

ESRF: Aspects du fonctionnement des accélérateurs au jour le jour

PLAN DE L'EXPOSÉ

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLERATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

1. INTRODUCTION

- INTRODUCTION

- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLERATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

1. INTRODUCTION

L'opération est définie par des contraintes extérieures

L'Opération au jour le jour est définie par des contraintes extérieures:

Pour quelles sciences ?
Quelles sont les contraintes sur
le faisceau pour réaliser cette
science ?

De quels outils
dispose t-on ?



Quelle est la stratégie de
fond qui aura de
l'influence au quotidien ?

Quels sont nos engagements ?
Combien d'heures de faisceau
faut-il délivrer ?

1. INTRODUCTION

L'opération est définie par des contraintes extérieures

- Quels étaient les objectifs des concepteurs de l'ESRF ?
- Quelles spécifications techniques du faisceau étaient annoncées ?
- Qui sont les utilisateurs, leurs exigences ?
- De quels accélérateurs dispose t-on ?

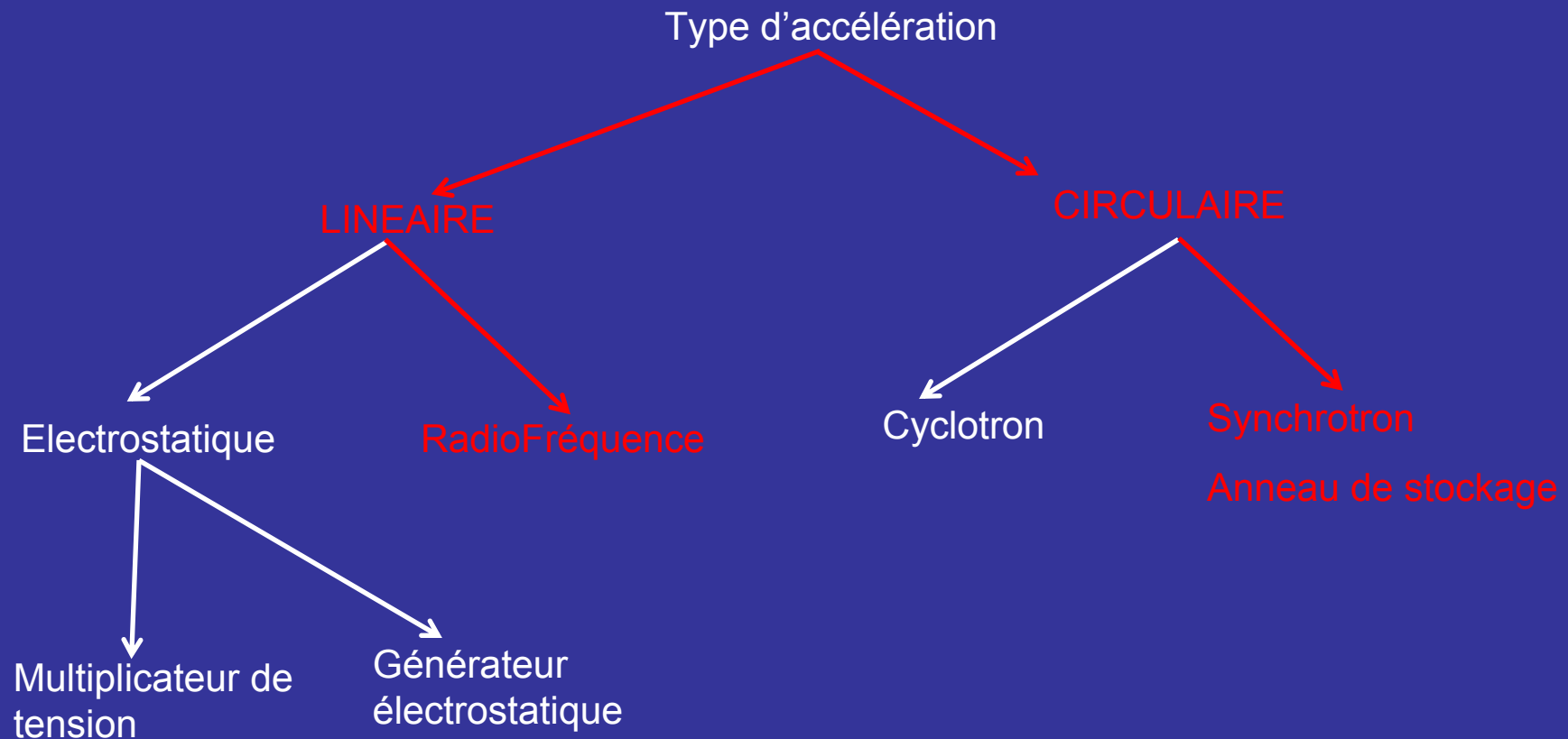
Une fois ces contraintes définies, l'Opération au quotidien à l'ESRF va 'couler de source' !

2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLÉRATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

Les grandes familles d'accélérateurs

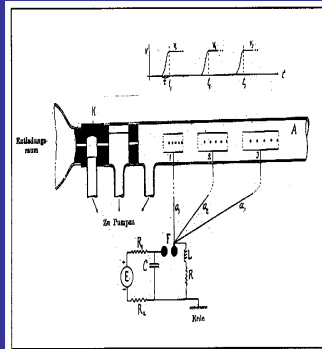


2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

Les accélérateurs linéaires à Radio Fréquence

L'accélérateur linéaire à radio-fréquence:

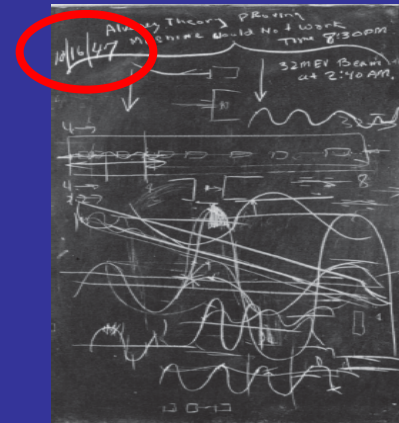
1924: Ising conçoit le premier 'Linac' sur papier



1928: Wideroe réalise le premier prototype



1947: Alvarez accélère le premier faisceau de proton dans un Linac



1947, Hansen met au point le premier accélérateur de l'Université de Stanford, le Mark I pour accélérer des **électrons** jusqu'à 6 MeV. Il construit ensuite un nouveau prototype, Mark II, avec lequel il atteint l'énergie de 49 MeV

1966 : 18 GeV électron atteint à SLAC (Stanford)



L'accélérateur linéaire de Stanford en quelques chiffres :

- Énergie record 53 GeV en 1987
- 3,2 km de long
- 960 sections accélératrices
- 245 klystrons d'une puissance comprise entre 6 et 64 MW chacun, installés dans le plus long bâtiment du monde
- Fréquence du champ électrique oscillant : 2856 MHz
- Lignes de faisceaux enterrées sous 8 mètres de terre.

2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

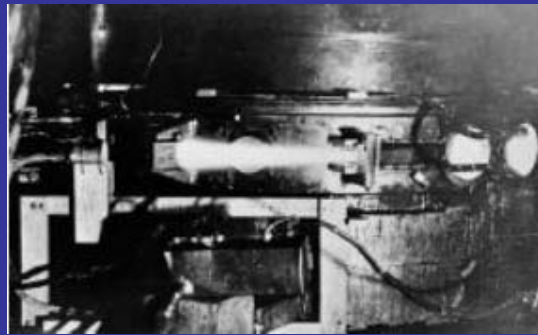
Les accélérateurs circulaires

Les accélérateurs circulaires:

1930: le premier cyclotron



Mars 1936: 1er faisceau deuton de 5.8 MeV



1940: 1er béatron



1952: le premier synchrotron (cosmotron)



1959: Inauguration du PS (CERN) :
synchrotron à protons



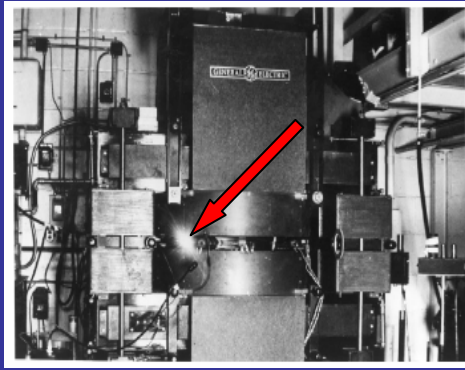
1989: Inauguration du LEP (CERN) : collisionneur e-e⁺



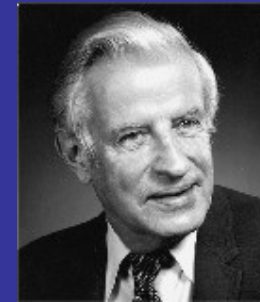
2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

Les sources de rayonnements synchrotron

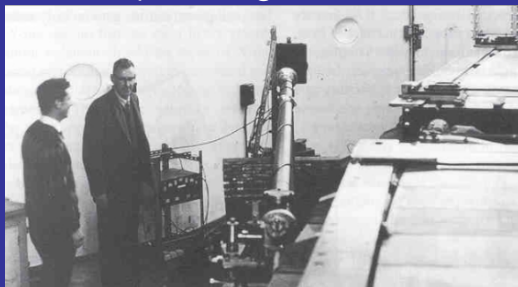
1947: Première observation du rayonnement synchrotron



1945: J Blewitt, sur son bétatron de 100 MeV aurait pu observer le rayonnement synchrotron si ... la chambre à vide n'avait pas été opaque !!



« Nina », la première ligne de lumière à Daresbury en 1966 (synchrotron de 6 GeV électron). 1ère génération



1981: SRS (UK) 1ère source (dédiée) de rayons X de 2ème génération



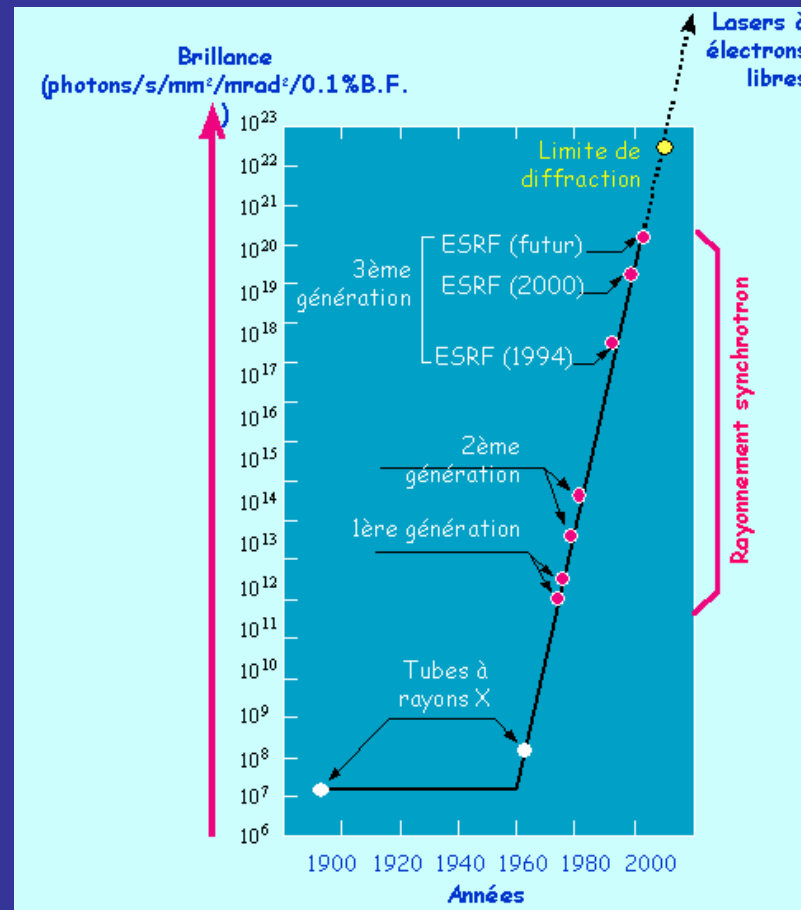
1994: Inauguration de l'ESRF, source de rayons X de 3ème génération



2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

Les sources de rayonnements synchrotron

Le progrès des sources de rayons X peut se résumer dans un graphe de la brillance en fonction du temps



2. Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF

Historique de l'ESRF

- 1975 Construire un synchrotron capable de produire des rayons X durs hyper brillants.
- 1988 Signature entre les pays membres.
- 1992 Premier faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage. Phase de mise au point.
- 1994 Ouverture aux utilisateurs. 15 lignes de lumière sont disponibles.
- 1998 Fin de la période de construction. 40 lignes de lumière sont opérationnelles.



3. L'ESRF AUJOURD'HUI

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLERATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

La structure organisationnelle de l'ESRF

L'ESRF est une société civile de droit français dont le financement est assuré par 18 pays.

Budget annuel : 80 MEuros.

Répartition du budget %

France	27,5
Allemagne	25,5
Italie	15
Royaume-Uni	14
Espagne	4
Suisse	4
Benesync (Belgique, Pays-Bas)	6
Nordsync (Danemark, Finlande, Norvège, Suède)	4
<i>Partenaires scientifiques :</i>	
Portugal	1
Israël	1
Autriche	1
République tchèque	0,44
Hongrie	0,20
Pologne	1

(as of January 2009)



Members' share in contribution to the annual budget:

27.5%	France
25.5%	Germany
15%	Italy
14%	United Kingdom
4%	Spain
4%	Switzerland
6%	Benesync (Belgium, The Netherlands)
4%	Nordsync (Denmark, Finland, Norway, Sweden)

Additional contributions

(percentages refer to Members' total contribution):

1%	Portugal
1%	Israel
1%	Austria
1%	Poland
0.55%	Czech Republic
0.25%	Hungary
0.25%	Slovakia

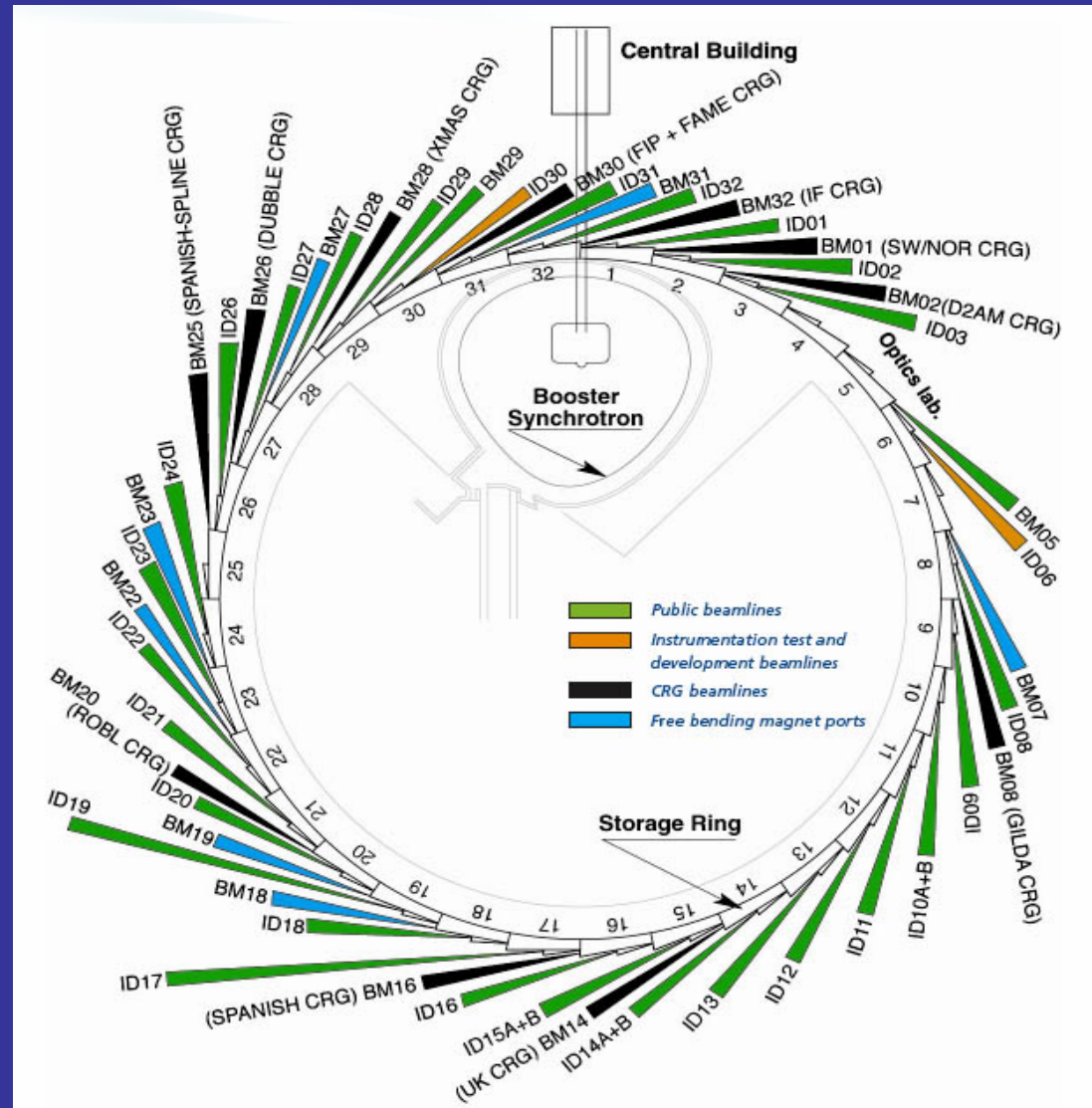
3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Les lignes de lumière

- 32 lignes de lumière publiques utilisant les éléments d'insertion des sections droites (y compris 8 onduleurs sous vide avec un entrefer minimum de 5 mm)
- 11 lignes de lumière sur les aimants de courbure pour les CRG (Collaborating Research Groups)

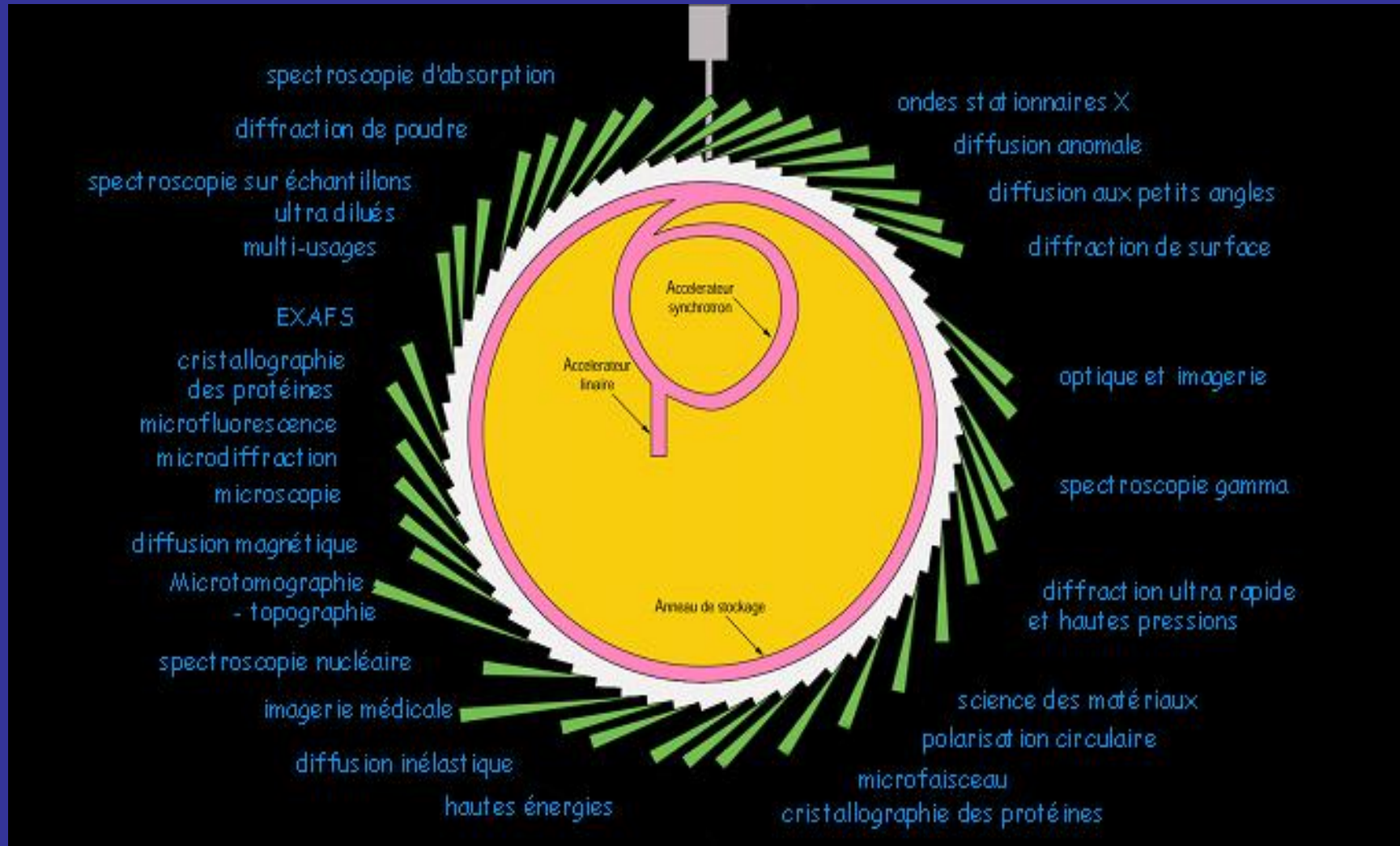
Principaux paramètres du faisceau

Particules	Electrons	
Energie nominale	6	GeV
Intensité nominale	200	mA
Temps de vie associé	82	heures
Emittance horizontale	$3.8 \cdot 10^{-9}$	m. rad
Coupling nominal	< 1	%



3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Une vue globale de la Recherche à l'ESRF



3. L'ESRF AUJOURD'HUI

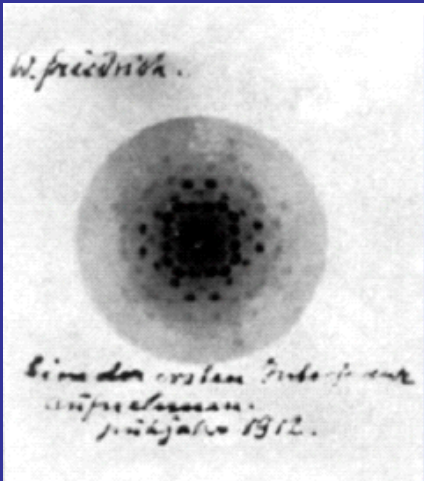
Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Introduction générale de l'activité à l'ESRF sous forme de film video: 13 minutes

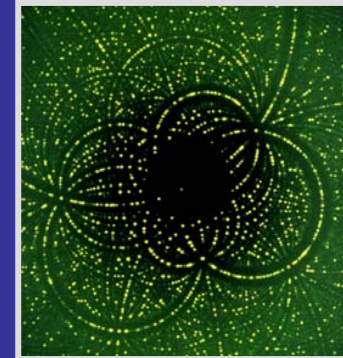


3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Diffraction Rayons X: le principe de base



Premier diagramme de rayons X obtenu par Max von Laue en 1912



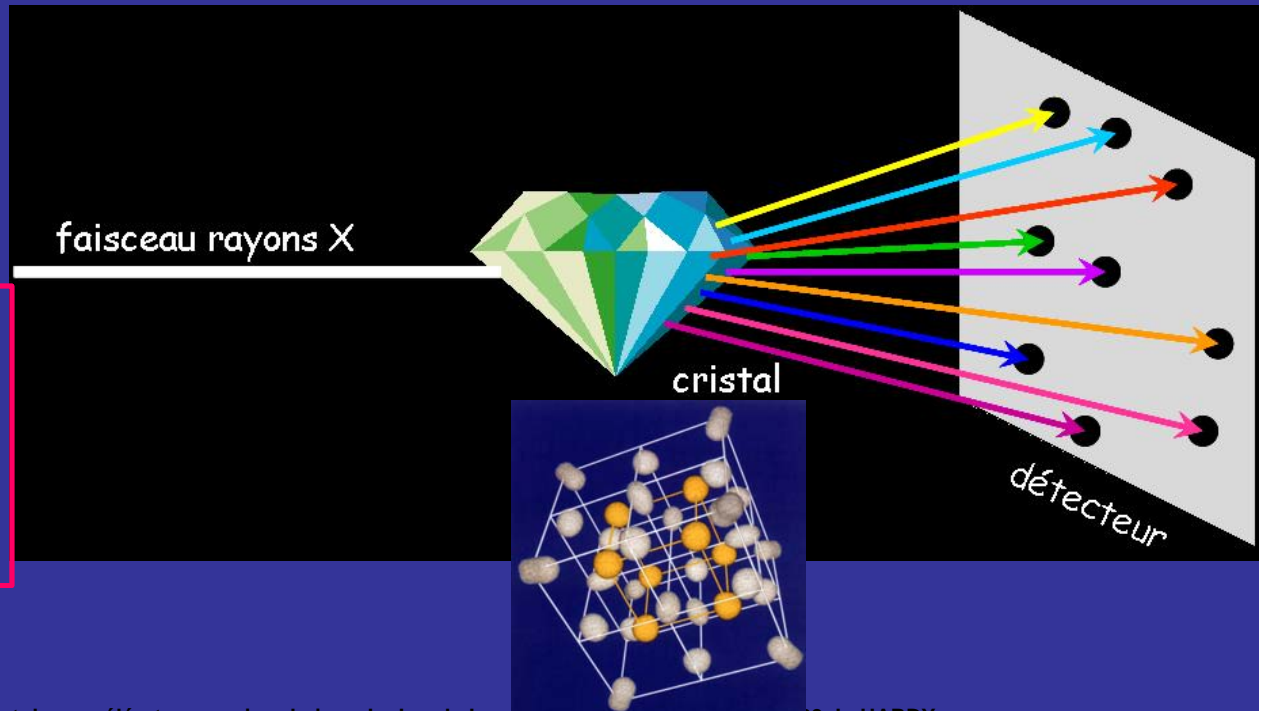
Loi de Bragg : $2 d \sin\theta = n\lambda$

λ : longueur d'onde

θ : angle d'incidence

d : distance entre 2 plans d'atomes

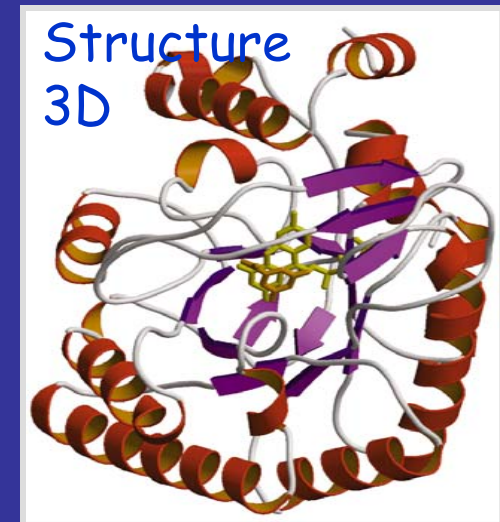
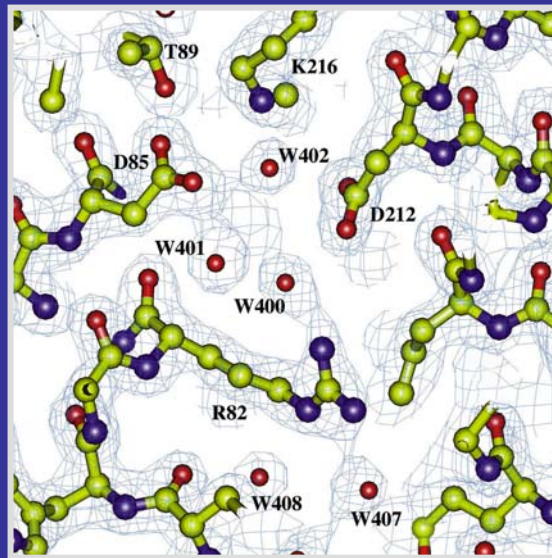
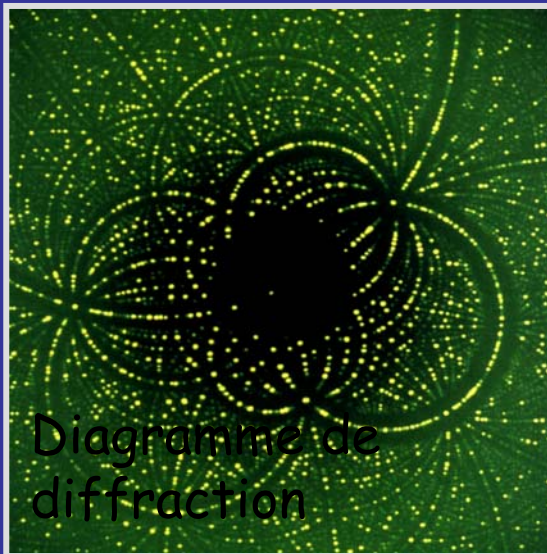
n : entier



3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 1 : la cristallographie des protéines



Faisceau:

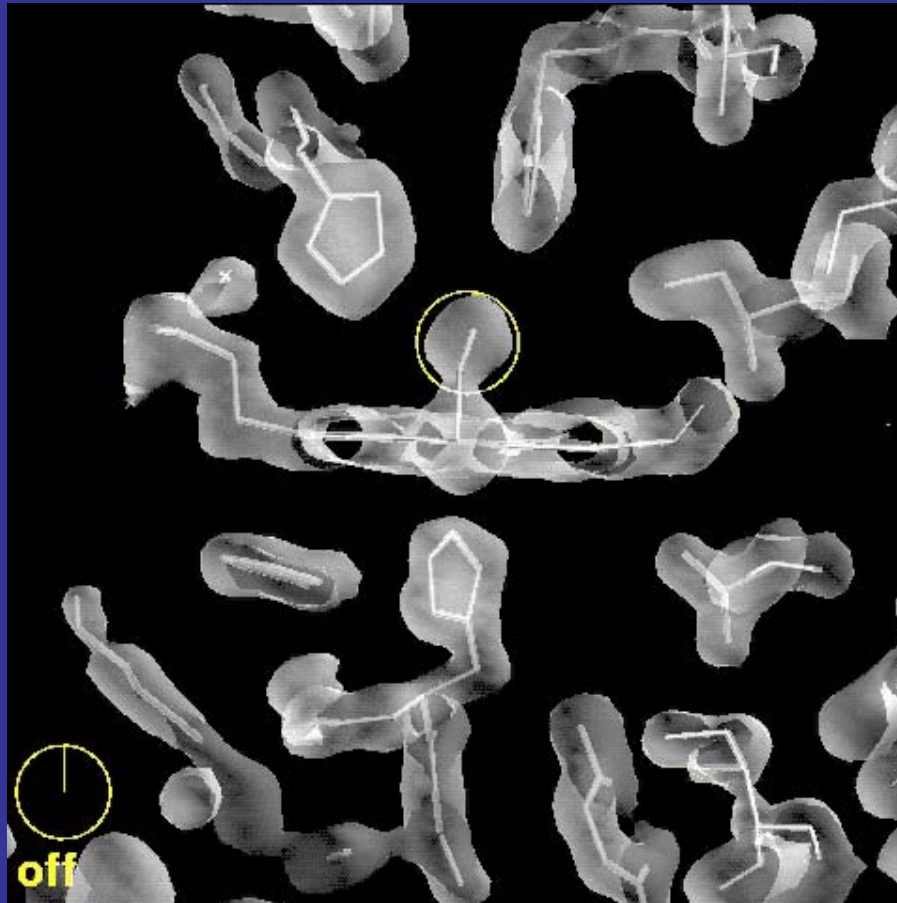
- FIABLE: beaucoup d'échantillons
- STABLE

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 2 : la Biologie

Filmer une protéine en action avec une précision inégalée



Faisceau:

- Fiable
- Stable
- Structuré en temps

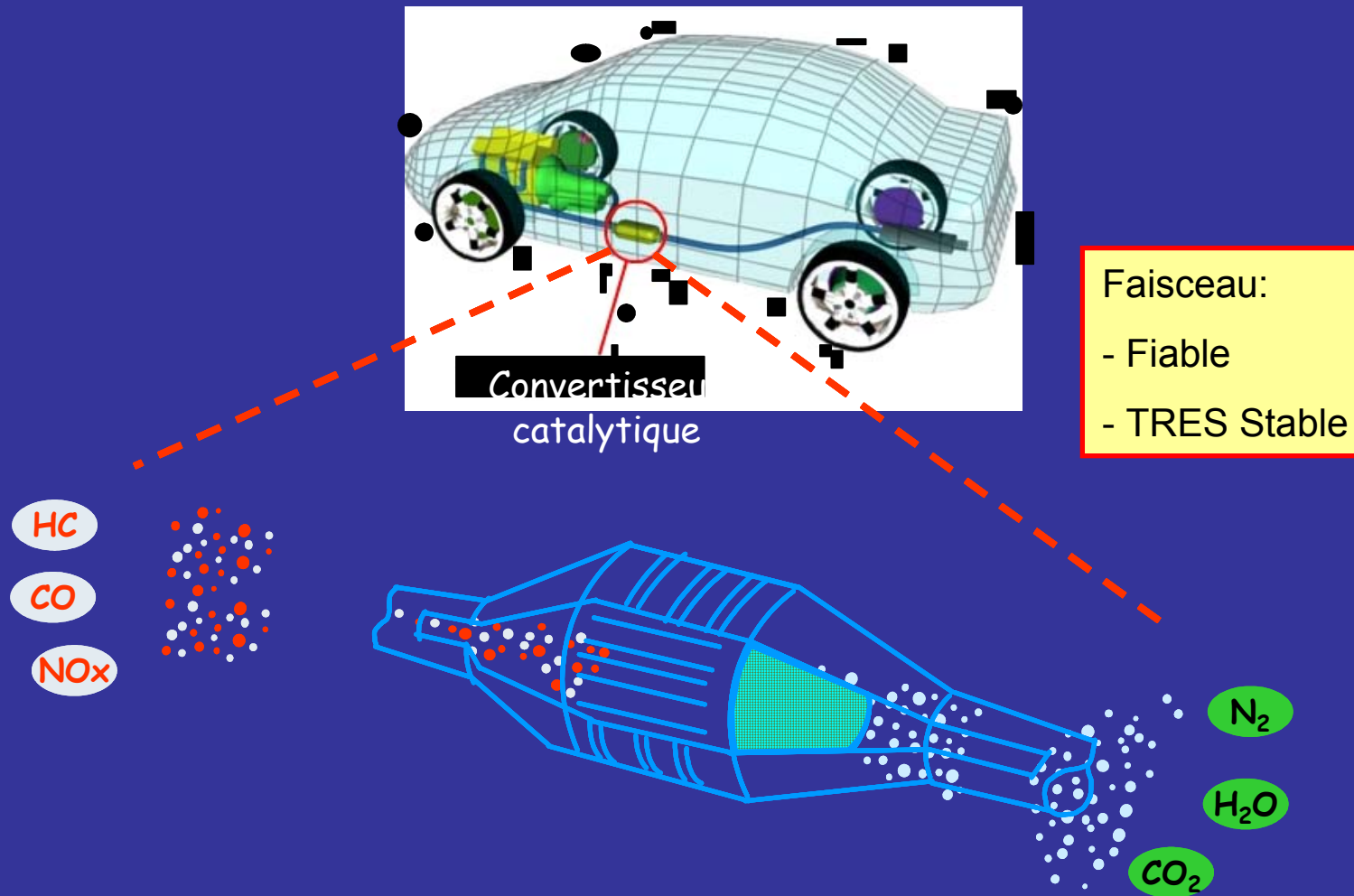
La myoglobine est une molécule qui stocke l'oxygène dans les muscles.

ESRF: Aspects du fonctionnement des accélérateurs au jour le jour: La Londe Les Maures , le 18 Septembre 2009. L. HARDY

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 3 : la Chimie

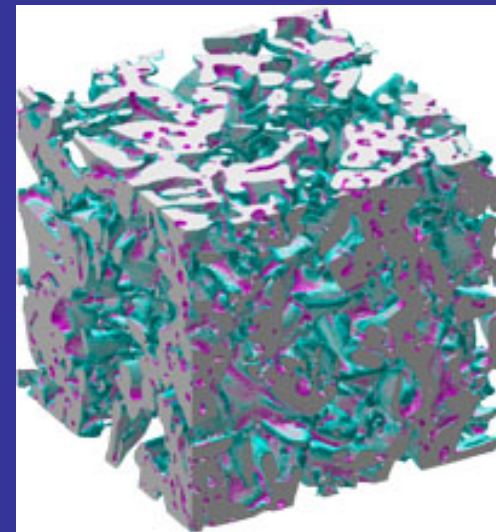
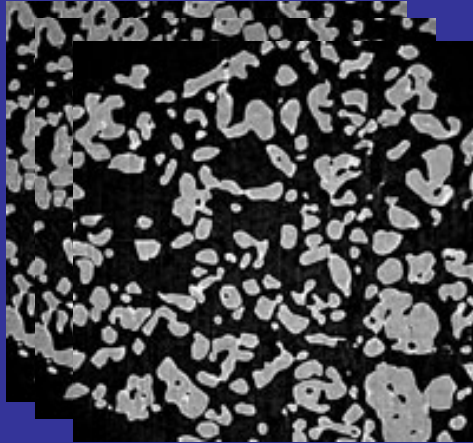


3. L'ESRF AUJOURD'HUI

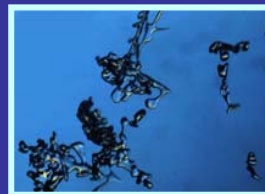
Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 4 : l'environnement

L'analyse de la structure 3D d'échantillons de neige ...



... aide à la prévision du risque d'avalanche.



Faisceau:

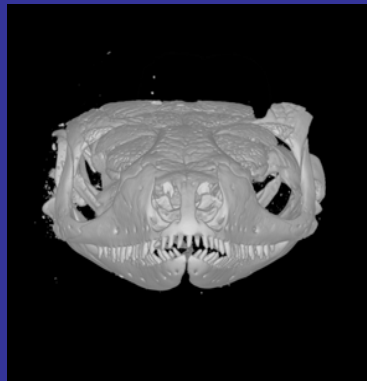
- Fiable
- Stable

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

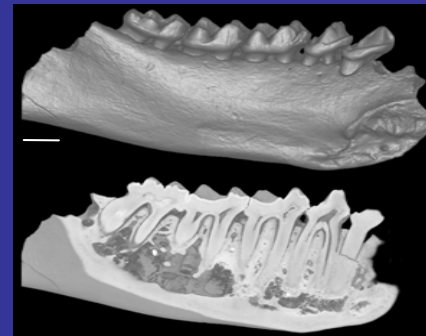
Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 5 : la paléontologie

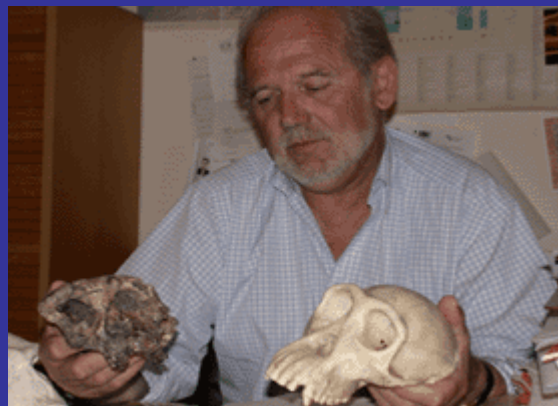
Lézard fossilisé ...



Mâchoires d'ancêtres du singe



Toumai, notre plus vieil ancêtre !



Faisceau:

- TRES Fiable (scans)
- Intense

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

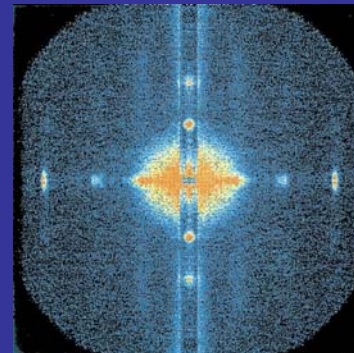
Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 6 : les matériaux

L'étude de la structure d'une toile d'araignée ...



... permet de comprendre ses étonnantes propriétés mécaniques



Faisceau:

-Stable

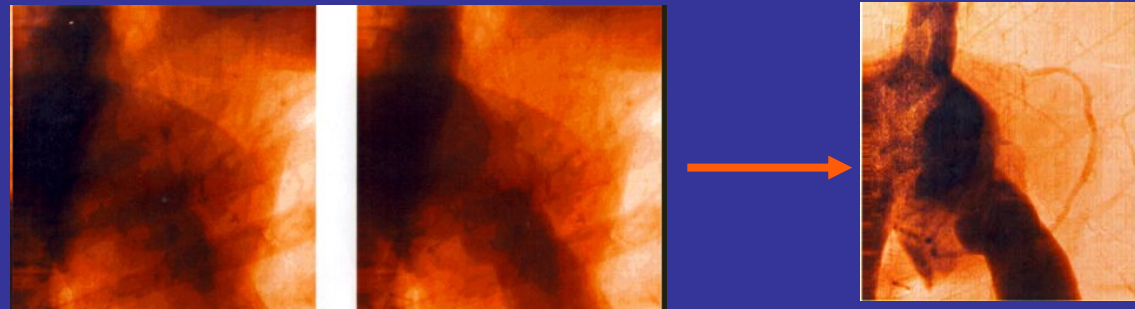
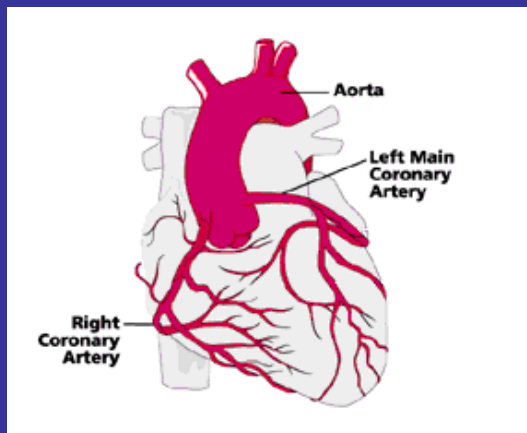
-Petite dimension

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 7 : la médecine

L'angiographie est une technique d'imagerie pour visualiser les coronaires.



L'angiographie pratiquée au synchrotron donne de meilleurs résultats que les techniques conventionnelles utilisées à l'hôpital.

Autres applications médicales

- Tomographie
- Mammographie
- Radiothérapie médicale

Faisceau:

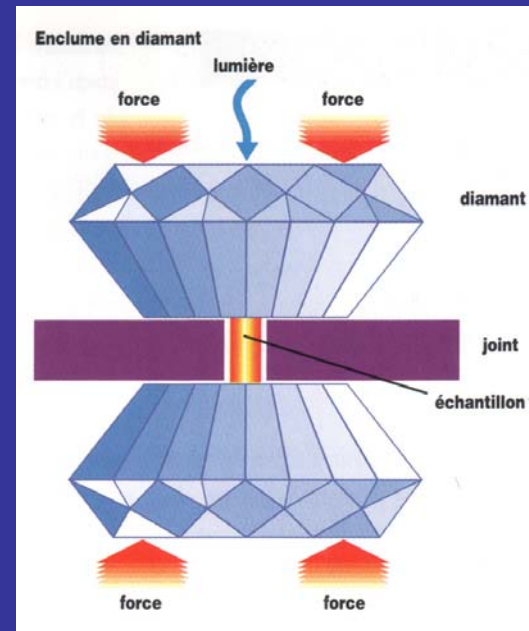
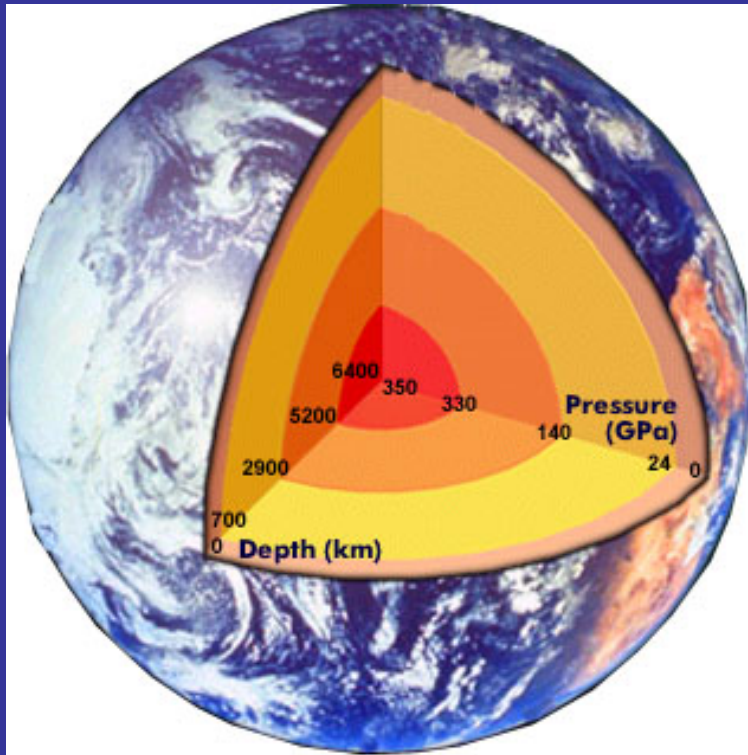
- TRES Fiable

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 8 : la géophysique

Pour connaître la structure de la matière au centre de la terre ...



... les scientifiques étudient des échantillons soumis à des conditions extrêmes de température et de pression.

Faisceau:

- Le plus intense possible
- Petite dimension

3. L'ESRF AUJOURD'HUI

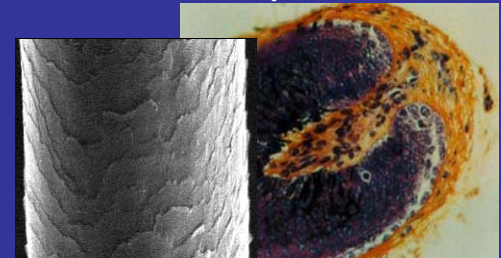
Quels types de science peut-on faire à l'ESRF ?

Exemple 8 : la recherche industrielle

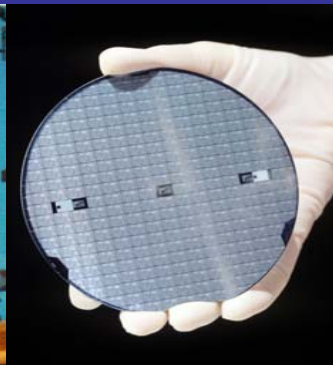
- Bâtiment



- Cosmétiques



- Microélectronique



- Pharmacie



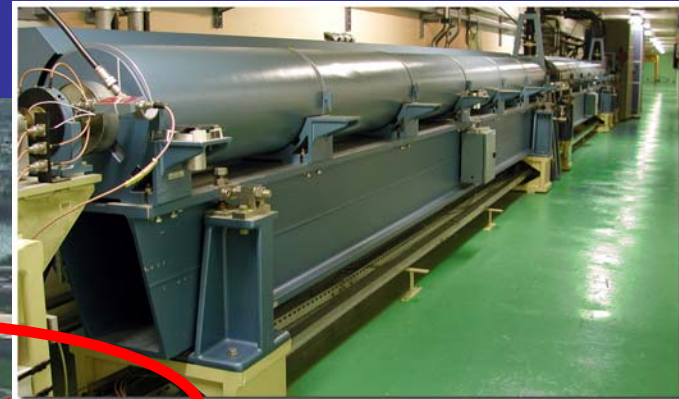
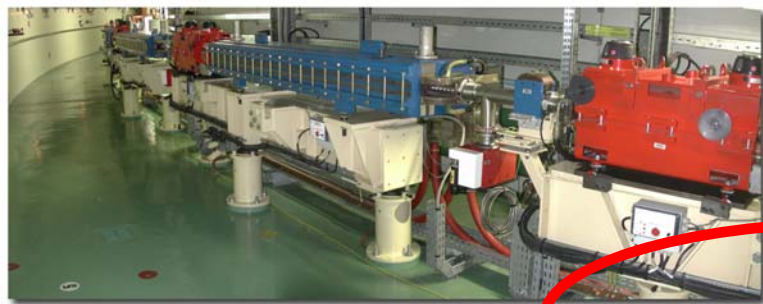
Faisceau:
- TRES Fiable

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLERATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

Présentation générale



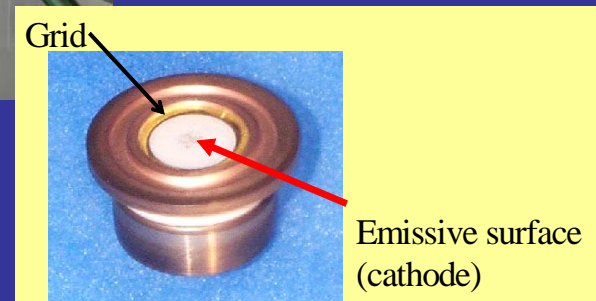
4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'accélérateur linéaire



Le Linac consiste en une **TRIODE** (cathode – anode – grille) alimentée par 100 KV. Les électrons produits ont donc une énergie de 100 keV. Les électrons sont ensuite accélérés par 2 sections accélératrices de 6 mètres chacune, chaque section accélérant le faisceau de 100 MeV, soit au total 200 MeV.

Mode d'opération	Impulsions longues	Impulsions courtes
Courant pic	25 mA	250 mA
Longueur de pulse	1 μ s	2ns
Dispersion en énergie	+/- 1%	+/- 0.5%



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

La ligne de transfert Linac vers Booster: TL1

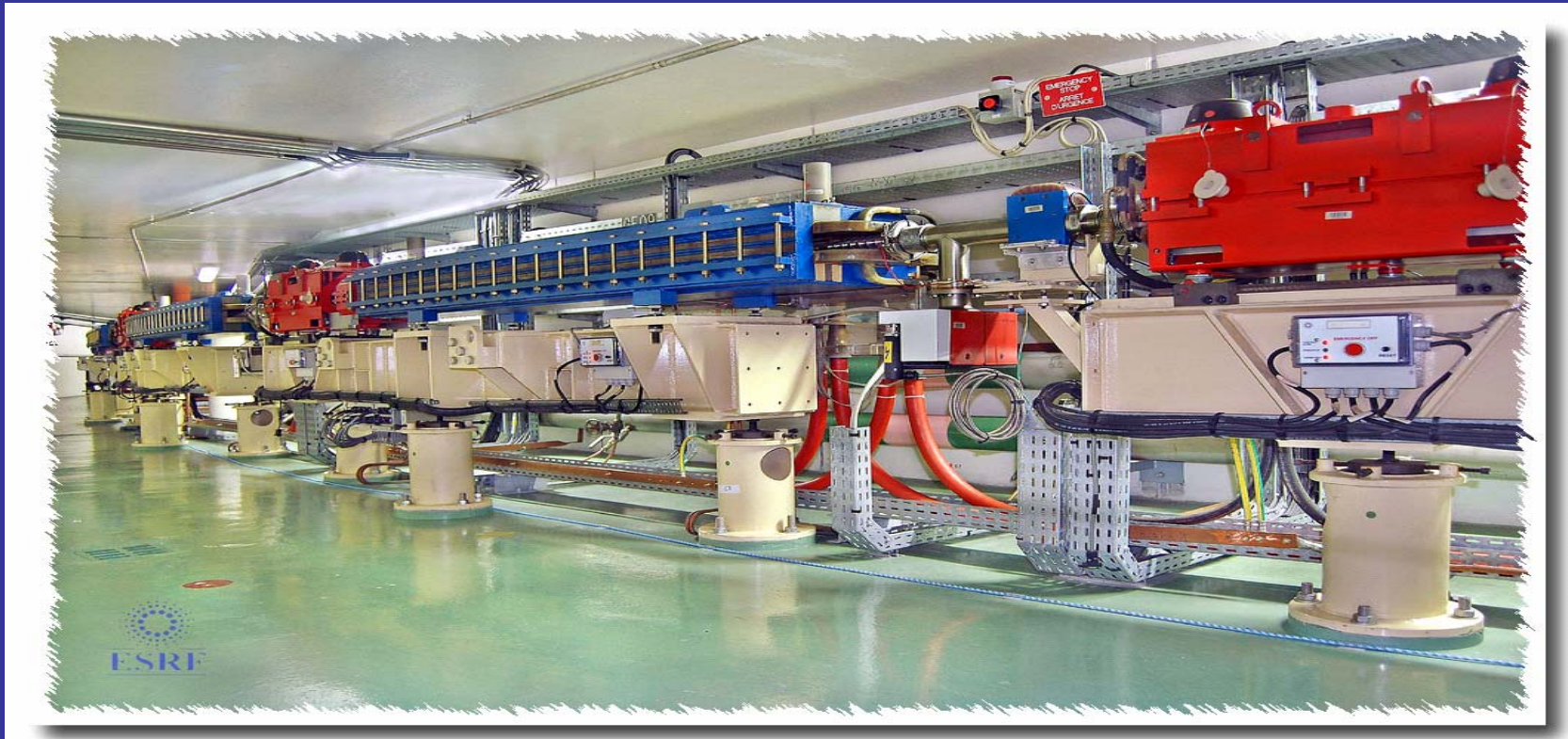


- Longueur: 16 mètres
- Composants principaux: 2 aimants de déviation, 7 quadrupôles, 2 paires d'aimants correcteurs
- Diagnostics: écrans amovibles + rayonnement synchrotron



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

Le synchrotron (ou Booster): généralités



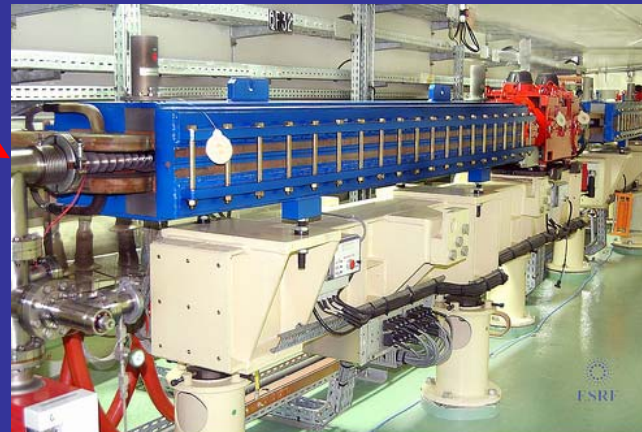
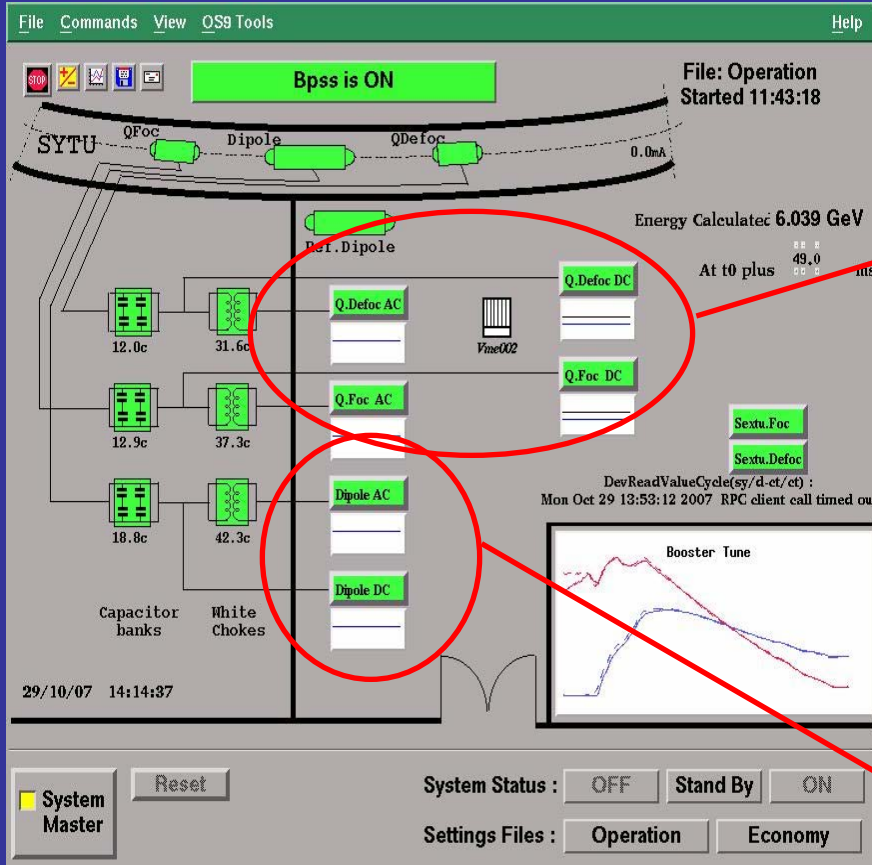
Objectif: Accélérer les électrons de 200 MeV à 6 GeV

Cycle: période de 100 msec (50 msec pour le cycle d'accélération)

Longueur: 300 mètres

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

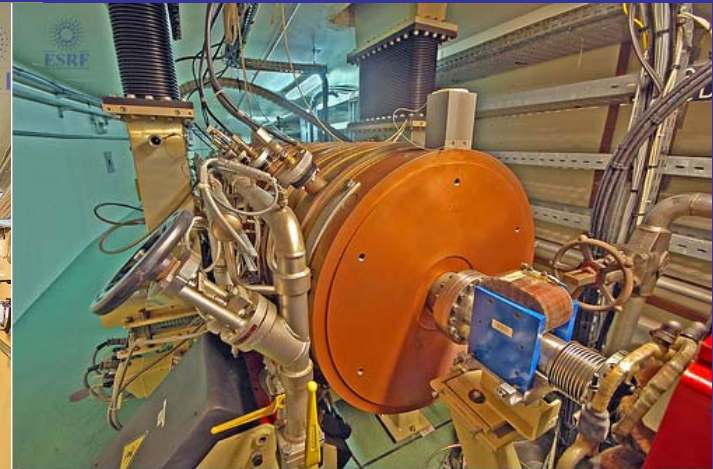
Le synchrotron (ou Booster): Les aimants



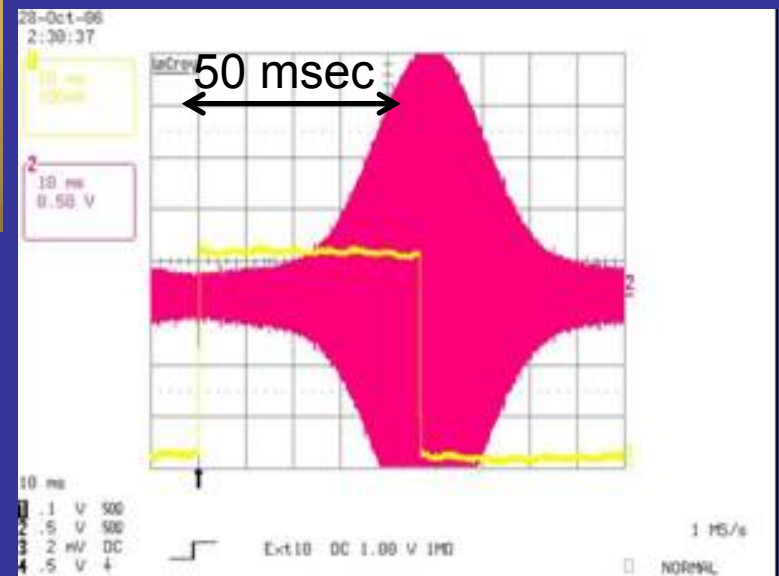
Quand le champ est minimum dans les dipoles, cela définit le « T0 »: le 'top-départ' du système de timing qui gère toute la chaîne d'injection/extraction

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

Le synchrotron (ou Booster): Le système Radio Fréquence



- 2 cavités de 5 cellules (type LEP)
- Klystron: 1 MW – 352.2 MHz
- 2 fenêtres / cavité

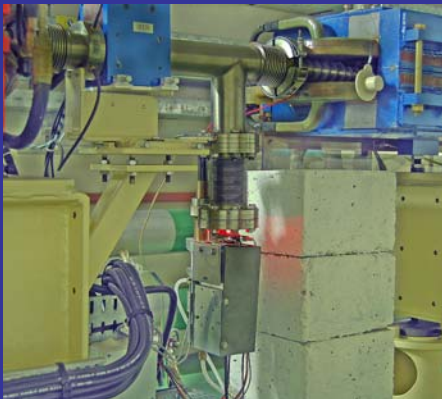


4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

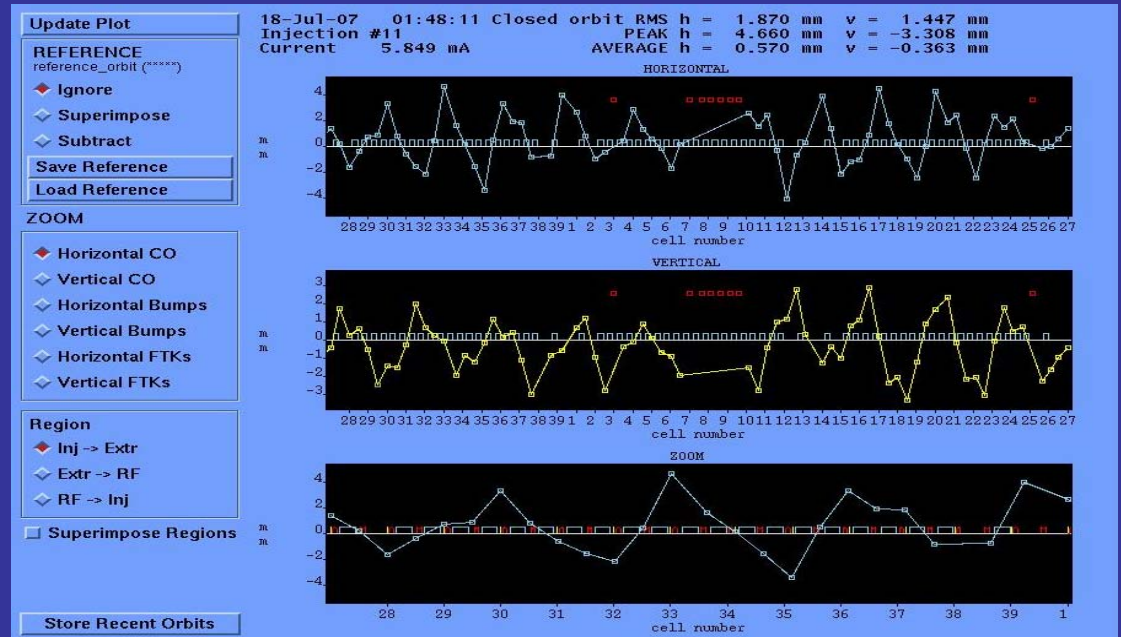
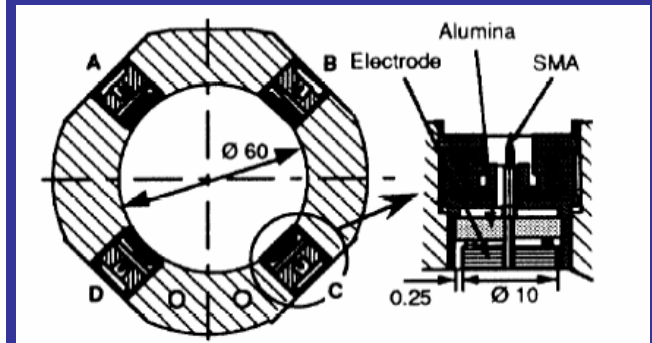
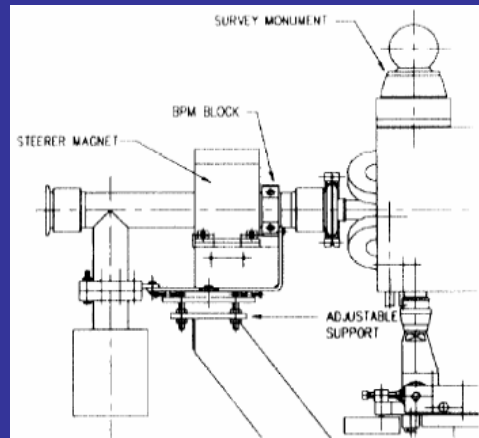
Le synchrotron (ou Booster): Les outils de diagnostic

La position du faisceau / l'orbite
 75 Blocs 'BPM' (Beam Position Monitor)

+ 8 Ecrans amovibles



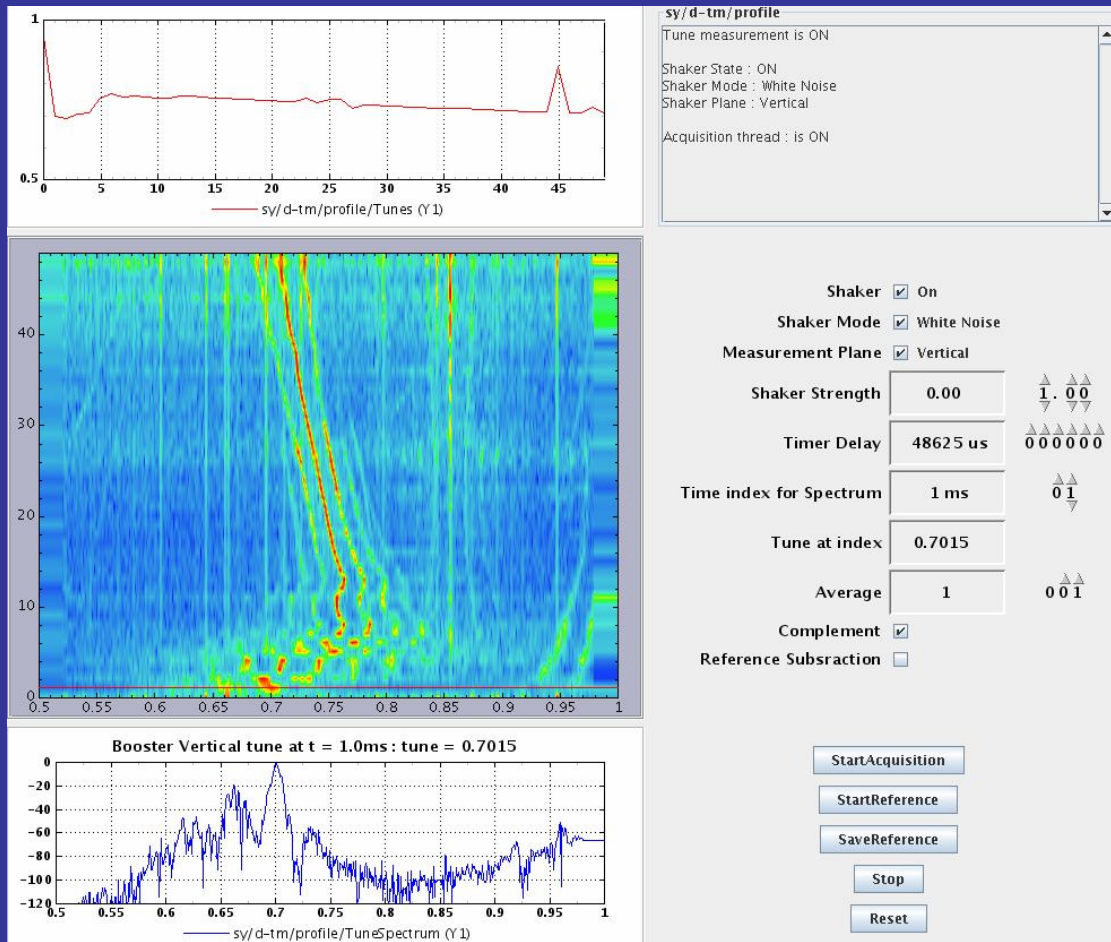
+ Synchrotron light monitors



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

Le synchrotron (ou Booster): Les outils de diagnostic

Mesure des tunes tout le long du cycle d'accélération

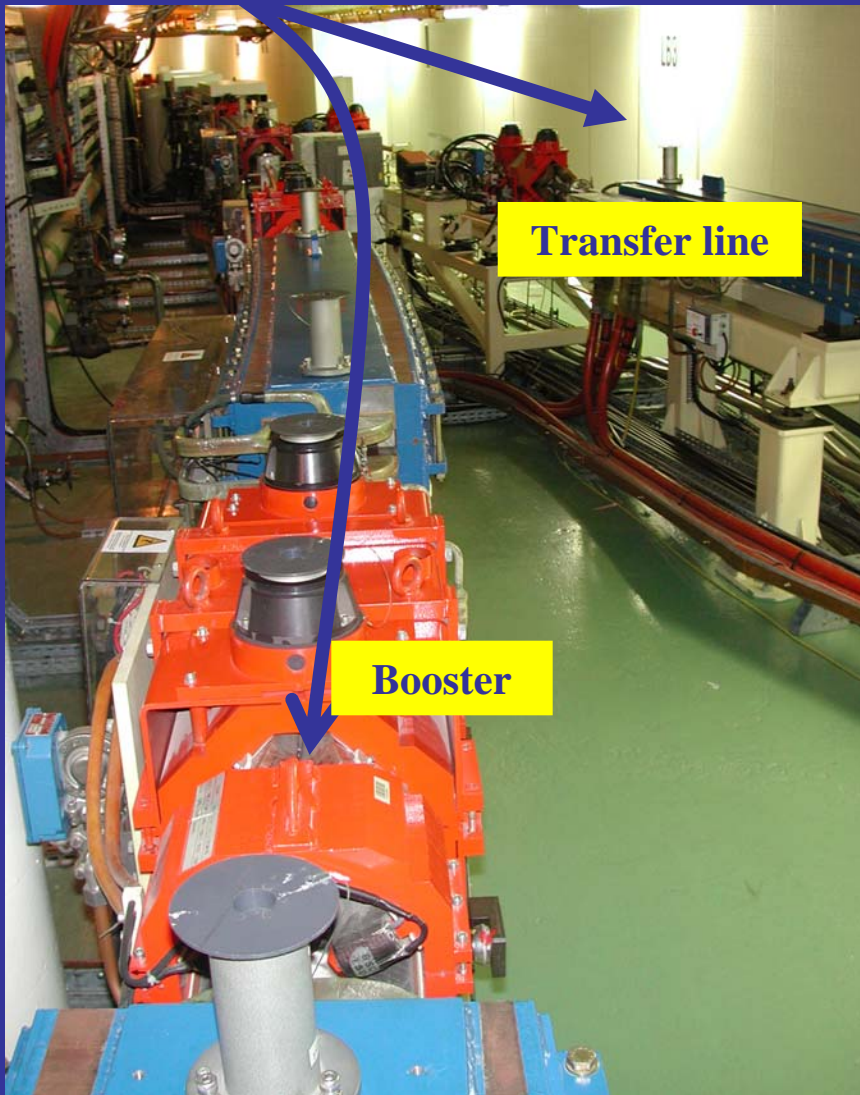


Pourquoi ??

- Eviter les couplages de faisceau
- Optimiser les points de fonctionnements à l'extraction
- Connaître les paramètres faisceau à l'entrée de la ligne de transfert qui suit le Booster

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

La ligne de transfert Booster vers Anneau de stockage: TL2



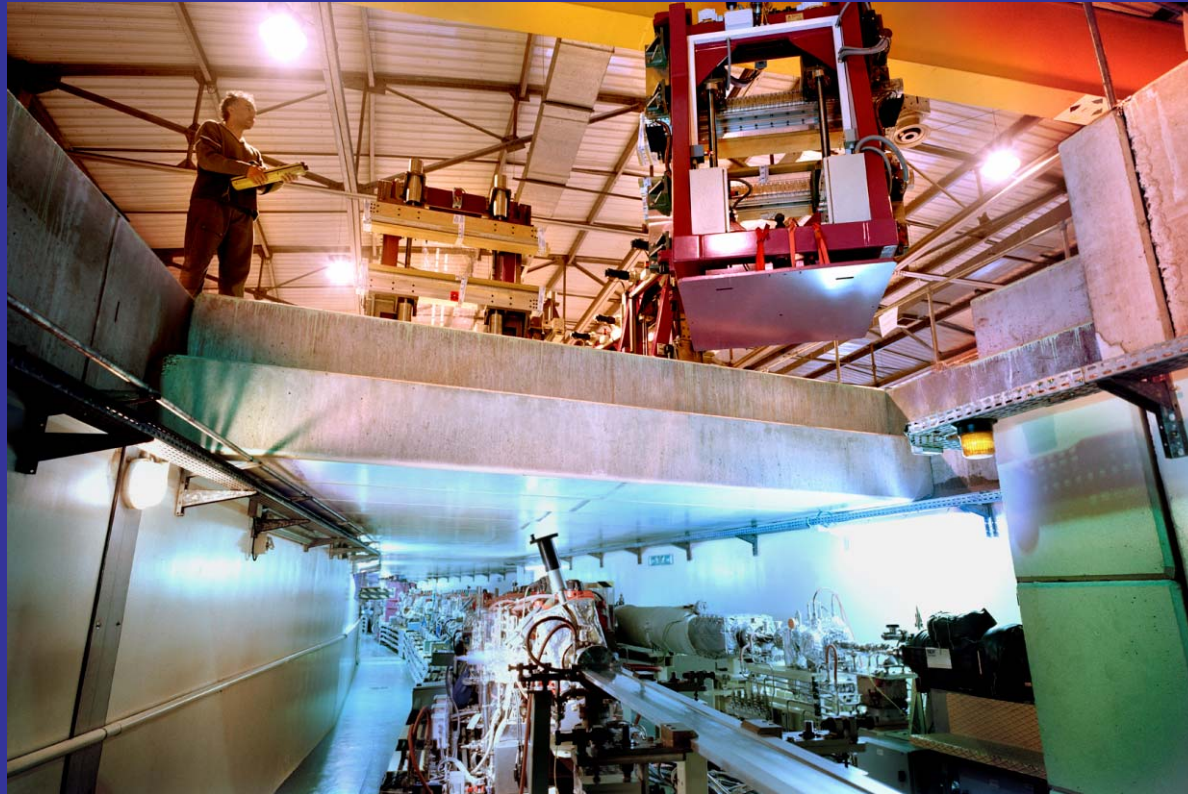
Objectif:

Transférer les électrons de 6 GeV du Synchrotron vers l'anneau de stockage:

- 5 aimants de déviation (alimentés en série avec ceux du Booster)
- 14 quadrupoles
- 9 écrans amovibles
- Beam Position Monitors
- Ecrans rayonnement synchrotron (1 écran / dipole)
- Longueur: 65 mètres

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: généralités



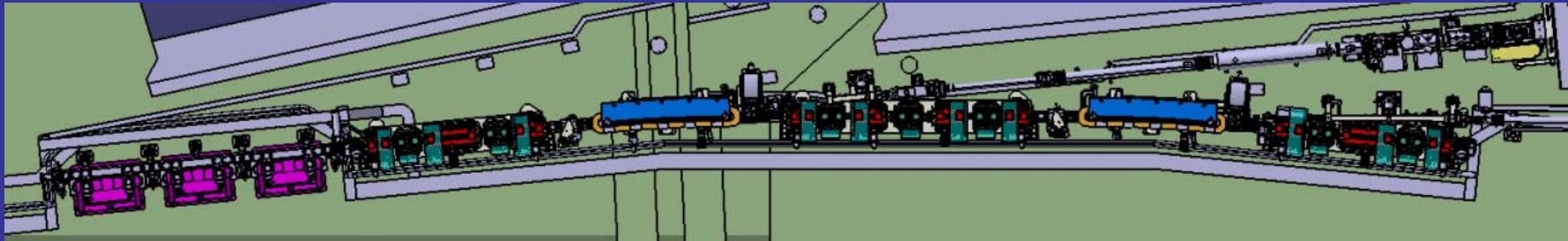
Stocker un faisceau d'électrons de 6 GeV

Source de rayons X (aimants de déviation, éléments d'insertion)

SOUS CONTRAINTES !: orbite, stabilité, intensité, taille faisceau, ...

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: généralités



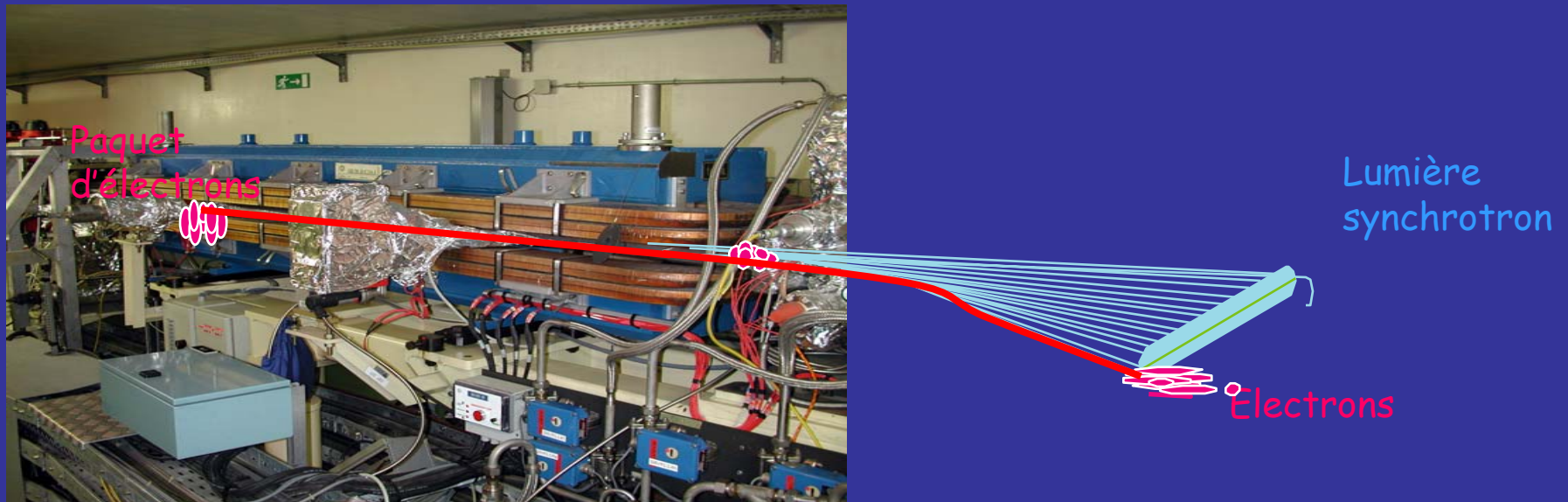
- Circonférence: 844 mètres
- 16 super-périodes de 2 cellules miroirs → 32 cellules
- Energie: 6 GeV
- Intensité nominale: 200 mA
- Intensité record: 300 mA
- Emittance: 4nm rad
- Couplage habituel: 0.5 %



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les aimants

64 aimants de déviation (dipôles)



Nombre : 64 (2 par cellules)
Angle de courbure : 5.625°
Champ magnétique : 0.8612 Tesla
Nombre de famille : 1
Courant Nominal : 714.993 A

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les aimants

256 quadrupôles répartis en 6 familles

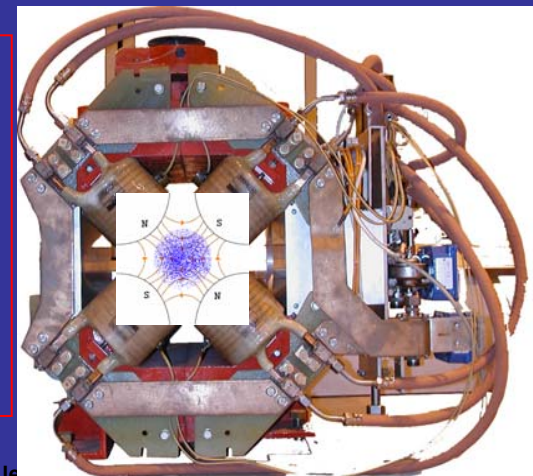


Nom	Nombre	Courant
QF2	32	216.730 A
QD3	32	-334.022 A
QD4	64	- 415.454 A
QF5	64	411.798 A
QD6	32	- 491.497 A
QF7	32	375.181 A

Les **quadrupôles** ont pour but de focaliser le faisceau d'électron afin de maintenir sa taille aussi petite que possible.

Les valeurs de quadrupôles sont également importantes pour :

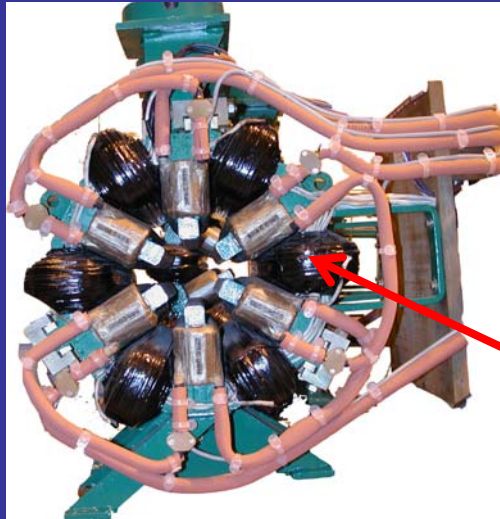
- les valeurs des tunes,
- la taille du faisceau,
- la vitesse d'injection,
- les résonances bétatroniques, etc



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les aimants

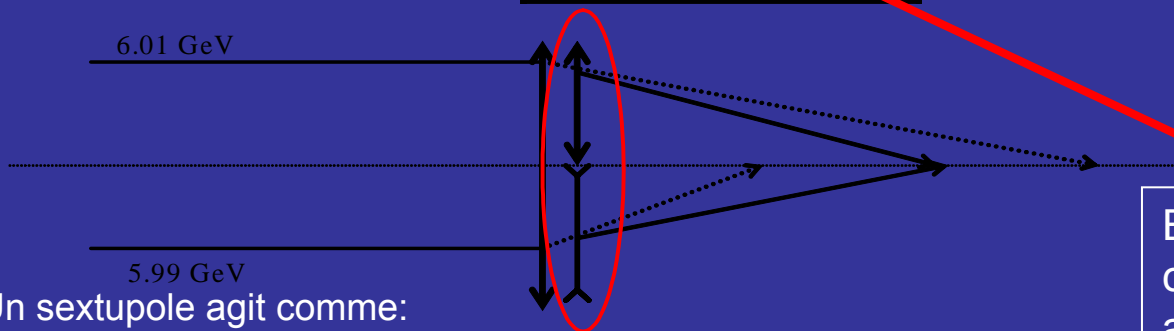
224 sextupôles répartis en 7 familles



Nom	Nombre
S4	32
S6	32
S13	32
S20	32
S19	32
S22	32
S24	32

Les valeurs sont importantes pour:

- les chromaticités,
- les résonances bêtatroniques
- l'ouverture dynamique,
- et donc sur le temps de vie du faisceau



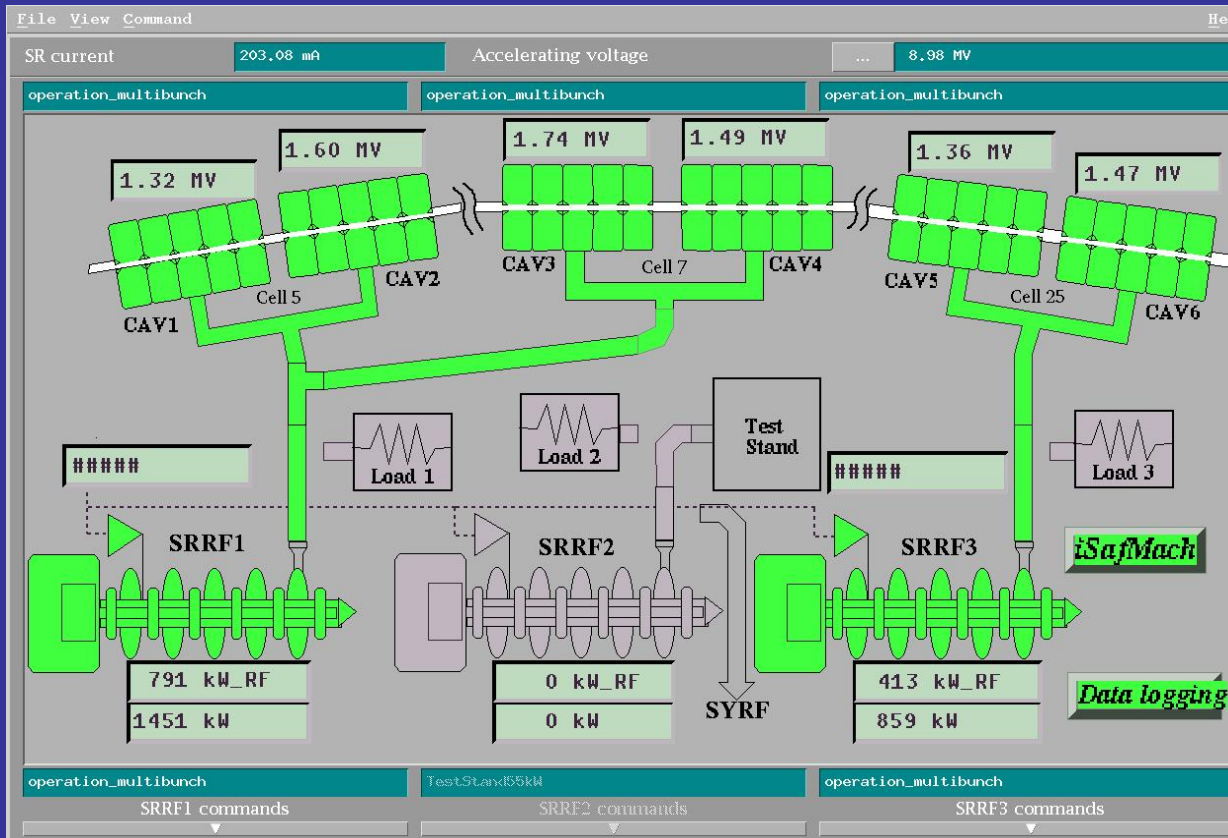
Un sextupôle agit comme:

- Un quadropole focalisant pour les électrons de + haute énergie
- Un quadropole défocalisant pour les électrons de + basse énergie

Et des aimants correcteurs (3 alimentations pour obtenir un champ V ou H)

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le système Radio-Fréquence



Rôle: compenser l'énergie perdue tour par tour par les électrons, par suite de l'émission du rayonnement synchrotron, c-à-d, 6.25 MeV (avec les éléments d'insertion)

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le système Radio-Fréquence

Pour une intensité faisceau de 200mA :

6 cavités actives (1 klystron alimente 4 cavités, le deuxième en alimente 2)

Tension accélératrice : 9 MV

Tension / cavité : 1.5 MV

Puissance totale klystrons : 1.3 MW (1MW pour faisceau+42 kW/cavité+20kW réfléchi)

- **macroscopique**: la fréquence RF impose le nombre maximum de bunches sur la circonférence.

$$h = \Delta \frac{F_{RF}}{F_{rev}} = 352 \text{ MHz} / 355 \text{ kHz} = 992$$

- **microscopique**: la fréquence RF impose le temps de révolution de la particule de référence. Pour un champ donné des aimants de déviation, elle définit la longueur de la trajectoire et donc, l'énergie de la particule de référence.

A l'ESRF, un écart de 3.5 KHz (10^{-5}) induit un déplacement horizontal du faisceau de 18 mm, visible sur les écrans (voir support écrit pour le détail de calcul)

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

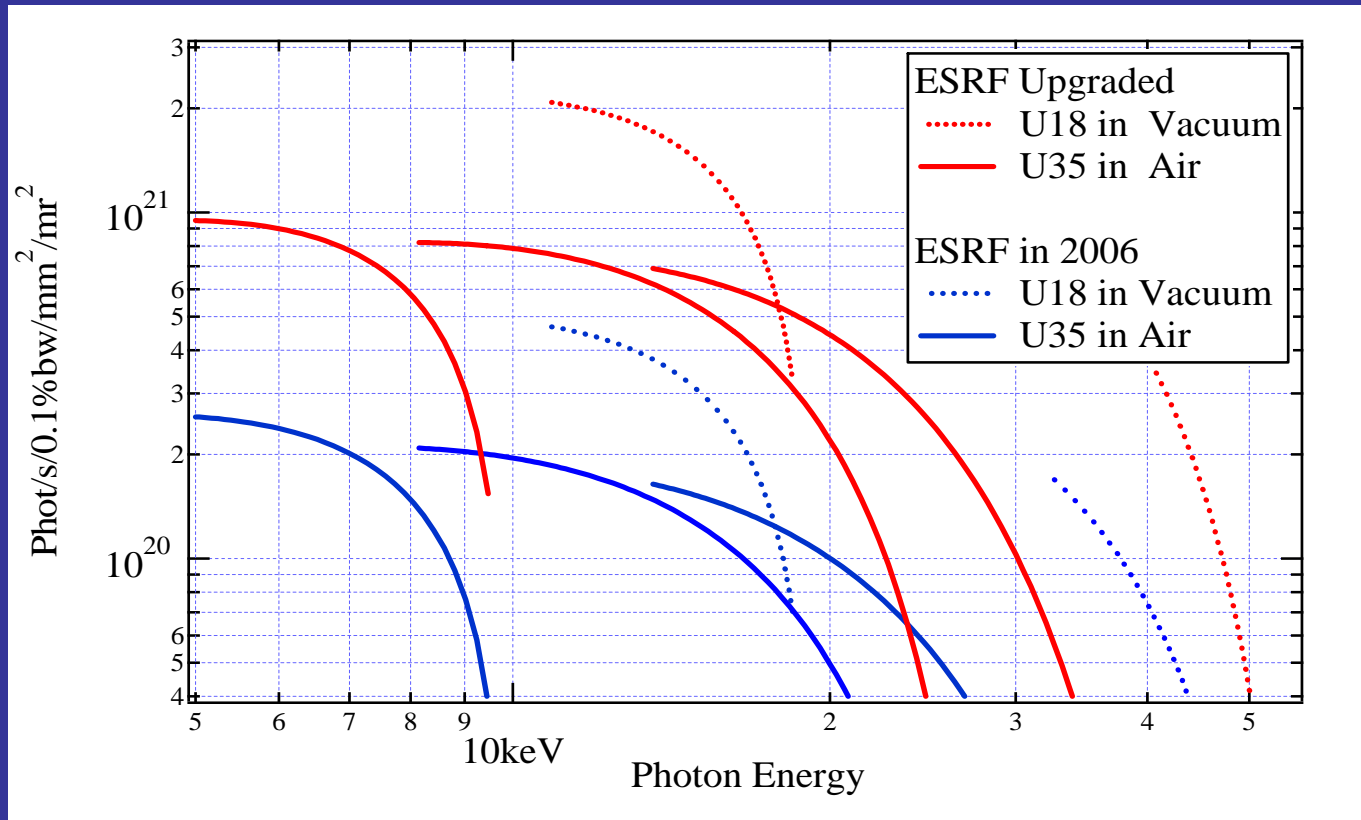
L'anneau de stockage: Les éléments d'insertion



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les éléments d'insertion

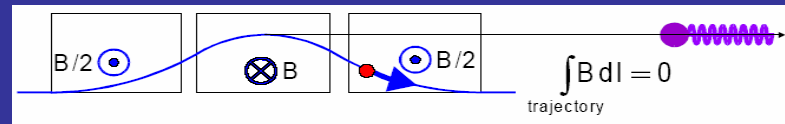
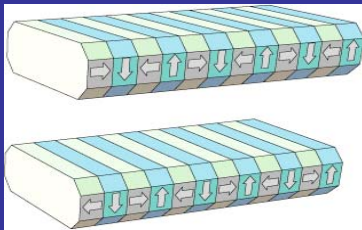
Rôle: produire des rayons X avec des propriétés spécifiques et différentes de ceux émis par les dipôles, par exemple, spectre en énergie variable, polarisation, brillance plus élevée.



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les éléments d'insertion

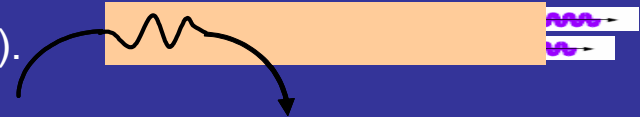
Généralement conçu « sur mesure » pour une ligne de lumière



Deux grandes familles:

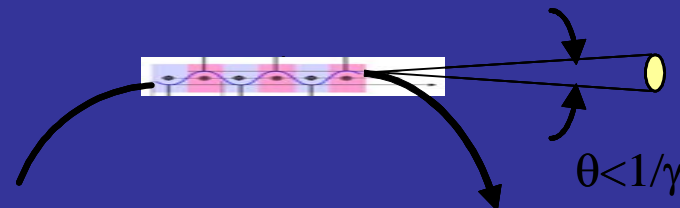
Wigglers : Petits nombres de périodes, champs magnétiques élevés.

Produisent des rayons X 'durs' ($E > 10$ keV).



Onduleurs : Grand nombre de périodes, champ magnétique plus petit.

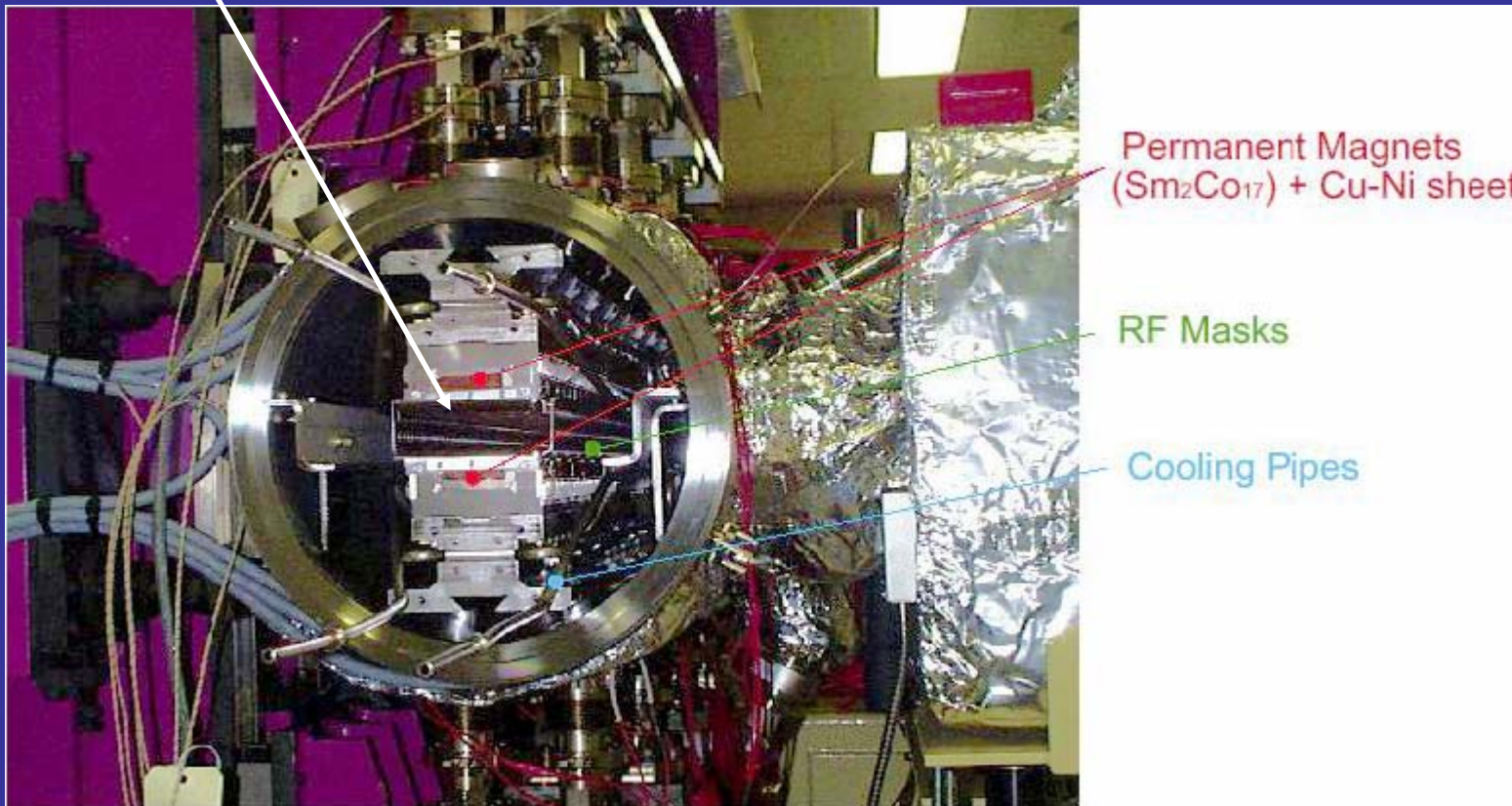
Produisent un flux plus élevé mais à plus basse énergie.



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

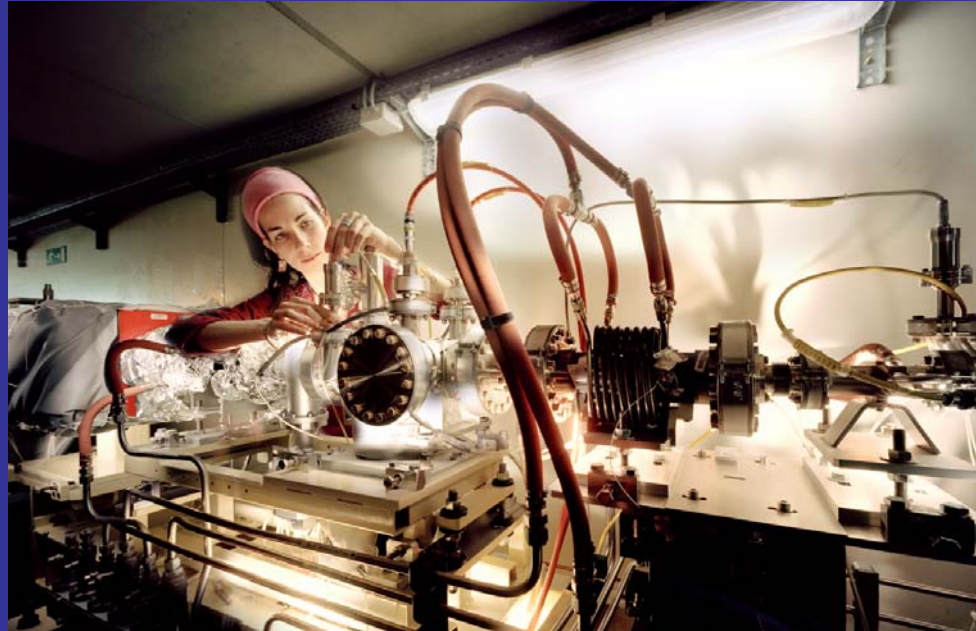
L'anneau de stockage: Les éléments d'insertion

Les machoires des onduleurs sous vide peuvent se fermer jusqu'à 5 mm

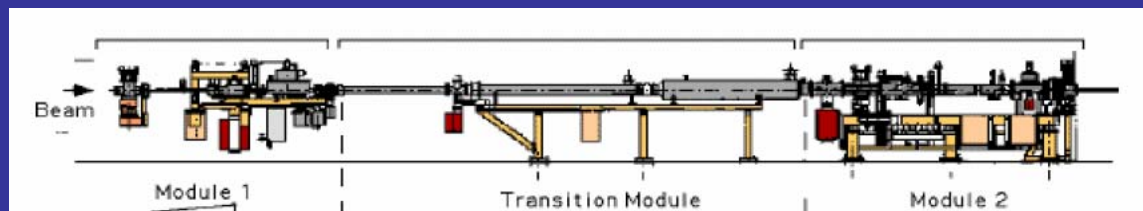


4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Les départs de ligne

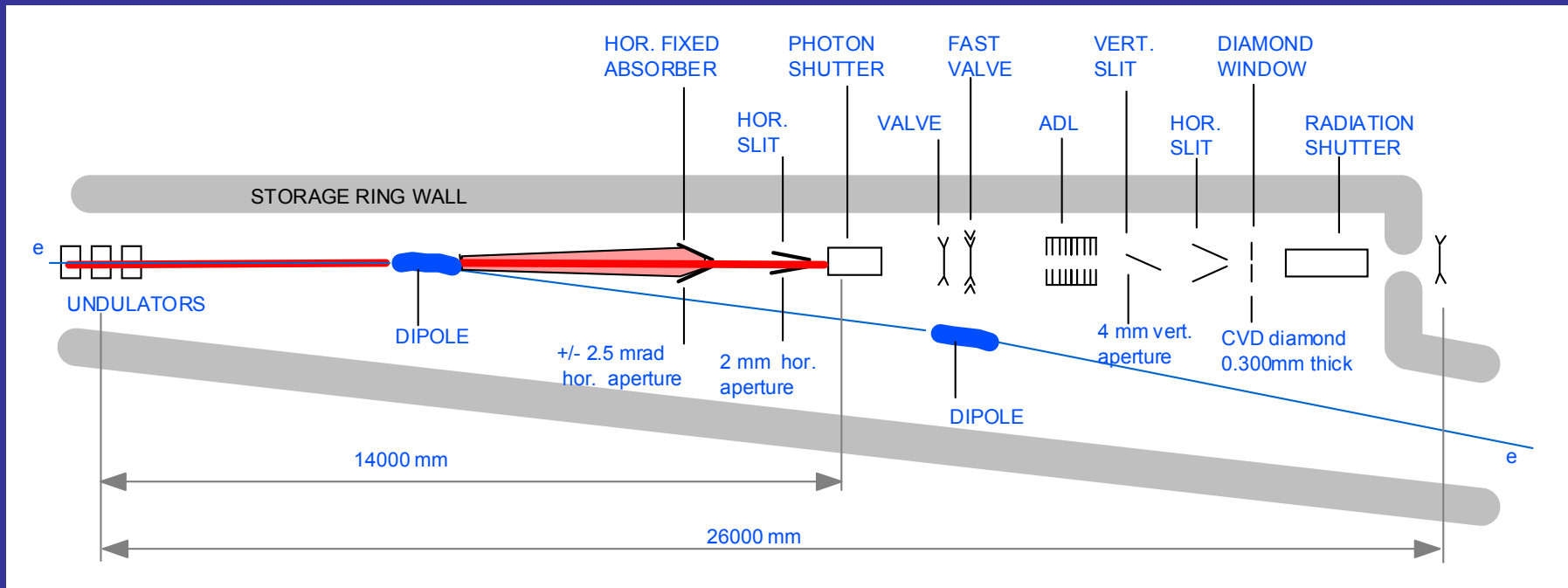


Rôle: acheminer les rayons X produits soit par les dipôles, soit par les éléments d'insertion, de l'anneau de stockage vers les lignes de lumière



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

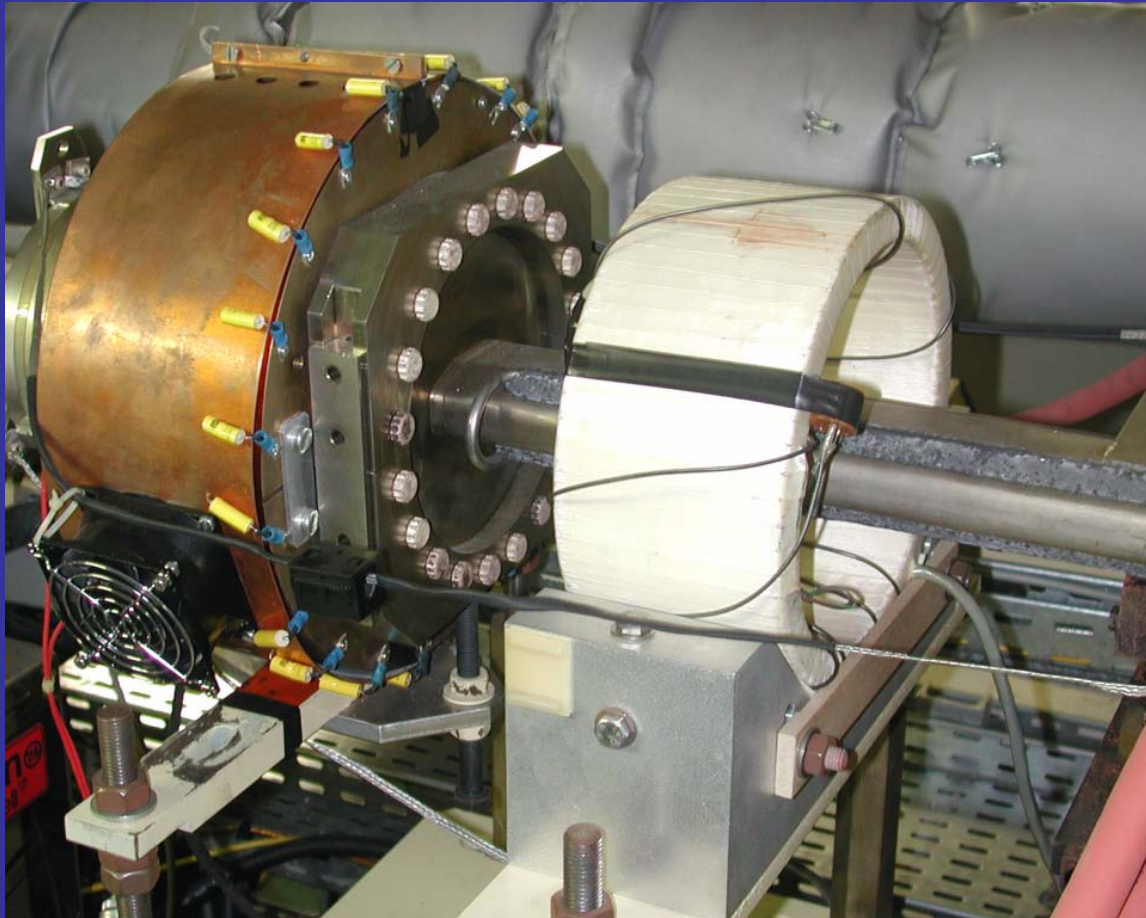
L'anneau de stockage: Les départs de ligne



Le rôle des différents éléments est expliqué dans le support écrit

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: le transformateur de courant



Rôle: mesurer l'intensité du faisceau

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

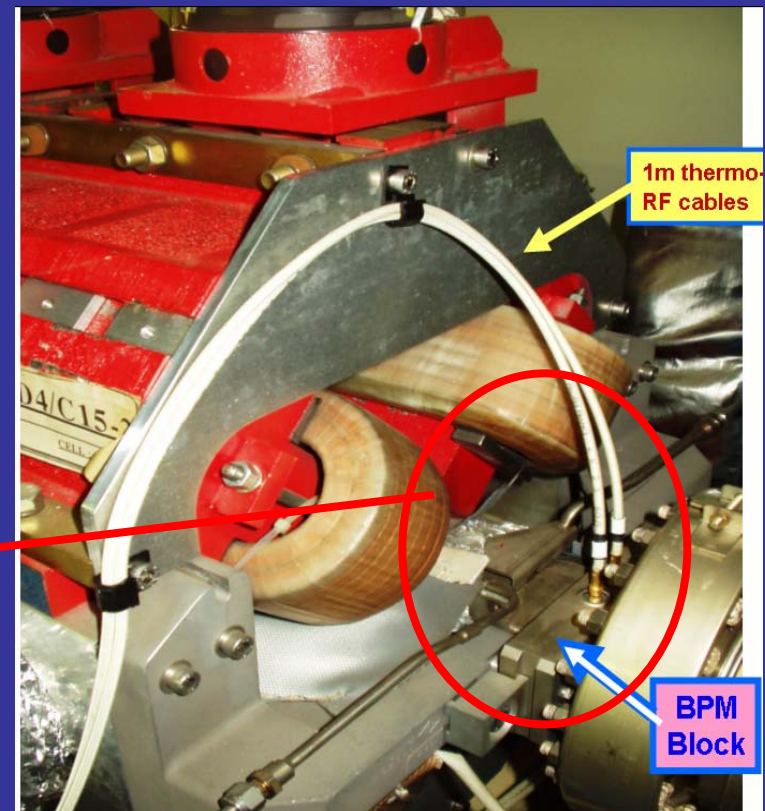
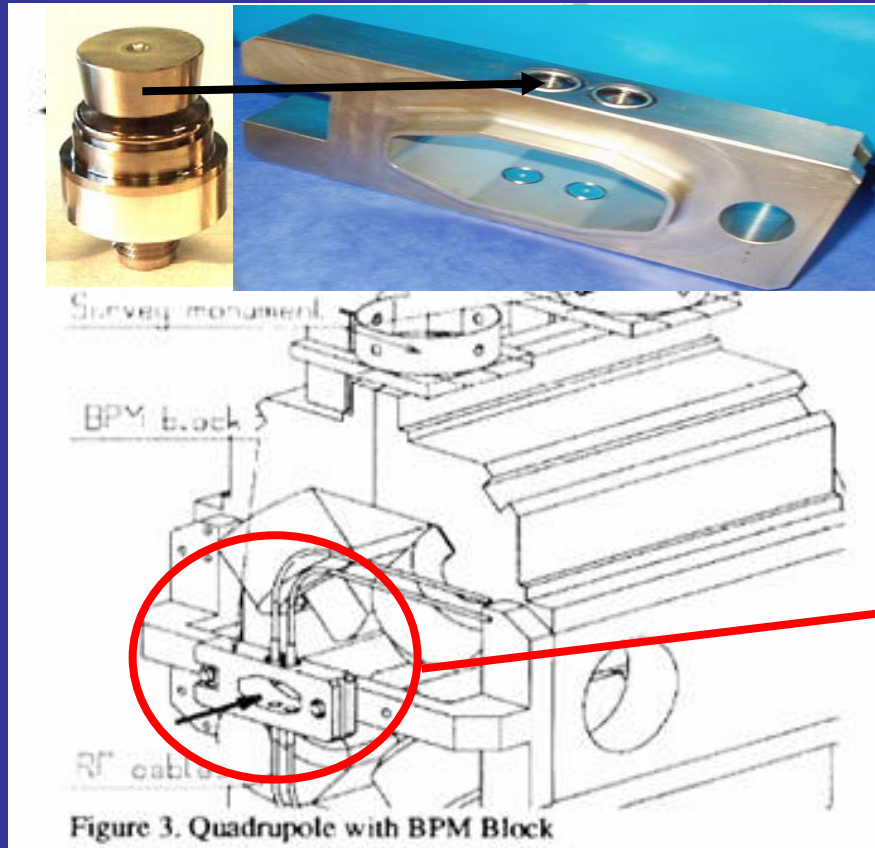
L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: le transformateur de courant

2 grandes familles:

- les PCT (pour « Parametric Current Transformers »):
 - Conçus pour lire un courant jusque 300 mA avec une résolution de 2 μ A. Ils mesurent l'intensité TOTALE du faisceau circulant (temps d'intégration = 1 seconde).
- les FCT (pour « Fast Current Transformers »):
 - Conçus pour mesurer l'intensité d'UN SEUL paquet d'électrons (ou plusieurs paquets si ceux-ci sont suffisamment rapprochés pour être contenu dans une fenêtre de quelques nanosecondes).

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: Les BPMs



Rôle: mesurer les positions centre de masse du faisceau d'électron dans les plans horizontal et vertical

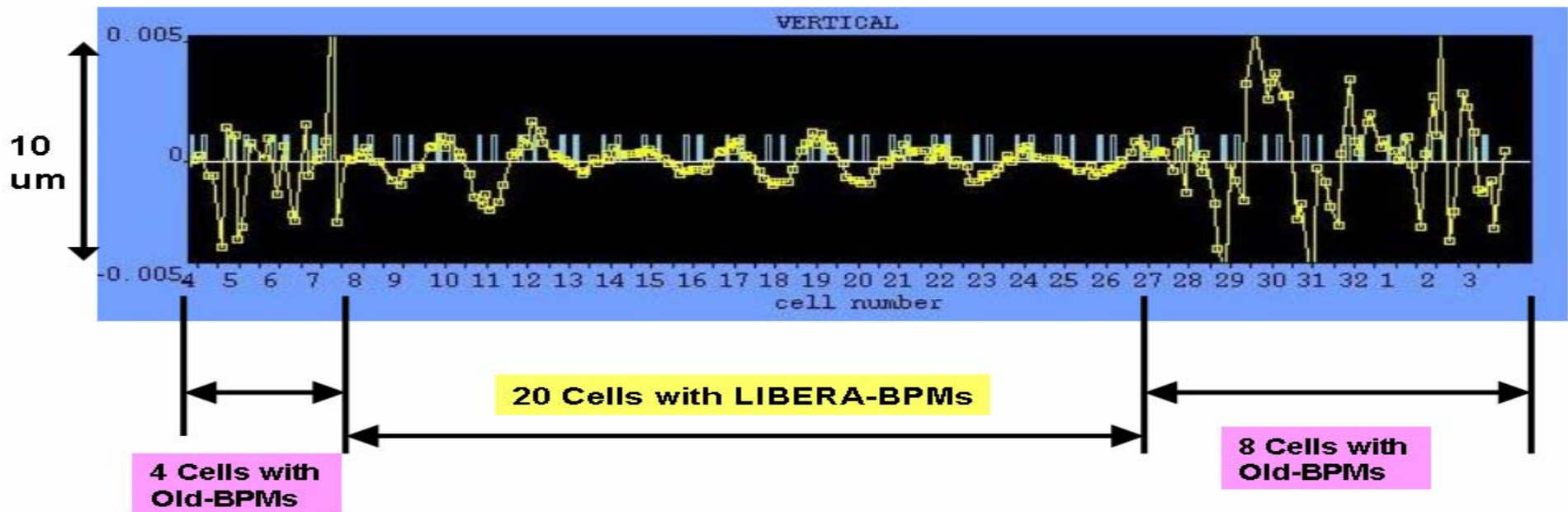
4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: Les BPMs

224 BPMs, c-à-d, en moyenne un tous les 4 mètres.

Le principe: traitement des faibles signaux RF sur les 224 stations BPMs par des systèmes « Libera-Brillance »

La mesure: traite les 4 signaux RF en parallèle et de ce fait, permet de suivre le faisceau dès son entrée dans l'anneau de stockage.



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

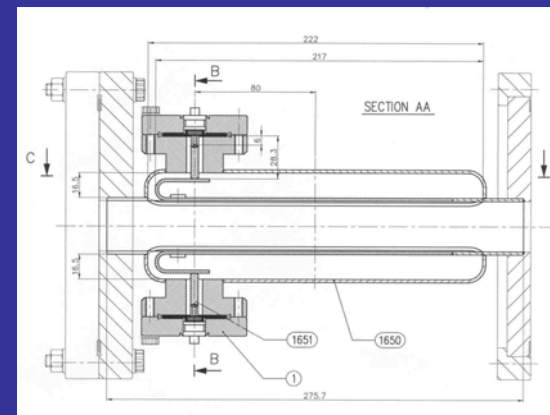
L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: le tune monitor

Rôle: mesurer les les fréquences d'oscillations bétatroniques verticales et horizontales (les « tunes ») du faisceau circulant.

Le principe:

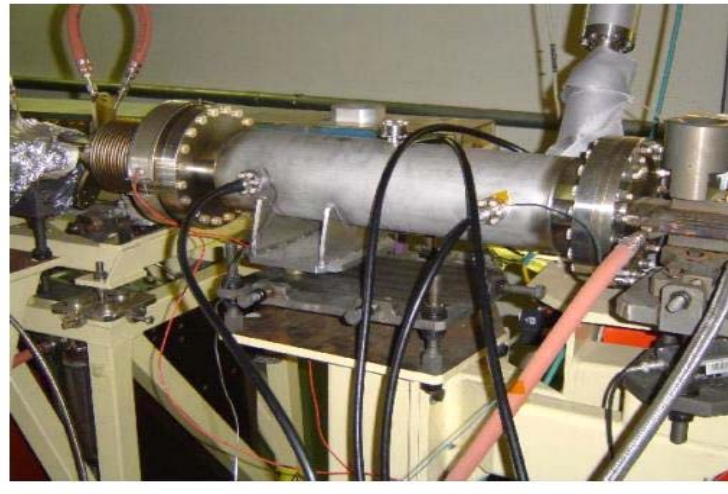
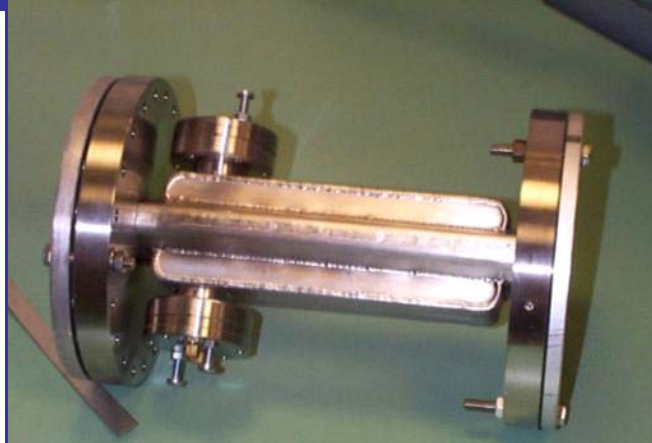
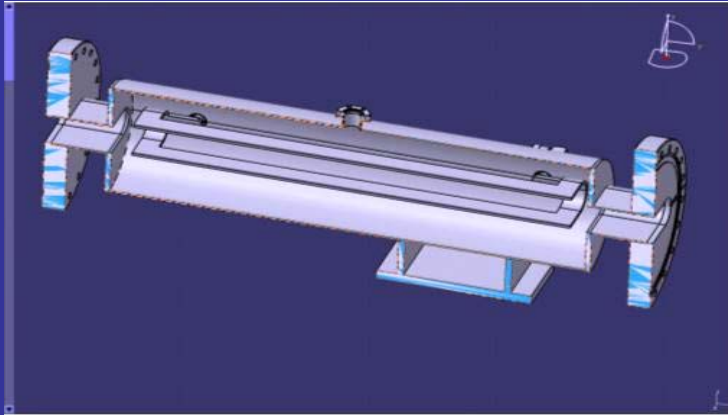
- Un excitateur excite le faisceau sur une bande de fréquence.
- Un pick-up récupère le signal qui sera traité par un analyseur de spectre.

En pratique, tant l'excitation que le pick-up sont faits par 1 seule ligne à ruban (stripline) ou 2 lignes séparées, dans ce dernier cas, 1 ligne excite le faisceau tandis que l'autre capte le signal.

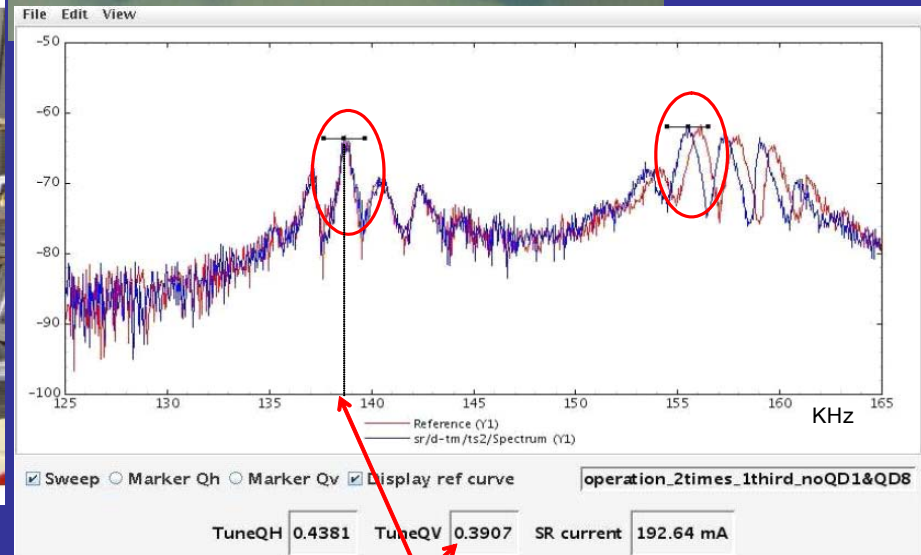


4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: le tune monitor



Cette stripline sert à la fois d'excitateur et de pick-up

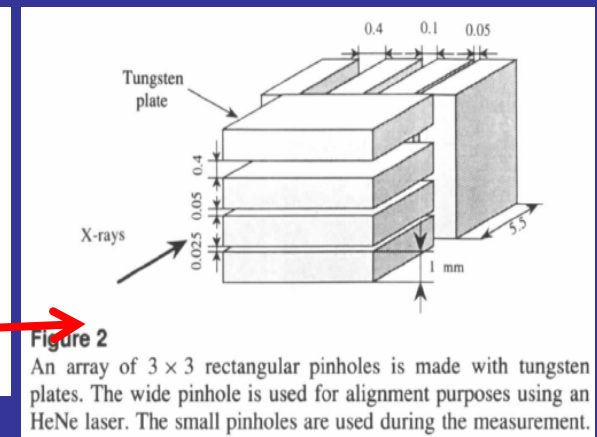
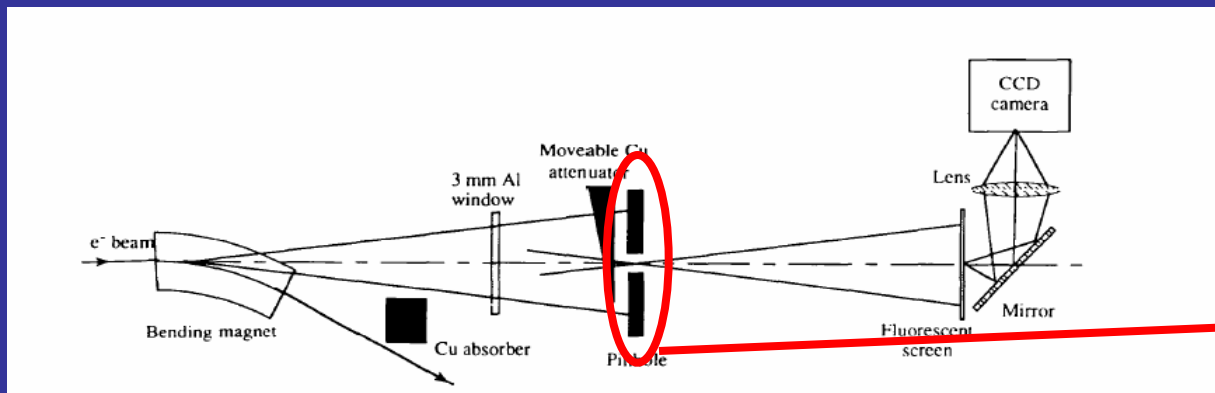


Nombre d'onde vertical

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: la pinhole caméra

Rôle: permet de visualiser le profil transverse du faisceau d'électrons dans un aimant de déviation et d'en calculer son emittance

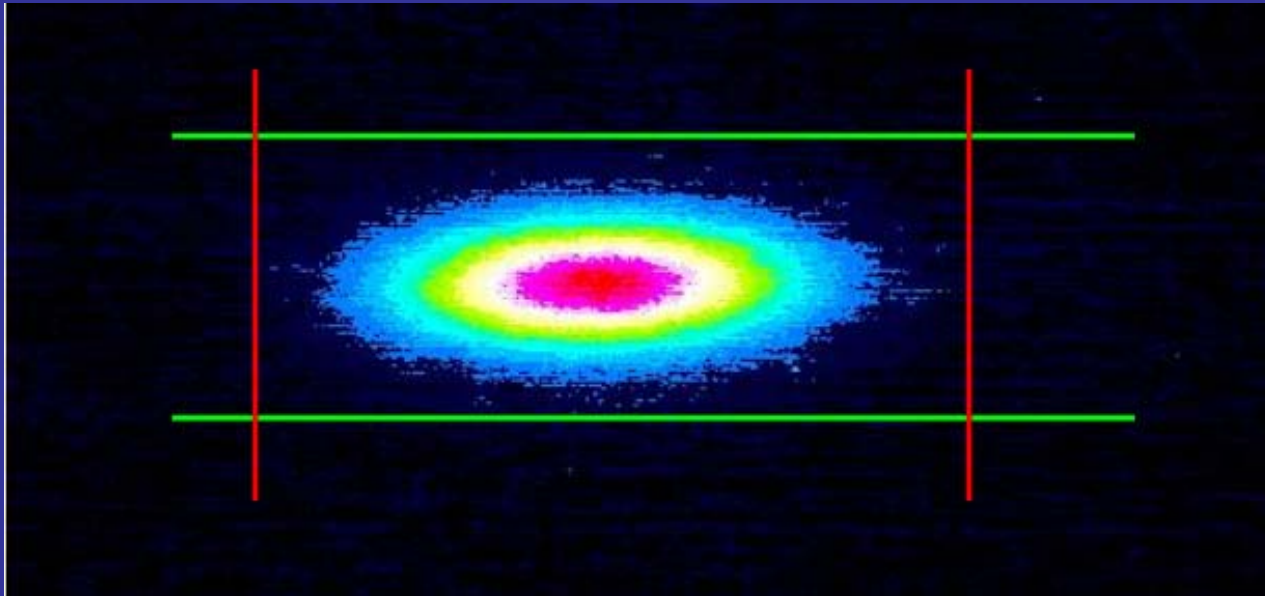


Principe:

- Une fenêtre aluminium sépare le haut vide de l'anneau de stockage du dispositif 'pinhole camera', qui lui, se trouve dans l'air.
- Un assemblage 'pinhole' se trouve à 4 mètres du point source et est constitué de barrettes de tungstène séparées par des cales d'épaisseur précises (de l'ordre de 25 et 100 μm), le tout monté sur une table motorisée avec possibilité de translation en X et Z ainsi qu'une rotation autour de X et Z.
- Une caméra CCD située à 16 mètres du point source recueille une image via un écran fluorescent.

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: la pinhole caméra



Cette image qui subit peu d'aberration est une aide précieuse pour:

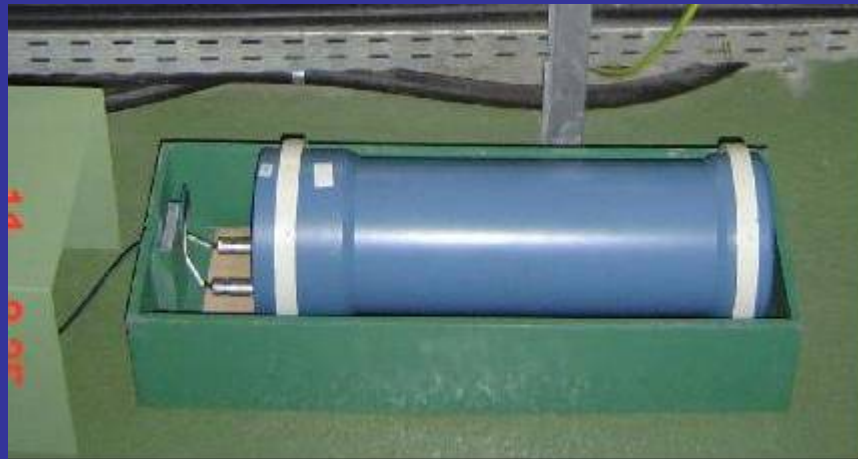
- stabilité de la position (problème d'oscillation avec un steerer ?)
- instabilités verticales / horizontales (manque de chromaticité)
- présences de modes d'ordres supérieurs dans les cavités RF

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: les détecteurs de perte

Les détecteurs de radiation « Unidos »:

chambres à ionisation localisées dans des coffrets blindés de 10 mm de plomb et placées à même le sol du côté extérieur de l'accélérateur, au début de chaque dipôle. Le détecteur est un gaz sous pression et ionisé par le passage de particules à hautes énergies (électrons / photons).



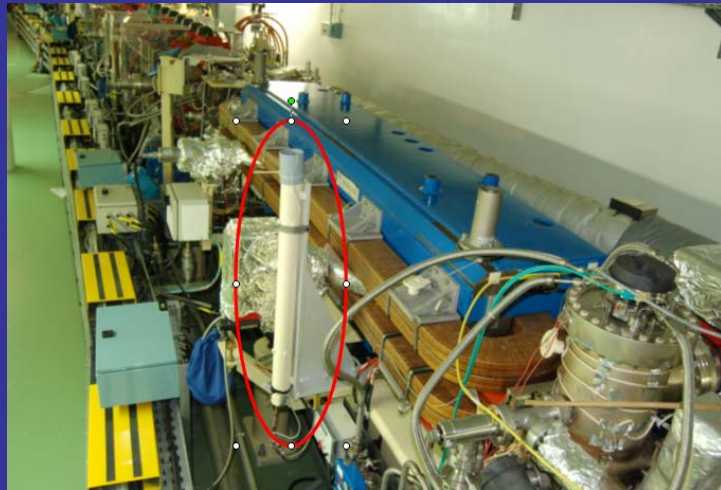
But du blindage: d'éliminer la composante 'rayonnement synchrotron'. Le gaz ionisé va créer un courant de fuite entre 2 plaques à haute tension. L'avantage de ces détecteurs est leur grande linéarité (pas d'effet d'avalanche). Par contre, il faudra détecter des courants de l'ordre du ... femtoA, processus coûteux et lent !

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le diagnostic faisceau: les détecteurs de perte

Les 'slow beam loss detectors

- Protégés par 1 cm de plomb afin d'éliminer la composante 'rayonnement synchrotron'.
- Situés sur le coté intérieur de l'accélérateur à hauteur de l'axe faisceau et au bout de chaque dipole.
- Constitués d'un cylindre de polymère photoémisif (25 mm de diamètre / 600 mm de long). La lumière émise est recueillie par un photomultiplicateur.
- Utiles pour localiser les pertes résultant d'un effet de 'rabotage' (scraping) du faisceau sur les chambres à vides et/ou dues à un vide localement médiocre.



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le système de vide

Objectif: contrôler et maintenir le vide dans l'anneau de stockage à un niveau aussi bas que possible:

10^{-10} mbar sans faisceau (pression statique)

10^{-9} mbar avec faisceau (pression dynamique)



4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

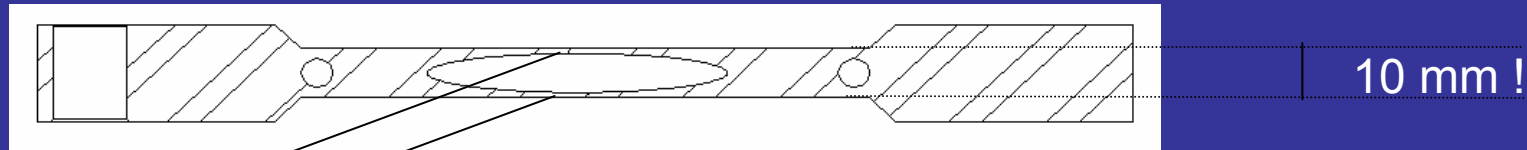
L'anneau de stockage: Le système de vide

- Ce niveau de vide est assuré par les pompes ioniques
- Le contrôle de la pression est assuré par des jauges de type Penning.
- L'anneau de stockage est divisé en 32 zones de vide, chacune pouvant être isolée par des vannes contrôlables à distance.
- Grâce à des thermocouples, la température est contrôlée en des centaines de points sensibles (soufflets, crotch absorbers, etc).

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'anneau de stockage: Le système de vide

Longueur = 5 mètres



8 mm !

- Aluminium extrudé
- L'intérieur de ces chambres est couvert d'une fine couche de NEG (Non Evaporable Getter) constitué d'un alliage de Titane, Zirconium, Vanadium. La particularité de cet alliage est de piéger chimiquement certaines molécules (surtout le CO et CO₂) et en simplifiant, on peut donc dire que ces matériaux se comportent comme une pompe à vide.

4. LES ACCELERATEURS DE L'ESRF

L'Opération des accélérateurs au jour le jour consiste à contrôler, et faire fonctionner ces 3 accélérateurs selon des contraintes imposées pour remplir les objectifs de l'ESRF.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLÉRATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Objectif du chapitre

OBJECTIF:

Démontrer que l'opération au « QUOTIDIEN » commence par une approche globale de plus long terme.

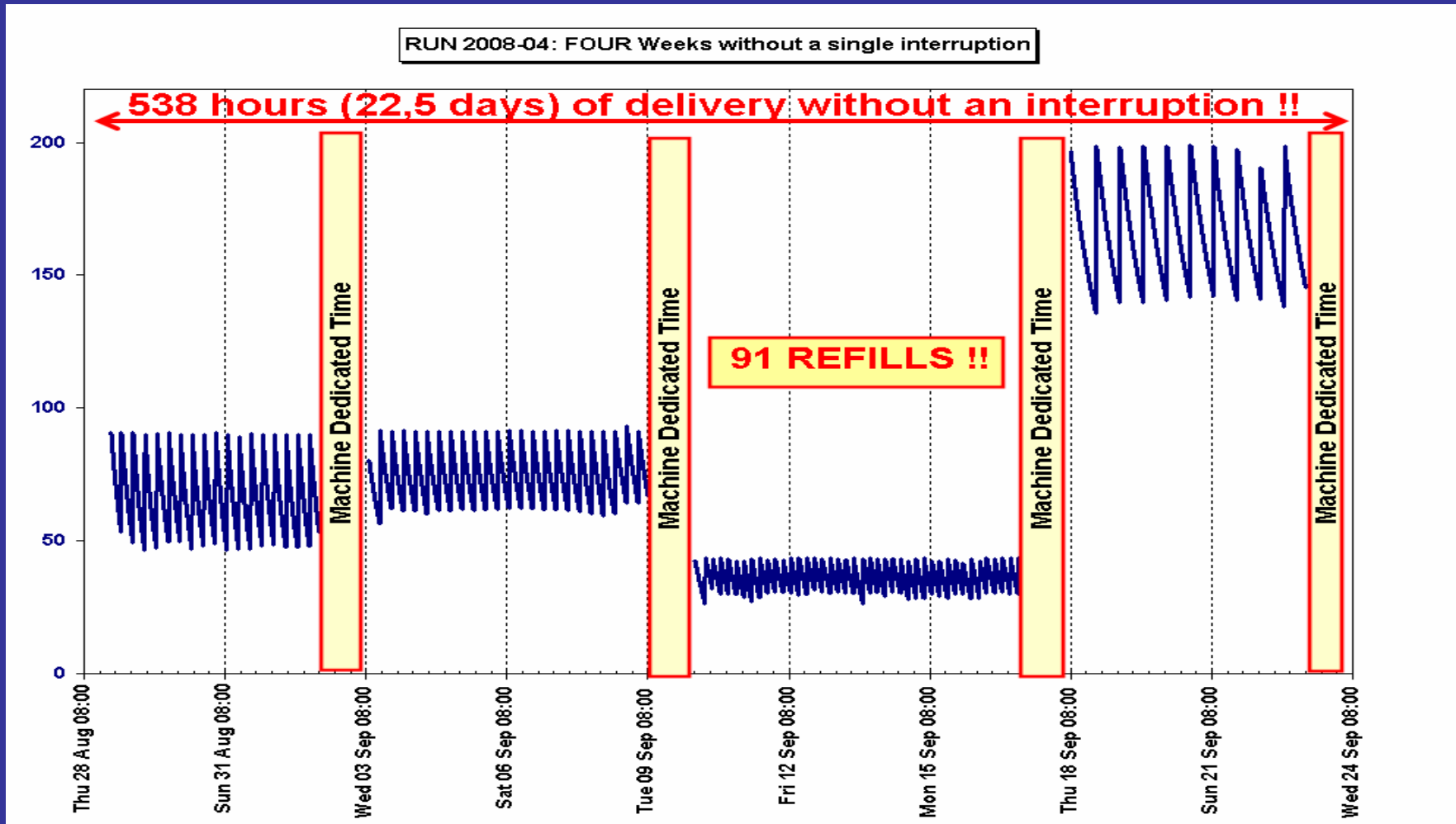
Ces tâches de fond contribueront à satisfaire la contrainte N°1 demandée par les utilisateurs:

LES ACCELERATEURS DOIVENT ETRE FIABLES !

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Différentes configuration de pannes

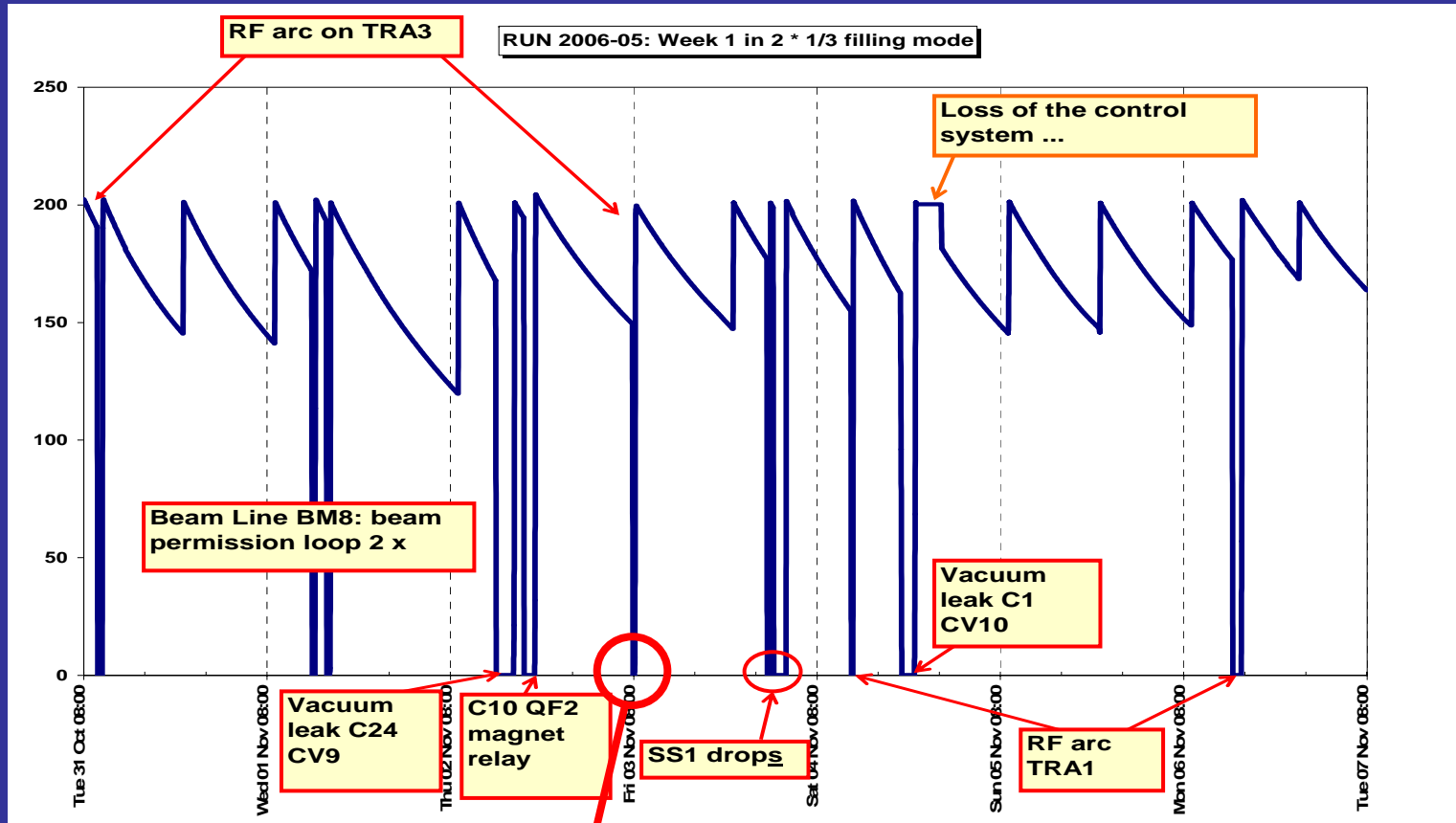
Quatre semaines de rêve ...



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Différentes configuration de pannes

La semaine d'horreur: 11 pannes en 7 jours. Temps moyen d'une panne: 60 minutes

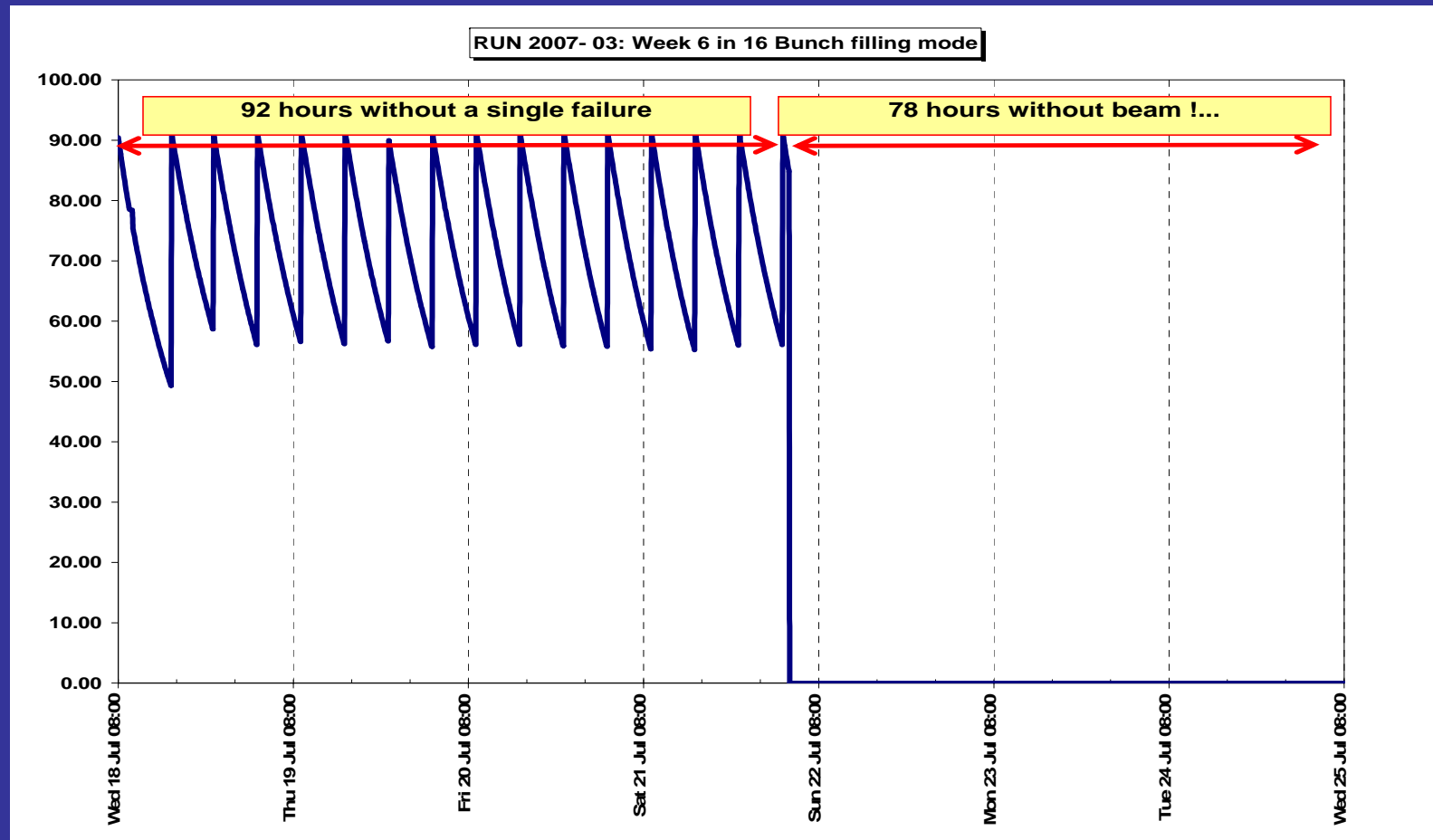


Pour beaucoup d'utilisateurs: 15 minutes perdue sur l'accélérateur = 1 heure perdue sur la ligne de lumière (instabilité monochromateur suite à choc thermique)

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Différentes configuration de pannes

Autres temps difficiles: 1 seule panne en 7 jours ... mais d'une durée de 78 heures !...

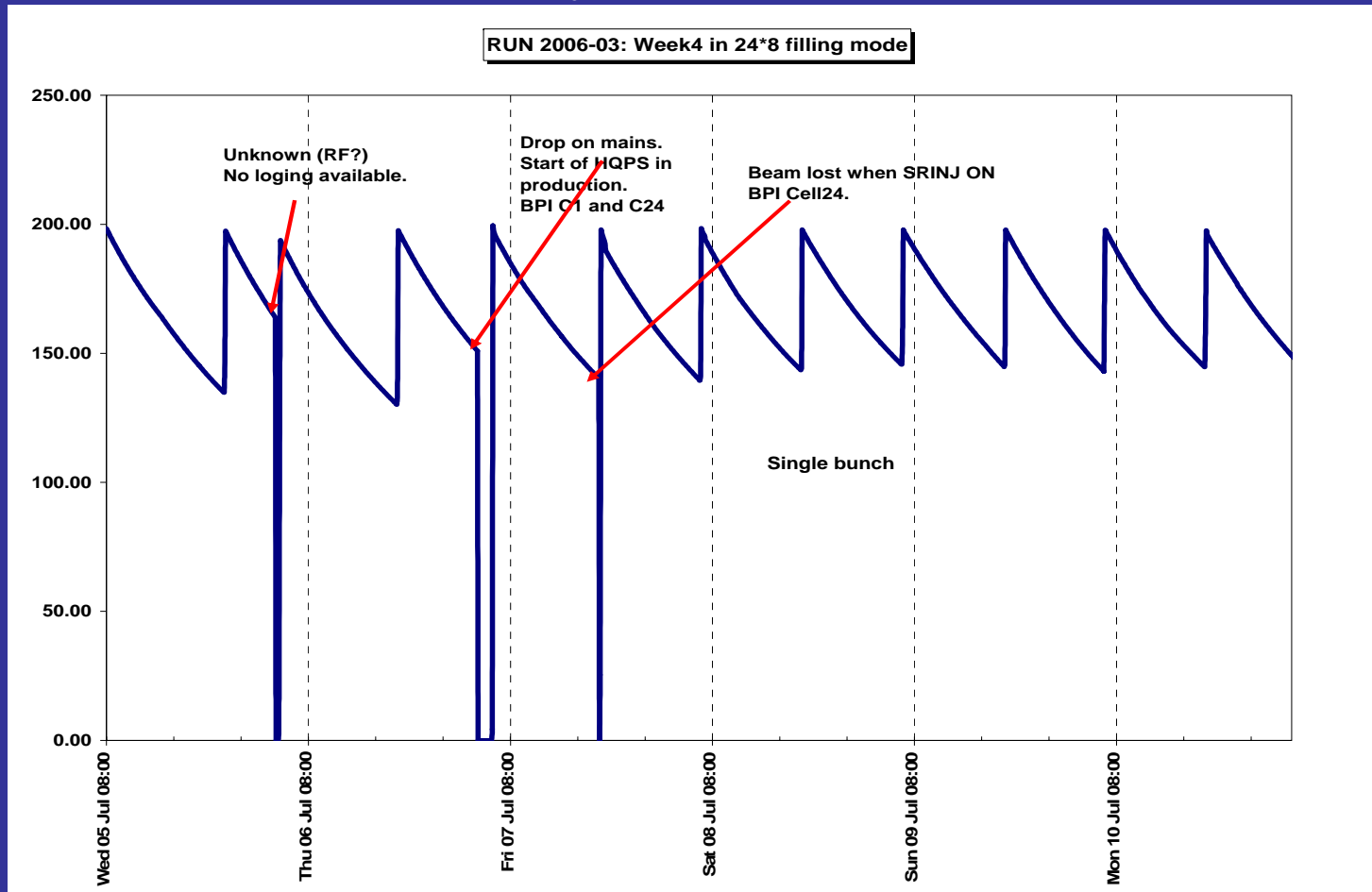


5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Différentes configuration de pannes

Et enfin, une semaine « typique » représentative de la fiabilité de l'ESRF aujourd'hui :

3 pannes sur 144 heures. Durée moyenne d'une panne = 1 heure



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Définitions et introduction

Il faut donc tout mettre en œuvre pour:

1. **Eviter la panne !**
2. **Diminuer le temps moyen d'une panne** lorsque celle-ci survient.

Quoi de plus frustrant pour un chercheur qui a réservé son expérience plus de 6 mois à l'avance, qui vient de voyager 24 heures, d'arriver au Laboratoire et de constater que le faisceau est indisponible pour plusieurs heures, voire plusieurs jours et enfin d'apprendre que son expérience est annulée ?...

3. **Avoir une durée moyenne maximale entre 2 pannes .**

Ces pannes perturberont l'ensemble des expériences (exemple 2).
Le temps moyen entre 2 pannes est appelé **MTBF** – **Mean Time Between Failures**

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Définitions et introduction

La réalisation de ces 3 objectifs n'est pas aussi utopique qu'il n'y paraît.

Les méthodes seront différentes selon l'objectif à réaliser !

QUIZZ ...

Combien coûte 1 heure de faisceau (et donc une heure de panne) à l'ESRF ?...

14 000 euros / heure de faisceau
/ heure de panne

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne

Eviter une panne =

L'ANTICIPER pendant le fonctionnement

= METTRE en œuvre des méthodes non destructives
de diagnostic

PLANIFIER Remplacement / Réparation

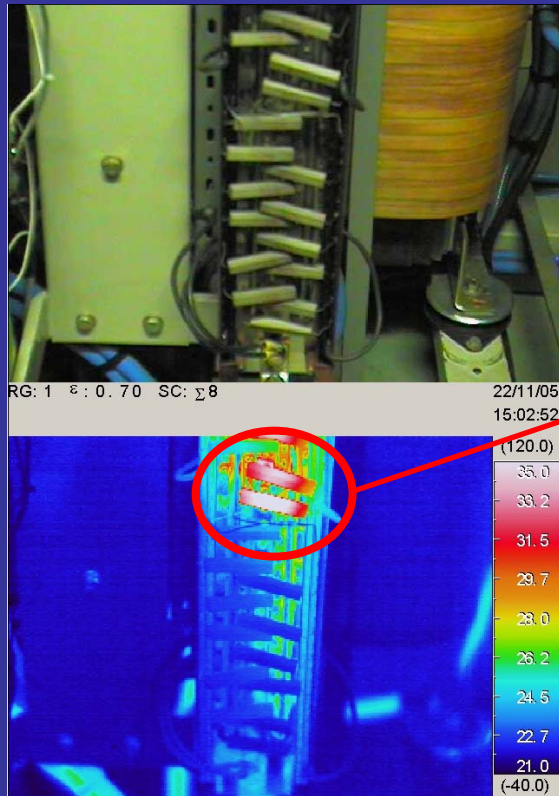
Dans cette partie, on donnera des exemples de techniques
couramment utilisées à l'ESRF

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: thermographie infra-rouge

Exemple 1: La thermographie infra-rouge

Objectif: Photographier un équipement en fonctionnement à l'aide d'une caméra infra-rouge (même à travers une paroi). On peut détecter un échauffement anormal d'une pièce avant sa panne définitive.



2 résistances aux contacts douteux parmi un banc de résistances similaires.

Exemple type d'une panne potentielle, repérée à temps.

Elle fera l'objet d'une réparation dès que les accélérateurs seront arrêtés pour une maintenance planifiée.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

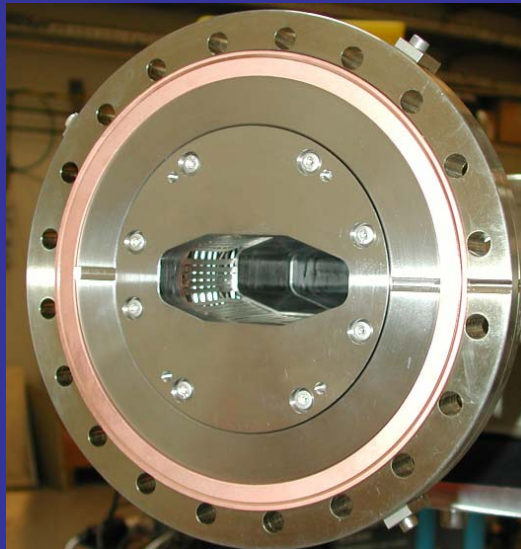
Eviter la panne: les radio gammagraphies

Exemple 2: Les radios gammagraphies

300 soufflets assurent une transition flexible d'une chambre à vide vers la suivante.

Soufflet = mini-cavité résonnante perturbant le faisceau

→ nécessité de placer des transitions appelées « RF liner » pour assurer une continuité de la circulation du courant image du faisceau chargé.



Un ressort maintient les doigts comprimés sur la surface de transition: c'est ESSENTIEL !

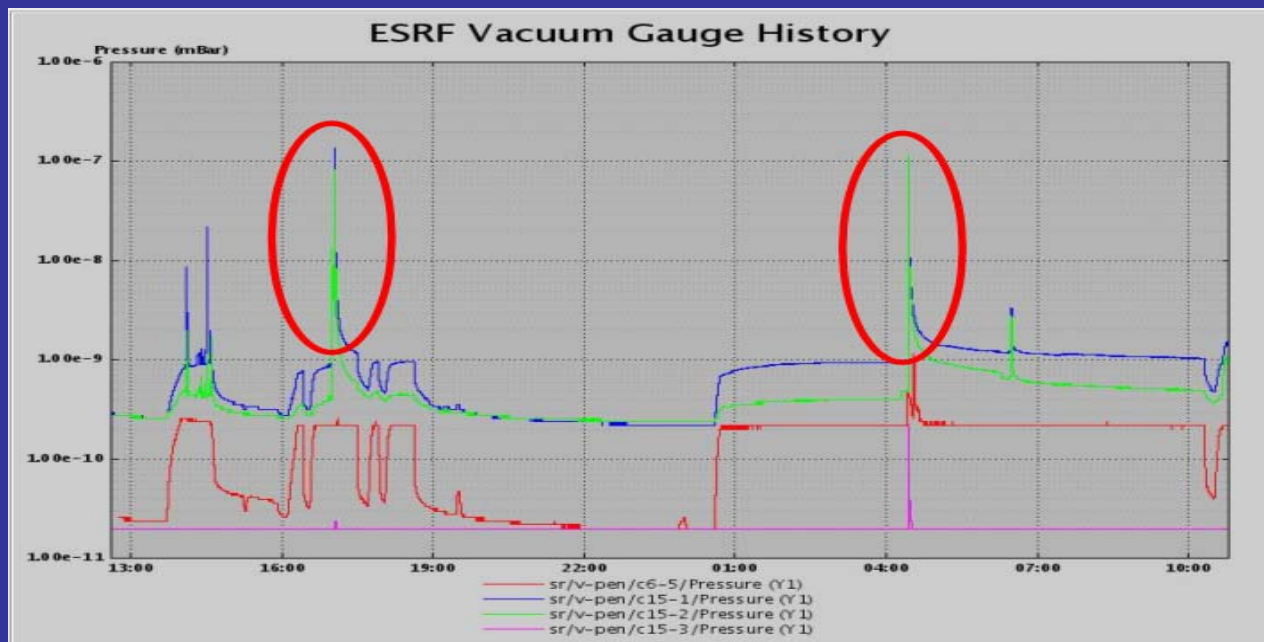
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: les radio gammagraphies

Dans certains modes (structurés en temps – dépendant du courant par bunch et du nombre de bunch), ces RF liners se fragilisent suite à des échauffements →

Le ressort peut se détendre, des doigts peuvent plier.

Cela se traduit par des remontées de pression

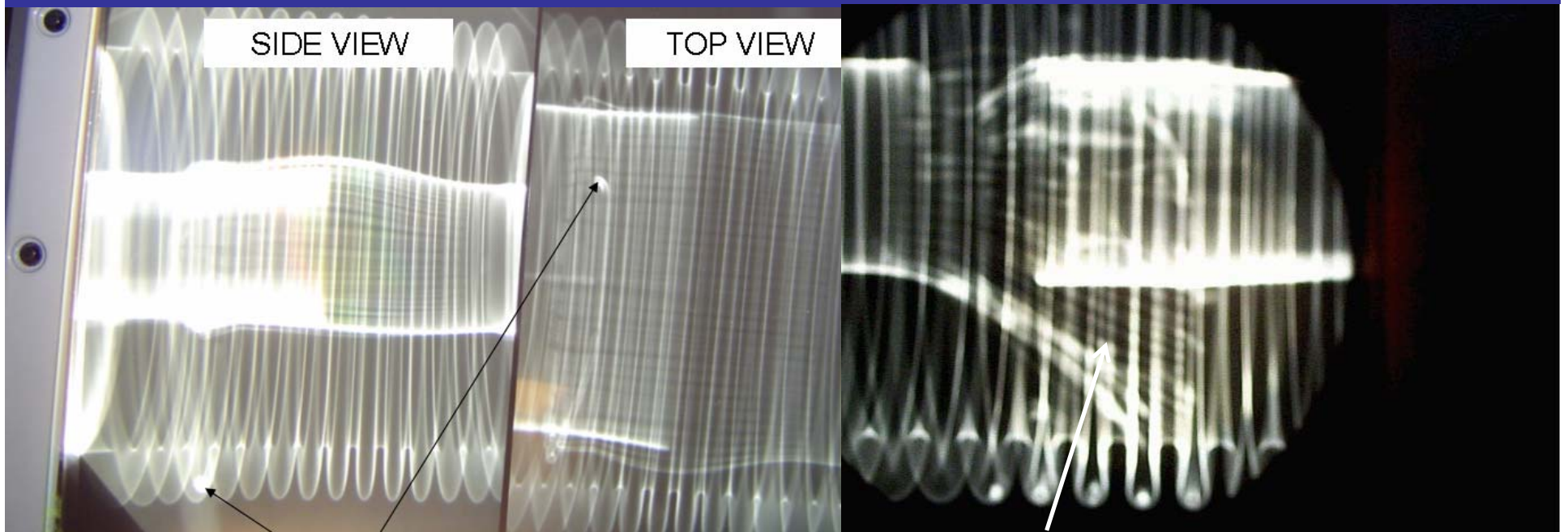


Une gammagraphie est **NECESSAIRE** avant la « casse » totale !

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: les radio gammagraphies

Gammagraphie = source d'iridium + film photo. Quelques minutes de tir. Après 2 heures, on obtient une photo de L'INTERIEUR de la chambre à vide / du soufflet.



Ressort détendu, voire cassé

Doigts pliés suite à échauffement après cassure d'un ressort ...

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: les radio gammagraphies

Avant l'usage des gammagraphies à l'ESRF, un problème nous était indiqué lorsqu'il était ... trop tard (faisceau bloqué, remontées de pression ..)



Ces pannes sont aujourd'hui évitées par:

- alarmes instantanées dès qu'une remontée de pression (même minime) apparaît à un endroit de l'anneau de stockage
- décision d'un expert vidiste d'effectuer une gammagraphie pour (in)valider la remontée de pression

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3: Effectuer des études post-accidents

Un « nouveau » type d'accident arrive...

→ Analyser l'origine

→ Evaluer la probabilité que ce soit un cas isolé ou le début d'une longue série !...

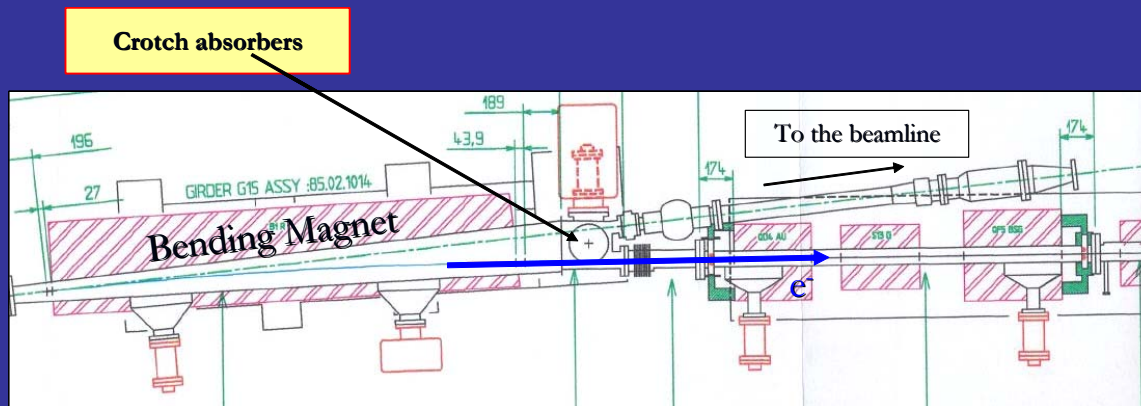
Deux exemples notoires à l'ESRF:

- les crotch absorbers
- la corrosion dans les chambres à vide

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.1: Effectuer des études post-accidents: Les crotch absorbers



Rôle: capter les rayons X émis par un aimant de déviation mais qui ne seront pas pris vers le départ de ligne.

Incident: Mars 2005, une fuite d'eau se déclenche dans l'un d'entre eux.

→ mise à l'air sur plus de 50 mètres et ... de l'eau dans une chambre à vide.

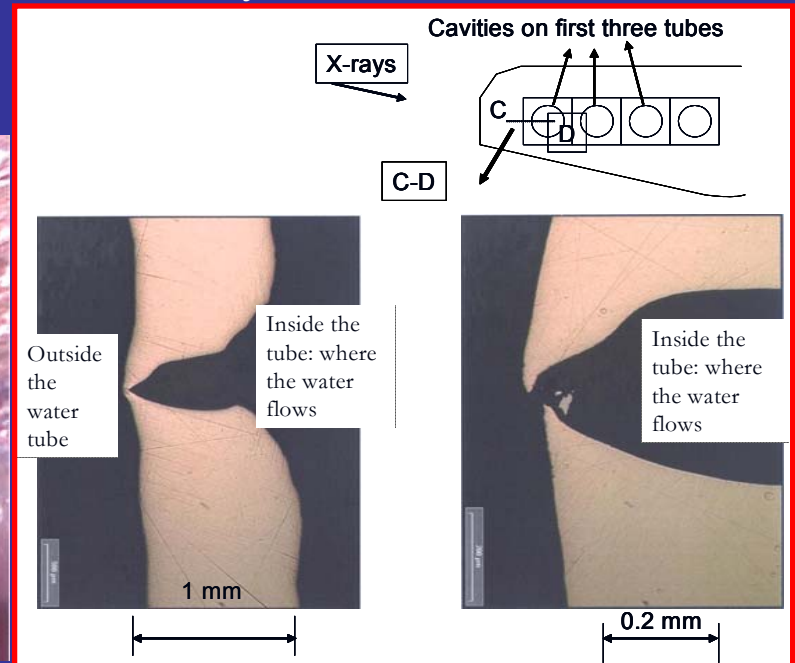
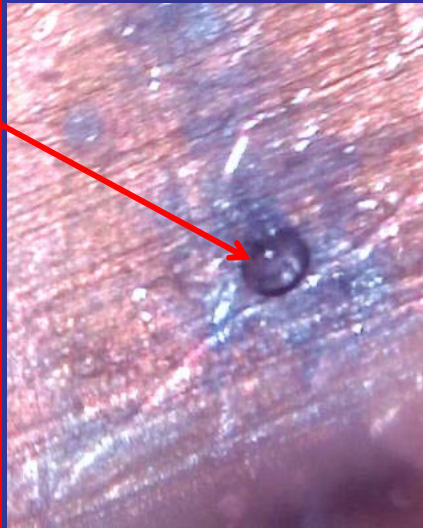
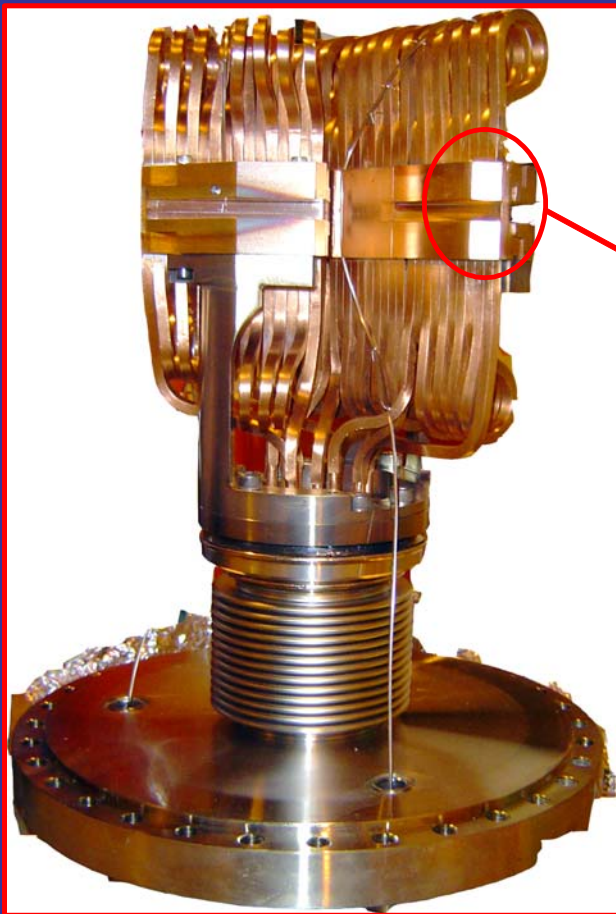
→ Cinq jours seront perdus.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.1: Effectuer des études post-accidents: Les crotch absorbers

La partie incriminée fut découpée finement afin de mieux analyser la fuite



Défaut de construction (= accident isolé) OU

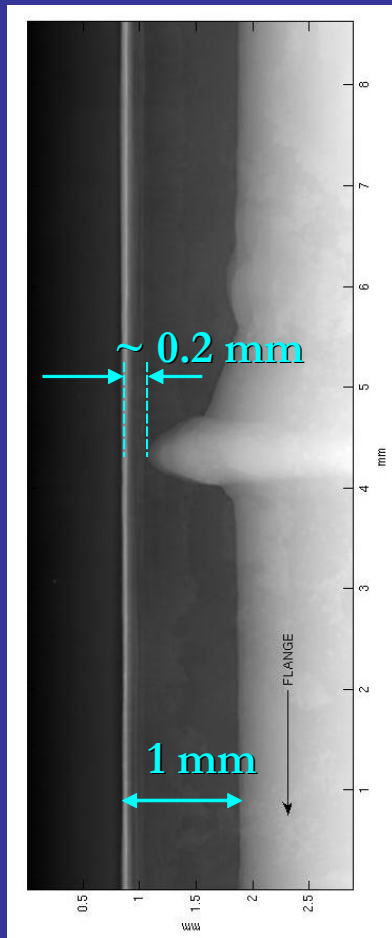
Début d'une longue série ??

Une autre crotch est démonté et gammagraphié

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.1: Effectuer des études post-accidents: Les crotch absorbers



1ère conclusion: tous les crotch présentent le même risque: un crotch pris au hasard ne présente plus qu'une épaisseur de 200 microns avec la fuite ! → le risque est SYSTEMATIQUE !

La cause: un cocktail détonant:

eau désionisée + cuivre + radiations

Action court terme: désaligner volontairement tous les crotches de 2 mm dans le plan vertical afin que les rayons X heurtent une zone encore épaisse de 1 mm n'ayant jamais vu de faisceau.

Action long terme: redessiner les crotches et tous les remplacer !!

Cette action a duré 1 an ½ et se termine cet hiver 2007/2008.

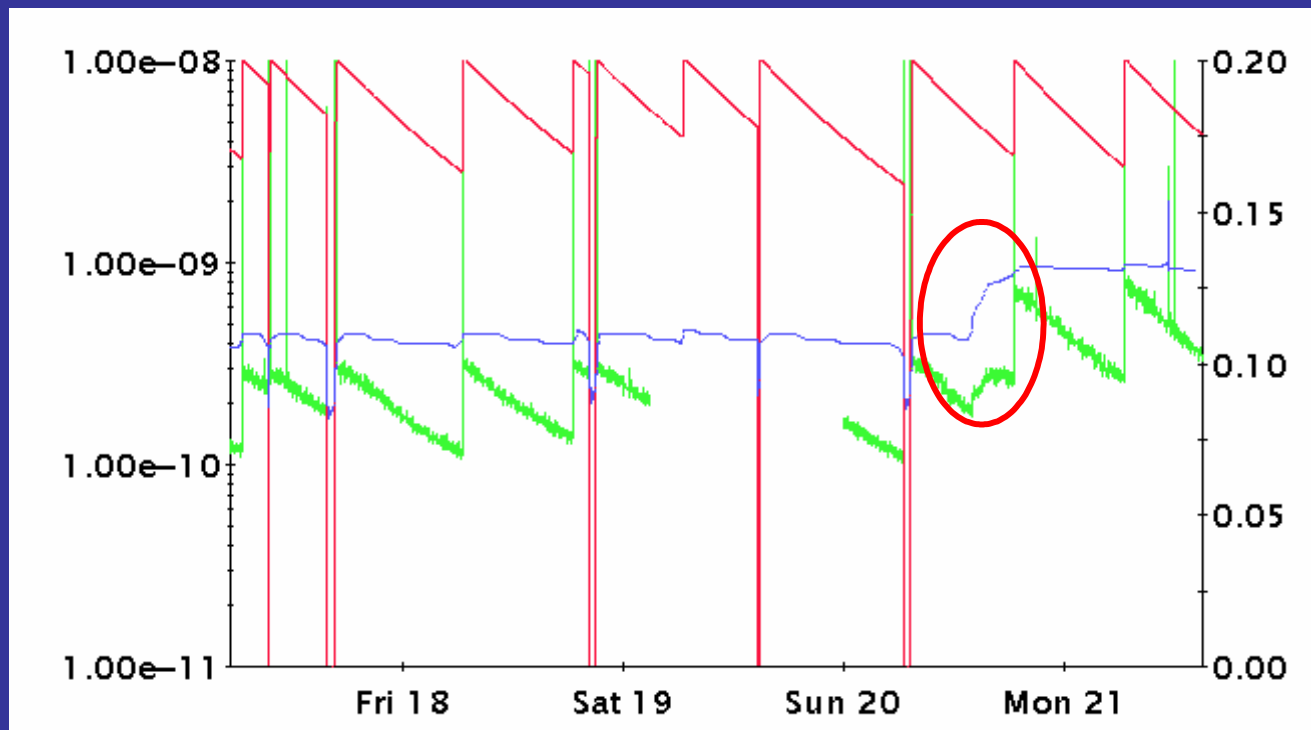
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.2: études post-accidents: La corrosion dans les chambres à vide

Différence avec l'exemple précédent: problème connu, identifié, mais on ne peut pas envisager le remplacement systématique ...

Les premiers signes: des remontées de pression



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

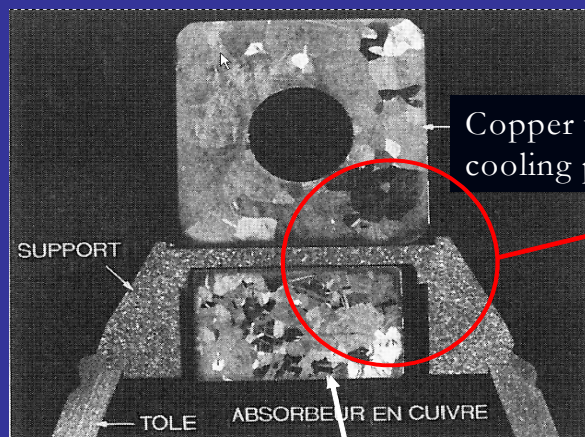
Exemple 3.2: études post-accidents: La corrosion dans les chambres à vide

Rapport d'expertise : *«la fuite résulte d'un mécanisme de corrosion sous contrainte, imputable à la présence de chlore. Cette contamination provient de l'utilisation, lors de l'opération de brasage des tubes en acier inoxydable sur la chambre, d'un flux décapant contenant du chlore, flux qui se sera infiltré au fond du lamage, lieu de confinement et qui n'aura pu être éliminé, malgré les opérations de nettoyage de la pièce*

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

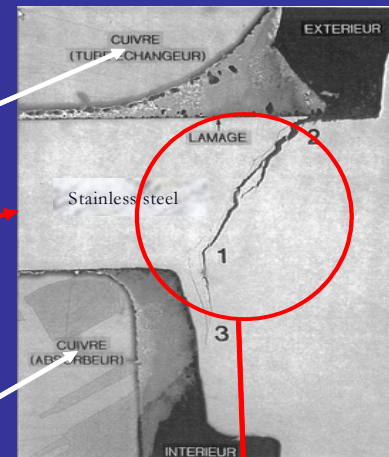
Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.2: études post-accidents: La corrosion dans les chambres à vide



Copper water cooling pipe

Copper absorber



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Faire des études post-accidents

Exemple 3.2: études post-accidents: La corrosion dans les chambres à vide

Action QUOTIDIENNE: surveiller toute remontée de pression anormale, même insignifiante

Action très court terme: boucher la fuite à l'aide d'un spray

Action moyen terme: remplacer la chambre à vide

Cette suite d'actions a porté ses fruits en 2005:

6 fuites ont été détectées précocement. Toutes ont fait l'objet d'une réparation transparente pour les utilisateurs car effectuées lors des interventions hebdomadaires planifiées

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Analyse mécanique en ligne

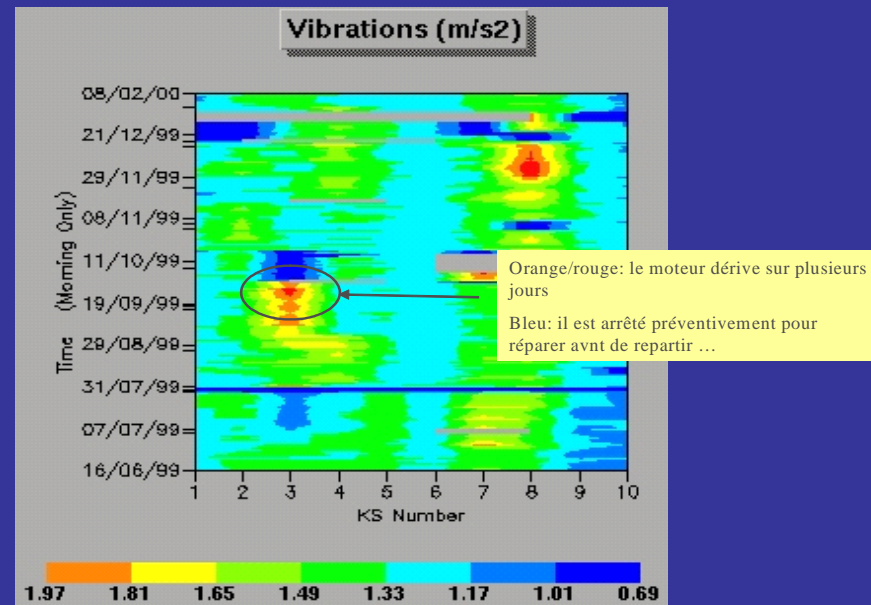
Exemple 4: Analyse mécanique en ligne

Jusqu'à septembre 2007, l'ESRF était doté de 10 moteurs Diesel de 1 MW chacun.

Rôle: pallier les coupures d'électricité dues à des défauts sur le réseau du fournisseur d'électricité.

En cas d'arrêt brutal de 1/ plusieurs de ces moteurs: danger pour l'équipement qu'ils protègent ! Ils passeraient de « pleine puissance » à « arrêté » instantanément.

→ Des capteurs de vibrations ont été installés pour détecter précocement toute anomalie liée à un / plusieurs composants du moteur



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Eviter les fausses pannes

Exemple 5: Eviter les fausses pannes

Fausse panne = panne induite par le capteur / interlock et pas par l'équipement surveillé.

Conséquence = la même que pour une vraie panne: tout s'arrete !!

Un exemple typique à l'ESRF: les capteurs de température des sextupoles.

Phénomène:

Les aimants sextupolaires s'arrêtent suite à un déclenchement de l'interlock de température de la bobine. Or la bobine ne semble pas chaude ...



Diagnostic: Le caoutchouc protecteur du capteur se liquéfie sous les radiations.

→ Sa structure moléculaire passe d'isolant à conducteur !

→ Un courant de fuite s'installe faisant croire à un déclenchement du capteur !

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Eviter les fausses pannes

La bonne question !: Ces interlocks sont-ils VRAIMENT utiles ?

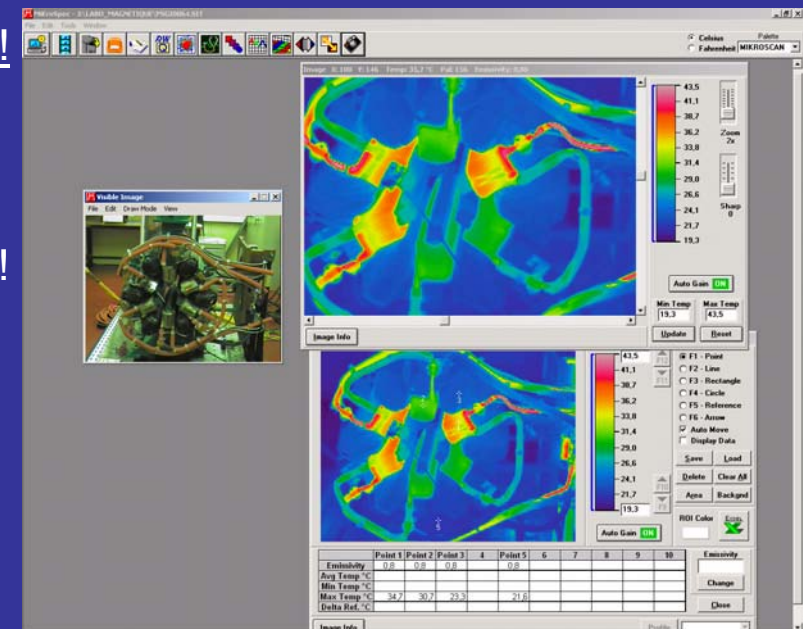
Tests: Un sextupole est placé sur un bac de mesure pour y subir une série de tests.

Ils est alimenté mais ses bobines, non refroidies à l'eau!

Résultat: Même non refroidie, une bobine ne présente pas d'élévation de température inquiétante !

Un capteur passif de lecture suffit, l'interlock est inutile !

Action: déconnexion de 1344 de ces interlocks – autant de causes de pannes en moins !



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Se servir de ses yeux !...

Exemple 6: Se servir de ses yeux

1 exemple ...

Hiver 2001 – 2002: démarrage des accélérateurs sans problèmes. Tout tourne bien pendant 3 jours.

Jour 4: on simule un 'delivery' aux utilisateurs et on ferme les mâchoires des éléments d'insertion au minimum.

Le faisceau ne passe plus. Des pertes élevées sont indiquées par les détecteurs en cellule 15.

Une inspection visuelle a lieu dans cette zone ...

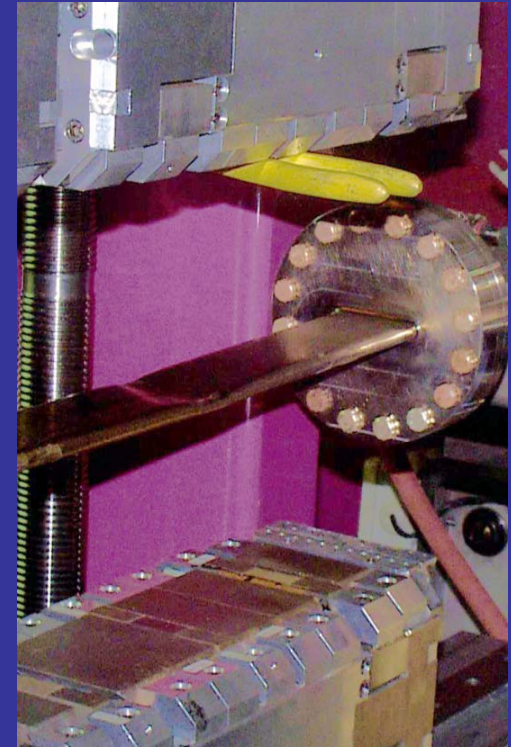
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Se servir de ses yeux !...



Une personne avait oublié une pince dans cette zone. Attirée par le champ magnétique, la pince s'est collée à une mâchoire, écrasant la chambre à vide lors de la fermeture de l'élément d'insertion ...

24 heures de perdues « grâce » au fait que la chambre alu s'est pliée sans créer de fuite de vide. Une chambre inox aurait éclaté provoquant une remise à l'air très brutale sur plusieurs dizaines de mètres !...



Depuis lors, une inspection visuelle (3 personnes) approfondie a lieu en fin de période de maintenance.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Planifier des périodes d'arrêt – réparer / maintenir

Toutes les méthodes décrites ci-dessus permettent de détecter une panne de manière précoce afin d'anticiper sa réparation.

Encore faut-il avoir prévu ... des créneaux d'intervention planifié hors des périodes de service aux utilisateurs !

Basé sur l'expérience, nous planifions:

- 1-2 heures d'intervention tous les 15 jours pendant la journée réservée aux études accélérateurs. En cas de nécessité, cette fréquence peut être ramenée à 1-2 heures tous les 7 jours (actuellement, 1 journée par semaine est dédiée aux études sur les accélérateurs).
- 5 périodes plus longues sur l'année pour effectuer des interventions plus conséquentes (changements de chambre à vide, remplacement d'un élément d'insertion, etc.) : 1 mois en hiver, 1 mois en été et 3 * 10 jours répartis sur le reste de l'année.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: Planifier des périodes d'arrêt – réparer / maintenir

Jan 2010			Feb 2010			Mar 2010			Apr 2010			May 2010			Jun 2010			Jul 2010			Aug 2010			Sep 2010			Oct 2010			Nov 2010			Dec 2010			Jan 2011		
Fri 01	s	s	Mon 01		Mon 01	MMM	Thu 01	.	Sat 01	.	Tue 01	s	s	Thu 01	.	Sun 01	s	s	Wed 01	.	Fri 01	.	Mon 01	.	Wed 01	.	Sat 01	s	s	Mon 01	.	Wed 01	.	Sat 01	s	s		
Sat 02	s	s	Tue 02	MMM	Tue 02	.	Fri 02	.	Sun 02	.	Wed 02	s	s	Fri 02	.	Mon 02	s	s	Thu 02	.	Sat 02	.	Tue 02	MMM	Thu 02	.	Sun 02	s	s	Tue 02	MMM	Thu 02	.	Sun 02	s	s		
Sun 03	s	s	Wed 03	.	Wed 03	.	Sat 03	.	Mon 03	.	Thu 03	s	s	Sat 03	.	Tue 03	s	s	Fri 03	.	Sun 03	.	Wed 03	MMM	Fri 03	.	Mon 03	s	s	Wed 03	MMM	Fri 03	.	Mon 03	s	s		
Mon 04	s	s	Thu 04	.	Thu 04	.	Sun 04	.	Tue 04	MMM	Fri 04	start-	Sun 04	.	Wed 04	s	s	Sat 04	.	Mon 04	.	Thu 04	.	Sat 04	.	Tue 04	s	s	Sat 04	.	Mon 04	.	Thu 04	s	s			
Tue 05	s	s	Fri 05	.	Fri 05	.	Mon 05	.	Wed 05	.	Sat 05	MMM	Mon 05	.	Thu 05	s	s	Sun 05	.	Tue 05	.	Fri 05	.	Mon 05	.	Sun 05	s	s	Tue 05	.	Fri 05	.	Mon 05	s	s			
Wed 06	s	s	Sat 06	.	Sat 06	.	Tue 06	MMM	Thu 06	.	Mon 06	MMM	Tue 06	MMM	Fri 06	s	s	Mon 06	.	Wed 06	s	s	Sat 06	.	Mon 06	s	s	Mon 06	MMM	Sat 06	.	Thu 06	s	s				
Thu 07	s	s	Sun 07	.	Sun 07	.	Wed 07	.	Fri 07	.	Mon 07	MMM	Wed 07	.	Sat 07	s	s	Tue 07	MMM	Thu 07	s	s	Sun 07	.	Tue 07	MMM	Fri 07	s	s	Tue 07	MMM	Fri 07	s	s				
Fri 08	s	s	Mon 08	.	Mon 08	.	Thu 08	.	Sat 08	.	Tue 08	.	Thu 08	.	Sun 08	s	s	Wed 08	.	Fri 08	s	s	Mon 08	.	Wed 08	.	Sat 08	s	s	Mon 08	MMM	Thu 08	.	Sat 08	s	s		
Sat 09	s	s	Tue 09	MMM	Tue 09	MMM	Fri 09	.	Sun 09	.	Wed 09	.	Fri 09	.	Mon 09	s	s	Thu 09	.	Sat 09	s	s	Tue 09	MMM	Thu 09	.	Sun 09	s	s	Tue 09	MMM	Thu 09	.	Sun 09	s	s		
Sun 10	s	s	Wed 10	MMM	Wed 10	.	Sat 10	.	Mon 10	.	Thu 10	.	Sat 10	.	Tue 10	s	s	Fri 10	.	Sun 10	s	s	Wed 10	.	Mon 10	s	s	Wed 10	.	Mon 10	.	Thu 10	s	s				
Mon 11	s	s	Thu 11	.	Thu 11	.	Sun 11	.	Tue 11	MMM	Fri 11	.	Sun 11	.	Wed 11	s	s	Sat 11	.	Mon 11	s	s	Thu 11	.	Sat 11	.	Tue 11	s	s	Thu 11	.	Sat 11	.	Tue 11	s	s		
Tue 12	s	s	Fri 12	.	Fri 12	.	Mon 12	.	Wed 12	.	Sat 12	.	Mon 12	.	Thu 12	s	s	Sun 12	.	Tue 12	s	s	Fri 12	.	Sun 12	.	Wed 12	s	s	Tue 12	s	s	Fri 12	.	Mon 12	s	s	
Wed 13	s	s	Sat 13	.	Sat 13	.	Tue 13	MMM	Thu 13	.	Fri 13	.	Sun 13	.	Wed 13	MMM	Fri 13	s	s	Mon 13	.	Wed 13	s	s	Sat 13	.	Mon 13	s	s	Wed 13	s	s	Sat 13	.	Mon 13	s	s	
Thu 14	s	s	Sun 14	.	Sun 14	.	Wed 14	.	Fri 14	.	Mon 14	.	Wed 14	.	Sat 14	s	s	Tue 14	MMM	Thu 14	s	s	Sun 14	.	Tue 14	MMM	Fri 14	s	s	Tue 14	MMM	Fri 14	s	s				
Fri 15	start-	Mon 15	.	Mon 15	.	Thu 15	.	Sat 15	.	Tue 15	MMM	Thu 15	.	Sun 15	s	s	Wed 15	.	Fri 15	start-	Mon 15	.	Wed 15	.	Sat 15	s	s	Mon 15	MMM	Tue 15	.	Sun 15	s	s				
Sat 16	MMM	Tue 16	MMM	Tue 16	.	Fri 16	.	Sun 16	.	Wed 16	.	Fri 16	.	Mon 16	s	s	Thu 16	.	Sat 16	MMM	Tue 16	MMM	Thu 16	.	Sun 16	s	s	Tue 16	MMM	Thu 16	.	Sun 16	s	s				
Sun 17	MMM	Wed 17	.	Wed 17	s	s	Sat 17	.	Mon 17	.	Thu 17	.	Sat 17	.	Tue 17	s	s	Fri 17	.	Sun 17	MMM	Wed 17	.	Fri 17	.	Mon 17	s	s	Sun 17	MMM	Wed 17	.	Fri 17	.	Mon 17	s	s	
Mon 18	MMM	Thu 18	.	Thu 18	s	s	Sun 18	.	Tue 18	MMM	Thu 18	.	Sun 18	.	Wed 18	s	s	Sat 18	.	Mon 18	MMM	Thu 18	.	Sat 18	.	Tue 18	s	s	Mon 18	MMM	Thu 18	.	Sat 18	.	Tue 18	s	s	
Tue 19	.	Fri 19	.	Fri 19	.	Mon 19	.	Wed 19	.	Sat 19	.	Mon 19	.	Tue 19	s	s	Sun 19	.	Thu 19	.	Fri 19	.	Mon 19	.	Wed 19	.	Sun 19	s	s	Tue 19	.	Fri 19	.	Mon 19	s	s		
Wed 20	.	Sat 20	.	Sat 20	s	s	Tue 20	MMM	Thu 20	.	Sun 20	.	Tue 20	MMM	Fri 20	start-	Mon 20	.	Wed 20	.	Sat 20	.	Mon 20	s	s	Thu 20	s	s	Wed 20	.	Sat 20	.	Mon 20	s	s			
Thu 21	.	Sun 21	.	Sun 21	s	s	Wed 21	.	Fri 21	.	Mon 21	.	Wed 21	.	Sat 21	MMM	Tue 21	MMM	Thu 21	.	Sun 21	.	Tue 21	s	s	Fri 21	MMM	Thu 21	.	Sun 21	.	Tue 21	s	s				
Fri 22	.	Mon 22	.	Mon 22	s	s	Thu 22	.	Sat 22	.	Tue 22	MMM	Thu 22	.	Sun 22	MMM	Wed 22	.	Fri 22	.	Mon 22	.	Wed 22	s	s	Sat 22	MMM	Thu 22	.	Sun 22	.	Tue 22	s	s				
Sat 23	.	Tue 23	MMM	Tue 23	s	s	Fri 23	.	Sun 23	.	Wed 23	.	Fri 23	.	Mon 23	MMM	Thu 23	.	Sat 23	.	Tue 23	MMM	Thu 23	.	Sun 23	MMM	Thu 23	s	s	Sat 23	.	Mon 23	s	s				
Sun 24	.	Wed 24	.	Wed 24	s	s	Sat 24	.	Mon 24	.	Thu 24	.	Sat 24	.	Tue 24	.	Fri 24	.	Sun 24	.	Wed 24	.	Fri 24	s	s	Mon 24	MMM	Thu 24	.	Sun 24	.	Tue 24	s	s				
Mon 25	.	Thu 25	.	Thu 25	s	s	Sun 25	.	Tue 25	.	Fri 25	.	Sun 25	.	Wed 25	.	Sat 25	.	Mon 25	.	Thu 25	.	Sat 25	s	s	Tue 25	.	Sun 25	.	Thu 25	s	s	Fri 25	.	Mon 25	s	s	
Tue 26	MMM	Fri 26	.	Fri 26	start-	Mon 26	.	Wed 26	s	s	Sat 26	.	Mon 26	.	Thu 26	.	Tue 26	.	Sun 26	.	Tue 26	MMM	Fri 26	.	Sun 26	s	s	Wed 26	.	Mon 26	s	s	Thu 26	.	Sun 26	s	s	
Wed 27	.	Sat 27	.	Sat 27	MMM	Tue 27	MMM	Thu 27	s	s	Sun 27	.	Tue 27	.	Fri 27	.	Mon 27	.	Wed 27	.	Thu 27	.	Sat 27	.	Mon 27	s	s	Thu 27	.	Sun 27	.	Tue 27	s	s				
Thu 28	.	Sun 28	.	Sun 28	MMM	Wed 28	.	Fri 28	s	s	Mon 28	.	Wed 28	s	s	Sat 28	.	Tue 28	MMM	Thu 28	.	Fri 28	.	Mon 28	s	s	Fri 28	.	Sun 28	.	Tue 28	s	s	Fri 28	.	Mon 28	s	s
Fri 29	.	.	.	Mon 29	MMM	Thu 29	.	Sat 29	s	s	Tue 29	MMM	Thu 29	s	s	Sun 29	.	Wed 29	.	Fri 29	.	Mon 29	.	Wed 29	s	s	Sat 29	.	Thu 29	s	s	Fri 29	.	Mon 29	s	s		
Sat 30	.	.	.	Tue 30	.	Fri 30	.	Sun 30	s	s	Wed 30	.	Fri 30	s	s	Mon 30	.	Thu 30	.	Sat 30	.	Tue 30	MMM	Thu 30	s	s	Sun 30	.	Fri 30	.	Mon 30	s	s	Sat 30	.	Thu 30	s	s
Sun 31	.	.	.	Wed 31	.	Mon 31	s	s	.	.	Thu 31	s	s	Tue 31	MMM	

5640 hours	USM	1880.0	rad / PSS			updated by LH on 14/05/2009 (V1)
1296 hours	MDT	432.0				updated by PE on 28/05/2009 (V3)
1824 hours	Shutdown	608.0				

S = maintenance

Certains accélérateurs pratiquent une stratégie « run until it blows »: aucun shutdown n'est planifié, aucun créneau de réparation n'est planifié. Cela ne peut PAS convenir à une source de rayons X avec des dizaines d'expériences en parallèle.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

Eviter la panne: et ... échanger avec les autres instituts

Objectifs:

Echanger les expériences avec les autres instituts, sur le matériel déjà utilisé ailleurs.

Comment ?

- Conférences / workshop: notamment les « Workshop on Accelerator Operation »
 - 2007: Trieste – Italie
 - 2010: Corée du sud (Pohang Light Source)
ou les « Accelerator Reliability Workshop »
 - 2002: Grenoble
 - 2009: Vancouver – Canada
 - 2011: Cape Town – Afrique du Sud
- Liste e-mail / forum regroupant le « milieu de l'opération des accélérateurs »
 - <http://lists.reliadb.org/mailman/listinfo/accelerator-announc>

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes

Les pannes fréquentes vont perturber tous les types d'utilisateurs.

Ce type de pannes se distingue de la catégorie précédente en ceci qu'il faut en avoir eu plusieurs avant de se rendre compte que l'on est en face d'un problème récurrent et non isolé...

Quelques exemples concrets utilisés à l'ESRF pour augmenter le MTBF (Mean Time Between Failures) sont décrits.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.1 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: **Redondance active**

Un exemple de redondance active : HQPS – High Quality Power Supply

Le problème de départ:

Grenoble = région montagneuse – orageuse. Un orage peut générer une chute de tension sur le réseau 225 – 400 KV, accompagné d'une variation de fréquence autour du 50 Hz nominal

Quelques chiffres:

- Une chute de tension MOYENNE dure 200 msec avec $\Delta U/U = - 20 \%$
- Suite à une erreur de manipulation de EDF, il est déjà arrivé de rester plusieurs minutes sans électricité (travaux de nouveau Tram, etc ...)
- Entre 08/1992 et 07/1993, il y a eu 279 (!) perturbations de réseau. Toutes comprises entre 0.1 et 2 secondes et 6 d'entres-elles avec $\Delta U/U = - 80 \%$.

TOUTES les perturbations (parmi les 279) qui ont eu lieu pendant la période de livraison utilisateur ont arrêté les accélérateurs (parfois plusieurs par jour) !

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.1 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: **Redondance active**

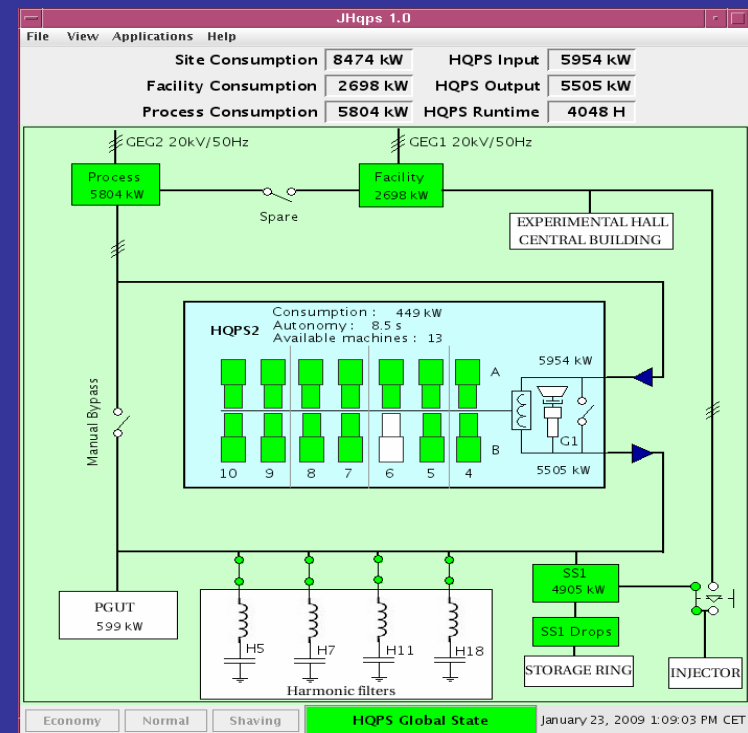
Une solution:

Installer un système dit « High Quality Power Supply » - HQPS, afin de pallier ces chutes de tension.

- Le système: 14 accumulateurs / générateurs placés en parallèle sur le réseau principal.
 - 9.3 MW disponible

En cas de détection de chute de tension, un disjoncteur en entrée s'ouvre et les accumulateurs délivrent leur énergie aux alternateurs jusqu'au moment où le réseau principal est redevenu correct, ce qui fermera le disjoncteur pour revenir dans des conditions de travail normales.

Ce système compense 80 chutes de tension / an et évite autant de coupure de faisceau !...



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.1 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: **Redondance active**



Conclusion:

En moyenne: 80 démarrages de moteurs par an pendant 6 an

→ Autant de pannes répétitives évitées

→ Un MTBF considérablement augmenté grâce à ce système.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.2 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la conception*

Exemple 1: les détecteurs d'arc radio-fréquence dans les cavités

Des détecteurs d'arc protègent les guides d'onde RF. Quand un arc est détecté, la source de puissance (klystron) est arrêté.

1999: **50 arrêts** suite ... à une fausse détection

→ l'interlock EST utile ... mais pas optimisé !

2000: amélioration des détecteurs (bruit électronique mieux filtré, bascule flip-flop supprimée, niveau de détection remonté, etc)

Depuis 2000: en moyenne 10 détections d'arc par an, généralement VRAIES.

Soit, en moyenne, 40 arrêts évités chaque années ...

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.2 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la conception*

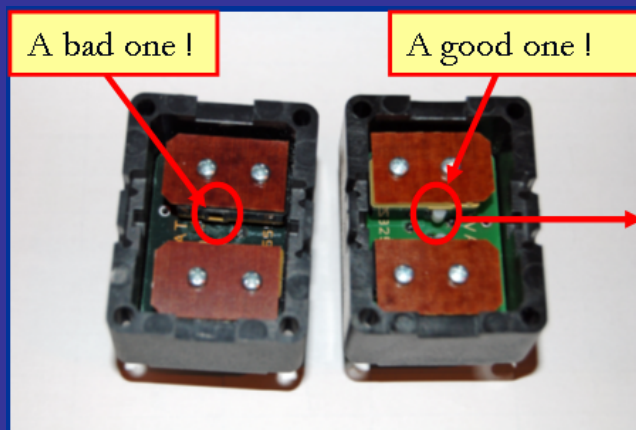
Exemple 2: les capteurs « fin de course »

2005: plusieurs arrêts faisceau.

Déclenchement d'un capteur 'fin de course' de vannes de vide manuelles... signifiant la « fermeture » de celles-ci. Ce fait est évidemment impossible: personne ne se trouve dans les accélérateurs pendant le fonctionnement !

Cet interlock est cependant utile pendant les périodes de maintenance ...

Constat: le contact déclencheur était complètement détruit sous l'effet des radiations



Solution: des capots de plomb recouvrent maintenant ces capteurs et de plus, ils ont été remplacés par des contact en céramique (moins sensibles aux radiations)

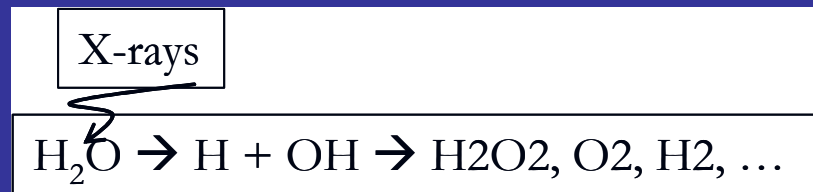
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: la maintenance préventive

Exemple 1: la présence d'oxyde de cuivre dans les circuits d'eau

Le phénomène:

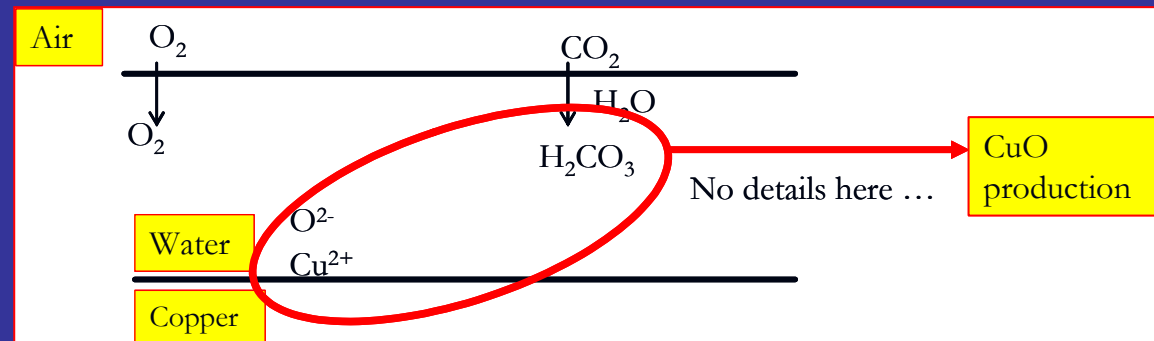
1. La radiolyse



H₂O₂, O₂ et H₂ sont des contributeurs importants à la production d'oxyde de cuivre

2. La formation d'oxyde de cuivre

Lors d'une intervention sur les circuits d'eau, du CO₂ est inévitablement introduit dans le circuit d'eau



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la maintenance préventive*

Les phénomènes qui auront de l'importance sur le TAUX de production sont :

facteur 1.6 : les radiations
facteur 3 : la température de l'eau
facteur 15 : la vitesse de l'eau
facteur 200 (!) : le taux de concentration de CO₂ dans l'eau et la quantité d'oxygène dissous dans l'eau.

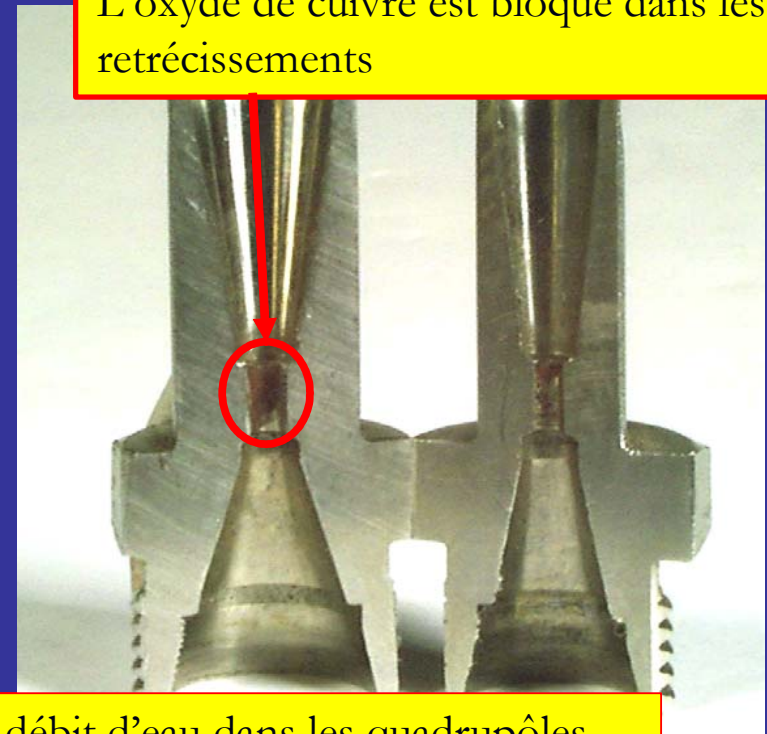
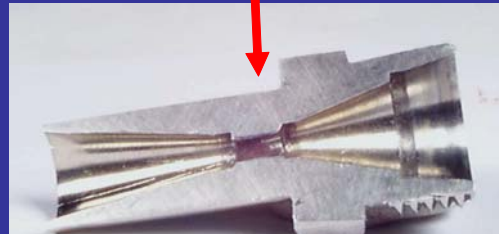
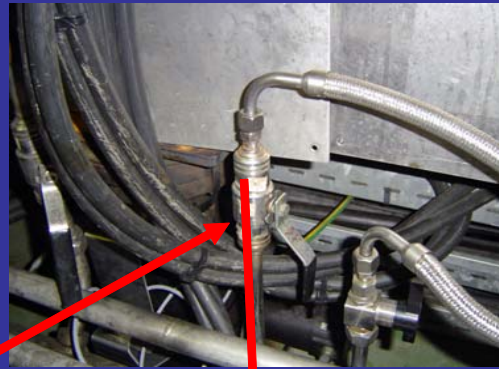
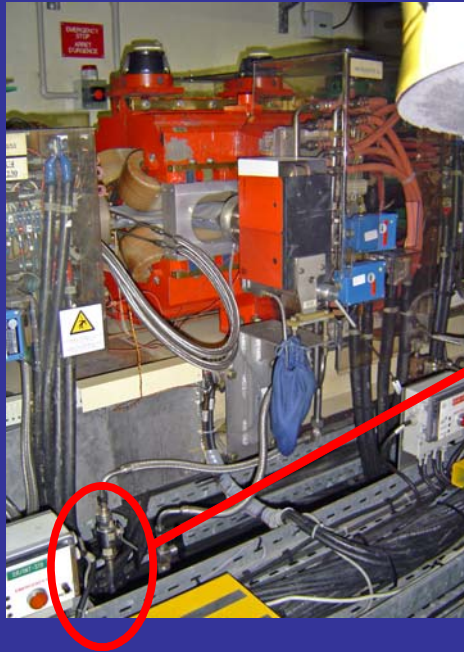
Les conséquences:

Des dépôts d'oxyde de cuivre se forment dans tous les rétrécissements du circuit, là précisément où la vitesse de l'eau est élevée et où un effet de cavitation est souvent présent.

L'oxyde de cuivre va continuer à se déposer jusqu'au moment où l'eau ne parvient quasiment plus à passer, déclenchant alors l'interlock du débitmètre de l'équipement correspondant.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: la maintenance préventive



L'oxyde de cuivre est bloqué dans les retrécissements

Les raccords calibrés sont utilisés pour limiter le débit d'eau dans les quadrupôles

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la maintenance préventive*

Comment minimiser cet effet ?

- Placer des résines spéciales dans le circuit d'eau pour piéger l'oxyde de cuivre.
- Mesurer en continu le taux d'oxygène dissous dans l'eau (de l'ordre de 50 ppb) afin d'anticiper tout problème.
- Prendre régulièrement des échantillons d'eau pour mesurer la quantité d'oxyde de cuivre (également pour anticiper toute anomalie)
- Maintenir le réservoir d'eau sous pression avec de l'azote et non pas de l'air.
- Maintenir le pH aux environs de 4
- Les débitmètres sont tous systématiquement vérifiés lors des périodes de maintenance. Dès que l'un d'entre eux mesure un débit légèrement inférieur au débit nominal, les raccords sont vérifiés et nettoyés.
- Des tests systématiques de baisse de pression d'eau ont lieu afin de noter quels débitmètres déclenchent en premier lieu. Ceux-là sont aussi vérifiés en priorité.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la maintenance préventive*

Résultats:

Ces pannes autrefois très fréquentes sont aujourd'hui marginales.

De plus, on retire aujourd'hui 20 mgr de cuivre / m² / jour contre ... 600 avant que ces mesures ne soit prises.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la maintenance préventive*

Exemple 2: les phénomènes de corrosion eau-cuivre

Il arrive assez fréquemment que des fuites d'eau se déclenchent à des endroits où ont lieu le phénomène de cavitation (coudes, rétrécissements).

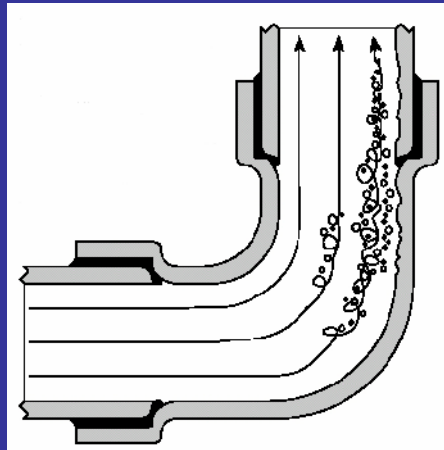
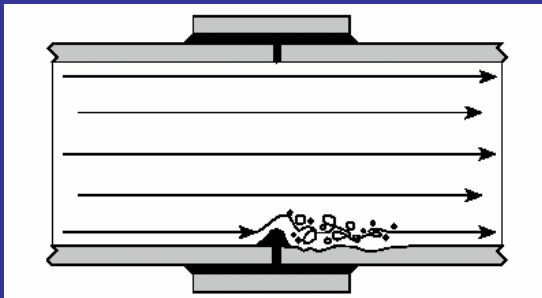
En 2005, il y a eu 13 arrêts et 17 heures de perdues à cause de ce type de panne.



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *la maintenance préventive*

Dans ces endroits: la vitesse de l'eau est élevée ou bien change de direction. Des bulles vont se créer et percuter avec suffisamment de force les parois de cuivre qu'au fil des années, un trou va se créer: 'pitting effect'.

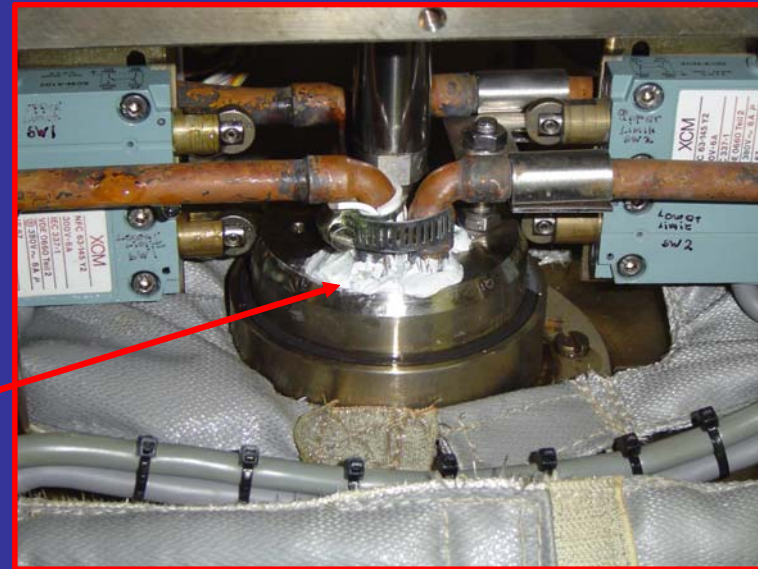
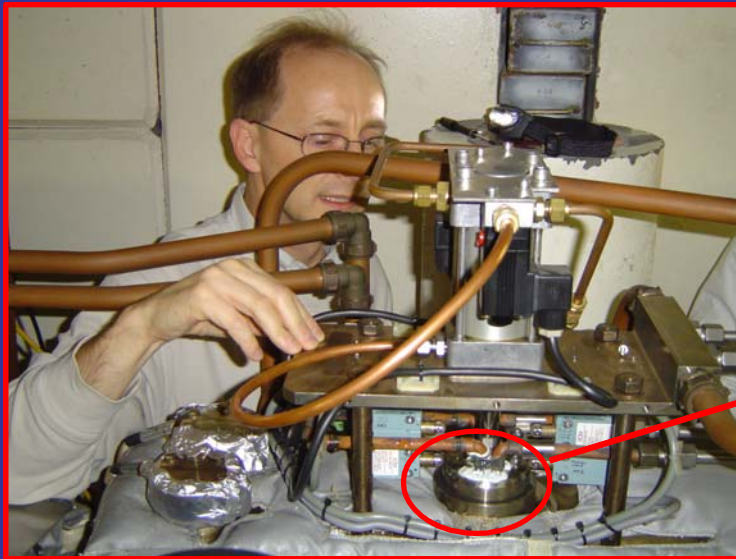


5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: la maintenance préventive

Solution court terme:

réparer vite, du mieux qu'on peut en fonction de l'importance du trou



Solution long terme:

Remplacement systématique des modules.

Programme long et coûteux actuellement en cours

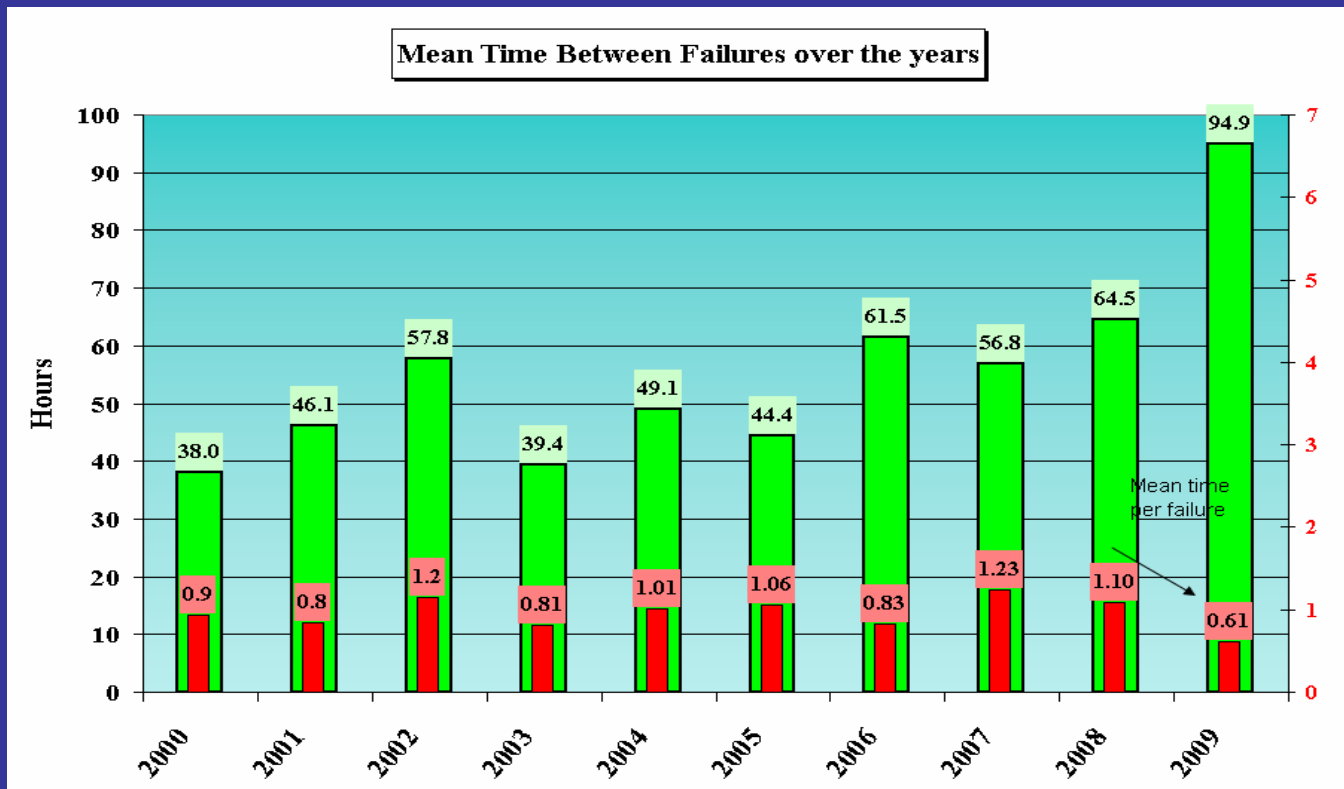
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.3.3 Avoir une durée moyenne maximale entre deux pannes: *résultats*

Les résultats sont sans ambiguïté:

1994: 1 panne de 72 minutes toutes les 13 heures

2009 en cours: 1 panne de 40 minutes toutes les 95 heures !



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4 Diminuer le temps moyen d'une panne: introduction

La panne est là !

Il faut minimiser le temps de la panne !

2 types de méthodes:

- technique

- redondance passive: un équipement est prêt à prendre la relève

- organisationnelle

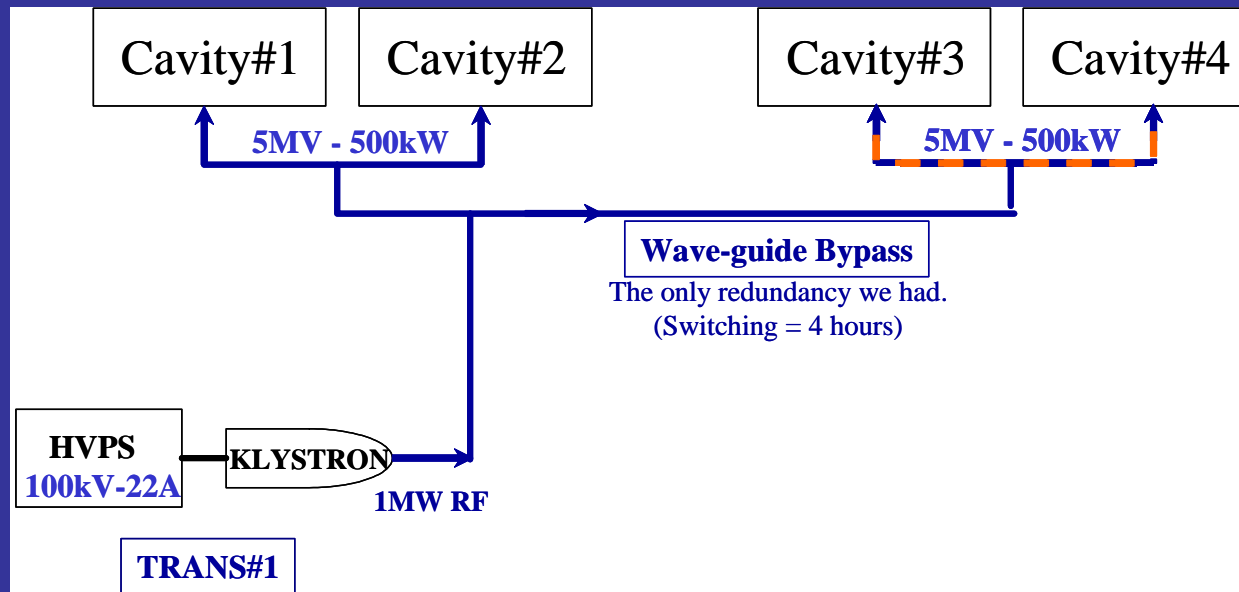
- procédures, pièces de réserve, formation, etc

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive

Exemple 1: Redondance de klystrons radio-fréquence

- Avant 1995: 1 seul klystron – pleine puissance- alimente 4 cavités



Si panne klystron: 6 heures de remplacement en supposant que 2 – 3 personnes compétentes ont pu se déplacer (nuit, WE , ...)

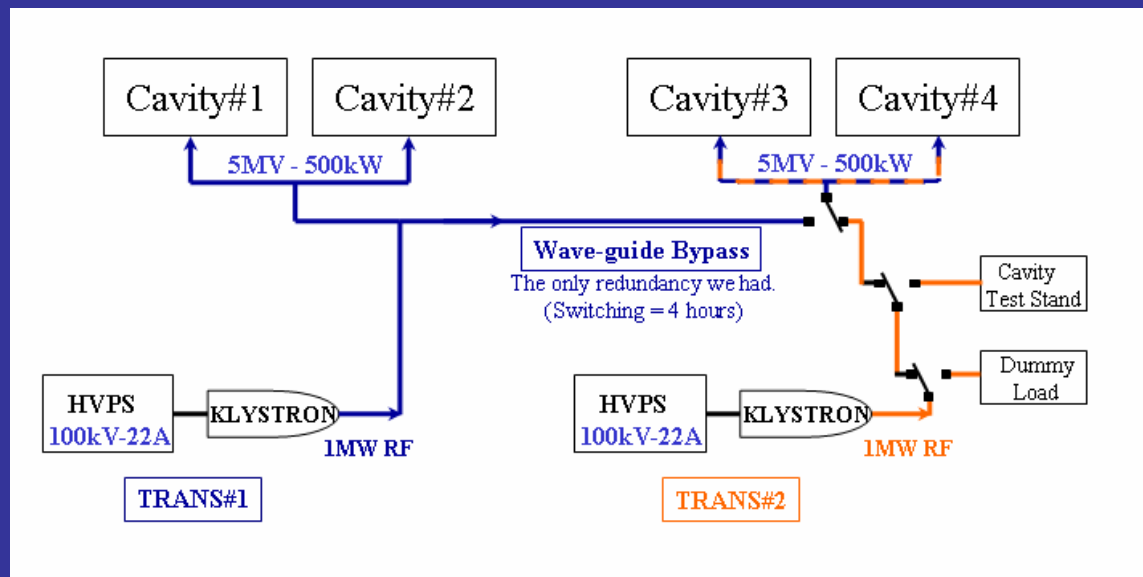
5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive

- 1995: 2 klystrons alimentent les 4 cavités (1 klystron = 2 cavités)

Avantage: Chaque klystron travaille à mi-puissance

Grand succès car le nombre de pannes chute drastiquement après cette amélioration

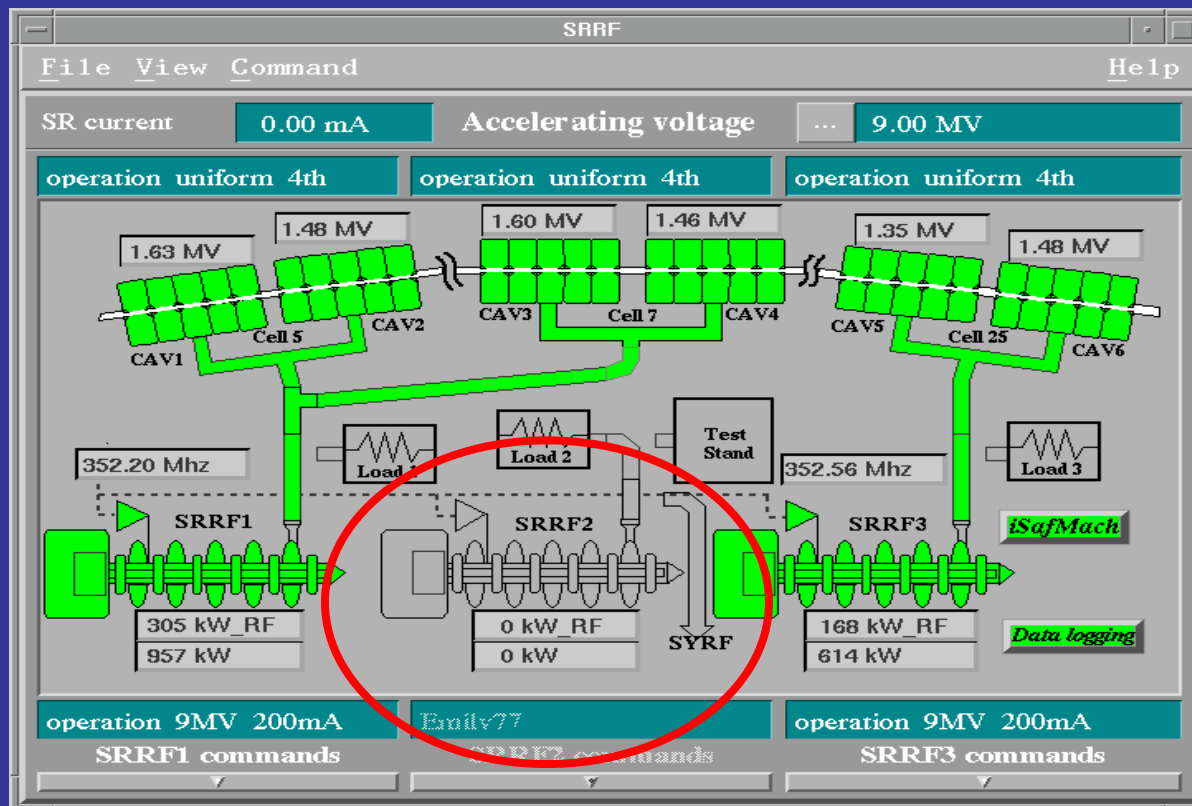


MAIS ... si panne klystron: il faut toujours 6 heures de remplacement en supposant que 2 – 3 personnes compétentes ont pu se déplacer (nuit, WE , ...) !!

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive

- 1997: 1 klystron alimente 4 cavités
- + 1 nouveau klystron qui alimente 2 nouvelles cavités (6 cavités au total)



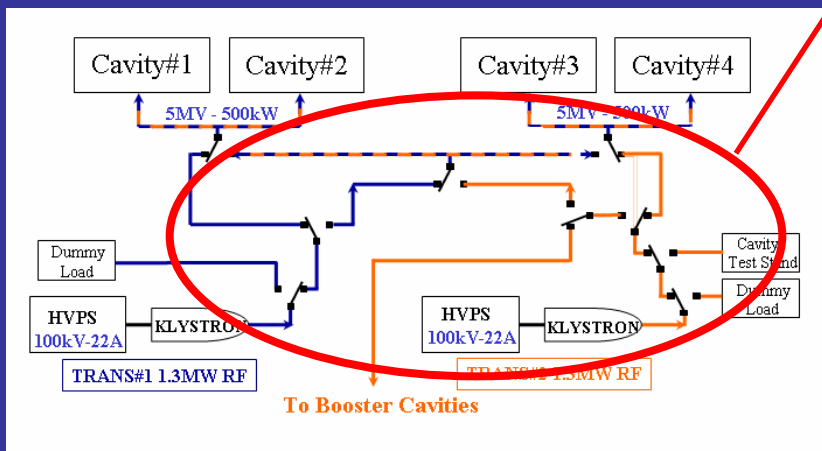
Un klystron est maintenant redondant !

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive

AvantageS:

- Chaque klystron travaille à mi-puissance comme avant
- La puissance passe par 6 fenêtres de cavités plutôt que 4: risque de claquage de fenêtre devenu négligeable.
- En cas de panne sur le klystron 1, des switchs sur le circuit de guide d'onde permettent de connecter en quelques minutes le klystron 2 sur 4 cavités.



Résultat: Une panne de 6 heures avant 1997 ne dure plus que 15 - 30 minutes actuellement.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive

Exemple 2: Redondance d'alimentation de haute puissance

Dipoles:	1 alimentation	Il n'est pas concevable d'avoir 1 alimentation de réserve pour chaque famille !
Quadrupoles:	6 alimentations	
Sextupoles:	6 alimentations	

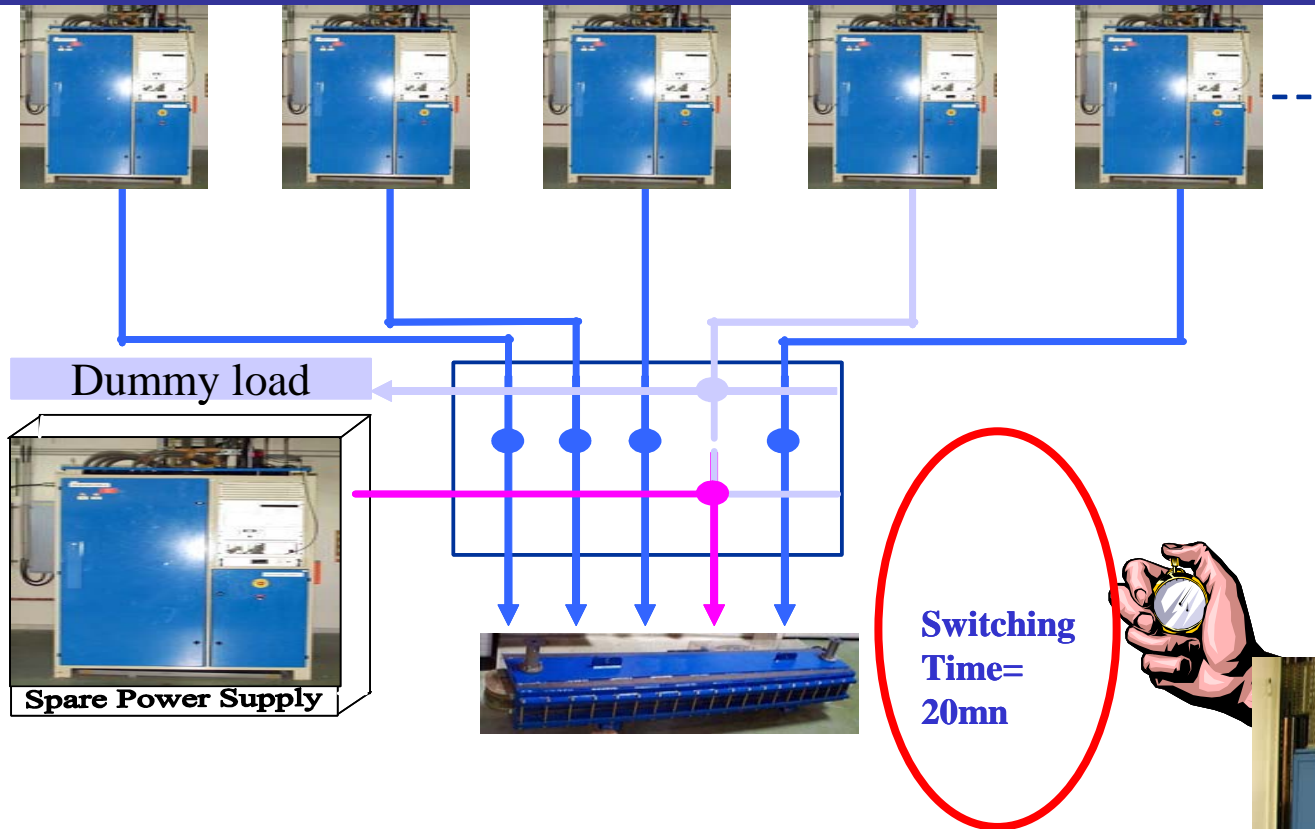
Idée 1: Avoir 1 'super-alimentation' capable de remplacer n'importe laquelle des alimentations ci-dessus !...

Mais ... il faut tout de même quelques heures pour décabler l'alimentation défailante et recabler la famille d'aimants à la « super-alimentation ».

Idée 2: Avoir une armoire géante de type matricielle, où passent tous les câbles de puissance de toutes les alimentations ainsi que les câbles de la 'super alimentation'

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: redondance passive



Courtesy of JM KOCH

Coût: 360 000 euros, mais Beaucoup d'heures de faisceau gagnées grâce à ce dispositif



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: de l'organisation !

La panne étant présente et une redondance passive étant supposée assurée, encore faut-il une organisation derrière tout cela ...

Les moyens mis en œuvre par l'opération à l'ESRF sont:

- 11 groupes d'experts joignables 24h/24h. Ils doivent être en mesure d'être présent sur site moins d'une heure après l'appel.
- Quelques procédures. Actuellement, une trentaine pour aider l'opérateur à mieux diagnostiquer et aider l'expert à distance
- Du matériel 'prêt à l'emploi' pour des réparations prévisibles. Plusieurs boites à outils préremplies du matériel adéquat pour une intervention sur un matériel donné
- Formation de terrain par les opérateurs. 20 % du temps de travail est effectué en horaire normal: formations / visites de terrain / discussion avec experts / travail dans d'autres groupes/ etc

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: de l'organisation !

- RETROUVER facilement l'information concernant une panne qui a déjà eu lieu.
 - Facile grâce à l'aide d'un logbook électronique avec un filtre perfectionné et très flexible.

Event	Accelerator	Equipment	Sub-Equipment	Message
Information	SR	SRRF	TRA2	P. Jodar : D.Boilot starts Tra2 at low power for Cavity conditioning till 12:00...
Information	SR	SRRF	TRA2	Jorn Jacob writes: We have successfully started the RF system in the 300 mA configuration (without beam). The FOC2 Voltage of TRA2 was out of range and therefore INTERLOCKED for about 25 minutes. Then, it was sufficiently warm to be inside the interlock window. For the RF experts: after some hours heating, one should probably re-adjust the Voltage Interlock level on the power supply. For the operation group: If you have to switch to TRA2, then give about half an hour of warm up before FOC2 can be reset.
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas : D.boilot informs CTRM he stopps his test on SRRF2
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas : we ask D.Boilot to stop the TRA2 tests : total power consumed too high
Information	SR	SRRF	TRA2	Stephane writes: D. Boilot switched TRA2 on T-Stand
Information	SR	SRRF	TRA2	Stephane writes: D. Boilot switch SRRF2 on Test stand until tomorrow
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas D.Boilot informs CTRM : TRA2 started for tests now and hopefully until to morrow morning....it needs about 800kW
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas : TRA2 running for tests now and hopefully during all the next night in case of trip, do not try to restart it ! in case of power limitation, please stop it (low heating)
Information	SR	SRRF	TRA2	Pierre Jodar writes: Call from D.Boilot, he restarts TRA2 for cavity conditioning...
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas SRRF : D.Boilot informs CTRM ---> TRA2 will be kept running for tests until to morrow morning (HQPS in by pass) if any problem occurs let it as it is
Information	SR	SRRF	TRA2	C.Niclas

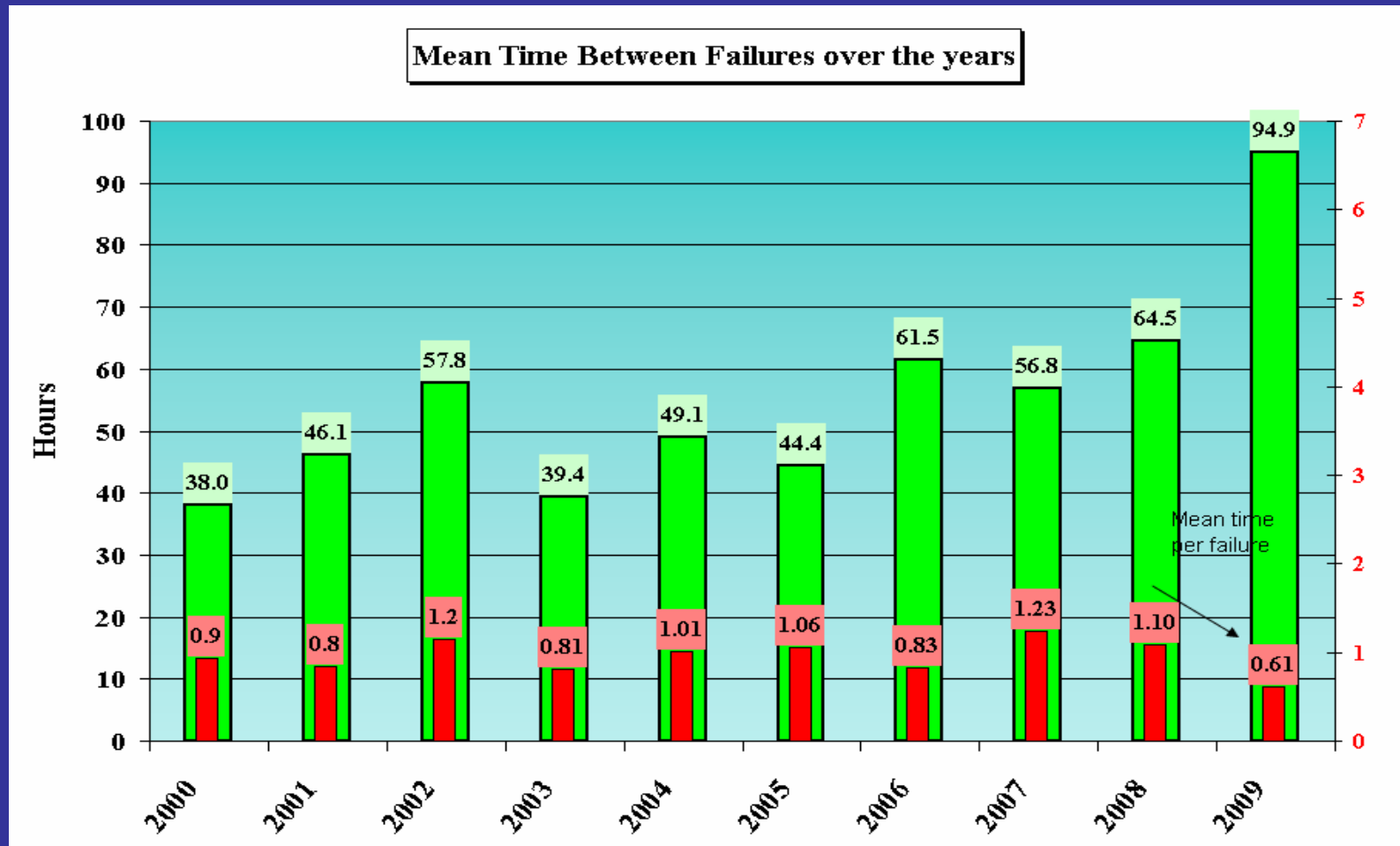
Ce filtre permet, par exemple, de retrouver TOUTES les informations enregistrées concernant le klystron N° 2 du système RF de l'anneau de stockage.

De même, toutes les procédures sont archivées dans une base de donnée et peuvent être retrouvées grâce à un filtre très performant.

5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

5.4.1 Diminuer le temps moyen d'une panne: conclusions

Le graphique ci-dessous illustre bien que le temps perdu du aux pannes s'est considérablement amélioré depuis 12 ans



5. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE

En conclusion de l'approche globale ...

Au quotidien, l'opérateur reste le premier maillon de la chaîne. Il est le premier face à l'événement, le constate, le décrit, l'archive et transmet à l'expert de l'équipement.

L'expert analyse s'il s'agit d'un cas probablement isolé ou non

Le cas échéant, l'expert a pour mission de mettre en œuvre des outils pour éviter la panne, diminuer sa fréquence, mettre en œuvre des outils, des procédures pour diminuer le temps de panne si elle survient encore.

Lorsqu'on veut un accélérateur fiable, on doit avoir une politique globale de fiabilité, de maintenance préventive, etc ... qui, en effet, peut se révéler couteuse.

Mais rappelons qu'une heure de perdue coute 14 000 euros !...

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

- INTRODUCTION
- Une TRÈS BRÈVE histoire des accélérateurs jusqu'à l'ESRF
- L'ESRF AUJOURD'HUI
- LES ACCÉLERATEURS DE L'ESRF
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE GLOBALE
- FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE
- CONCLUSIONS et REMERCIEMENTS

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

Objectif

Le chapitre précédent indiquait des exemples de tâches de fond (long – moyen terme) qui ont une influence sur l'opération des accélérateurs au quotidien, notamment en termes de fiabilité.



Cette partie se concentrera plus sur les outils de contrôle de la qualité du faisceau gérée au quotidien par la salle de contrôle.

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

Les différents modes de faisceau

Différents types d'utilisateurs → compromis quant au mode délivré

Les différents possibilités de structure de faisceau sont décidées tous les 6 mois.

Certaines expériences demandent:

- un mode intense et uniforme
- un mode intense avec un trou dans la structure (gap)
- un mode intense et structuré en temps
- un mode peu intense (pour avoir un bunch court) avec structure en temps.

Au quotidien, le premier rôle de l'opérateur est de remplir les accélérateurs 2 à 6 fois par jour dans un mode défini. C'est également le rôle de l'opérateur d'établir la procédure de remplissage, la tester et la rendre compréhensible pour les autres opérateurs. Certains modes sont assez complexes.

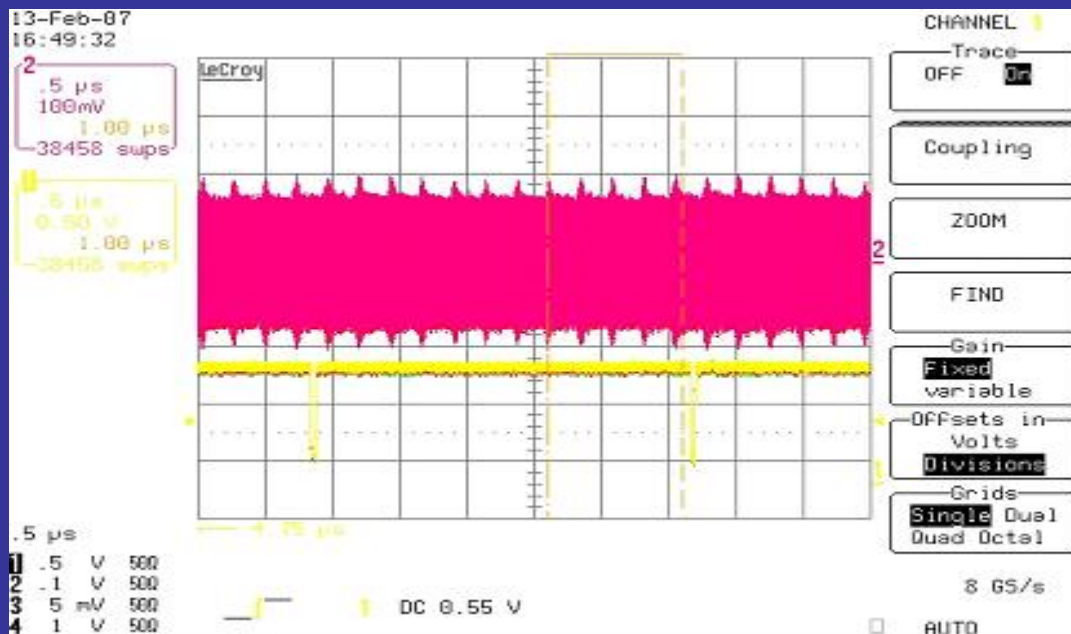
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.1: Les différents modes de faisceau: le mode uniforme

Rappelons qu'il y a 992 espaces disponibles dans l'anneau de stockage et qu'un système de timing performant permet d'y placer « l'intensité qu'on veut à l'endroit que l'on veut », ce qui offre une infinité de possibilités.

- **Le mode uniforme**

Il est le plus simple à décrire puisque dans ce cas, la totalité des buckets disponibles est occupée, soit 992 bunches. Il est délivré à 200 mA

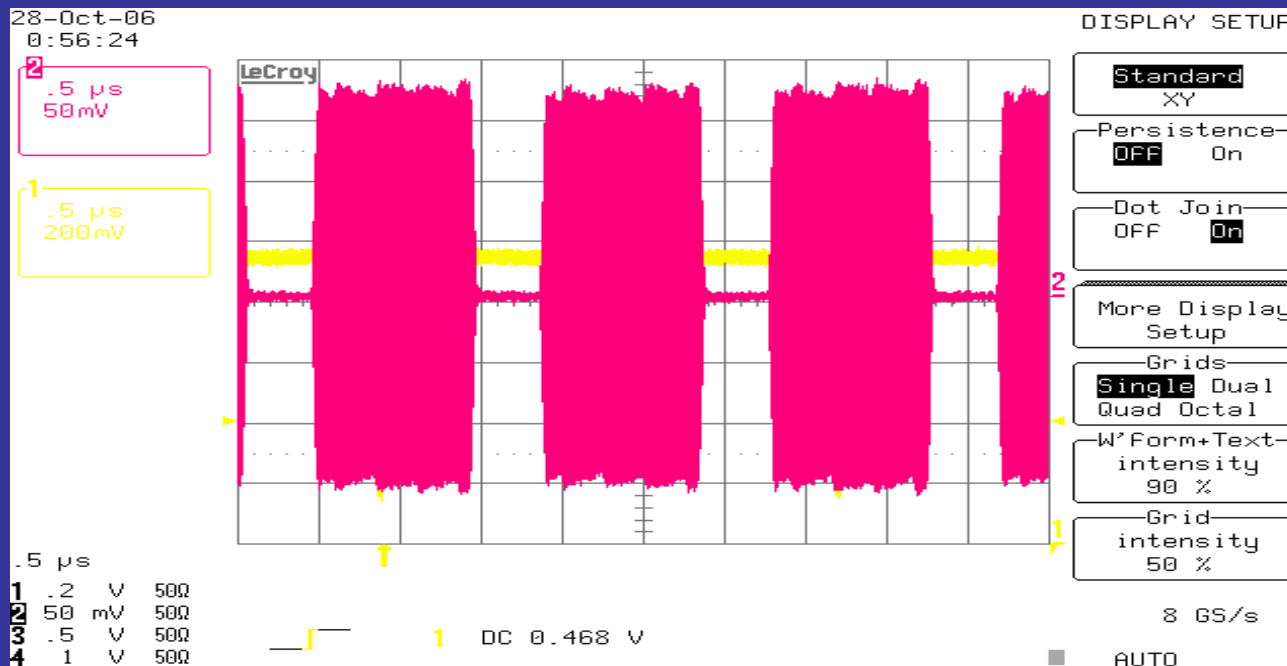


6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.2 Les différents modes de faisceau: le mode 2 * 1/3

- Le mode 2 * 1/3

2 * 1/3 de la circonférence sont remplis. Ils sont séparés par 2 gaps vides (1/6 de la circonférence). La présence de ces gaps élimine les ions piégés par le faisceau lorsque les conditions de vide ne sont pas parfaites (ce qui n'est pas le cas du mode uniforme).



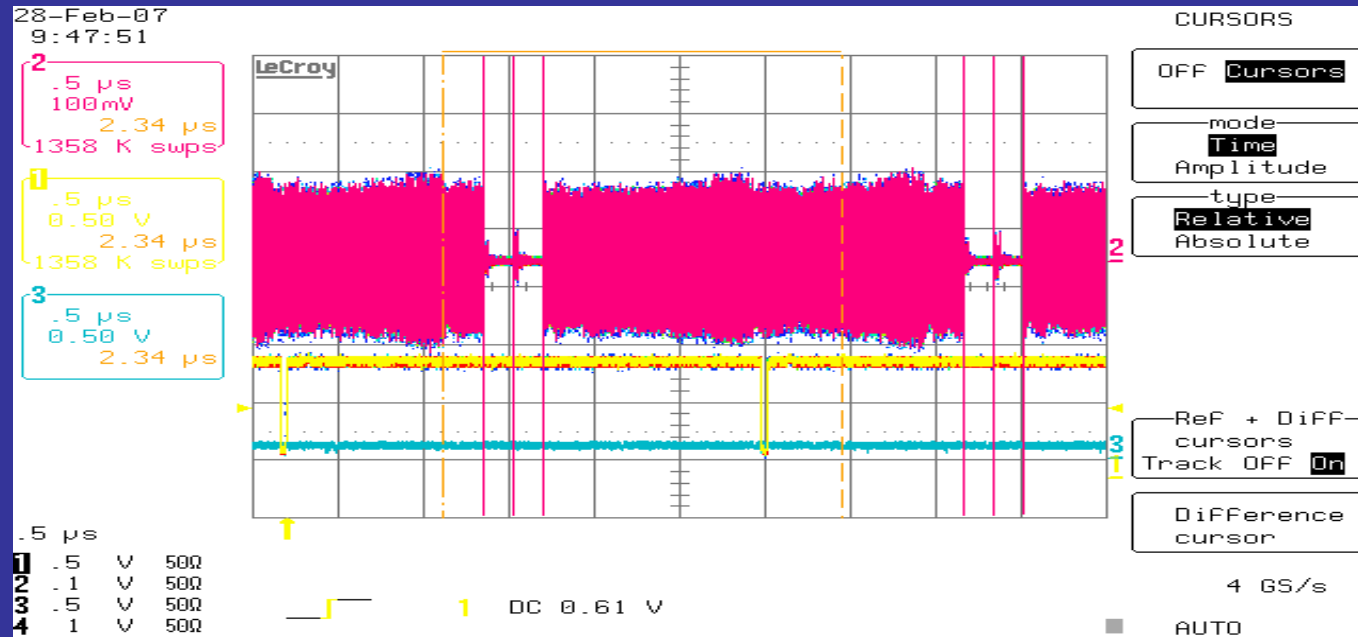
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.3 Les différents modes de faisceau: le mode 7/8 + 1

- Le mode 7/8 + 1

Structuré en temps et de haute intensité.

7/8 de la circonférence est remplie d'électrons (c'est-à-dire 868 bunches – donc 0.23 mA / bunch). Le gap de 1/8 est rempli avec un bunch de 2 mA. L'objectif est de satisfaire tant les utilisateurs ayant besoin d'une grande intensité que ceux ayant seulement besoin d'un single bunch.

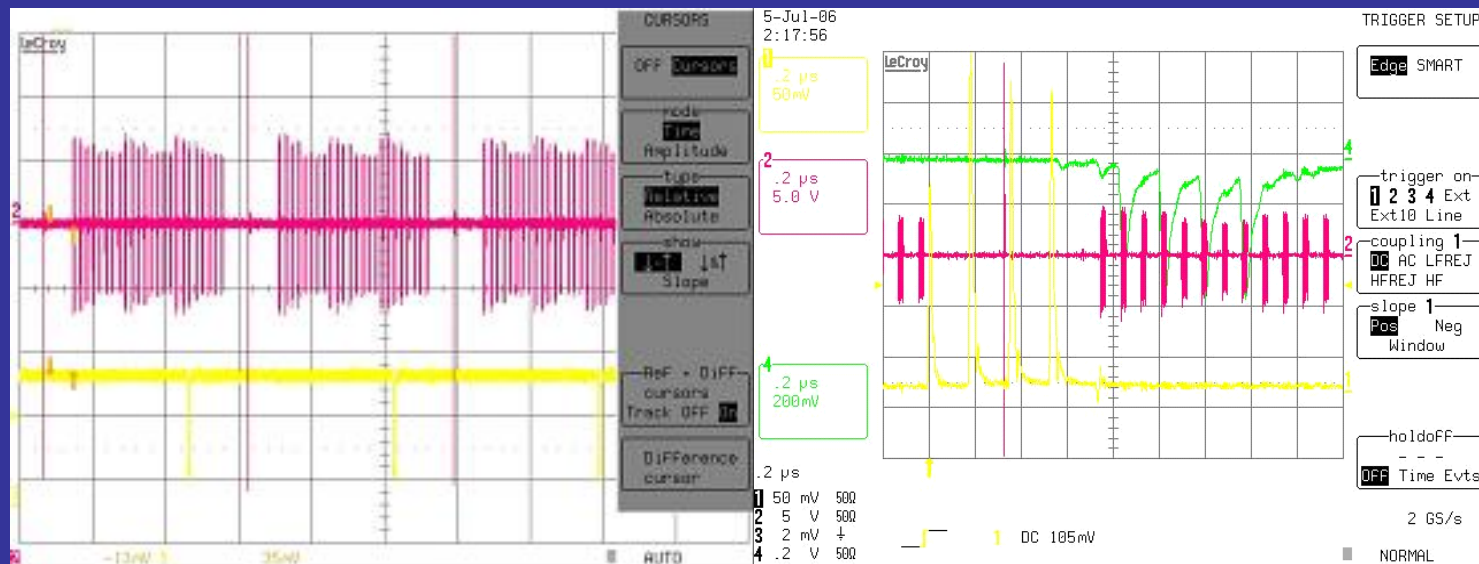


6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.4 Les différents modes de faisceau: le $24 * 8 + 1$

- **Le mode $24 * 8 + 1$**

Satisfait les utilisateurs ayant besoin d'intensité, ceux ayant besoin de structure en temps (24 paquets de 8 bunches) et ceux ayant seulement besoin d'un seul bunch. 24 paquets de 8 bunches sont répartis sur $\frac{3}{4}$ de la circonférence. Le quart restant est vide à l'exception d'un single bunch de 4 mA en son centre. L'intensité totale: 200 mA.

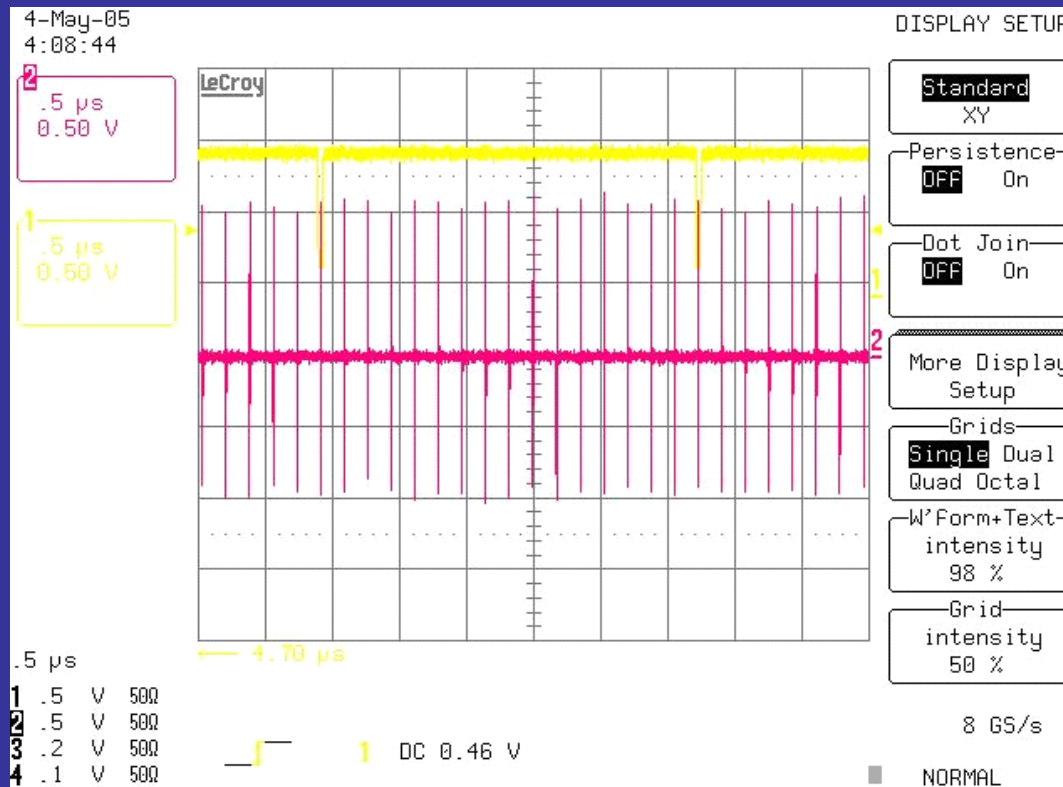


6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.5 Les différents modes de faisceau: le 16 bunch

- Le mode 16 bunch

16 bunches sont répartis de manière équidistante sur les 844 mètres avec une intensité de 5.6 mA / bunch, soit un courant total de 90 mA.

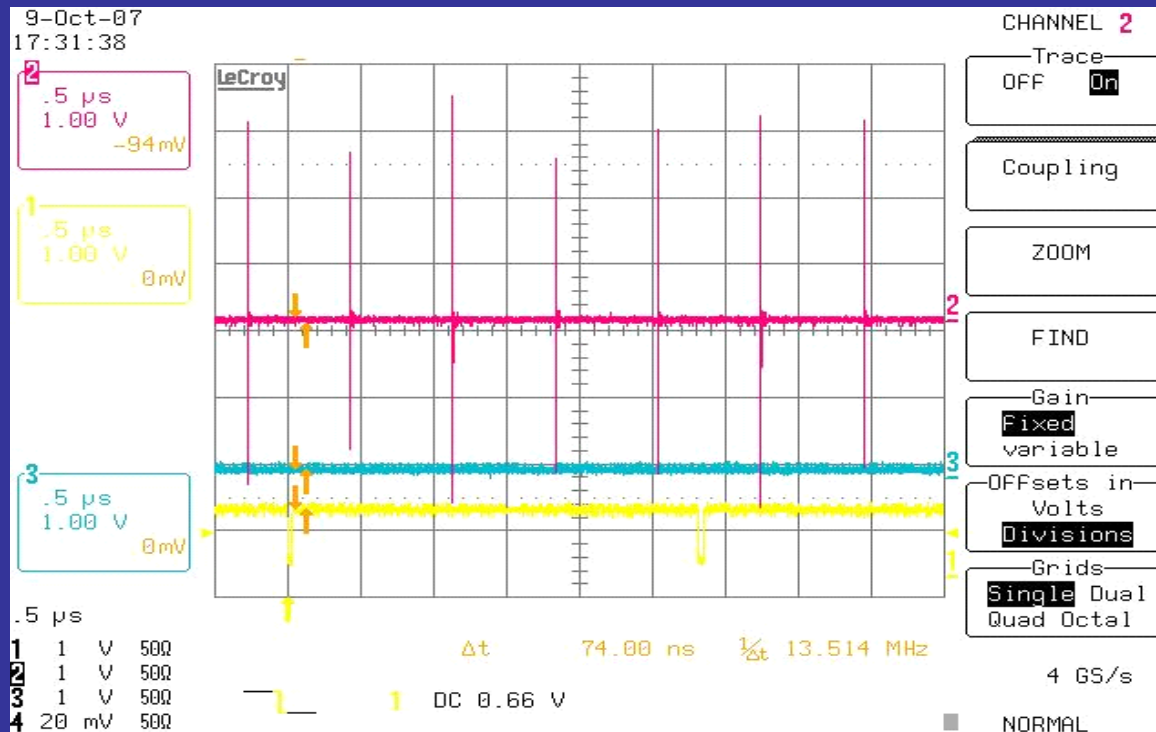


6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.6 Les différents modes de faisceau: le $4 * 10$ mA

- Le mode $4 * 10$ mA

4 bunches de 10 mA sont réparties uniformément sur la circonférence avec une intensité de 10 mA / bunch soit une intensité totale de 40 mA



6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.1.7 Les différents modes de faisceau: tableau des caractéristiques

		Uniform	2*1/3	24 *8	7/8 +1	16 bunch	4 Bunch
Repartition of modes in 2007		44%	0%	5%		24%	6%
Hours		2583	1319	275		934	385
Refill Current	<i>mA</i>	204	204	200	200	92	43
Number of refills	<i>per day</i>	2	2	2	2	4	6
Current Decay between refills	<i>mA</i>	25	35	60		40	20
Average current	<i>mA</i>	185	180	160		70	30
Current / bunch	<i>mA</i>	0.21	0.29	1.04	0.23	5.75	10.75
Lifetime at refill current	<i>Hours</i>	80	65	30 (18)	72	12 (6h30)	6 (3h30)
Time structure	<i>F0=355 kHz</i>	12 F0	2F0	32 F0		16 F0	4F0
Number of bunches		992	704	192	1	16	4
Cleaning				in SR	in SR	in SR	in SR
Purity		\	1.E-10	1.E-10	1.E-10	1.E-10	1.E-10
H emittance	<i>nm</i>	4	4	4.2		4.5	4.5
V emittance (without white noise)	<i>pm</i>	30-40	25	70 (20)		70 (30)	70 (30)
Energy Spread	<i>x10-3</i>	1	1	1	1	1.2	1.5
Bunch length	<i>ps</i>	20	20	25	20	50	60
Phase variation	<i>deg</i>	0	0	0	0	-5	-20
Average refill time	<i>mn</i>	2.5	2.5	13		5	8
Injector mode (number of pulses)		Long	Long	Short (4)	Short(1)	Short(5)	Short(2)
Injection rate	<i>Hz</i>	1	1	10	10	10	10

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.1 Les critères de qualité du faisceau: la pureté

Contôle de la pureté

Les modes structurés en temps nécessitent tous une étape supplémentaire: le 'cleaning'.

Pourquoi: certaines expériences nécessitent l'observation d'une 'décroissance' suite à l'excitation par un paquet principal. Des paquets parasites peuvent réexciter l'échantillon pendant la décroissance qu'on souhaite la moins perturbée possible.

L'objectif est de supprimer tous les électrons 'parasites' se trouvant dans les paquets adjacents au paquet principal

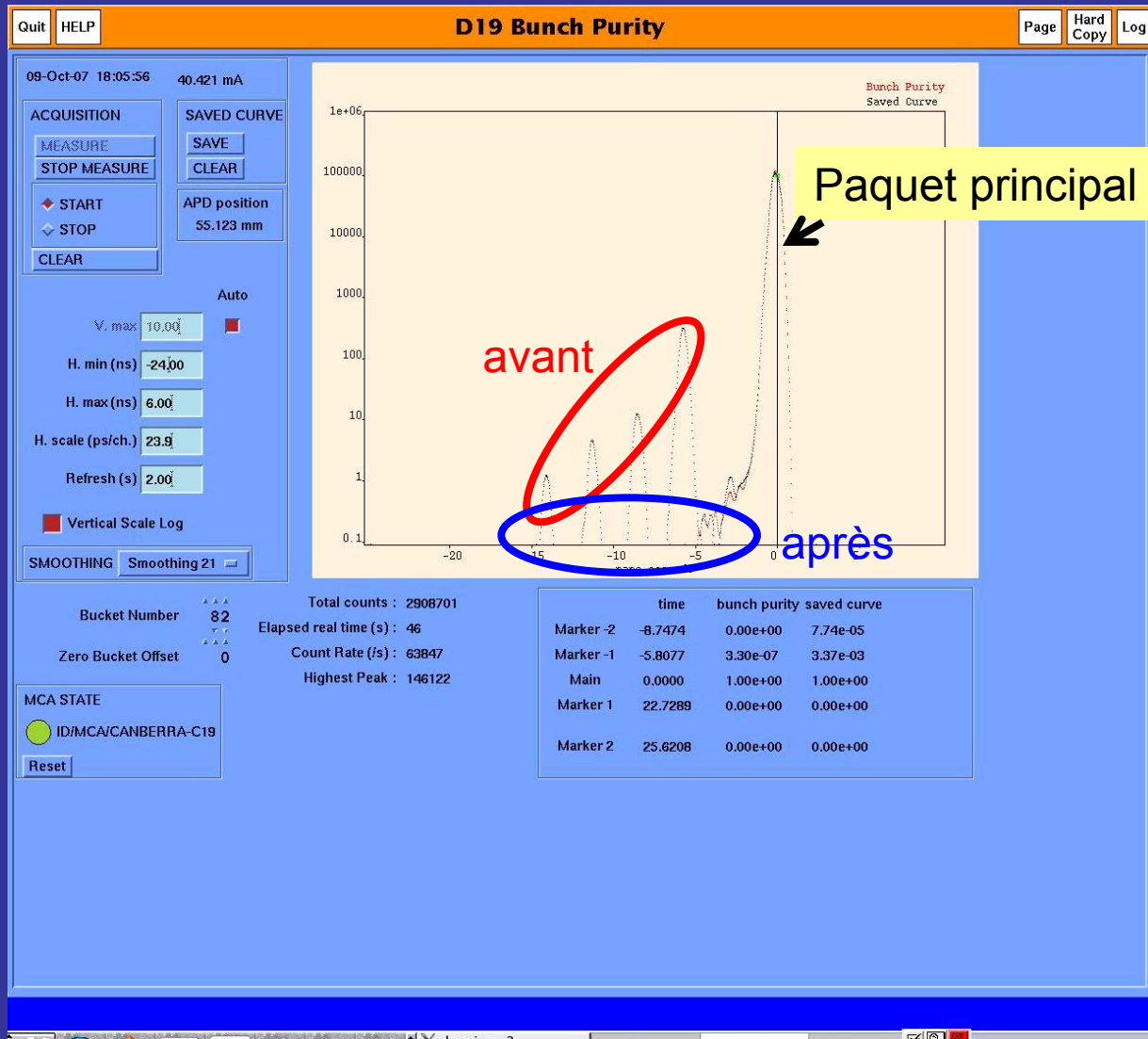
Méthode: le point de fonctionnement dépend de l'intensité.

Donc, un paquet 'parasite' peu intense, n'a pas le même point de fonctionnement que le paquet principal très intense.

On va donc exciter les paquets parasites a LEUR fréquences de résonance, faire grossir ces paquets et les raboter à l'aide de scrapers ! Le paquet principal ne ressentant pas cette fréquence de résonance puisqu'il n'a pas le même point de fonctionnement, va rester intact !

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

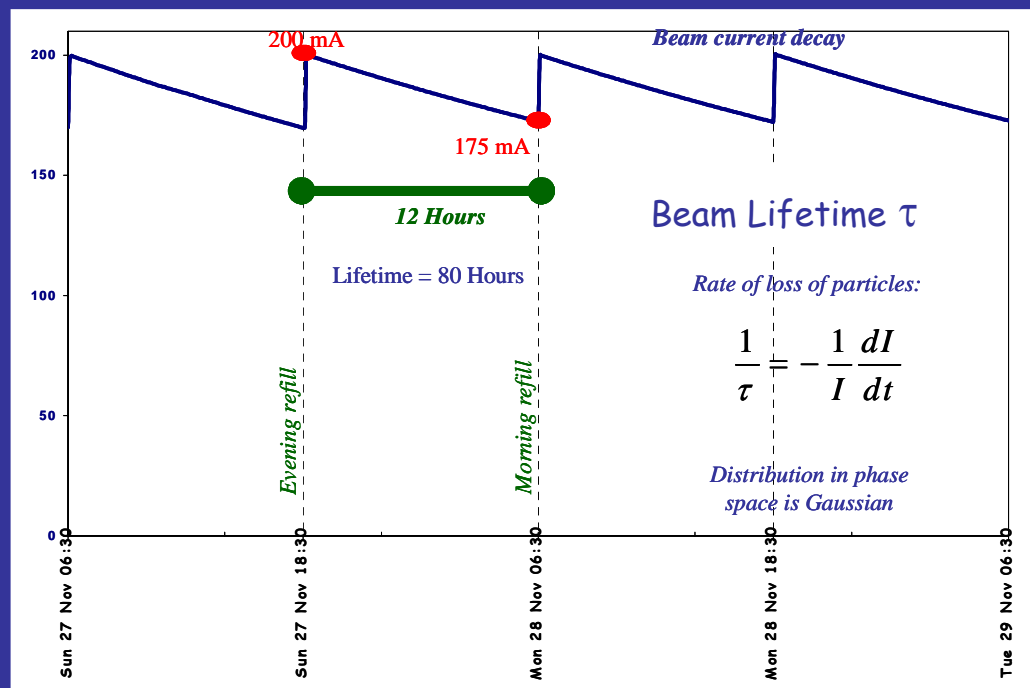
6.2.1 Les critères de qualité du faisceau: la pureté



6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

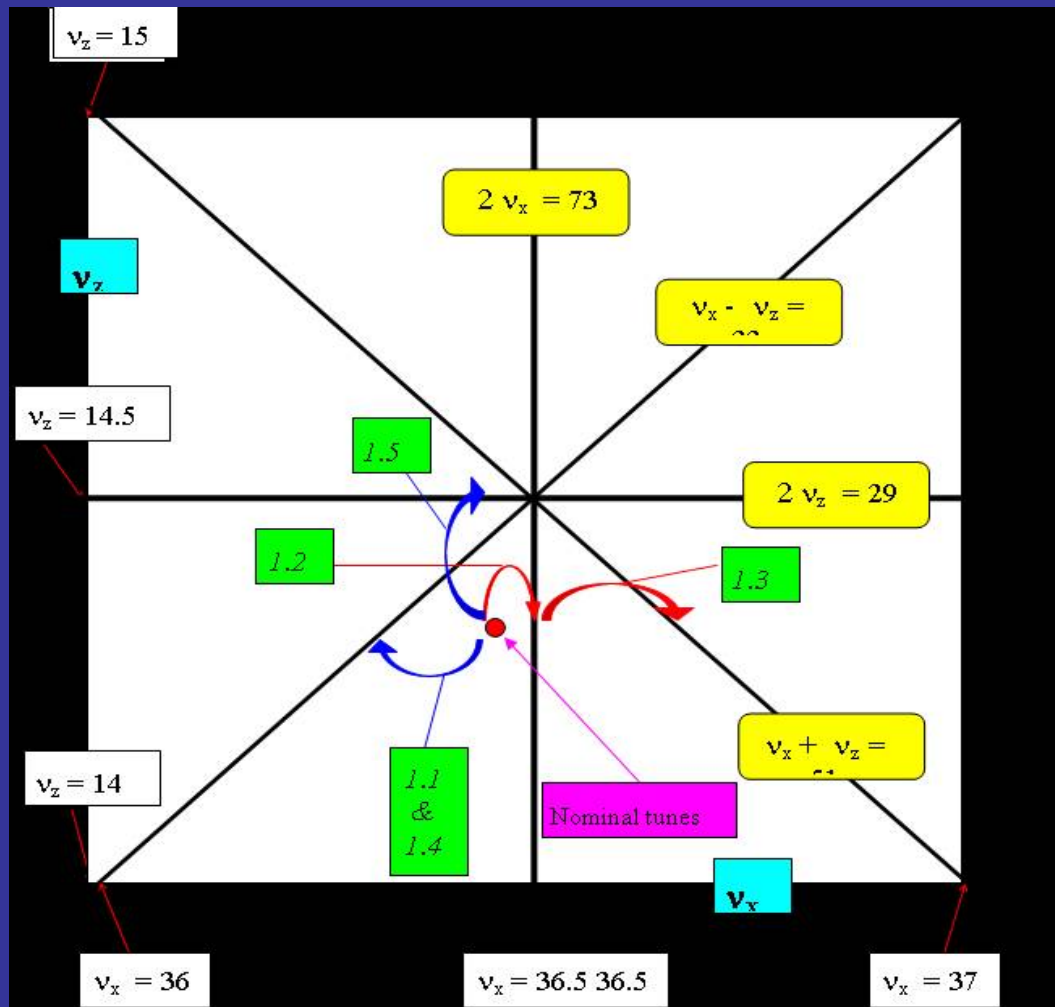
Les paramètres qui vont déterminer le temps de vie du faisceau feraient l'objet d'un cours de dynamique de faisceau, hors du cadre de ce cours. Nous ne citerons ici que les paramètres sur lesquels les opérateurs peuvent agir au quotidien.



6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

- Les corrections de résonance:



• Chaque semaine, lorsqu'un mode est testé avant d'être livré la semaine suivante aux utilisateurs, une correction de résonance est effectuée.

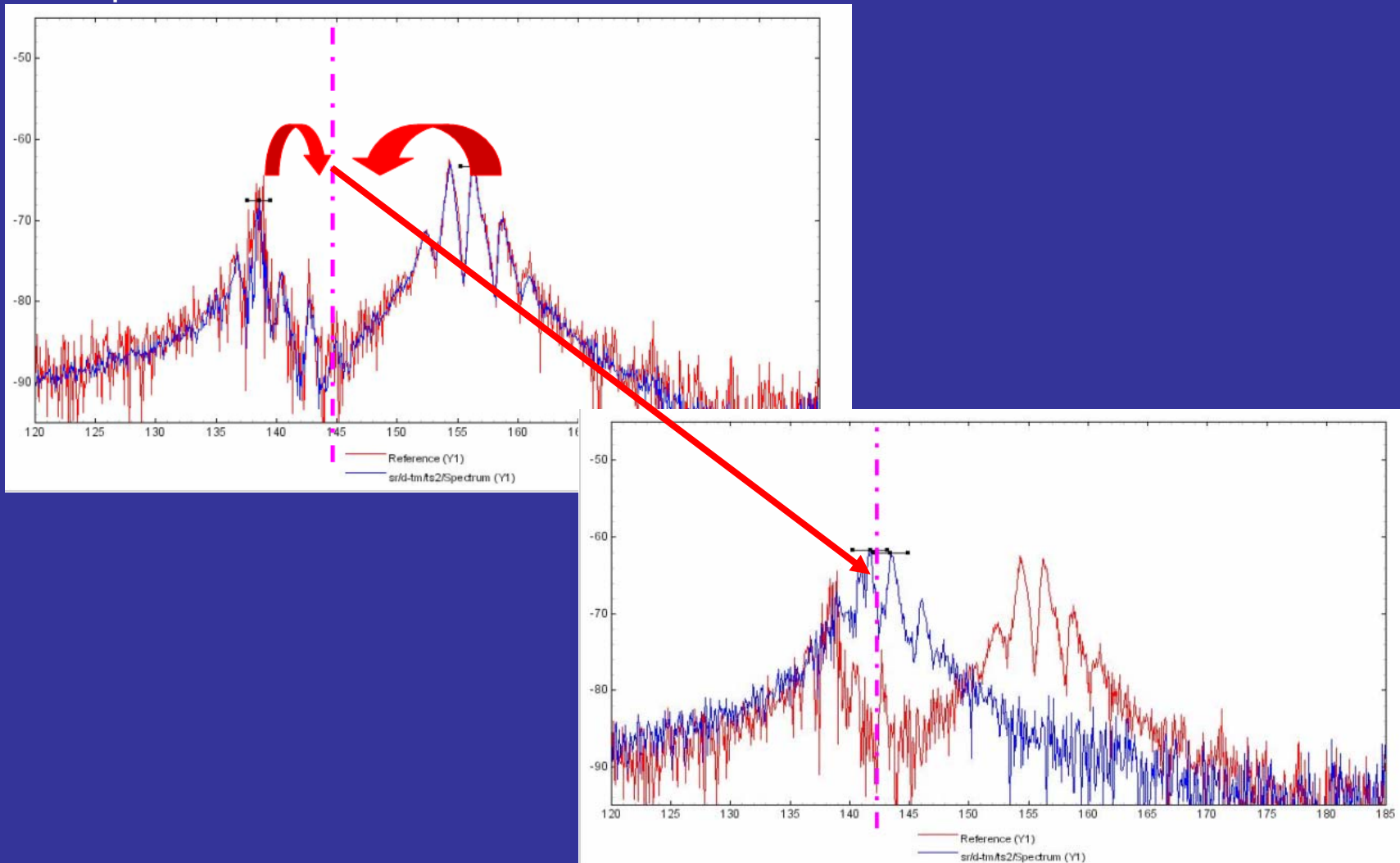
• La correction consiste à approcher volontairement les tunes du faisceau près de ces lignes de résonance et même, sur les résonances afin de trouver le réglage des correcteurs qui vont permettre au faisceau de survivre près de ces lignes.

• **La qualité de cette correction influencera le temps de vie, la vitesse d'injection, la saturation de l'injection du faisceau à des intensités élevées et les tailles de faisceau (les émittances).**

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

Exemple de correction de résonance



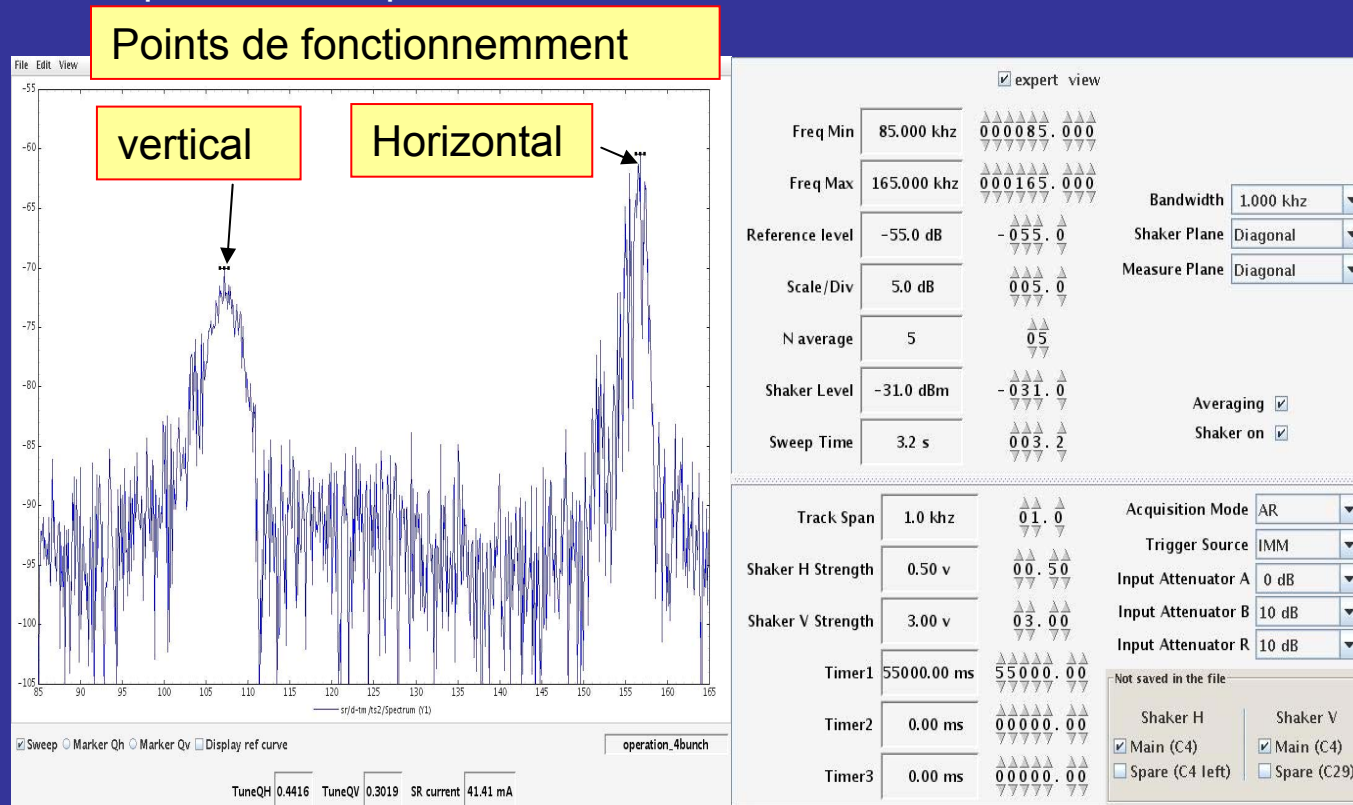
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

- Le point de fonctionnement:

L'opérateur doit vérifier qu'il n'y pas de dérive anormale du point de fonctionnement.

Conséquences: temps de vie, taille faisceau.



6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

- Le vide dans l'anneau de stockage:

L'opérateur est rapidement alerté de la moindre anomalie du niveau de vide à n'importe lequel des 224 endroits où se trouve une jauge.

Le niveau de vide dans l'anneau de stockage a une incidence directe sur le temps de vie du faisceau.

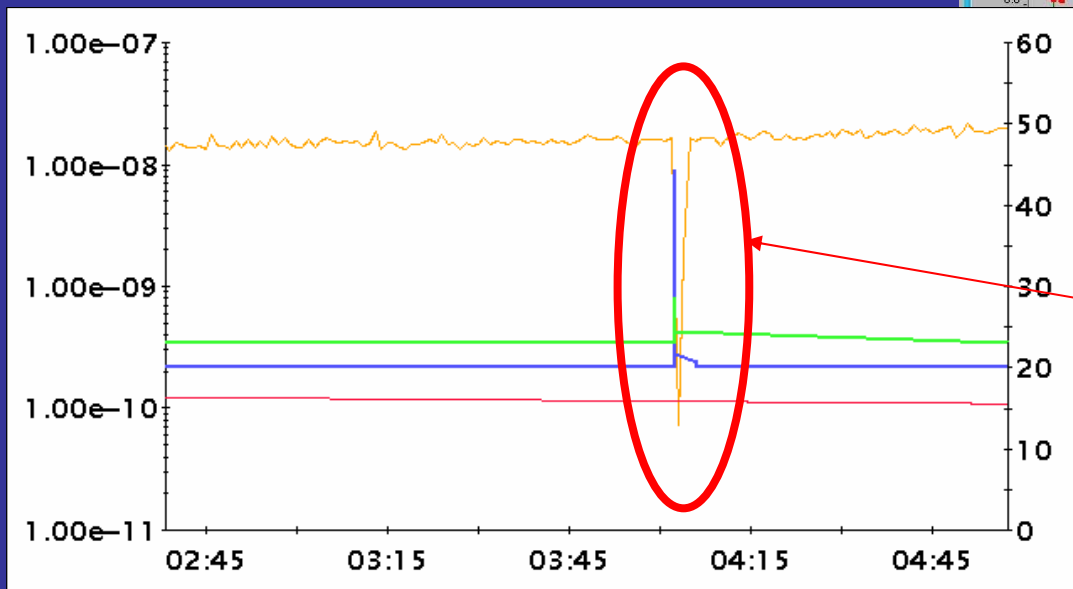
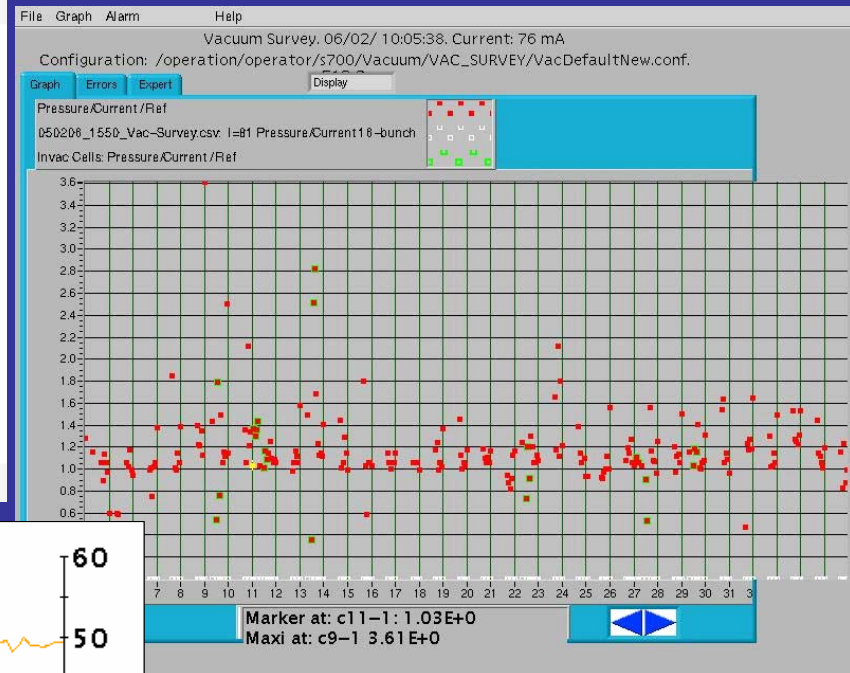
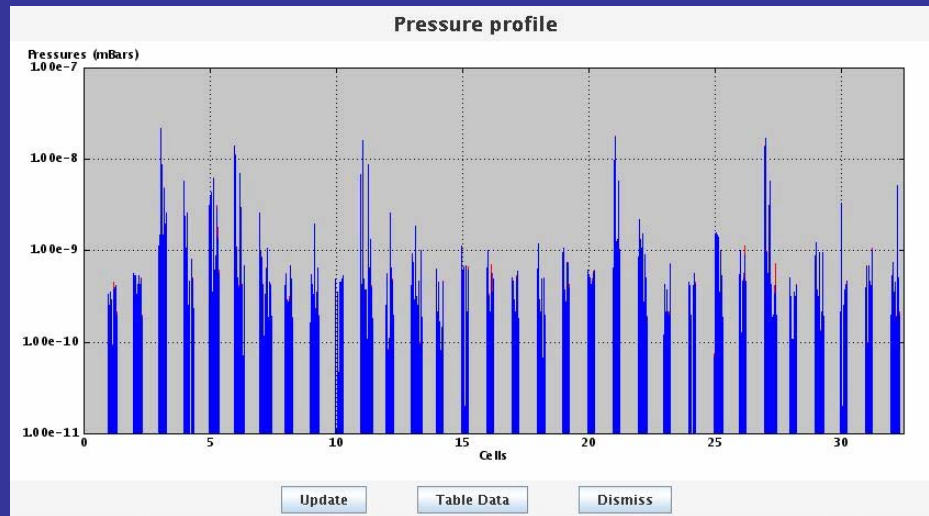
Dans des conditions nominales, un accident de temps de vie ou une dégradation lente pourraient indiquer les prémices d'une fuite de vide.

Plusieurs outils existent pour détecter un endroit éventuel où le vide pourrait se détériorer :

Une lecture directe des jauges de vide avec une mémorisation des points les plus hauts depuis X minutes dans un but de comparaison :

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie



Accident de durée de vie
corrélée à une remontée de
pression.

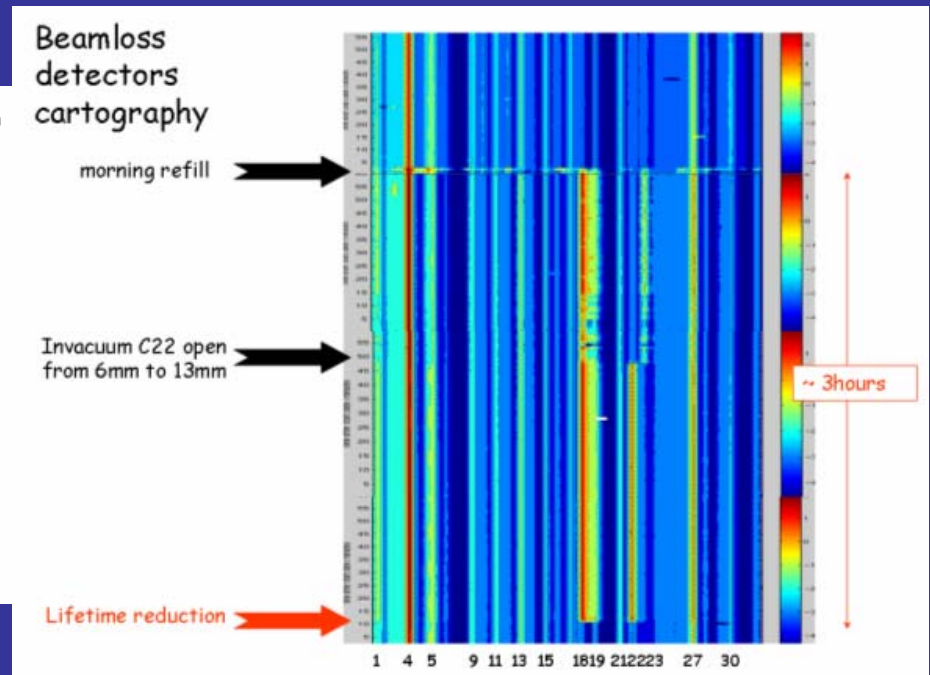
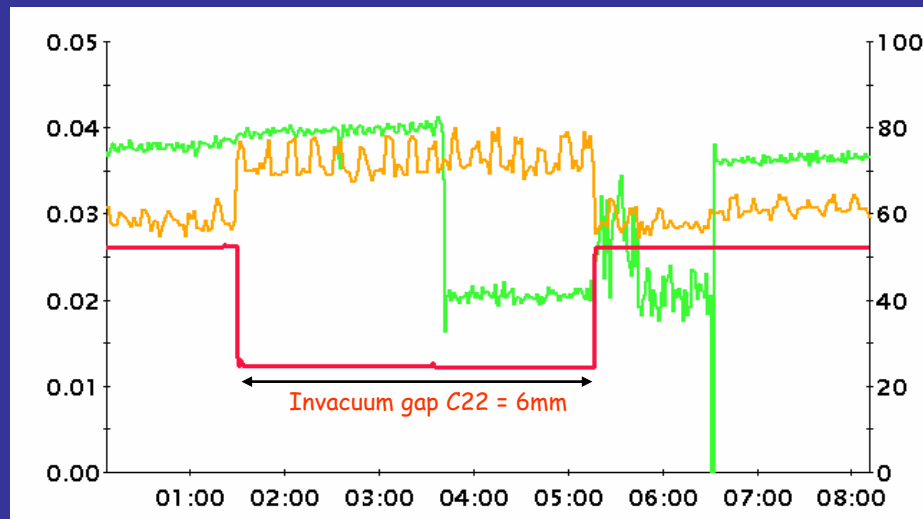
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: le temps de vie

- Les mouvements de gap des éléments d'insertion:

Entres autres causes possibles, une chute de durée de vie peut être due à un problème de champ magnétique d'une machoire d'un des 70 éléments d'insertion installés.

L 'opérateur devra essayer de corrélér un accident de temps de vie à un mouvement de gap afin de signaler aux experts une dégradation possible de l'élément d'insertion.

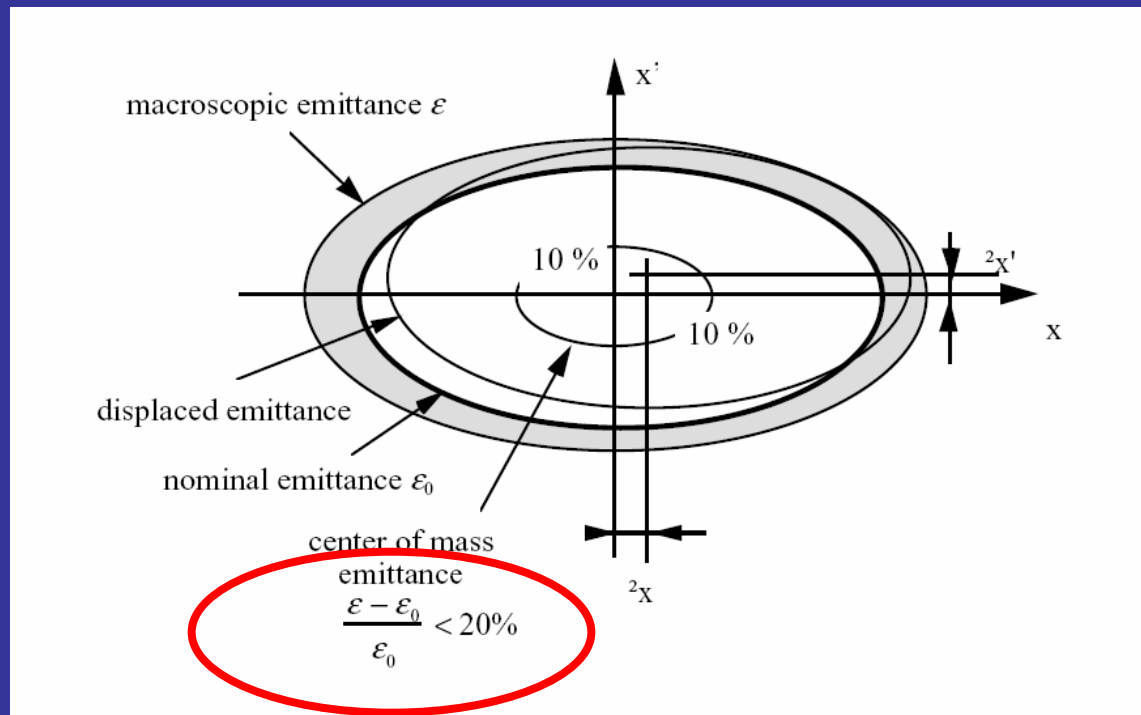


6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

Aussi critique que la fiabilité du faisceau est la stabilité du faisceau

L'opérateur dispose d'outils pour monitorer ce paramètre à tout endroit de l'anneau



Il est convenu que le grossissement en émittance ne devait pas dépasser 20 %: on tolère 10 % de variation par rapport à la position du faisceau et 10 % par rapport à sa divergence.

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

Connaissant les fonctions β aux différents points sources de l'anneau de stockage et l'émittance mesurée, on en déduit aisément les tailles de faisceau à ces endroits et donc, la tolérance acceptée.

Le tableau suivant résume les tolérances pour les sections high β , low β et pour chaque plan :

	<i>Horizontal</i>		<i>Vertical</i>
Emittances	4 nm		30 pm
β function	2.5	35	2.5
Beam size	45 μm	380 μm	9 μm
Required stability	4.5 μm	38 μm	0.9 μm

Ces critères sont-ils respectés ?

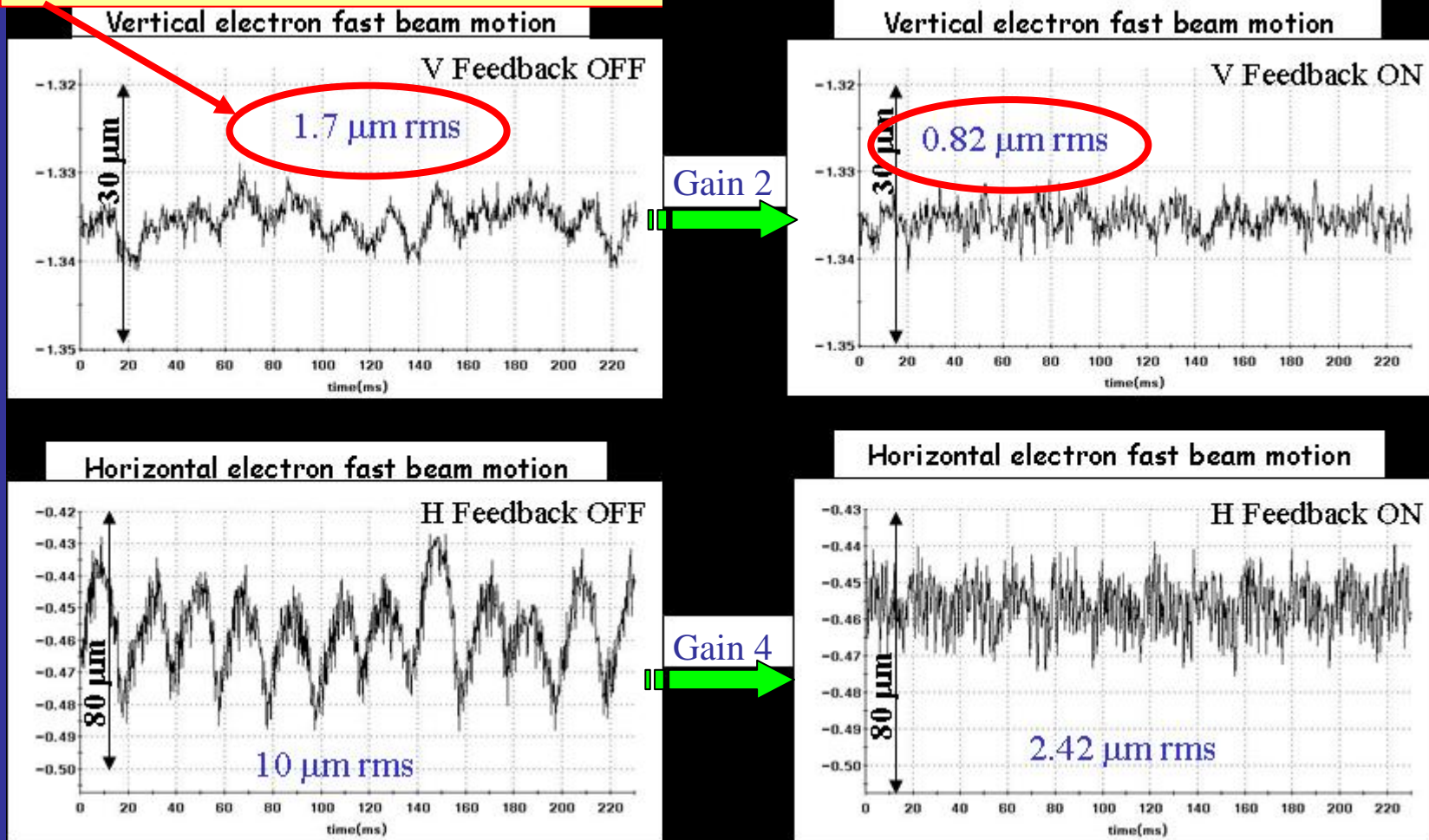
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

- Stabilité court terme (inférieure à la seconde)

SANS feedback, le critère n'est pas respecté en Vertical!

AVEC feedback, le critère est respecté de justesse ($< 0.9 \mu\text{m rms}$)



6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

Le feedback agit dans chaque plan:
le critère de stabilité est très largement respecté dans le plan horizontal et à la limite dans le plan vertical...

Ce feedback est constitué de 32 BPMs, 24 correcteurs corrigeant la position à une fréquence de 4.4 kHz ! Ce, sur une bande en fréquence allant de 0 à 150 Hz.

Dans le plan vertical, le feedback permet de gagner un facteur 2.
Dans le plan horizontal, le feedback permet de gagner un facteur 4.

Au quotidien, l'opérateur vérifie ces critères et, en cas de non-respect des critères, a les moyens de détecter si la cause provient d'un capteur fautif ou d'un correcteur fautif.

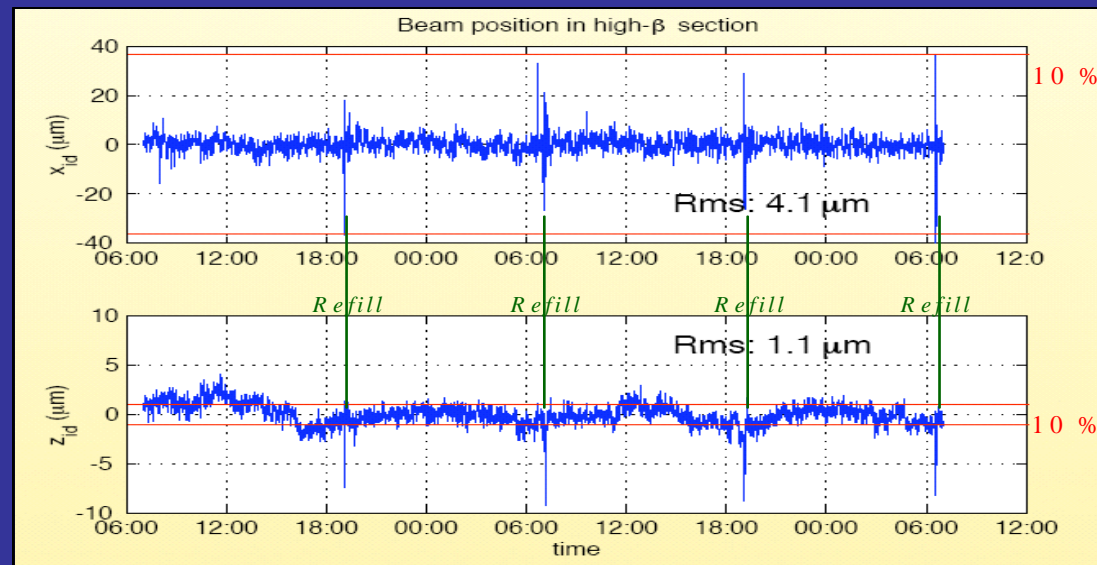
6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

- Stabilité moyen terme (l'heure)

Stabilité du faisceau: essentiellement affectée par la variation de charge thermique due au changement d'intensité du faisceau pendant sa décroissance.

Les chambres à vide subissent des contraintes thermiques et déplacent d'autant les quadrupôles.



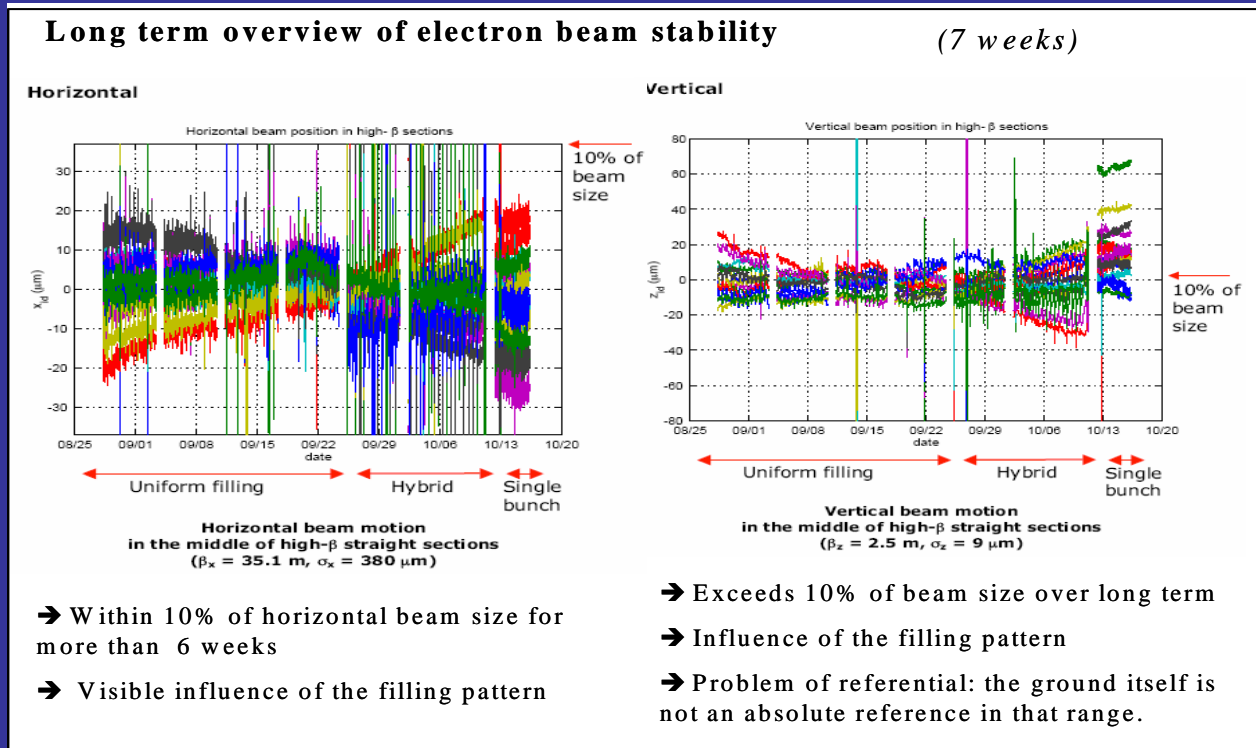
Sur une durée de 2 jours, le critère est à nouveau largement respecté dans le plan horizontal et limite dans le plan vertical.

Pour corriger ces dérives, une correction automatique est appliquée toutes les 30 secondes (méthode SVD).

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

- Stabilité long terme (jours - semaines)



Critère respecté dans le plan horizontal mais plus dans le plan vertical.
De plus, cela dépend essentiellement du mode de remplissage

6. FONCTIONNEMENT AU JOUR LE JOUR: APPROCHE QUOTIDIENNE

6.2.2 Les critères de qualité du faisceau: la stabilité du faisceau

Tableau résumé:

	<i>Horizontal</i>	<i>Vertical</i>
10% Beam size	38 μm	0.9 μm
<i>One week</i>	11 μm	8 μm
<i>One day</i>	5 μm	2 μm
<i>One hour</i>	5 μm	2 μm
<i>One minute</i>	5 μm	2 μm
<i>One second</i>	2 μm	1 μm

Les dérives en position sont dominées par des mouvements très lents.

CONCLUSIONS:

- L'opération des accélérateurs au quotidien ne se définit pas de manière intrinsèque
- Elle est la conséquence de contraintes imposées par l'excellence de la recherche effectuée sur les accélérateurs.
- De ces contraintes, découleront un cadre de travail pour l'opération au quotidien
- L'objectif a également été de montrer que l'opération au quotidien n'est viable que si des tâches de fond – long terme – sont entreprises sans cesse pour améliorer la fiabilité des accélérateurs et les outils de diagnostic qui permettront d'anticiper les pannes au plus tôt.

