



Roscoff
12 - 15 octobre 2021

Division Accélérateurs - Société Française de Physique

La Division Accélérateurs fête ses 25 ans !

Thèmes
Démarrages et mises en service
Retours d'expériences
Fonctionnement et fiabilité
Médical et petites machines
Instrumentation et technologies associées
Accélération laser plasma
Projets à venir

<http://accelerateurs.fr>

Photo (C) CANILL... - Robin Frenchard

Conditionnement du Vide de l'Anneau de Stockage EBS-ESRF

Anthony MEUNIER and Cristian MACCARRONE

ESRF Vacuum Group



Le vide : un « RIEN » presque parfait

●
20 μm^3

$$PV = N \cdot k_B \cdot T$$

Objectif Vide EBS :

Une Pression UHV $\sim 10^{-9}$ mbar dans un anneau de stockage de 844 mètres

Cela revient à diluer un volume d'air équivalent à un petit grain de pollen dans l'anneau de stockage.

C'est à la fois peu et beaucoup
Cela demande beaucoup de préparation et de ressources,
et peut prendre beaucoup de temps.

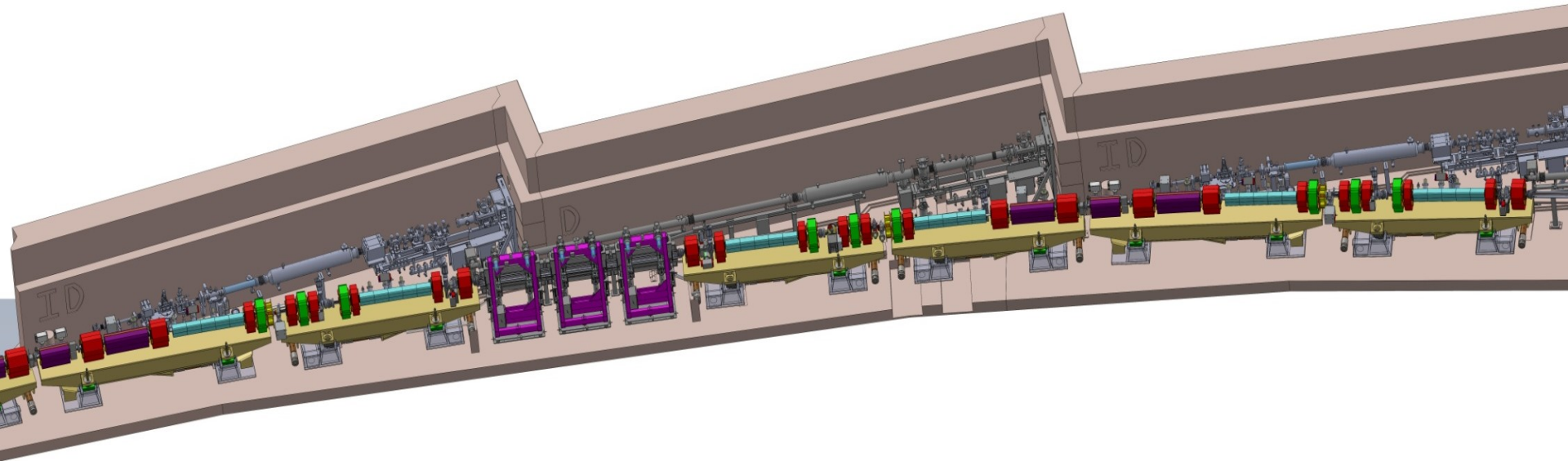
$N \sim 10^{14}$ molécules



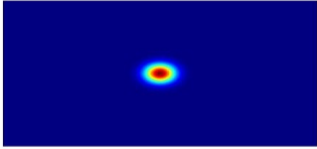
<http://www.microscopy-uk.org.uk>
An iris (*Iris pseudocorus*) with
115 μm long pollen grains

SOMMAIRE

- 1) EBS un nouvel anneau de stockage
- 2) Conditionnement vide depuis la première injection
- 3) Outils suivi / diagnostique du vide

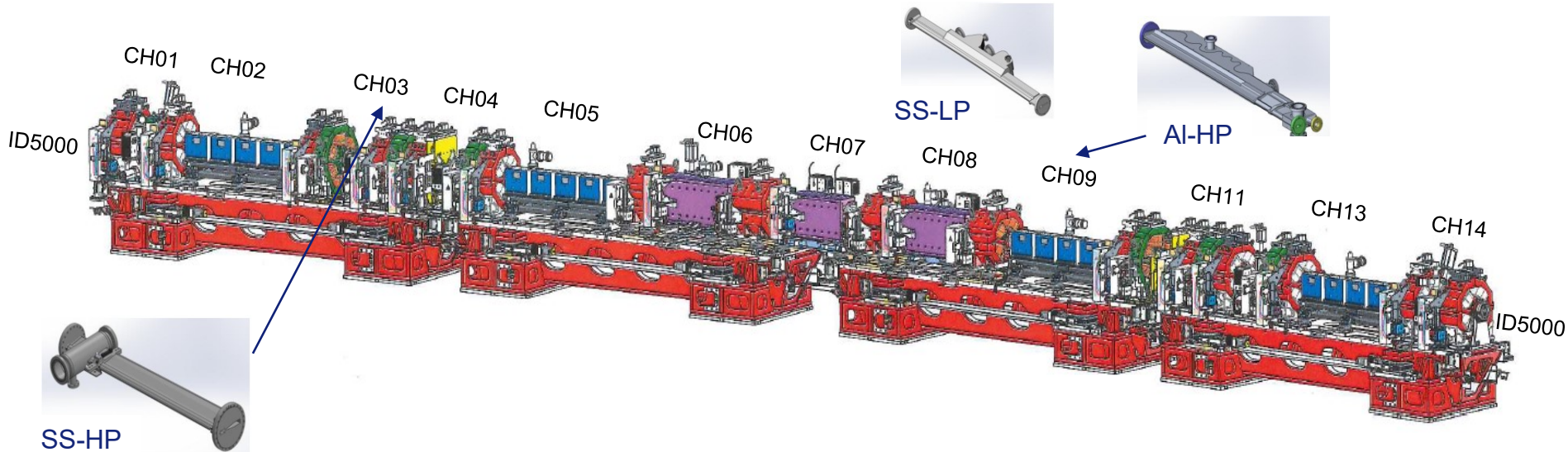


1) EBS : UN NOUVEL ANNEAU DE STOCKAGE DE 4^{IE}ME GENERATION



EBS : Extremely Brilliant Source

Un nouvel anneau de stockage de 4th génération (7 éléments de courbures / dipôles) pour une réduction de l'émittance, une augmentation de la brillance et de la cohérence de la source X



Un assemblage dense composé de chambres a vide en aluminium et en acier inoxydable de géométrie parfois complexe.

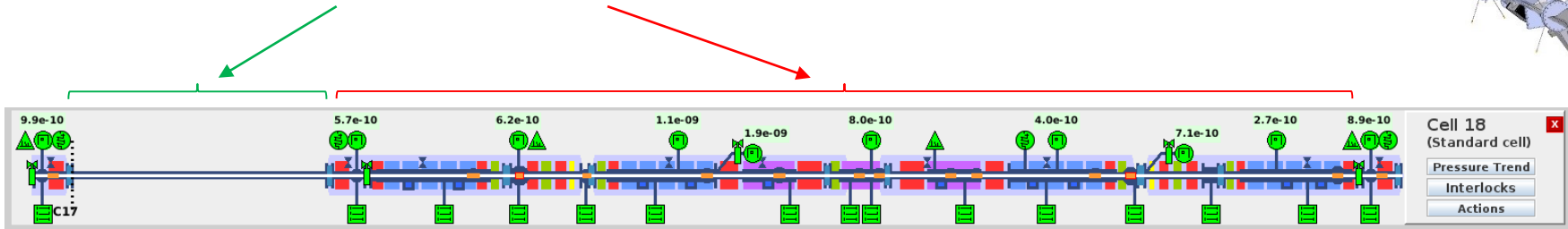
Longueur totale ~ 844 m



Composé de 32 cellules (~ 26m) dont 32 sections droites :

18: ID5000 (onduleurs), 10 : Invacuums, 3: Cavités RF, 1 : injection

1.1) INSTRUMENTATION VIDE D'UNE CELLULE STANDARD

Cellule standard : ID5000 (5 m) + ARC (21 m)



- ❑ 14 Pompes ioniques (IP) 
 - ❑ 10 Pompe NEG 
 - ❑ 6 m de chambres avec Dépôt NEG (CH01, CH14, ID5000)
- 1000 l/s (Ips) + 1900 l/s (NEG)

❑ 7 Gauges à cathode froide (PEN) : ~ 7 

❑ 3 Analyseurs de gaz résiduel (RGA) : 3 (CH01, CH08, CH14) 

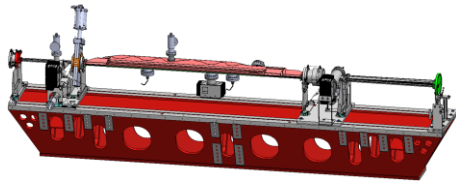
❑ 12 absorbeurs 

Tour de Depot NEG - ESRF (TiZrV)

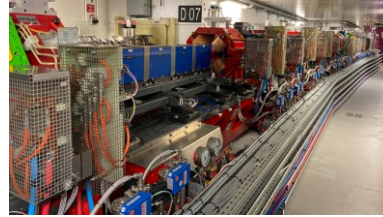


1.2) EBS : IL N'Y A PAS SI LONGTEMPS ...

2018 : Pré Assemblage de tous les girders (129) et première qualification du vide (étuvage partiel)

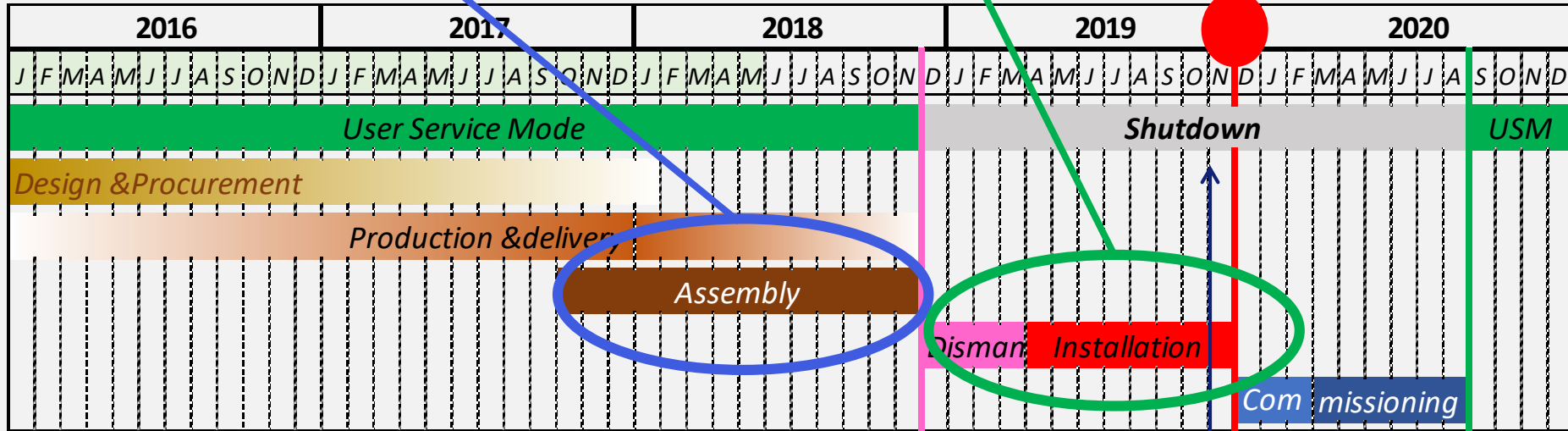


2019 : Assemblage et interconnexion des girders dans le tunnel. Etuvage complet



Pression statique ~ qq 10^{-10} mbar

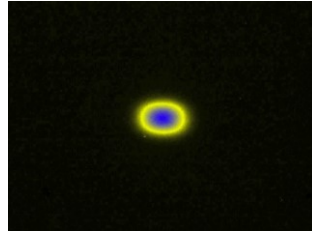
Première injection



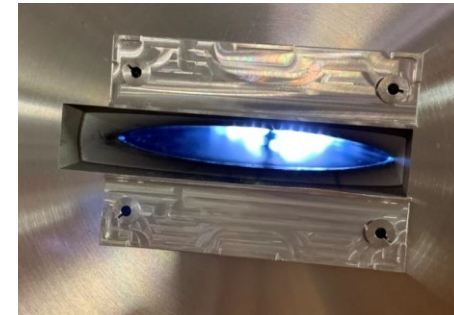
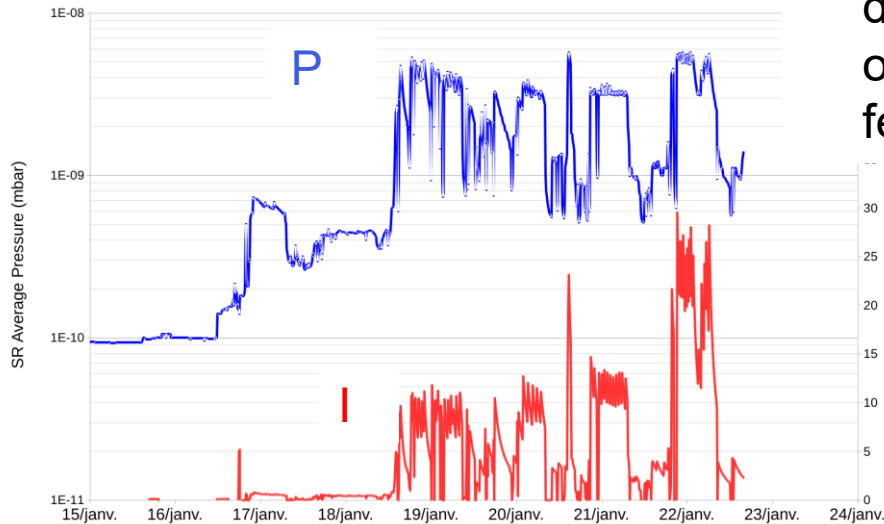
NOW

2.1) PREMIERE INJECTION → 25 mA

6th December 2019:
Premier faisceau stocké dans
l'anneau



- Début de la phase d'optimisation des paramètres faisceau et de montée du courant
- Interventions « vide » pour corriger des défauts d'assemblage ou retirer des obstacles physiques (câble, morceau de feuille d'aluminium):



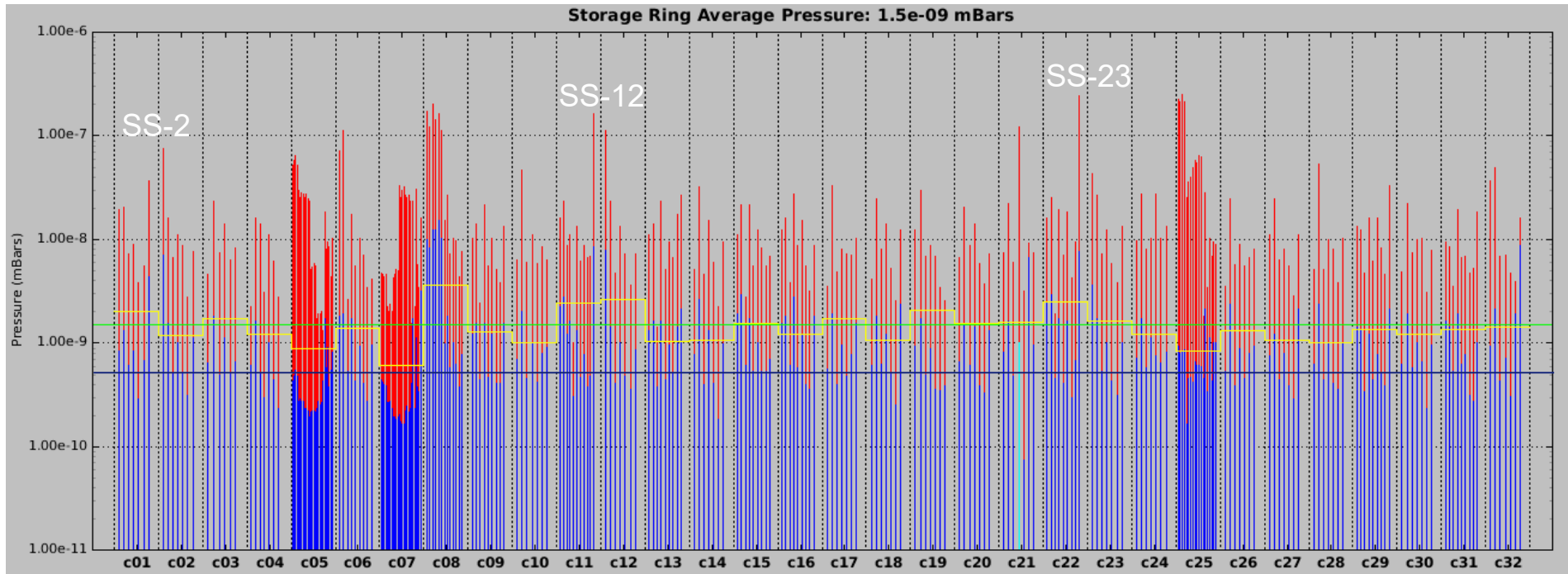
C23-ID5000

22 janvier 2020 : de 0 a 25 mA avec $P < 5 \cdot 10^{-9}$ mbar !

2.2) 50 mA

$P \sim 10^{-8}$ mbar

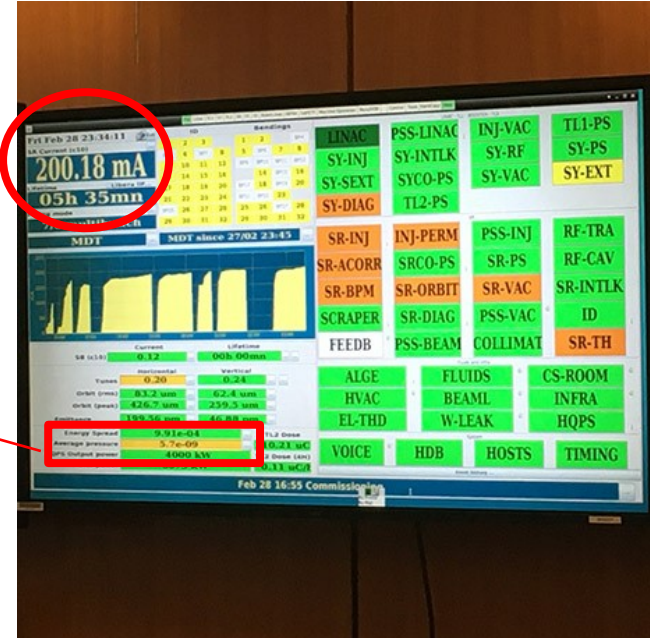
Quelques interventions sur chambre ID5000 suite a des pressions anormalement hautes (échanges / réactivations)



2.3) 200 mA LE 23 FÉVRIER A 23H34

Moins de 3 mois pour atteindre
le courant nominal de 200 mA

$P < 10^{-8}$ mbar

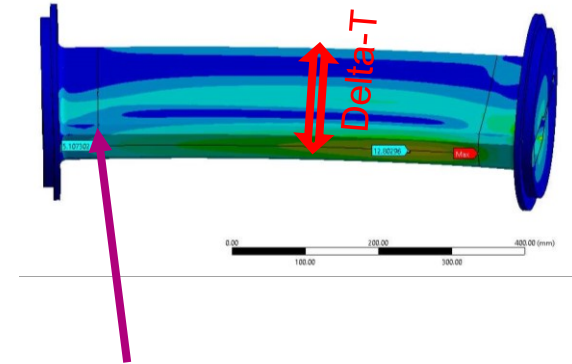


2.4) PROBLÈME RESTANT : KICKERS

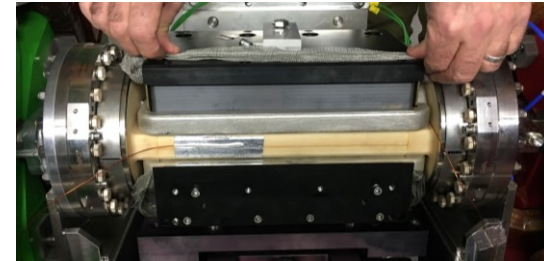
- Design non optimal vis à vis des contraintes Thermo- mécaniques : suite à une fuite d'air le courant faisceau en mode structuré est limité pour maintenir une température < 50 C (16 bunch/35 mA au lieu de 90 mA, ...)
- Mauvaise continuité électrique (entre dépôt Titane et joint RF)

➔ Actions en cours :

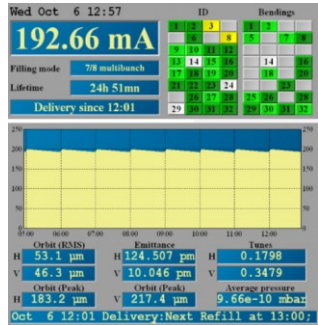
- Re-déposition de Titane (pour diminuer la résistance électrique) → en cours
- Réalisation de kickers avec un design plus robuste → installation 2022 ?



Point de fuite probablement du au stress thermique



2.5) PRESSION, PERTES , DURÉE DE VIE



$$\frac{1}{\tau} \sim \frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_v}$$

Touschek

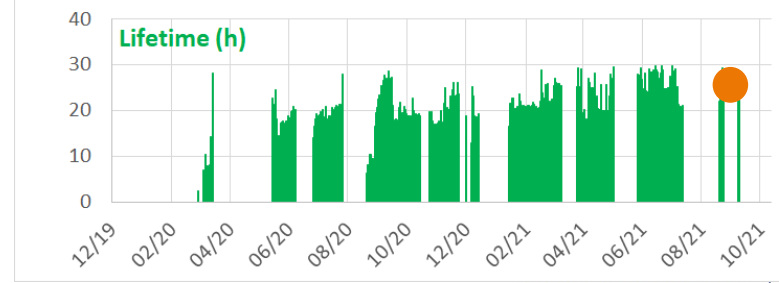
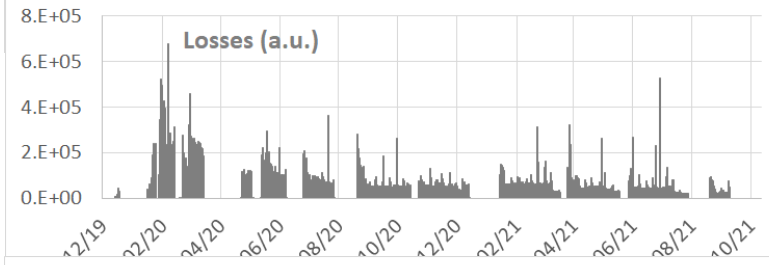
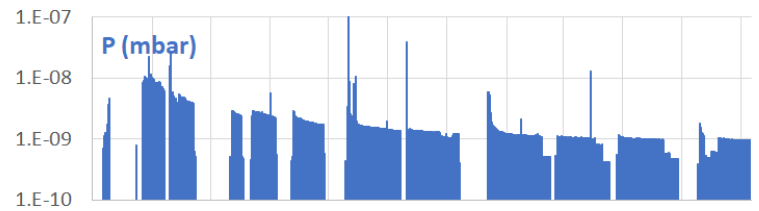
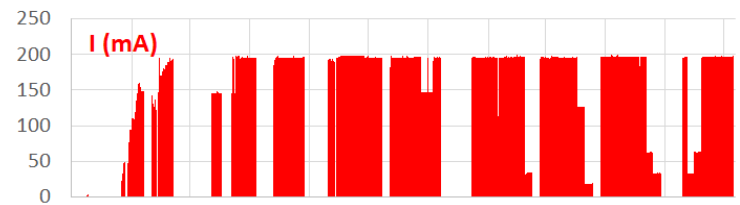
Vide

Aujourd'hui : τ : ~25 hours
 ($\epsilon_h = 125$ pm, $\epsilon_v = 10$ pm)
 $\tau_{\text{vacuum}} \sim 130$ h

Faible contribution du vide

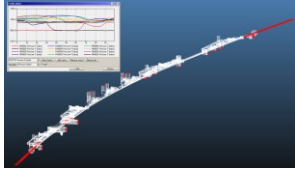
Pression moyenne : 9.6×10^{-10} mbar @ 200 mA

La pression diminue toujours et reste très stable

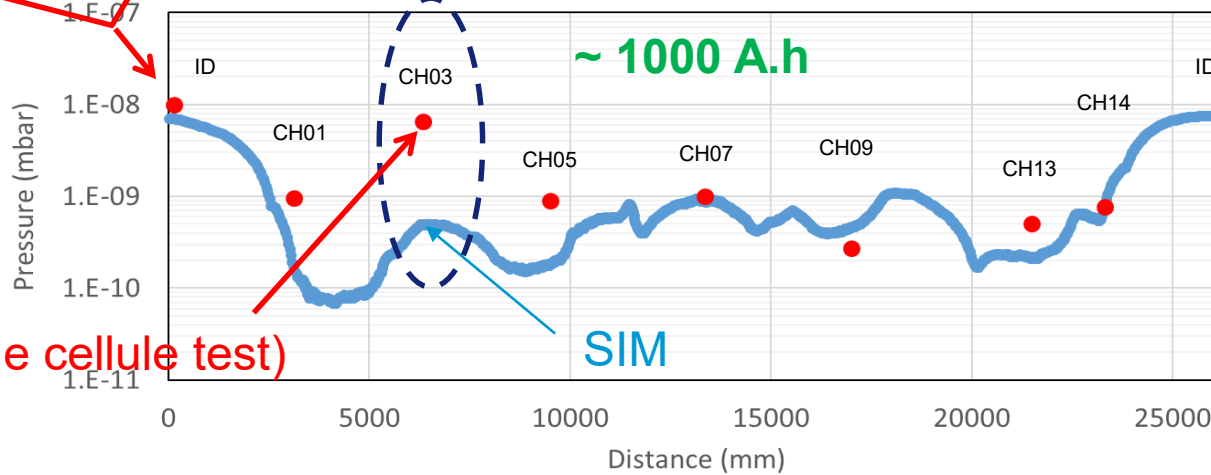
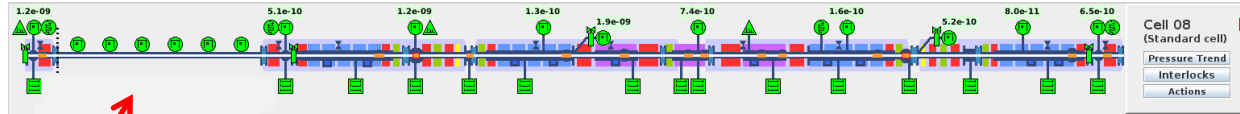


2.7) DONNÉES VIDE RÉELLES ET SIMULÉES

Simulation avec MOLFLOW, *Hugo Pedroso Marques*



Cell 8 - ID5000
avec 6 PEN

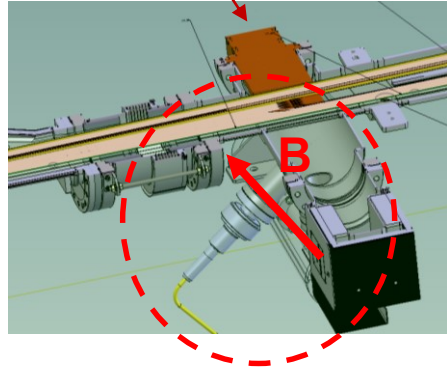


REEL (PEN de cellule test)

- Pressions réelles plutôt en accord avec les simulations, mais un écart important inattendu pour la chambre CH03 ??

2.8) ARTEFACT DE MESURE : GAUGE PENNING

absorbeur

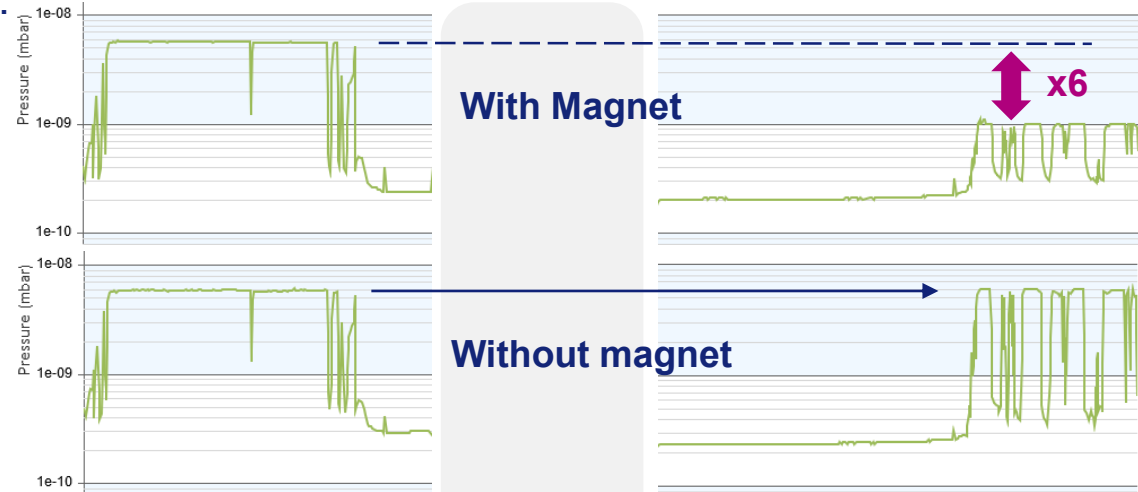


Cependant la pression vue par la pompe ionique semble être plus cohérente : Pression (PEN) = 8x Pressure (IP)

Après quelques investigations pour éliminer l'effet possible de l'interaction avec les champs magnétiques environnants et celui direct des radiations, **Ajout d'un aimant à l'entrée de la gauge pour dévier les charges parasites qui pourraient interférer avec le courant de mesure de pression.**

Sources de charges « parasites » :

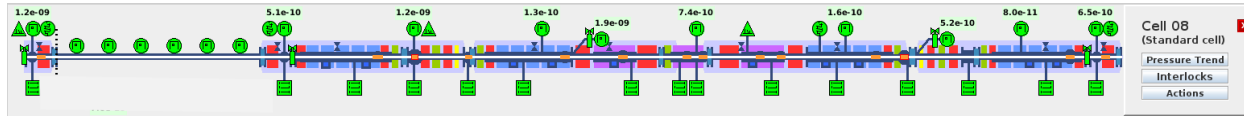
Nuages d'électrons ou ionisation probablement due à la fluorescence X provenant de l'absorbeur.



Page 13

ARRET HIVER 20/21

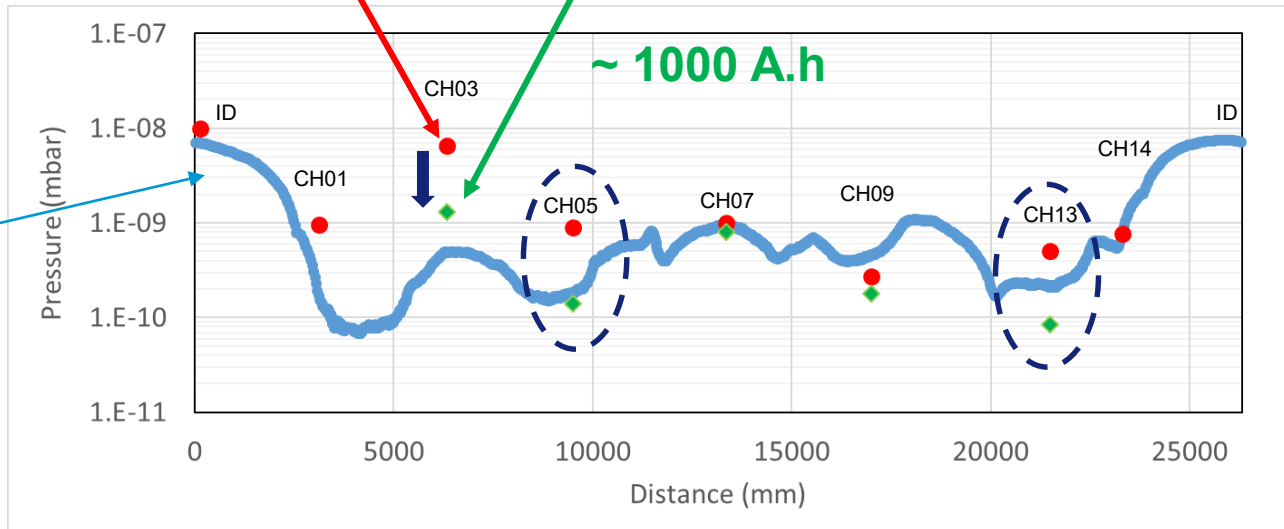
2.9) DONNÉES VIDE RÉELLES ET SIMULÉES



REEL (cellule test sans aimant)

REEL (Avec Aimant sur toutes les gauges d'une cellule test)

SIM



- L'artefact de mesure est également visible sur les gauges des chambres : CH03, CH05 et CH13
- Après correction, profil de pression en accord avec la simulation

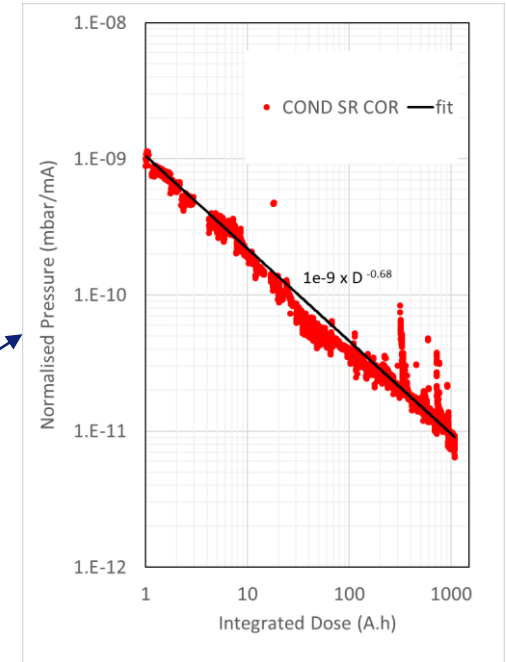
2.10) COURBE DE CONDITIONNEMENT CORRIGÉE

Corrections : 16 gauges réelles ou virtuelles par cellule et correction artefact de mesure

L'augmentation de la pression avec le faisceau en fonctionnement normal à 2 origines possibles :

- Dégazage thermique : optimisation du design et impédances (25 C → 29C, négligeable)
- Photo désorption (consécutives aux rayons X « arrosant » les absorbeurs) : prédominant

loi de puissance : $P/I = P_0 \times D^{-n}$



pas d'effet de saturation des pompes NEG (confirmé par les quelques réactivations effectuées sans amélioration notable)

2.11) NATURE DU VIDE : ANALYSE DES GAZ

La pression totale renseigne sur le nombre de molécules ($PV=Nk_B T$), mais ne dit rien sur leur nature ou leur taille.

Il vaut mieux 10^{-9} mbar d' H_2 que de Xe, si on veut limiter les interactions avec le faisceau d'électrons:

Sections efficaces = $f(r^2, Z^n)$

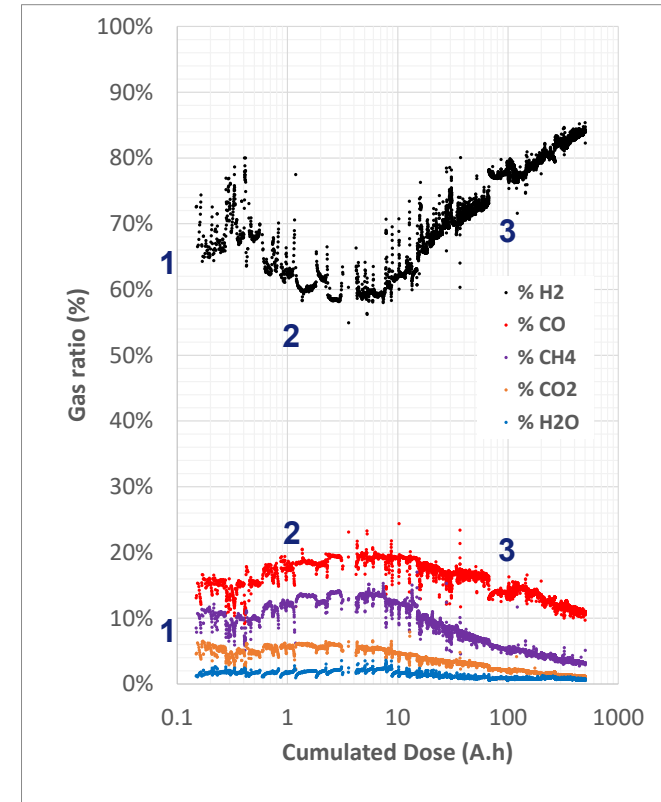
Après la phase de montée en courant et d'optimisation des paramètres faisceau ou la proportion d'hydrogène diminue légèrement au profit de CO (20%), CH₄ (15%), la tendance s'inverse pendant la phase dite de conditionnement en opération stabilisée :

Aujourd'hui :

$H_2 > 85 \%$

$CO < 10 \%$

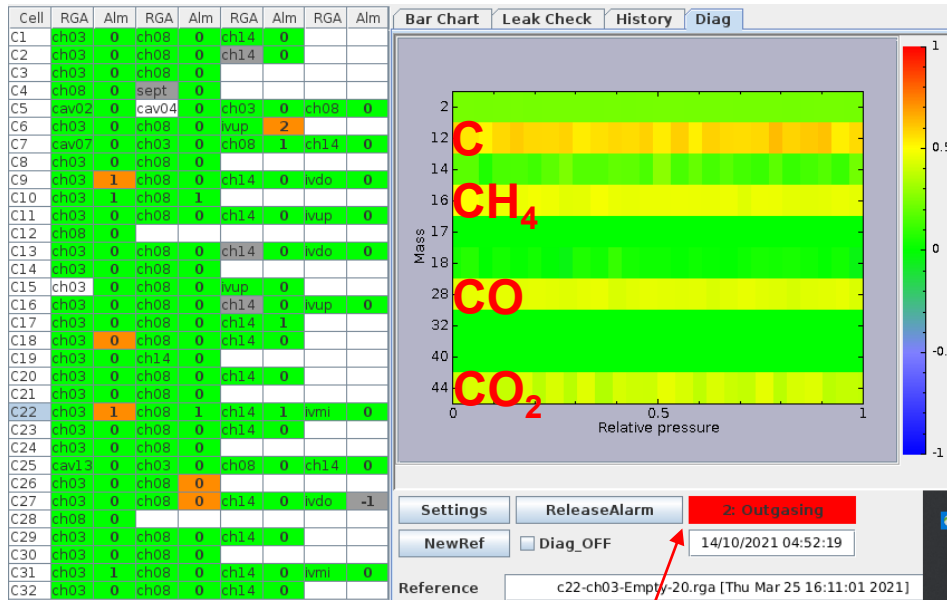
RGA Conditioning Curves



3) SURVEILLANCE DU VIDE ET DIAGNOSTIQUE

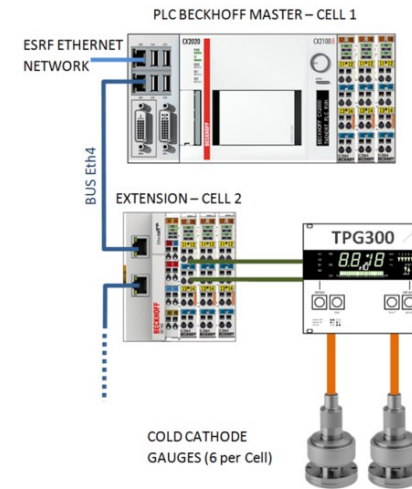
Objectif : Détection, Diagnostique en temps réel et Archivage

Pressions partielles :
Analyseurs de gaz (RGA)



Alarme de niveau 2 : Dégazage C22-CH03 du
14/10/2021 à 04h52

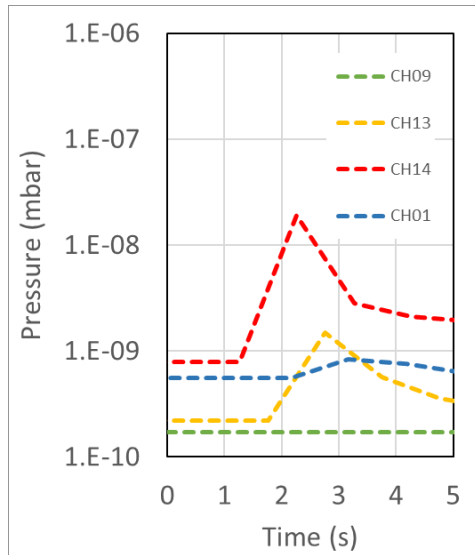
Pressions totales
(PEN)



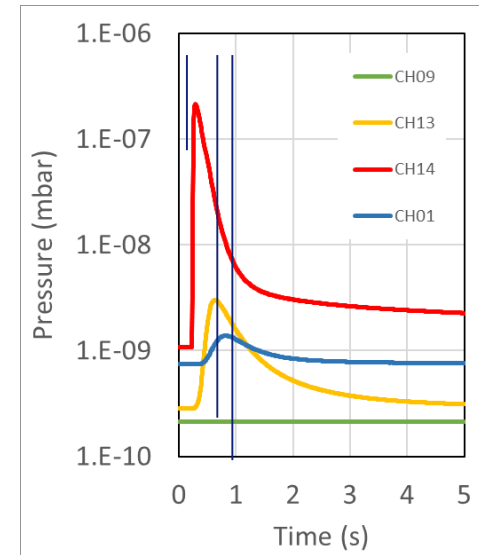
Un système d'acquisition rapide dédié à la détection / archivage d'événements « vide » : **FDA**


3.1) FAST DATA ACQUISITION (FDA)

Archivage standard continu via interface Série HDB (1 point/sec)



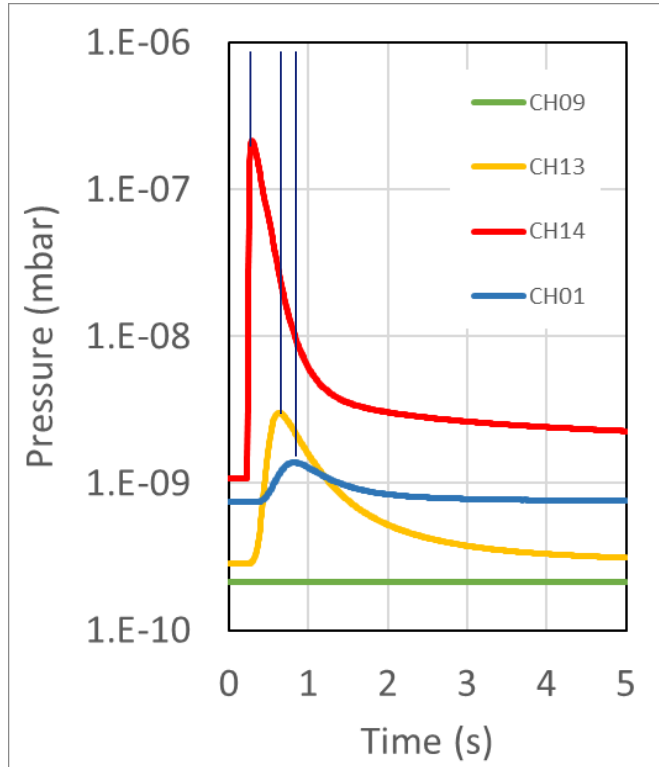
Archivage sur detection d'évènement via signaux analogiques FDA (200 points/sec)



FAD permet de mesurer précisément les retards de montée de pression entre gauges liés au phénomène de dilution/propagation des molécules dégazées localement  Localisation possible du degasage initial ?

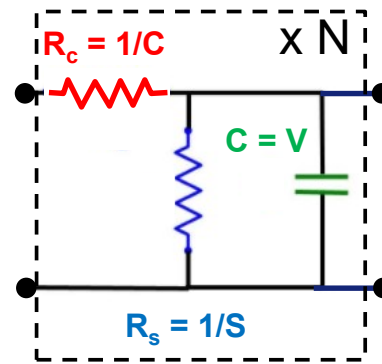
3.2) SIMULATION- LOCALISATION (EN COURS DE DÉVELOPPEMENT)

Conductance (C), Volume (V), Vitesse de pompage(S)



RC circuits analogy (SPICE)

N modules RC en cascades $\{V_n, S_n, C_n\}$



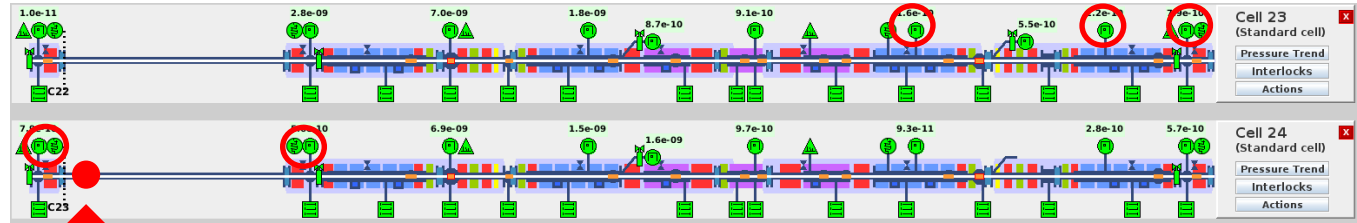
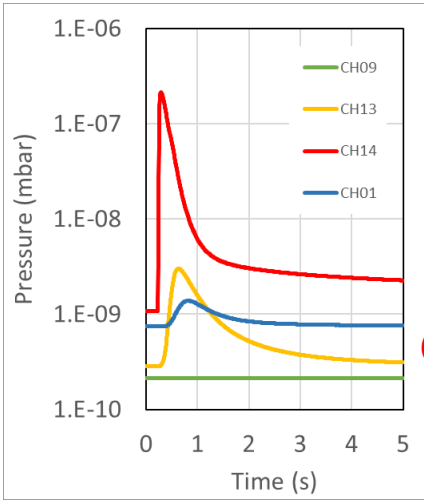
$$\tau_s(n) \sim V_n / S_n$$
$$\tau_{RC}(n) \sim V_n / C_n$$

Constantes de temps ou
“retard” d’un module
vide RC

Principe : En confrontant les retards mesurés et simulés, on peut déterminer la position origine d’un évènement vide.

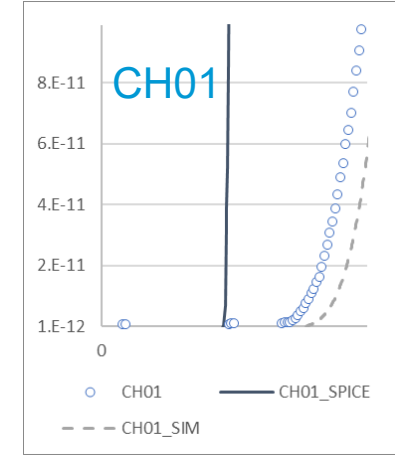
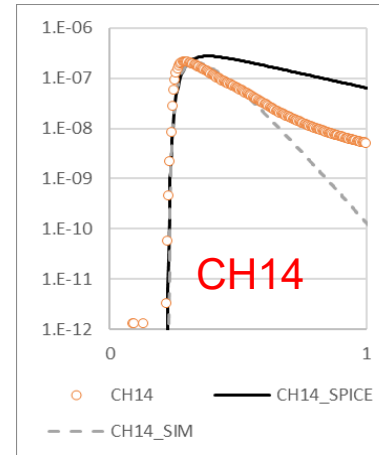
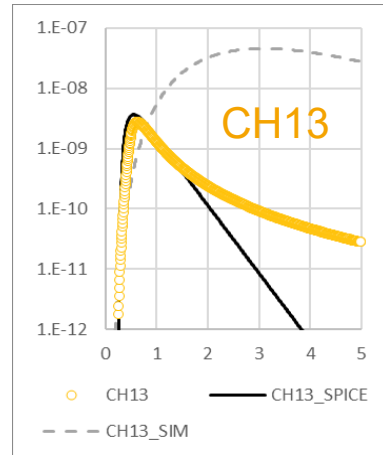
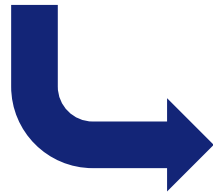
3.3) FDA – EXEMPLE D'EVENEMENT

PEN : CH09 CH13 CH14



CH14 CH01

Origine de l'évènement : à ~ 20 cm dans la chambre ID5000



CONCLUSION

- **Objectif atteint : Un « RIEN » presque parfait**
 10^{-9} mbar @ 200 mA, 1400A.h, en un temps record
 - $20 \mu\text{m}^3$
- **Très peu d'impact du vide sur la phase de redémarrage (stable et fiable)**
- **Interventions planifiées 2022-? : Invacuums et nouveaux Kickers**



Merci à tous les collègues « vidistes » de l'ESRF et proches collaborateurs.



Et merci pour votre attention



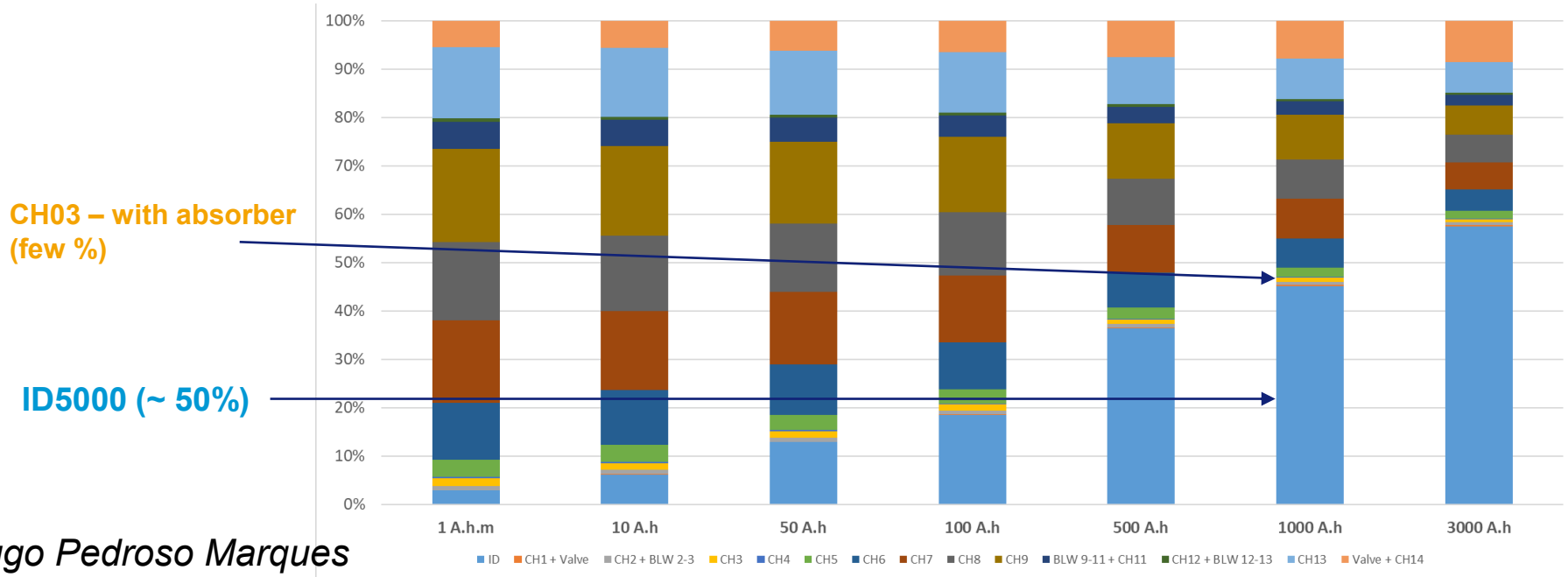


2.5) VACUUM CONDITIONING : CHAMBER CONTRIBUTION

- ARCs (CU absorbers) expected to condition faster than NEG Coated Chambers (ID sections)
- Contribution of ID-5000 close to 50% at 1000 A.h (CH14: 10%,...)

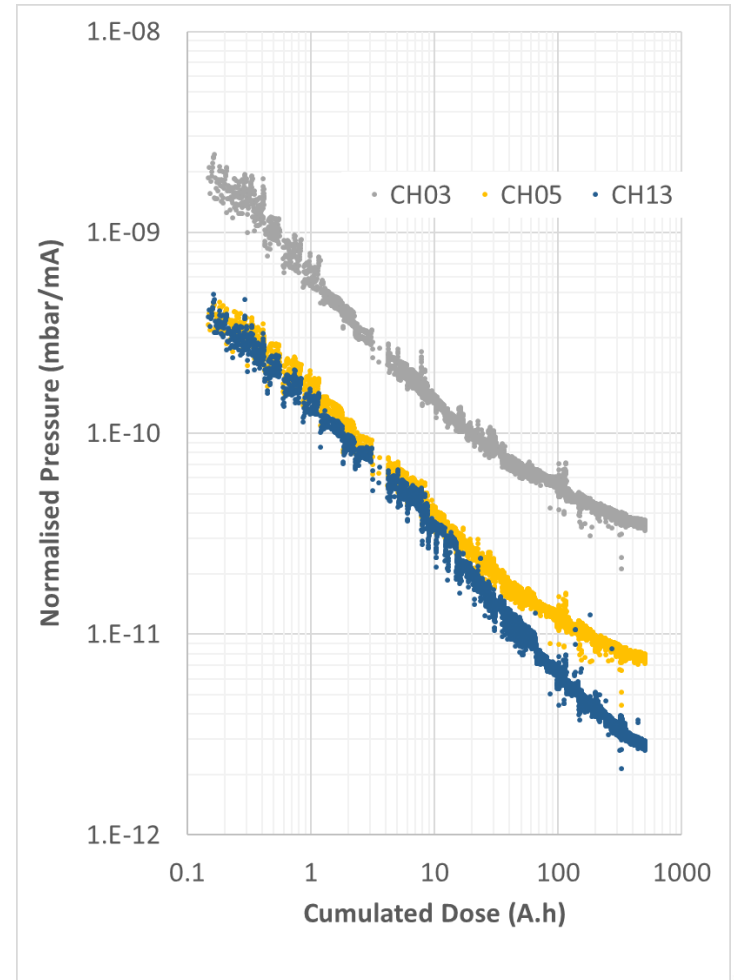
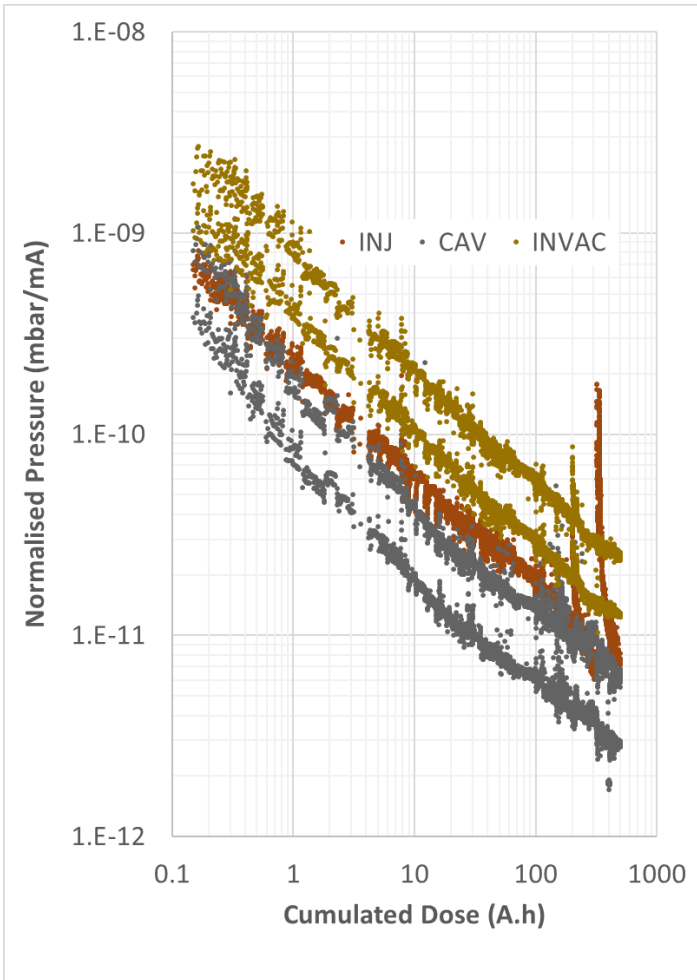
1 A.h → 1000 A.h

Contribution of each chamber for the lifetime reduction



Hugo Pedrosa Marques

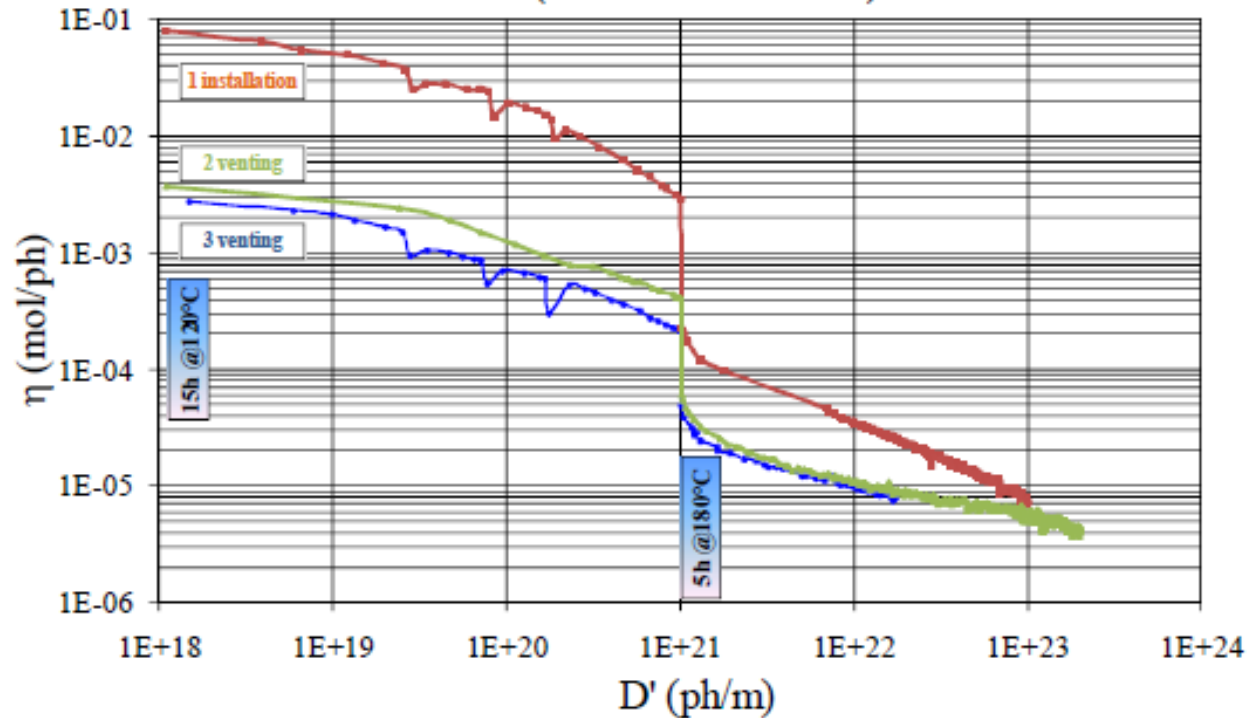
VACUUM CONDITIONING



PHOTODESORPTION MEASUREMENTS AT ESRF D31

H.P. Marques*, G. Debut, M. Hahn, ESRF, Grenoble, France

Conditioning of 2093mm Aluminium Chamber on D31 (ESRF NEG DEPOSIT)



PSD yield vs. dose for SST after bakeout.

© 1989 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

DIFFERENCES IN SYNCHROTRON RADIATION INDUCED GAS DESORPTION FROM STAINLESS STEEL AND ALUMINIUM ALLOY

M. Andritschky, O. Gröbner, A.G. Mathewson, P. Strubin
 CERN, Geneva, Switzerland
 R. Souchet, LURE, Orsay, France
 B. Trickett, ESRF, Grenoble, France

PSD yield vs. dose for ALU after bakeout.

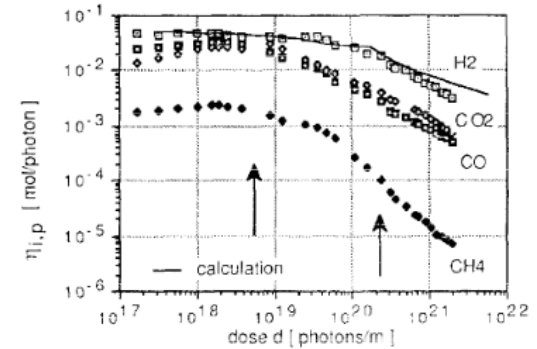


Fig.4 The molecular desorption yield $\eta_{i,p}$ for the gases H₂, CH₄, CO and CO₂ as a function of the accumulated photon dose for aluminium.

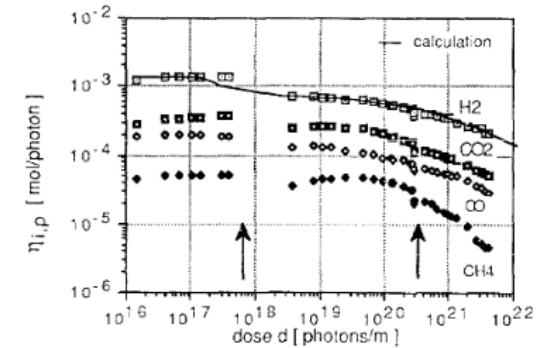


Fig.5 The molecular desorption yield $\eta_{i,p}$ for the gases H₂, CH₄, CO and CO₂ as a function of the accumulated photon dose for stainless steel.

CONCLUSION

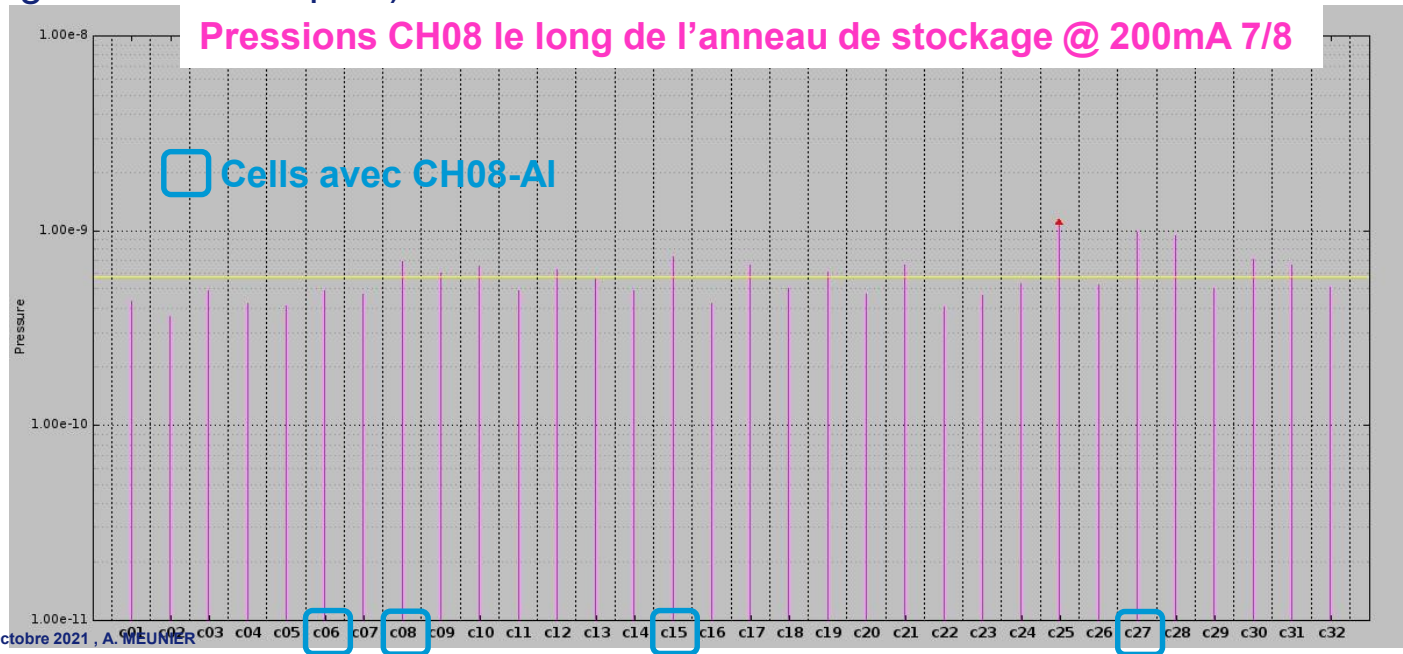
- **Clean and Reliable vacuum :**
 - > *Assembly/ bakeout => very good starting pressure and “clean vacuum”, $P \sim 4 \times 10^{-10}$ mbar*
 - > *Good vacuum Conditioning still effective (No NEG pump reactivation needed since restart)*
 - > *Stable vacuum in operation : very few failure coming from vacuum*

- **Interventions from first beam and coming :**
 - > *ID sectors (ID 5000, Invacuum)*
 - > *Ceramic chambers (shakers, Kickers) : Thermal/mechanical reliability problem (resistivity too high) en mode structure*
 - > *Remaining :*
 - *thicker Ti coated Kicker installation begin 2021/2022*
 - *New optimized kicker development/production on going*
 - *Cryo Invacuums (5 additional planned for coming years)*

PERFORMANCES – CHAMBRES EN ALUMINIUM

- Chambre Aluminium plus facile à réaliser (usinage dans la masse) par rapport à l'acier inox pour des géométries complexes (courbes et soudures) => Chambres dipôles (CH02,
- Une interrogation sur la photodésorption qui est bien supérieure :
- Les mesures de pressions confirment que la réflexion / diffusion de photons est négligeable
- 4 x chambres CH08 sont en aluminium et le reste en acier inox (tous les absorbeurs, pompes gauges sont identiques)

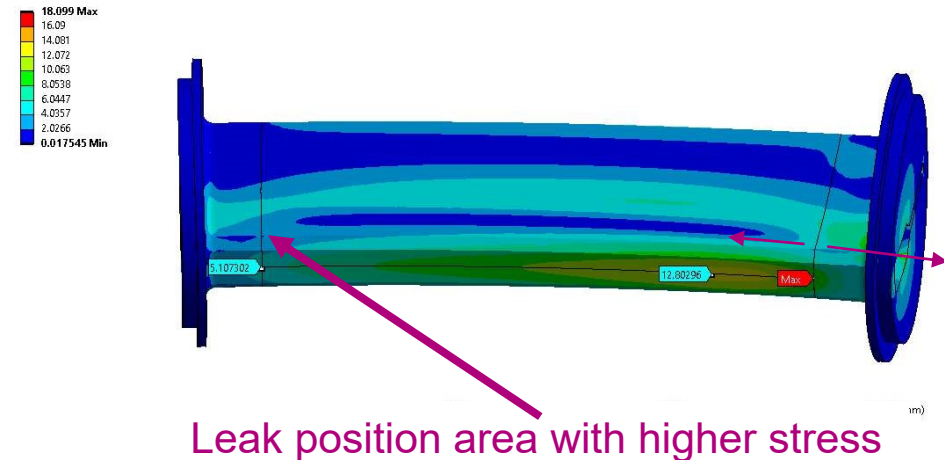
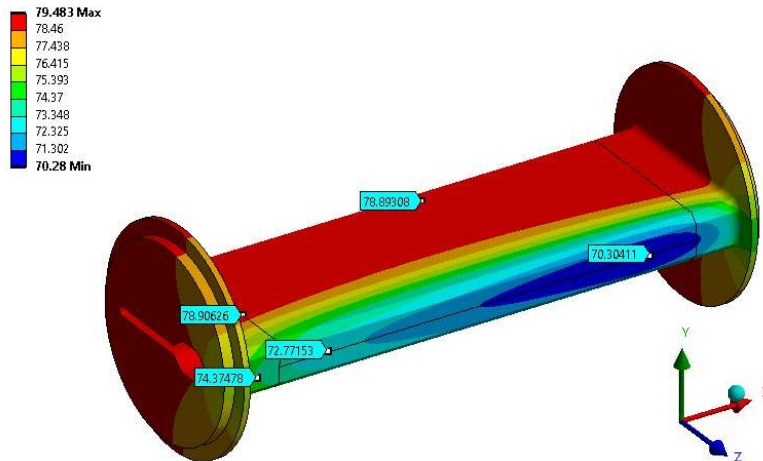
Pressions CH08 le long de l'anneau de stockage @ 200mA 7/8



Pas de
différenciation
visible !

KICKER WITH ADDITIONAL COATING

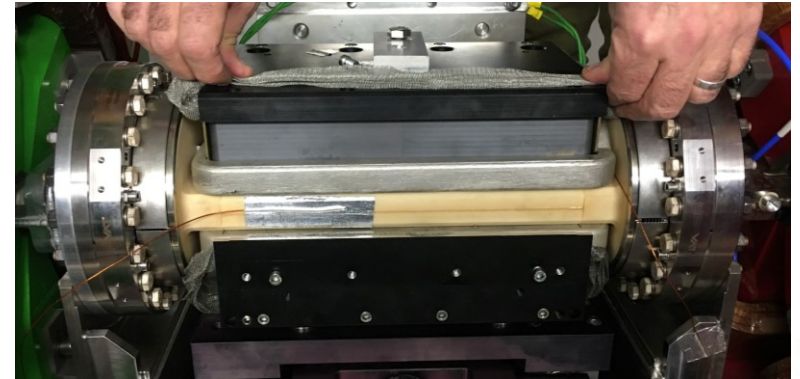
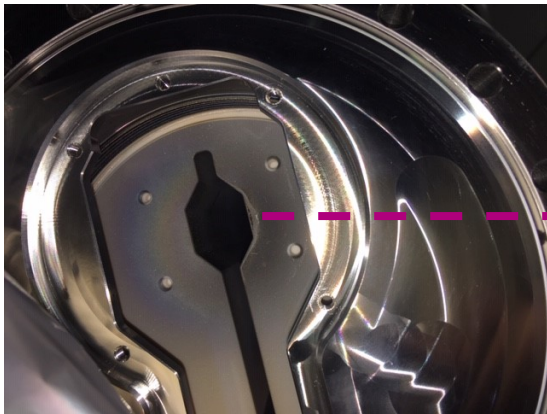
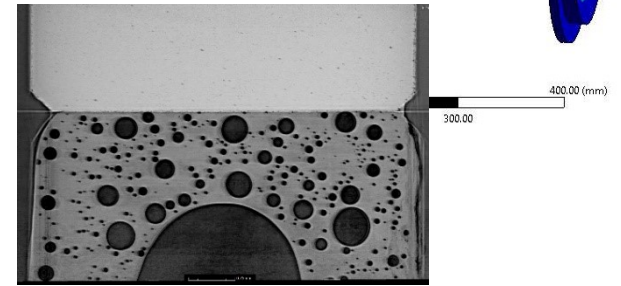
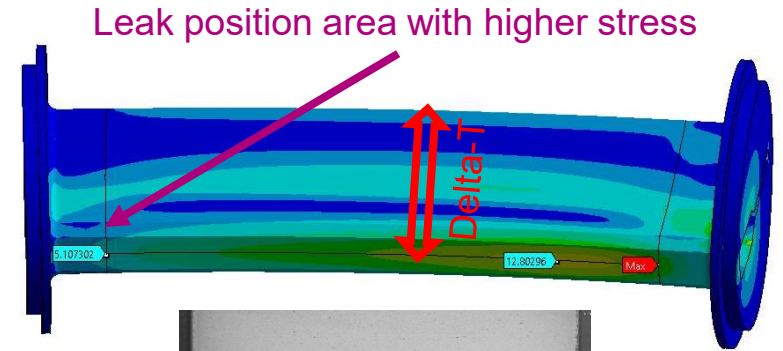
- Done June and Aug SD, but:
 - Air leak from K3 while attempting to rump-up in 16 bunch mode
 - Leak coming from glazing joint ceramic-ceramic
 - Probably due to a thermal stress



- Corrective actions -> temporary on going action (limit current for structured beam such 16 bunches), increase Ti coating to decrease resistivity
- redesign and installation of new kickers (2022 ?)

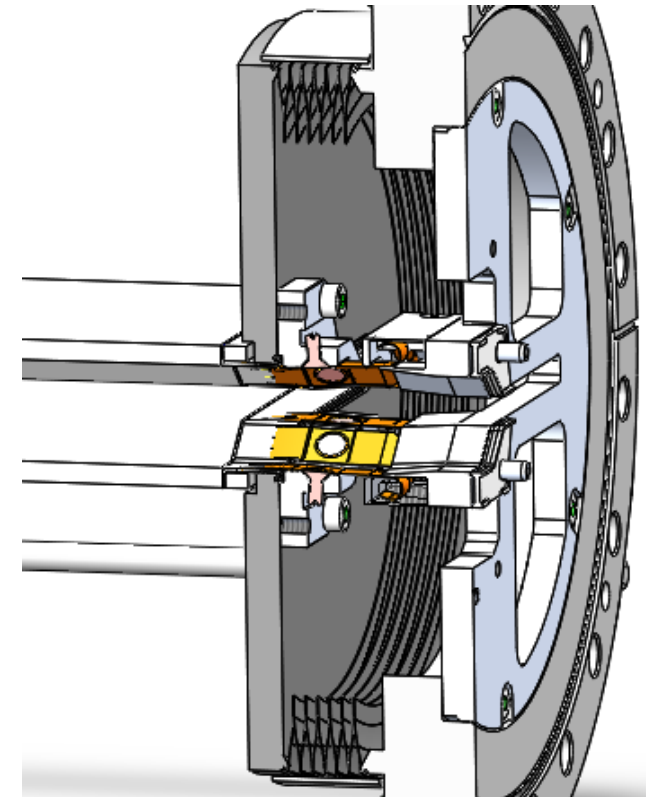
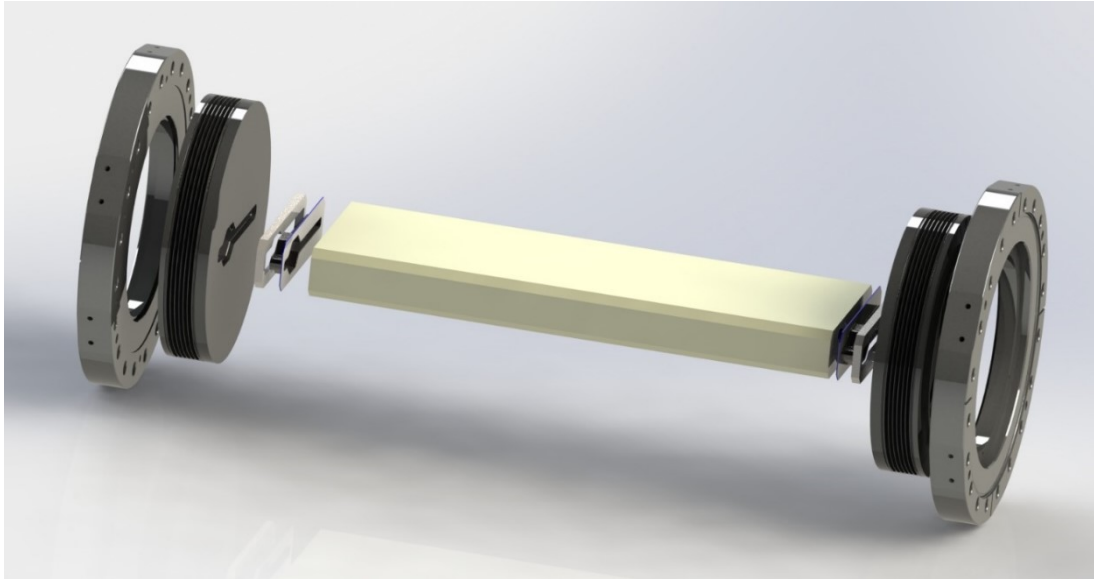
CERAMIC CHAMBERS - ISSUE

- Thermal gradient -> mechanical stress -> glazed joints weak point can break -> leak -> limit to 30mA in 16 bunch mode -> monitor delta-T to fix limits
- Not good electrical continuity between RF finger and Ti coating



CERAMIC CHAMBERS – RE-DESIGN

- No glazing joints (single body) - Corner metallization
- Common design for all 4x kickers (today we have one design for K1K4 and one K2K3) - **Done**
- Re-design of CH-15-INJ and INJ-Scraper - **Done**

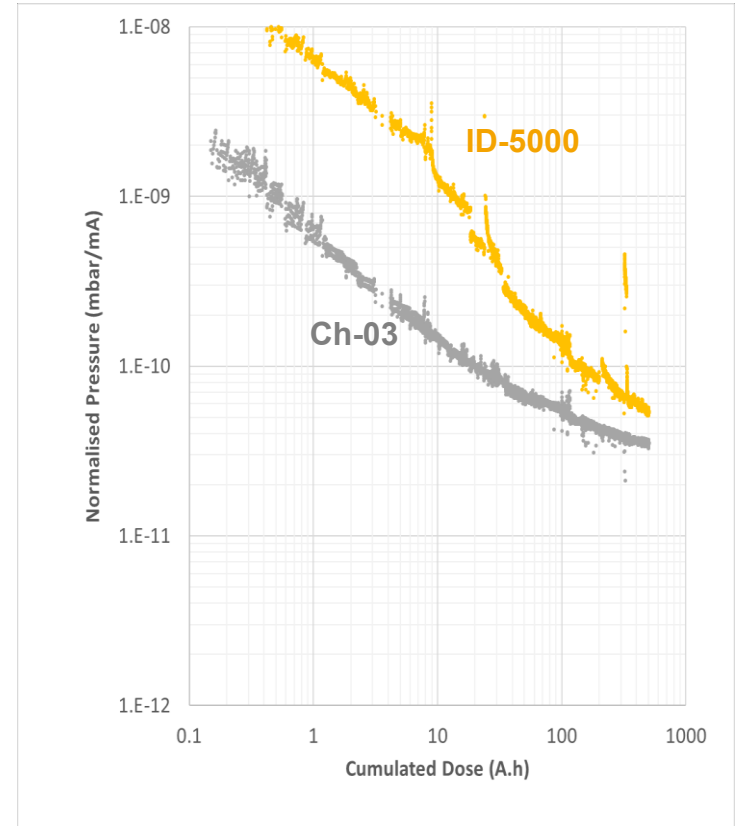


2.4) VACUUM CONDITIONING : CONTRIBUTION PER CHAMBER

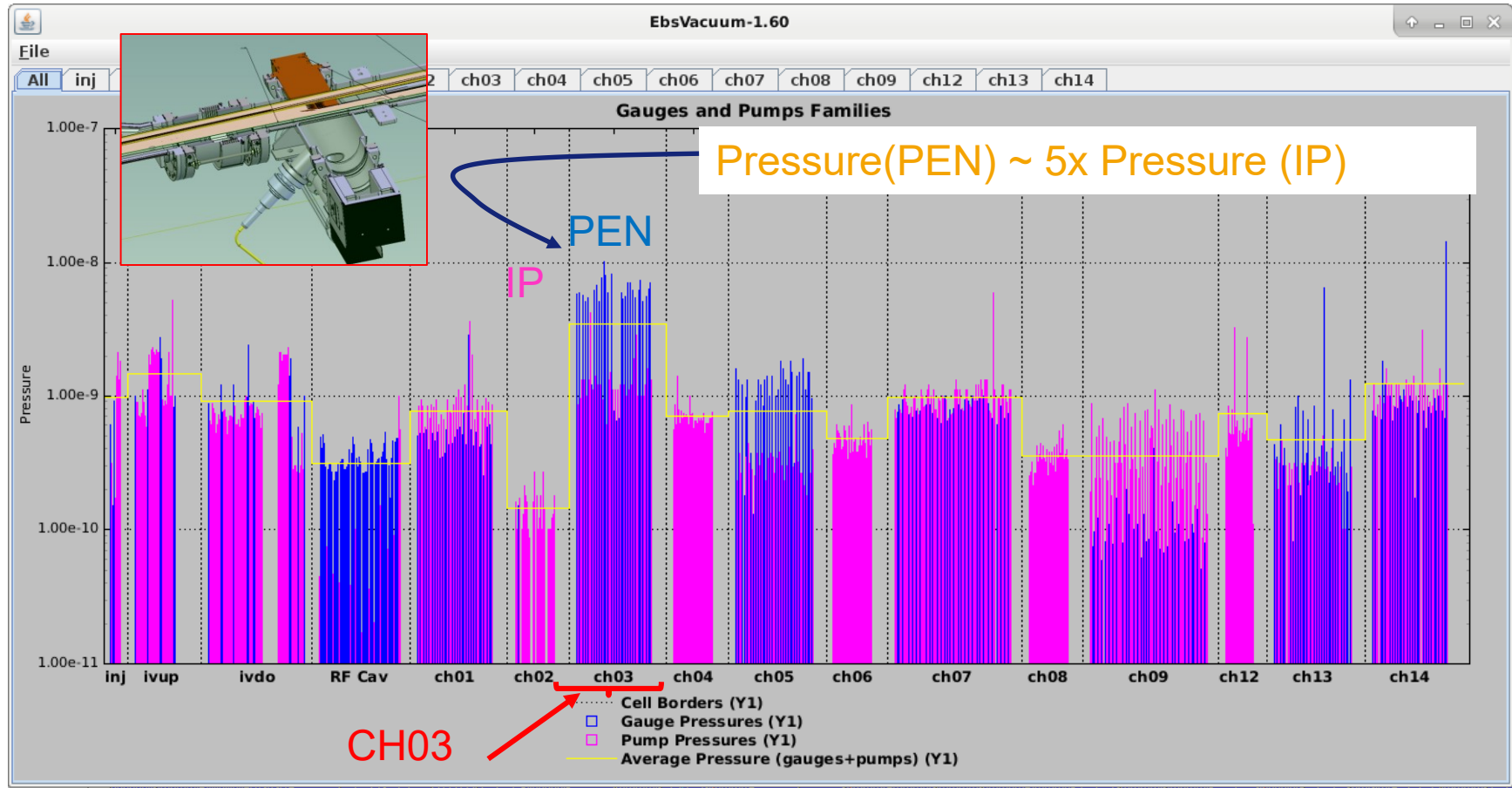
ID 5000 chambers **mainly contribute** to SR conditioning plot (simulation ~50 %)

However the **apparent slow down** from 40 A.h seems due to CH03

Not expected and needed some investigations !

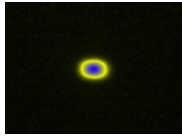


2.5) VACUUM CONDITIONING : CONTRIBUTION PER CHAMBER



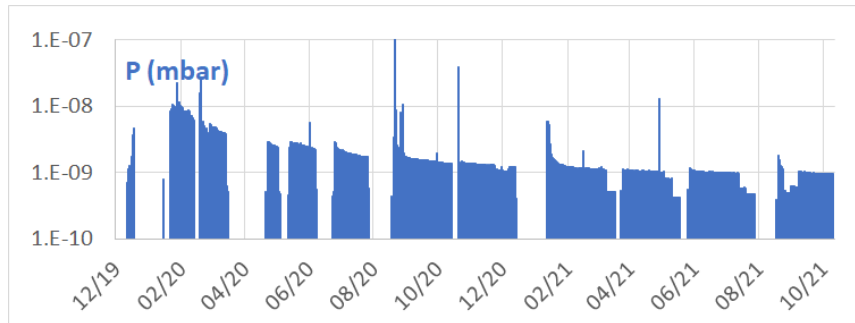
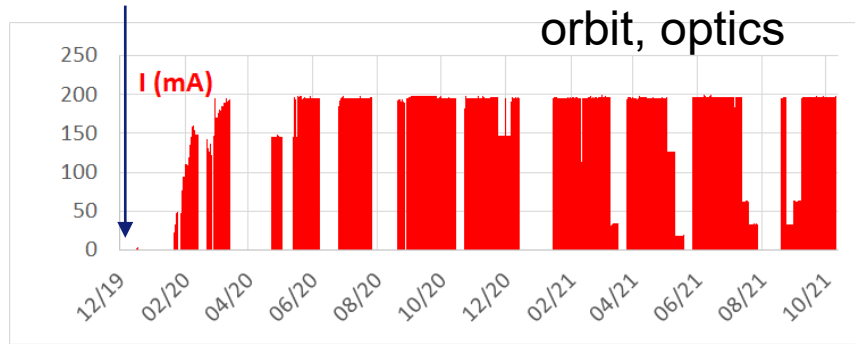
2.1) VACUUM BEHAVIOUR SINCE FIRST INJECTION

6th December 2019:
First stored beam
0.3 mA



Phase de tuning
optimization faisceau :
orbit, optics

~ 200 mA reached 4 months
after first stored beam !



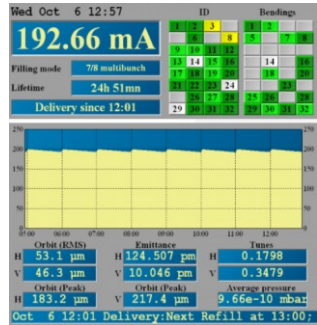
Vacuum Interventions:

- ID-5000 aluminum chambers (about 15 exchange/reactivation)
- 4 arc reactivations
- Campaign of Ceramic Chamber exchange (shaker/kicker) : thermal/mechanical behavior (Ti recoating campaign)
- ID Invacuums installation/exchange

Vacuum behavior is very stable

SR pressure (today) : 9.6×10^{-10} mbar @ 200 mA, $\sim 5 \times 10^{-10}$ mbar @ 0 mA

2.2) LIFETIME SINCE FIRST INJECTION



$$\frac{1}{\tau} \sim \frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_v}$$

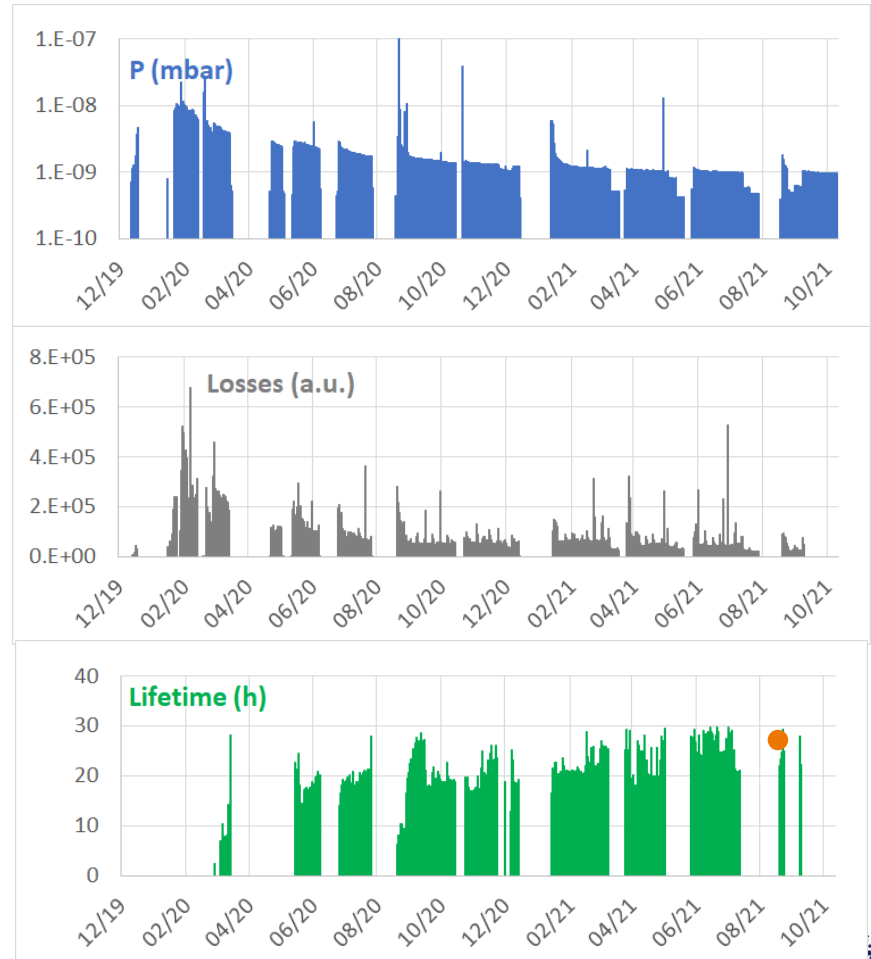
Touschek

vacuum

TODAY : τ : ~25 hours
 ($\epsilon_h = 125 \text{ pm}$, $\epsilon_v = 10 \text{ pm}$)

$\tau_{\text{vacuum}} \sim 130 \text{ h}$

Low vacuum contribution to lifetime



2.6) CONDITIONNEMENT DU VIDE ?

L'augmentation de la pression avec le faisceau en fonctionnement normal à 2 origines possibles :

- Dégazage thermique : optimisation du design et impédances (25 C → 29C, négligeable)
- **Photo désorption (X-ray arrivant sur les absorbeurs) : predominant**

loi de puissance : $P/I = P_0 \times D^{-n}$

Pression normalisée par le courant en fonction de la dose (courant intégré)

- En environ une décade en dessous des premières simulation « Orange Book 2014 »
- Cependant après 40 A.h on observe un ralentissement ????

