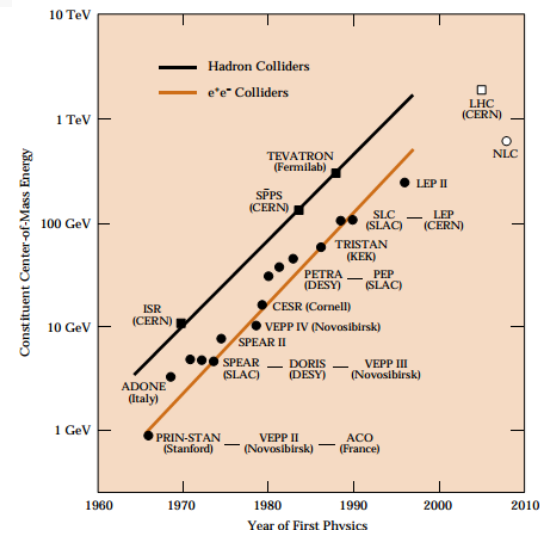
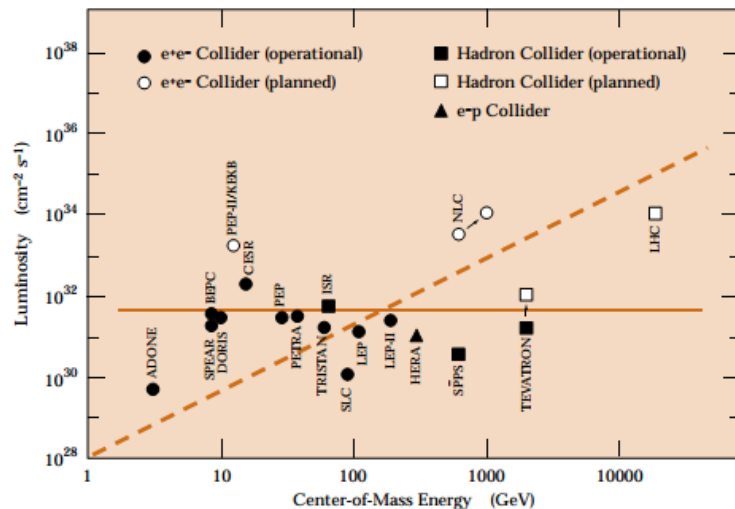
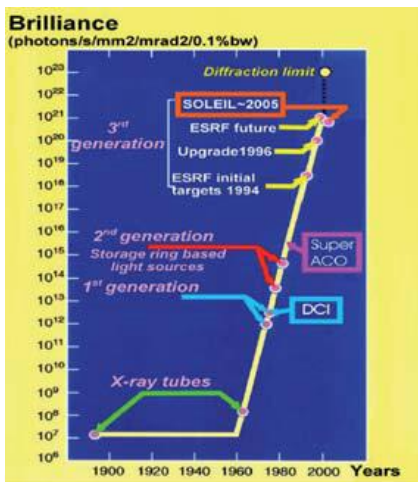


Les dépôts NEG et le rayonnement synchrotron

C. Herbeaux
Synchrotron SOLEIL

- ❑ L'évolution du pompage vers l'utilisation des dépôts NEG
- ❑ Comportement du NEG avec le rayonnement synchrotron
- ❑ Des problématiques liées à l'utilisation du NEG : quelques exemples à SOLEIL
- ❑ Conclusions et recommandations liés à l'expérience

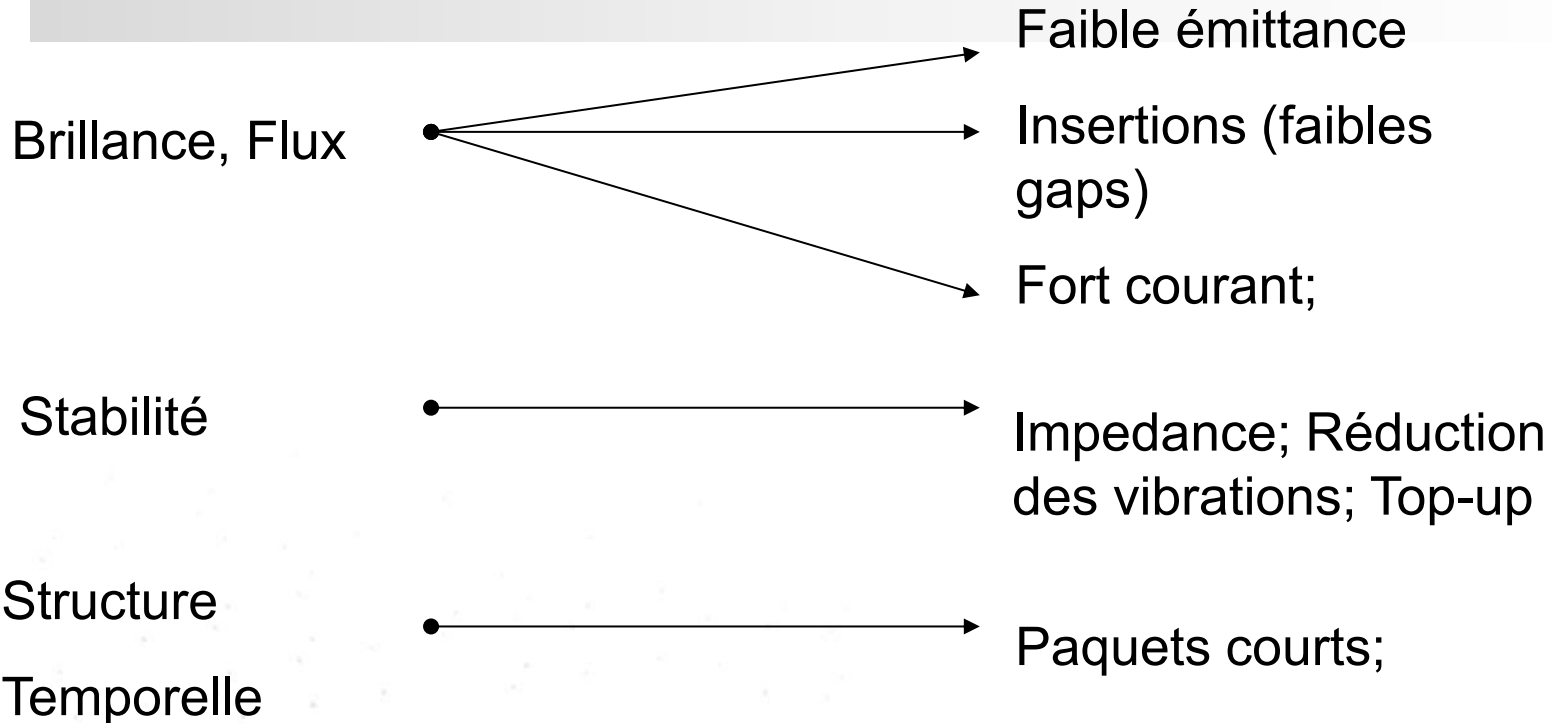
Evolution des performances des accélérateurs



La recherche de performances toujours meilleures des accélérateurs a des conséquences sur les technologies de vide utilisées

Le plus souvent des conditions d'ultravide sont requises ($P < 1 \cdot 10^{-9}$ mbar)

Les performances recherchées



Améliorer les performances a des impacts directs ou indirects sur les systèmes de vide des accélérateurs.

Le plus souvent on sera en condition d'ultravide $P < 10^{-9}$ mbar

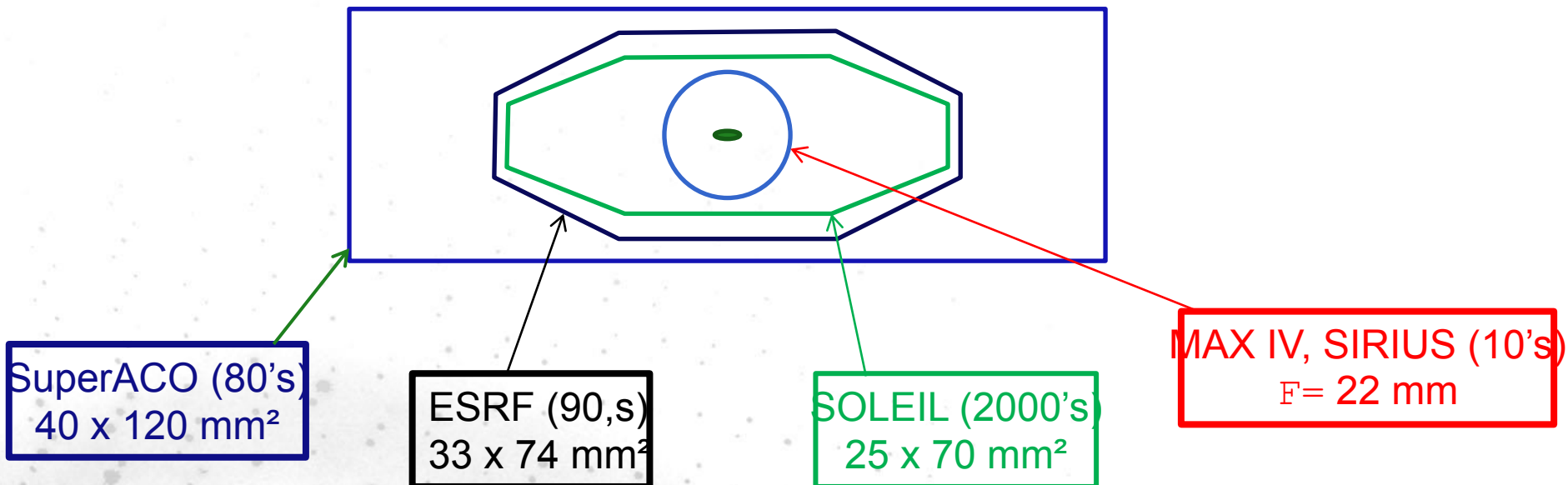
Impédance du système de vide minimisée

Forte focalisation : cercle de gorge d'aimant réduit

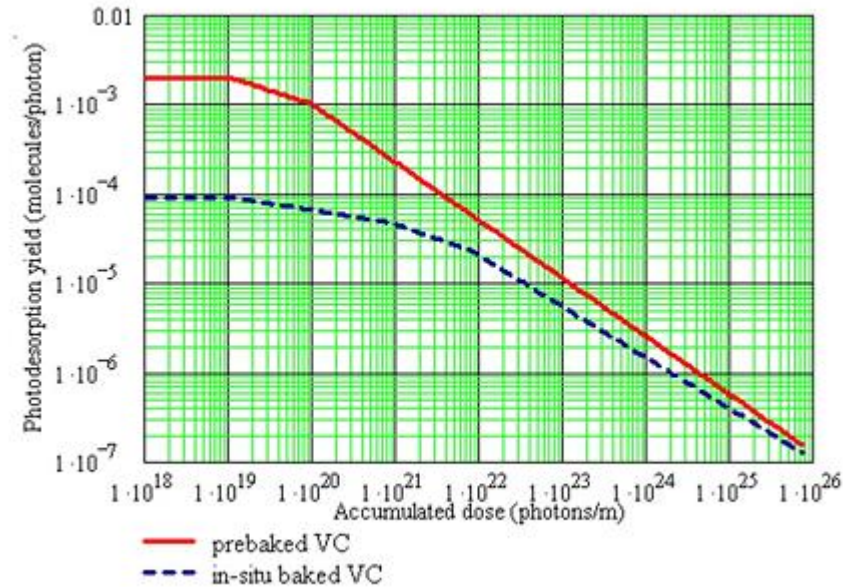
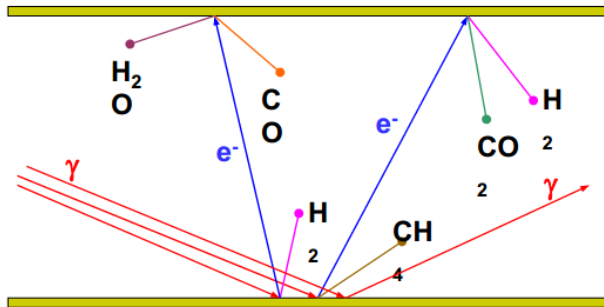
Evolution des dimensions des chambres à vide des sources de rayonnement synchrotron

Les dimensions des chambres à vide sont contraintes par les performances attendues du faisceau notamment par le système magnétique:

- Forte focalisation donc cercle de gorge réduit
- Faible distance entre les aimants.



La photodésorption



$$\eta = \eta_0 \left(\frac{D_0}{D} \right)^\alpha, \quad 0.65 < \alpha < 1$$

Les photons incidents sur les parois de la chambre à vide génère l'émission de photo-électrons qui lorsqu'il atteignent à leur tour la paroi provoquent la désorption de molécules de gaz et/ou la génération de nouveaux électrons.

Cas d'un système linéaire (accélérateur)

On résout l'équation différentielle pour laquelle les conditions aux limites sont :

En $x=0$ $P(0)=Q(0)/2S$ et $Q(0)=2LqA$

En $x=L$ $\left[\frac{dP}{ds} \right]_{x=L} = 0$

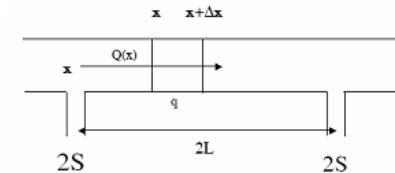


On obtient une distribution parabolique de la pression:

$$P(x) = Aq \left(\frac{2Lx - x^2}{2c} + \frac{L}{S} \right)$$

La pression moyenne vaut : $P_{moy} = Aq \left(\frac{L^2}{3c} + \frac{L}{S} \right)$

La pression max vaut : $P_{max} = Aq \left(\frac{L^2}{2c} + \frac{L}{S} \right)$

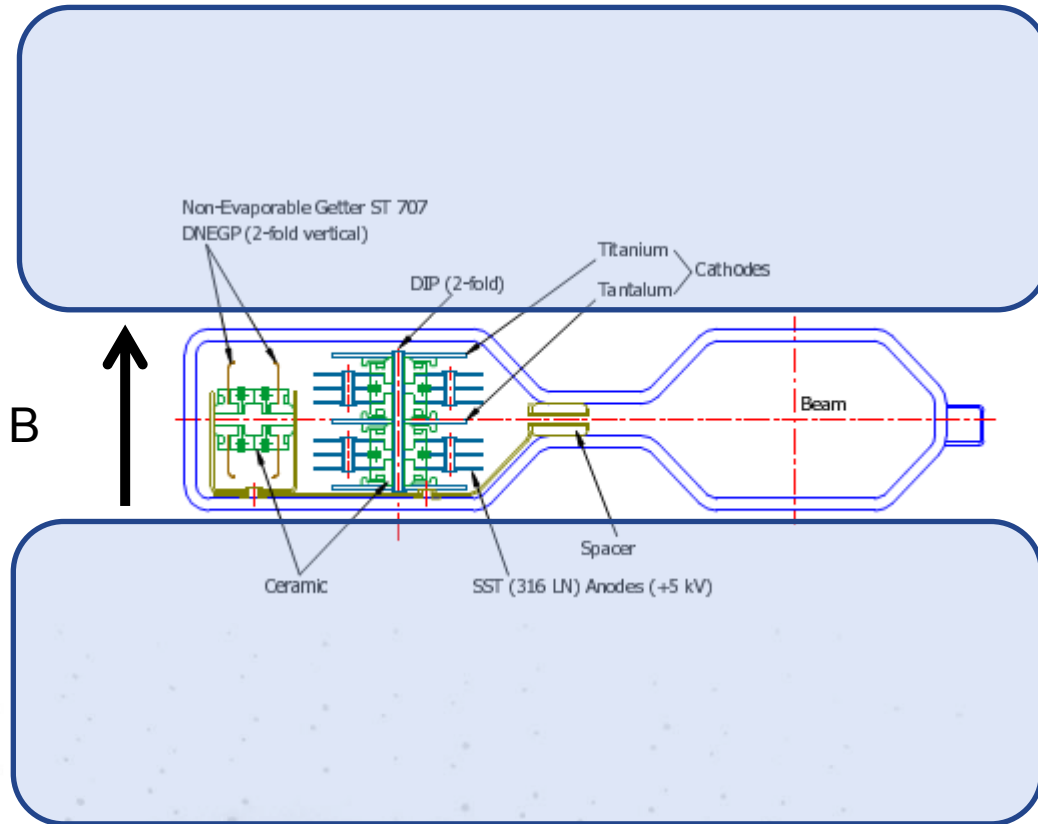


Limitation par la conductance il faut donc :

- soit diminuer L
- soit réaliser un pompage distribué

	l (cm)	S (l/s)	50,0
	c (l.m/s)	Pmoy	Pmax
SuperACO	41,2	21,2	31,3
ESRF	9,1	92,6	138,4
SOLEIL	7,1	118,4	177,1
MAX IV	1,3	642,0	962,5

Le pompage ionique distribué



Le champ magnétique des aimants est utilisé par des cellules de pompes ionique installée dans la chambre à vide.

Un champs magnétique minimum est nécessaire pour obtenir une décharge stable dans la cellule de pompage

Cette solution n'est donc pas applicable à tous les accélérateurs

Utilisé notamment sur PETRA , SuperACO

Les rubans NEG

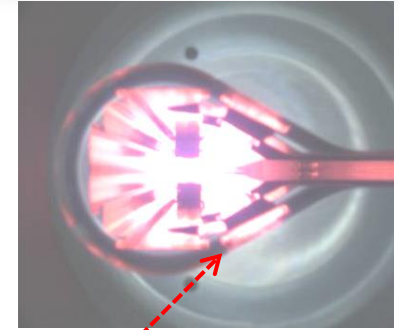
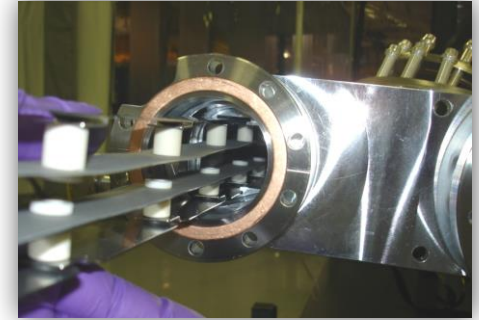
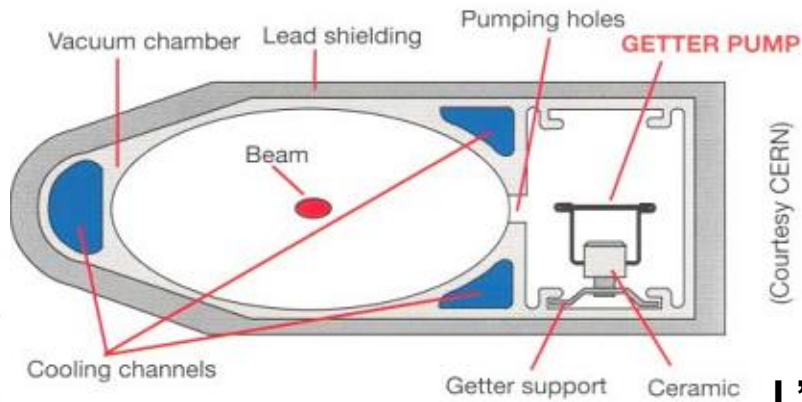
St101 NON-EVAPORABLE GETTER (Zr Al)

Température d'activation à 700°C

St707 NON-EVAPORABLE GETTER (Zr 70-V 24.6-Fe 5.4 wt%)

Température d'activation à 450°C

Les matériaux du NEG sont incrustés dans un ruban de constantan qui sera chauffé par effet Joule



Activation at ~ 450°C x 20 min
(30 A thru NEG strips ST 707)

NSLS II

LEP – (CERN) 24 km de ruban installé
 $P < 10^{-11}$ mbar

L'activation à haute température des NEG peuvent générer des contraintes mécaniques dans la chambre à vide.

Nécessité d'avoir une antichambre où positionner les rubans.

Les dépôts NEG

L'idée : transformer la surface interne de la chambre à vide en pompe en y déposant une couche de matériau ayant un effet Getter.

De ce fait le pompage devient distribuer le long de la chambre à vide et on devient ainsi moins sensible aux effets de faibles conductance de la chambre à vide

Comme pour les rubans, la couche Le NEG est un matériau qui après activation fixe fortement les molécules du gaz résiduel qui atteignent sa surface (Chimisorption)

⇒ Effet de pompage

Matériau : TiZrV (30/30/40)

Épaisseur : entre 0,5 et 1,5 μm

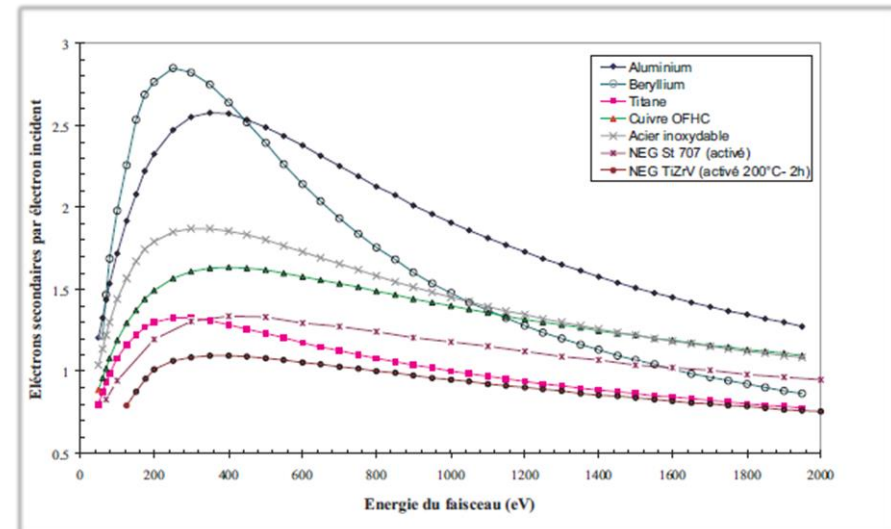
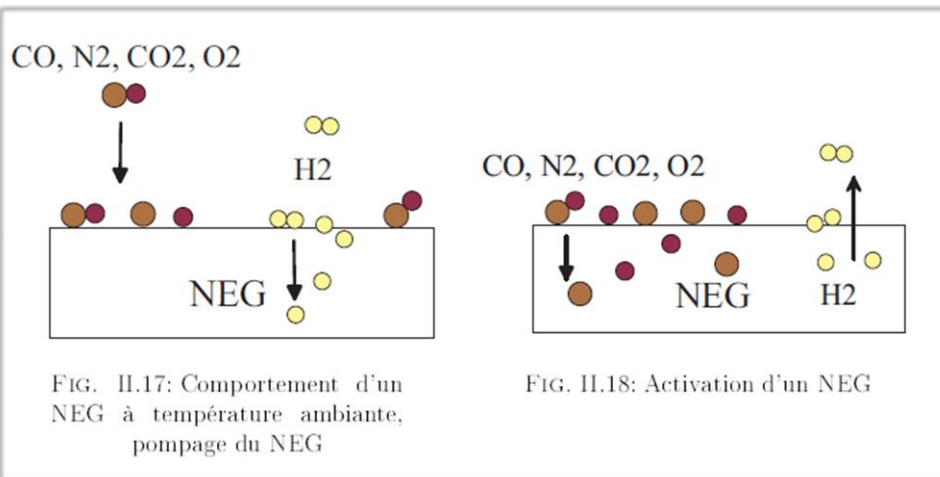
Dépôt par pulvérisation cathodique

Activation : 180 °C / 12 h

Vitesse spécifique de pompage : 0,2 l/s/cm²

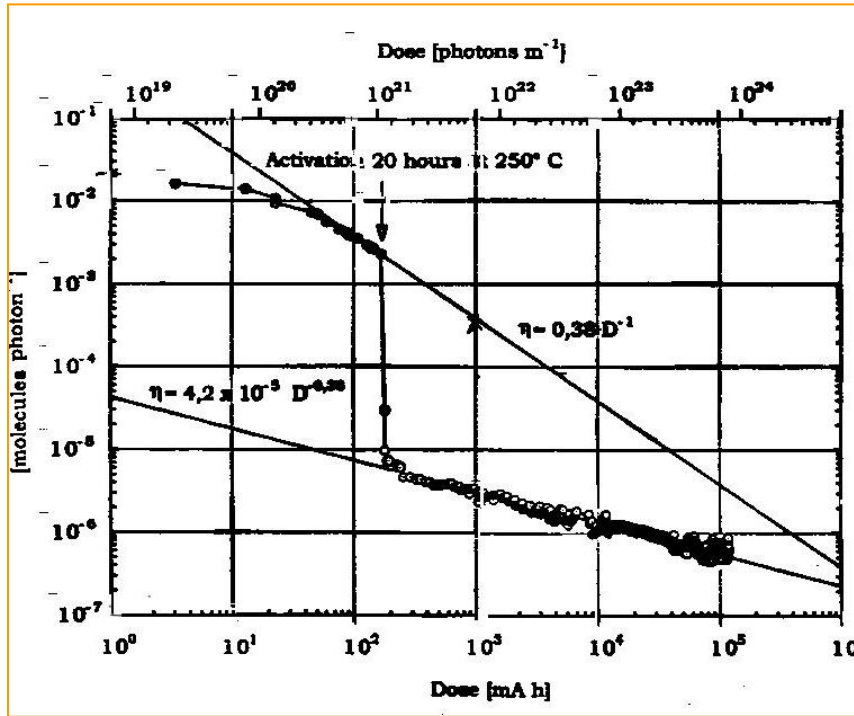
Le NEG (Non Evaporable Getter)

Fonctionnement et intérêt du dépôt NEG



- Dissocie les composés formés: oxydes, nitrures...
- Diffuse les éléments dans la masse du getter ~> sites libérés
- Pompe les gaz réactifs (pas méthane et gaz nobles)
- Réduction de la photo-désorption car coefficient d'émission secondaire faible

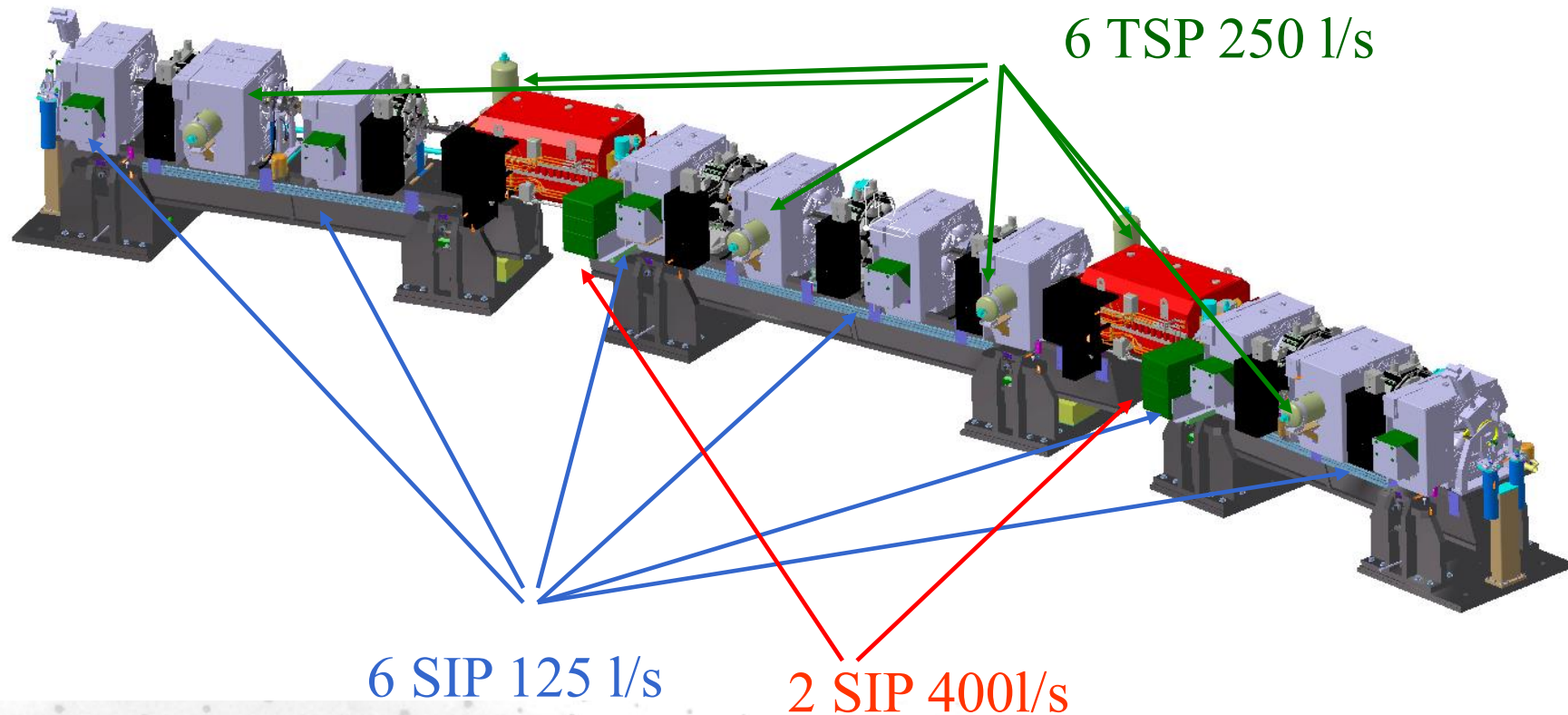
NEG coating



P. Chiggiato, R. Kersevan / Vacuum 60 (2001) 67-72

- Activation du dépôt NEG réduit fortement le coefficient de photo désorption
- Reduction du conditionnement initial
- Taux de Bremstrahlung rapidement réduit.

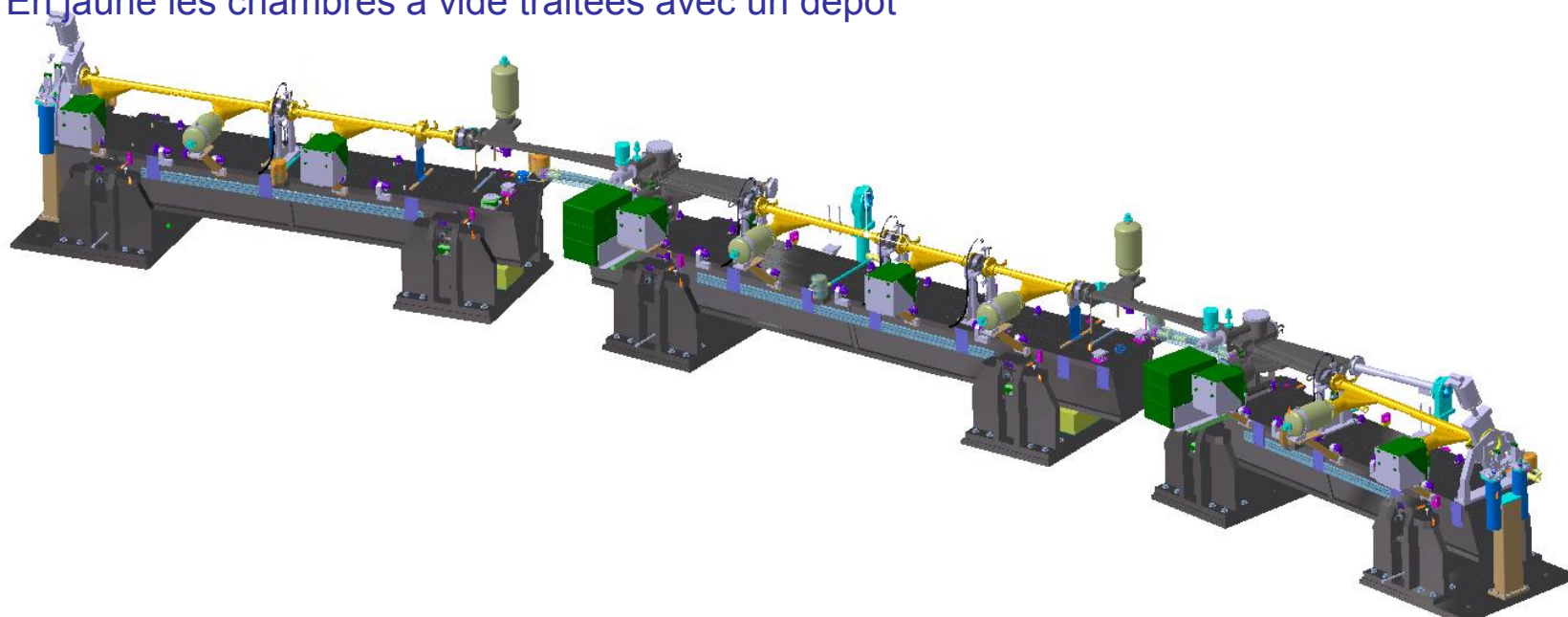
Le système de pompage d'une cellule



Total pumping speed on the ring : $S \approx 20\,000$ l/s

Les dépôts NEG à SOLEIL

En jaune les chambres à vide traitées avec un dépôt

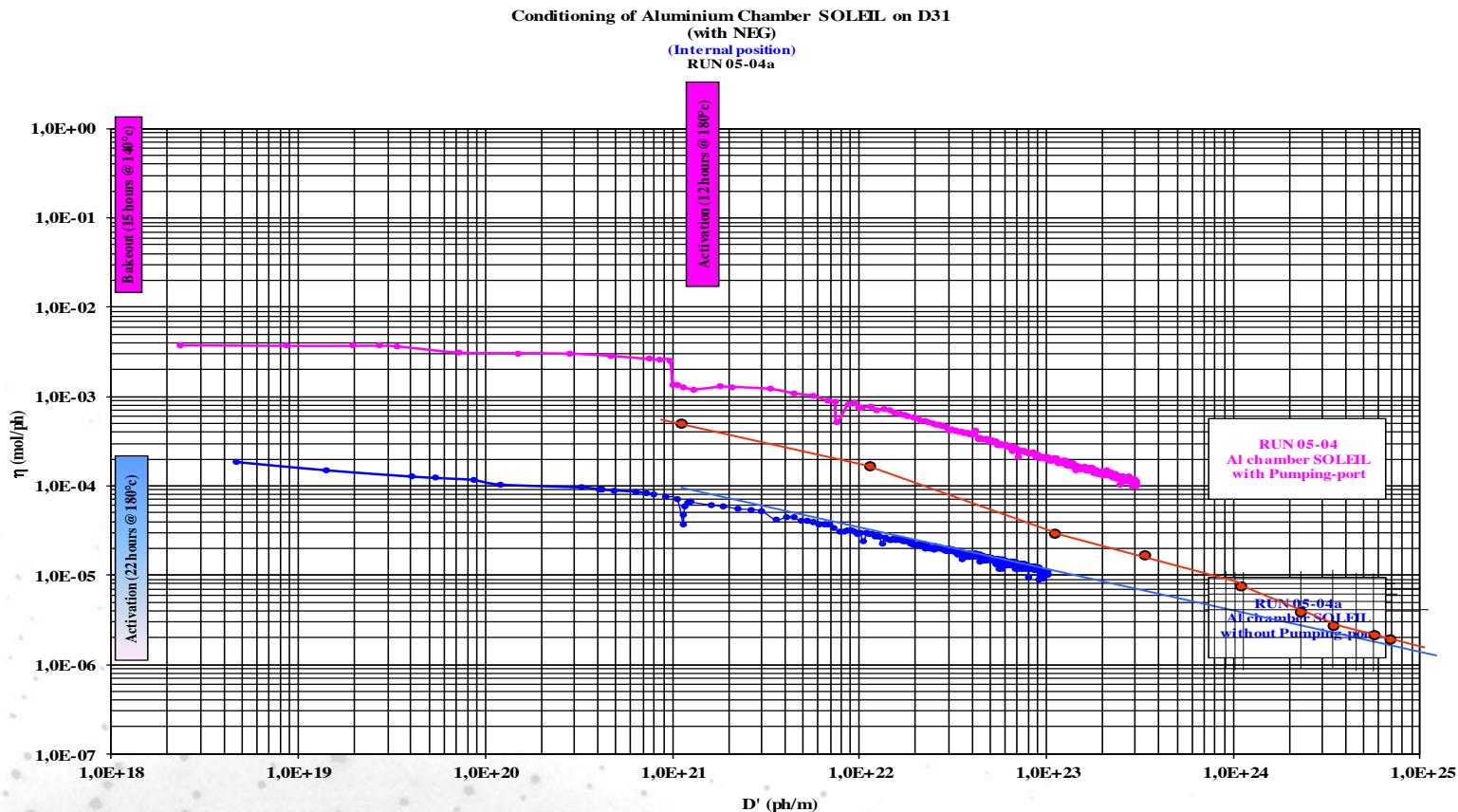


Sur l'ensemble de l'anneau environ 200m de chambres ont été traitées soit environ 56% de la circonférence

Pour les chambres types quadrupôle, les ports de pompage n'ont pas été traités

Photon stimulated desorption

Comparison with the expected value



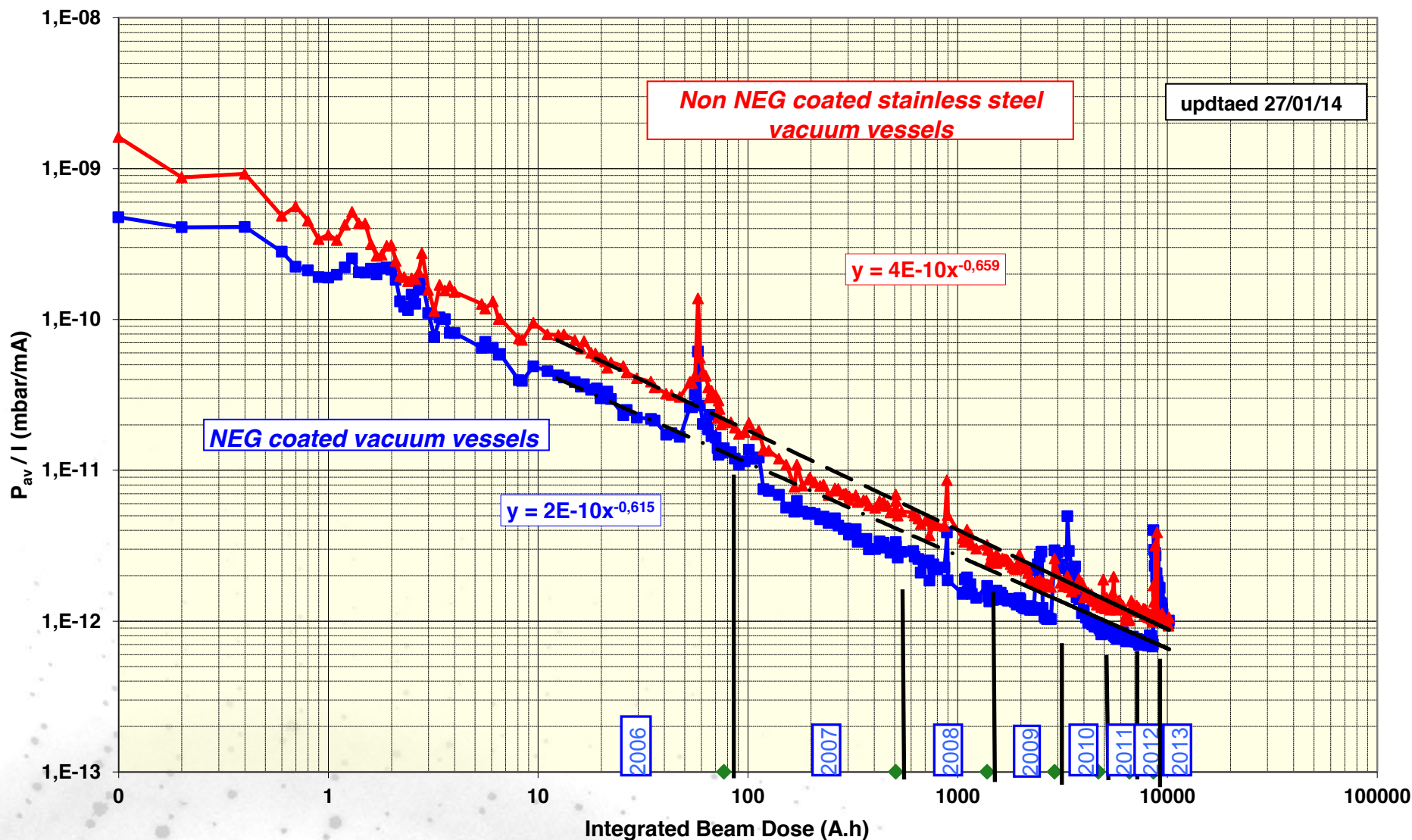
The two vacuum vessels have different behaviours :

The vacuum vessels with the pumping ports has a desorption yield with a factor of about 20 higher

Contribution of the pumping ports (without coating and non equipped with pumps) may be the reason of that difference

Acknowledgments to ESRF : G. Debut, M. Hahn and R. Kersevan

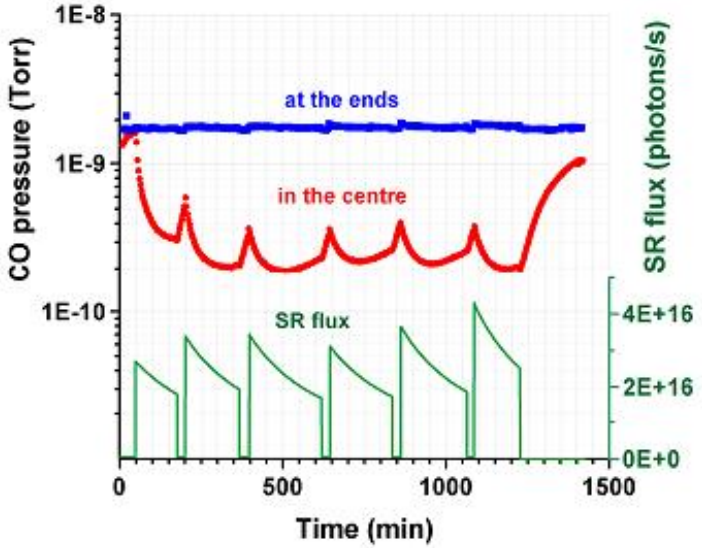
Average pressure rise in cell C07 normalized to current Vs. beam dose



Comportement du NEG sous rayonnement synchrotron

NEG Coated Vacuum Chamber: SR Induced Pumping

NEG TiZrV coated surface saturated with CO (i.e. no pumping speed) exposed to SR



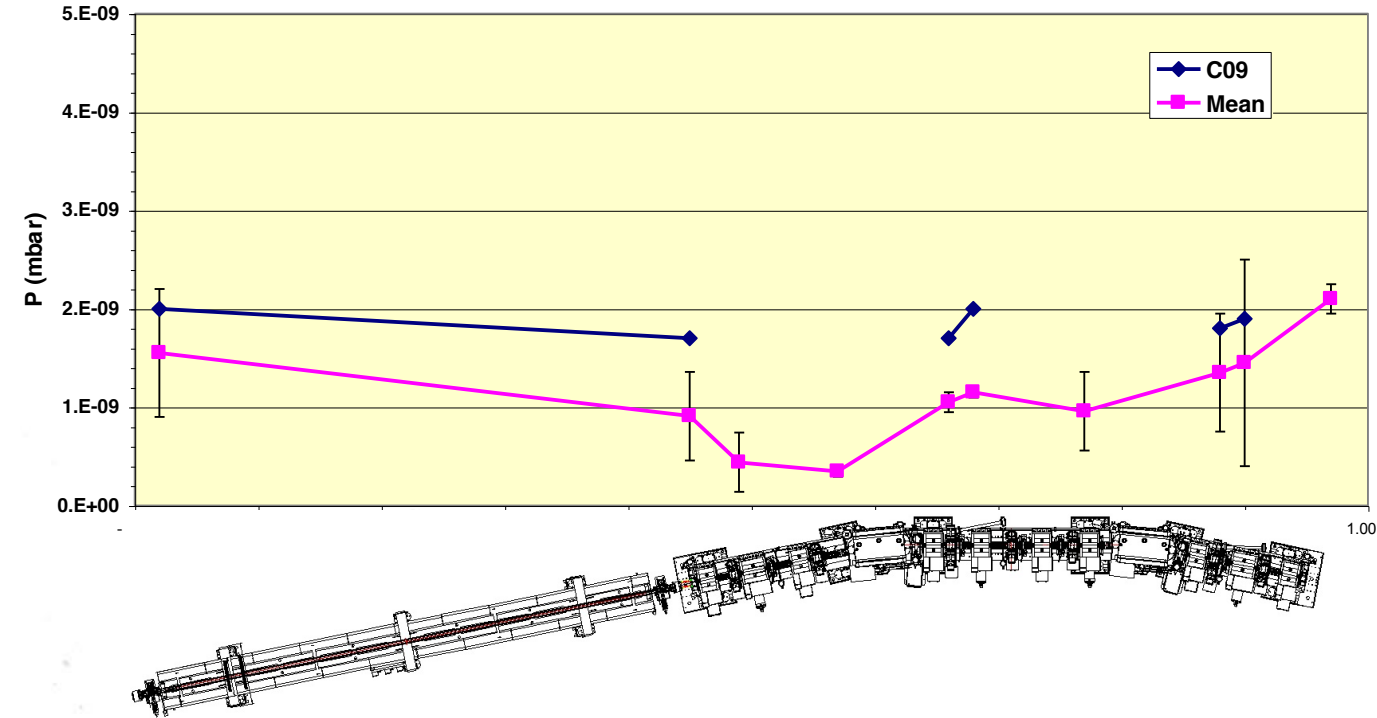
Le rayonnement synchrotron qui impacte directement les dépôt NEG conduit à une activation partielle de celui-ci et dans le cas d'un dépôt déjà activé il maintient l'activation à un haut niveau d'efficacité.

O. Malishev, ASTEC, UK

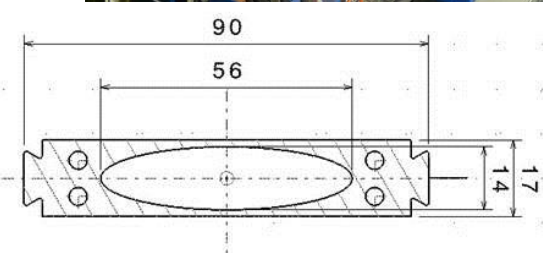
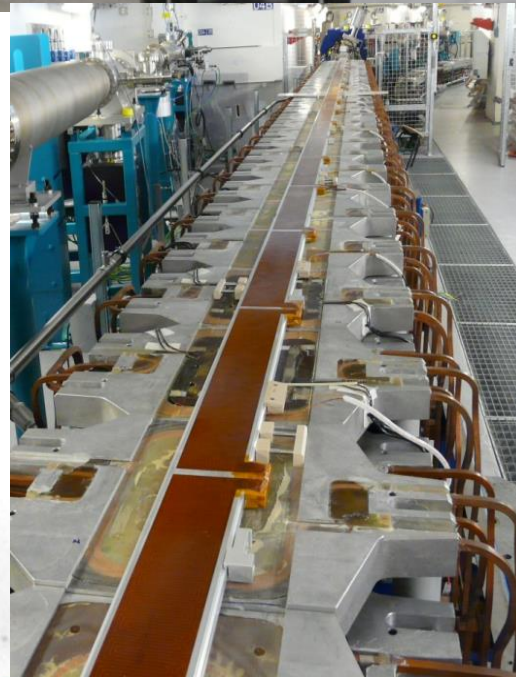
A SOLEIL, une cellule complète a été réactivée sans qu'elle ait été remise à la pression atmosphérique. On n'observe aucune différence avant et après.

Le NEG peut-il suffire à lui seul ?

Pressure profile for C05 type cells
(D =426 A.h, I = 300 mA)



Chambre à vide de section droite longue à SOLEIL (10,5 m de long) : Onduleur HU640



Cas MAX IV : Aimants de l'anneau 3 GeV

Photo: Danfysik

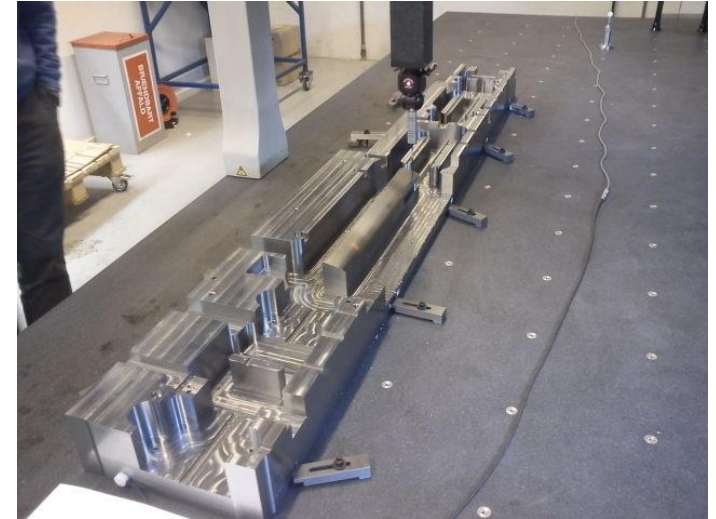
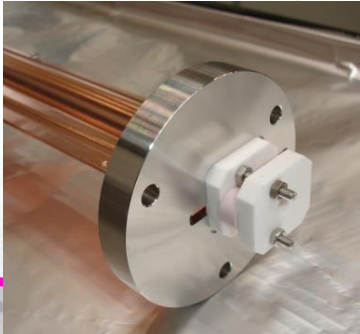
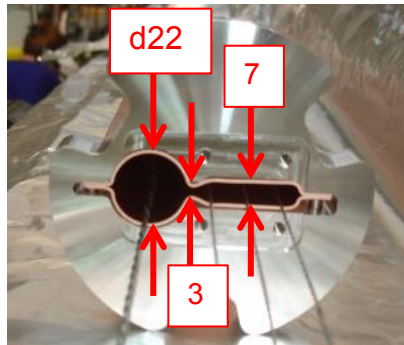
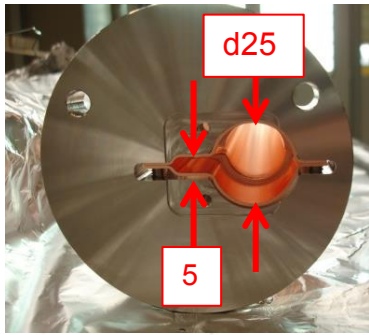
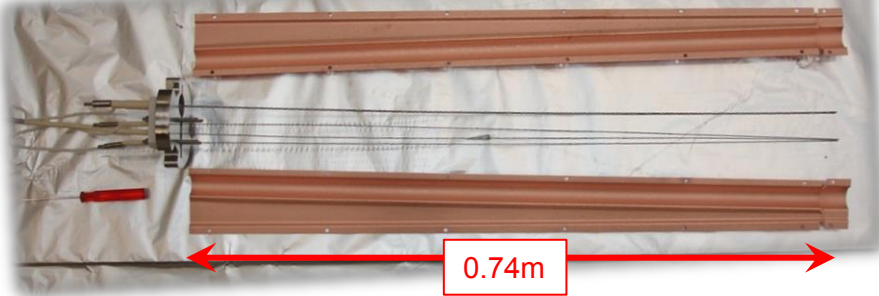
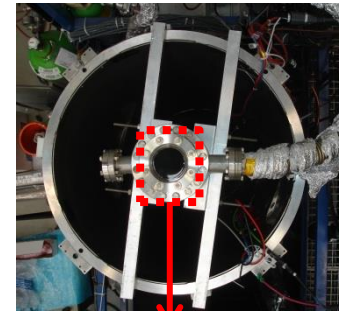
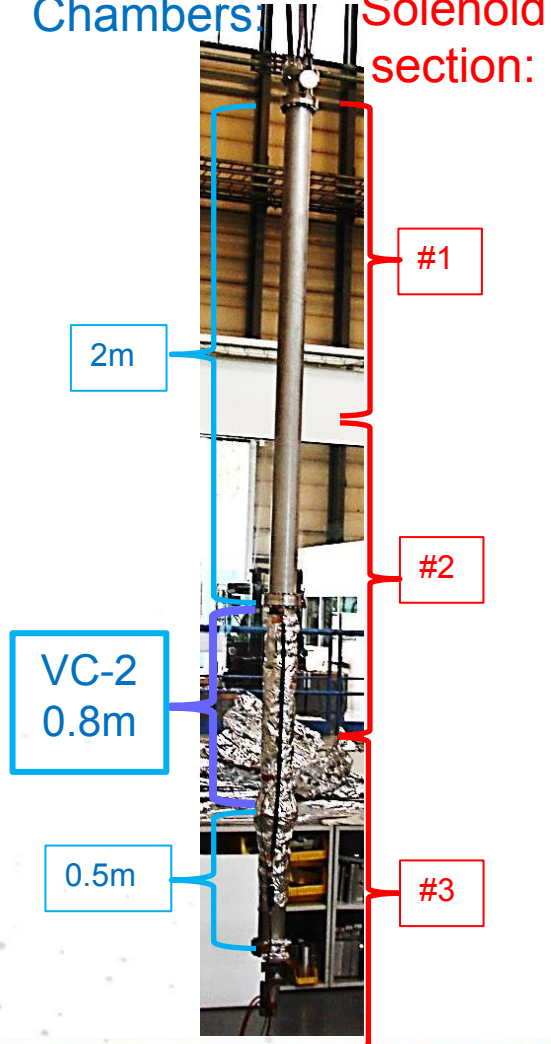


photo: Anna Olsson, Scanditronix Magnet AB

VC with antechamber:



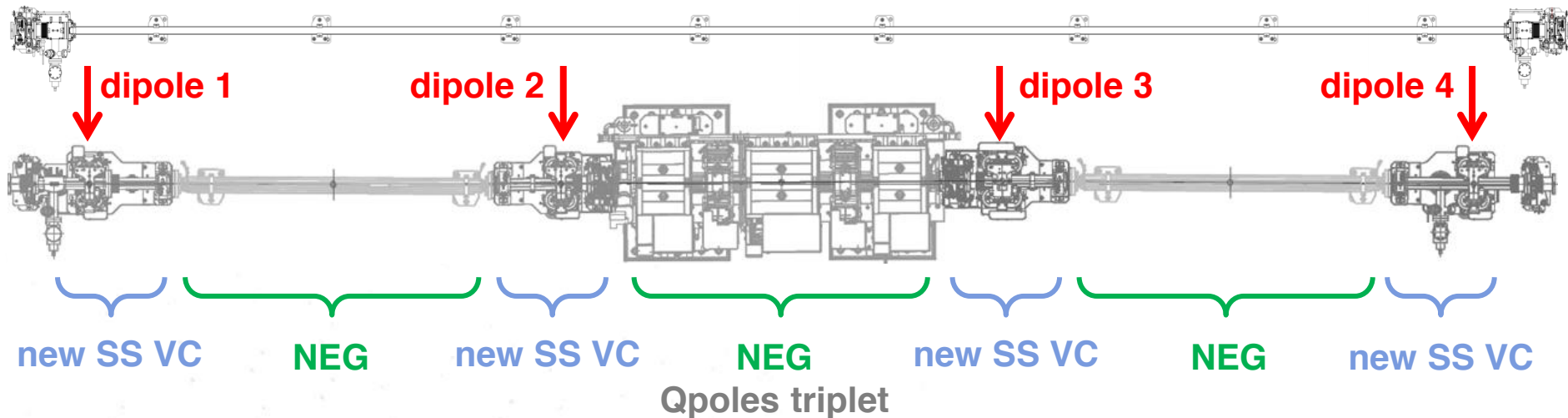
Chambers: Solenoid section:



Un conditionnement difficile : saturation des NEG

Mai 2011 : Technical shutdown with deep modifications of C13

- machine modifications for 2 long beam-lines (Nanoscopium & Anatomix) with 2 canted in-vacuum insertion devices in SDL13

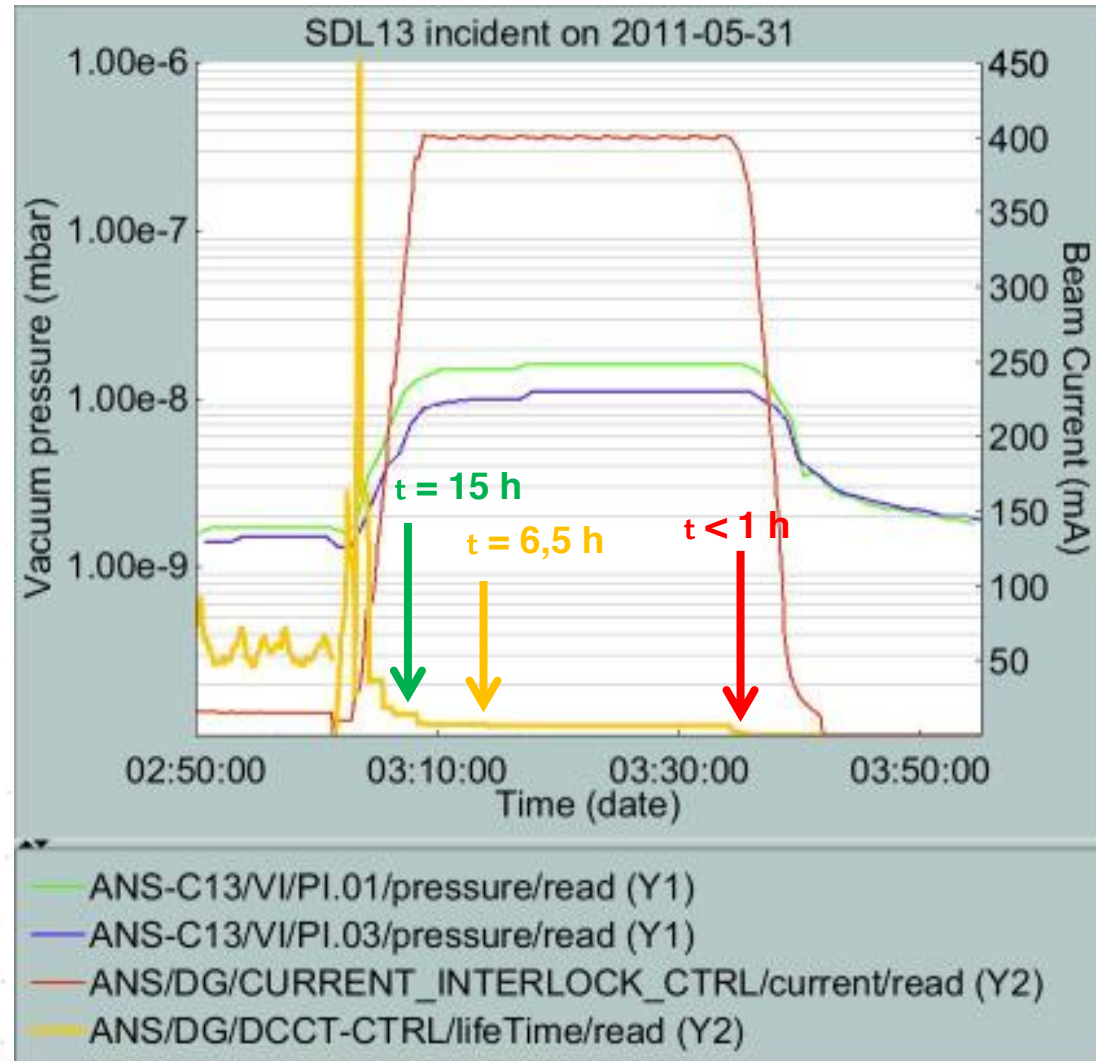


- installation of a chicane in SDL13 with 4 new dipoles and new stainless steel vacuum chambers
- new NEG coated aluminum chambers and a Qpoles magnet triplet already commissioned on the temporary long vacuum chamber (NEG coated)

N. Béchu : OLAV IV – Hsinchu 2014

At beam start-up, a difficult conditioning of the straight section

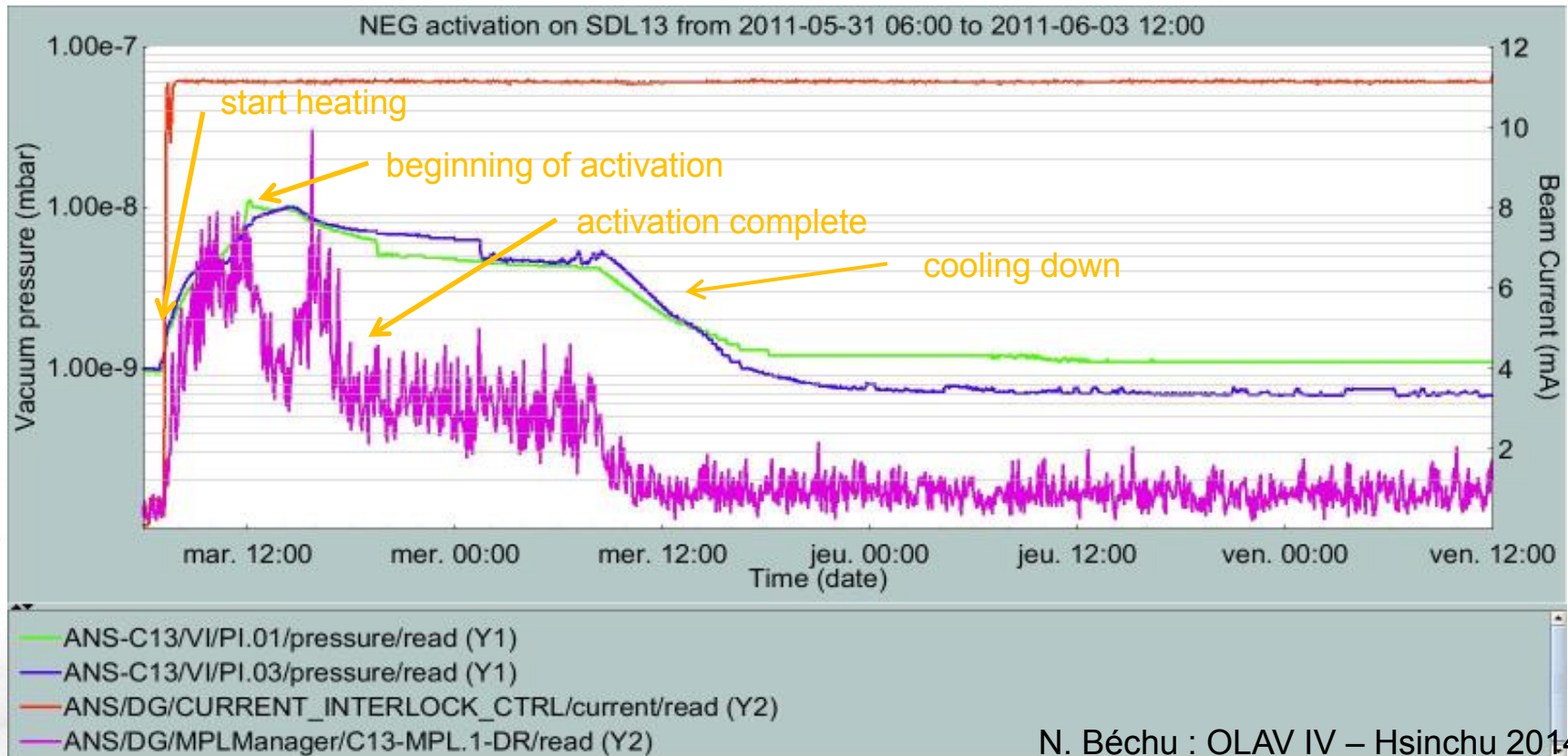
- vacuum as measured on extremities not so bad
- but poor beam lifetime on top-up mode @ 400 mA
- $t < 1$ hour Vs. usual 15 h
- stop top-up operation
- injection no longer allowed (radioprotection)
- suspected bump pressure in the middle of the straight section
- due to efficiency saturation of the NEG coating by outgassing coming from new stainless steel vacuum



N. Béchu : OLAV IV – Hsinchu 2014

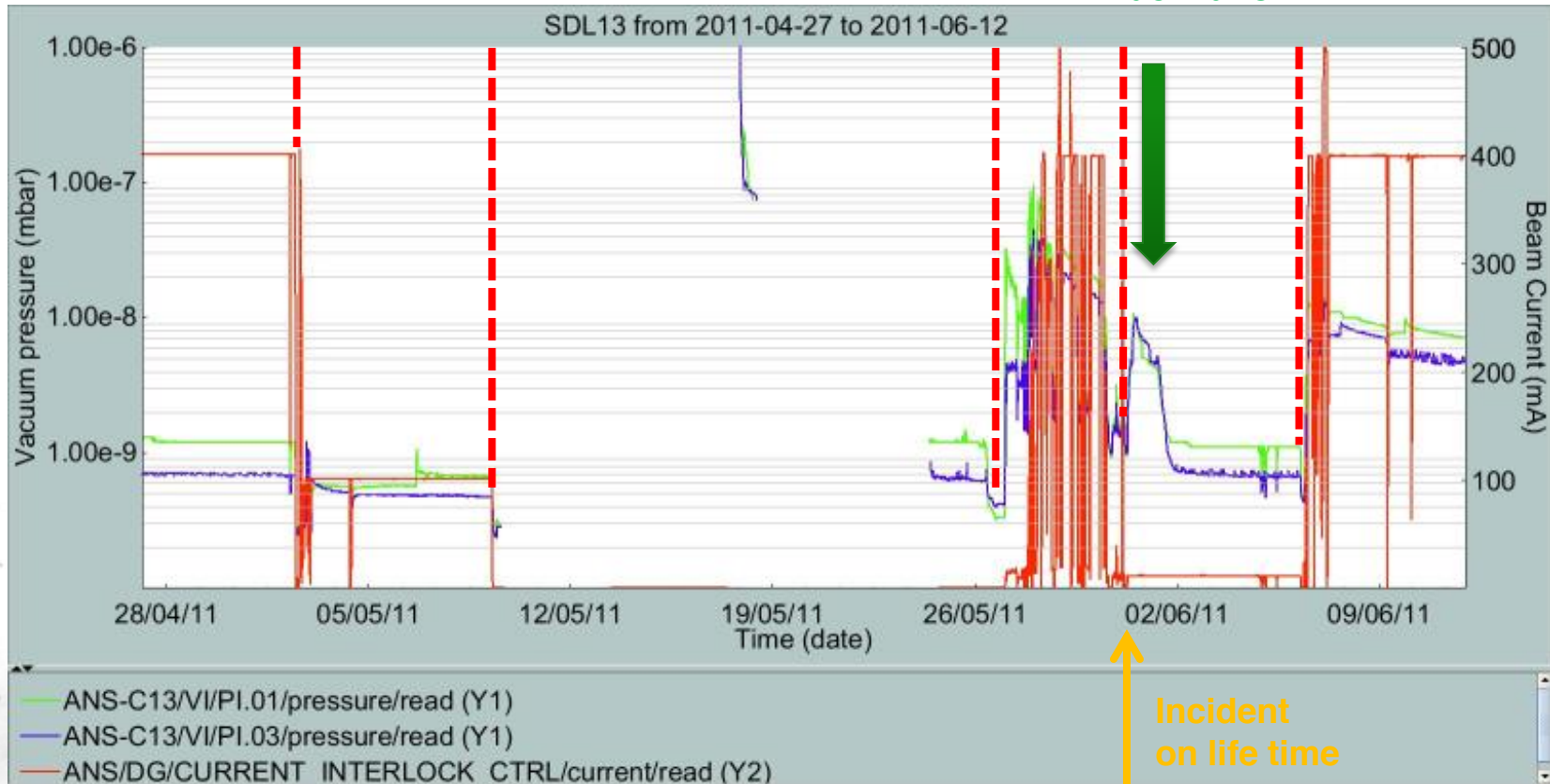
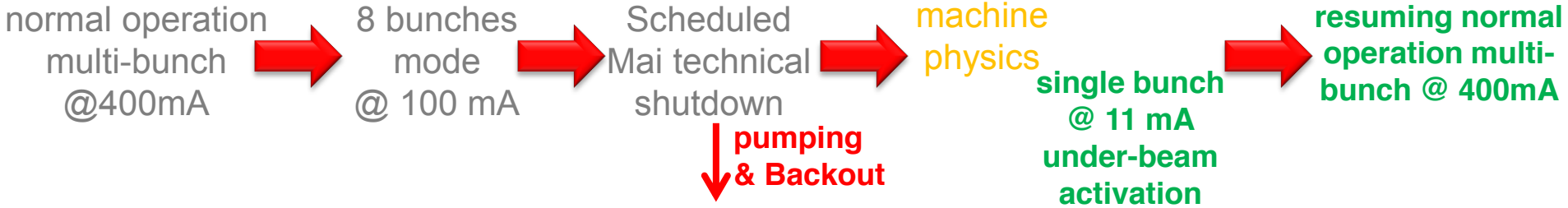
NEG re-activation during users run @ 11 mA single bunch mode

- simple activation of the NEG coated part @ 180 °C
- step on **beam loss monitor signal** downstream SDL13
- not seen on SiPs at the extremities → resorbing pressure bump
- restoration of a minimum lifetime for top-up operation at higher currents



N. Béchu : OLAV IV – Hsinchu 2014

SDL13 Machine timeline around Mai 2011 technical shutdown



N. Béchu : OLAV IV – Hsinchu 2014

Un problème non anticipé : le rayonnement produit par le NEG lui-même

Endommagements d'équipements dû à du rayonnement

Vieillesse rapide d'équipements:

- Isolants de câbles devenant rigides, cassants et friables



Sextupoles (amont/aval)



Cables de BPM



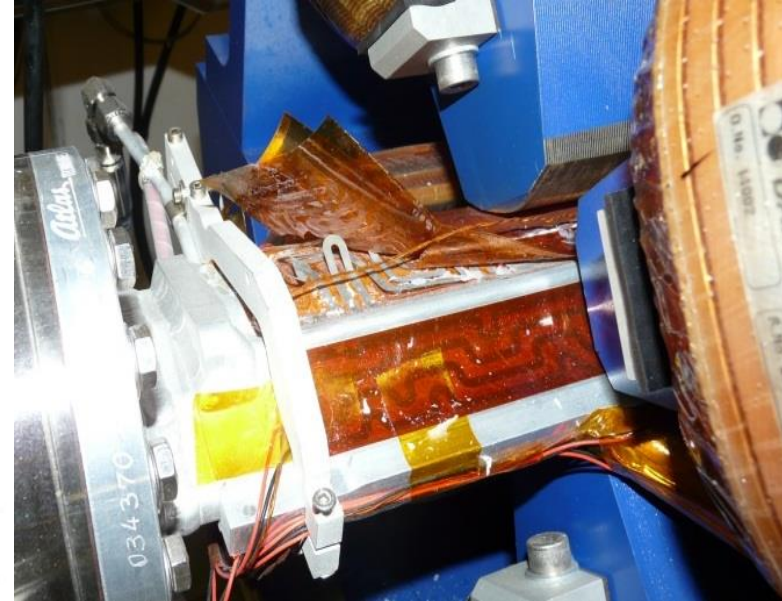
Sondes
de Temperature

Cables/isolants sont remplacés avec des matériaux plus résistants aux rayonnements

Endommagements d'équipements dû à du rayonnement

Vieillessement rapide d'équipements:

- **Dégradations des films d'étuvage** : la colle entre les couches se désagrège



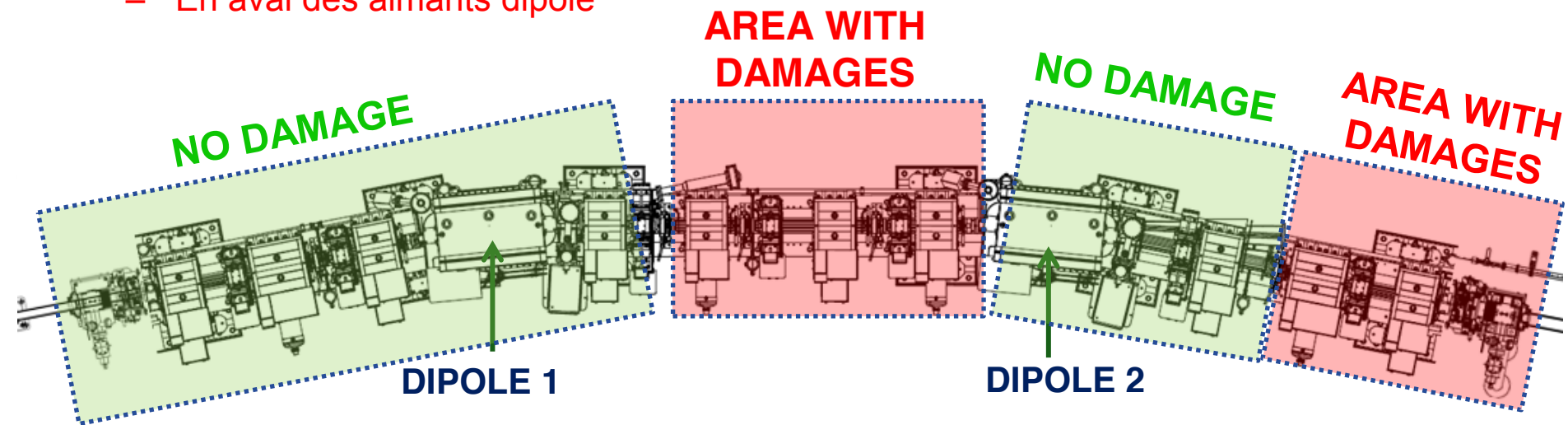
Leur remplacement nécessite d'ouvrir les aimants, retirer les chambres à vide, décoller les anciens films et en recoller de nouveaux et réétuver pour activer les NEG.

Ceci nécessite du temps et des ressources ainsi qu'une solution fiable pour remplacer

Equipment damages locations

Localisation des dégâts:

- Dans les 16 cellules de l'anneau de stockage
- Dans les arcs
- A proximité des chambres Quadrupôles en aluminium avec un dépôt NEG
- En aval des aimants dipôle



• Les équipements situés ailleurs n'ont subi aucun dégât:

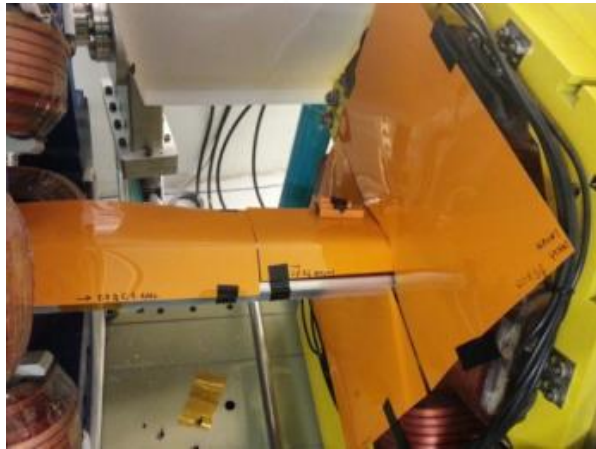
- Dans les sections droites
- En amont des aimants dipôle
- Autour des chambres à vide des dipôles

Mesure des doses de rayonnement : Distribution Spatiale

Les mesures de radiations ont été faites avec des films Grafchromic sensibles au rayonnement.

Installation des films:

- Dans les arcs des cellules C08 et C10 de l'anneau où les dégâts les plus importants ont été observés
- Longitudinalement: une longueur complète de chambre à vide couverte sur le dessus et le dessous
- Transversalement : la plupart des faces des aimants ont été couvertes en amont et en aval



C08 S4 upstream



**C08 S1
downstream**



**Inside C08 Q8.2
yokes**



**C08 BPM5
cables**

Dose Measurement : Spatial Distribution

Exposition:

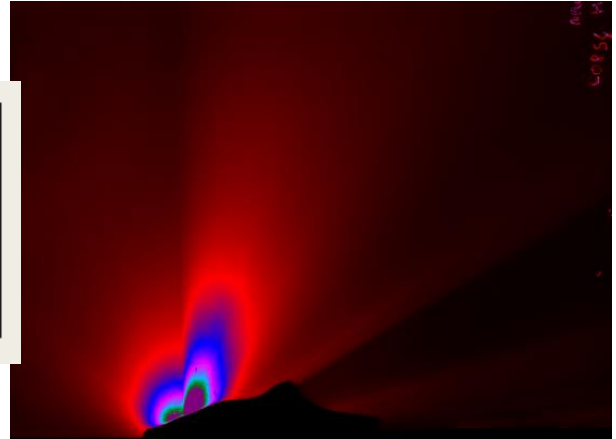
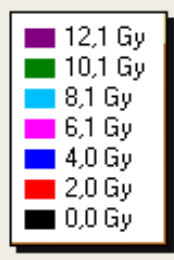
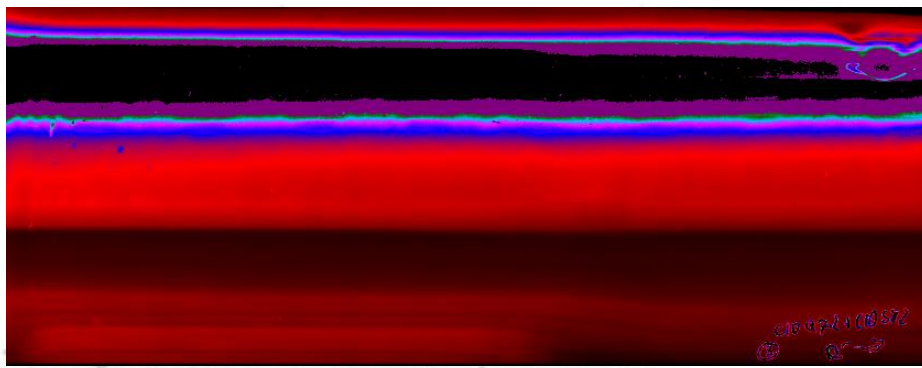
- 12 mn avec 16.4 mA stockés dans la machine
- equivalent à une dose intégrée de 3.2 mA.h



Longitudinal plane



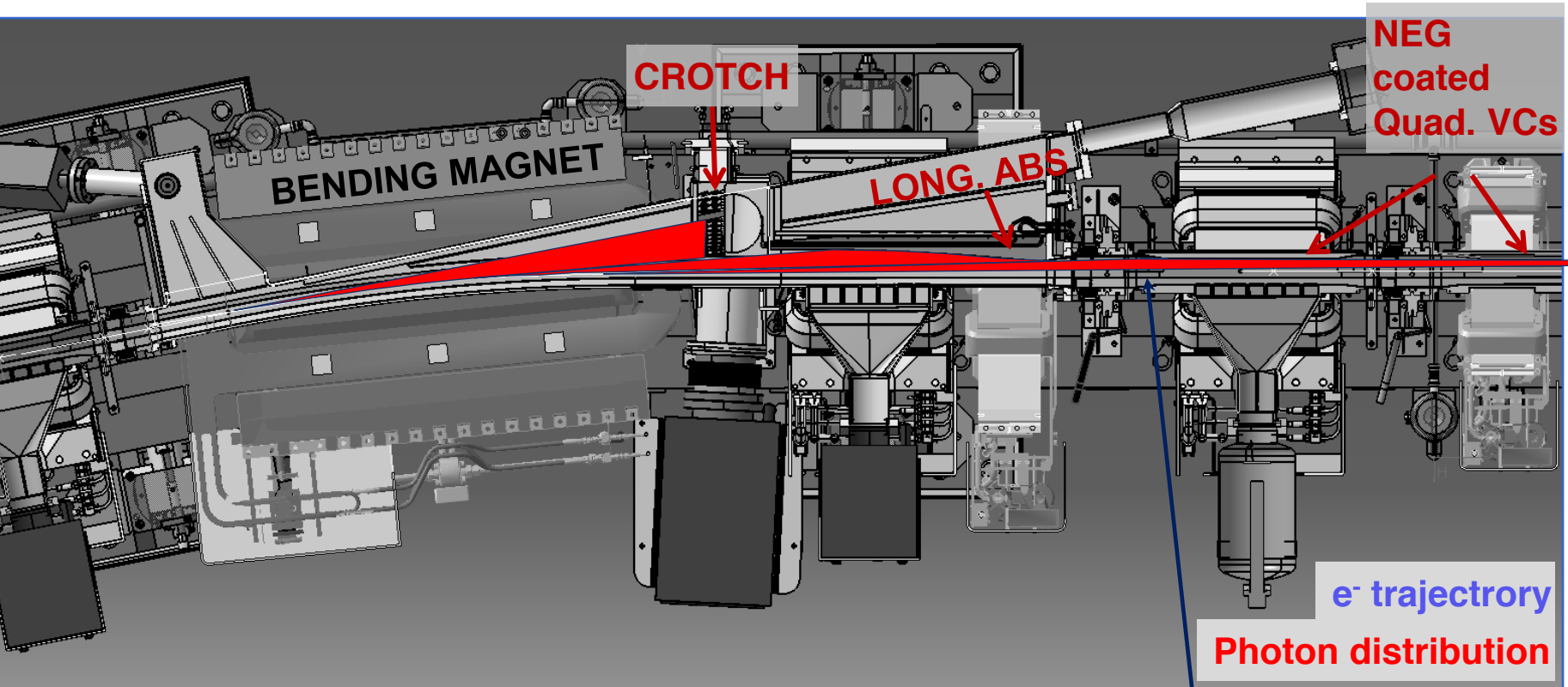
Transverse plane



Calibration method is described in the following paper:
Radiation Damages and Characterization in the SOLEIL Storage Ring, N. Hubert et al., IBIC 2013 proceedings, 644-647

Absorption of the radiation emitted in the bending magnet

The photons emitted in the dipole impinge the vacuum chambers on different locations :



- The crotch: first 102 mrad, 7.6 kW at 500 mA
- The longitudinal absorber: next 69 mrad, 5.1 kW
- The downstream quadrupole VC's: last 25 mrad, 1.8 kW

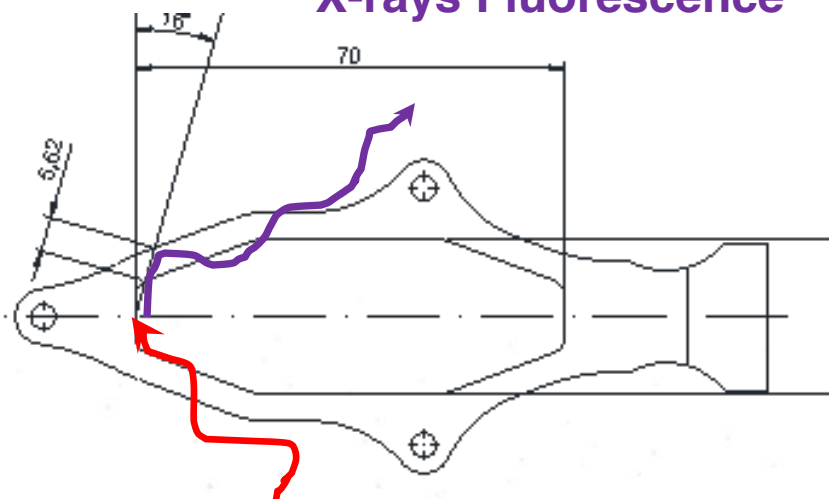
$$D_{ph} \sim 3,6 \cdot 10^{17} \text{ ph.mm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mA}^{-1}$$

$$\epsilon_c = 8,6 \text{ keV}$$

X-ray fluorescence

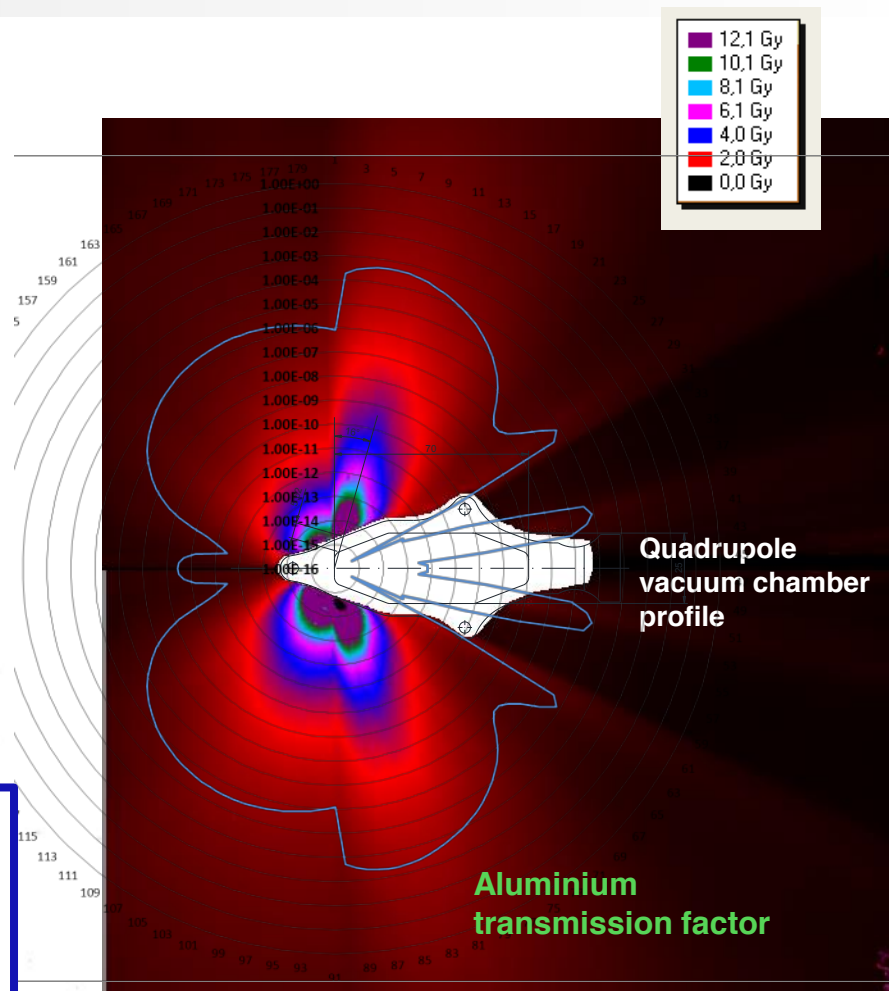
Chambre à vide en aluminium avec une couche de $1\mu\text{m}$ de NEG TiZrV (30-30-40)

X-rays Fluorescence



Primary photons

On voit **une parfaite corrélation** entre la **distribution de dose** mesurée avec les films Gafchromic films and le **facteur de transmission** calculé pour des rayons X d'énergie 15 keV X-rays (en fonction de l'épaisseur d'aluminium traversée)

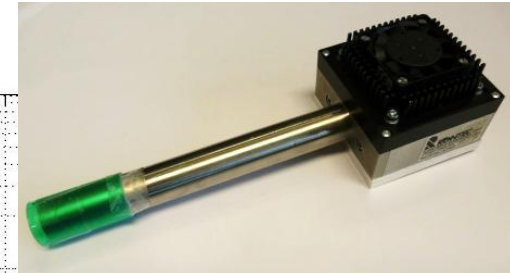
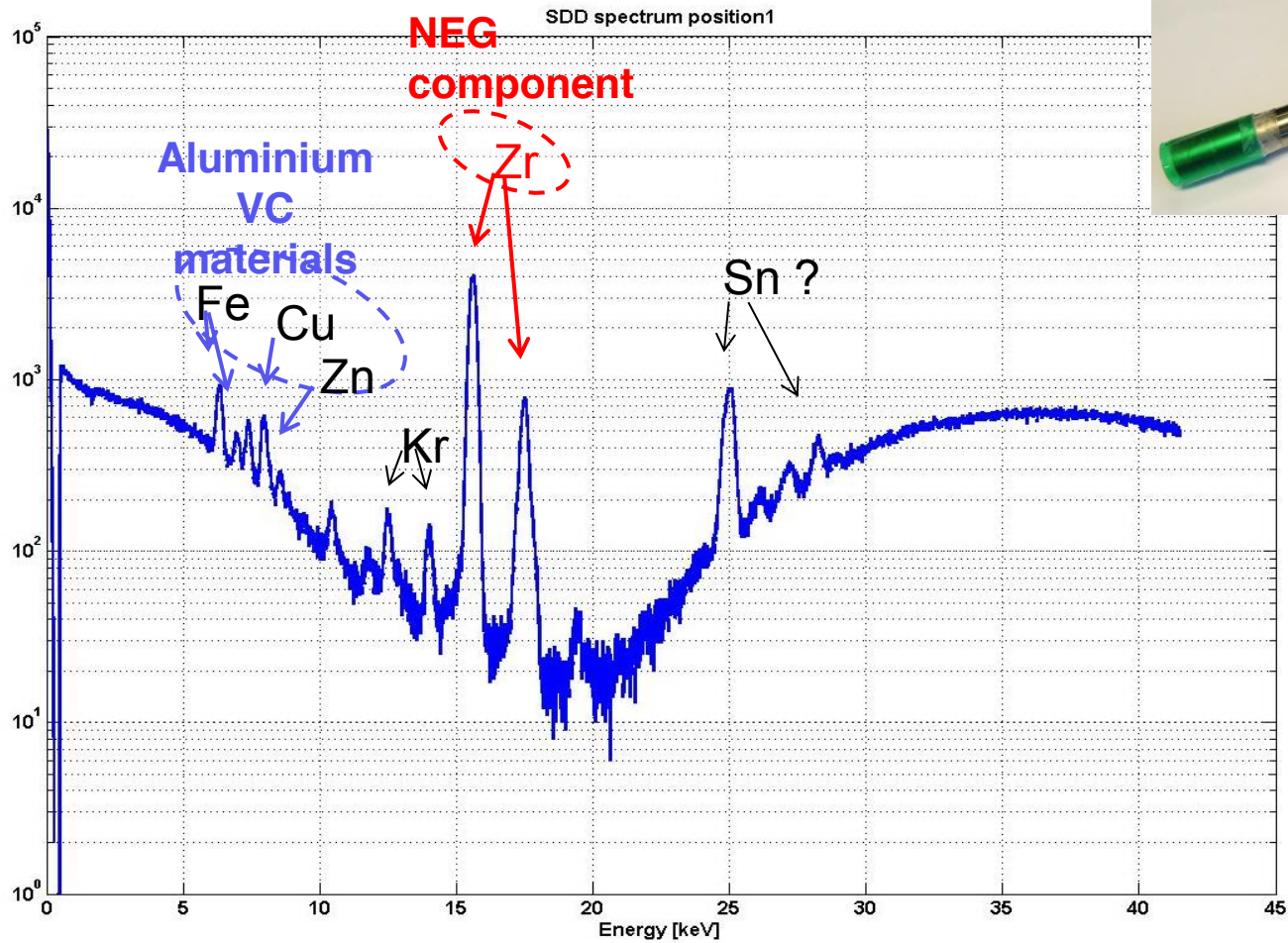


Absolute dose measurements

Absolute dose measurement at the location of equipment damages:

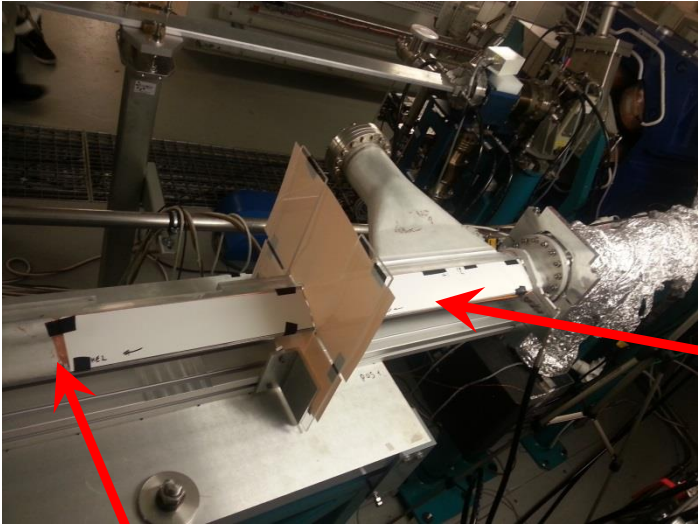
Equipment	Distance to VC (cm)	Measured dose (Gy)	Dose Rate (Gy/A.h)	Total Dose since commissioning : 9800 A.h integrated current (Gy)
Corrector Cables	20	0.5	156	$1.5 \cdot 10^6$
Sextupole Insulators	25	0.3	94	$0.9 \cdot 10^6$
BPM Cables	25	0.3	94	$0.9 \cdot 10^6$
Baking out Film	contact	100	31250	$300 \cdot 10^6$

X-rays fluorescence spectrum

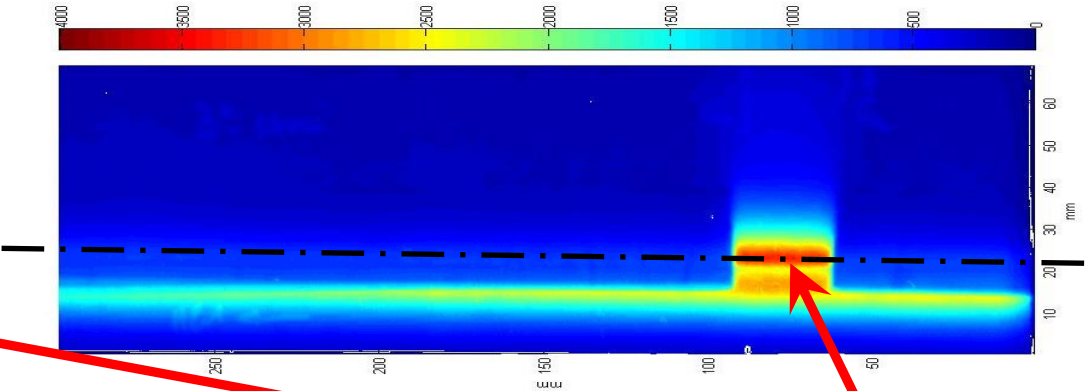


Silicon Drift Detector

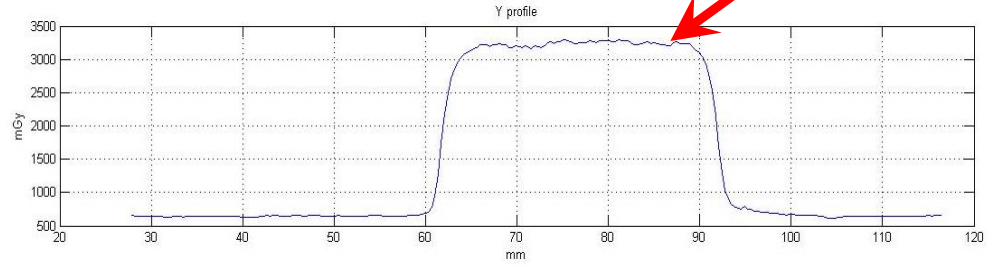
Contribution of a copper shielding



A 0,32 mm thick Copper layer has been added on the aluminum surface except on one area.

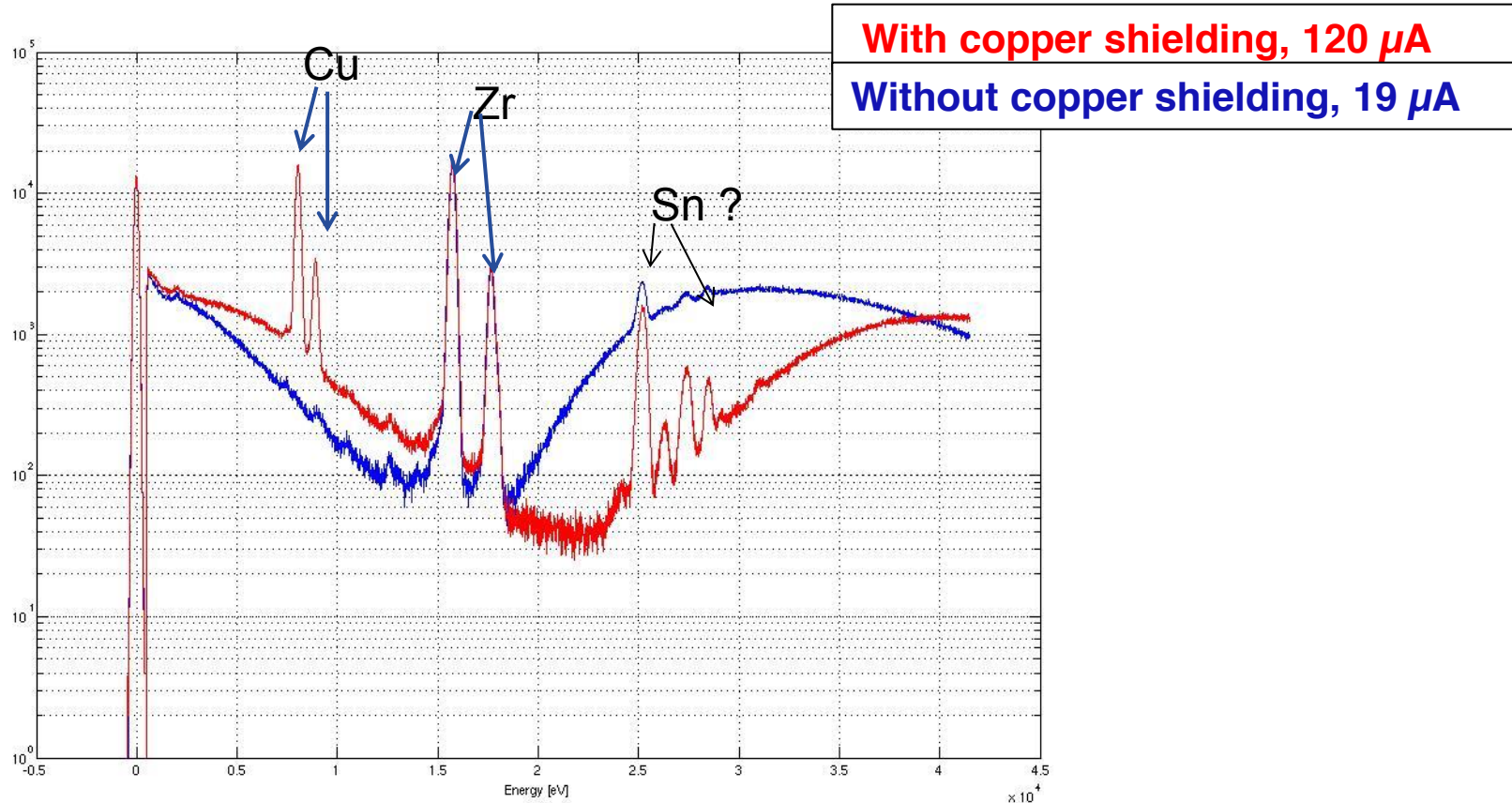


Area without copper



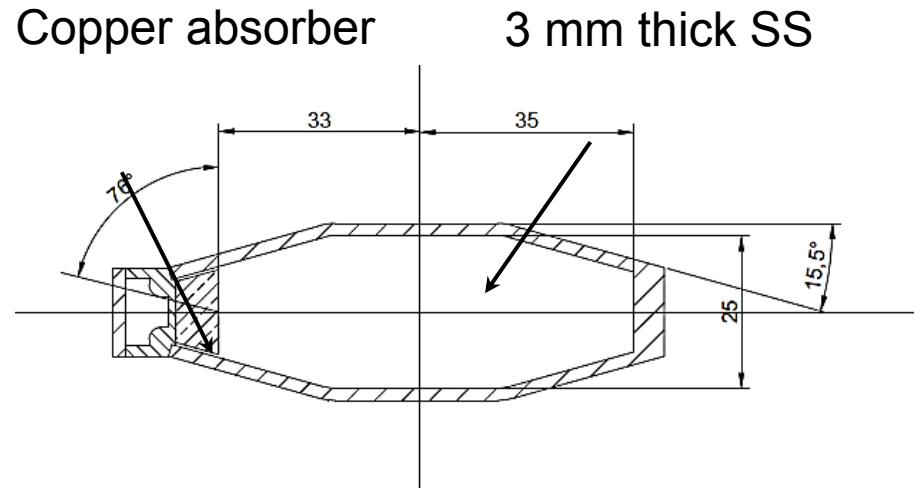
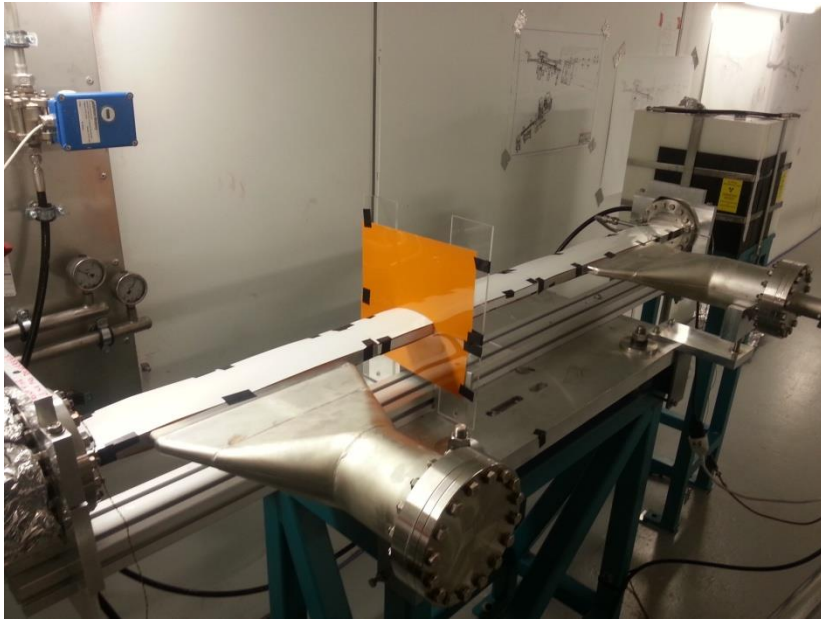
Reduction by a factor of 5 : less than expected...

Contribution of a copper shielding



- Same hit rate measured without and with copper shielding for the two beam currents \rightarrow factor of 6
- Secondary fluorescence of copper appears

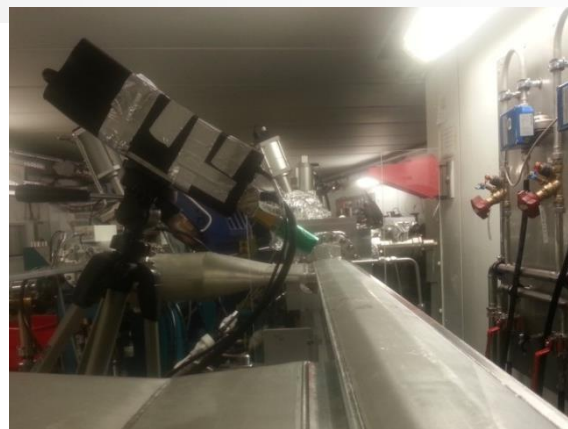
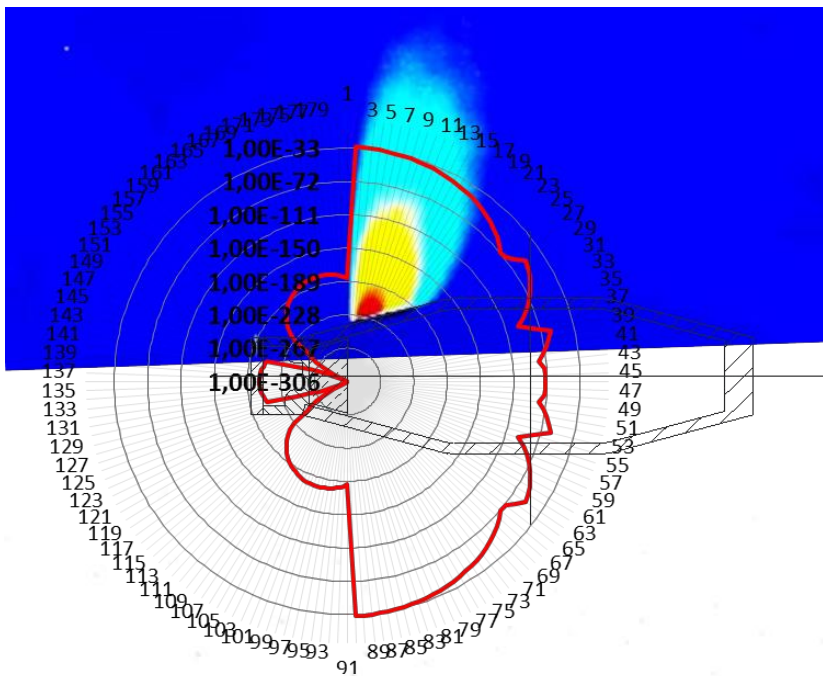
Stainless steel + NEG coating vacuum chamber



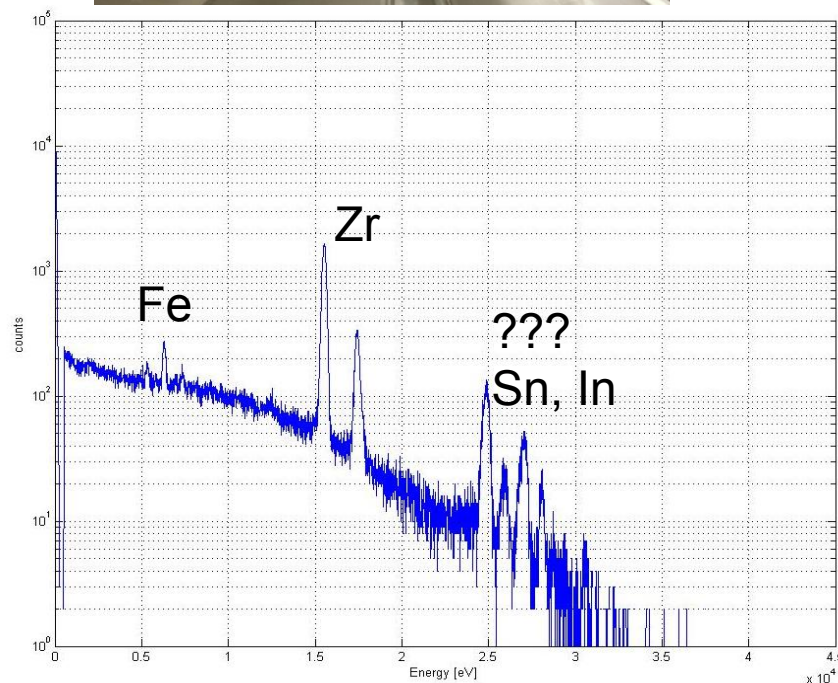
Cross-section of the 316LN stainless steel vacuum chamber with a 1 μm thick layer of NEG coating TiZrV (30-30-40)

- The measured dose rate is a factor 300 lower than for aluminum vacuum chamber : 17 mGy/mAh

Stainless steel vacuum chamber: X-rays distribution and spectrum



- Good correlation between dose measured on the Grafchromic film and the transmission distribution calculated for 15,8 keV photons



Conclusions

- ❑ Les dépôts NEG permettent d'obtenir un système de pompage distribué simple qui laisse la place pour optimiser l'optique de la source

- ❑ Dans le cas du choix d'utiliser les dépôts, il faut les généraliser au maximum ($> 95\%$ de la circonférence) :
 - ❑ Eviter les zones non déposées sur lesquelles du rayonnement secondaire peut arriver
 - ❑ Garder des géométries de chambres simples

- ❑ Il faut que le rayonnement synchrotron direct frappe le NEG pour préserver une efficacité.

- ❑ Prévoir un système d'étuvage qui permet de réactiver en cas de problème : même avec un petit faisceau stocké

- ❑ Le choix de cette technique impose de ne pas utiliser l'aluminium pour réaliser la chambre à vide : dégradation de l'environnement du à la fluorescence du Zr. Attention aux futures composition de NEG (Hf)