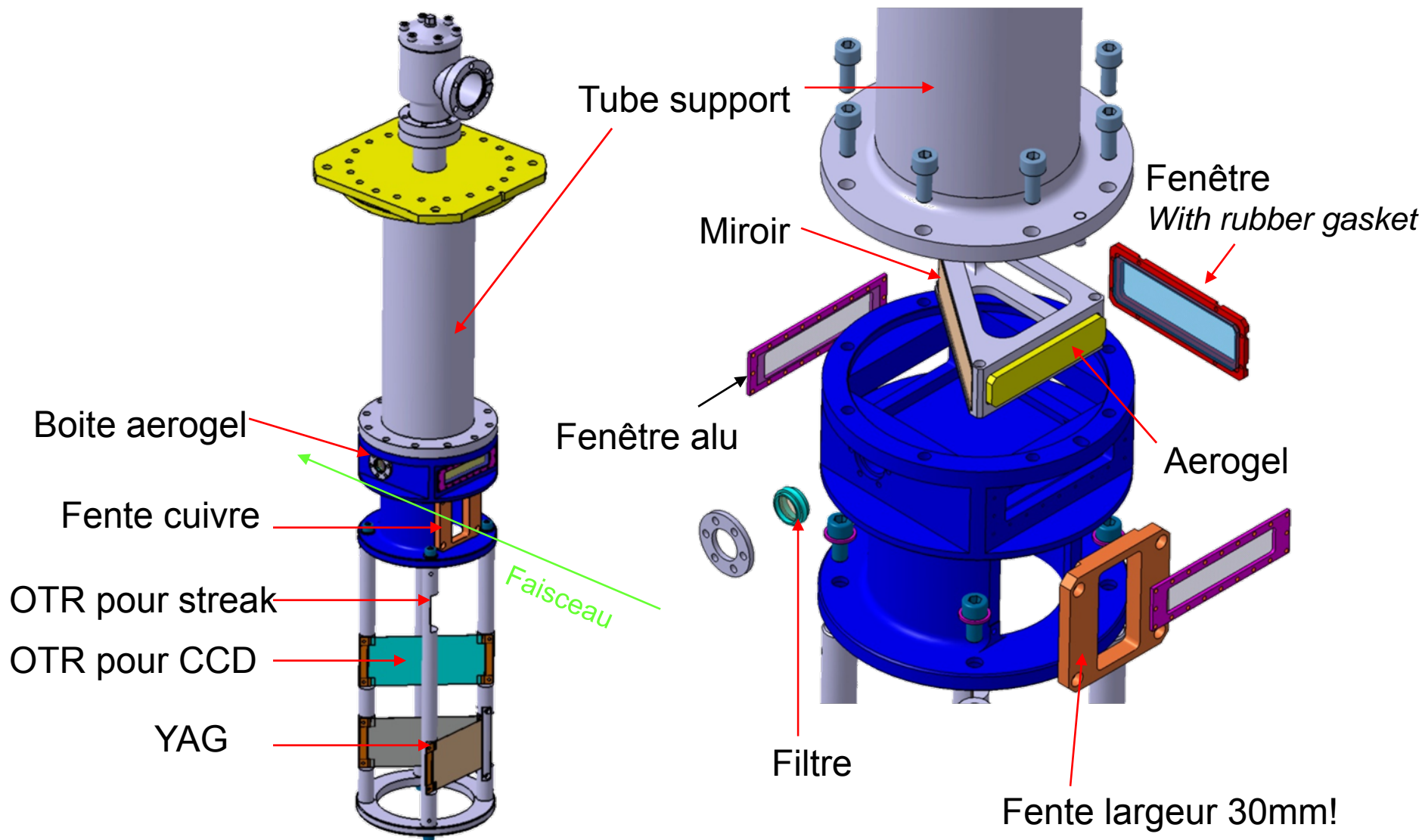
+ : Plus stable et compact
- : plus cher et effort table important (env.350kg)

Dans les capacités techniques des fabricants

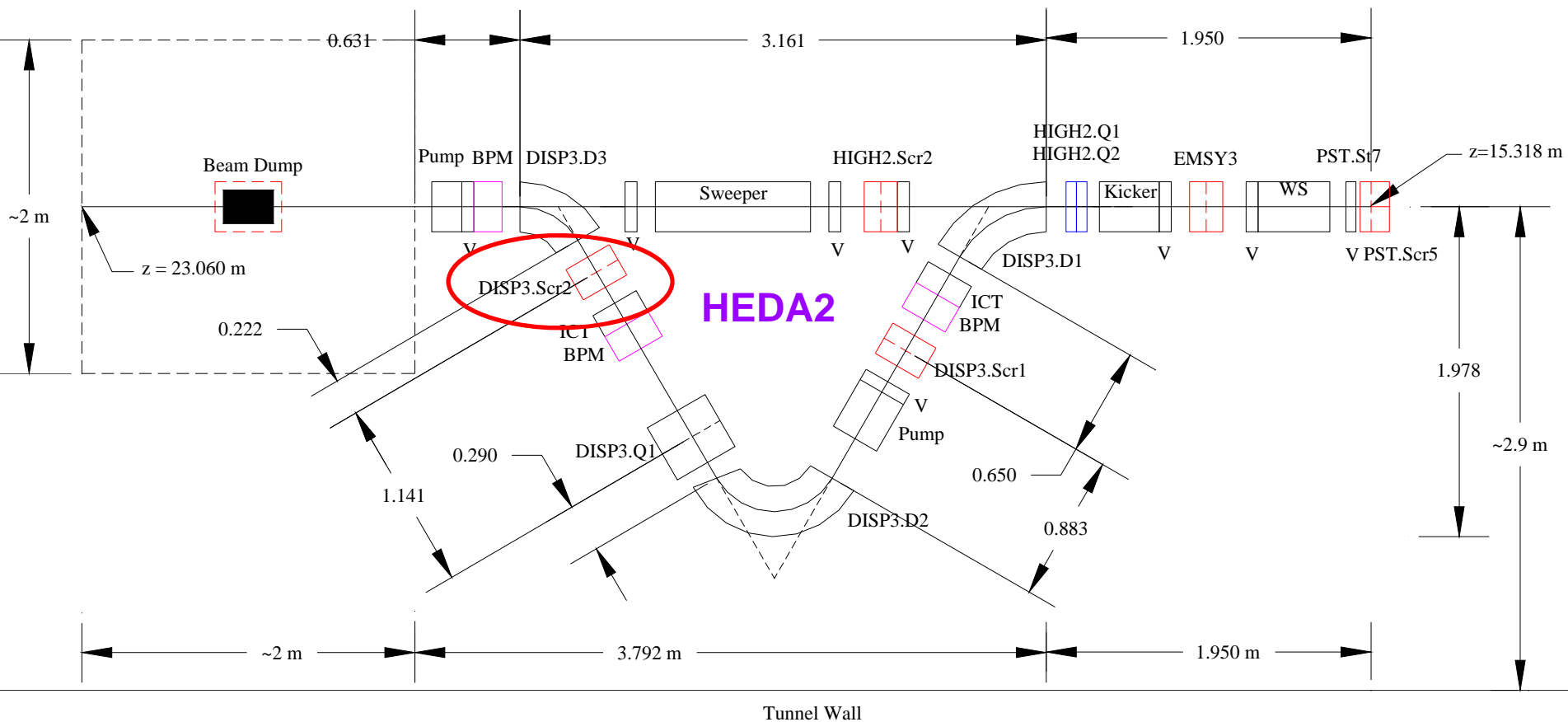
Design de l'ensemble

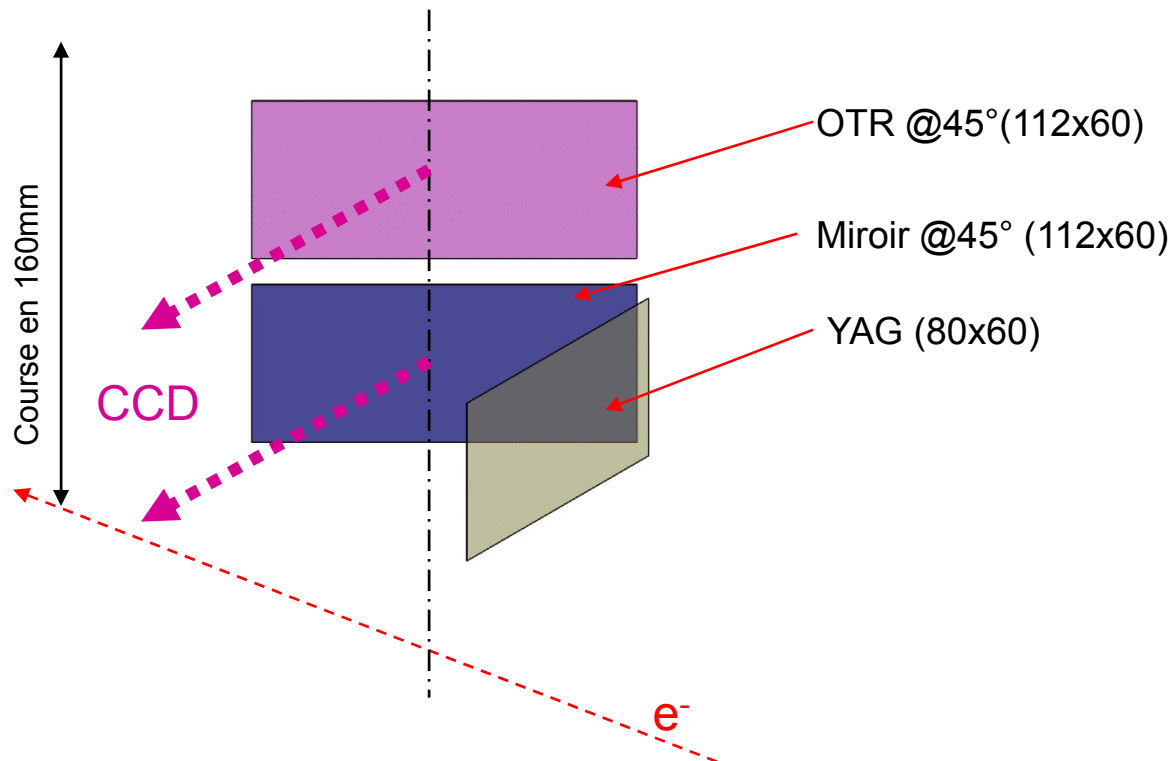


Design des diags



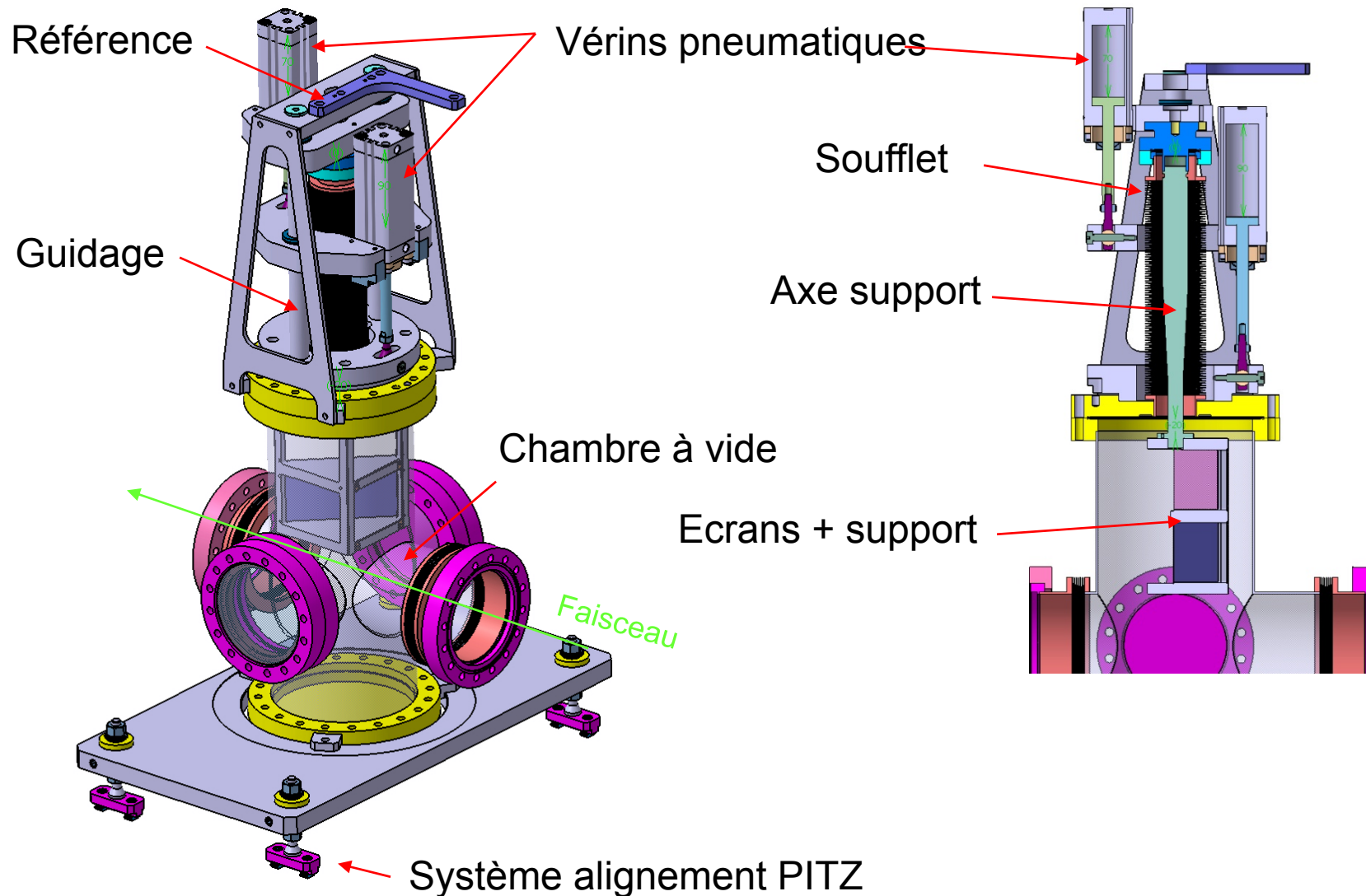
DISP3.Scr2 dans HEDA2





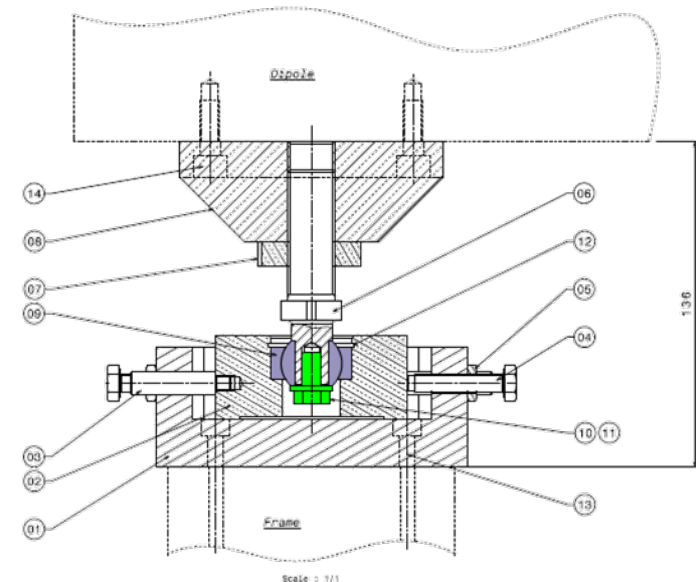
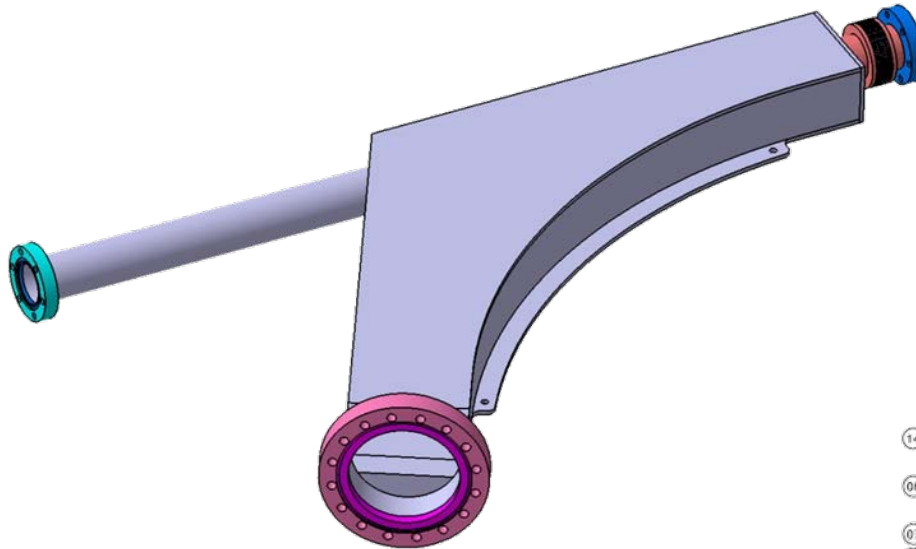
■ Systèmes 3 positions : 2 vérins pneumatiques sur les mêmes guidages

- ➔ Bonne répétabilité
- ➔ Même référence positionnée par rapport à la machine



■ Design des 3 chambres à vide de dipôle

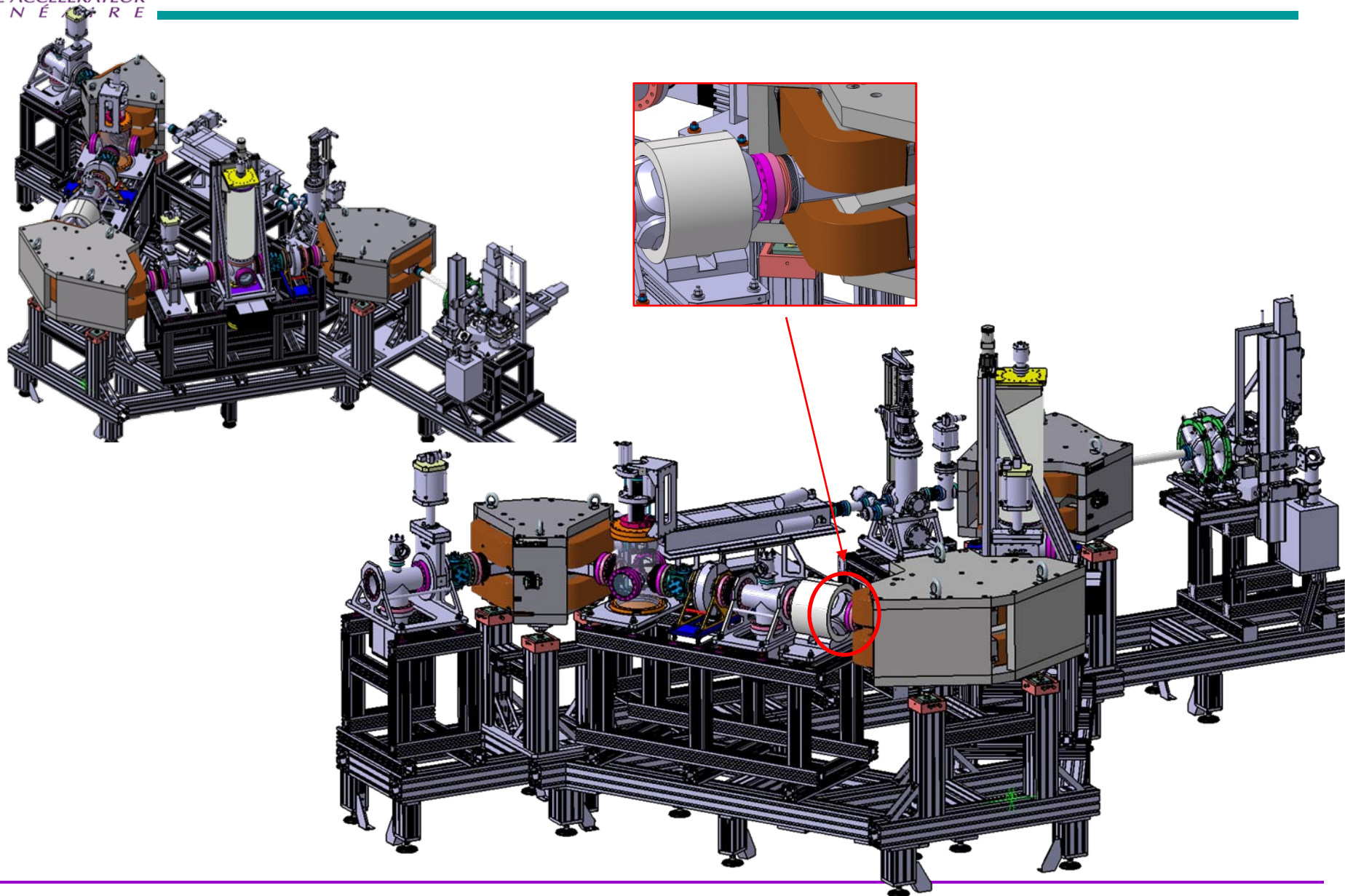
- Solution de base très chère et complexe à fabriquer
- Etude d'une solution « plaques soudées » bon marché et facile à souder



■ Systèmes de réglage des dipôles

- Celui à 120° fait près de 1,5t!

Intégration complète du système

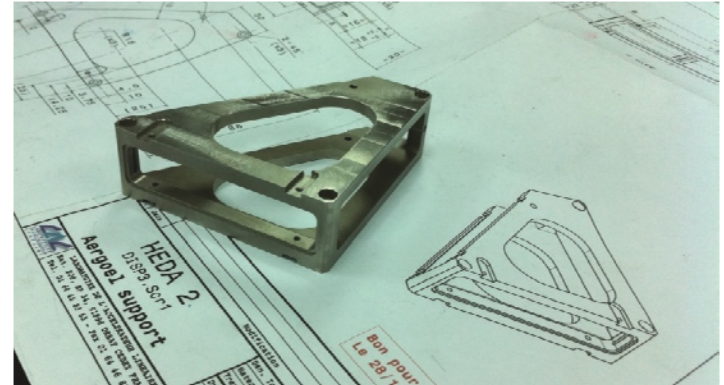


■ Intégration 3D finie

→ Plans transmis à PITZ

■ DISP3.Scr1 :

- Design fini
- Fabrication en cours (sous traitance)
- Montage au LAL fin Février 2011
- @PITZ fin Avril 2011



■ DISP3.Scr2 :

- Design prêt pour Février
- Montage au LAL fin Mars
- @PITZ fin Avril 2011

■ Système de réglage dipôles

- Réalisation finie cette semaine
- Tests en charge à faire

■ Le projet touche à sa fin

- Nous entamons la période critique (tests, montage, etc...)
- Montage à PITZ fin Avril
- Mise en fonctionnement à l'été
 - Participation des agents du département accélérateur?

■ Au final plus de temps et de ressource que prévu mais le bilan est très positif :

- Etude et réalisation de nouveaux systèmes mécaniques
 - Stations écrans, supports dipôles, chambres à vide dipôle, etc...
- Nouvelles connaissances dans la construction des accélérateurs
 - ICT, fabrication dipôles, etc...

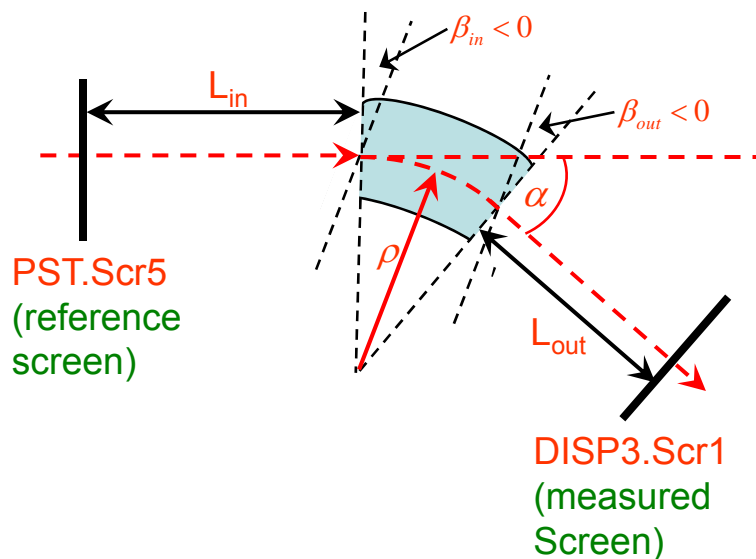
■ Déjà des retombées sur les autres projets du labo

- PHIL :
 - Discussions autour de la mesure d'émittance avec Julien
 - Reprise du concept « PITZ » pour les profileurs
 - Intégration des ICT sur la ligne
 - ...
- Et ThomX aussi !
 - Design chambre écran
 - Visite et discussions avec Danfysik sur les éléments magnétiques

Spare slides

→ Priority !

1. Measurements of momentum and momentum distribution for electron maximum momentum up to 40 MeV/c (nominal momentum of ~30 MeV/c)
2. Longitudinal phase space measurements for momentum spread down to ~1 keV/c (for gun and booster **phases around optimum and min. momentum spread**) by using combination of:
 - a dipole magnet, an RF-deflector and a beam monitor screen
 - a dipole magnet and a Cherenkov radiation equipped with a streak camera readout system (larger resolution than the measurement with RF-deflector)
3. Transverse slice emittance measurements for the vertical plane at **off-crest booster phases** (large momentum spread)
 - horizontal slice emittance measurement at HEDA1
 - vertical slice emittance measurement at HEDA2



While electron beam is deflected by the a dipole magnet, particles with different electron momenta are deflected with different d $x = R_{11}x_0 + R_{12}x'_0 + R_{16}\delta_0$ result in different transverse positions, (x) at the DISP3.D1 was first optimized to have good resolution of the momentum spread by using transformation matrices to minimize the influence of the incoming beam size and divergence

$D = R_{16}\delta_0 \gg R_{11}x_0 + R_{12}x'_0$, $\delta_0 \gg (\frac{R_{11}}{R_{16}})x_0 + (\frac{R_{12}}{R_{16}})x'_0$

$$\Rightarrow \text{maximize } \left| \frac{R_{16}}{R_{11}} \right| \quad \left| \frac{R_{16}}{R_{12}} \right| \text{ and}$$

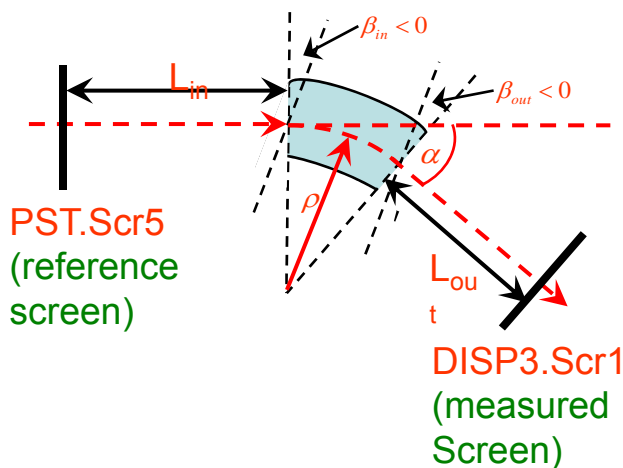
Options for deflecting angles (consider the existing optics system for the streak camera at PITZ)

- 30°: existing rotating box for optics system can be used (but it provides small dispersion and needs long distance after the dipole to the dispersive screen)
- 60°: existing rotating box for optics system can be used
- 90°: no rotating box is needed

Case	α (°)	ρ (mm)	β_{in} (°)	β_{out} (°)	L_{in} (mm)	L_{out} (mm)	R_{16} (mm)	$ R_{16}/R_{12} $	$D(L_{DA})$ (mm)
60-1	60	600	0	0	1950	650	862.9	1969.3	1079.4
60-2	60	700	30	-28	1700	869	871.6	2312.9	1021.6
60-3	60	750	30	-30	1700	898	893.5	2335.5	1039.8
90-1	90	650	0	0	1700	250	900.0	2340.0	1150.0
90-2	90	700	30	-30	1550	452	891.0	2250.6	996.7
90-3	90	650	30	-24.2	1950	420	881.2	9057.3	1018.8

Step 2: Optimize DISP3.D1 using transformation matrices and Astra simulation up to the reference screen

Simulations were included the effect of the dipole and initial beam size and divergence (Resolution of camera, optics, RF-deflector, ... were not considered.)

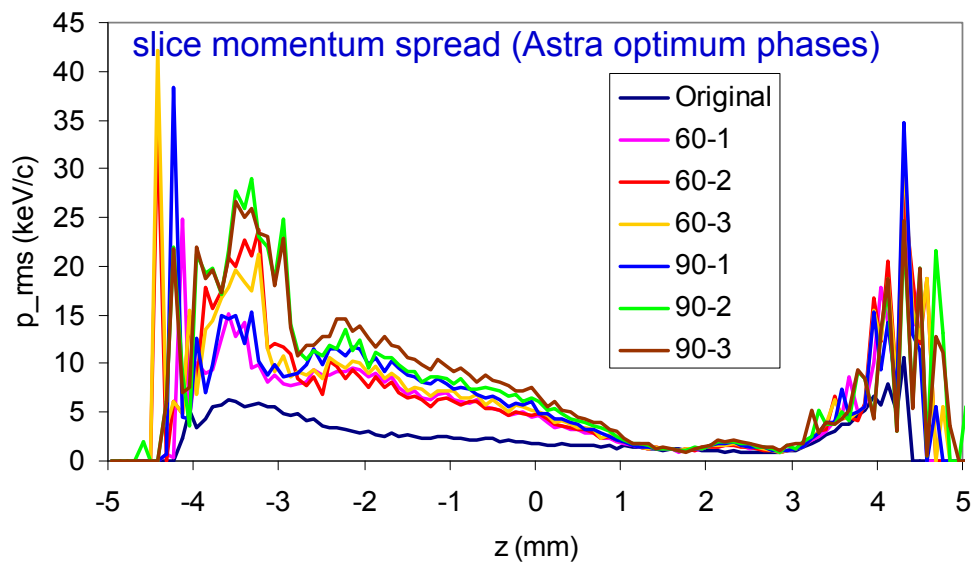


A particle state at any position along the beam line can be described by using a matrix

$$\text{transf} \begin{bmatrix} x \\ x' \\ y \\ y' \\ z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ y_0 \\ y'_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11}x_0 + R_{12}x'_0 + R_{16}\delta_0 \\ R_{21}x_0 + R_{22}x'_0 + R_{26}\delta_0 \\ R_{33}y_0 + R_{34}y'_0 \\ R_{43}y_0 + R_{44}y'_0 \\ R_{51}x_0 + R_{52}x'_0 + R_{55}z_0 + R_{56}\delta_0 \end{bmatrix}$$

excluded $R_{56}\delta_0$ in simulation

$$p = \left(\frac{x - R_{11}x_0}{R_{16}} \right) p_{mean} + p_{mean}$$



There is not much different results for all cases.

→ The deflecting angle of 60° was chosen (case 60-1) since the cases of 90° is limited by the transverse space

α (°)	ρ (mm)	β_{in} (°)	β_{out} (°)	L_{in} (mm)	L_{out} (mm)	R_{16} (mm)	$D(L_{DA})$ (mm)
60	600	0	0	1950	650	862.9	1079.4

Astra simulation parameters at optimum phases for gun and booster

- Gun phase = 0, gradient = 60 MV/m
- Booster phase = 0, gradient = 28.55 MV/m
- $B_{\text{main}} = 0.2156 \text{ T}$, $B_{\text{bucking}} = -0.0076 \text{ T}$ (zero B-field at cathode)
- $\langle p \rangle \sim 32.07 \text{ MeV}/c$

$$\begin{bmatrix} x \\ x' \\ y \\ y' \\ z \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x_0 \\ x'_0 \\ y_0 \\ y'_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11}x_0 + R_{12}x'_0 + R_{16}\delta_0 \\ R_{21}x_0 + R_{22}x'_0 + R_{26}\delta_0 \\ R_{33}y_0 + R_{34}y'_0 \\ R_{43}y_0 + R_{44}y'_0 \\ R_{51}x_0 + R_{52}x'_0 + R_{55}z_0 + R_{56}\delta_0 \end{bmatrix}$$

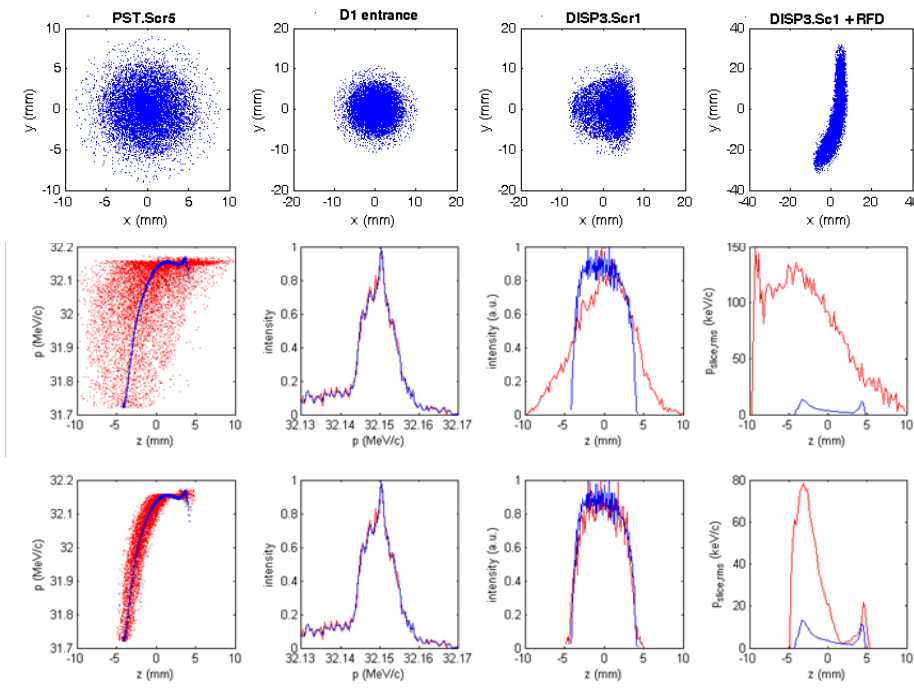
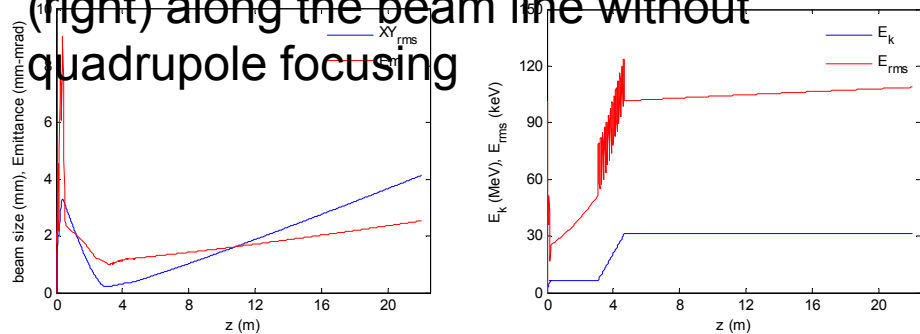
excluded $R_{56}\delta_0$ in simulation

Reconstructed momentum at dispersive screen

$$p = \left(\frac{x - x_{\text{mean}}}{R_{16}} \right) p_{\text{mean}} + p_{\text{mean}}$$

Reconstructed beam size (top) and longitudinal particle distributions at the

Transverse beam size and emittance (left) and longitudinal kinetic and rms energy (right) along the beam line without quadrupole focusing

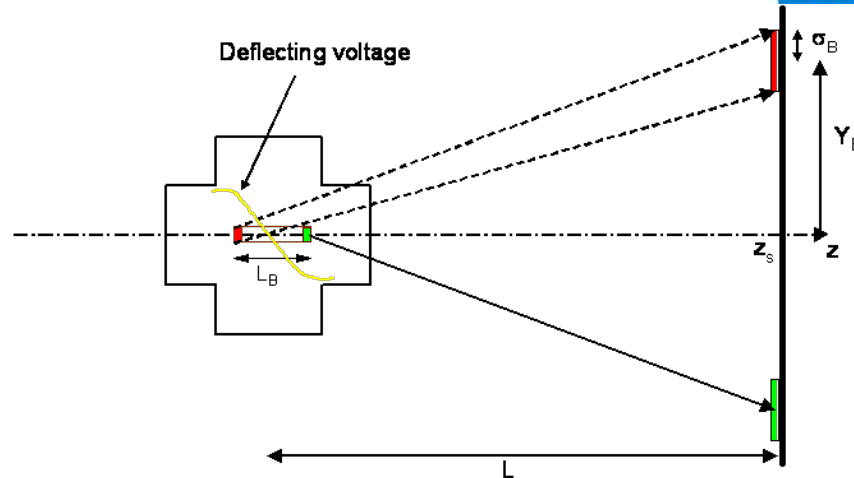


Beam dynamics simulation for different focusing is strongly needed !

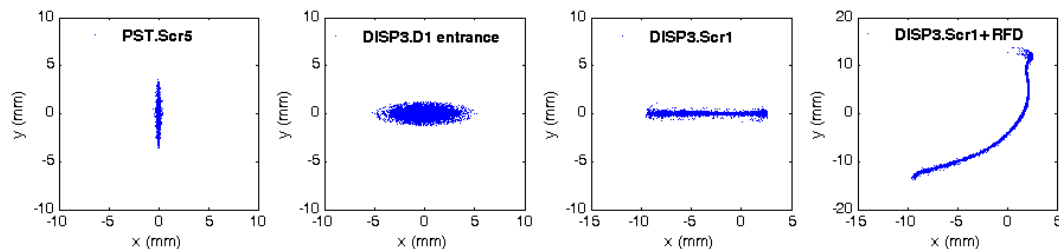
Resolution of the momentum and momentum spread measurement depends strongly on the quadrupole focusing before the beam transported to the dipole.

Measurements with RF-deflector (RFD)

- Before turn on the RFD, the beam has to be **horizontal** focused (using PST.Q1, PST.Q2, PST.Q3) at the reference screen leading to vertical focusing at the dispersive screen
- After turn on the RFD, the beam is deflected from longitudinal plane to vertical plane which lead to the

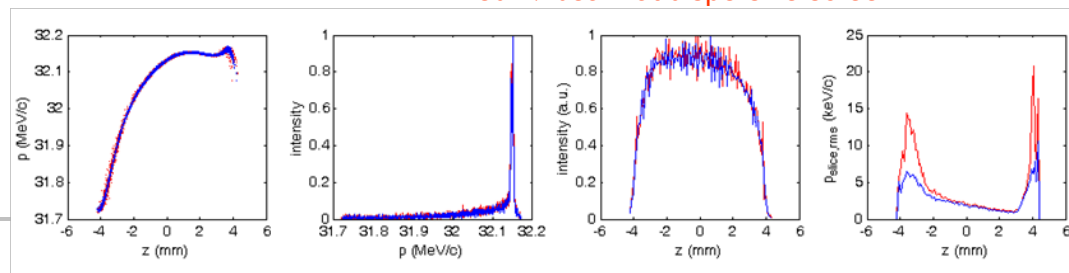


Transverse distribution at reference screen, dipole entrance and dispersive screen

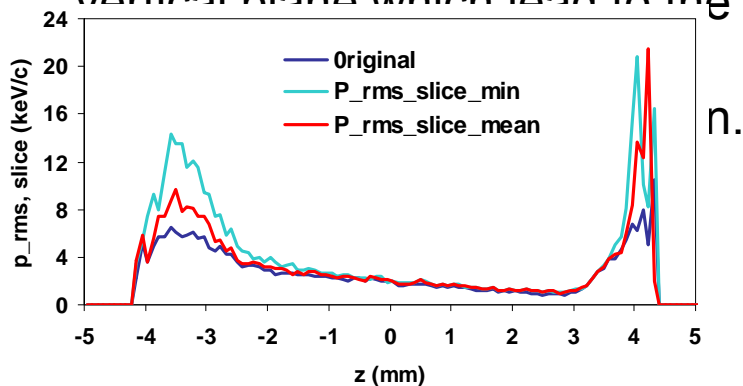


Longitudinal distribution

blue → initial beam at the reference screen
red → beam at dispersive screen

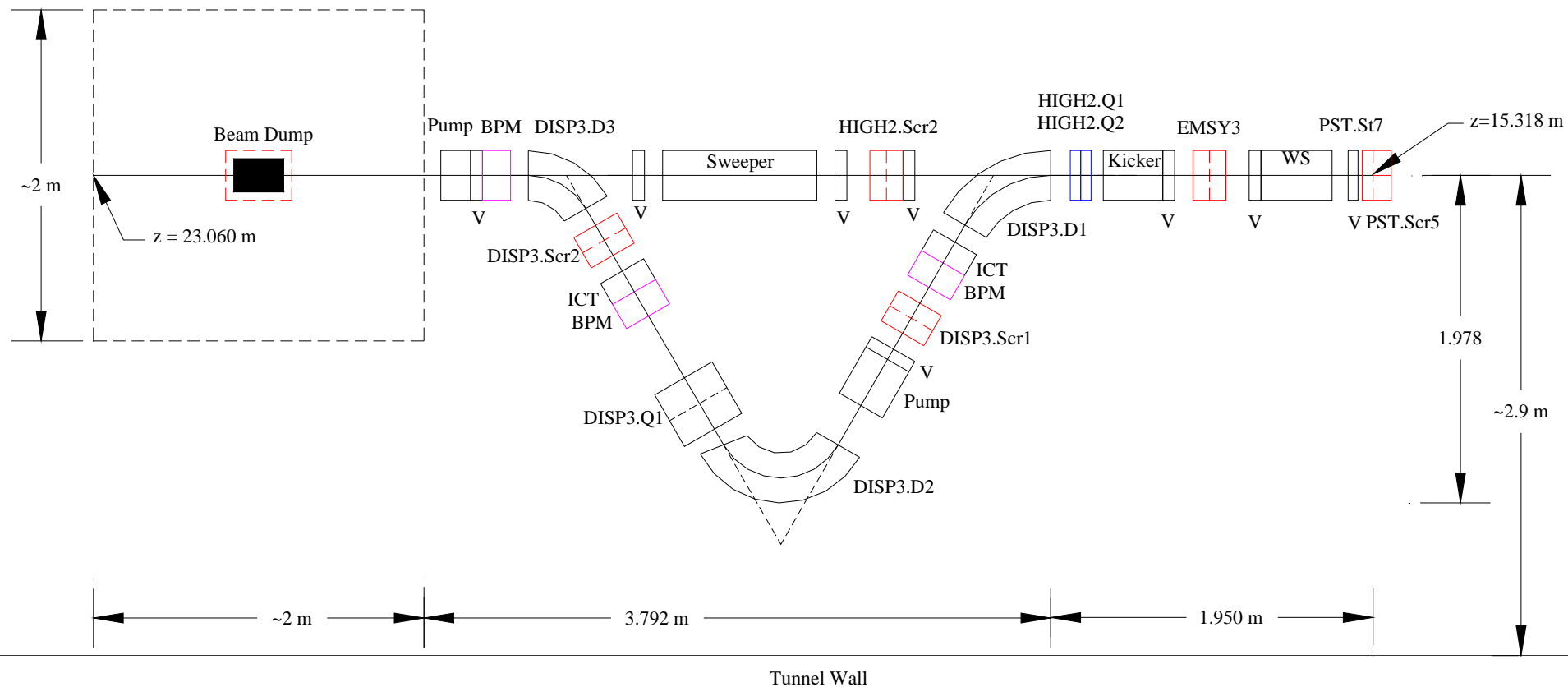


Comparison of the original mean momentum P_{mean} (MeV/c) and slice momentum spread (P_{slice} , keV/c) to vertical plane which lead to the



parameter	original	$P_{\text{rms, slice, min}}$	$P_{\text{rms, slice, mean}}$
P_{mean}	32.0728	32.0728	32.0728
P_{rms}	106.161	106.156	106.156
$P_{\text{rms, slice, min}}$	0.778	0.995	1.018
$P_{\text{rms, slice, mean}}$	2.886	4.335	3.515

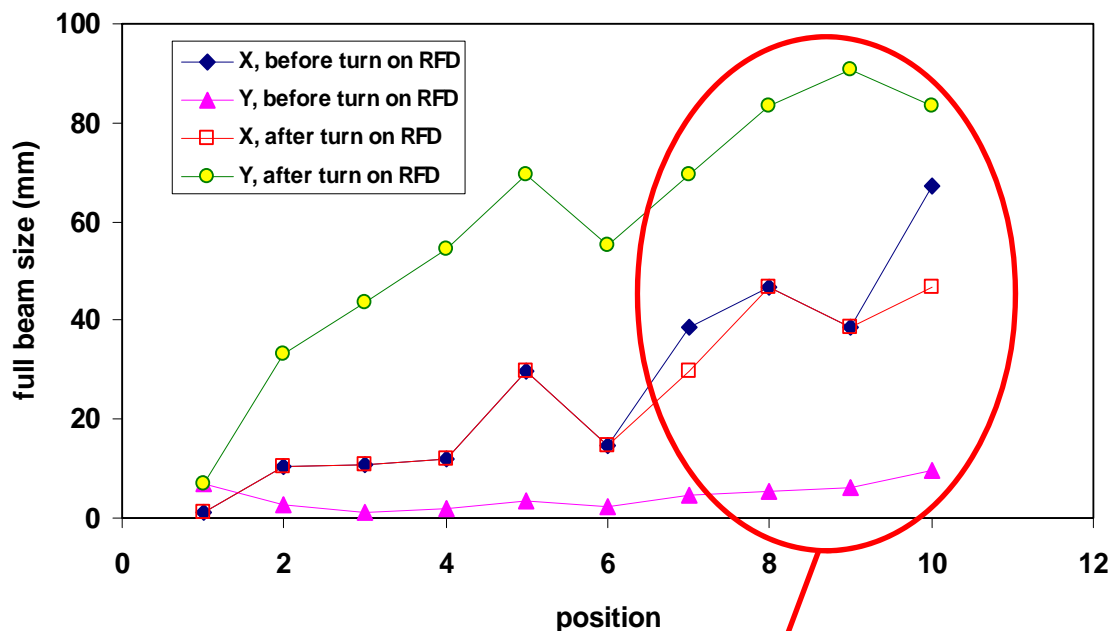
Foreseen HEDA2 setup



Dipole	α (°)	β_{in} (°)	β_{out} (°)	ρ (mm)
DISP3.D1	60	0	0	600
DISP3.D2	-120	0	9	400
DISP3.D3	60	0	0	400

- Dipole magnets: some changes since the last version on November 2008
 - dipole deflecting angles and radii
 - preliminary offers
 - include kicker study (still open)
- Physics studies to define configurations of DISP3.Scr1 and DISP3.Scr2
 - 40mm off-set for YAG and OTR in RFD measurement
- Preliminary coordinates of each component
- Beam size study along the dispersive section (on-crest case) ⇒ define sizes of vacuum tubes (100mm diameter)

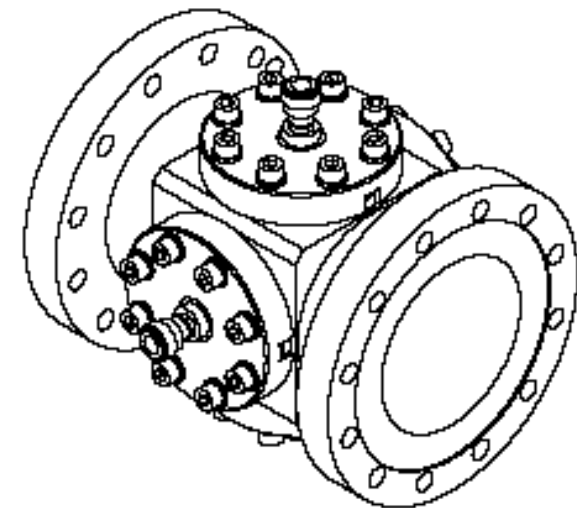
Position	Location
1	PST.Scr5
2	DISP3.D1 entrance
3	DISP3.D1 exit
4	DISP3.Scr1 center
5	DISP3.D2 entrance
6	DISP3.D2 exit
7	DISP3.Scr2 center
8	DISP3.D3 entrance
9	DISP3.D3 exit
10	Beam dump entrance



Transverse beam size before and after the exit of the DISP3.D2 dipole can be controlled by using the DISP3.Q1 quadrupole

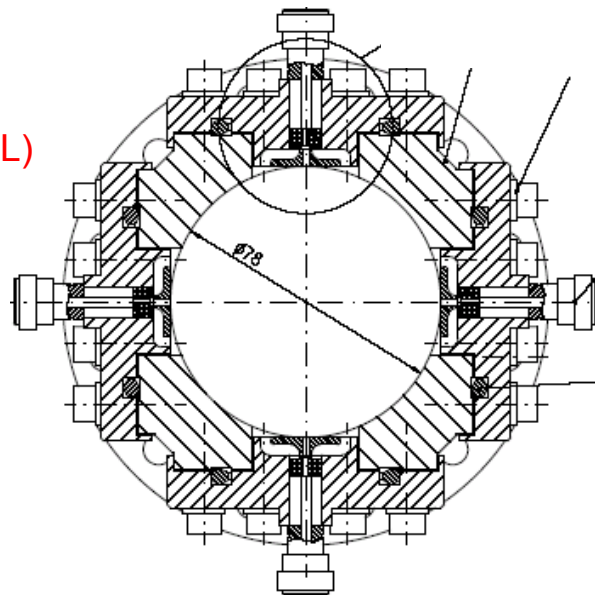
General information (following the meeting with MDI group at DESY-HH)

- required number: 3 BPMs
- beam charge: 0.1 – 1 nC
- for beam position measurements with long XFEL-like pulse (3250 pulses)
- large beam size in horizontal (energy spread) & vertical plane (RFD)
- total cost including related electronics (per 1 unit): ~10k Eu
- responsibility (DESY or LAL?)
 - design: DESY (MDI group)
 - construction: MDI suggested for BPM construction by DESY (technology transfer to LAL is possible)
 - operation and maintenance: DESY (MDI group)
- installation time: mid of 2010 ⇒ design should be ready by end of 2009 (3 months for design & construction)



BPM design considerations (based on design of cold button BPMs for XFEL)

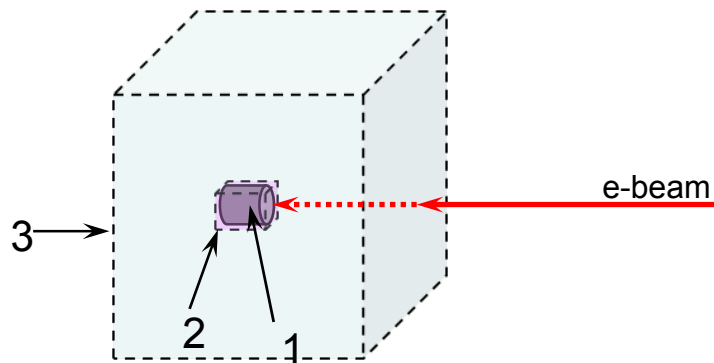
- resolution in the range of mm
- made of stainless-steel (PITZ standard) & to be particle-free cleaning
- chamber:
 - 78 mm (XFEL type) or 100 mm aperture diameter
 - 170 mm long including flanges (can be as short as 120mm, if needed)
- feedthroughs
 - option 1: feedthroughs for XFEL cold button BPMs (20 mm, N-type connectors)
 - option 2: HERA feedthroughs (17 mm, BNC connectors)



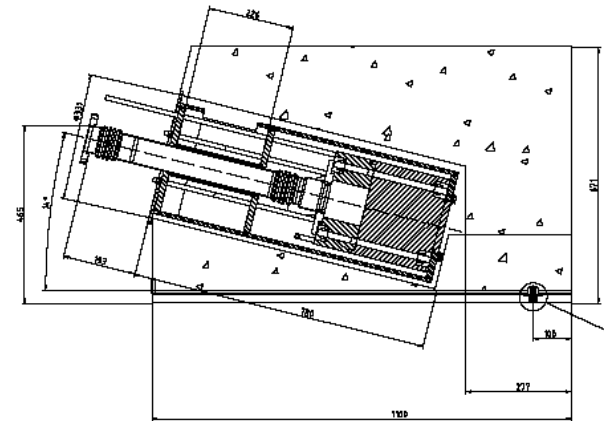
- beam dump for 40 MeV beam with long pulse trains

(3250 pulses for XFEL & 7200 pulses for FLASH)

- for beam power ~ 3 kW (cooling is needed)
- pump and flanges should be outside concrete block
- rough configurations and dimensions are foreseen (e.g. beam dump for BC1 in FLASH beam line)



1. **Al-block beam dump** (300 mm long)
2. **Lead shielding** (5 mm thick around Al-block)
3. **Concrete block** (69 mm thick from center)



- vacuum components:

- how many pumps and valves ?
- chambers: round with **diameter of 100mm** (defined from beam size study)

- support

D3 en test @ Danfysik

