

Yves Dabin

ESRF Grenoble



- 1- Introduction
- 2- Les bases mécaniques
- 3- Le microscopique- le mic-mac
- 4- Les matériaux par les systèmes
- 5- Les matériaux par les mécanismes
- 6- Liste des matériaux : Une population nombreuse
- 7- La thermique et les transferts - La corrosion

ESRF: 6 GeV - e^- : 200 mA - 6000 h/an
600 personnes
4500 visiteurs-users /an (150 @ t)
Budget: 73 M€/an
Spring8 Himeji - APS Argonne Chicago

1992 -2009 - Upgrade programme
10 Lignes \approx 200 m Nano-Focus Spot: 50 nm

dabin@esrf.fr

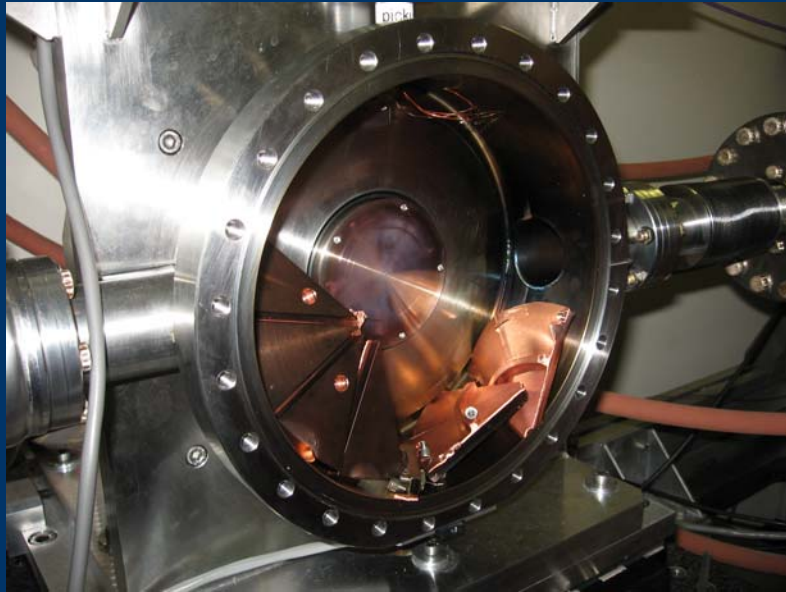
L'ESRF produit environ 1200 publications scientifiques par an

30 papiers / an dans "NATURE"

L'ESRF comme Spring8 et APS sont des labos qui dominent par leur flux de photons X



Explosion sous force centrifuge: Lundi 29 Sept. 2008

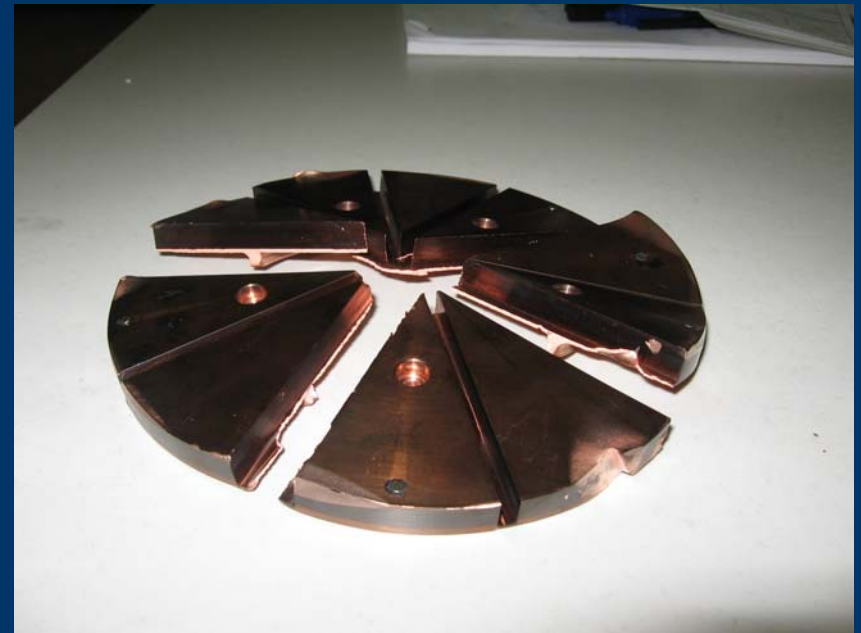


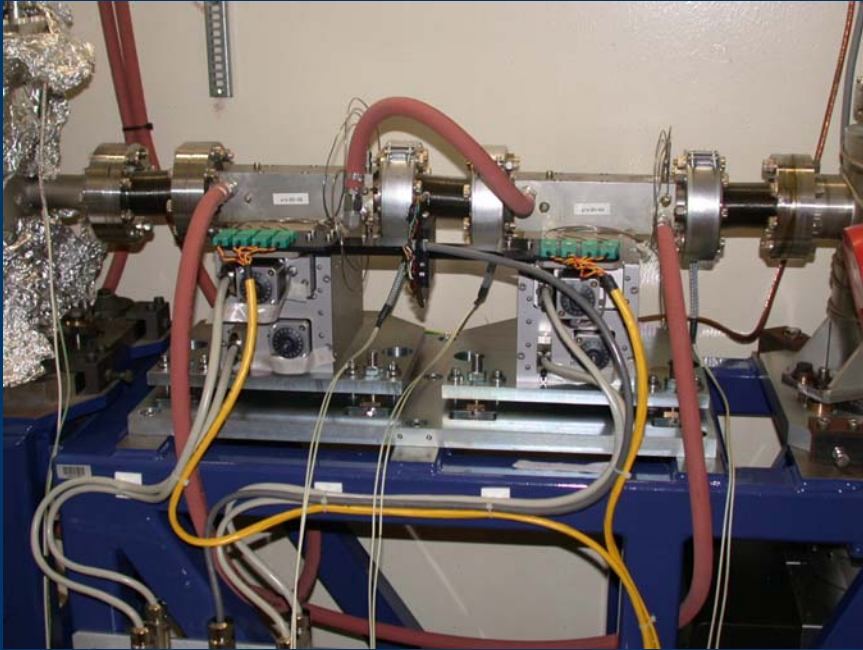
Chopper 1000 tr/s Glidcop ID13

Moteur à paliers magnetiques type Julish

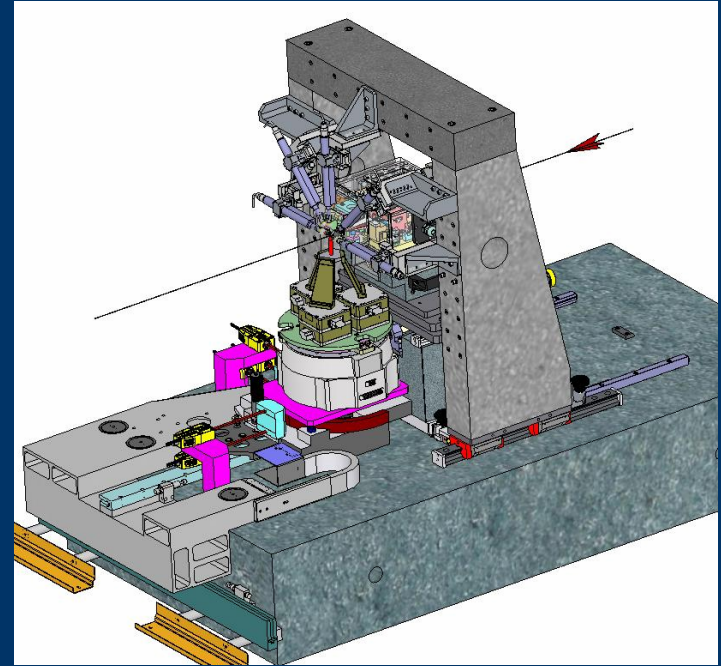
Refroidissement radiatif

On avait l'idée de lancer une version
de roue en complexe cuivre/inox
NOBELCLAD...
L. Eybert

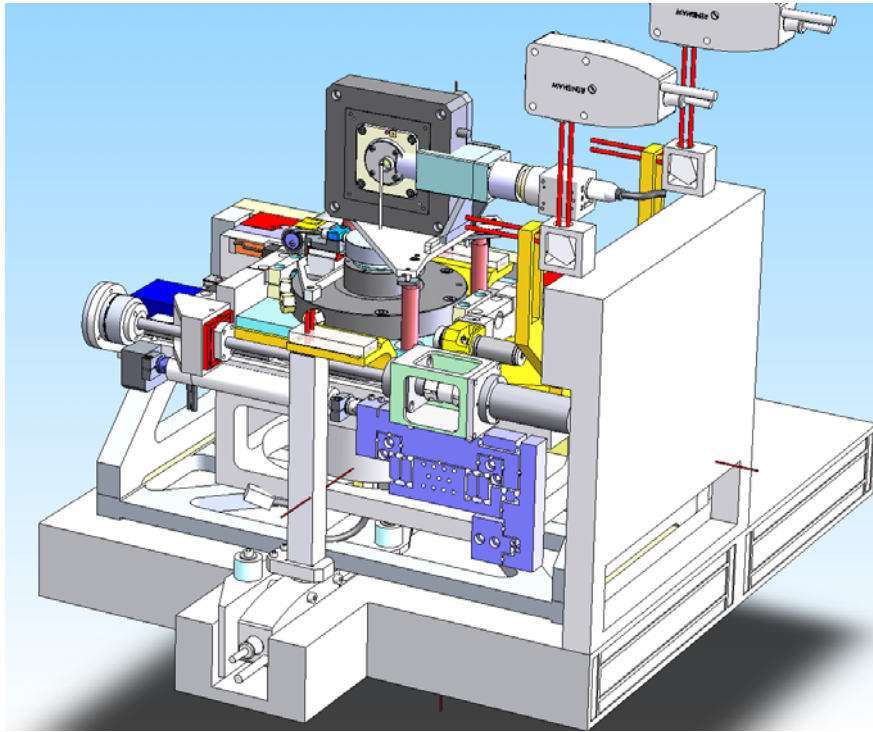




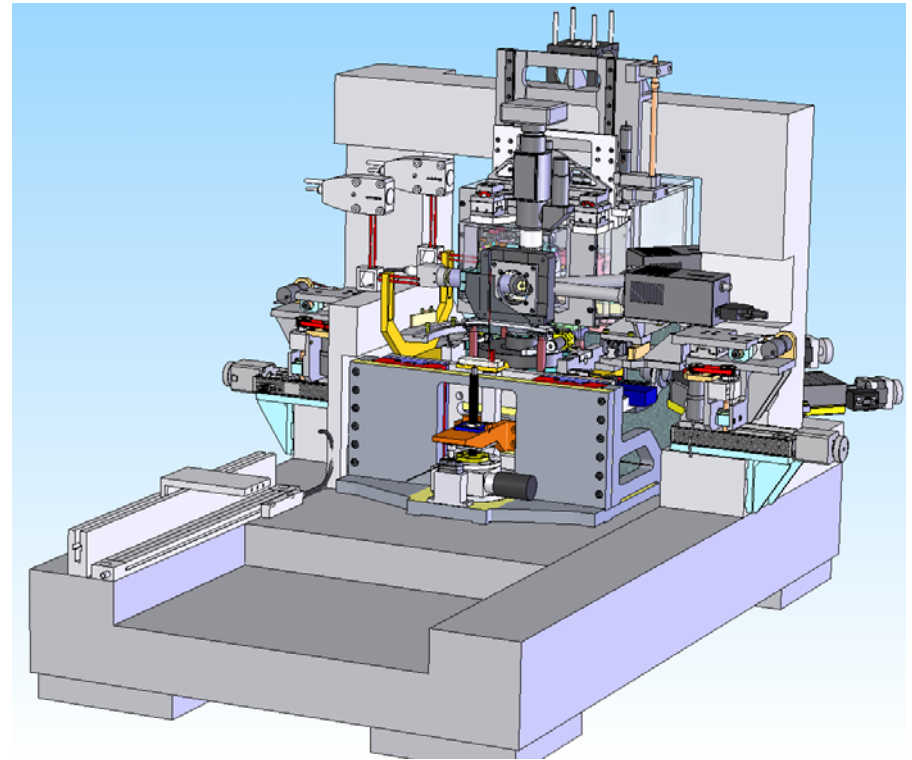
High power Primary Slits
 $D_p/d_s = 500 \text{ w/mm}^2$
 P total= 1000 w
 Ph. Marion



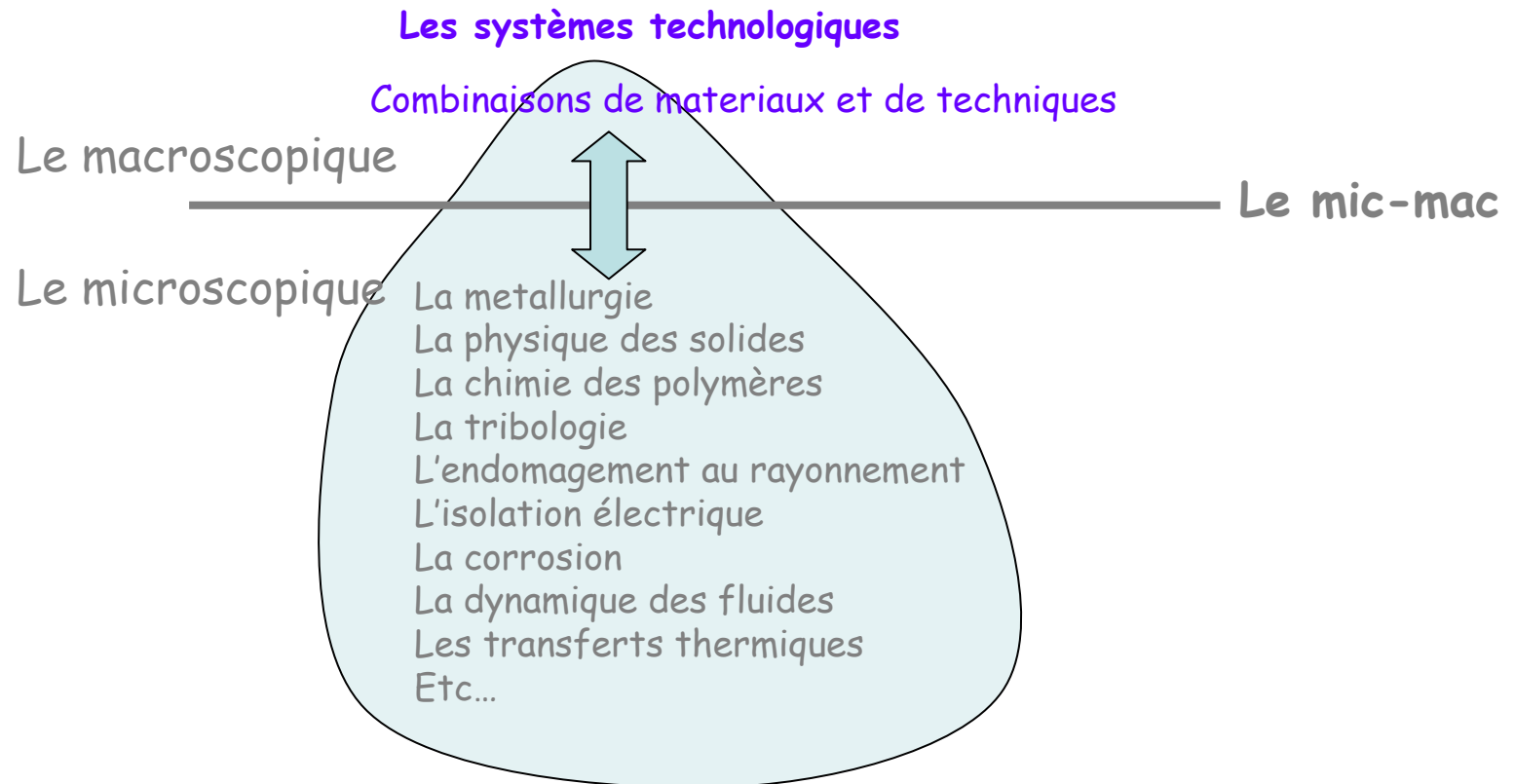
ID13 endstation (C.Riekkel, M. Burghammer, L. Eybert, M. Nicola)

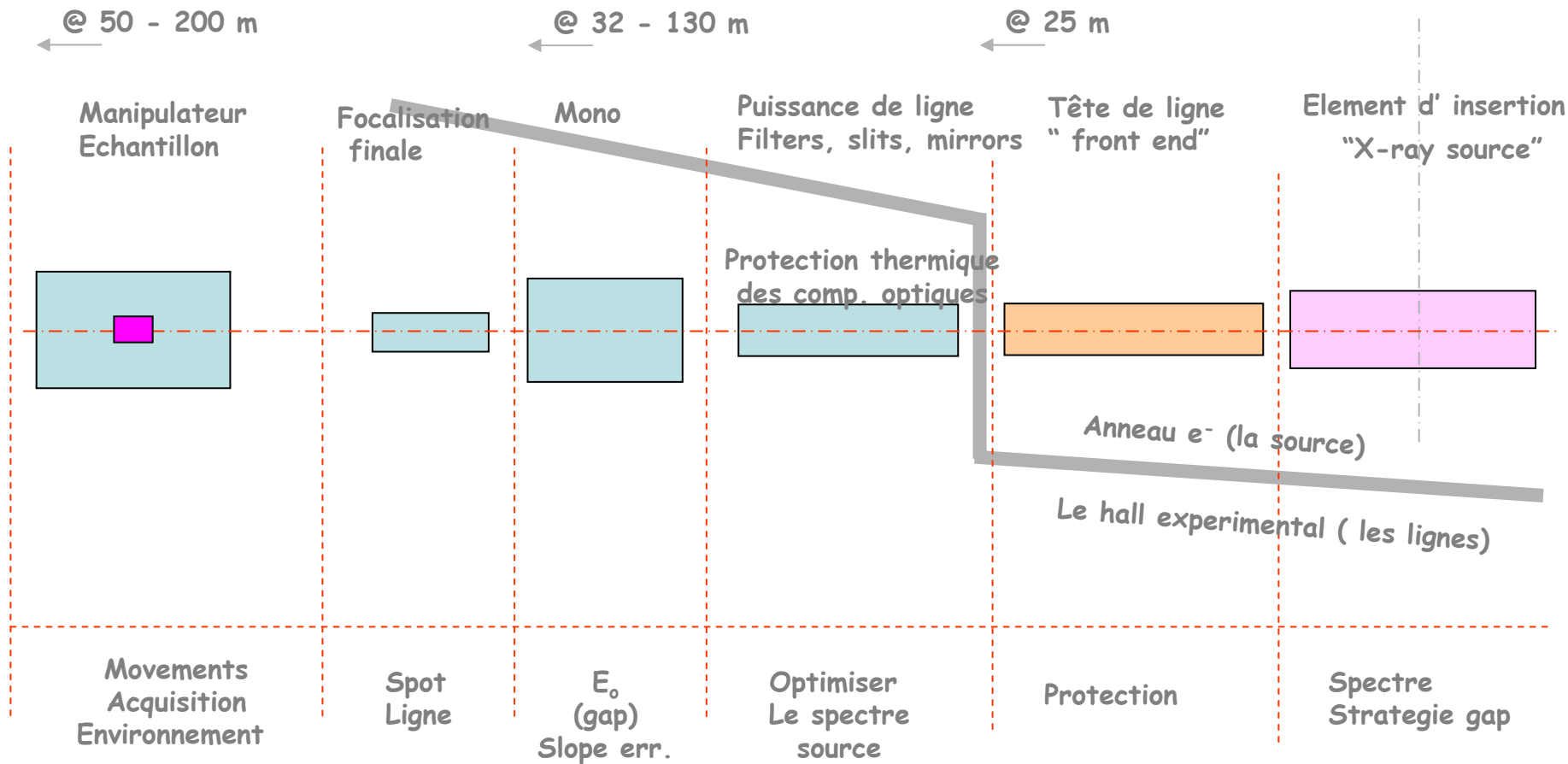


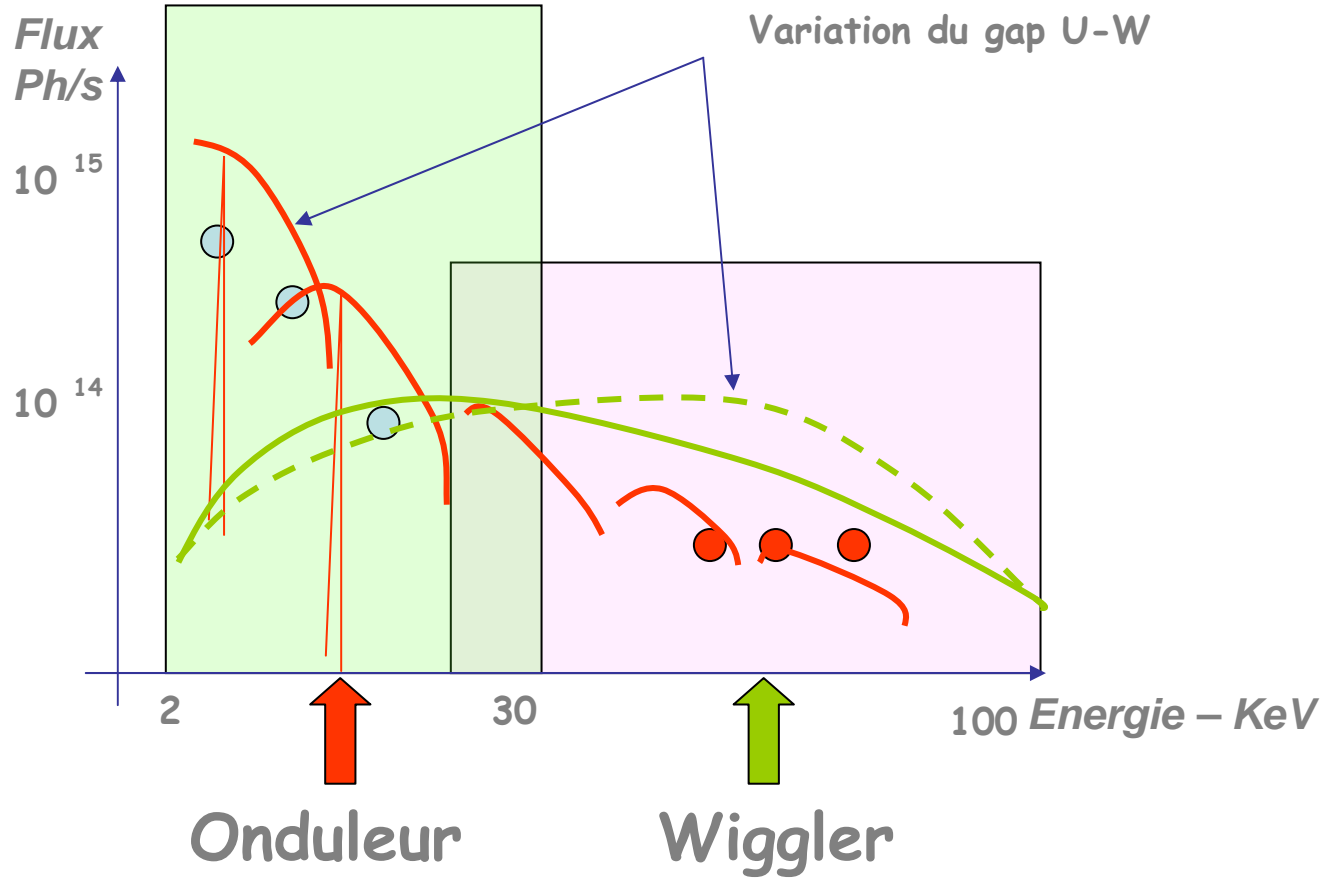
Interferometric metrology
Parallel control - Motor / piezo



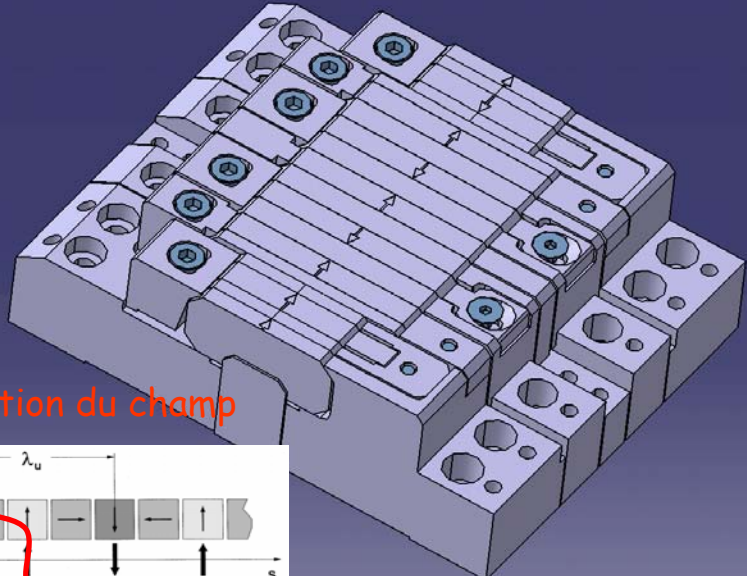
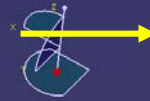
ID22-End station for Nano-Imaging
P. Cloetens - Y Dabin - S. Bohic
R. Tucoulou



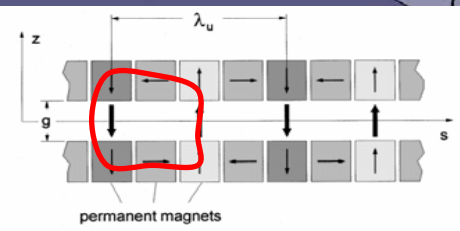




Aimants permanents - Design de la période

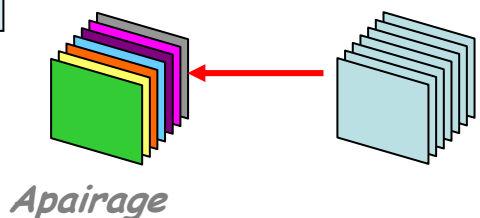


Circulation du champ

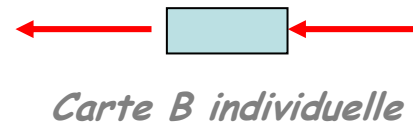


$$\tilde{B} = \frac{B_0}{\cosh\left(\pi \frac{g}{\lambda_u}\right)}$$

bd - analyse des défauts ... 10^{-4} de 10^{-2}

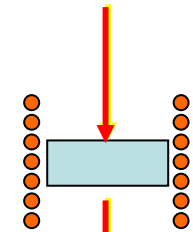


Apairage



Carte B individuelle

Poudre / grains



Pressage froid (verre)
Champ B_0



Cuisson 1000°C (vide)



Recuit 700°C (vide)
"Coercitivité"



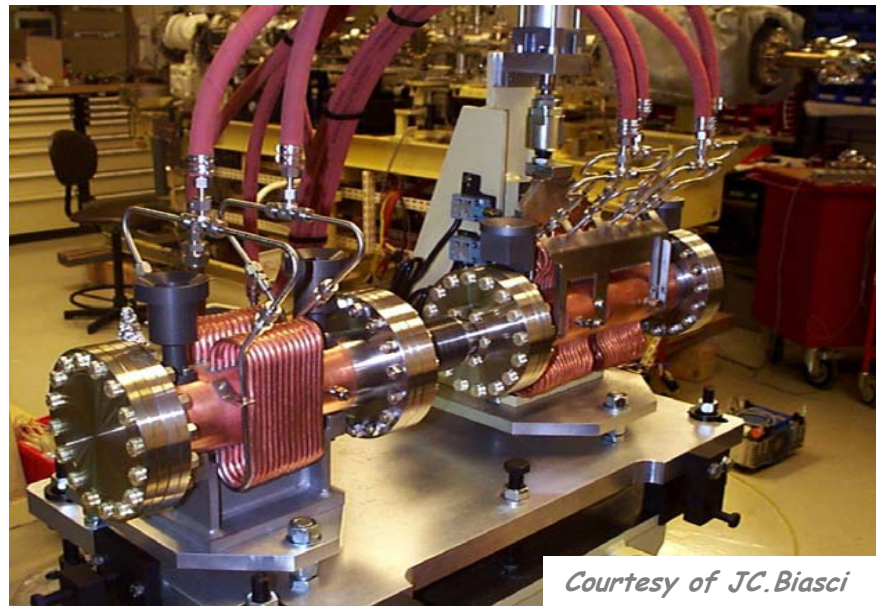
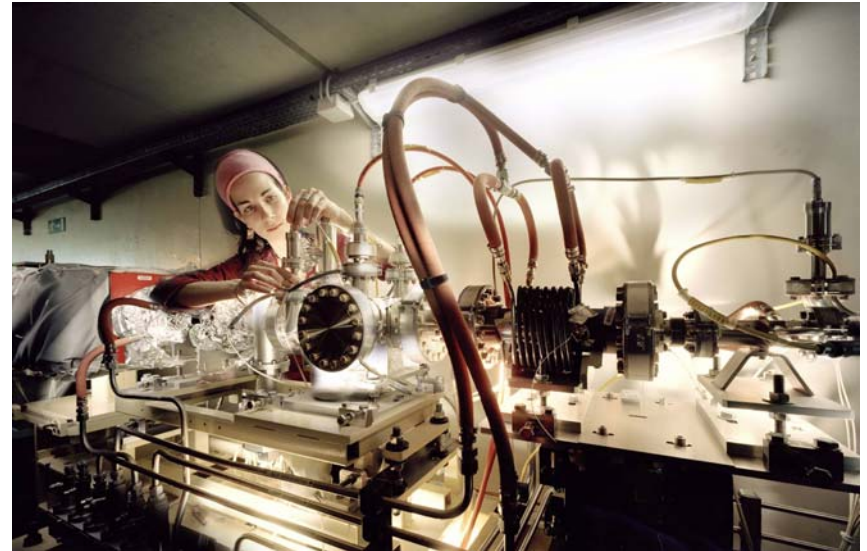
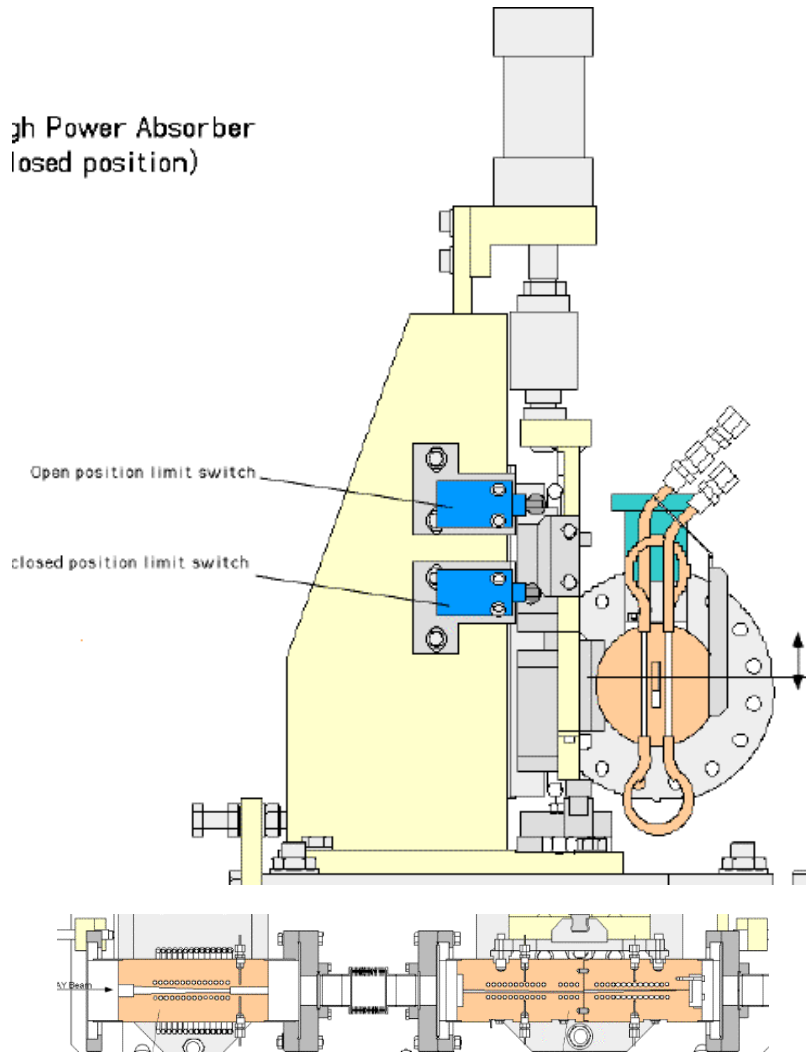
Protection corrosion
(Couche de nickel)

Source J.Chavanne ESRF

ESRF Front end : the High power absorber

Power stop capability: 2 ÷ 10 Kw

(High Power Absorber
closed position)



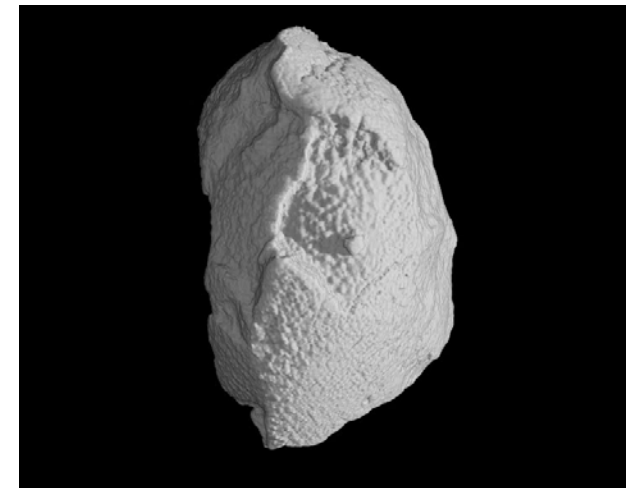
Courtesy of JC.Biasci

- Phénomènes physiques très nombreux sous vide
- Les vides
- Les connexions du vide
- La mécanique des chambres à vide
- Les systèmes à vide évolutifs
- Le systèmes à process / chambre découplés
- les joints à vide
- la conception des brides

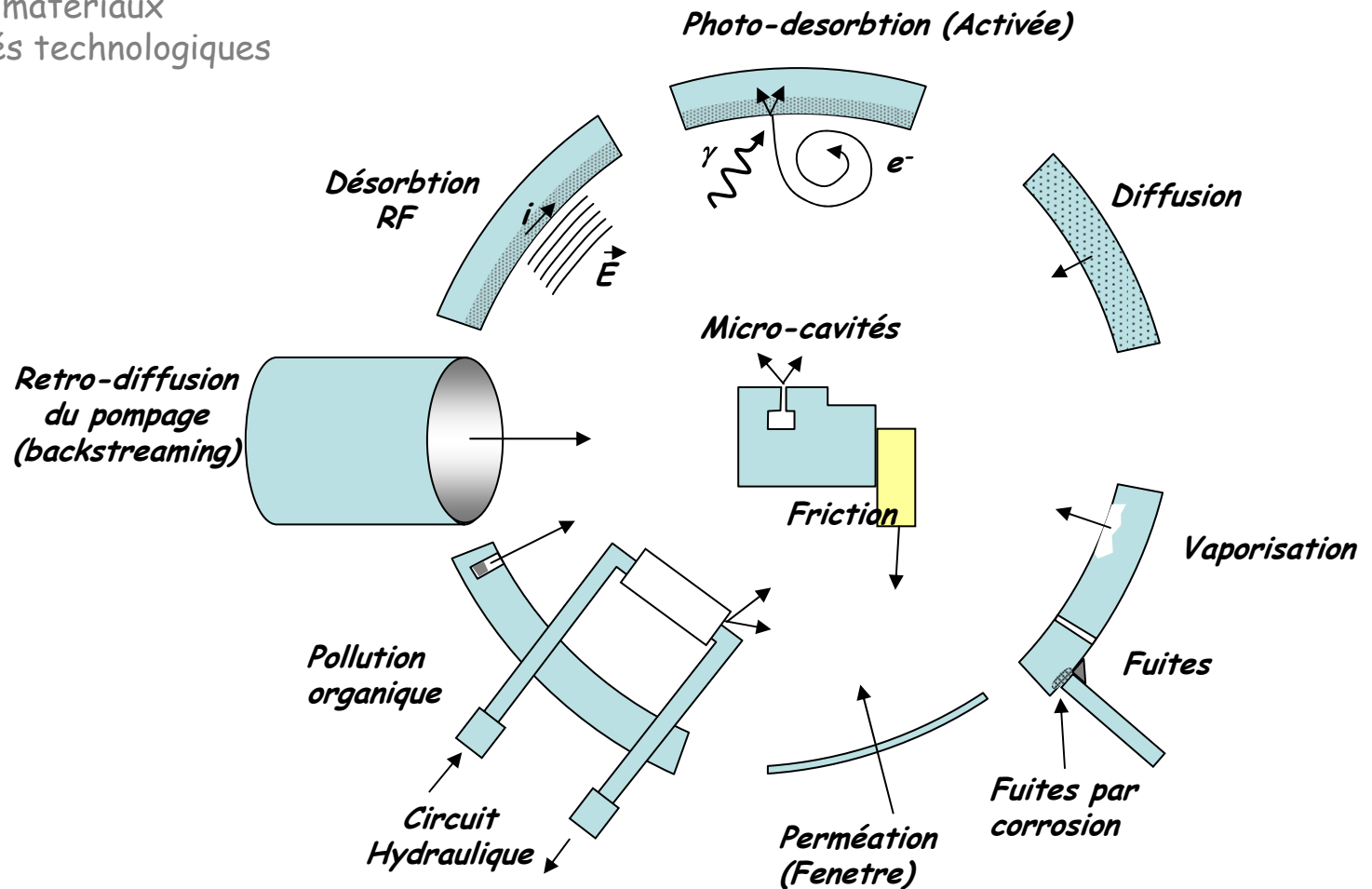


Dinosaure ou Oiseau ?

→ Tomographie @ 60 KeV
P.Tafaureau - ESRF



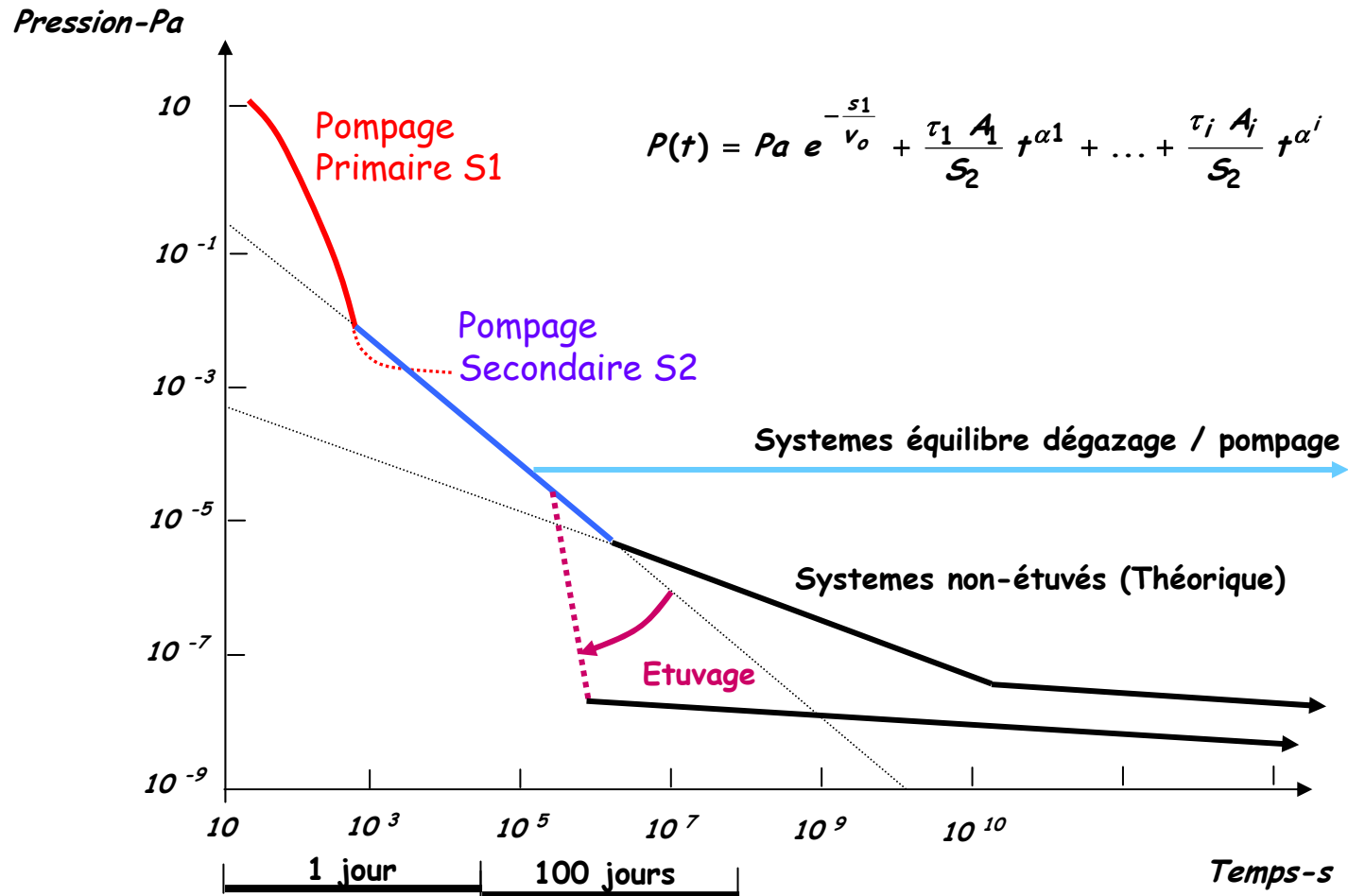
Presque tous ces phénomènes impliquent les matériaux
Et les procédés technologiques



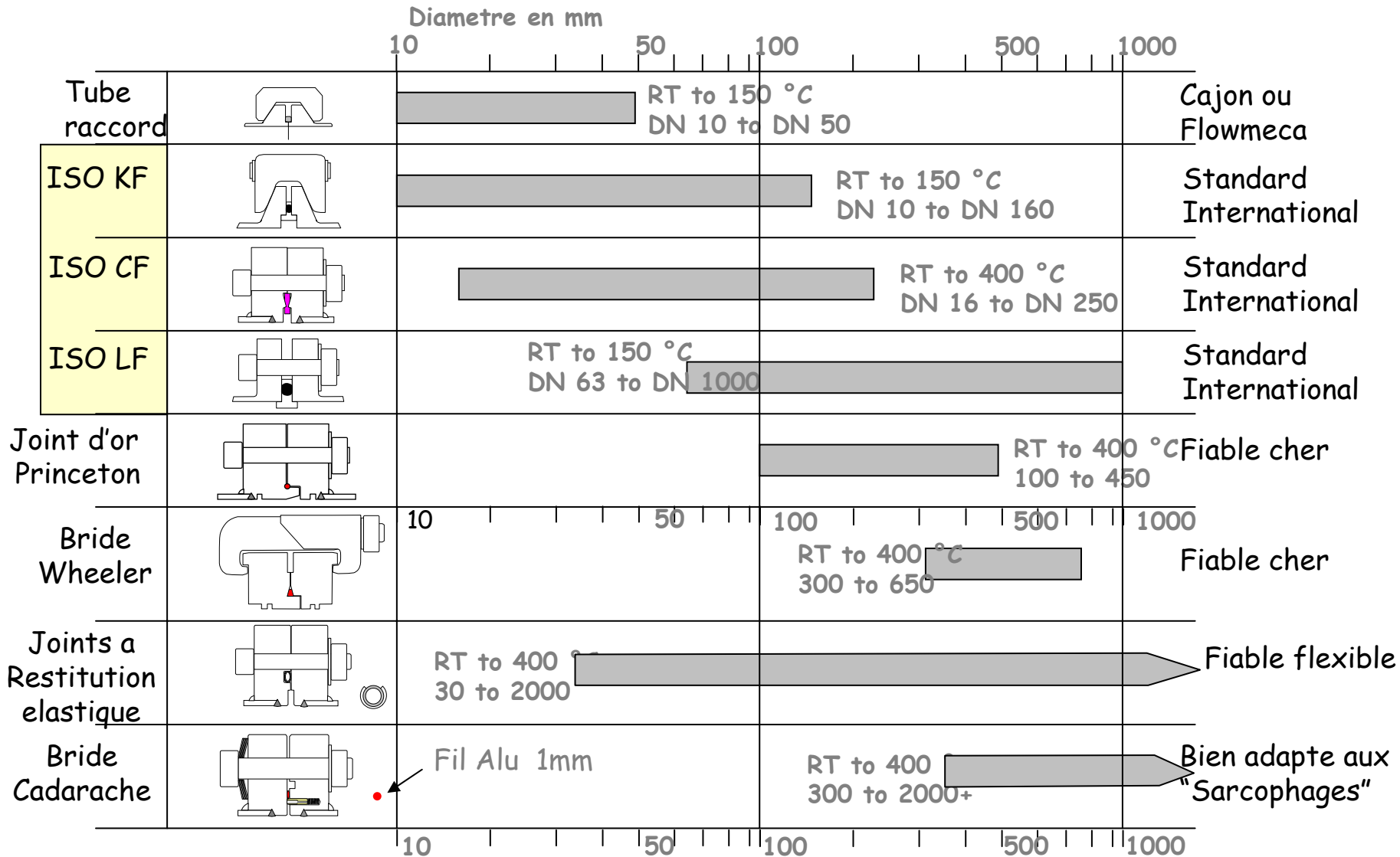
Inspiré de O'Hanlon - A user guide to vacuum technology

"Les vides"

"Vide rapide" et UHV deux exemples pour la conception des systèmes



1 – Les systèmes de joints d'étanchéité ... une longue histoire des techniques !



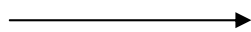
$$P_c = \frac{2 \cdot E}{1 - \mu^2} \cdot \left[\frac{t}{R} \right]^3$$

P_c est la pression critique du flambage Eulérien

L' Eulérien ne tient pas compte des défauts de forme des enveloppes. C'est une approche théorique. Toutes déformations locales des parois font chuter cette pression critique d'une valeur importante

$$\frac{t}{2R} = \sqrt[3]{\frac{P_c \cdot [1 - \mu^2]}{2 \cdot E}}$$

$$P_c = \frac{P_{atm}}{5}$$



Un facteur 5 est employé couramment afin de couvrir ces défauts

$$\frac{t}{2R} = 10^{-2}$$

Pour l'inox l'épaisseur est égale à 1/100^{ème} diamètre

L'épaisseur des ch. à vide est en général limitée à

- 4 mm inox (Austénitiques)*
- 6 mm Alu (6061)*
- Au delà → nervures*

Utiliser au maximum les fonds bombés (circulaires et elliptiques) -gain de poids

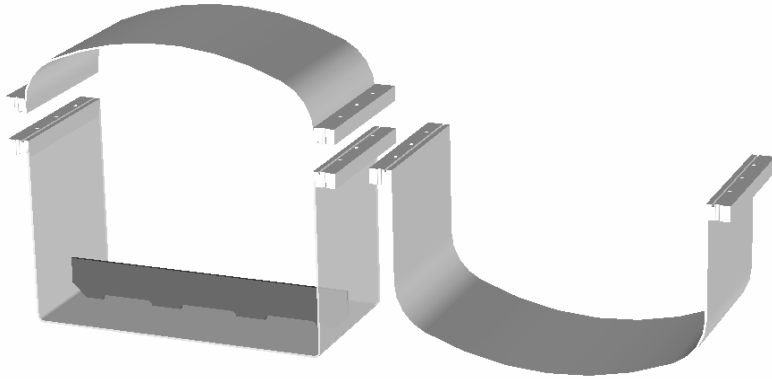
Leconte: Chaudronnerie et tuyauterie industrielle Tec & Doc

Timoshenko : Instabilité élastique

SICAP - CODAP - ASME - SNCT - CETIM



Aspects sécuritaires des enceintes

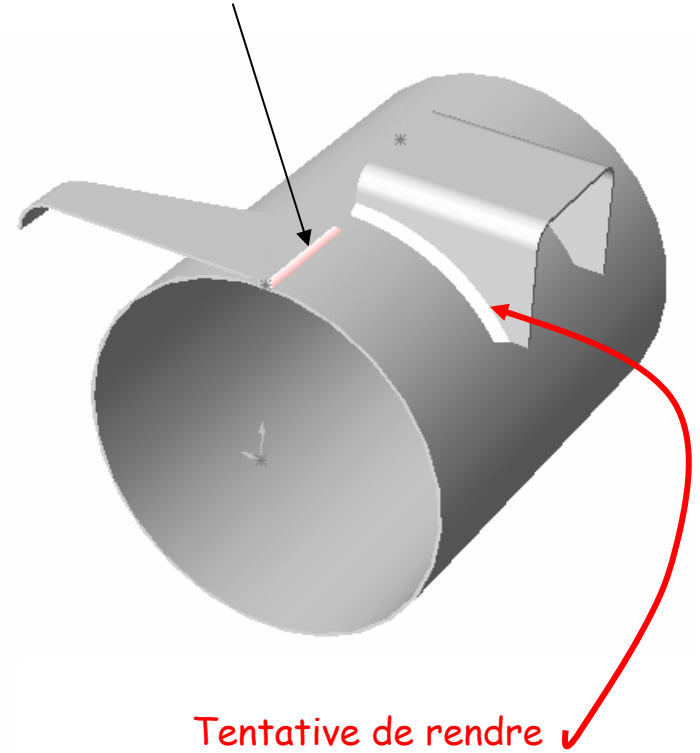


Conception à nervures

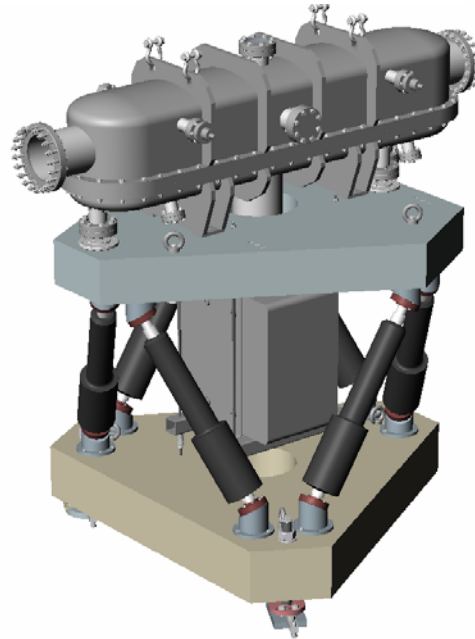
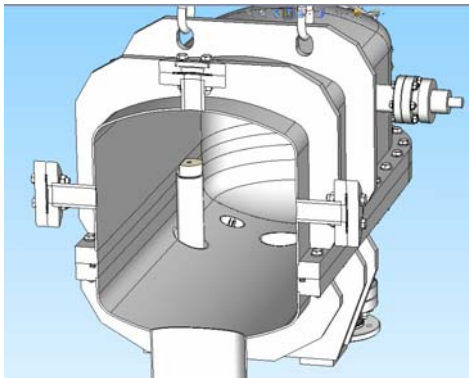
Conception à fonds bombés linéaires

Le concepteur de chambre à vide doit imaginer les géométries facilitant le nettoyage final

Eviter absolument



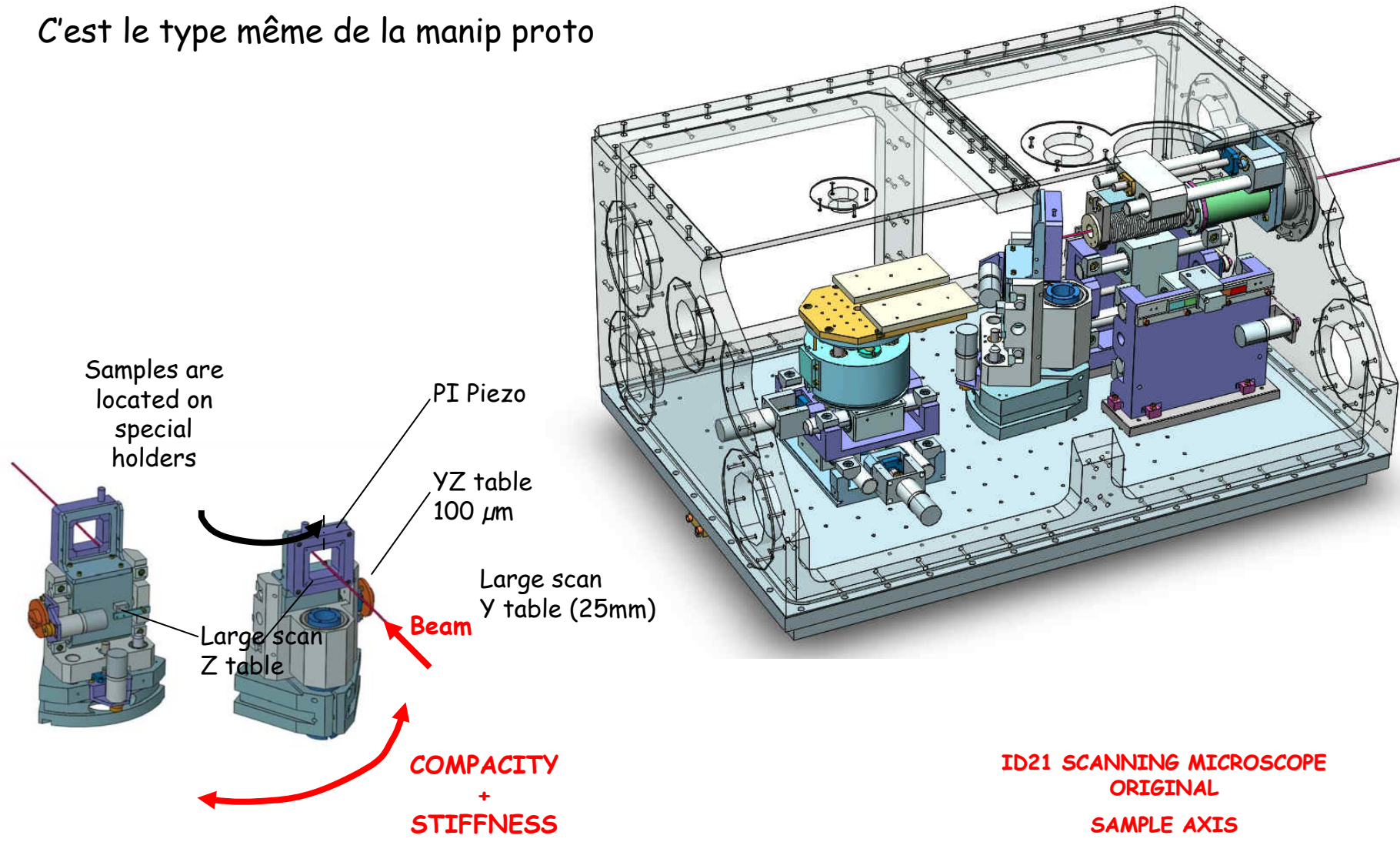
Tentative de rendre la liaison de nervure Sans cavités de rétention

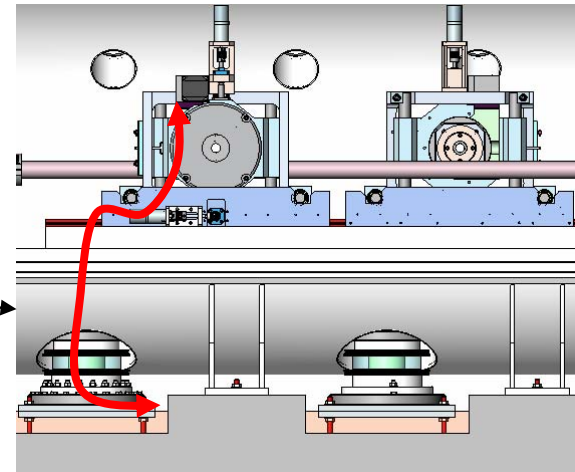
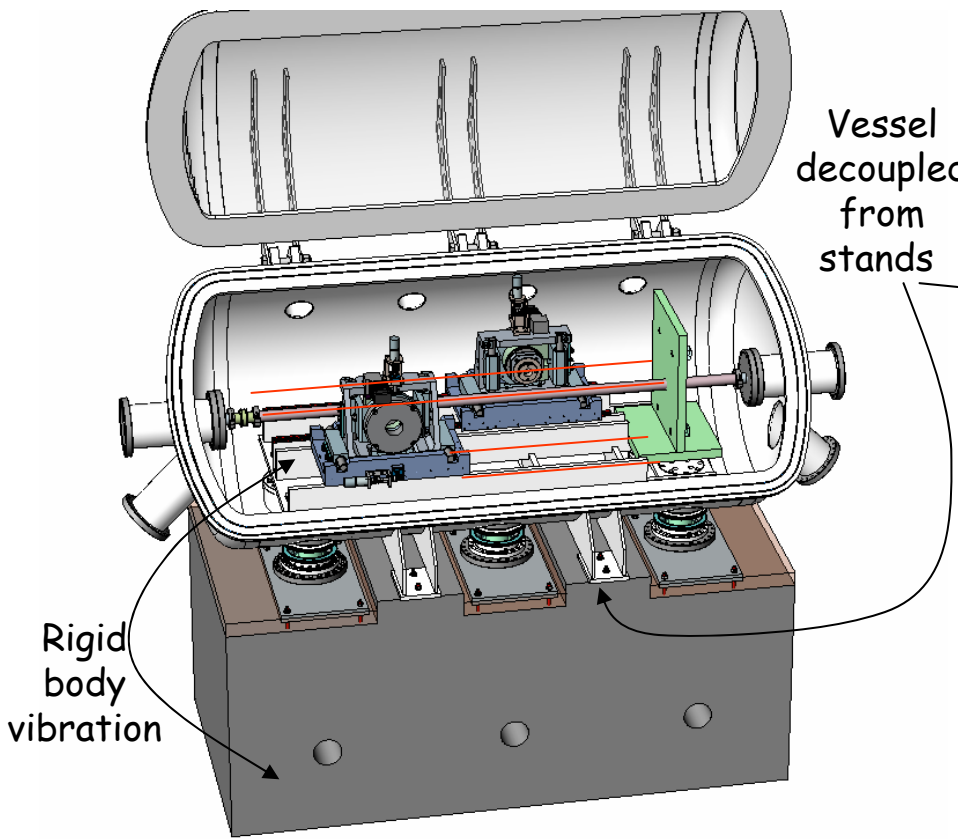


Double Miroir BM29 10⁻⁹mb J. Borrel ESRF

La chambre "cubique" répond à un objectif d'évolution permanente

C'est le type même de la manip proto

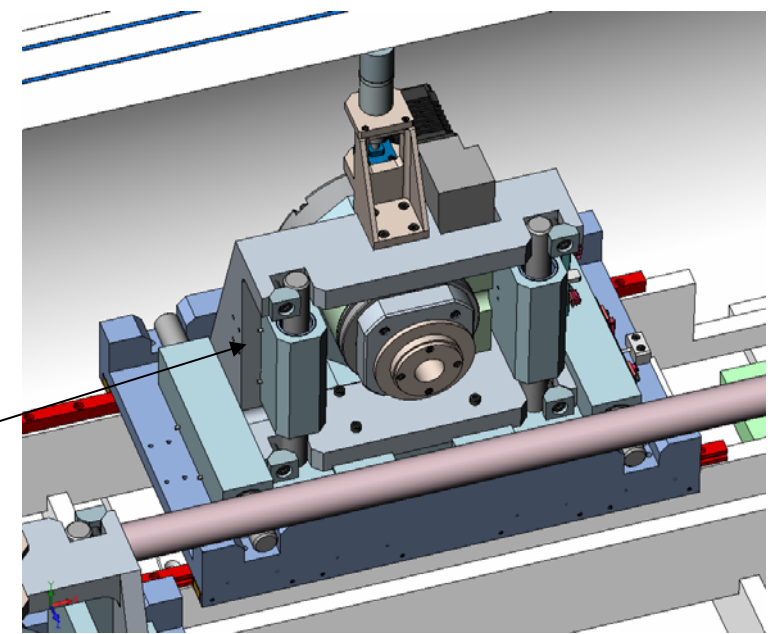
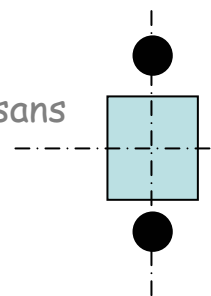




Rigid body vibration

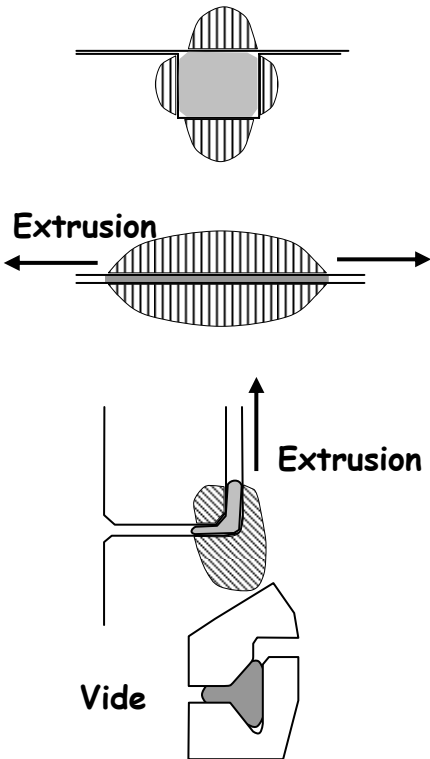
Vessel decoupled from stands

Guidages mécaniques sans Abbé



2 - Les types de joints ...les forces nécessaires à leur fonctionnement

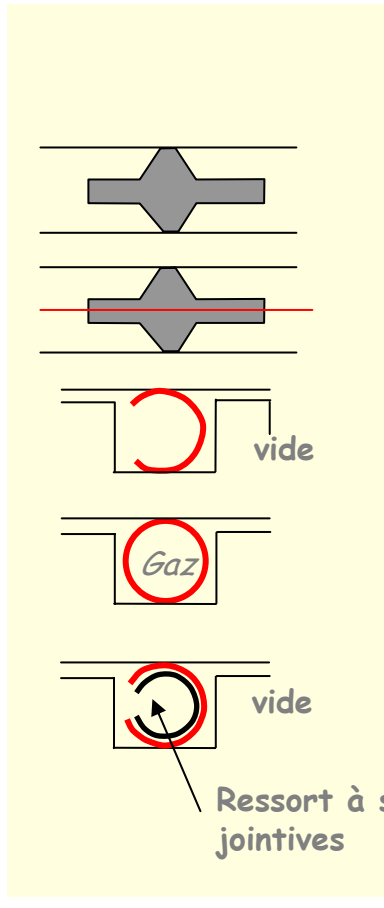
Les joints fils :



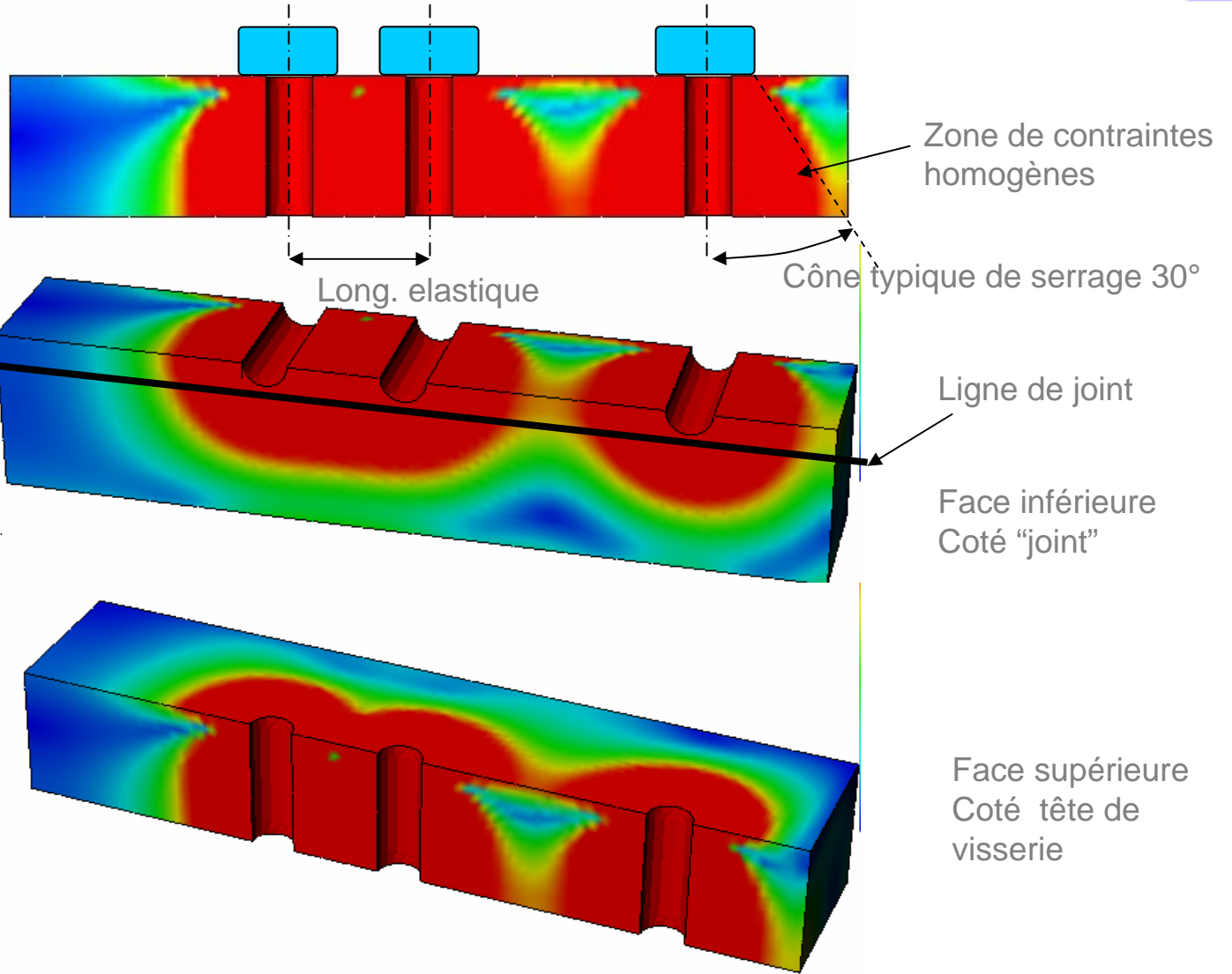
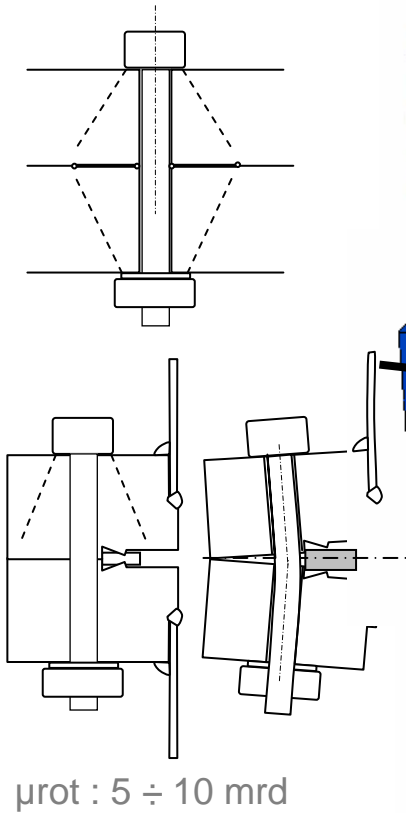
Matériaux	Effort linéique N/ml	Remarques
Elastomères	10 à 50	70 Shores
L'Indium	10 à 50	Limité à 100 °C
Plomb	50 à 100	Oxydable
Alu	100 à 150	Soudage fermeture
L'Or	400	Addition d'argent
Cuivre	400	OFE (Cu OFHC) Wheeler, Princeton

Les joints quasi-filaires

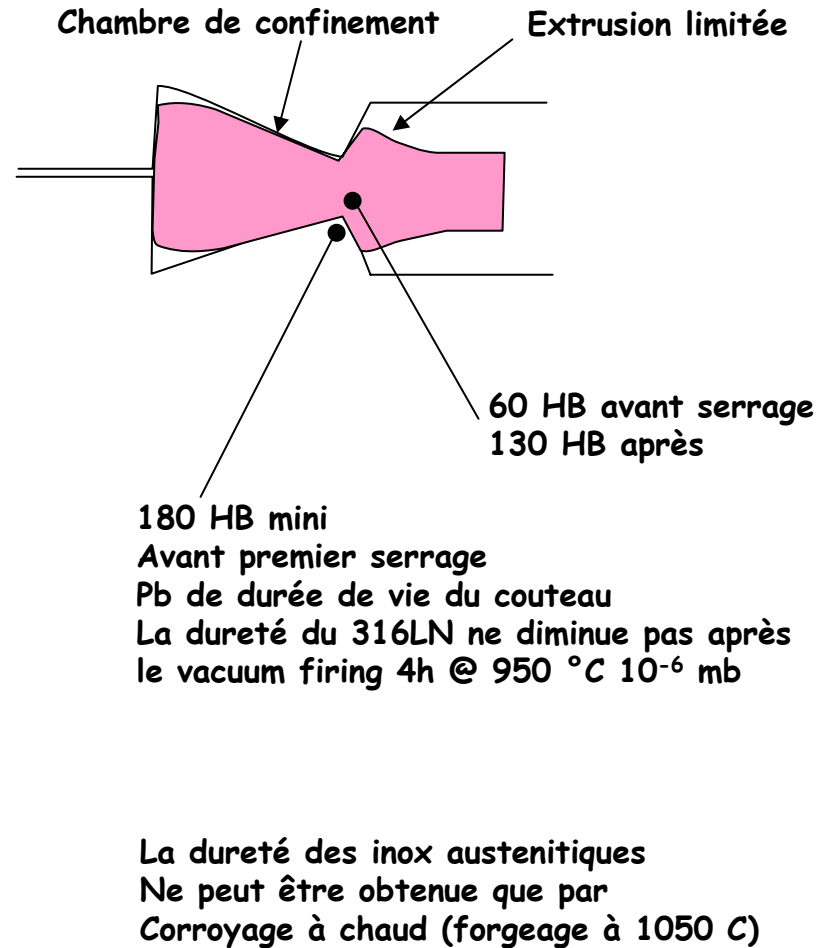
Ces systèmes sont compatibles avec une symetrie des brides ou avec des gorges

	Matériaux	Effort linéique N/mm circ.	Remarques
	Alu pur	60 à 120	Type KF
	Joints composites	60 à 120	Type "saturne"
	Metal C-ring	30 à 300	Advanced prod.
	Metal O-ring	70 à 350 ..670 (Æ)	Advanced prod.
	Joint rest.elast.	100 à 500 (Æ)	Adv. + Cefilac (spring back)

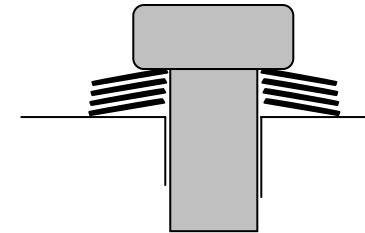
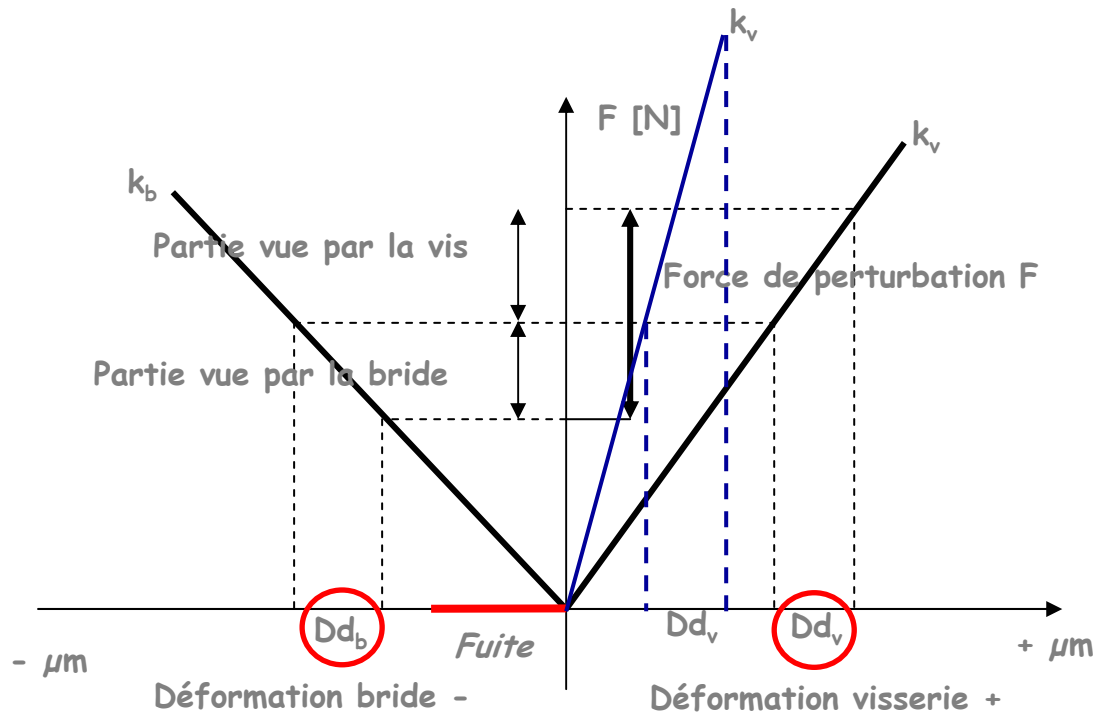
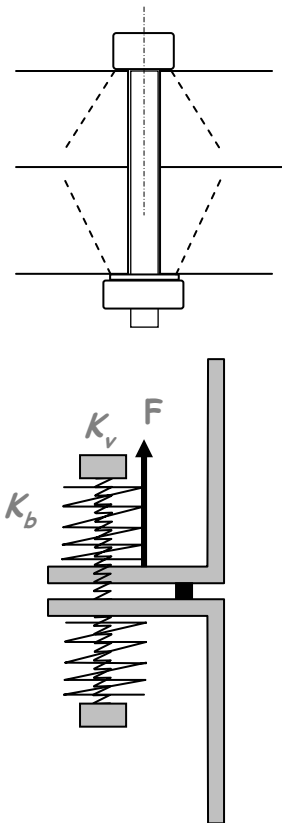
5 – Les brides leur conception – leurs contraintes



Joint	Brides et visserie	
Cuivre	Inox	Alu
OFHC	X2 CrNiMo19-11	6061
OFE	1.4306	5754
OF-S	304 L	5083
Or	X2 CrNiMo 17 12 2	
Indium	1.4404	
	316 L	
Elastomere		
FPM (viton)		
Kalrez (Caout. Perflu)	X2 CrNiMo 17 13 3	
	1.4429	
Alu	316 LN	
1050 A		
Plomb		



K_v est la rigidité de visserie en $[N/\mu m]$
 K_b est la rigidité de bride en $[N/\mu rd]$ ou en $[N/\mu m]$



On peut créer
 "artificiellement"
 de la flexibilité
 de vis.
 (Tore-supra)

$$\frac{F_v}{K_v} = \frac{F_b}{K_b} \quad \Delta\delta_v = \Delta\delta_b \quad \Delta\delta_v = \frac{A_v E_v}{l}$$

Pour donner une plus grande tolérance aux perturbations rendre la vis plus souple que la bride

- Pourquoi des alliages?
- La métallurgie des demi-produits
- Le distributeur et Le forgeron mes 2 interlocuteurs
- De la taille des grains
- La Zone affectée thermiquement
- La ZAT et la torche
- Les brasures sous vide
- Le Diagramme d'Ellingham - transition des oxydes
- Le labo -l'usineur et le brasseur - un trio infernal
- Le brasage ABA - Une nouvelle génération d'alliages

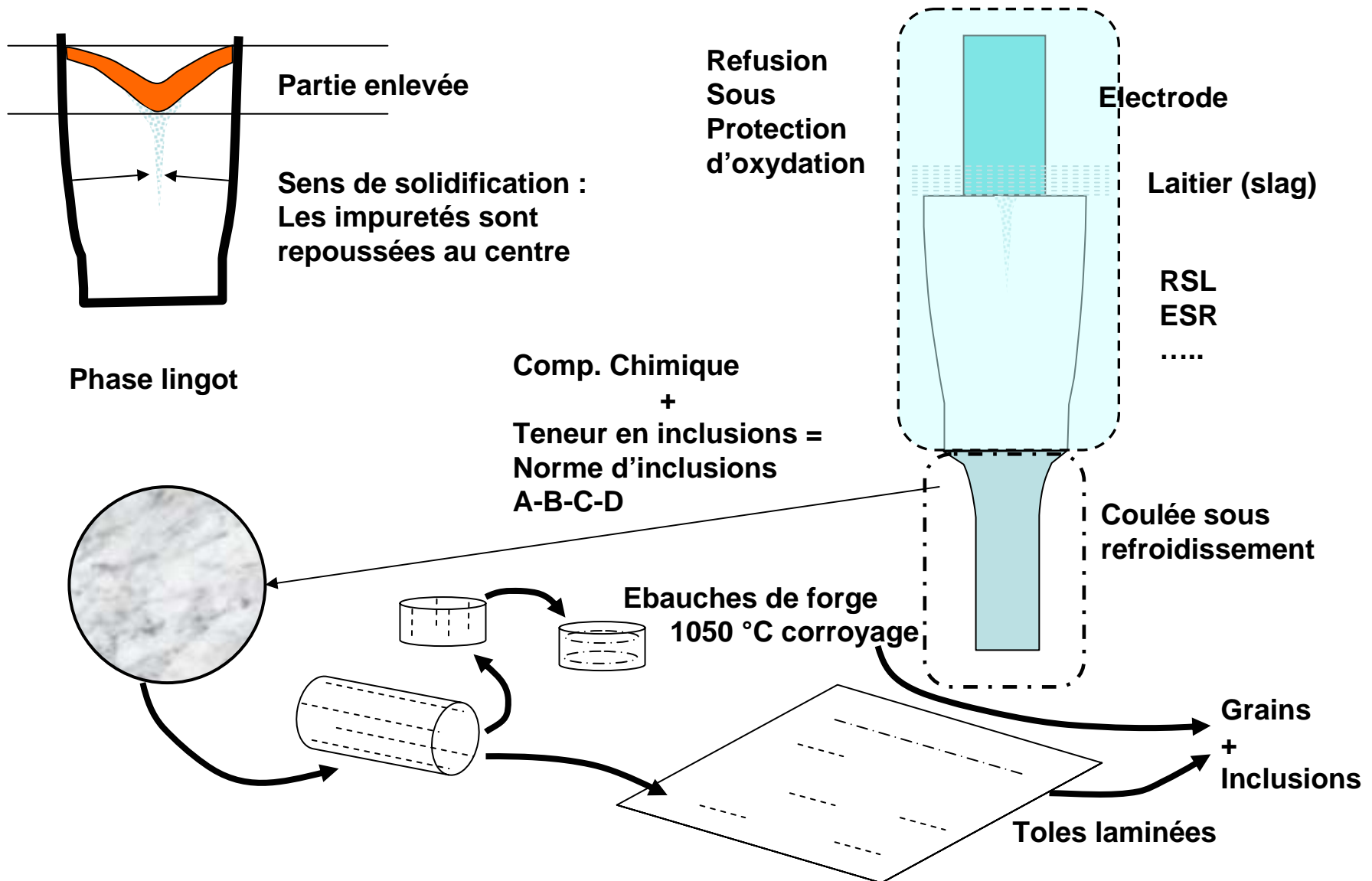


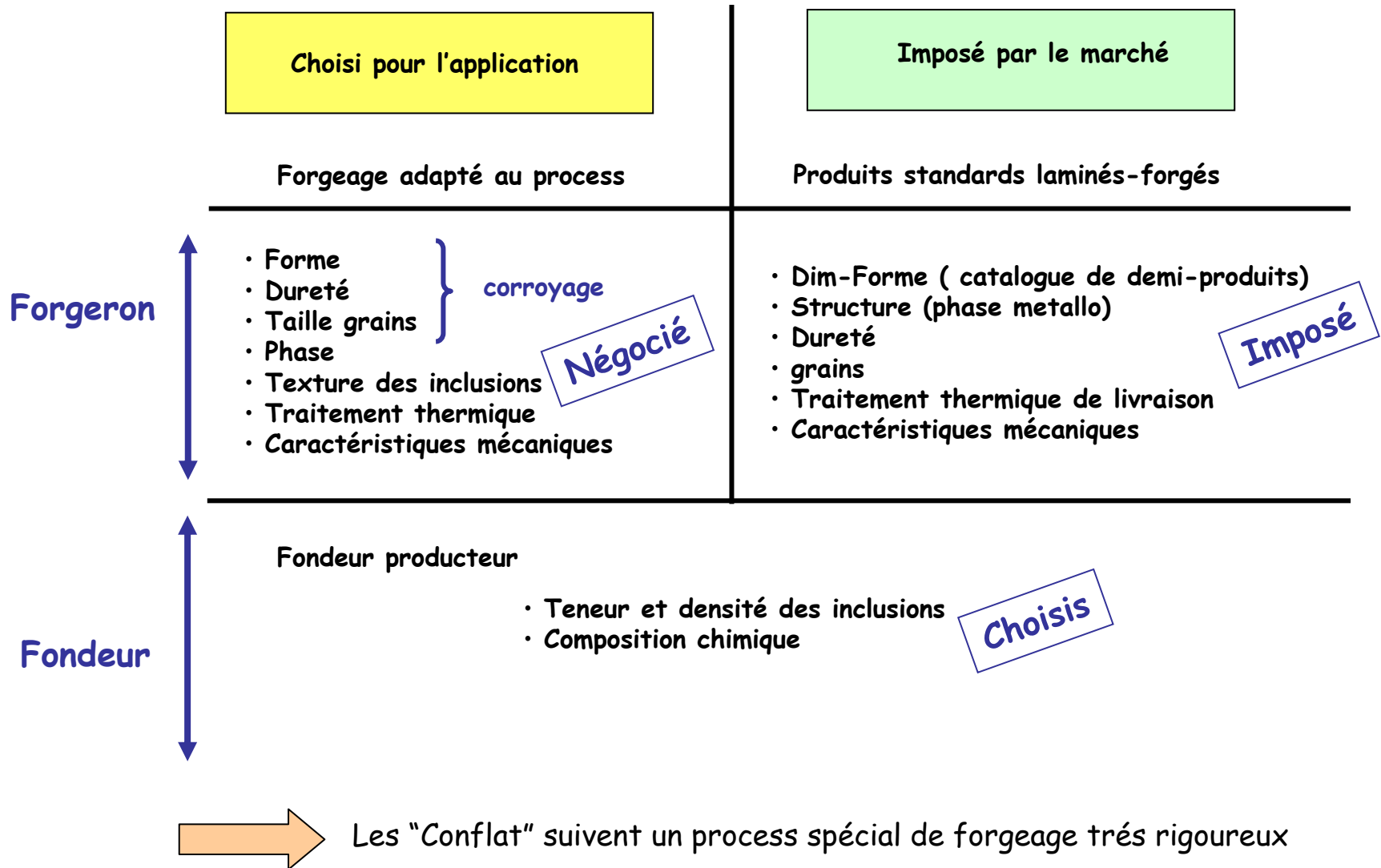
Les alliages sont toujours meilleurs que les métaux de base

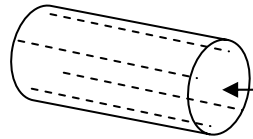
- Dureté
- Soudabilité
- Résistance à la corrosion
- Meilleure élasticité (Haute / basse température)
- Rupture plus élevée
- Fibrage - grains plus fins (en demi-produits)
- Ductilité assez faible

Mais ils ont les inconvénients suivants, qu'il faut gérer:

- Ils ne sont pas homogènes (phases métalliques)
- Ils ont une structure métallurgique plus instable (changement de phase)
- Plus faible conductivité thermique et électrique (grains fins)
- Ils ont souvent besoin d'un traitement thermique de restauration
- Ils ont des inclusions produites par le fondeur
- Ils sont pleins d'oxydes - gaz - porosités (micro-cavités)
- Leur composition chimique comprend des éléments d'addition contradictoires (usinage - soudage)
- Ils se fissurent (fatigue thermique et mécanique)

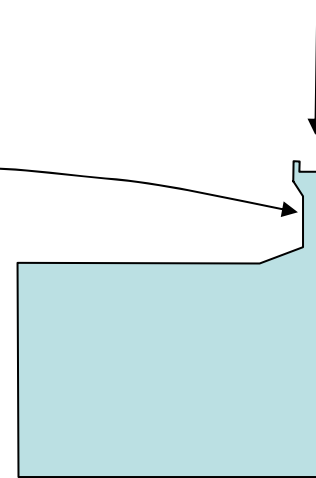






C'est au centre qu'on
Va trouver les grains
De grande taille

Preparation pour soudage



C'est le cas que je dois envisager lorsqu'il y a une grande
Variation d'épaisseur dans une même pièce
Considérer qu'il faut au moins 10 grains dans l'épaisseur
(Loi de Hall Pech)

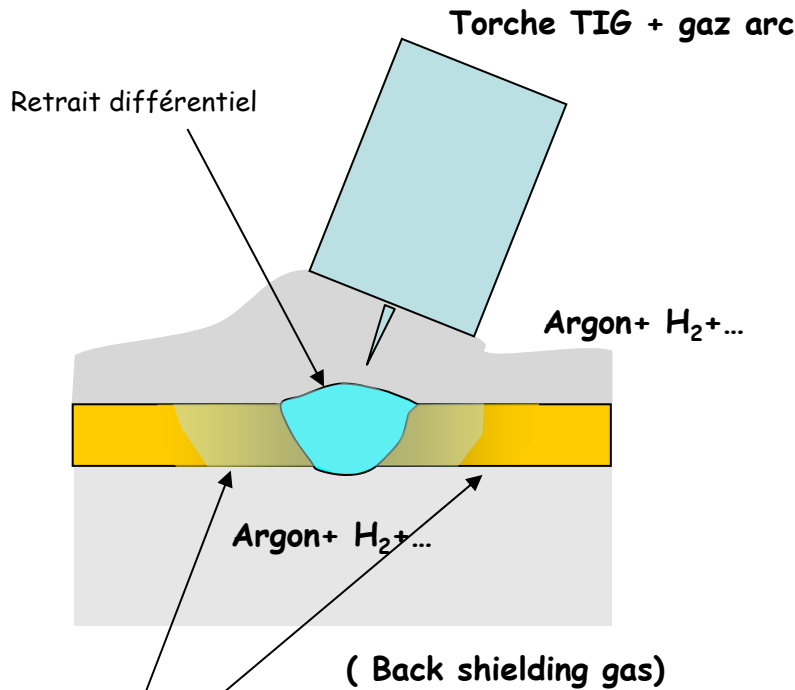
Les grains sont décrits par la norme NF-04-102 → taille de 1 à 8 (champ micrographique)

Taille 1 = 300 μm Taille 8 = 20 μm

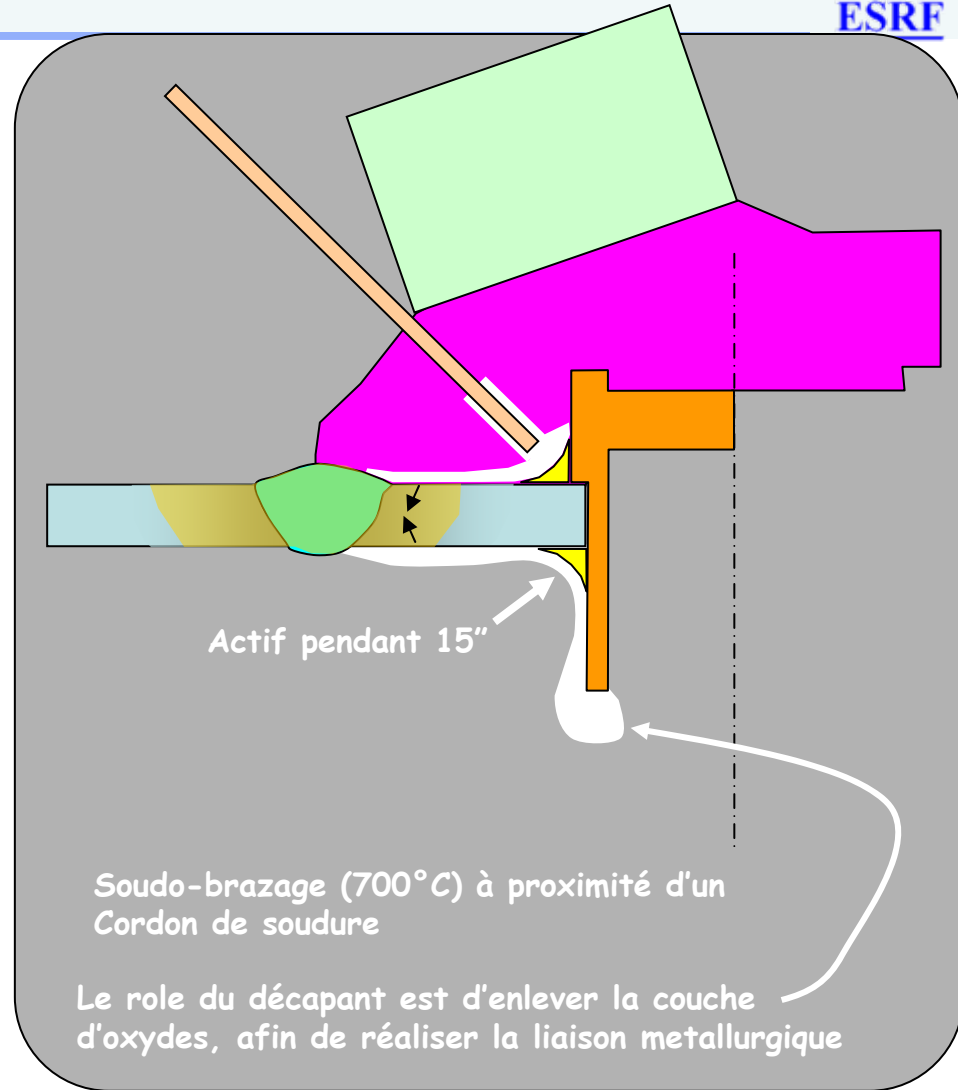
Essayer de rester dans la zone des tailles 4 à 8

Si la piece sort d'un lingot de grande taille → chercher la taille des grains

2 Ennemis redoutables: La ZAT et le décapant

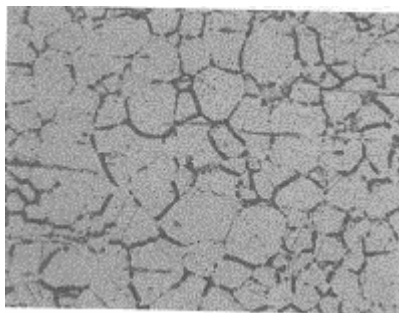


Les ZAT doivent être protégées de l'oxydation pendant le soudage
→ Il faut faire spécifier au soudeur la technique de protection.

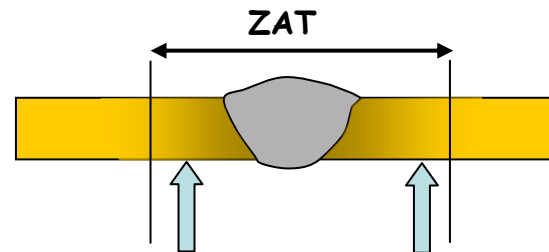
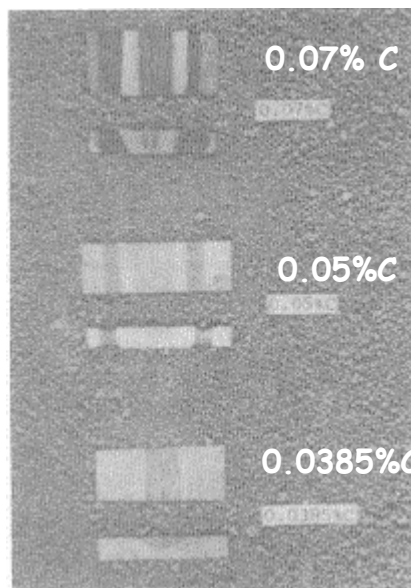


Pour un accélérateur cette technique est possible mais dangereuse

(Heat affected zone)

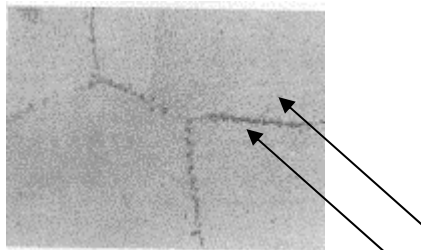


Precipités de $Cr_{23}C_6$ dans la ZAT (le chrome est "pompé" par le carbone)



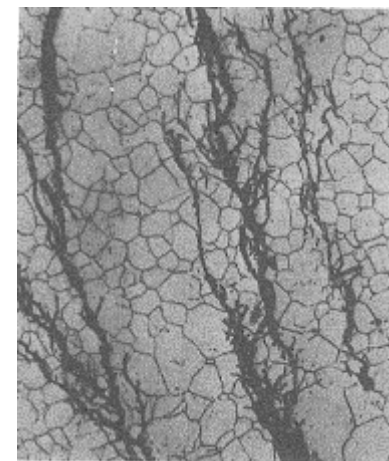
2 zones sigma 500-800°C

Ceci conduit à une fragilité intergranulaire

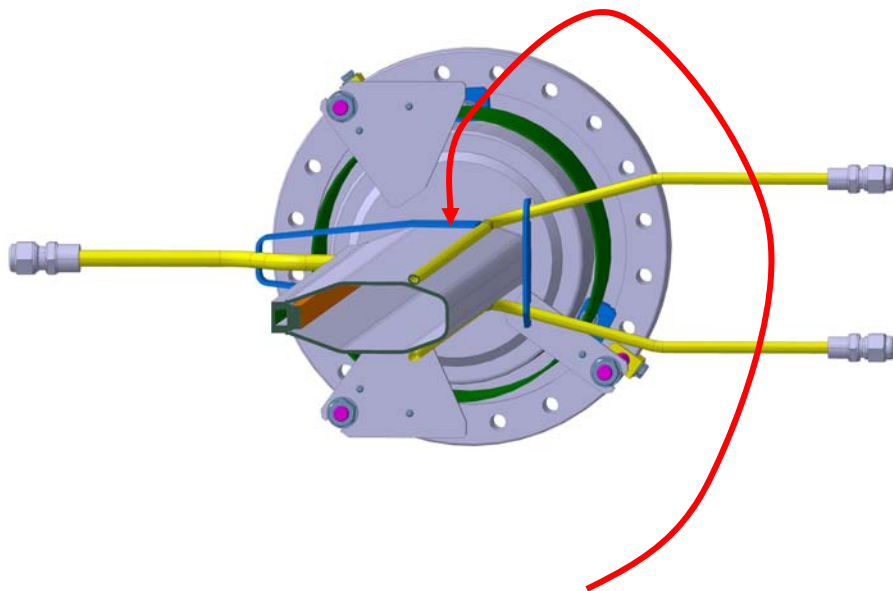


Un austénitique X2 ou X3 minimize Largement cet effet...mais il demeure!

Les zone adjacentes sont appauvries en Chrome → deviennent sensibles à la corrosion



Corrosion transgranulaire due à une attaque de chlore type décapant

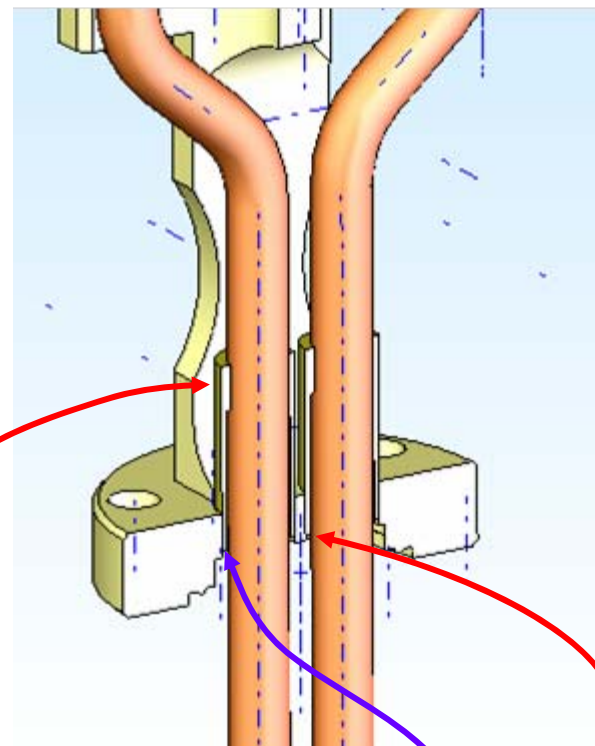


ESRF 1992

Creation d'une capillarité de retention
Pour le décapant de cette brasure 250°C

Rinçage était impossible

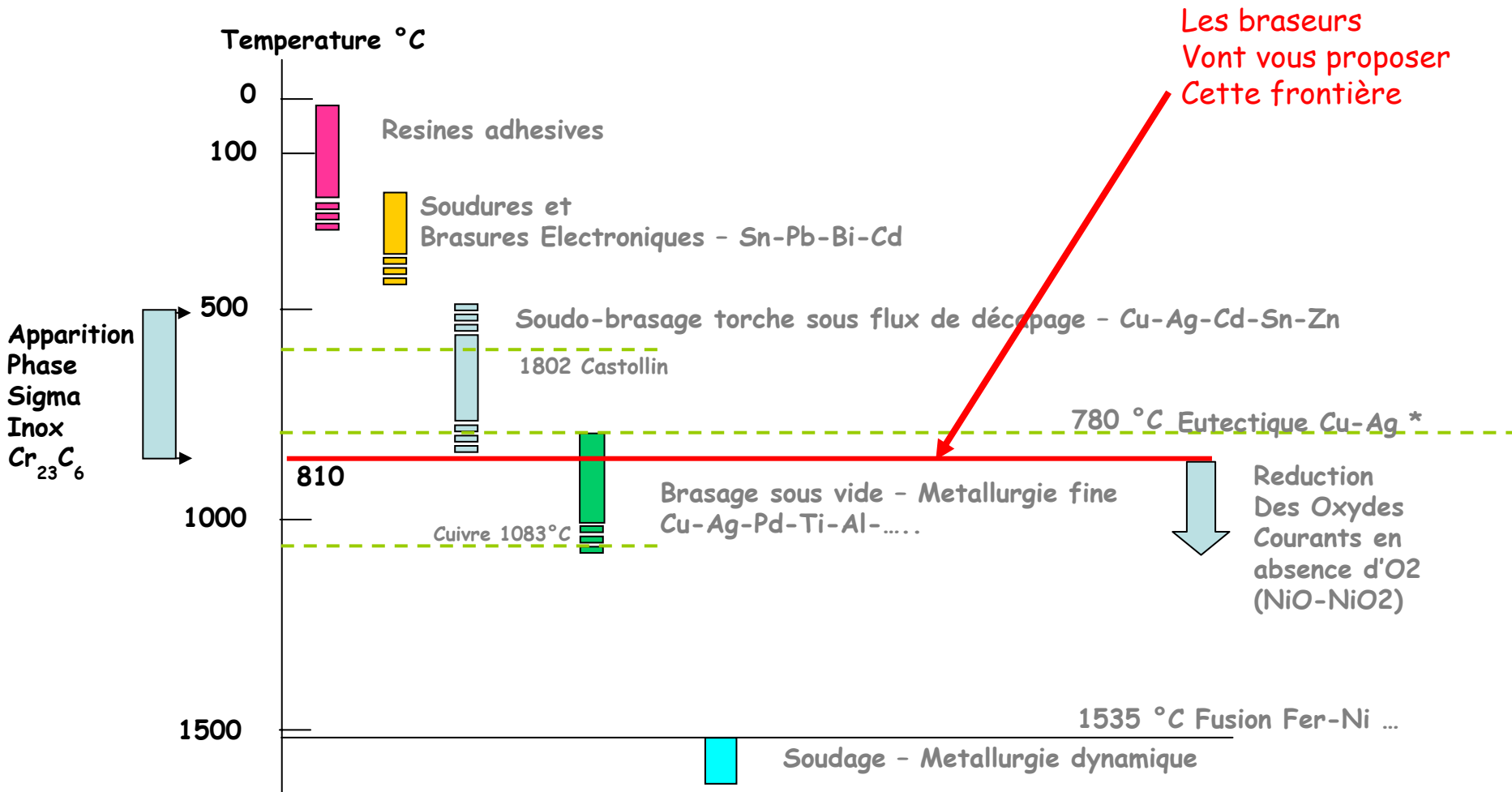
Fuite après 2 ans



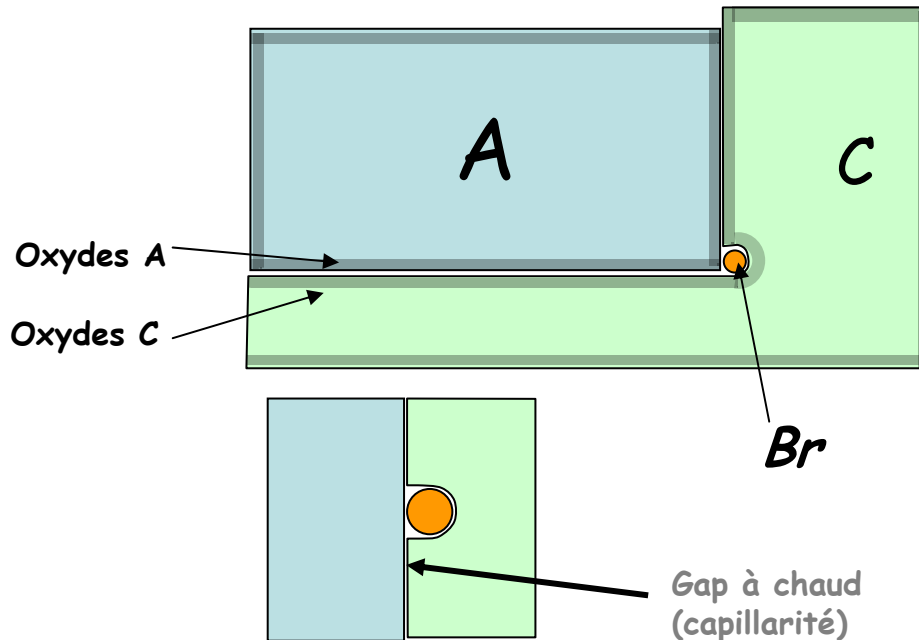
Je brase torche à ce niveau

Je rince sous pression ce gap

Je soude TIG à ce niveau



(*) Eutectique = Comportement de metal simple - transition solide/liquide en un point



Les oxydes doivent être enlevés (réduits) avant fusion de la brasure

$\text{CuO} - \text{Cu}_2\text{O}$

NiO

Cr_2O_3

Fe_2O_3

....

- 1- → Diagramme d' Ellingham
Relation pression-temp. de l'oxyde
- 2- → Protéger le contact par une couche de Nickel (15 microns diffusés)
- 3- → Utiliser du brasage ABA

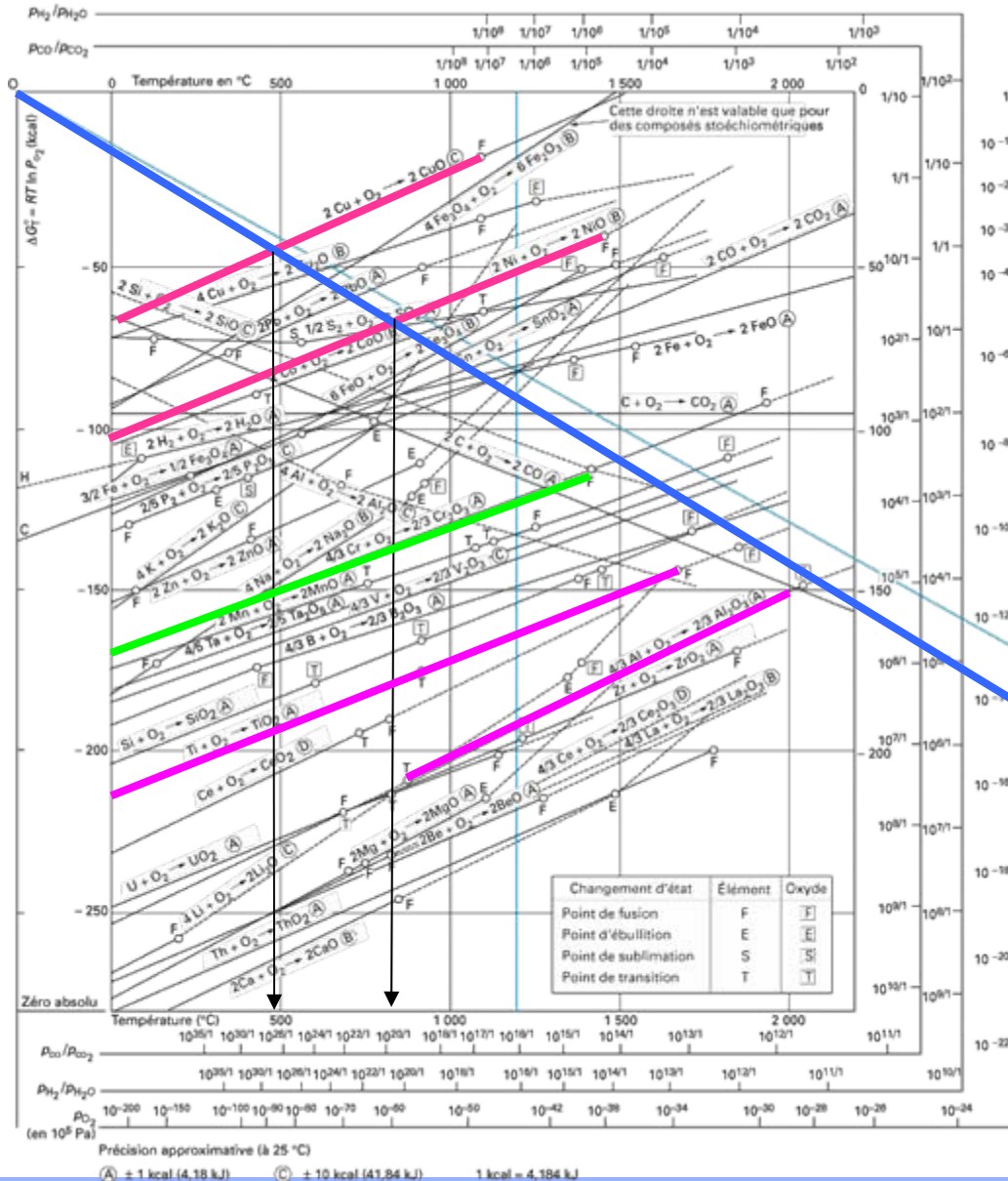
- La couche de nickel complexifie le brasage par la nécessité de faire diffuser celle-ci avant fusion
- Le brasage actif* (active Brasing Alloy) permet la réduction des oxydes par les éléments réactifs de ses constituants:

Al-Ti-Be-... (1 à 2%)

* Brasages ABA® (Wesgo)

- On arrive à braser l'alumine directement sur l'inox par exemple.

Temperature de Transition des oxydes métalliques



Le diagramme d'Ellingham décrit la Transition:

Oxyde → Metal + Oxygene (réduction)

Par le controle de la pression O₂ et de la temperature



Au cours d'un brasage sous vide
(10⁻⁶ mb @ 800 °C)

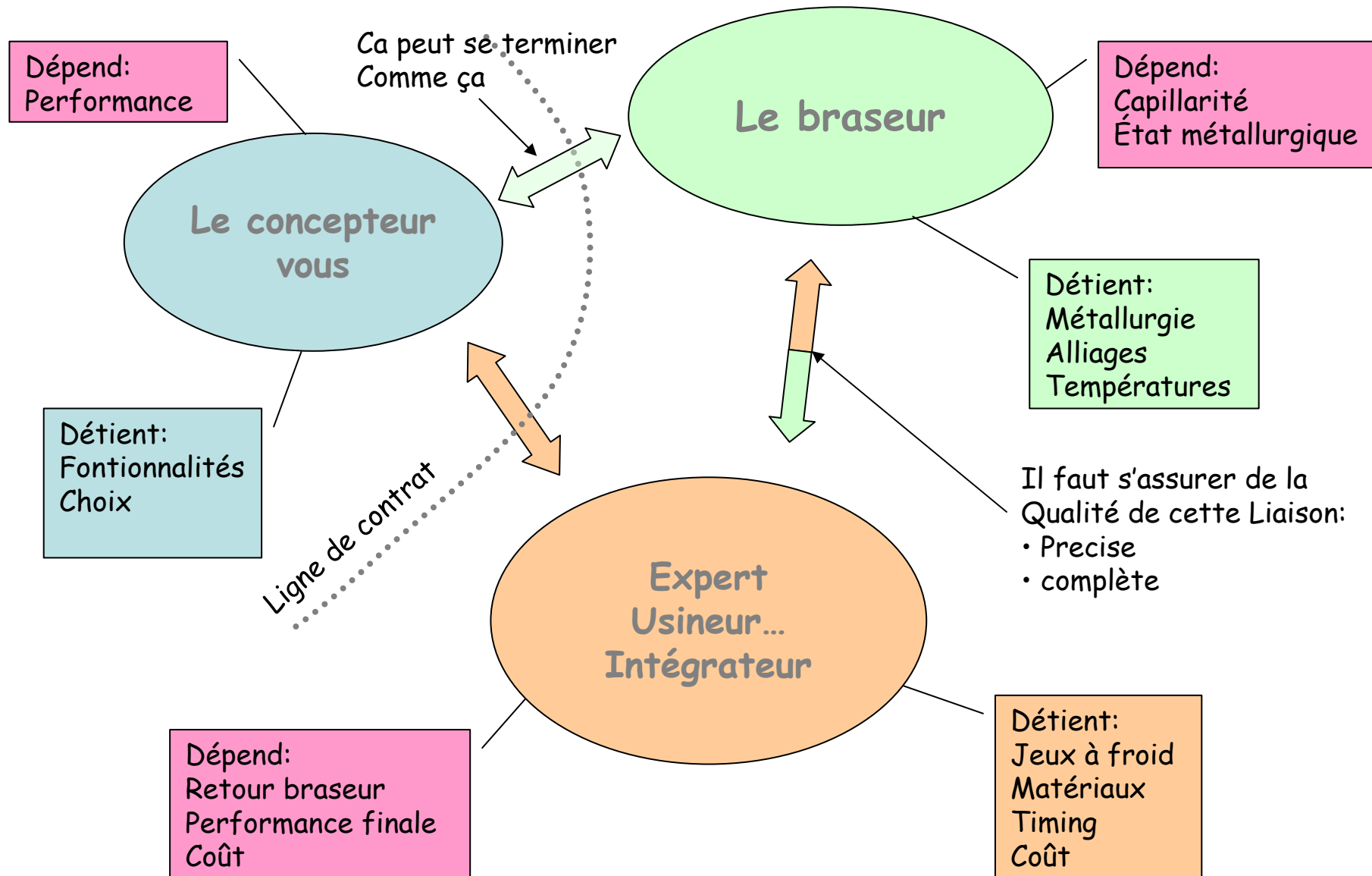
Il existe des conditions faciles de réduction, permettant la liaison métallurgique.

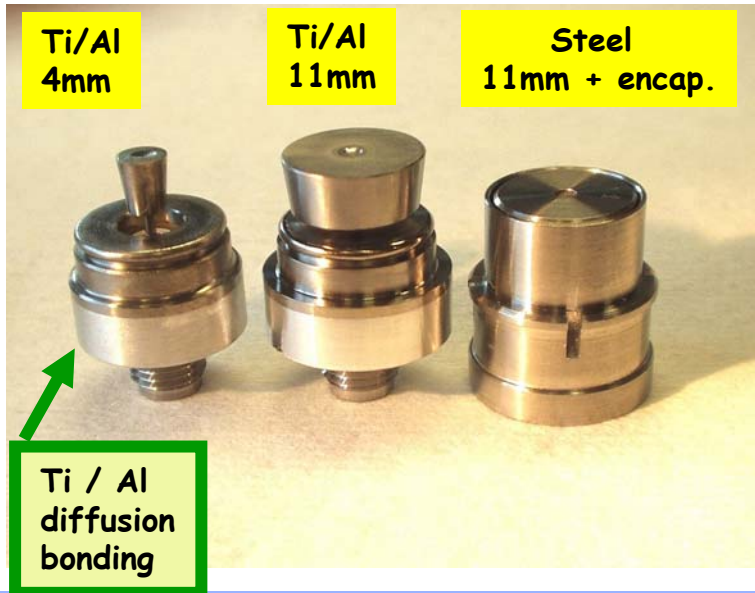
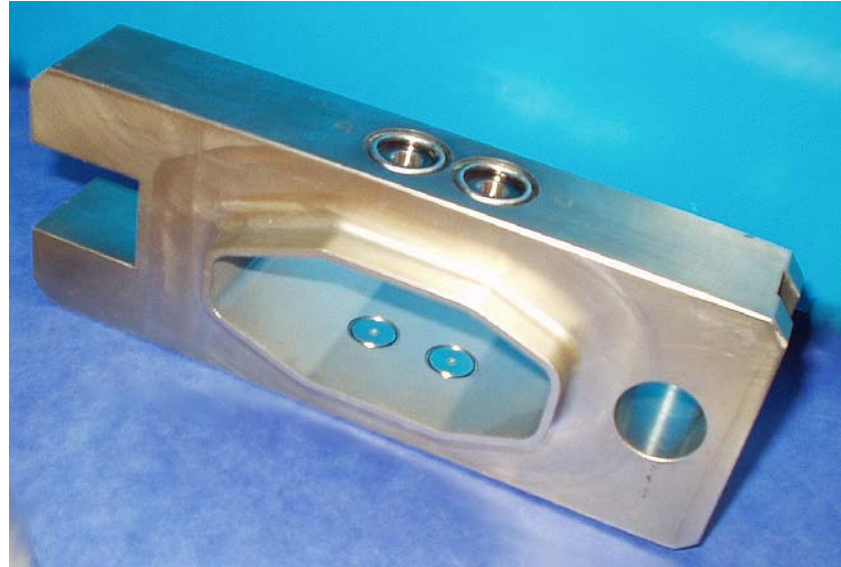
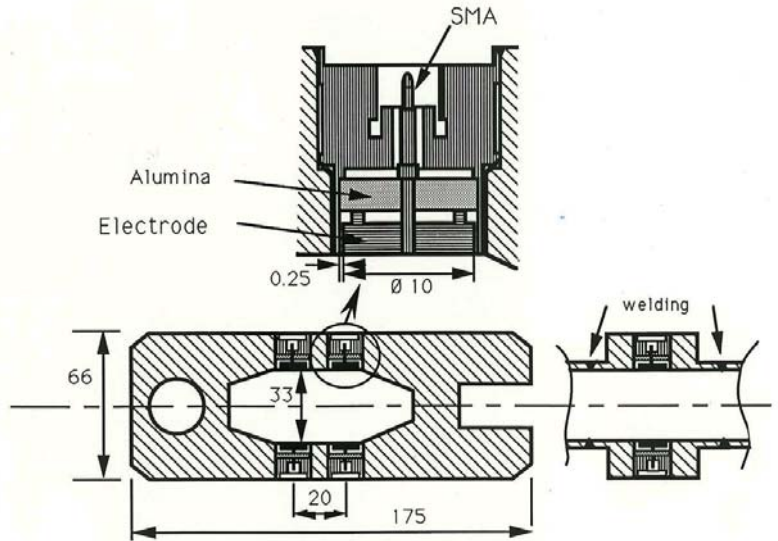
Le Titane et l'Alu possèdent des oxydes stables



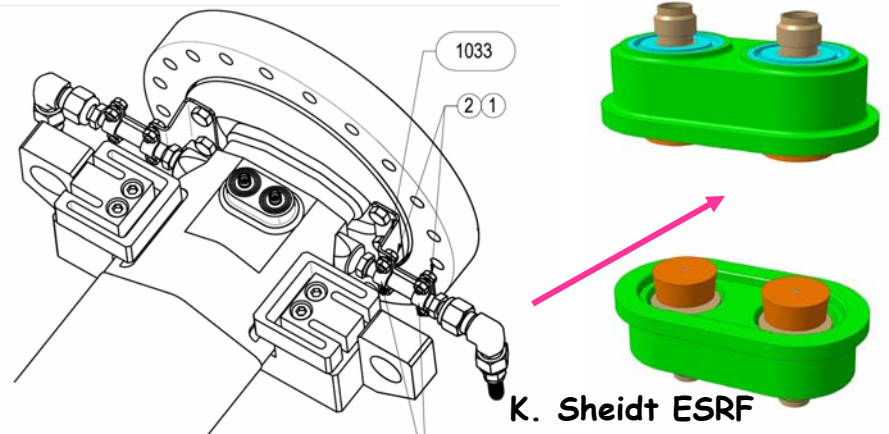
Ingrédients des brasures actives

Le brasage: un trio infernal





Titanium / Aluminium BPM buttons for future Aluminium Vacuum chambers

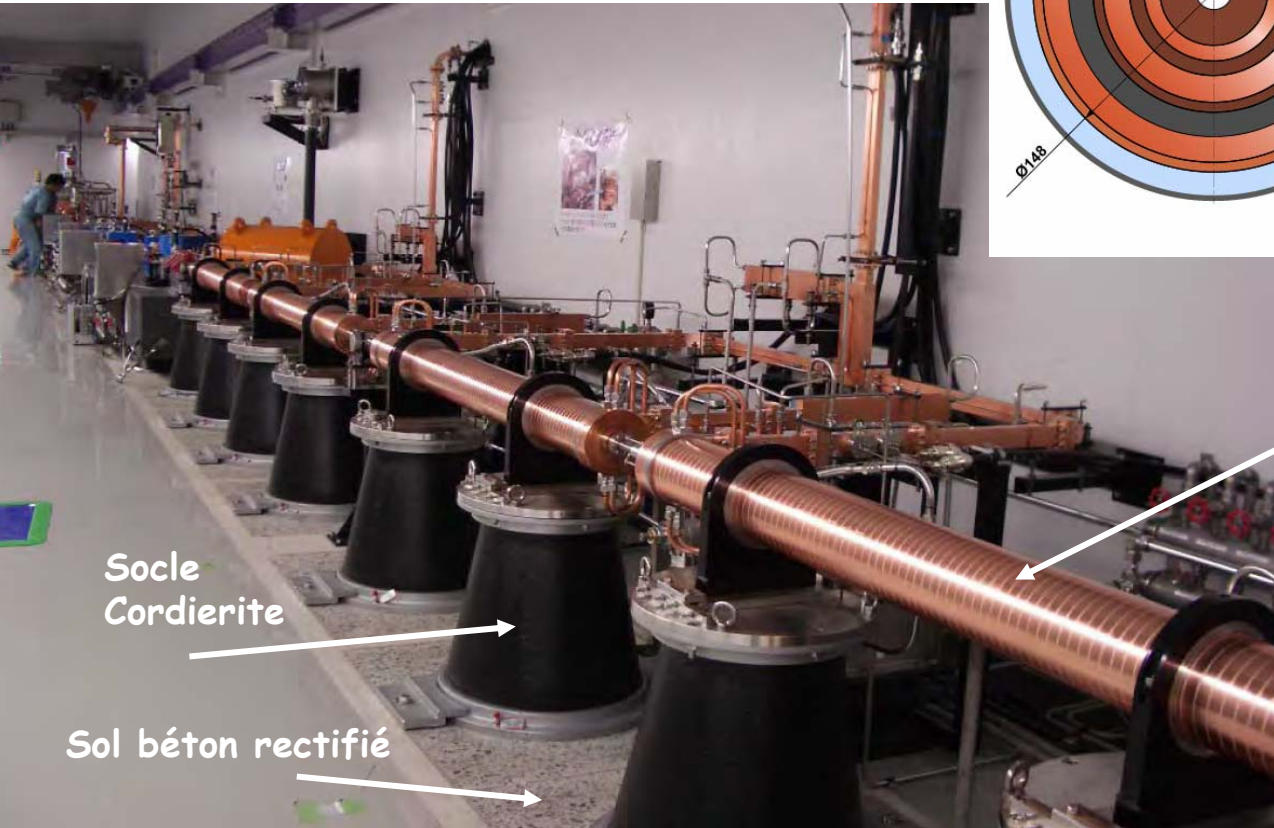
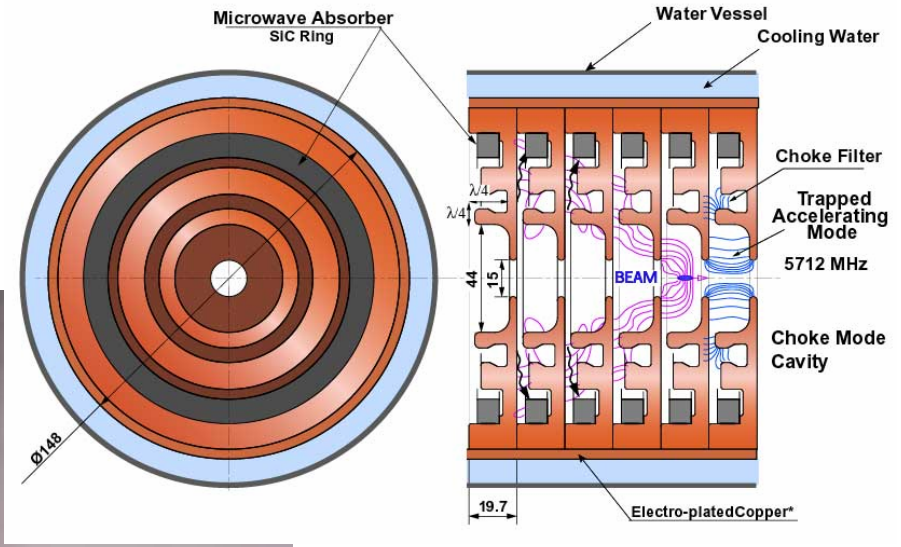


K. Sheidt ESRF

Ce chapitre est dédié à faire apparaître les différents types d'accélérateurs
Et les techniques de vide employées

- Le X-FEL de Spring8 - Technique de linéaire: La stabilité vibratoire
- Un onduleur cryo de l'ESRF
- La station de super-polissage miroir par faisceau d'ions
- Des mini-four pour l'ESRF
- La chambre de TORE-SUPRA
- Des fenêtres Beryllium démontables
- Une cellule haute pression sous vide pour la fluorescence X
- Une chambre "évolutive" pour microscope X
- Monochromateur et cristaux LN2
- Four de grande précision
- Accélérateur = Conception de secteur

SASE X-FEL Spring-8



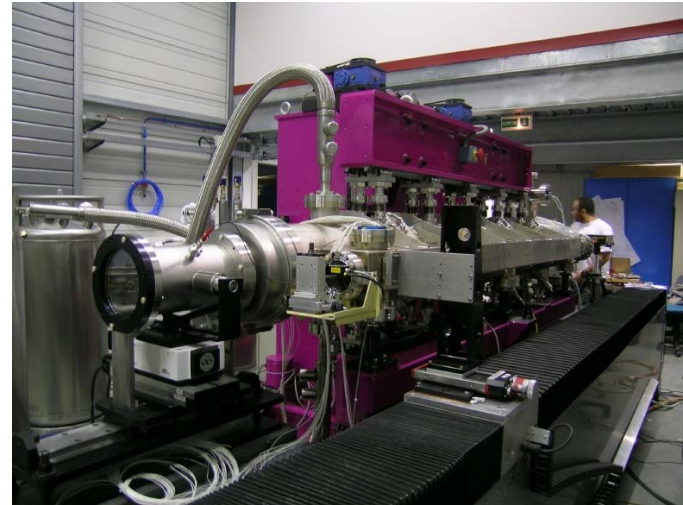
Sections accélératrices
Ondes progressives 5,712 GHz

Courtesy T. Shintake

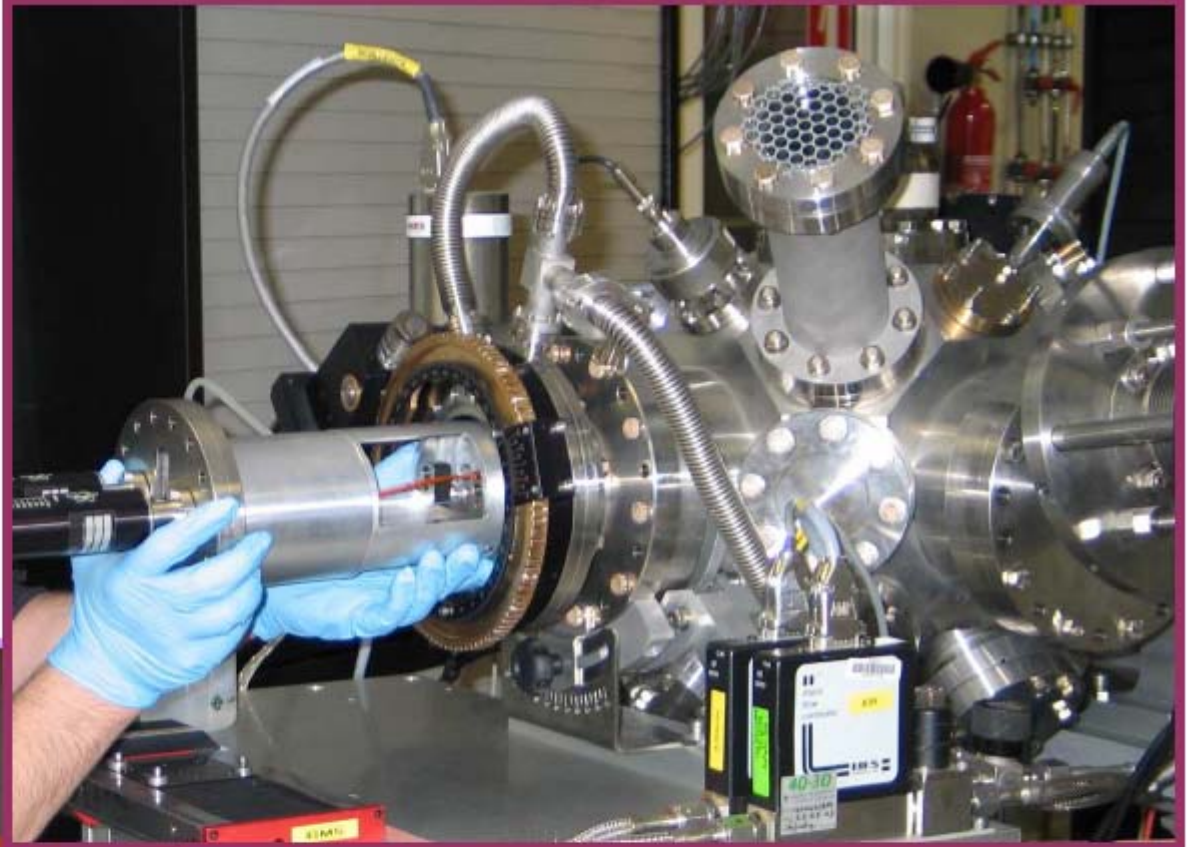
Cryo-Ondulateur ESRF



Permanent magnet @ 77°K



Auteurs: J. Chavanne - P. Elleaume



Super-finition d'un miroir par Faisceau d'ions
Mesures temps réel sous faisceau X

Miroir manipulé sous 10^{-9} mb

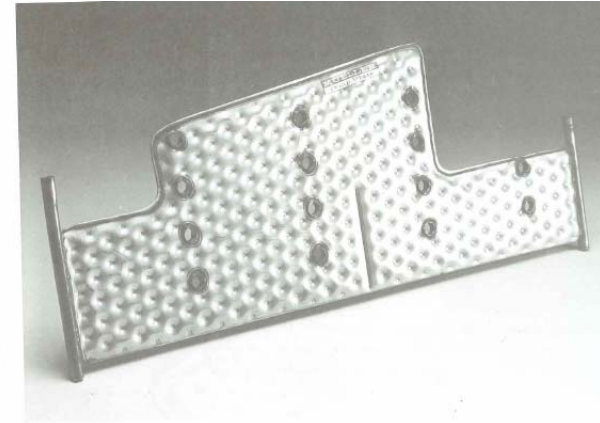
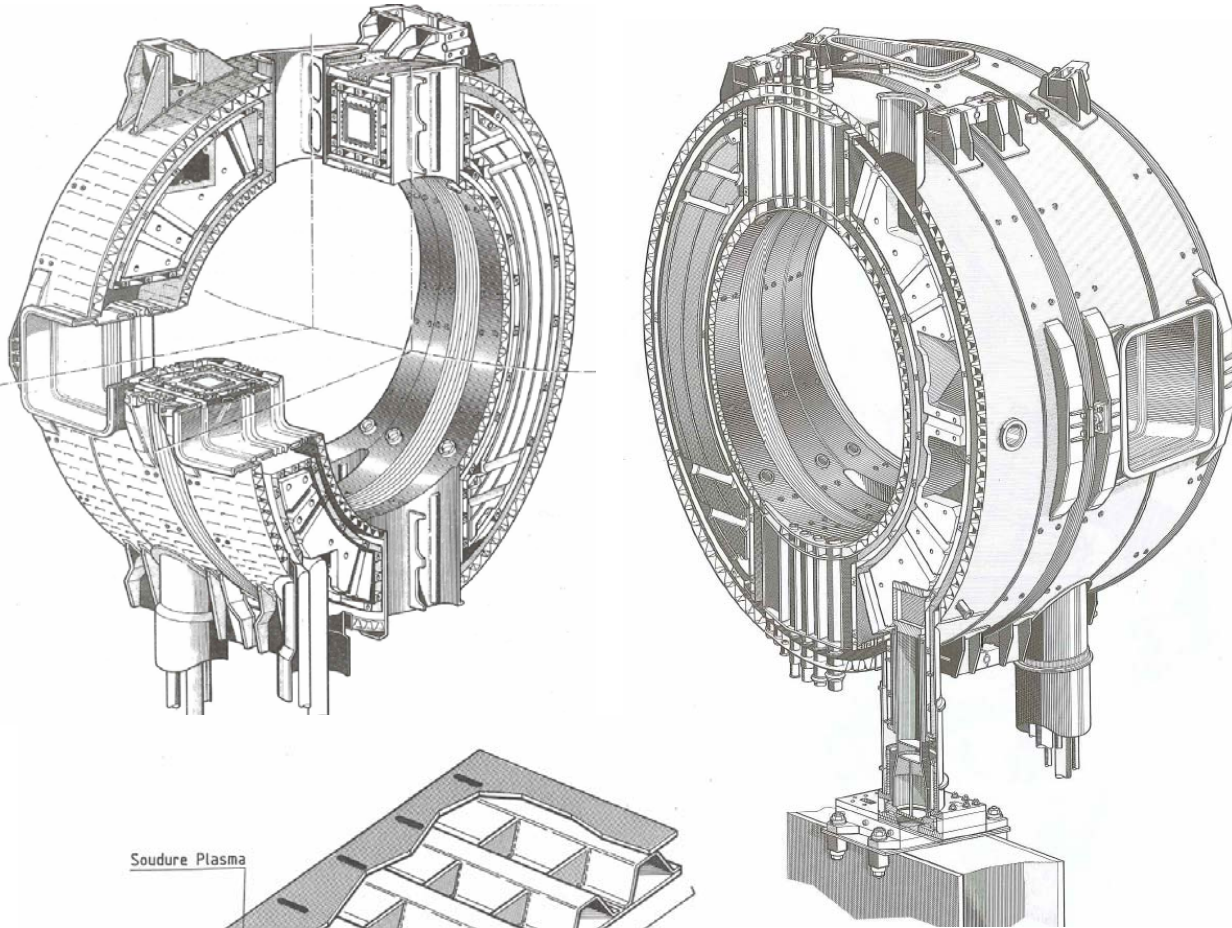
La conception mécanique tire avantage de pièces
Complexes monolytiques

- Gas blower: hot air up to 1000 ° C blows on the sample
- Microtomography: small size, 800-1000 ° C
- Pulsed Laser Deposition: medium size, 1000 ° C
- Catalysis: small size, 800 ° C

Microtomography furnaces



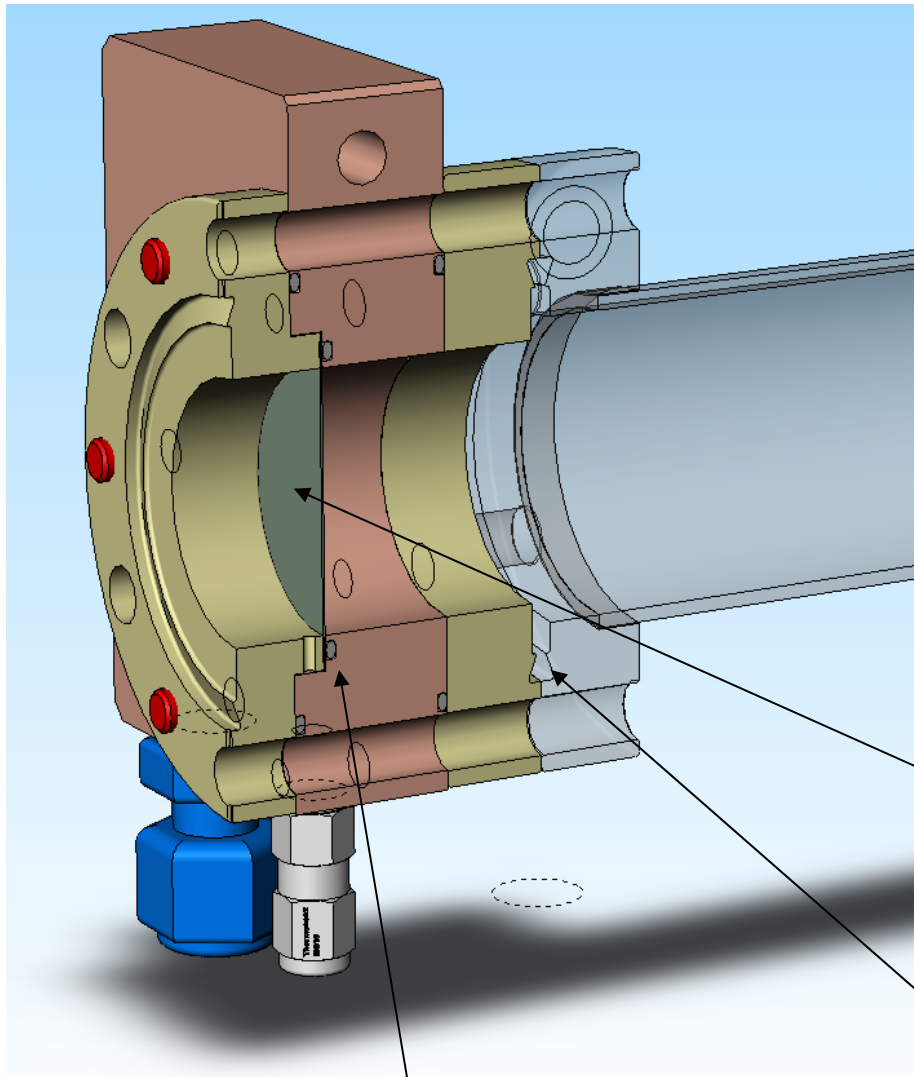
Tore supra Cadarache 1987 : chambre chaude autour d'un cryostat



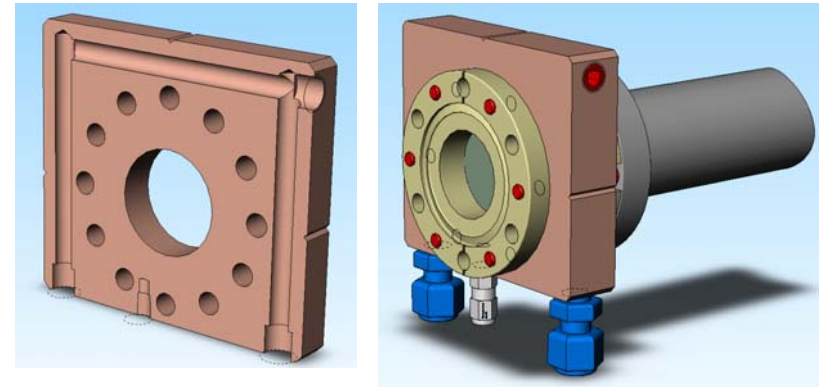
*Ecran thermique
hydroformé 90 bars*

Paroi principale de la chambre torique

*La chambre de ITER
est basée sur cette techno.*



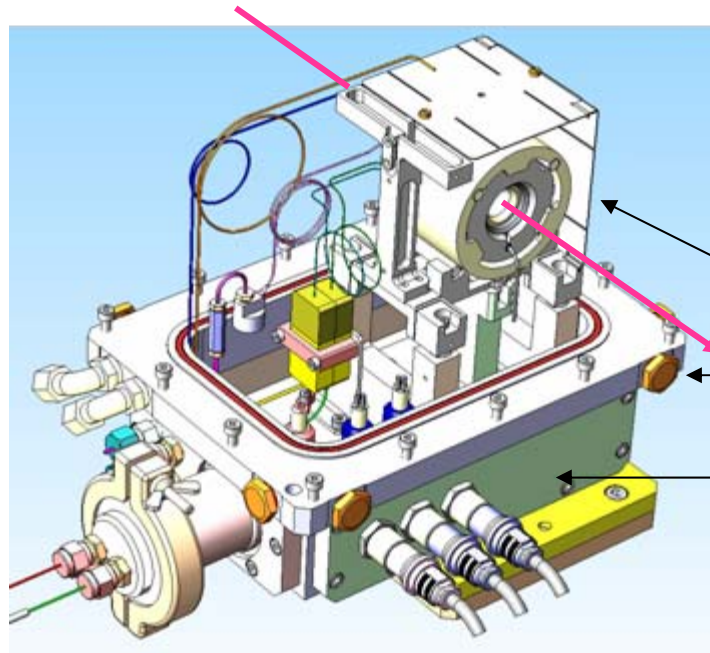
Nécessité de re-polir la feuille De Beryllium



Beryllium PF60 250 μm

Jointes Viton ou Indium

Interface conflats

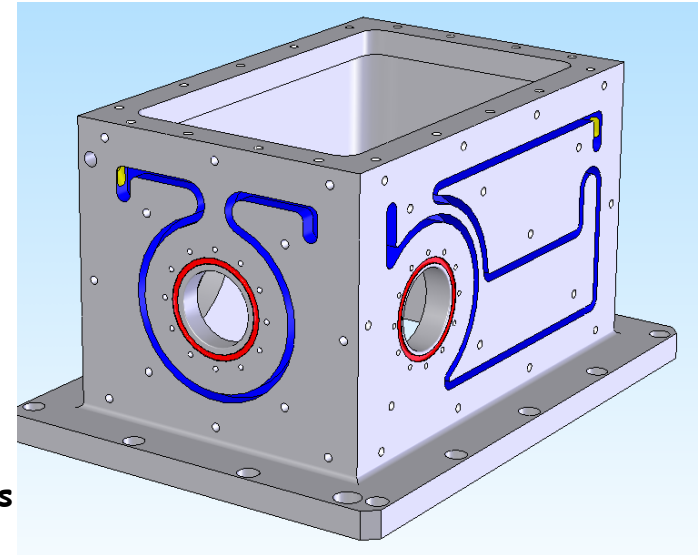


Cellule 800-1000°C

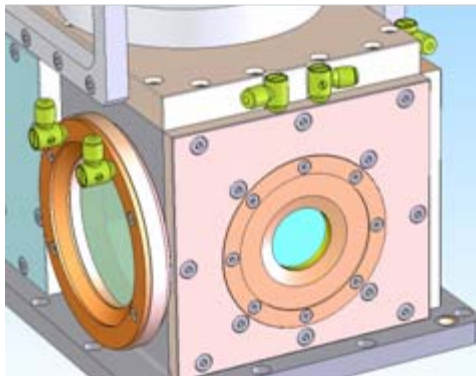
Zone expérimentale

Zone refroidie

Zone de câblage
Zone des connecteurs



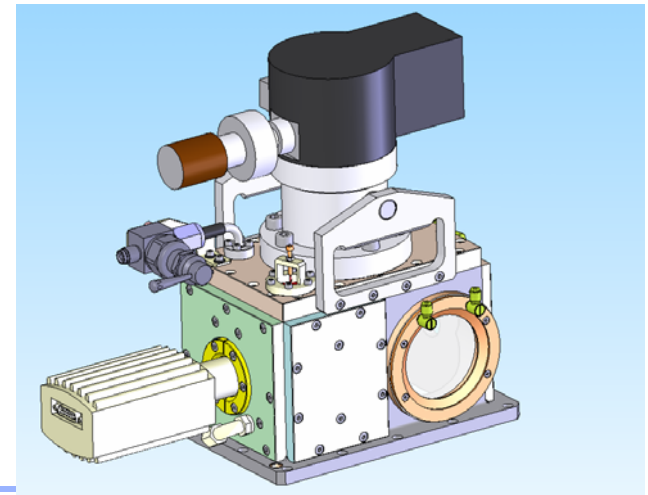
- Chambre à vide usinée dans la masse (AW 6061)
- Circuit d'eau intégré aux parois

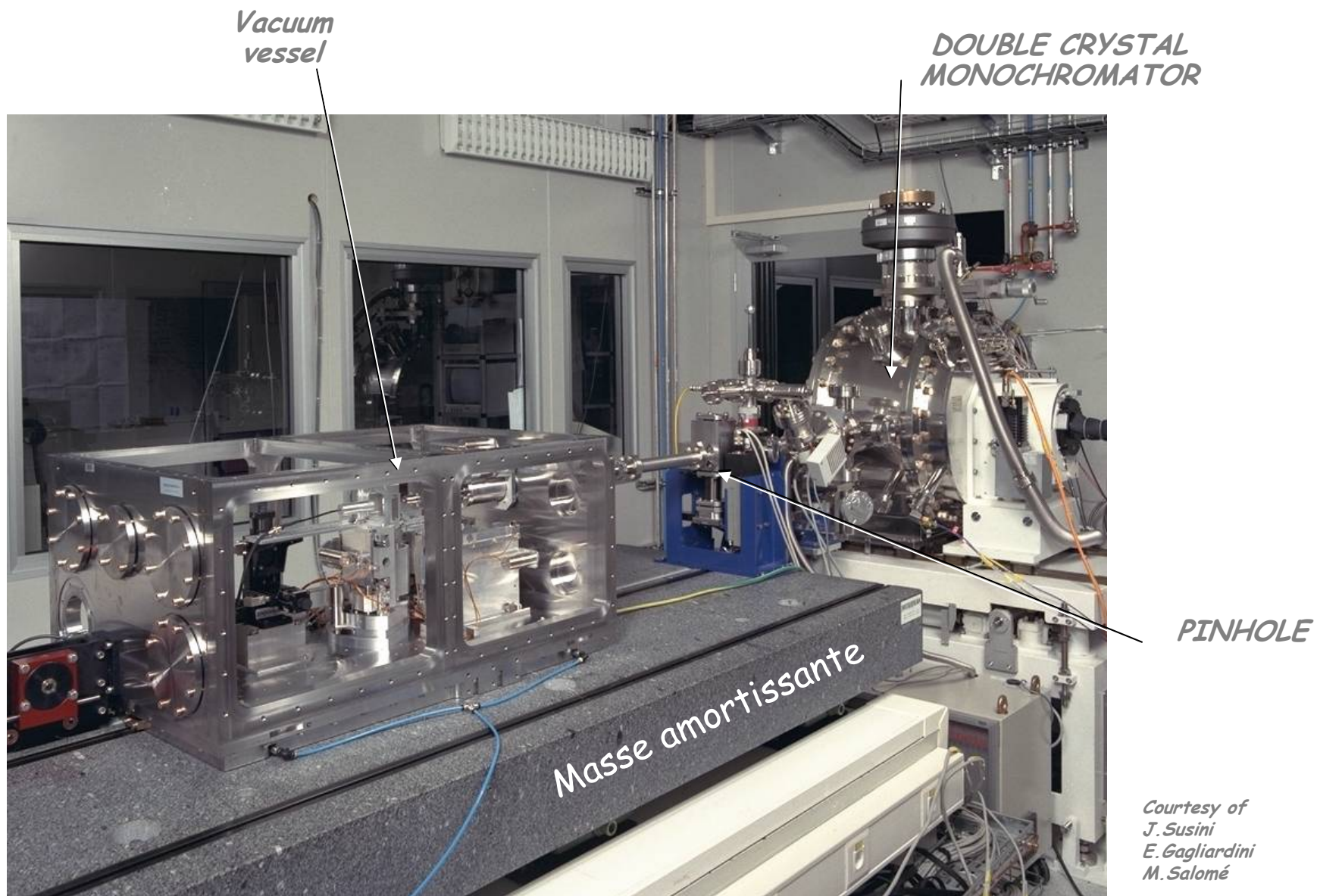


Fenêtre minces grand diamètre

Pompage turbo 60 l/s

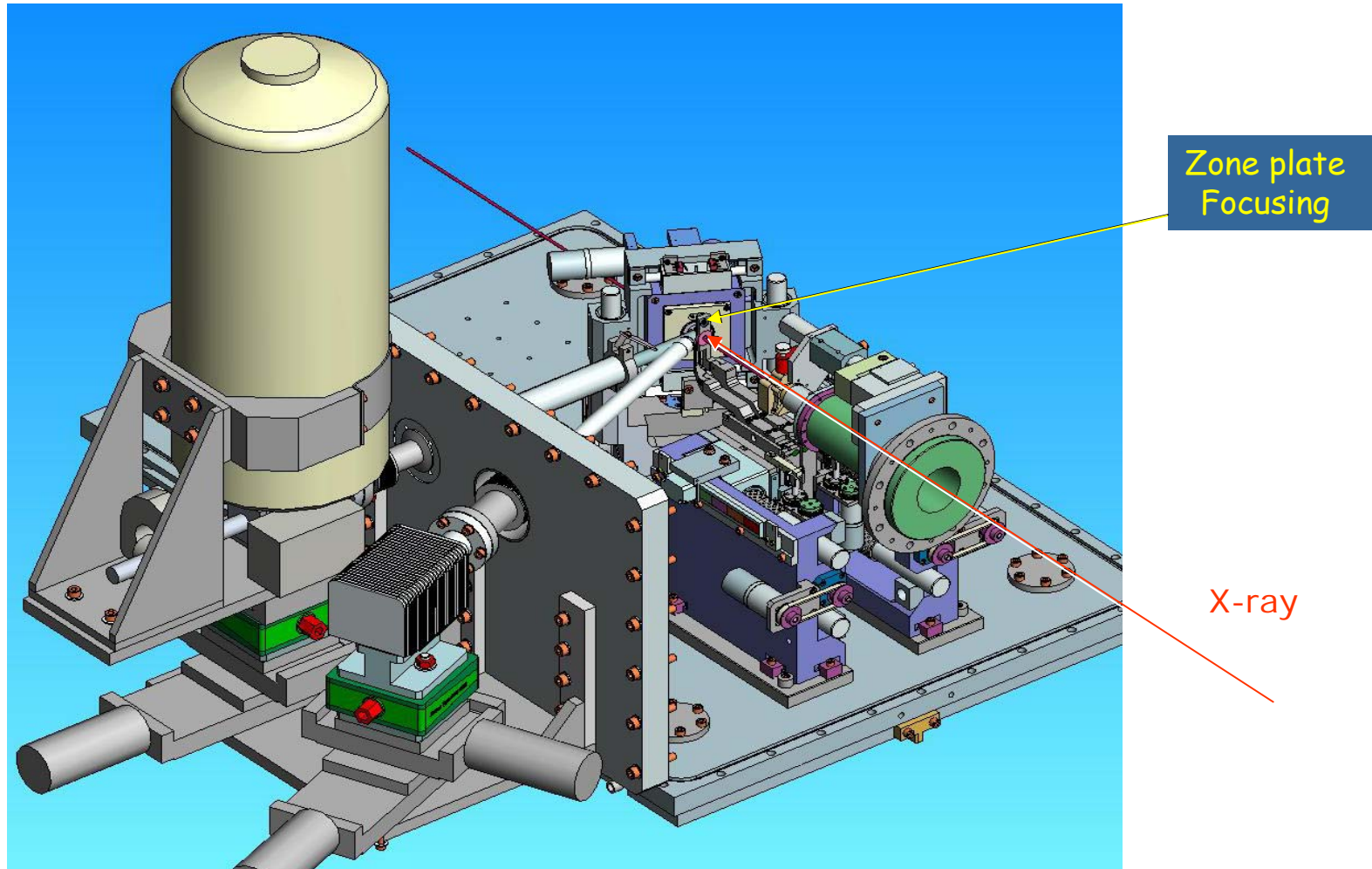
Vide 10⁻⁶ mb
Joints viton sur
Parois froides

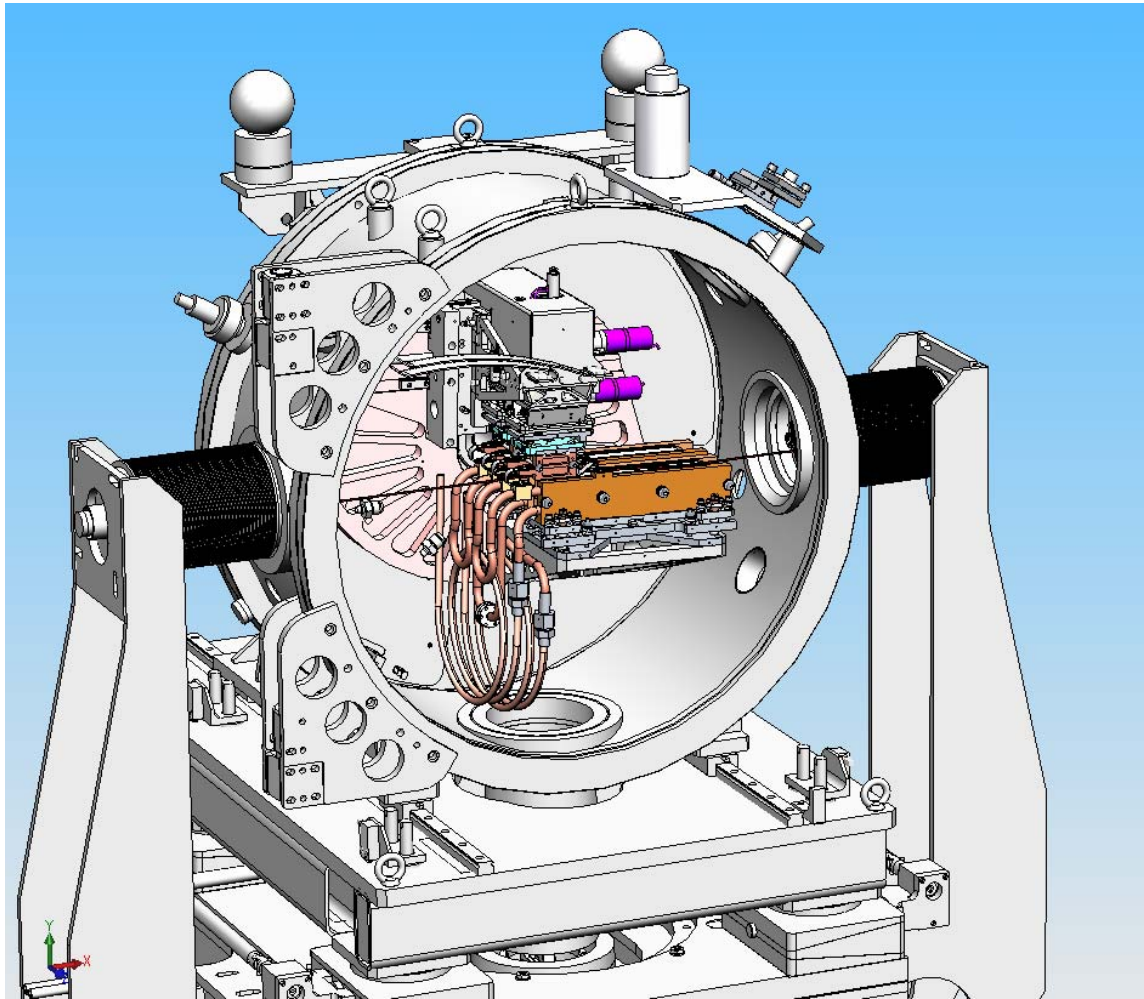




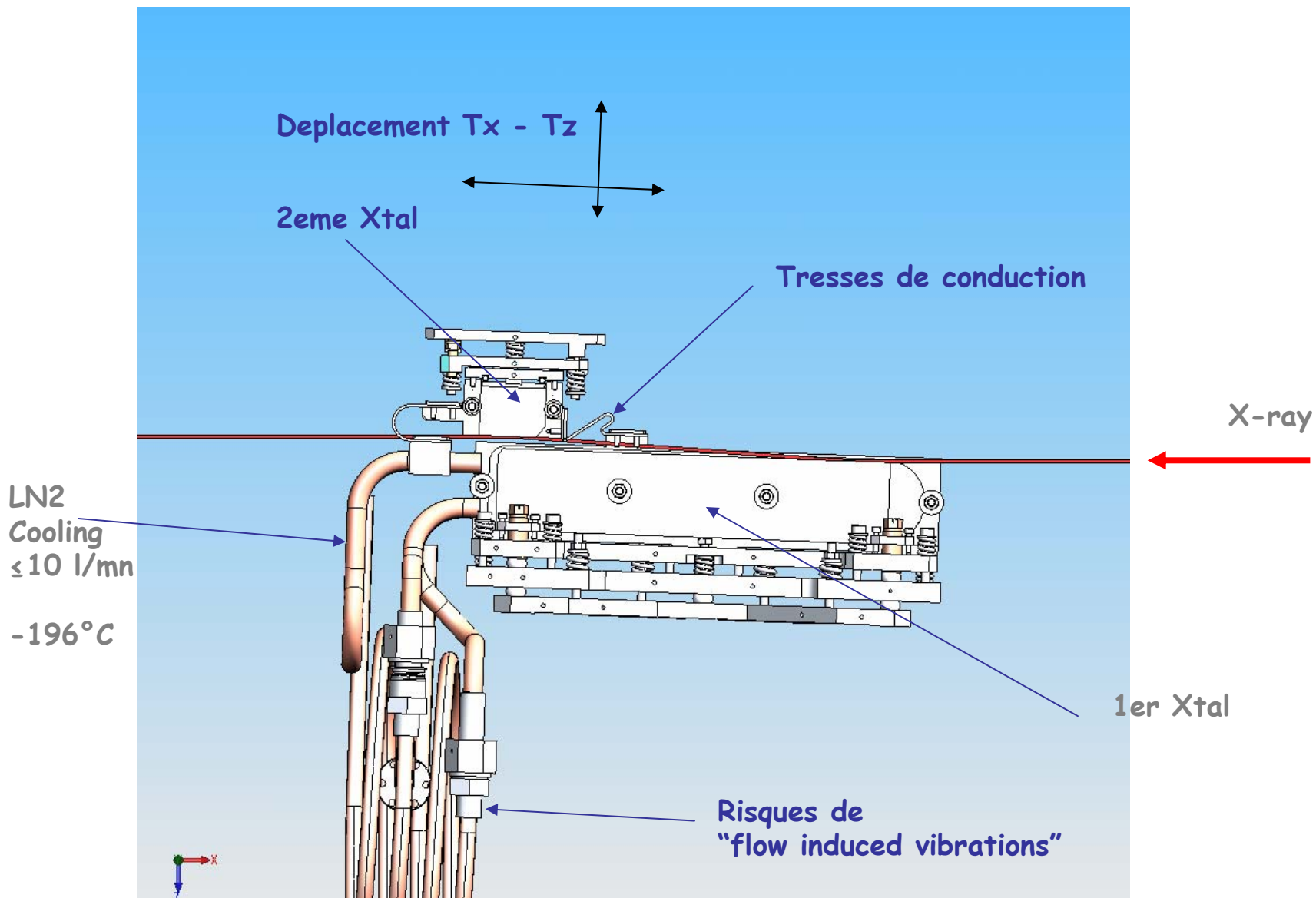
Un systeme technologique à 10^{-6} mb : "Le vide rapide"

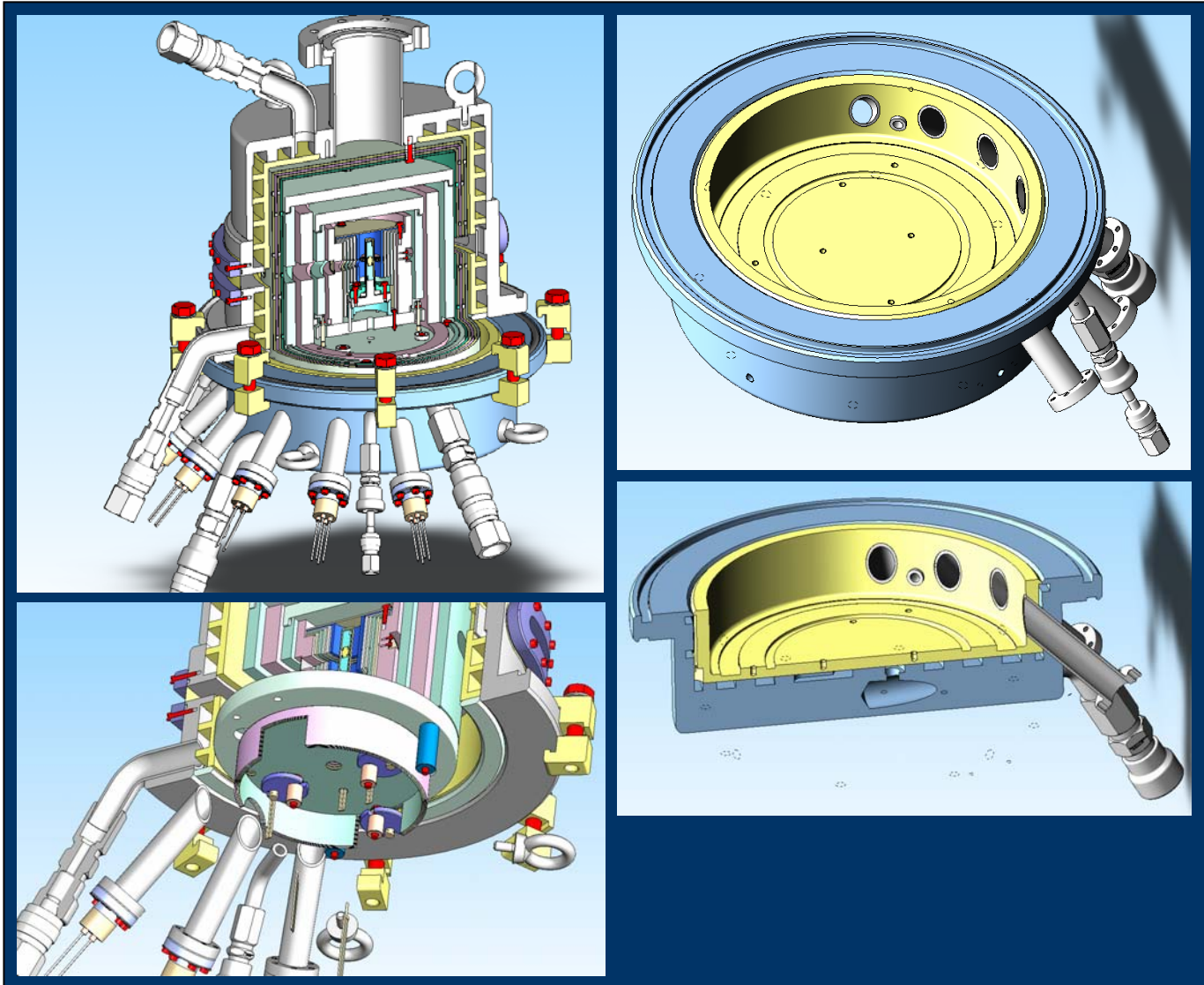
Un microscope :pb avoir accès à echantillon





Systeme optique X
Systeme Thermique stable
Systeme stabilité mécanique

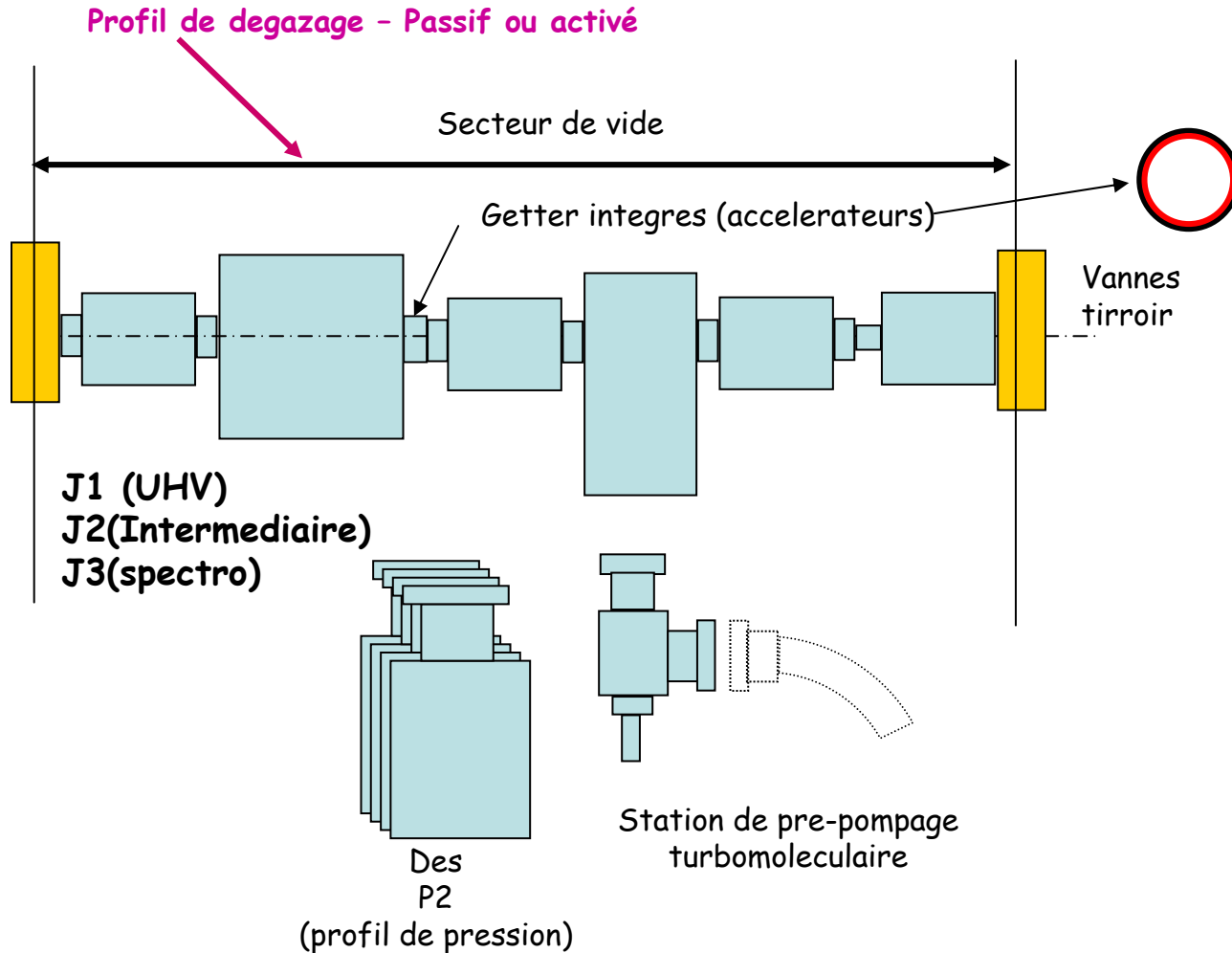


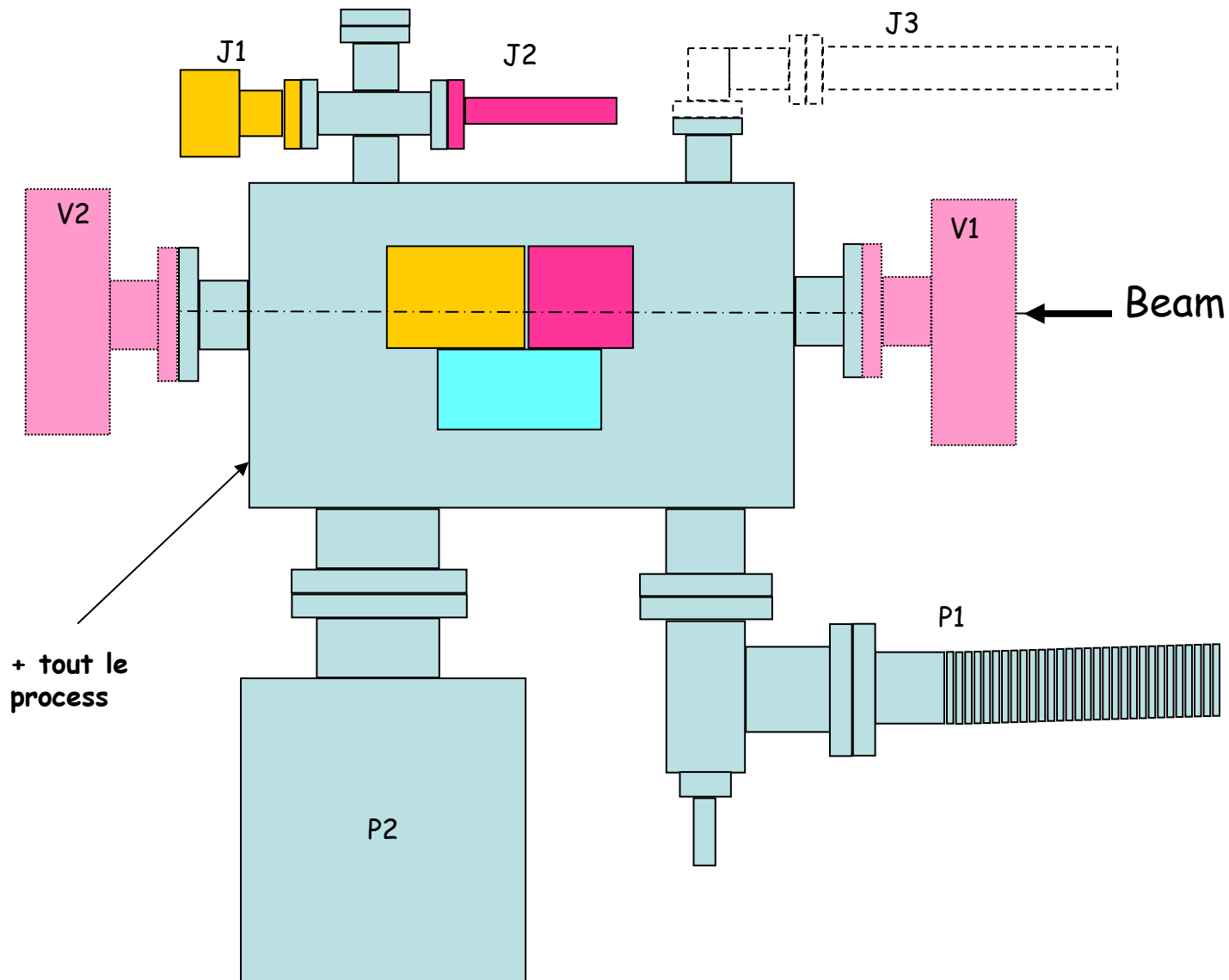


La base du four
Contient toutes
Les interfaces

Le four est pompé
Par la cloche
supérieure

Un accélérateur est une chaîne de secteurs fournissant une pression moyenne



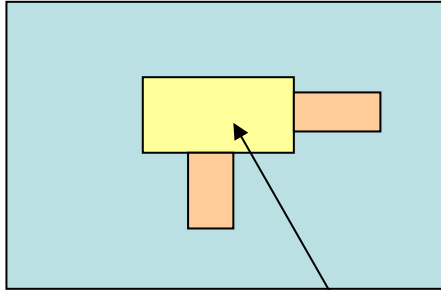


- Choix et type de mécanismes
- Mécanismes par picomoteurs
- Mécanismes par moteur pas à pas UHV
- Rotations à haute résolution - ex Flex pivots et virtual center flex
- Manipulator "Tino Noll" Bessy
- Monochromator Channel cut "ESRF-generic"
- Glidcop flex slit 100 w X-Radia
- ESRF UHV minislit 1 μ m
- ESRF High Vac sample slit
- Crystal rotation nanoradian capability - APS (Artificial Channel cut)
- High résolution flex: MECARTEX & M. Howells X-ray interferometer

Principes du choix des mécanismes sous vide

Vide rapide et intermediaire
 $P > 10^{-6}$ mb

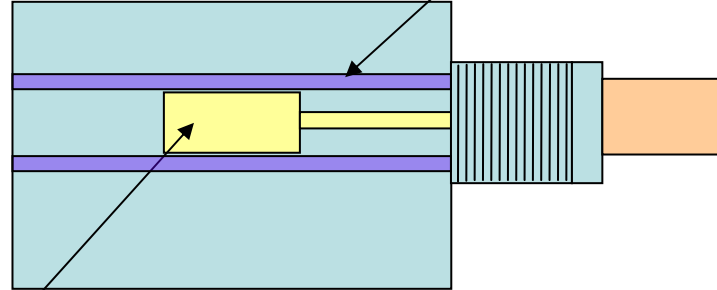
Ch. à vide



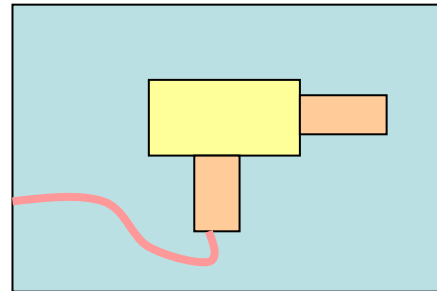
Mecanisme commandé

UHV étuvable

Ch. à vide



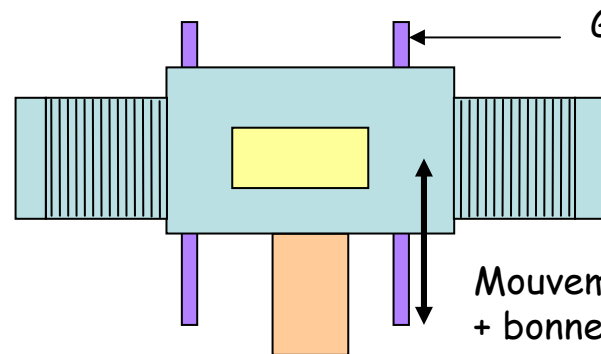
Guidage UHV (precision)



Moteur UHV Phytron
 Piezo

Moteur encapsulé

"Flexures mechanisms"

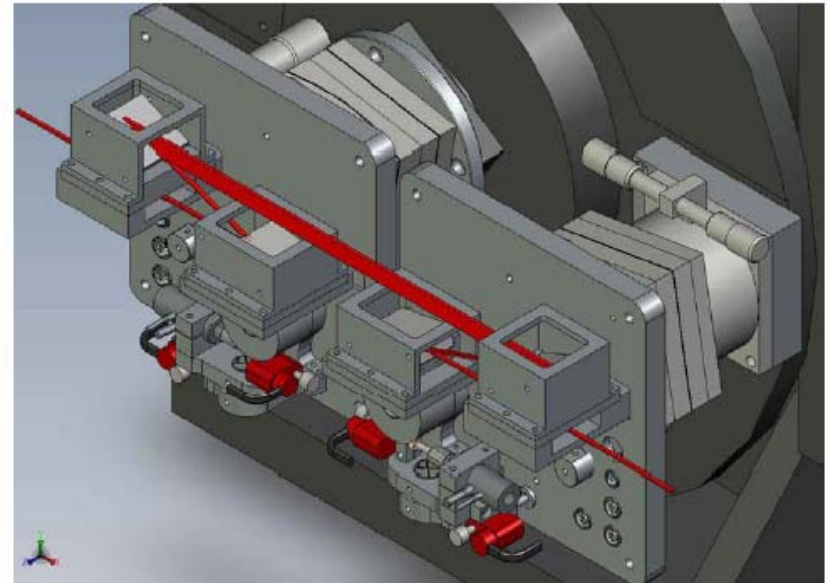
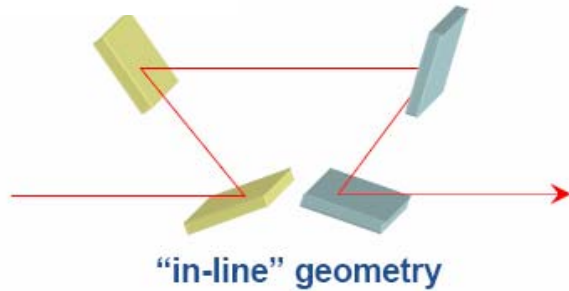


Guidage air

Mouvement de chambre
 + bonne metrologie

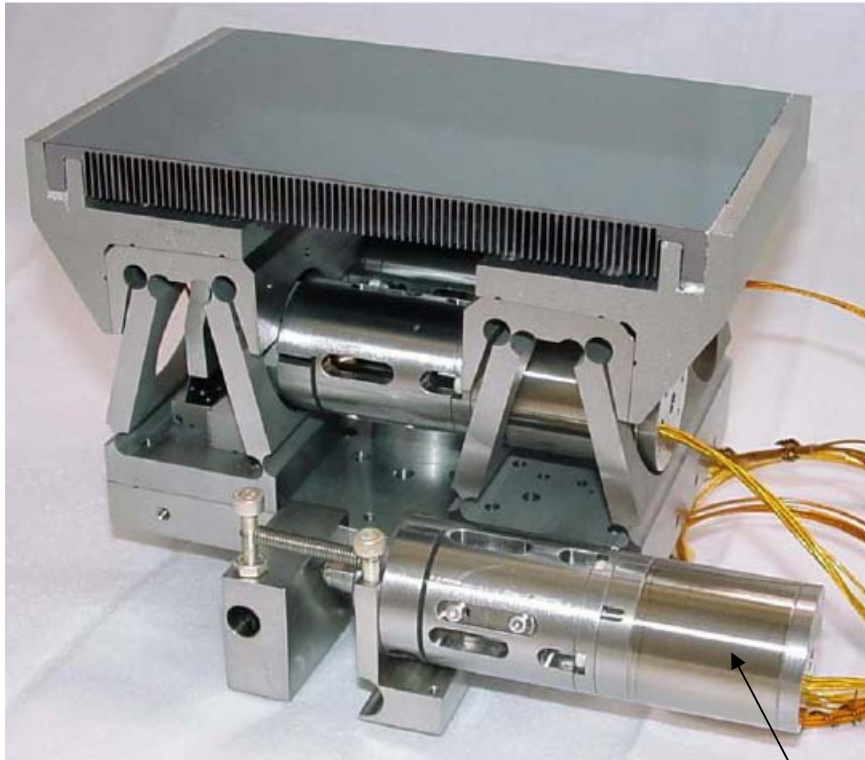


$\Delta E/E: \sim 10^{-8}$, rocking curve: $\sim 1 \mu\text{rad}$

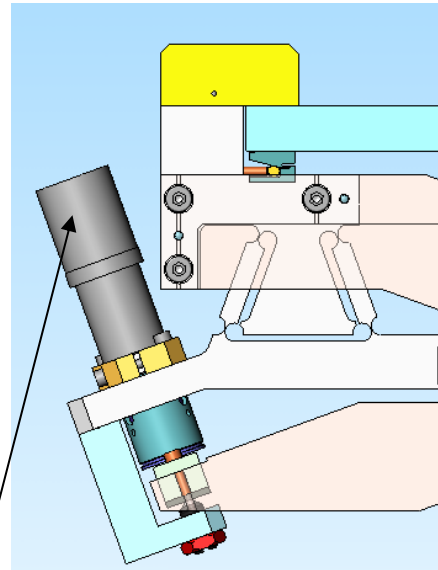


Manipulation de cristaux Si pour un post-monochromateur
ID18: A. Chumakov - J.P. Celces - R. Rueffer

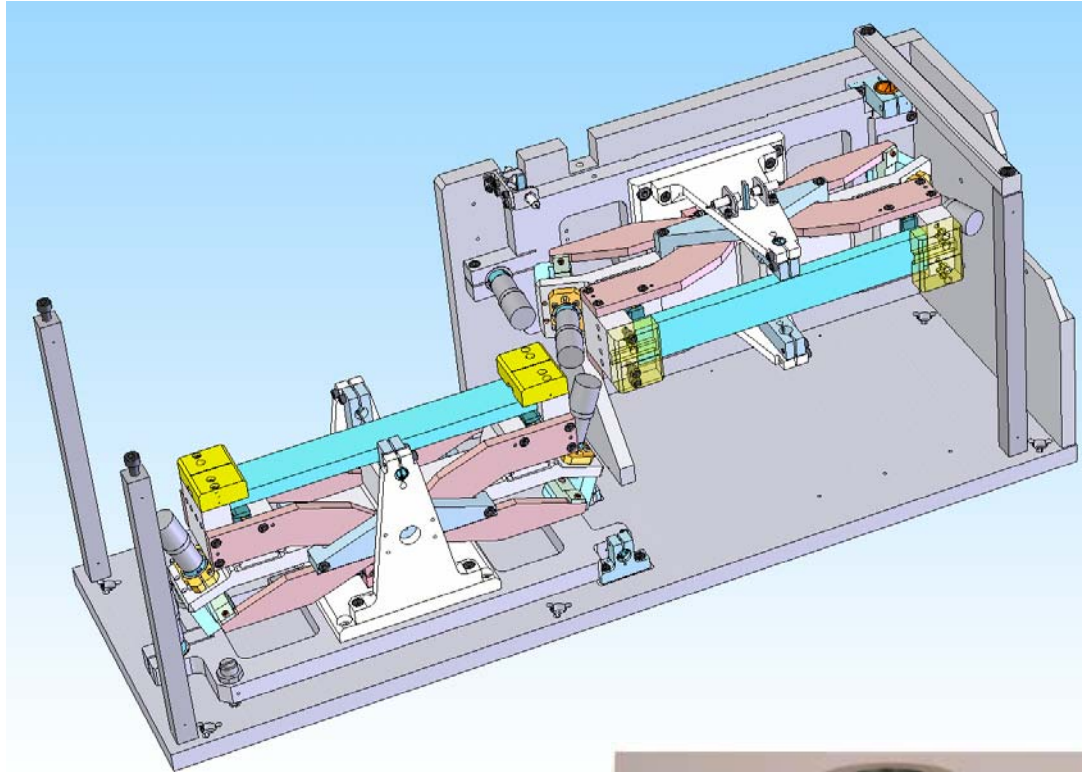
Picomotor newfocus UHV
(Piezo rotatifs reptation)



**Flexure mechanism
X6 CrNiMoCu 16-04-03 (F16Ph)**



Moteurs UHV Phytron - cablage Kapton

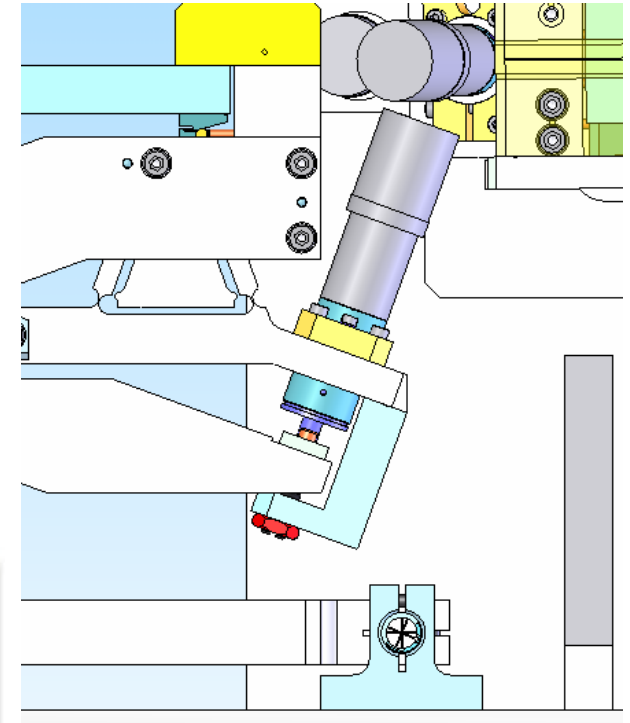


Ensemble miroir de focalisation
1 μ radian
80 nm

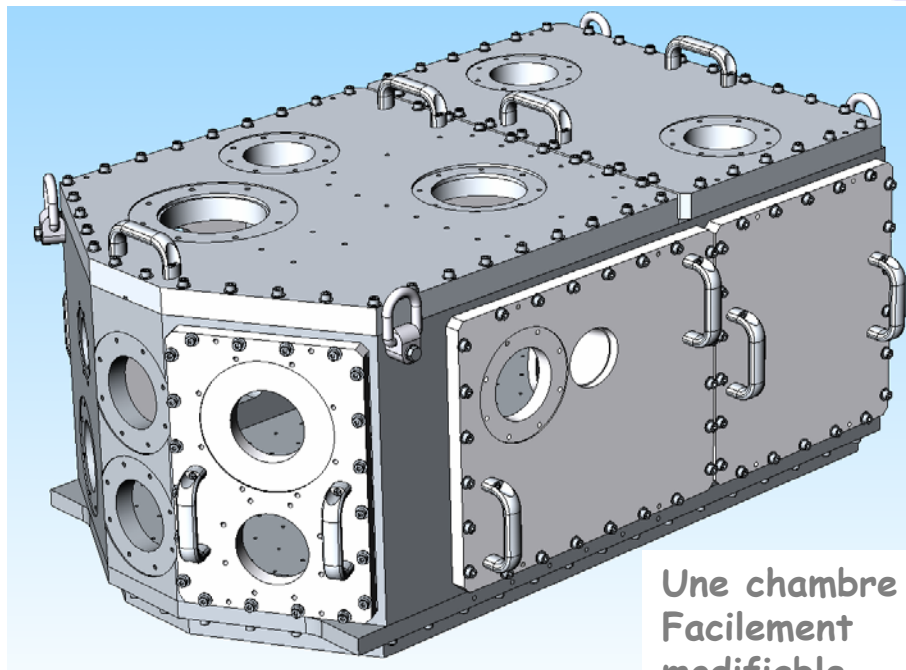
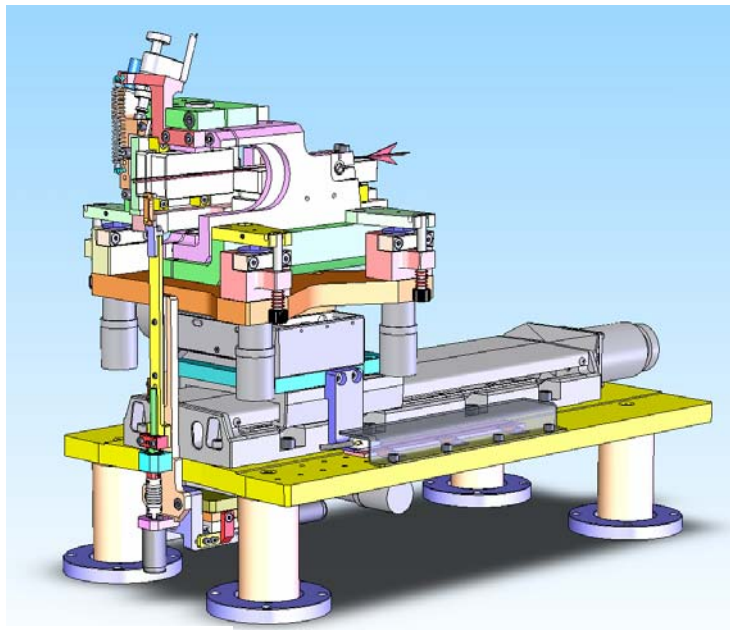
Sous UHV le meilleur mouvement
Est la rotation !



Exemple de rotation avec flex-pivots
Et flexor a col circulaire

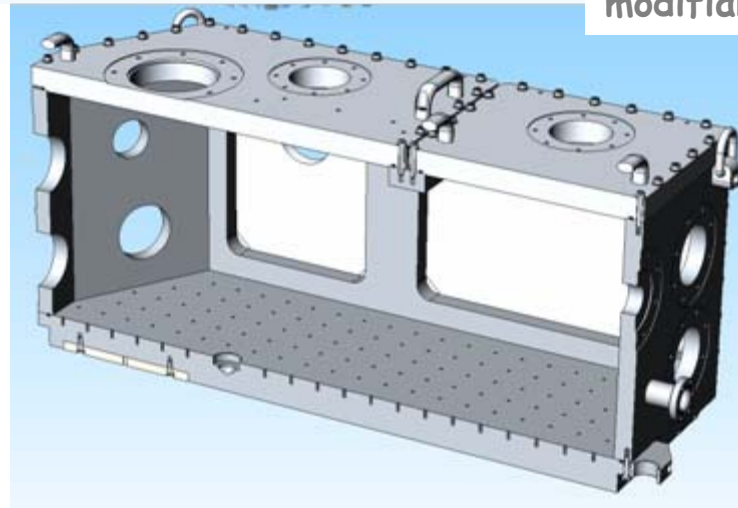
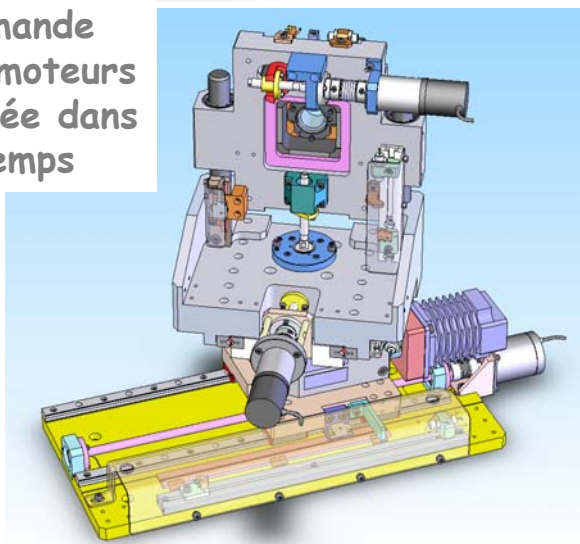


Flex pivots: c-flex.com

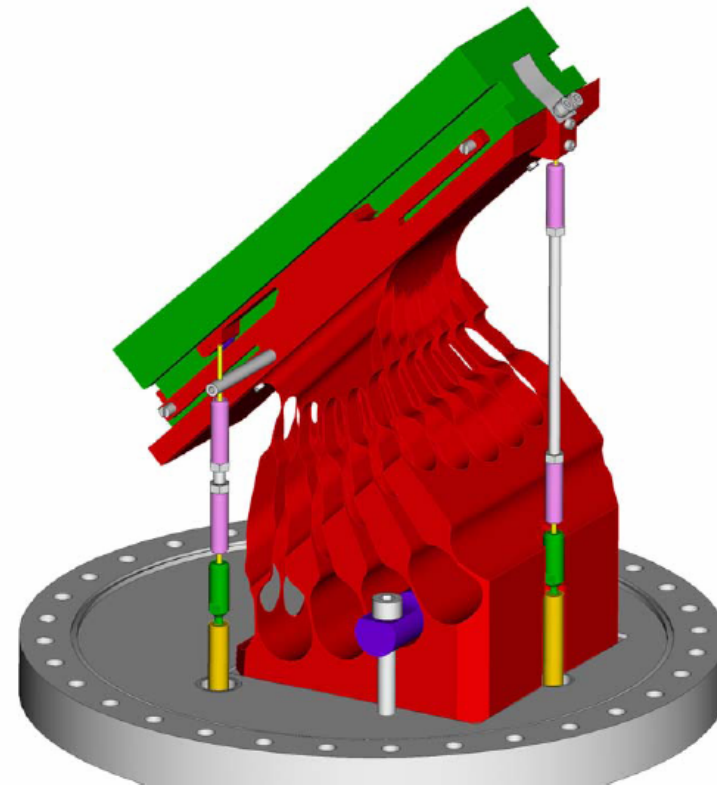
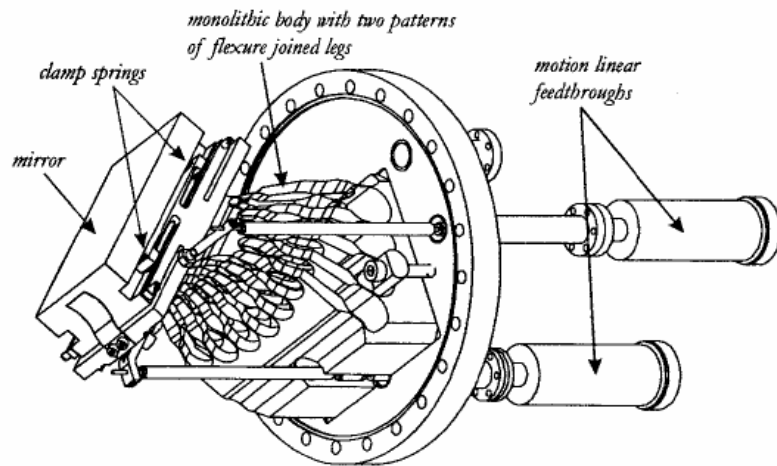


Une chambre
Facilement
modifiable

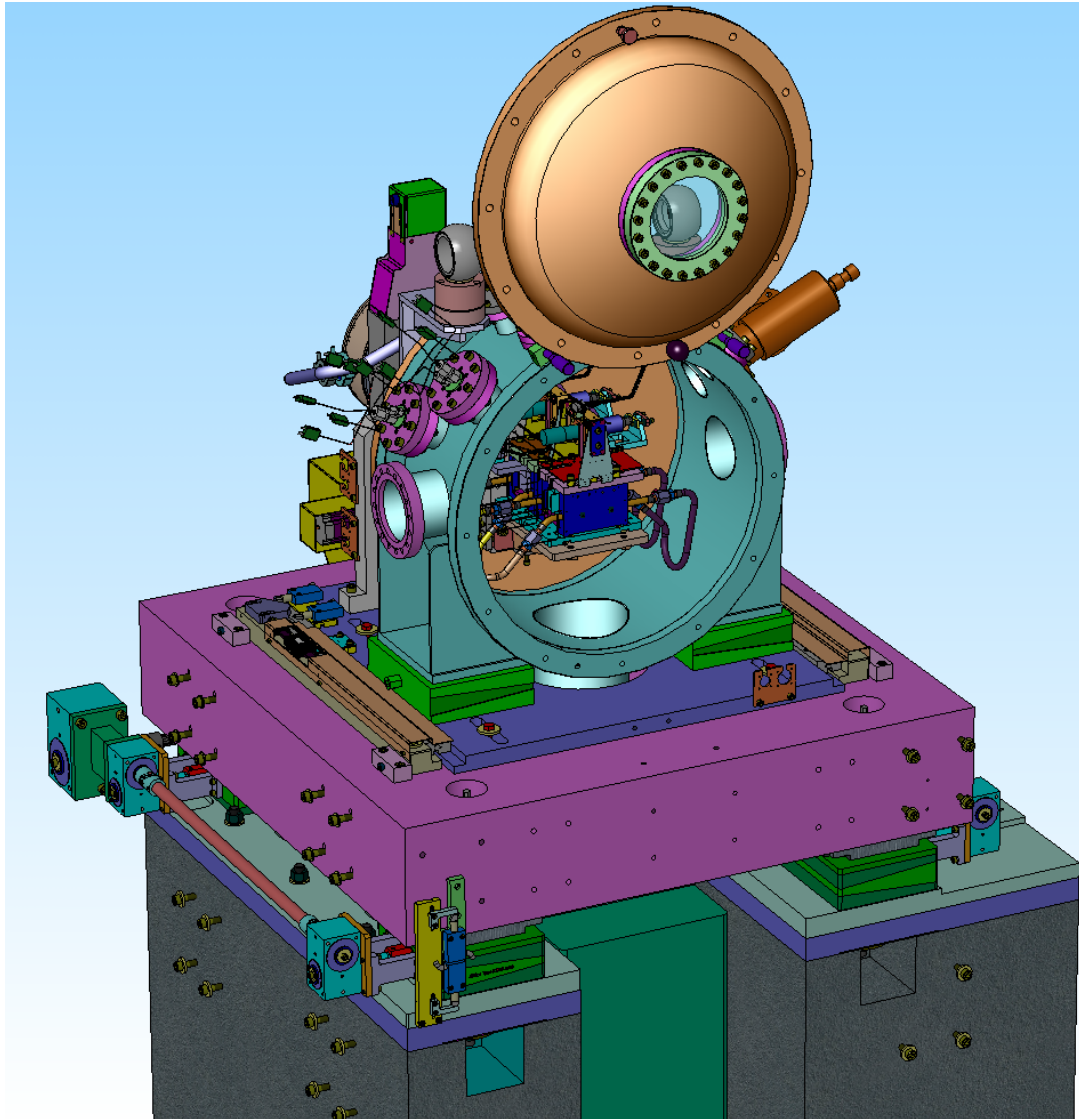
Commande
Des moteurs
Limitée dans
Le temps



Monolithic Al flexible 2 axes mirror support, BESSY, Berlin (D): two independent 1° perpendicular rotational DOFs for the IR beamline, stepper motor driven, high dynamic stiffness, reduced parasitic motion



[Noll, MEDSI, 2002]



Reprise conceptuelle de plusieurs Versions de mecanisme.

Haute precision angulaire: $5 \mu\text{rd}$

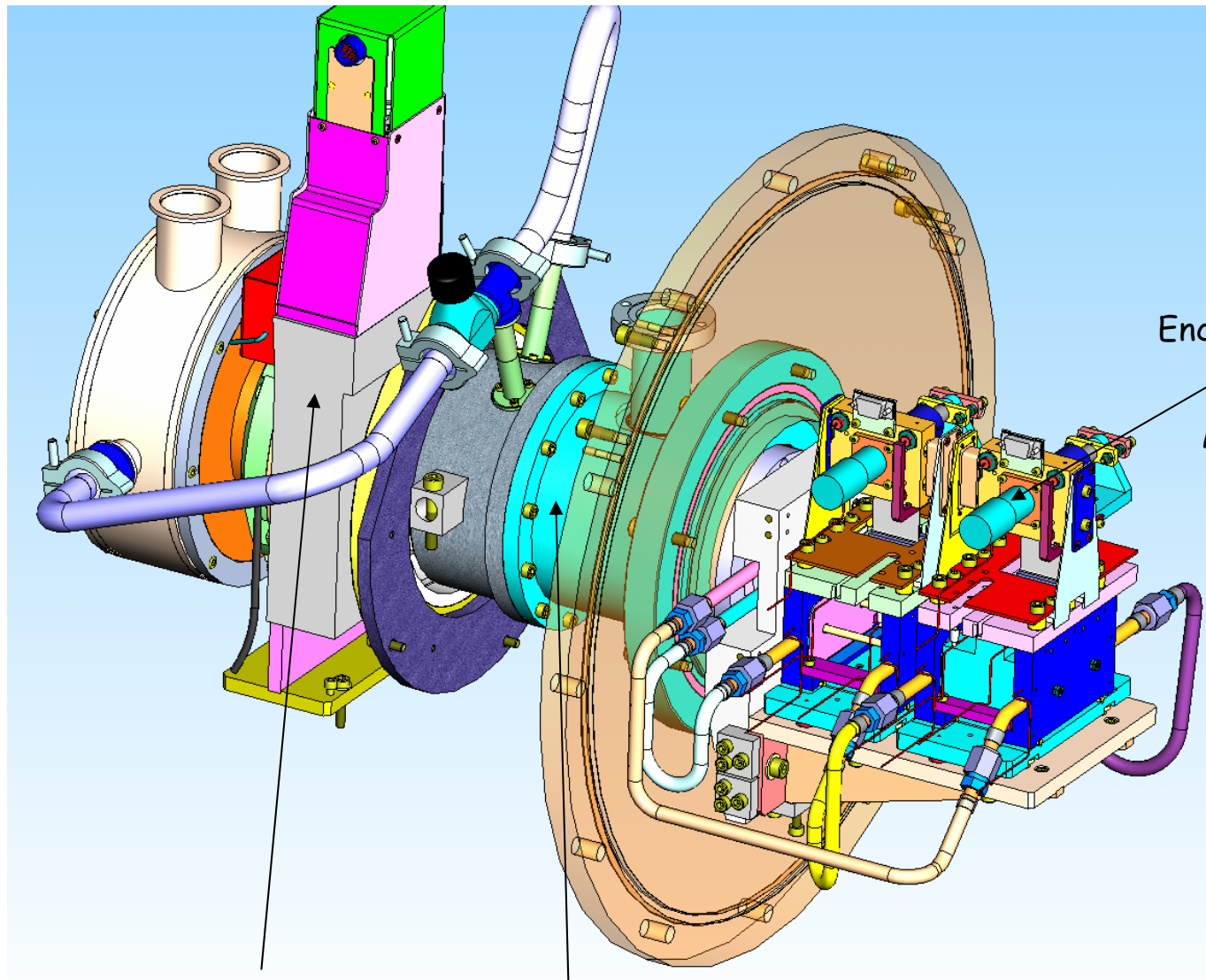
Vide 10^{-9} mb

High heat load/flux: 400 w/mm^2

Haute stabilité mecanique (80 Hz)

Haute stabilité thermique : 8H

Synthèse 2008 T. Mairs

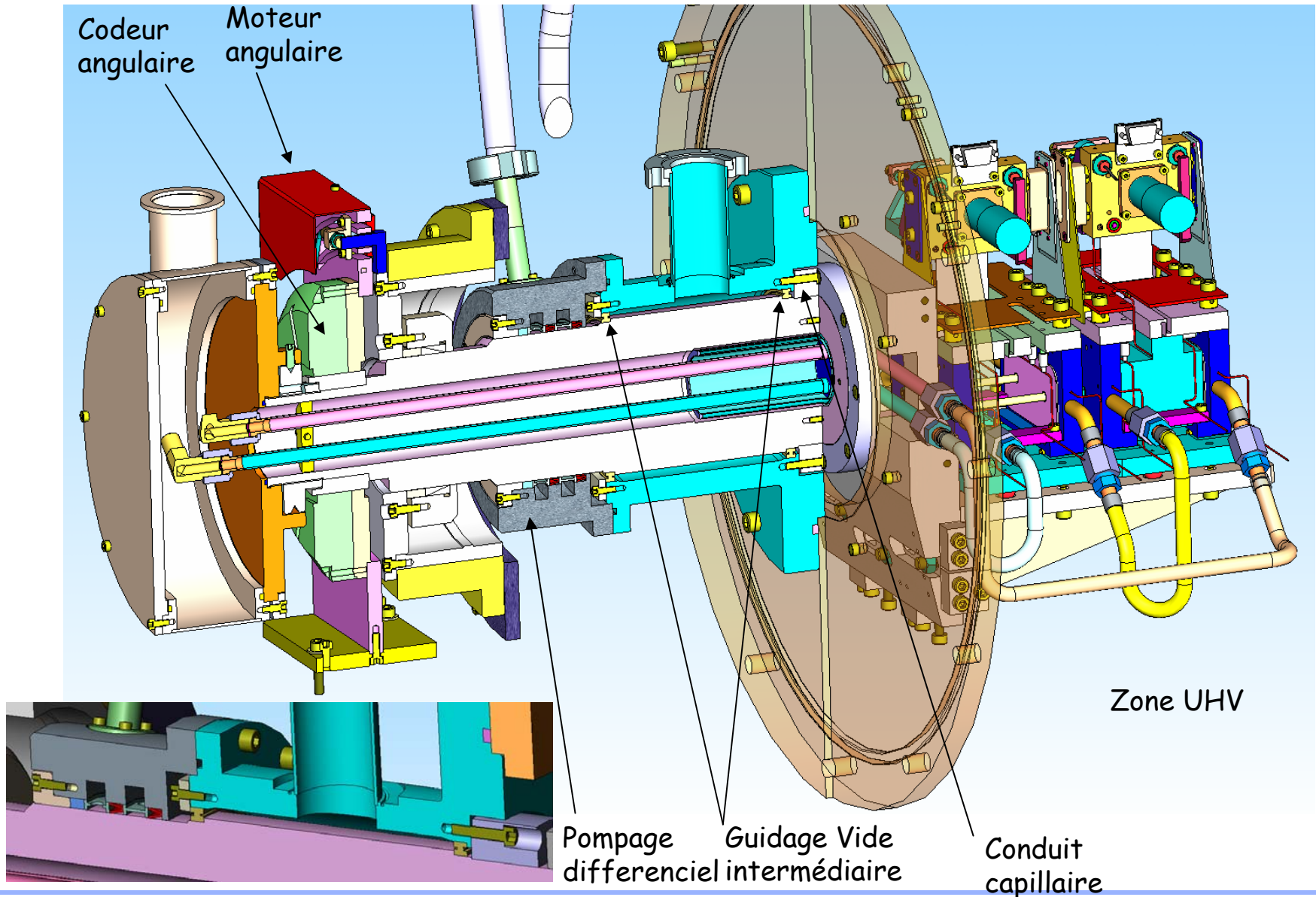


Motorisation 5 μ rd air

Traversée étanche ESRF

Encapsulé

Mecanisme à flexion

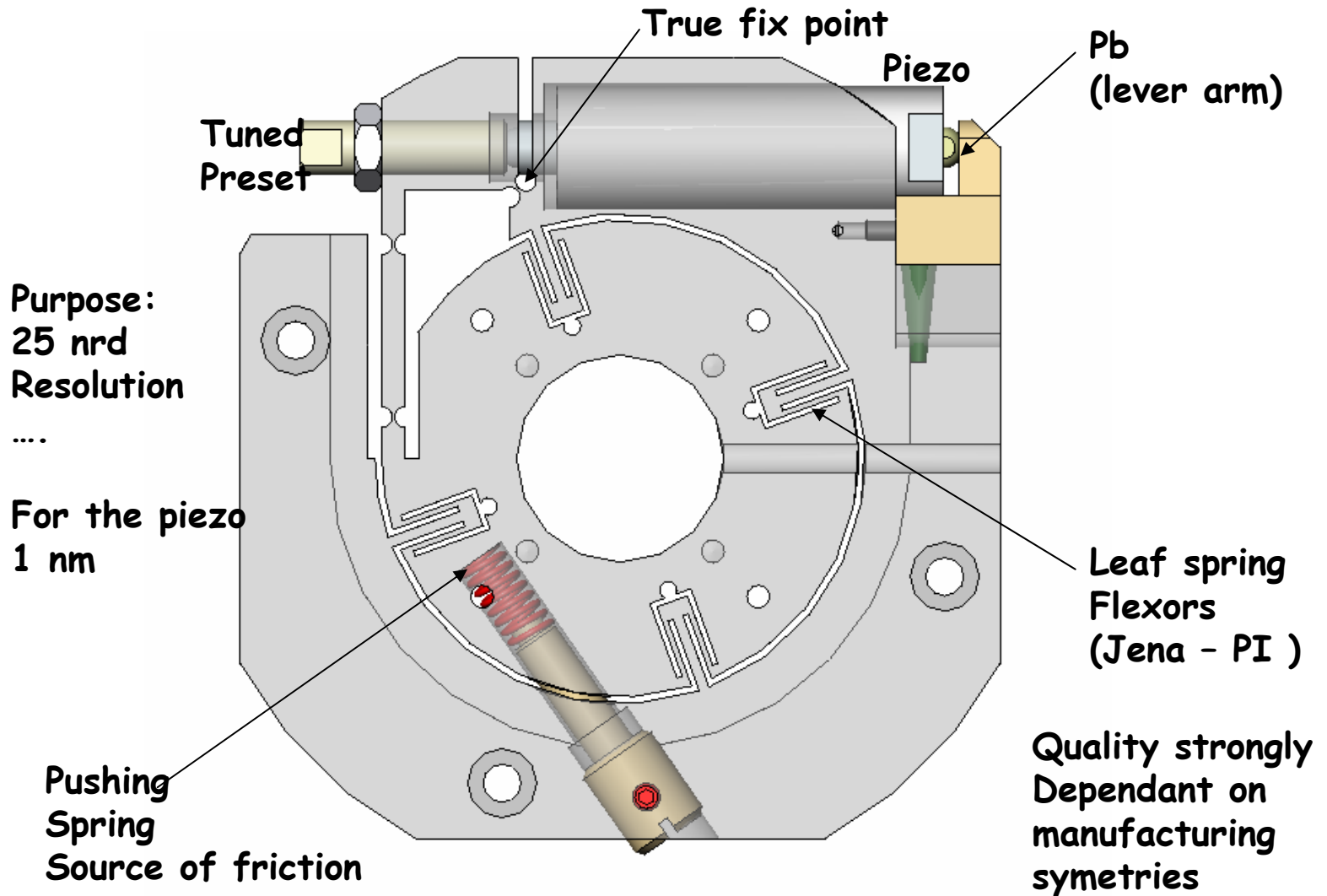


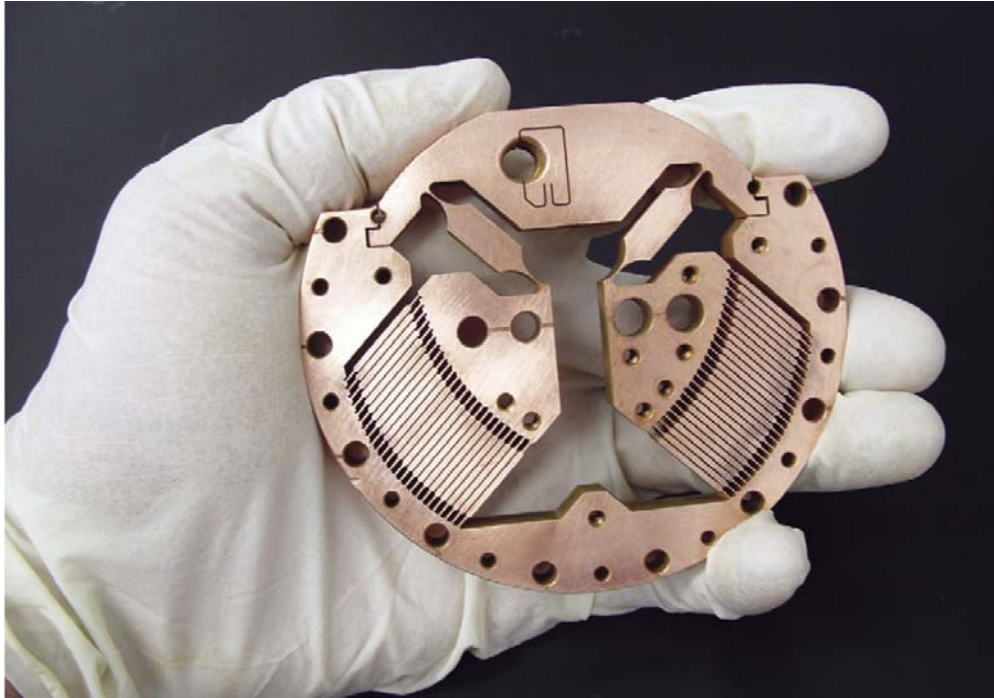


Super-finition d'un miroir par Faisceau d'ions
Mesures temps réel sous faisceau X

Miroir manipulé sous 10^{-9} mb

La conception mécanique tire avantage de pièces
Complexes monolytiques

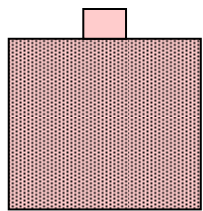




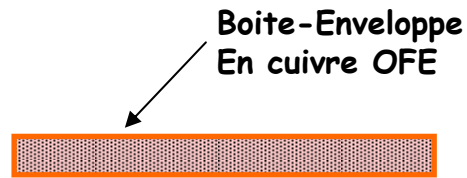
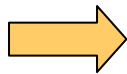
100 W slits X-ray

X-Radia conception R. DiGennaro (ALS-1997)

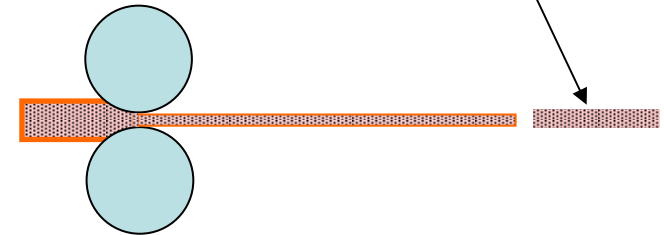
Heat transfer and blade guiding from Flexure weak link in Glidcop



Poudre alliage Cu-Al 0,15%

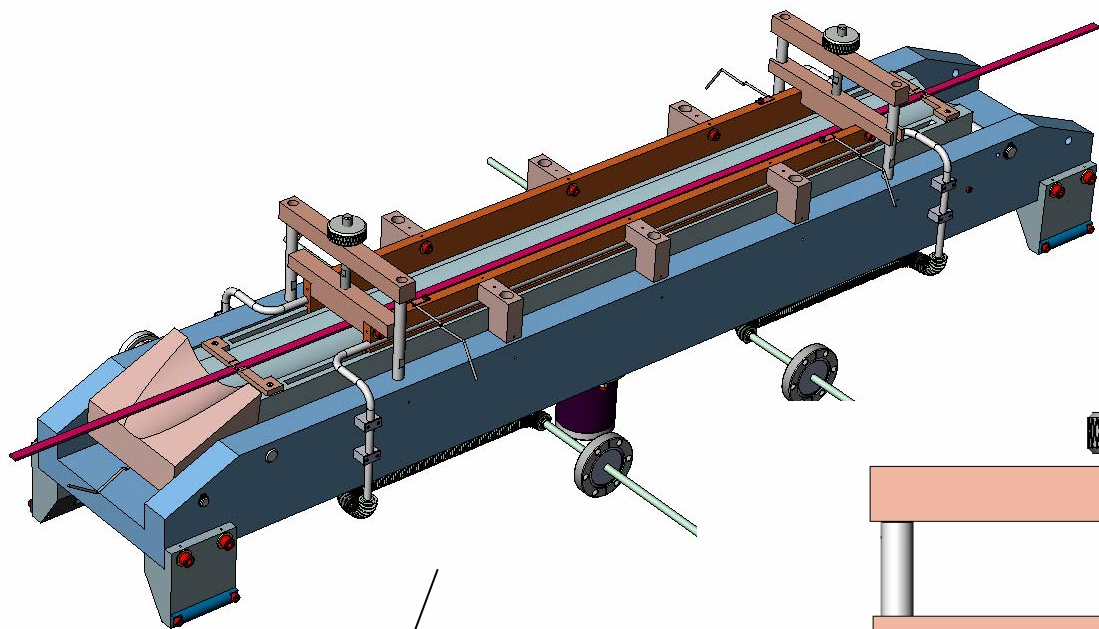


Preforme Cu OFE +Ar+O₂

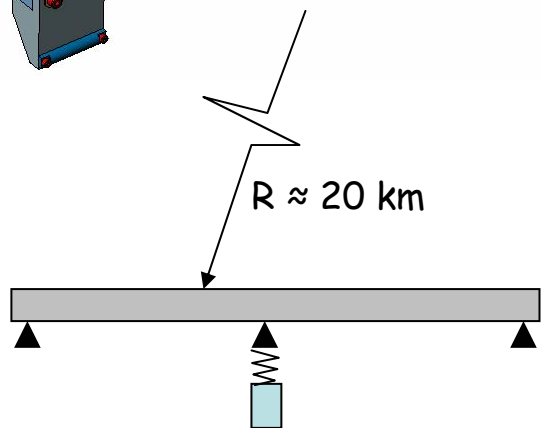


Mise en pression (corroyage)
Oxydation AL₂O₃ mais pas du cuivre
Auto-diffusion des grains à 850°C ?

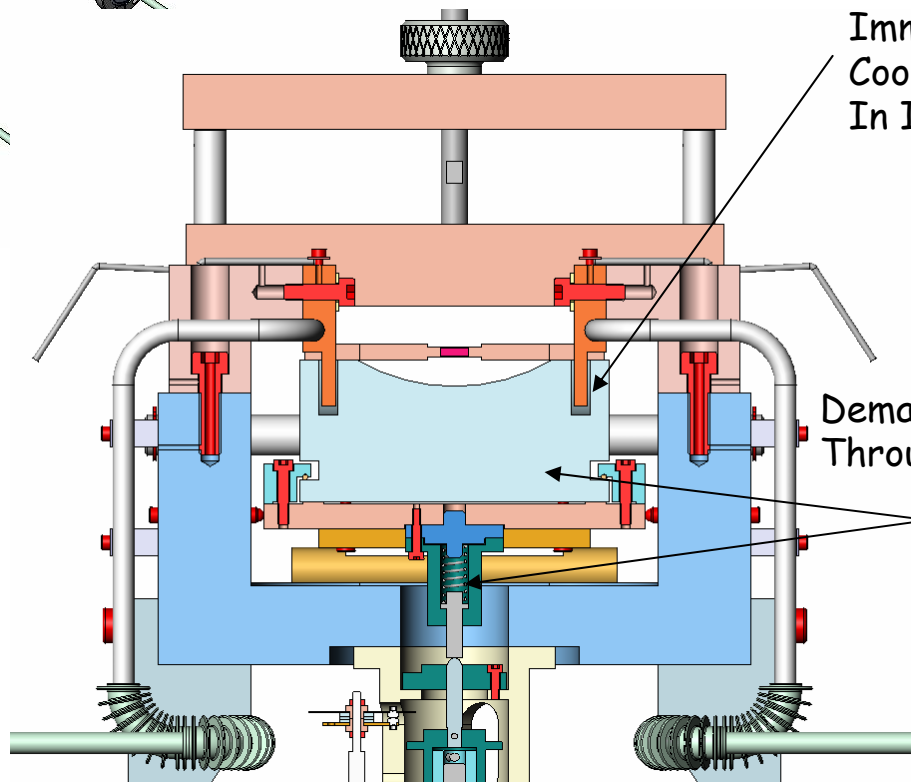
Usinage de l'enveloppe
Livraison d'une forme



Max input power 200 watts



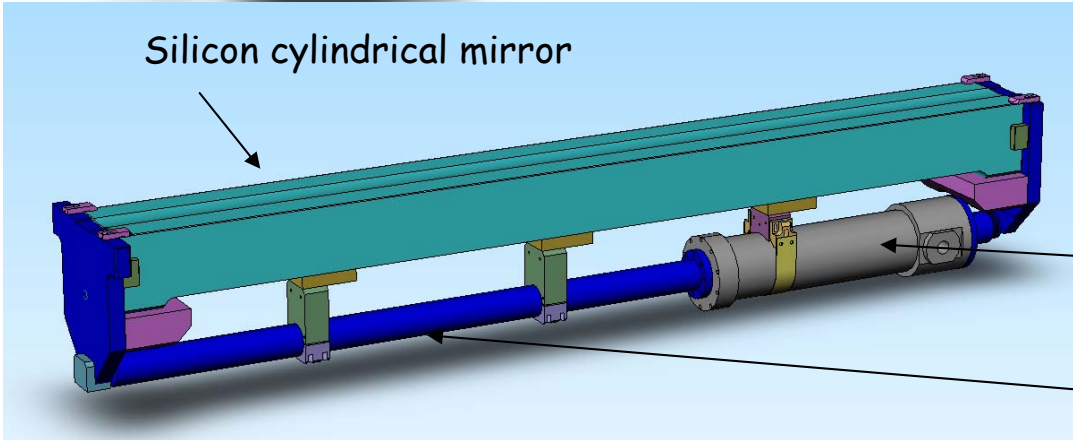
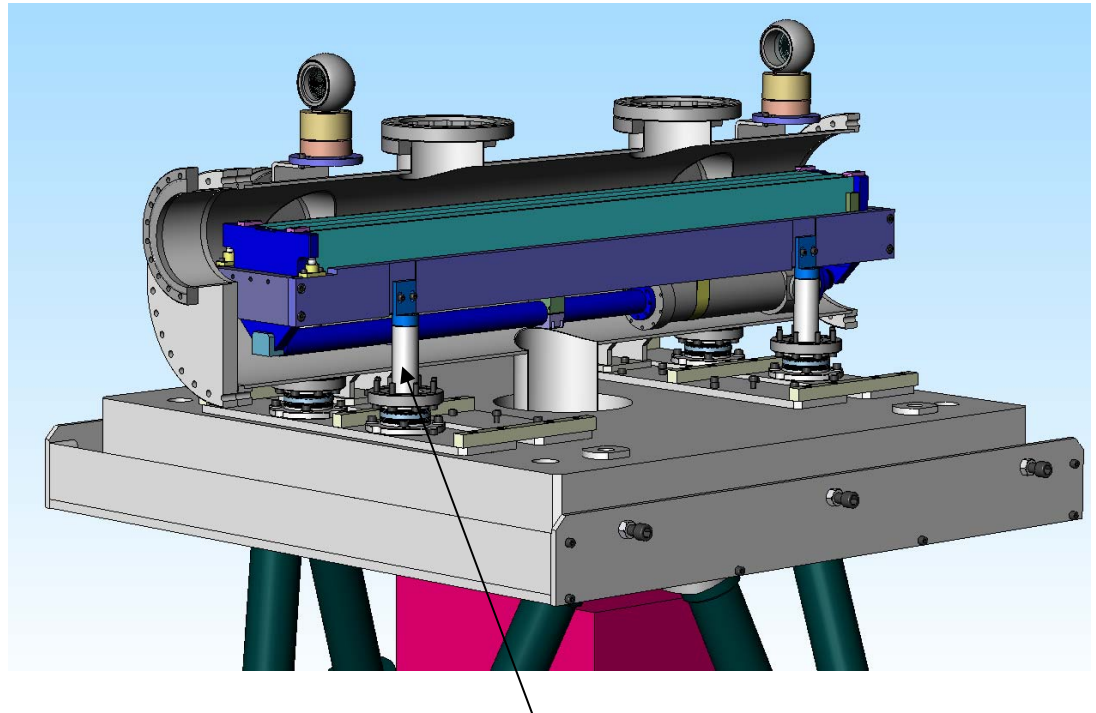
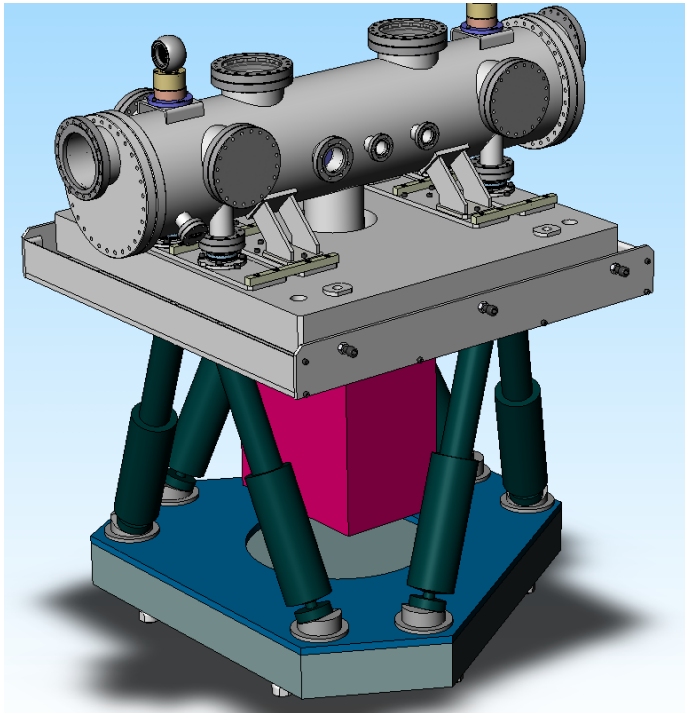
Gravity sag compensation
And radius tuning



Immersed
Cooled absorbers
In InGa bath

Demagnification
Through the ratio:

$$a = \frac{k_{\text{mirror}}}{k_{\text{spring}}}$$



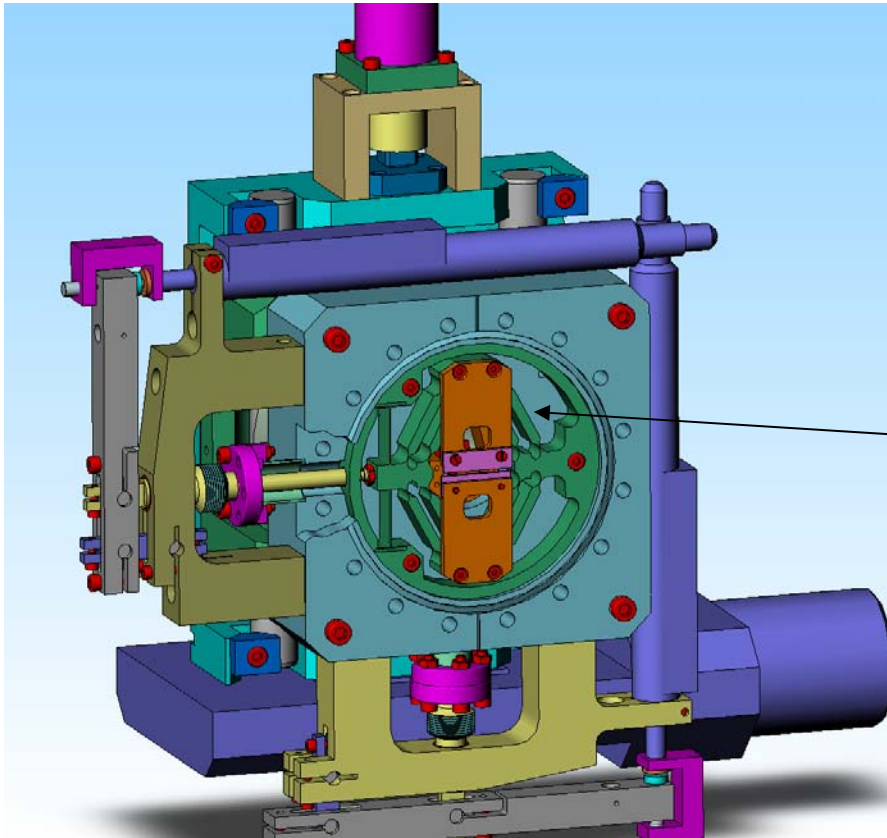
Silicon cylindrical mirror

Mirror independantly fixed
From the vessel

Meridional bender
Encapsulated jack

Invar link

Courtesy K. Martel



Moteur: Mike PI

Guidage sous vide "flexure mechanisms"

Guidage par parallélogramme

Erreurs angulaires non-négligeables 20%

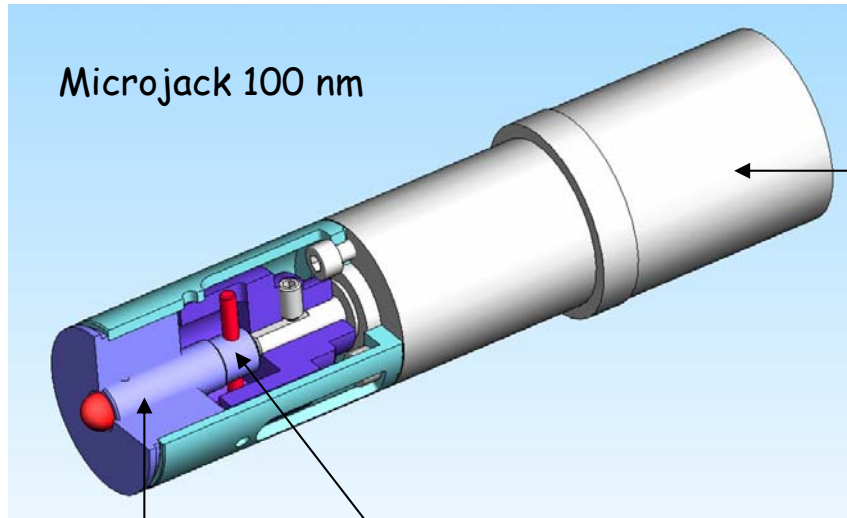
Sensibilité aux dérives thermiques

Flex: X6 CrNiMoCu 16-04-03 (F16Ph-ugine)

Boitier vide: X2 Cr Ni 16-09

Bras diviseurs: INVAR

Conception: G. Rostaing 2002



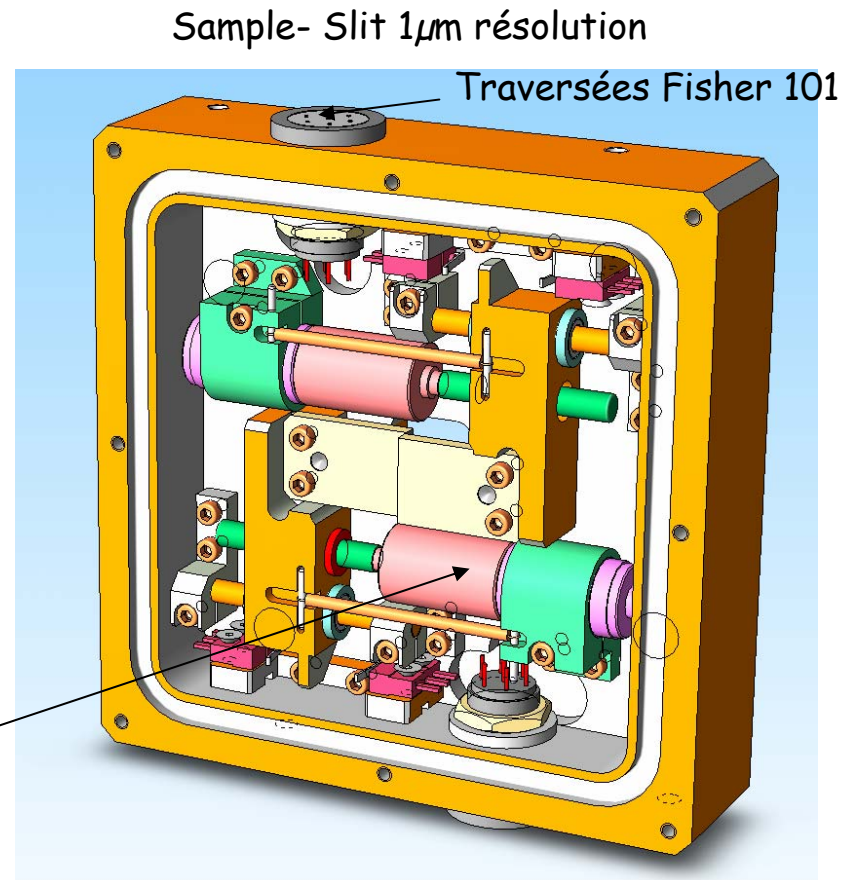
Microjack 100 nm

Moteur-reducteur UHV Phytron

Vis micrométrique
Pas 250 μm
Filets circulaires
Sans jeu à l'inversion

Découplage
Mécanique
(Holdam)

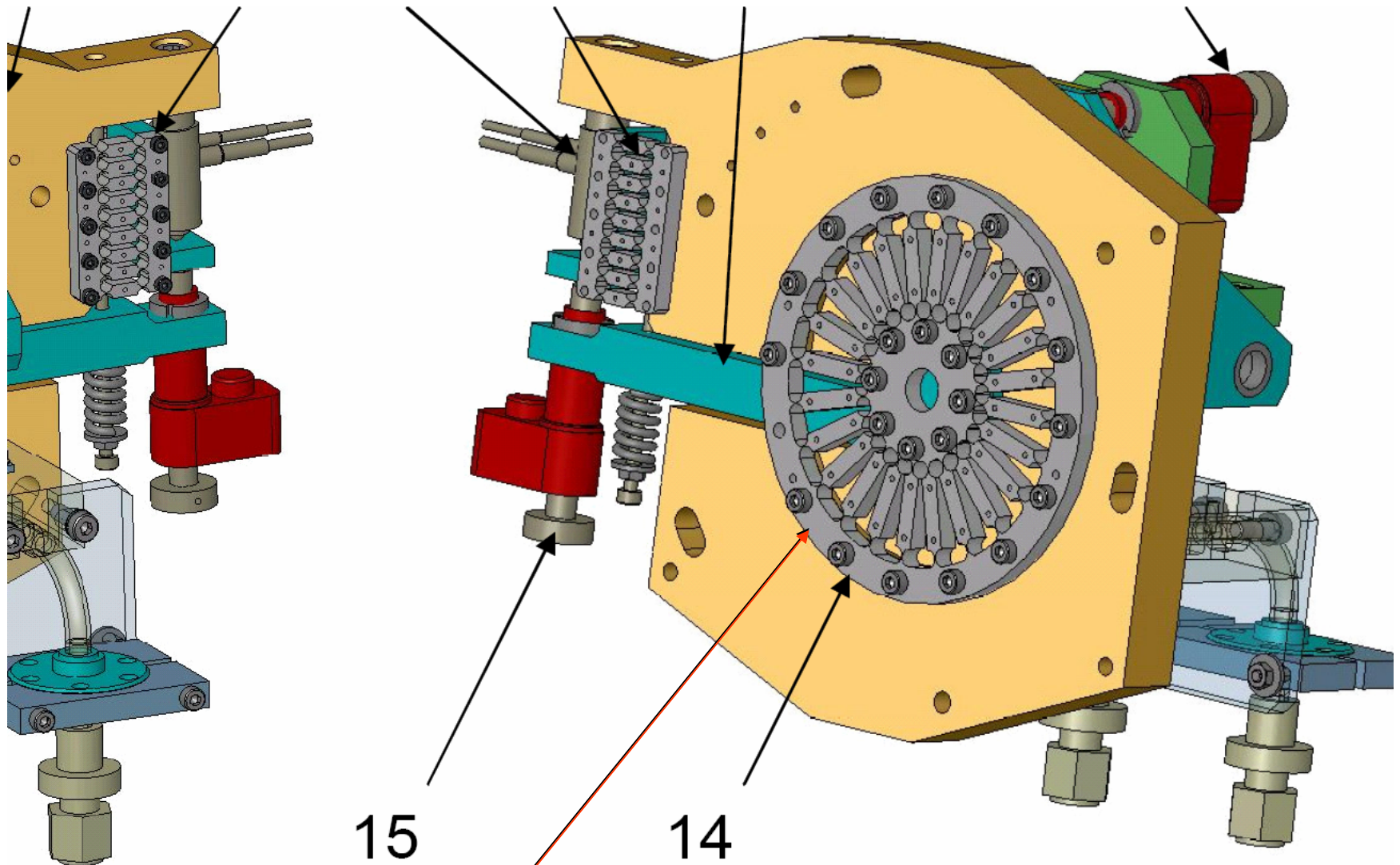
Minimotor préparés
Pour le vide
Option k179



Sample- Slit 1 μm résolution

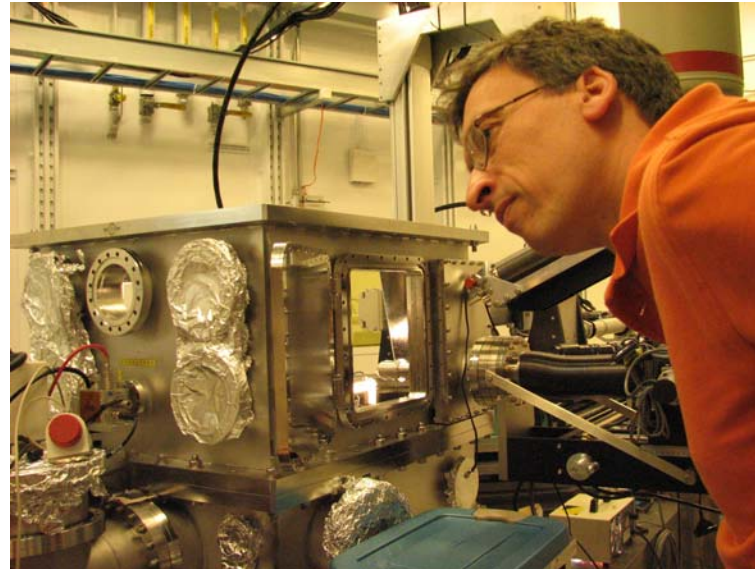
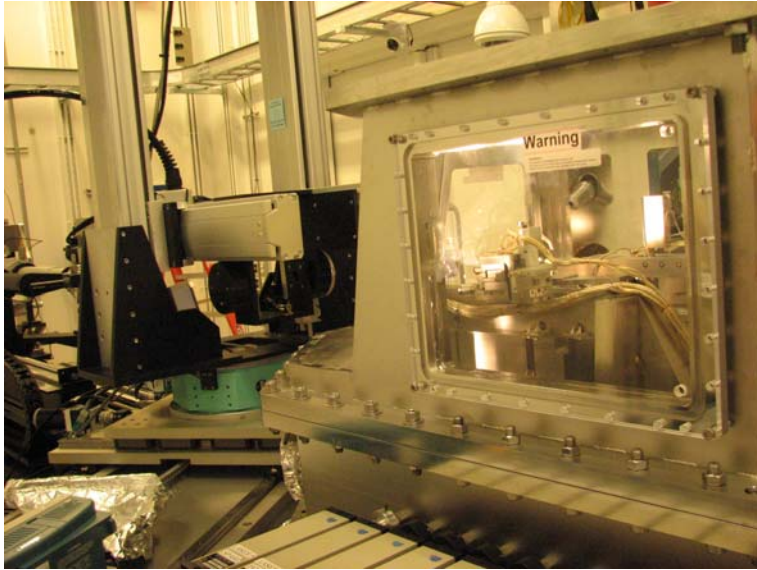
Traversées Fisher 101

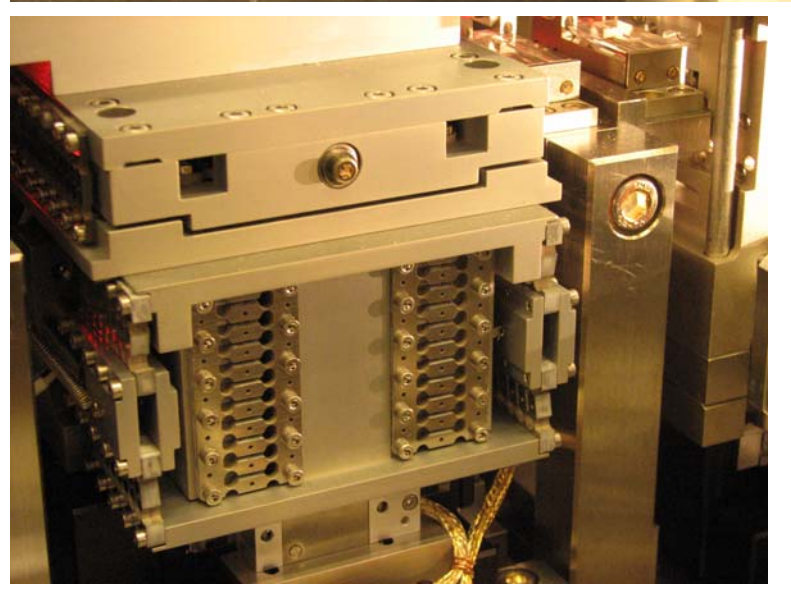
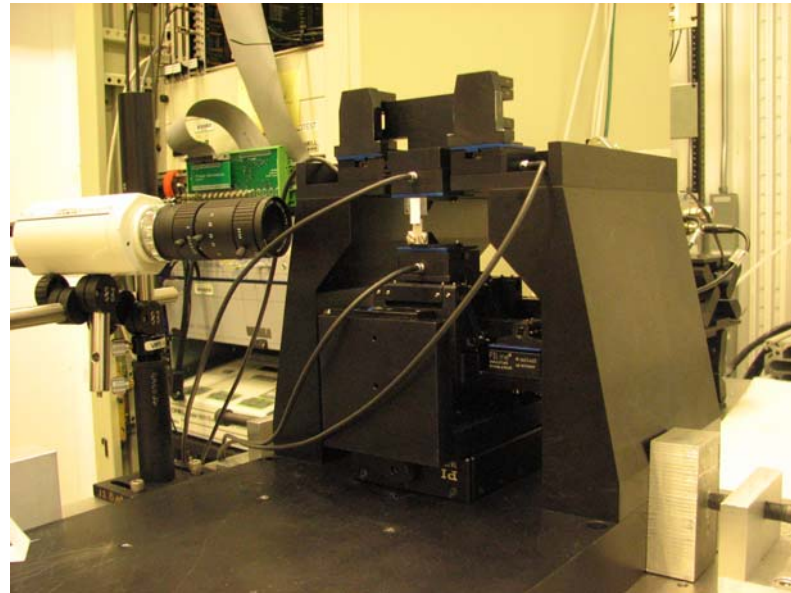
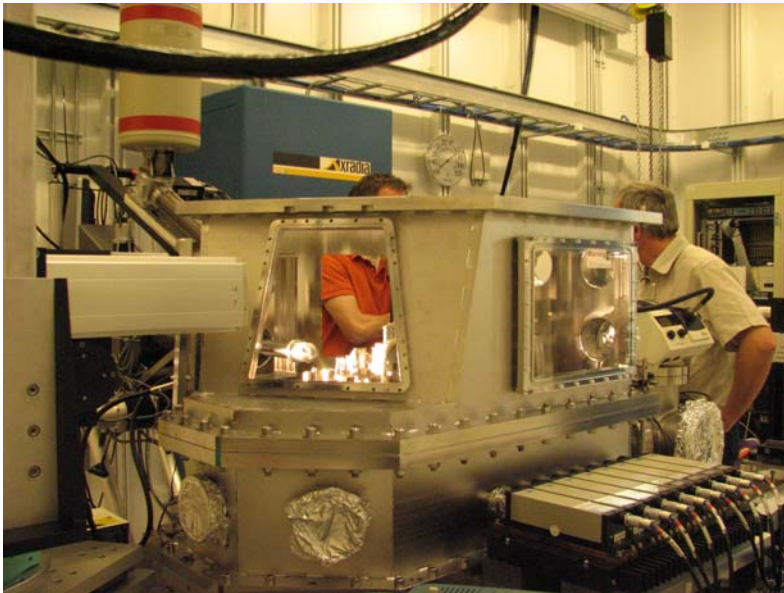
2nd Crystal rotary stage – nanoradian accuracy



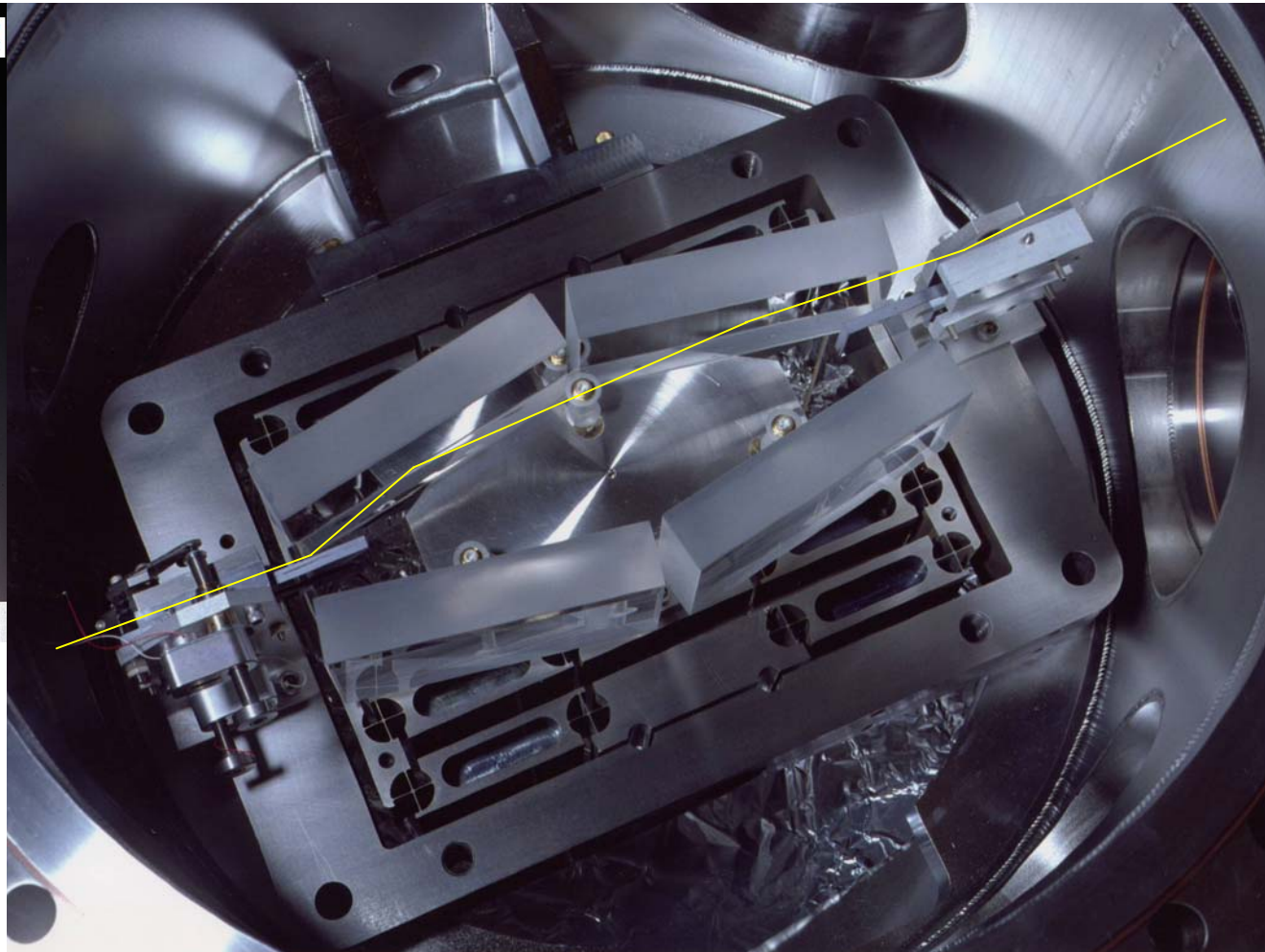
Foil stack dampers

Courtesy D.Shu APS Argonne





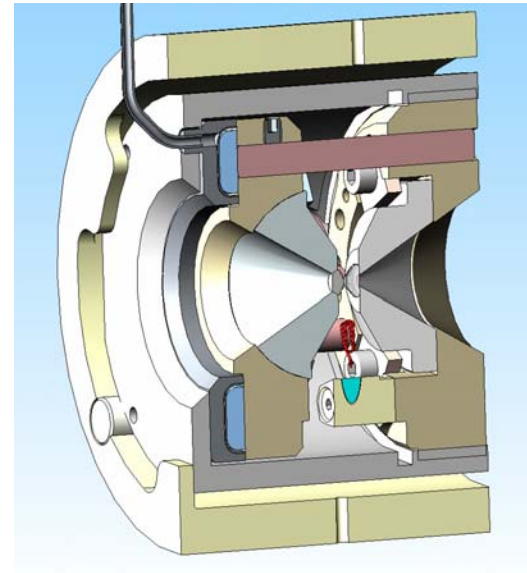
Cartwheel flex pivots design



Soft X-ray interferometer – Malcolm Howells ALS Berkeley

Chapitre 6: Proposition de liste pour les matériaux

- Les matériaux de structure
- Les matériaux de performance
- Les Céramiques et autres
- Les exotiques et polymères
- Les systèmes et composants



Une cellule haute pression haute température type Charvin - 1000°C - 10 GPa - 10⁻⁶ mb

- Diamant type IIa
- PER 72 - Joint Rhénium
- Inconel
- Vis Tantale
- Filaments Tunstène
- Inox
- Connecteurs ceramique
- Coating Dycronite

Thèse: S. Petitgirard
S. Paternak-E. Gaglardini-Y.Dabin-Sample env. ESRF

Liste des matériaux: Les matériaux pour structure de vide

Aciers Inox	Classe Type	Utilisation	Specificités
Inox Austénitiques	304L- <u>316L</u> -316LN	Structures et chambres à vide	Forgés ou laminés
Inox Durs	X6 CrNiMoCu 16-04-03	Pieces elastiques	F16Ph-Pre-traite
Cuivres et Al.			
Cuivres faiblement alliés	<u>CuOFE</u> - CuOFS - CuDLP - CuETP	Structures-cavites - Absorbours - Beamstop	Brasable - Soudable FE
Cuivres durs	<u>CuCr2</u> - Glidcop Al15 Al25	Absorbours Alliages durs et conductifs	
Bronzes (Cu-Sn-Be-Ni-Al)	CuB2 - CuSn9- <u>CuAl4</u> - Cu Ni6	Alliages durs pour pieces elastiques	Brasable pour CuSn Alliages PAN Tous les Monel
Alu et al.			
Alluminium et Al	<u>6061</u> - 5083 - 5754	Structures soudées (150°C max)	Etat T3 max -attention à la corrosion eau-air jamais anodisation
	2017A- <u>2024</u> - 7075	Pieces non-etanches (150° max)	Etat trempé ou T4-T6 jamais anodisation

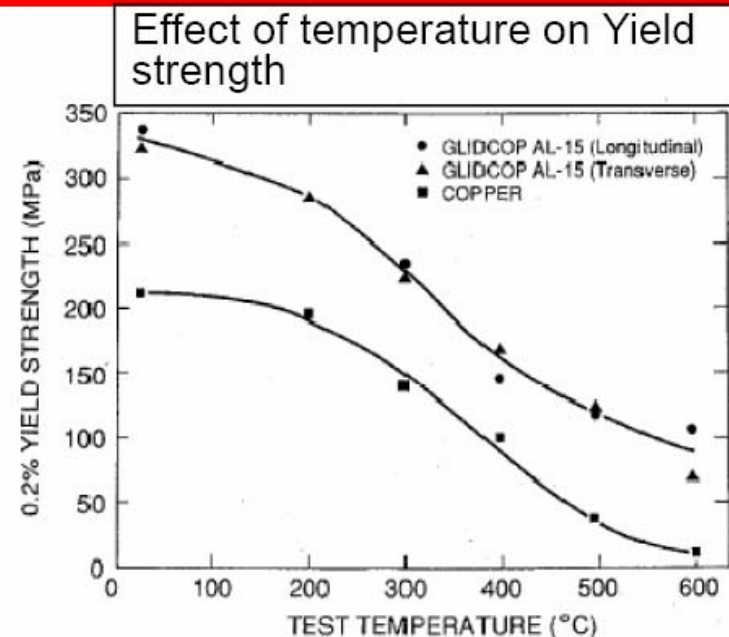
Il est très difficile à braser car il est formé à partir des poudres → Nombre de grains très élevé

Glidcop Al-15 versus OFHC

Thermo-mechanical properties@ 300 K

Properties	GlidCop® AL-15	OFHC copper
Thermal conductivity (W/mm °C)	0.365	0.391
Coefficient of thermal expansion (µm/m)	16.6	17.1
Yield strength (MPa)	331-350	195
Tensile strength (MPa)	413 - 483	250

{Ref: Troxell, J.D. Proc. IEEE Thirteenth Symposium on Fusion Engineering. 2 (1989):761-765.}



Ref: Miller, T.J., S.J.Zinkle, and B.A.Chin, J. Nuclear Materials. 179-181 (1991):263-266.

Glidcop Al-15 preferred choice for high heat load because of its superior yield and tensile strength. Strength retention at elevated temperature for Glidcop is better by a factor of 2.

Liste des matériaux : Les performances

Familles de matériaux	Classe Type	Utilisation	Spécificités
Tous les alliages de Nickel	Inconel etc...	Pièces élastiques membranes	Soudage difficile
Molybdène	TZM etc...	Haute tenue en Temp.	Plansee
Berillium	PF60	Thermique et transparence γ Miroirs	Brush wellman <u>Brasage très délicat</u> (sagem)
Invar Super Invar (Carpenter)	Fer Nickel 36% Fer Ni 32 Co 4,5	Trait Thermique: special process MIT: 830°C 30 min trempe 315°C 1h air cooled 95°C \geq 48h air cooled	Marque Imphy
Acier-cobalt (10-15%)	Pyrad - PER 72	1300°C élastique	Aubert-Duval (Trait-therm délicat)
Tungstène et al. (WC)		Beam stop (Electro-erosion)	Sandwick
Complexe Inox-Cuivre	Nobelclad	Absorbeurs soudés	Cartographie US Au préalable
Indium	Pur max 147°C	70 w/m°C contact métal	Presser initial 10bars + relax @ 4 bars-Goodfellow
Alliages de brasage sous vide	780°C -> 950°C	Fils insérés dans gorge Alliages ruban très délicats	Aussi alliages ABA pour couches d'oxydes (Wesgo)
Argent-Or	Feuilles	Métal contact	Pression très forte

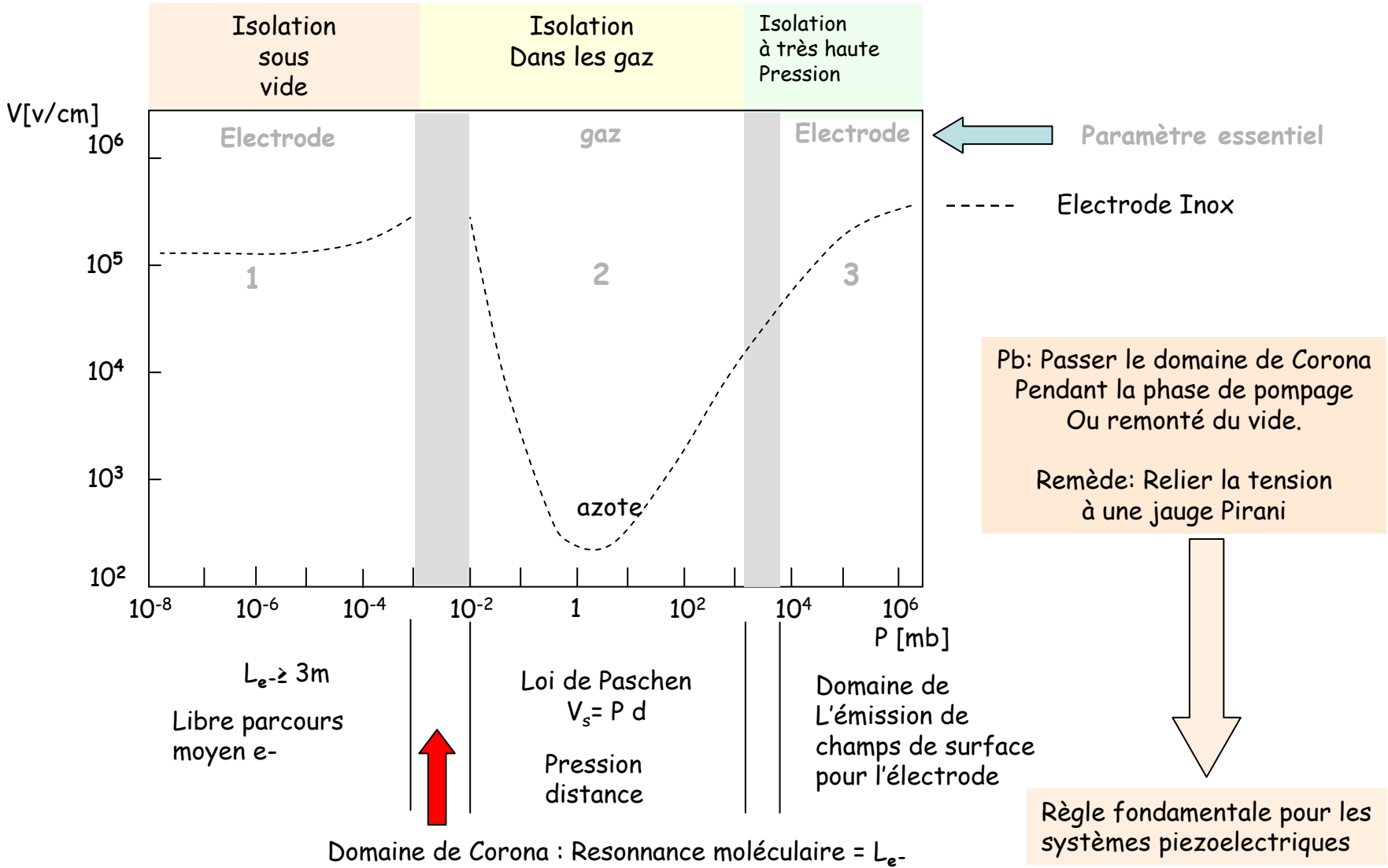
Ceramiques	Classe Type	Utilisation	Specificités
Alumine	Alpha (hexagonale) Cristaux ≤ 10 à $35 \mu\text{m}$	Isolateurs HF avec spec de pureté	Brasables - Si chambre faisceau chargé attention particulière a l'écoulement des charges électriques (coating Titane metal)
Nitrures de Bore	BN	Isolateurs thermiques	Contact: MSCE
Verre Ceramique	Macor	Usinable	$\leq 400^\circ\text{C}$
Saphir	Polycristallin Alumine cristallisée	Contact point dur- frottement	Plaques tronçonnées Usinage US
Graphite Pyrolytique		Cibles brasés sur cuivre	CEFILAC
Matériaux CVD			
SiC (CVD)	Polycristallin	Beam filters	Rohm et Haas
Diamant (CVD) Diamants type IIa (bulk)	Polycristallin	Beam sensors Pressés ou brasés (Molybdène)	Diamond-material.de Process JET
Silicium	Poly et Mono	Miroir-sensor	Lames et blocs

Liste des matériaux: Les Exo et polymères

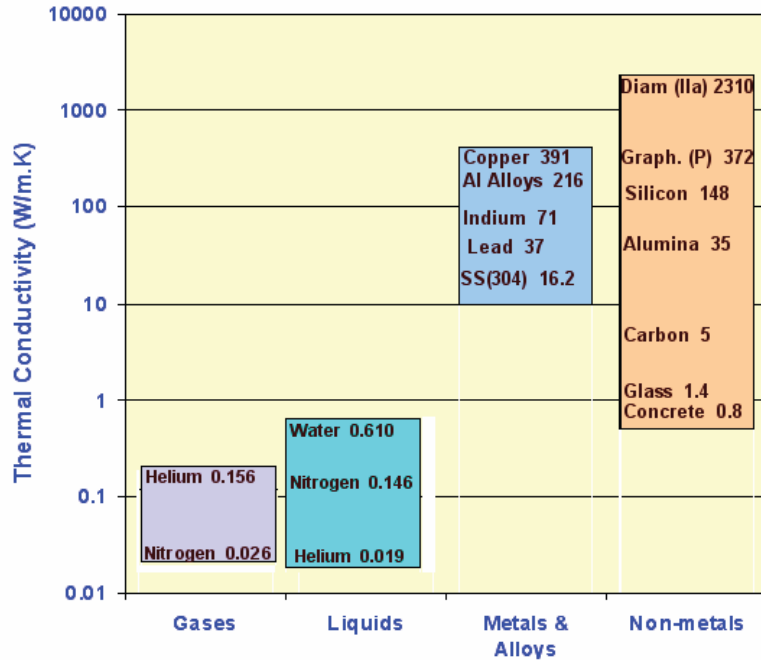
Exotique	Classe Type	Utilisation	Specificités
Eutectique Indium-Gallium		Contact thermique Metal conducteur K=70 w/m°C	werk Corrosion du cuivre Attaque violente de l'alu
Gallium	pur	Cooling	magnetique
Polymères			
Thermo-plastiques: aucuns n'est adapté au vide $\leq 10^{-6}$ mb			Grande quantité de vapeur d'eau
Thermo-ducissables Thermo set			
PEEK	VESPEL etc...	Pieces mecaniques Frottement correct	DSM Tres bonne tenue au rayons γ
	KAPTON	Fenetres	Dupont de Nemours Tres bonne tenue γ et radiatif
PAEK	KETRON	Pieces mecaniques	DSM Tres bonne tenue au rayons γ moindre que vespel
Resines			
Dexter Hysol 9309.3 NA		Collage Si / Invar Alu et Al	Gap calibré billes de verre 50 μ m
Revêtements et lubrifiants			
Graisse Krytox	Vide $\geq 10^{-8}$ mb	Varian	Sensible aux rayonnements -
Dycronite	WS2 coating 2 μ m	Friction $\mu=0,05$	Reseau Dycronite
LAM l'coat	Test de dégazage en cours	Friction $\mu=0,03$	Sofiplast

Composants	Type	Utilisation	Specificité
Actuateur piezo	High / low voltage	Deplacement avec résolution de qcq nm Course $\leq 100 \mu\text{m}$	Attention à sécuriser le passage du domaine de Corona Catalogue PI
Pico moteurs	Piezo basse tension Mouvement à reptation $P \geq 10^{-8}\text{mb}$	Résol $\geq 20 \text{ nm}$ Grande course Force $\leq 25\text{N}$	Step n'est pas constant •Possibilité de patinage •Catalogue New-Focus
Moteur électrique Sans balais	Stepper ou Brushless Préparé pour 10^{-9}mb	Mouvement avec puissance. Attention à montée en temp. si long.	Catalogue: •Phytron •Faulhaber
Sinon: Moteur encapsulé	Moto-réducteur ARSAPe ou Faulhaber	A concevoir selon l'application	"cordon ombilical" avec test Helium accessible. Effet de fond (poussée atmosphérique)
Capteur capacitif		Résol= 5nm Cable très délicat Course $100 \mu\text{m}$	Catalogues: LION -PI-FOGAL
Sinon: Interférométrie	Tête différentielle Dans l'air: 1 bras pour cible extérieure 1 bras pour cible sous vide (hublot)	Resol: 20 nm Grande course	Catalogue: RENISHAW

Le passage du domaine de Corona

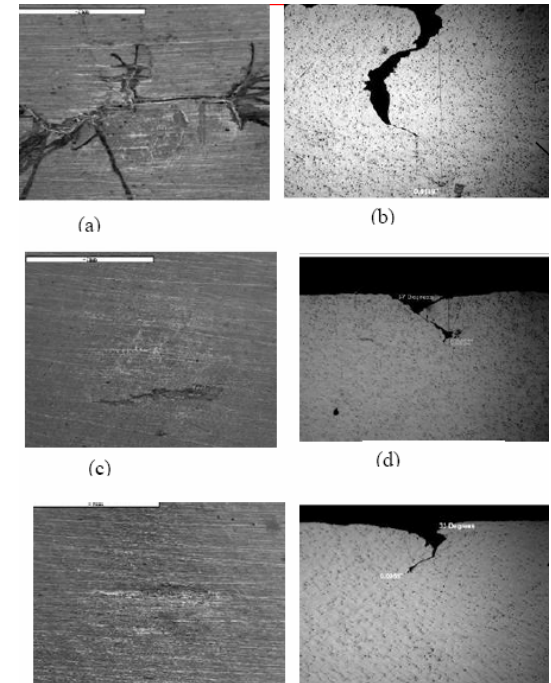


Source: F. Rohrbach - L'isolation sous vide



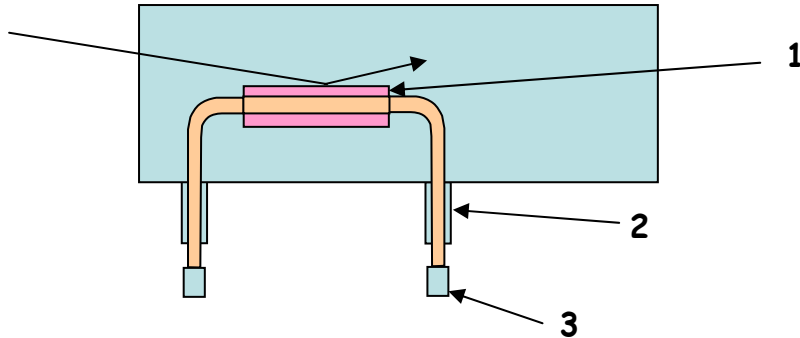
Material	k (W/m.K)
Diamond (Type IIa)	2310
Silver	419
Copper (oxygen free)	391
Glidcop (AL-15)	365
Gold	298
Beryllium Copper	260
Aluminum Alloys (6000 series)	216
Tungsten	167
Silicon (single crystal)	140
Indium	70.1
Silicon Carbide (CVD)	67
Carbon steel (ASTM A36)	46.7
Titanium	22
Stainless steel (304)	16.2
Inconel (625)	9.8
Zerodur	1.6
Concrete	0.8

- Les échanges de chaleur
- La convection hydraulique - optimisation
- Le heat transfer inhancement - Methode Jeff T. Collins APS
- Le contact thermique et la résistance de contact
- La corrosion sous faiceau: l'hydraulise



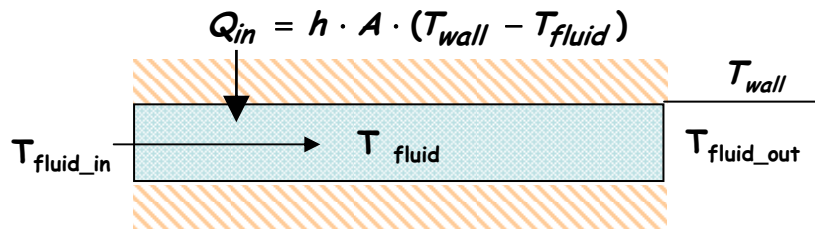
La fissuration par
Fatigue sur les absorbeurs
Synchrotrons
Medsi 08- Ravindranath
High heat load for NSLS-II

Process de refroidissement sous vide



Technologies:

1. Techno de brasage grande conductivité
2. Techno de traversée soudée
inox/inox - Alu/Alu-inox/Cu
3. Techno de raccord inox/Cu -
Inox/inox



$$Q_{in} = h \cdot A \cdot (T_{wall} - T_{fluid})$$



$$Q_{out} = \phi \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{fluid_out} - T_{fluid_in})$$

Regime permanent: $Q_{in} = Q_{out}$

$$Q = Q_{in} = Q_{out} = \left[1 - e^{\frac{-\pi \cdot L \cdot h}{\phi \cdot \rho \cdot C_p}} \right] \cdot \phi \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{wall} - T_{fluid_in})$$

Avec:

Q_{out} chaleur échangée (w)

ϕ Débit fluide (m³/s) ($\phi = V \cdot A$ Vitesse \times section)

ρ Masse volumique fluide (Kg/m³)

C_p Chaleur massique du fluide (J/Kg.°C) - ($C_{p\text{ eau}} = 4184$ J/Kg.°C)

T_{fluid} Moyenne température fluide entrant/sortant (°C)

L Longueur du circuit (m)

h Coefficient de convection (film coeff.) w/m²/°C

← Paramètre le + important

Il faut assurer h tel que: $10000 < h_{w/m^2 \cdot ^\circ C} < 30000$ \longleftrightarrow Nusselt, Reynolds, vitesse fluide

Relations décrivant le film de convection:

Seider-Tate (Turbulent) :

$$Nu = 0,028 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\mu}{\mu_w}^{0,14}$$

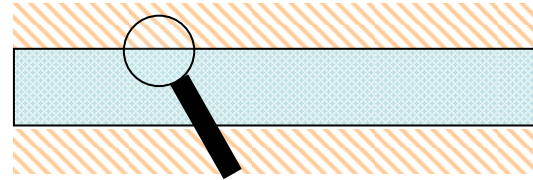
Petukhov (Turbulent) :

$$Nu = \frac{\frac{f}{8} \cdot Re \cdot Pr}{1,07 + 12,7 \cdot \sqrt{\frac{f}{8}} \cdot (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)} \cdot \left[\frac{\mu}{\mu_w} \right]^n$$

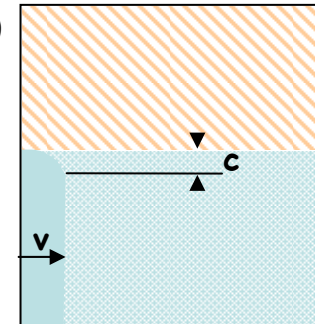
$$\text{Nusselt} : Nu = \frac{h \cdot D}{k_f}$$

$$\text{Prandl} : Pr = \frac{C_p \cdot \mu_f}{k_f}$$

$$\text{Reynolds} : Re = \frac{G \cdot D}{\mu_f}$$



C= Couche limite (Boundary film)
V=Vitesse locale fluide (m/s)



f= Facteur de perte par frottement

$$f = [1,82 \cdot \text{Log}_{10} Re - 1,64]^{-2}$$

D: diamètre hydraulique ($D=4S/P$) (m)

k_f : Conductivité du fluide (w/m °C)

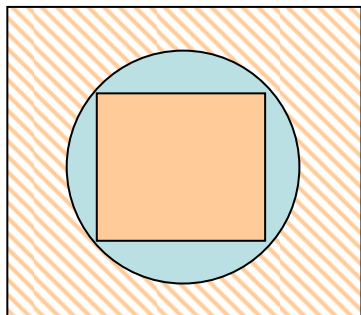
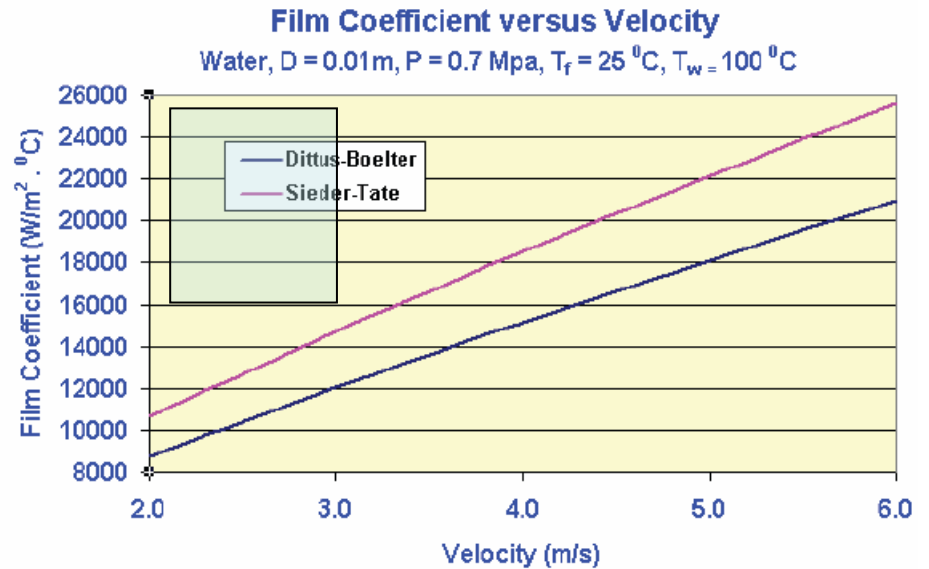
μ_f : Viscosité cinématique (m²/s)

G: debit massique (Kg/s)

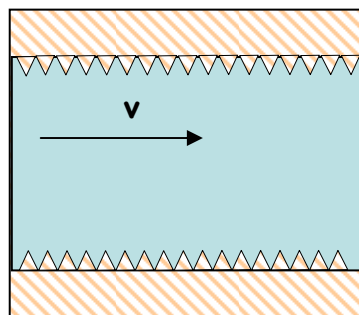
Turbulence améliorée dans la zone du process !

➔ choisir des petits-canaux (...micro-)

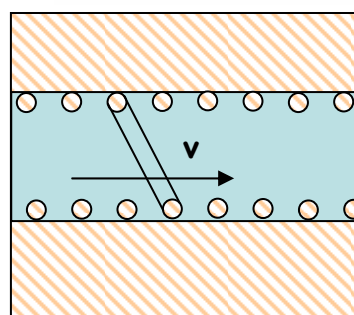
➔ Choisir des systèmes à turbulence améliorée (enhanced heat transfer)



Insert rigide



Canal taraudé
(attention au h!)



Inhancement coil (copper)
(APS-Argonne)

↑ Risques de cavitation
Vibration
Débits élevés (pompe)
Grand ΔP (court circuit)
Effets de fond (reactions)

Wire Coil Inserts



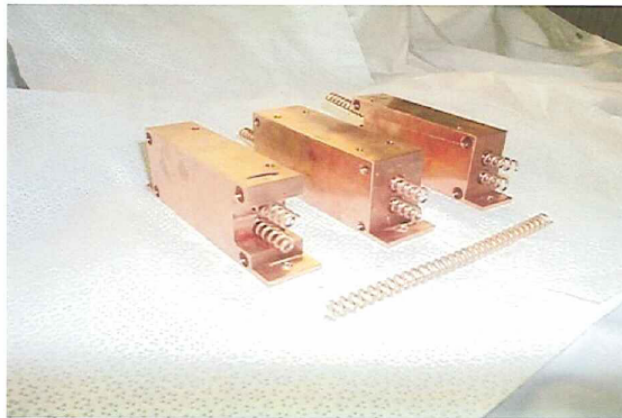
Advanced Photon Source

Argonne

Jeff T. Collins

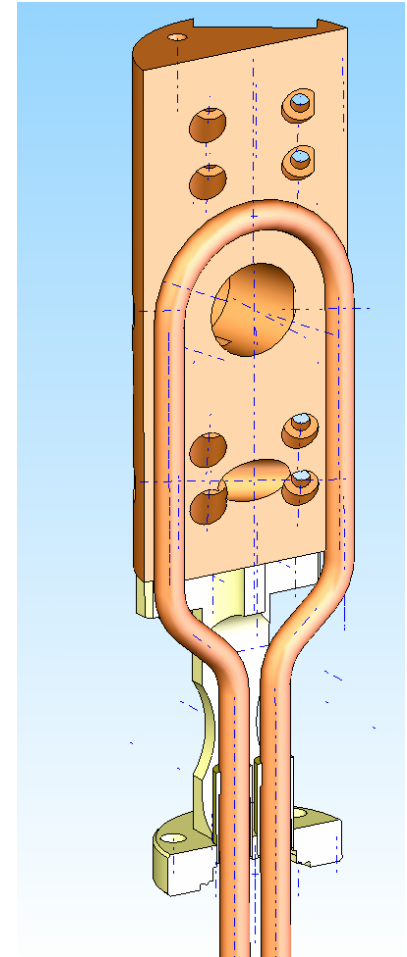
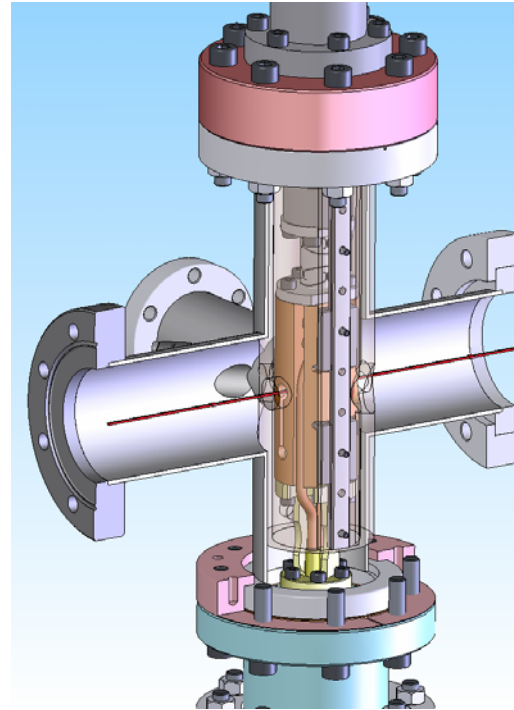
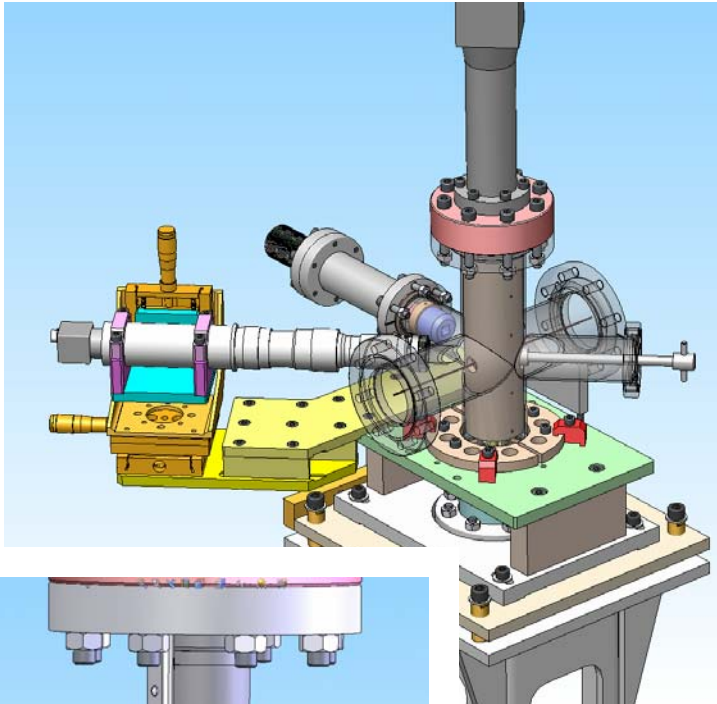
Ils produisent une augmentation du coeff de convection par un facteur 4 sans affecter sensiblement la chute de pression

D = Tube I.D.
 P = Coil Pitch
 e = Wire Diameter

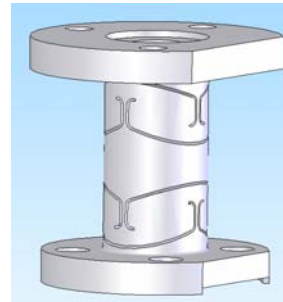
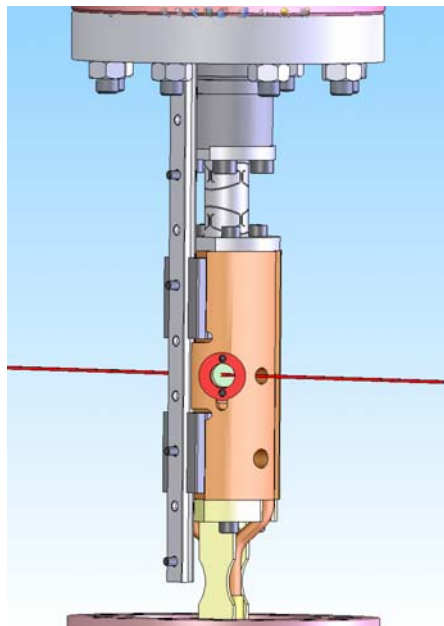


JF.Collins: Heat transfer optimization for APS high heat load / flux components
MEDSI 2002-2004

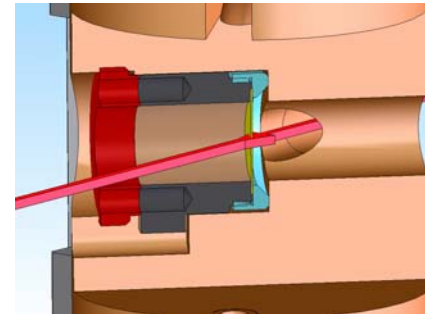
Un Beam position monitor Diamond foil - 10^{-9} mb - ESRF



Circuit d'eau continu

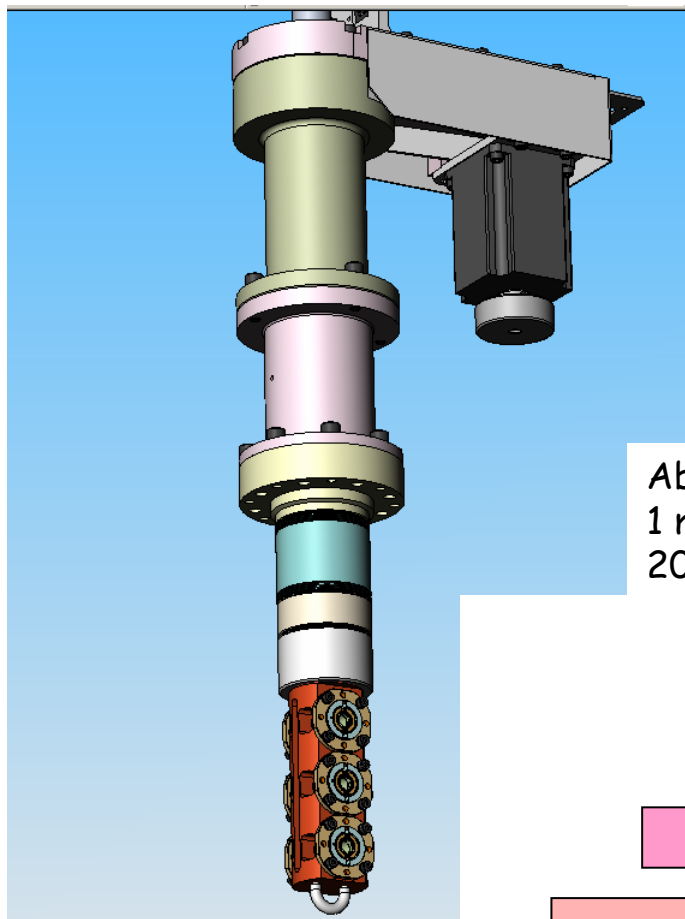


Découplage des
Éléments de guidage
Rotule UHV



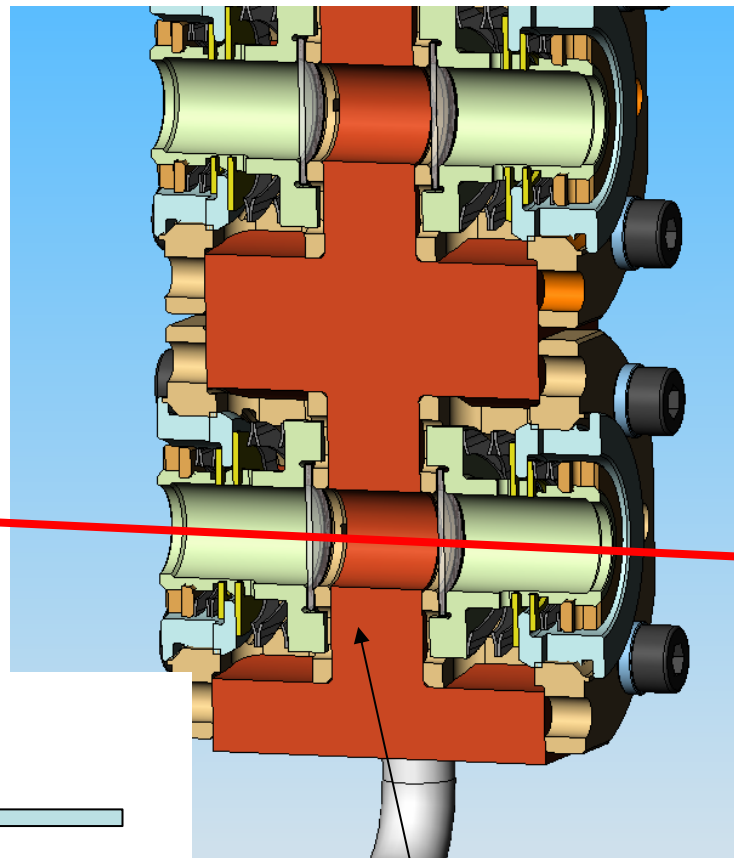
Diamant comprimé

Diamond filters: Each foils can remove about 70 watts from the beam

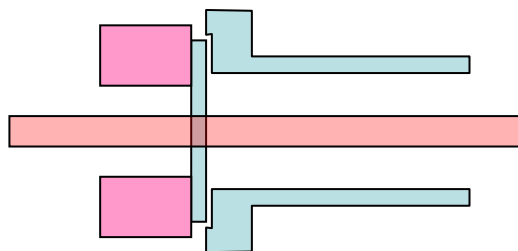


Diamond "racket" with 2x3 holding places

About 1 mm² beam
200 Watts

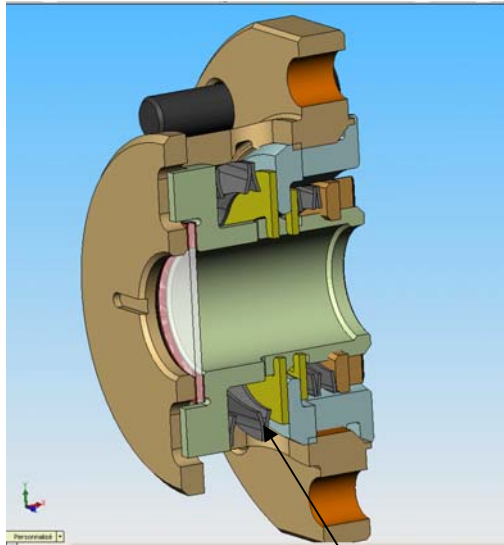


Cooling channels in that area



Diamond plate compressed 10 bars

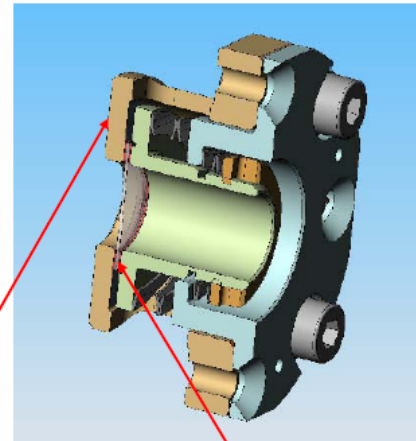
L. Eybert - Y. Dabin



Diamond "cassette"
Showing the D_plate(300µm thick)
Compressed between indium foils

Free guided piston spring loaded

HPDA – Thermal calculations:



$$A2 = \text{diam. } 23 \cdot 8 = 36.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Thermal contact resistance =
R2 = 10⁻⁴ or 10⁻⁵ degC*m²/W with In. foil 0.2 mm

$$A1 = \text{diam. } 12 \cdot 8 = 6.28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Thermal contact resistance =
R1 = 10⁻³ or 10⁻⁴ degC*m²/W without In. foil

$$\Delta T1 = R1 \cdot P / A1$$

P (W)	30	30	80	80
R1	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻⁴
ΔT1 Deg C.	477	47	1270	127

$$\Delta T2 = R2 \cdot P / A2$$

P(W)	30	100
R2	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵
ΔT2 Deg C	9	28

	Diamond C = 1800 W/m.K Tmax = 1000 deg C Tf = 3500 deg. C	Aluminium C = 230 W/m.K Tf = 660
P = 30 W	Tmax = 50 deg. C	Tmax = 200 deg. C
P = 80 W	Tmax = 90 deg. C	Tmax = 480 deg. C

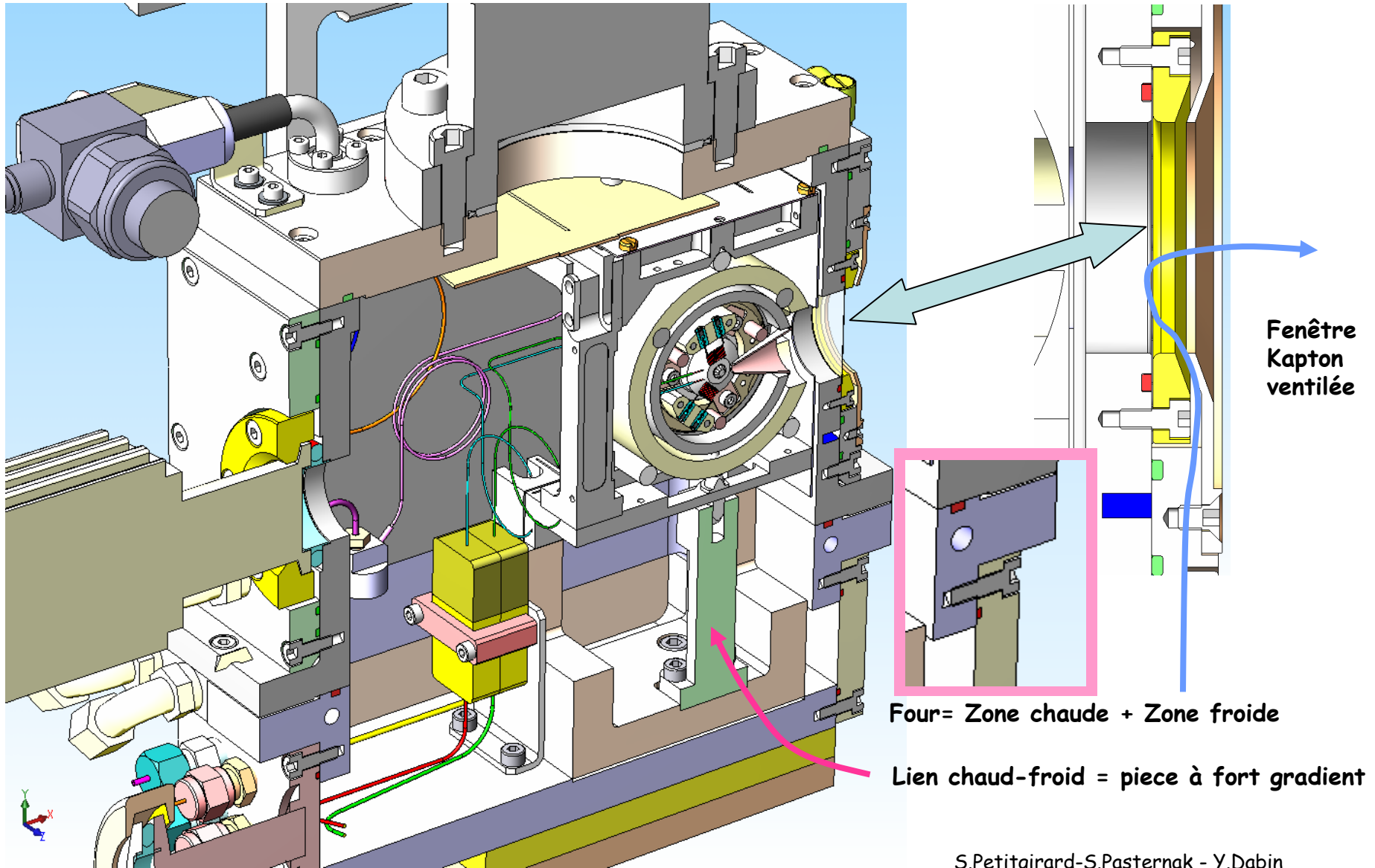
$$\Delta U = R \cdot I$$

$$\Delta T = R_{th} \cdot Q$$

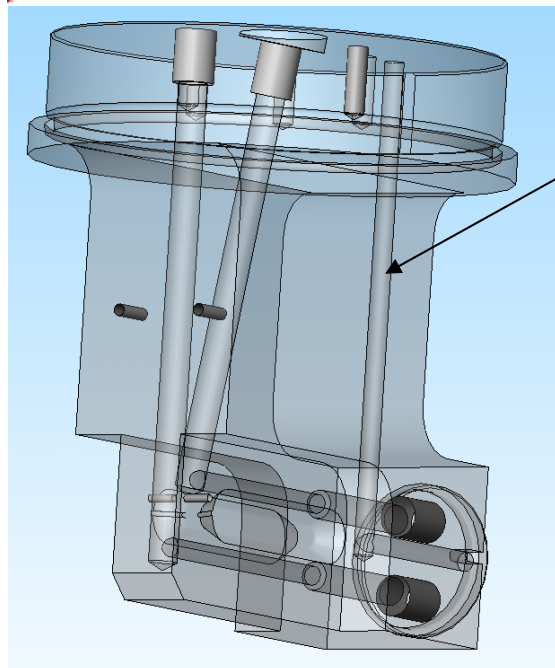
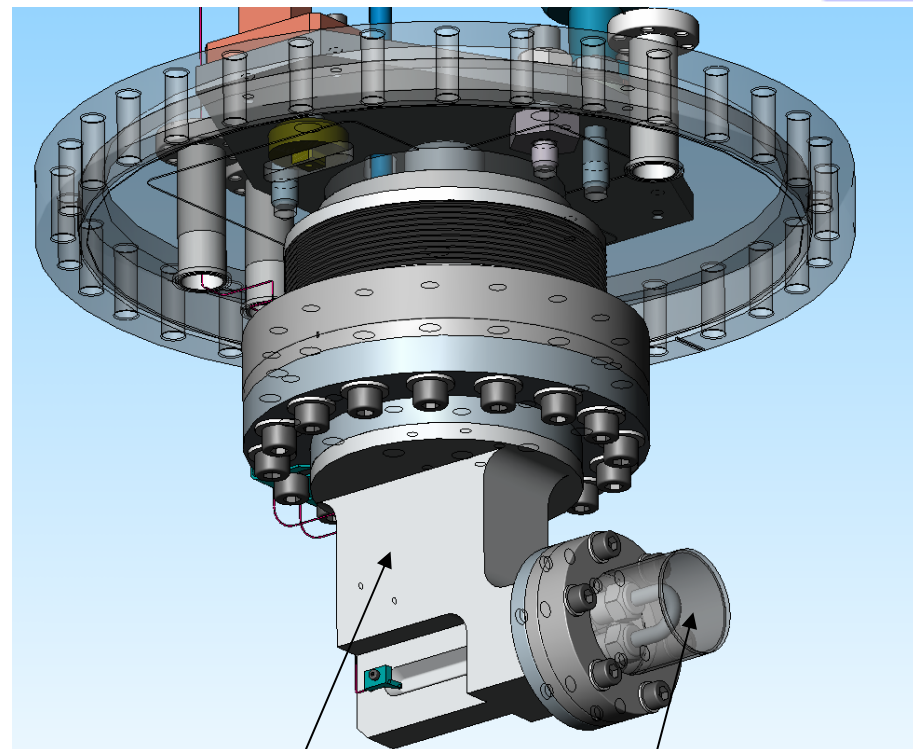
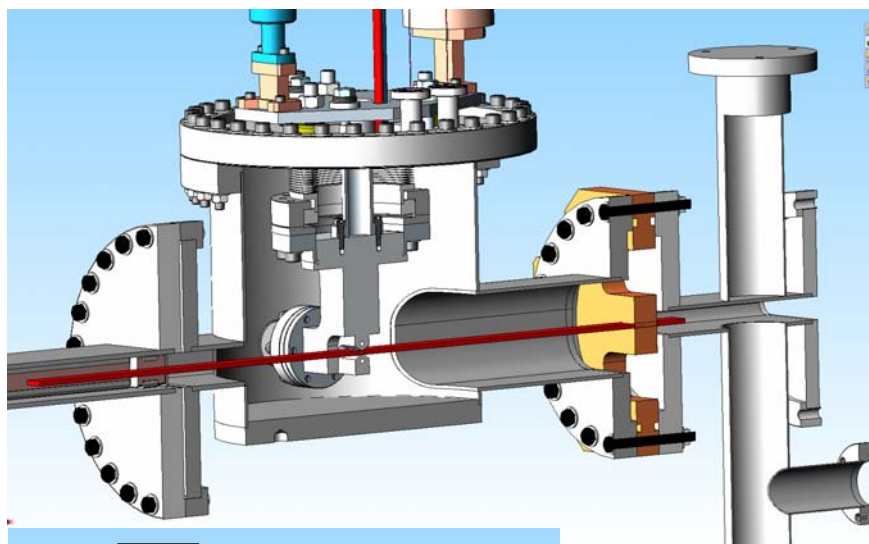
$$\Delta T = R_{th} \cdot \frac{Q}{A}$$

Pour la conduction thermique :

$$R_{th} = \frac{x}{k} \quad \left[\text{°C m}^2 / \text{w} \right]$$



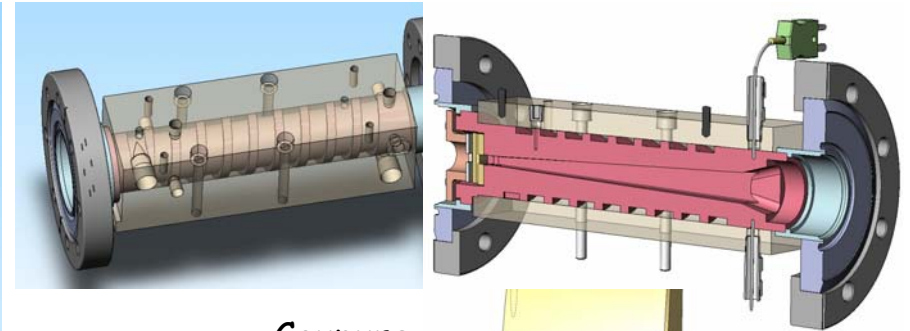
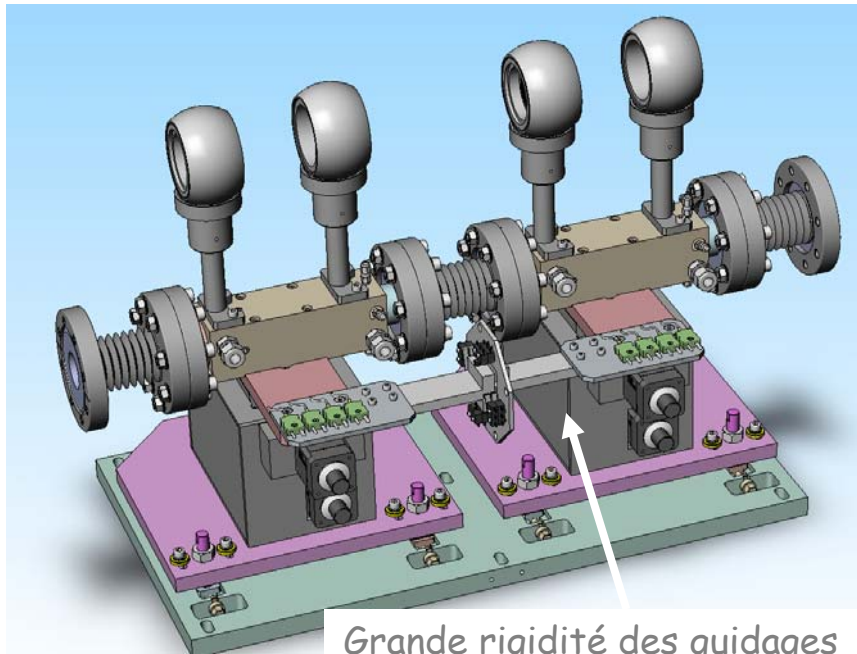
S.Petitgirard-S.Pasternak - Y.Dabin



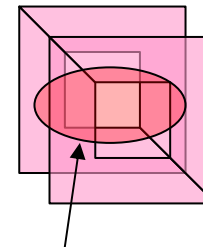
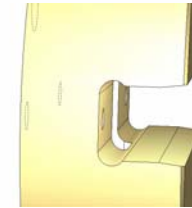
He test channel

6061 cooled block
4 mm thick

Encapsulated
Water U turn



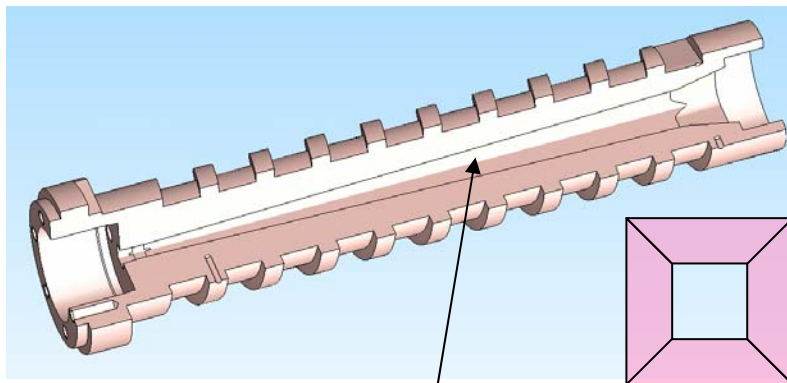
Coupe
Finale
tungstène

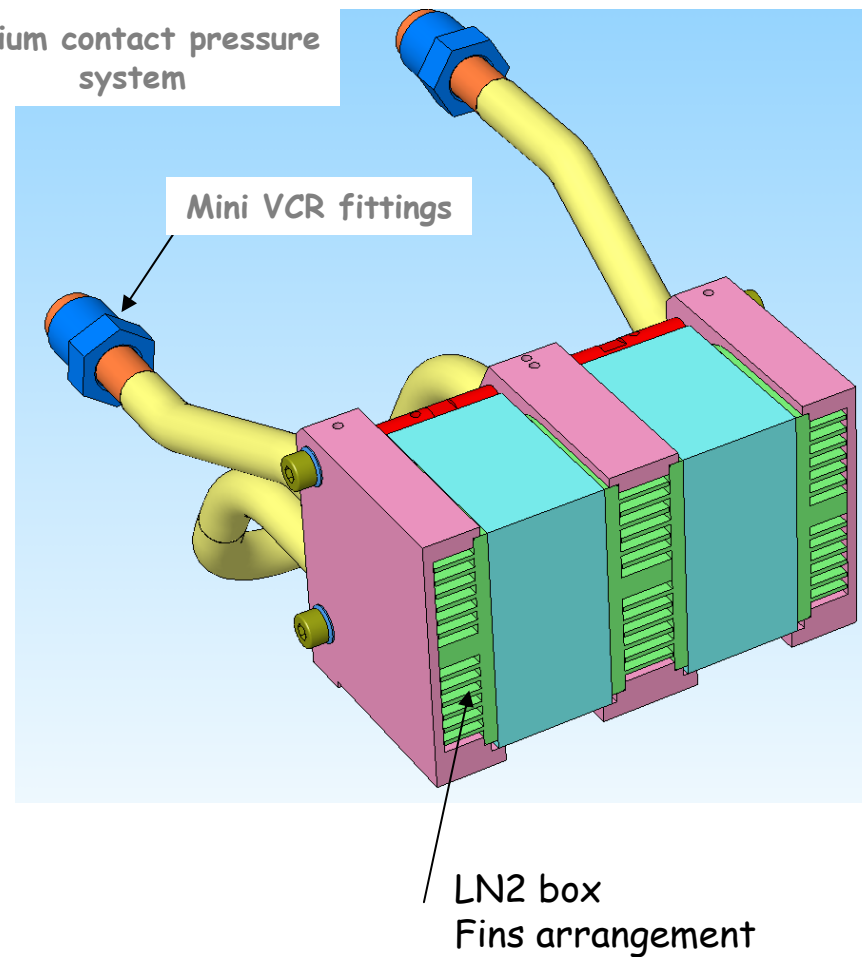
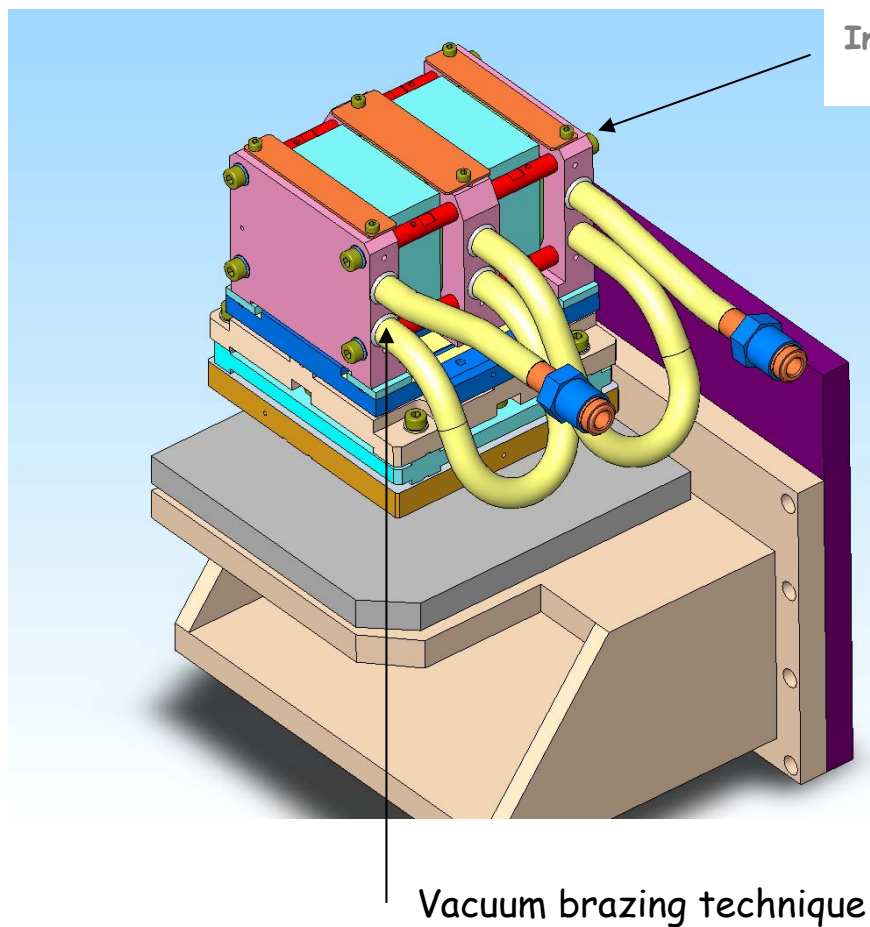


400w

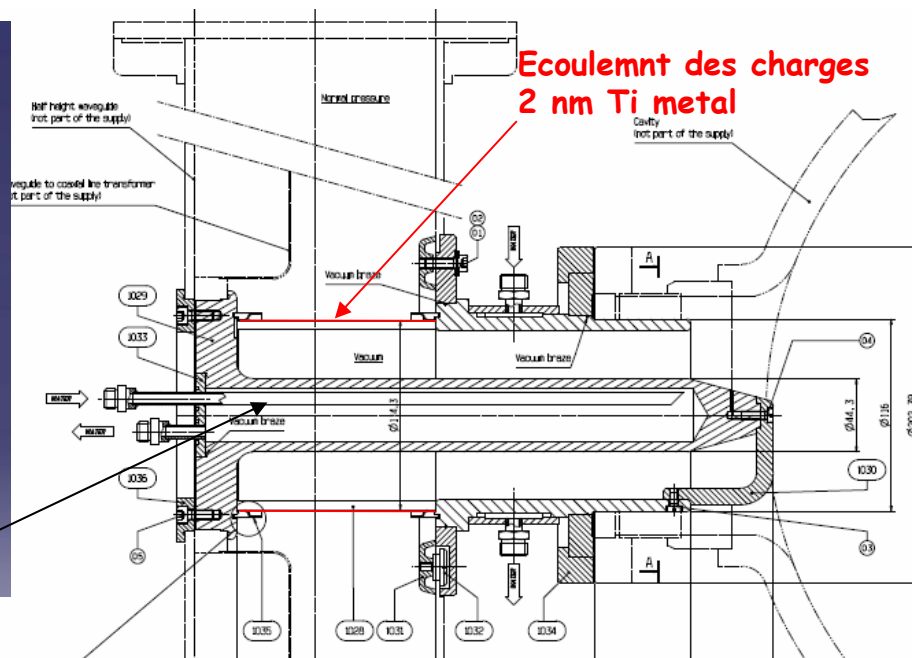
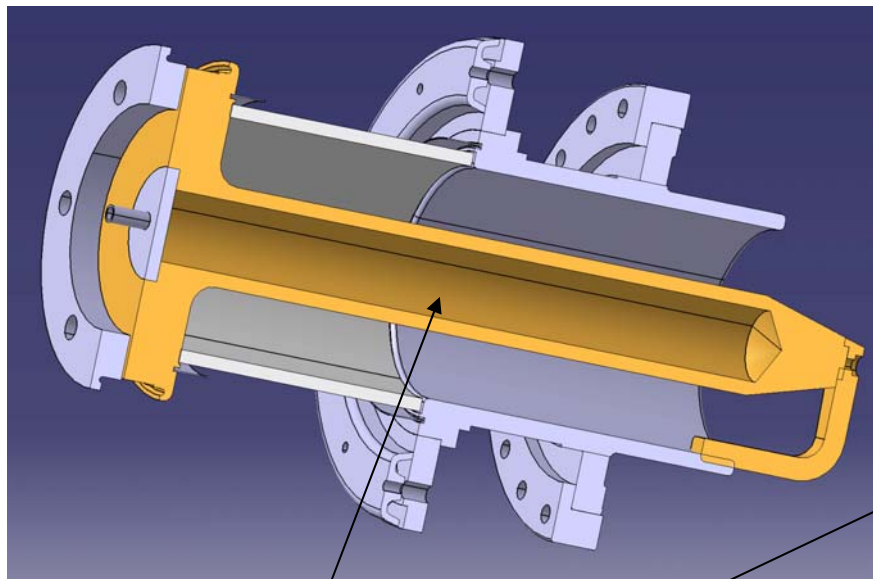
Faisceau onduleur: 400 w/mm²
P totale: 1Kw

Precision: $\pm 1\mu\text{m}$ y compris la déformation thermique
des couteaux (tungstène)





LN2 leaks → GN2 pressure rise → safety flap



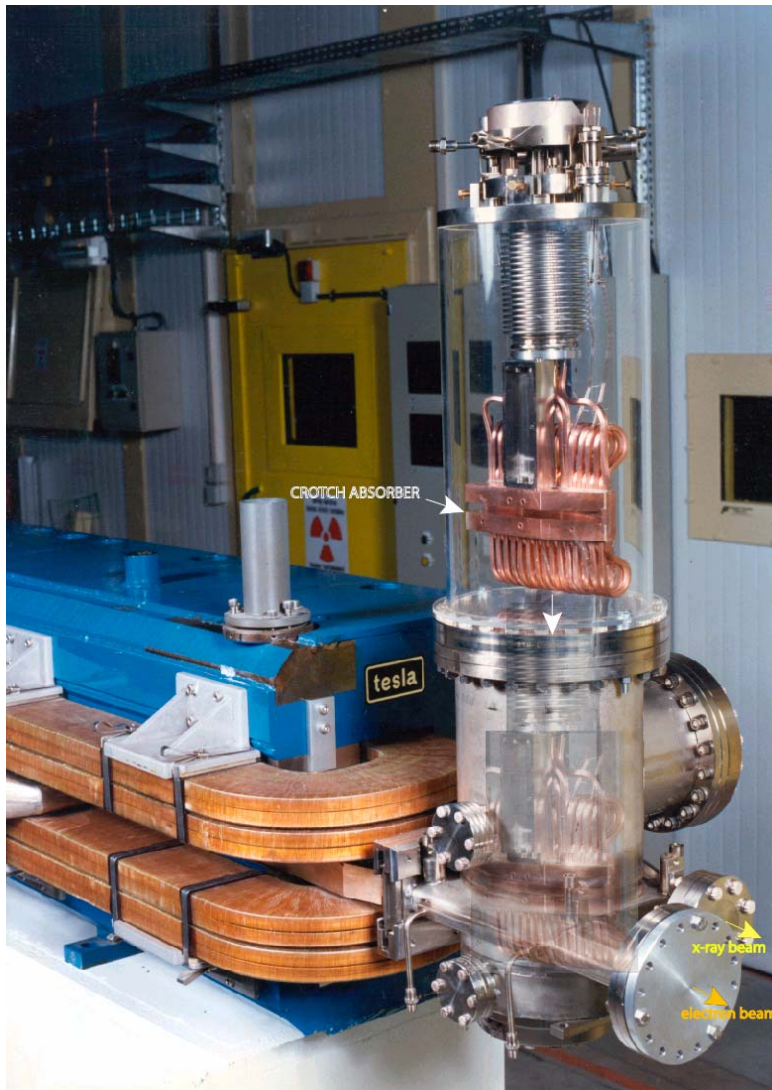
Ame coaxiale creuse refroidie

C'est un parcours de trajectoires en "flux libre" → points chauds

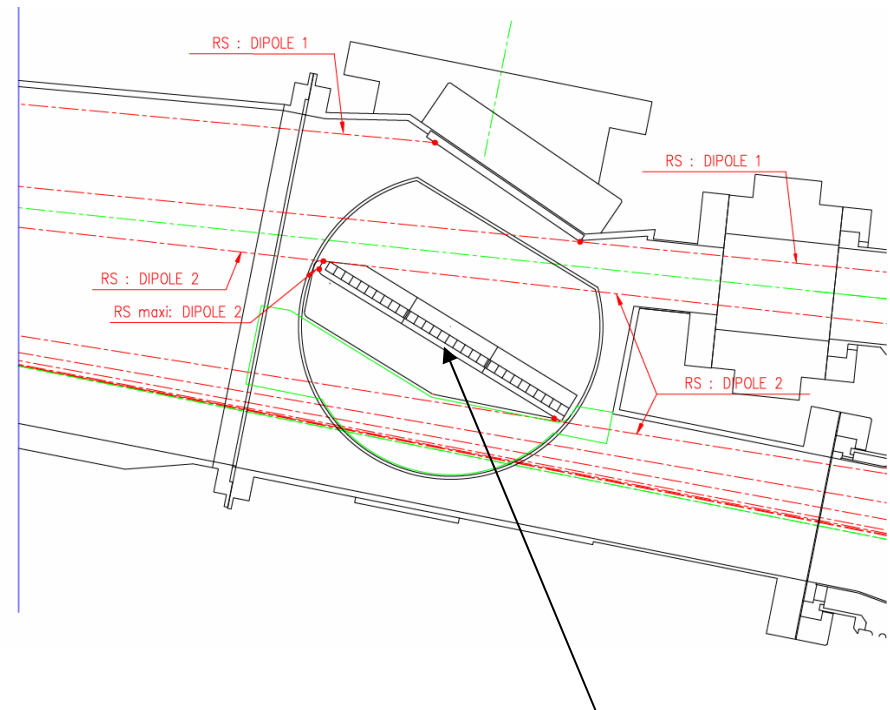
Beaucoup de systèmes thermiques
Fonctionnent sans optimisation:

On ne change pas une solution qui marche

La difficulté des céramiques est plus souvent
Dans le vieillissement de la couche resistive
(Ti sputtering)
Cette couche s'oxyde dans le temps TiO_2



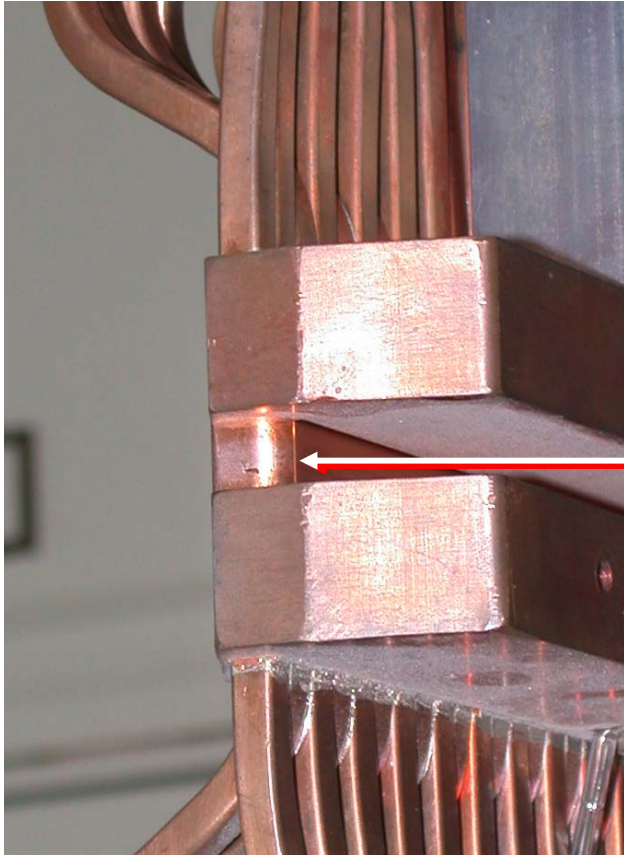
ESRF Crotch absorbers version 1990



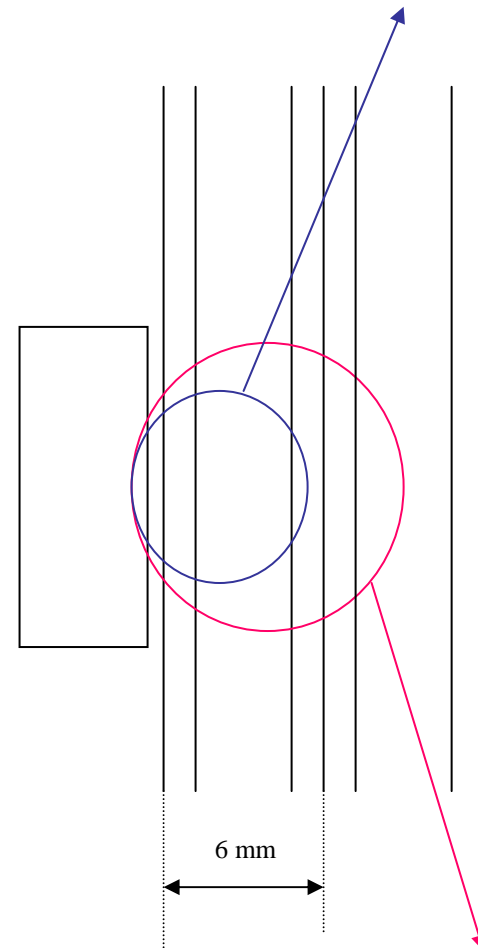
Plan incliné à 30° nappe de tubes jointifs
Perpendiculaire au faisceau X:

Pb : l'eau croise le faisceau

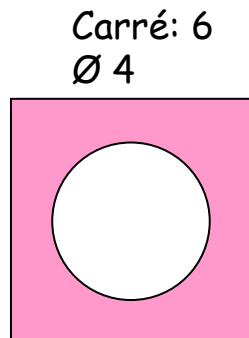
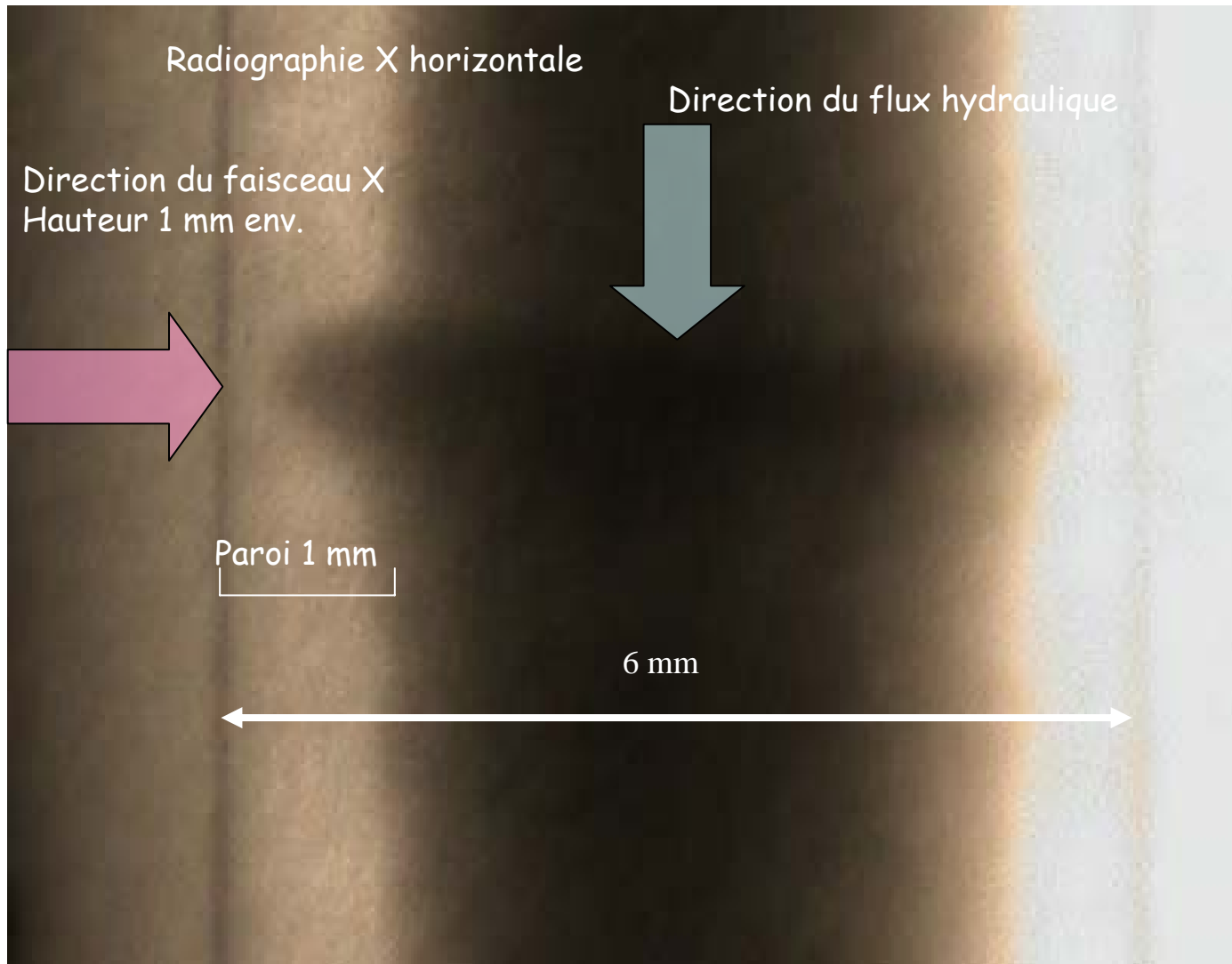
Montage: JC Biasci ESRF



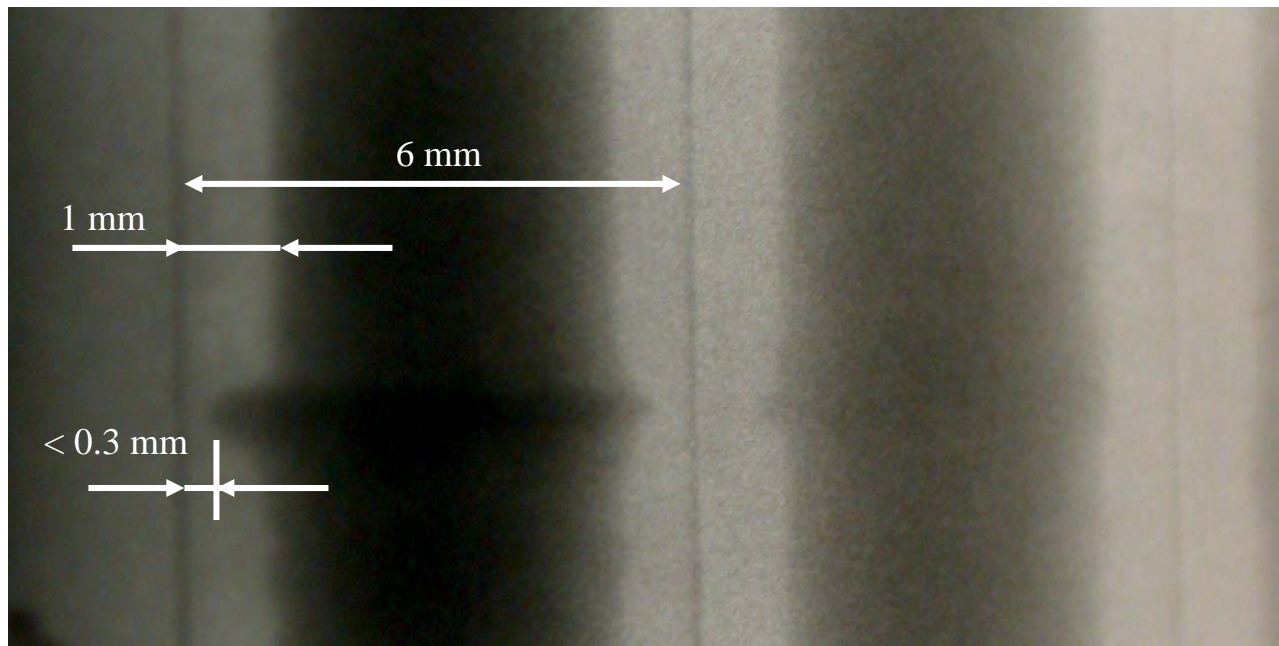
Detail slide 3



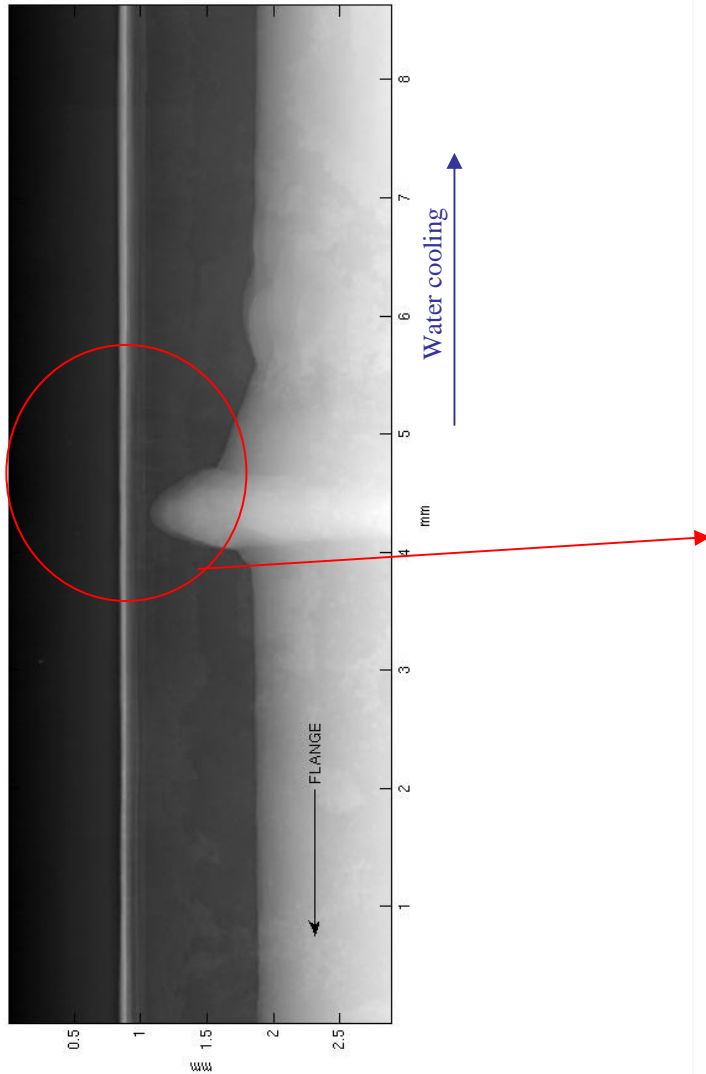
Detail slide 4



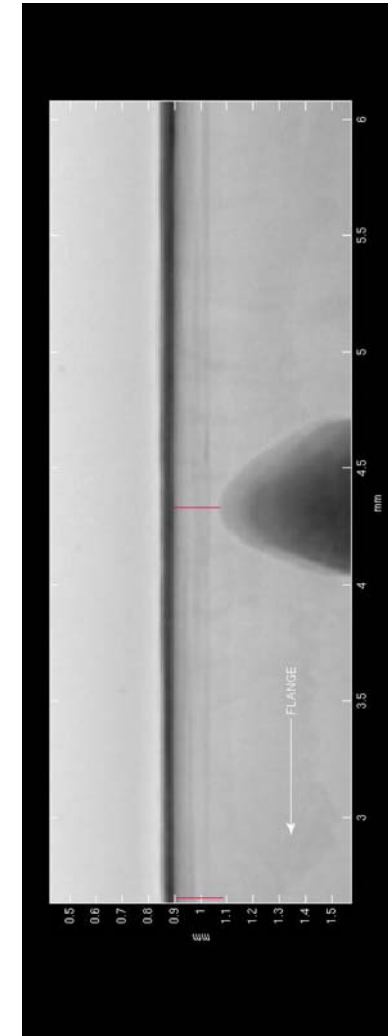
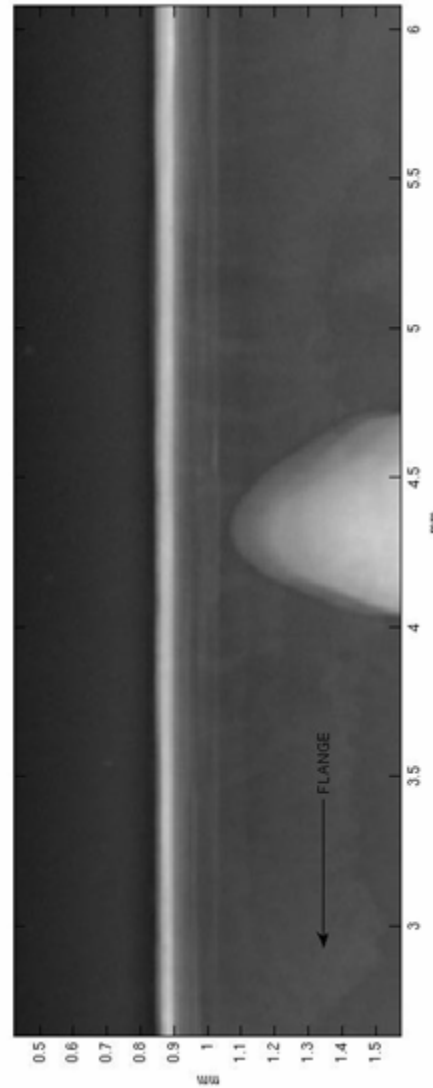
12 ans de fonctionnement: 6000 h/an 10^{22} Ph/s/mm² 20 Kev
Attaque ozone O³ et ionique O⁻



Coupe metallographique 2005

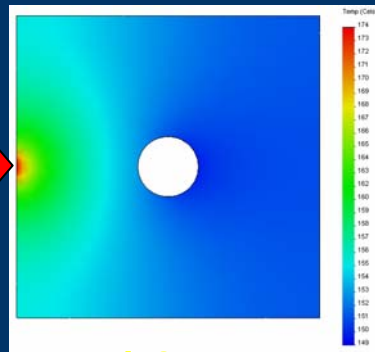


Magnified detail

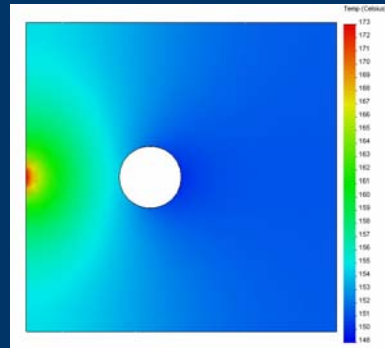


Distance optimale des circuits d' eau

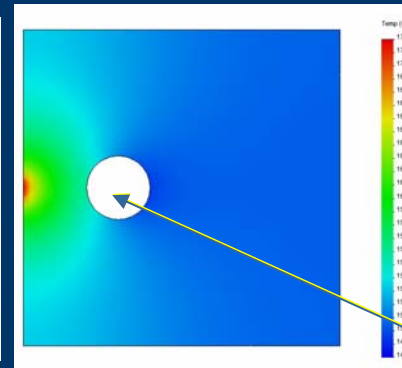
Cartes de temperature pour une distance variable de conduction



d=8mm

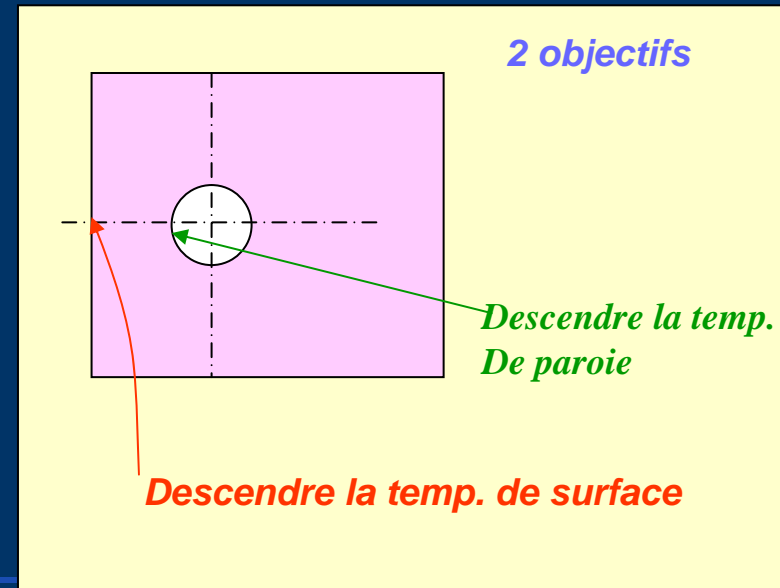
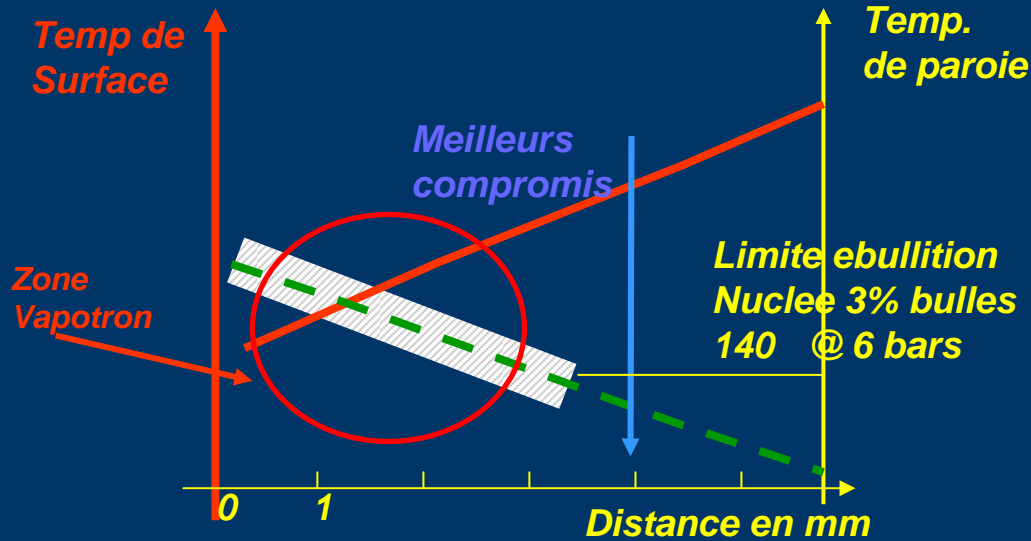


d=6mm



d=4mm

$h \text{ constant} = 10000 \text{ w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$



La fatigue thermique

