

Les Journées des Accélérateurs

Roscoff, 5 Octobre 2015

Un nouvel anneau de stockage basse émittance pour l'ESRF

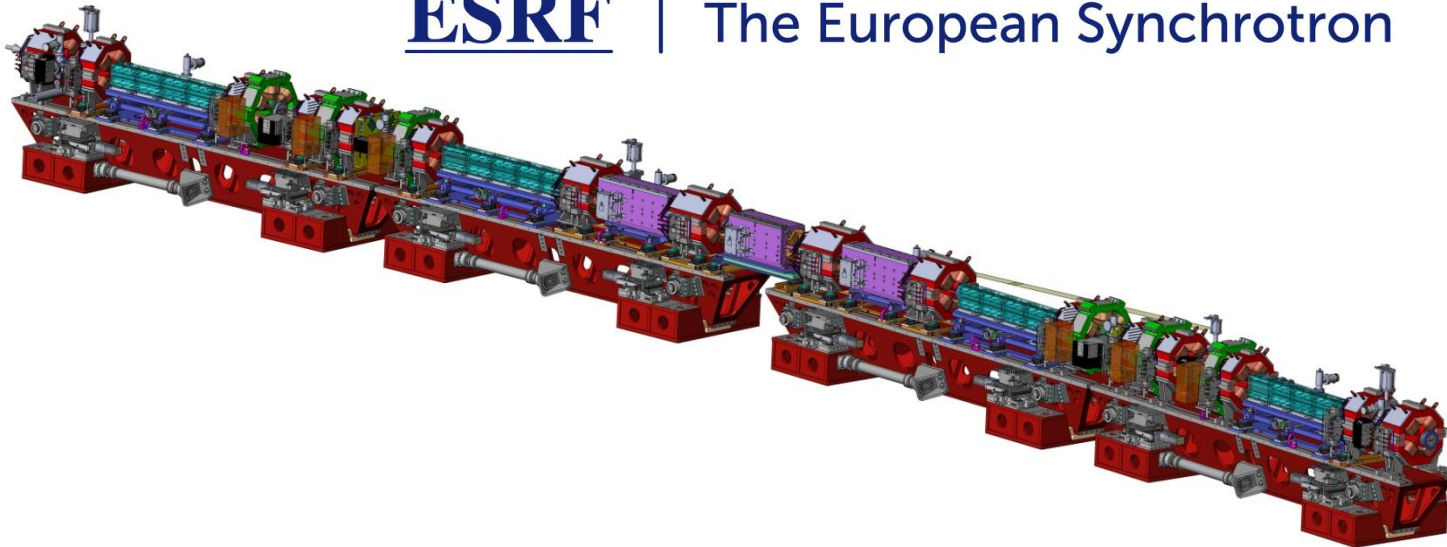
S. White

Au nom de l'équipe du programme ESRF-EBS



ESRF

| The European Synchrotron



Objectifs

Performances,
contraintes

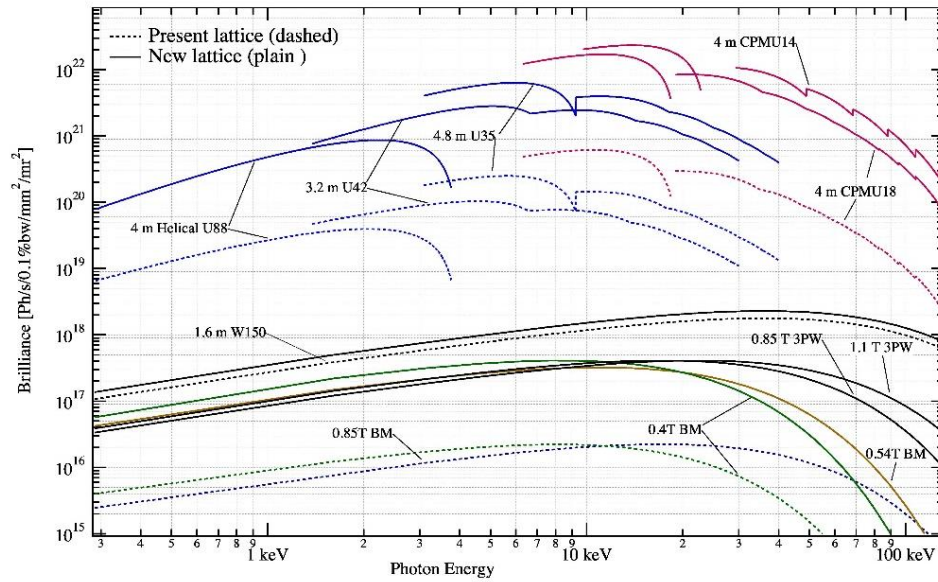
Dynamique faisceau

Optique, durée de vie, injection,
effets collectifs

Conception technique

Aimants, radio-fréquence,
chambres à vide et support

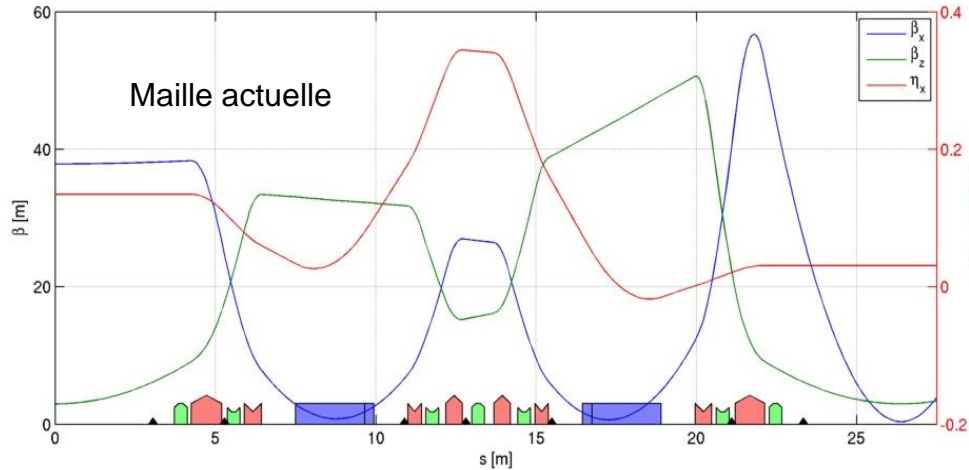
Résumé



- Le programme ESRF-EBS (*Extremely Brilliant Source*) a pour but:
 - Fortement réduire l'émittance d'équilibre horizontale
 - Augmenter la brillance et la cohérence de la machine

	ESRF	upgrade
Hor. Emittance [pmrad]	4000	134
Vert. Emittance [pmrad]	3	2
Energy spread [%]	0.1	0.09
β_x [m]/ β_z [m]	37/3	6.9/2.6

- Principales contraintes liées aux performances de la machine actuelle et aux lignes de lumière:
 - Conserver les lignes de lumière actuellement en opération dans les sections droites et dans les dipôles
 - Conserver la structure temporelle des paquets et un courant total de 200mA
 - Réutiliser le complexe d'injecteurs actuellement en opération ainsi que le tunnel de l'anneau de stockage actuel
 - Limiter la durée d'installation et de mise en service à 19.5 mois



• Principales propriétés:

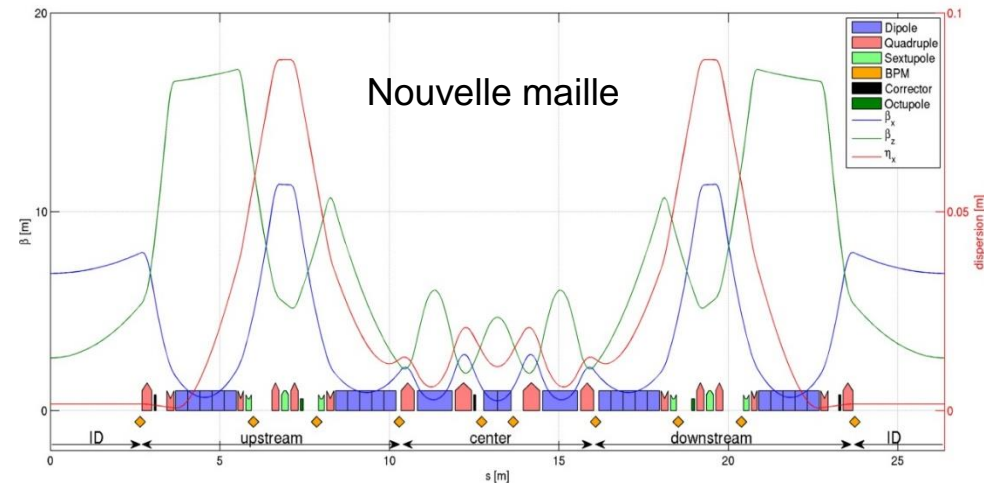
- 2 zones de dispersion élevée: corrections de chromaticité plus efficaces
- $\Delta\phi \sim \pi$ entre les sextupôles chromatiques: compensation partielle des résonances sextupôlaires
- Gradient longitudinal dans les dipôles: réduction de l'émittance

• Maille actuelle:

- 16 super-périodes (32 cellules au total)
- 2 dipôles par cellule
- Emittance $\varepsilon_x \sim 4\text{nm}$

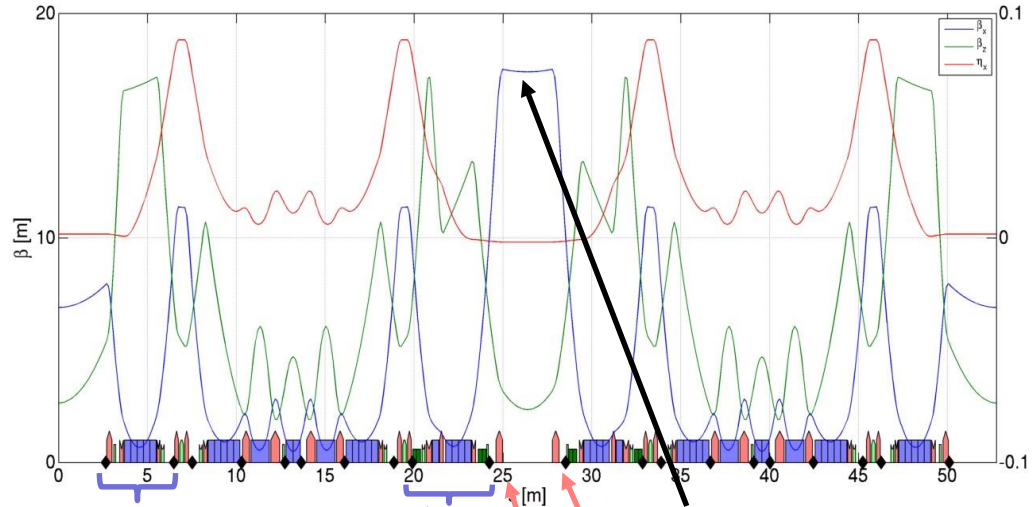
• Nouvelle maille:

- 32 super-périodes
- 7 dipôles par cellule
- Emittance $\varepsilon_x \sim 135\text{pm}$



CELLULE D'INJECTION

$v_x = 4.763$ $\delta p/p = 0.000$
 $v_z = 1.709$ 1 period, C= 52.749



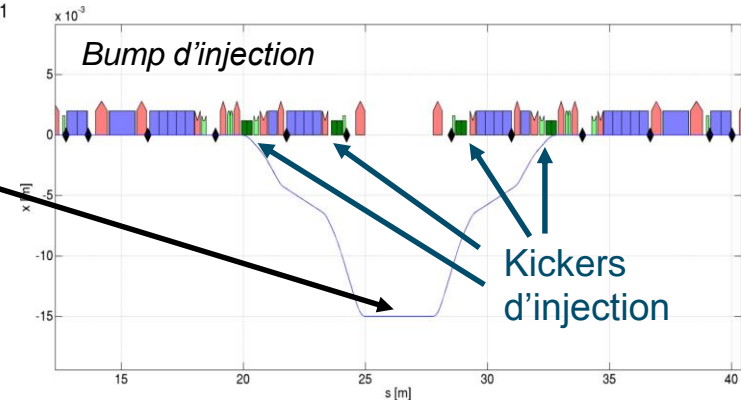
Dipôles de la cellule standard

Dipôles de la cellule d'injection

QF1s: distance détermine β d'injection

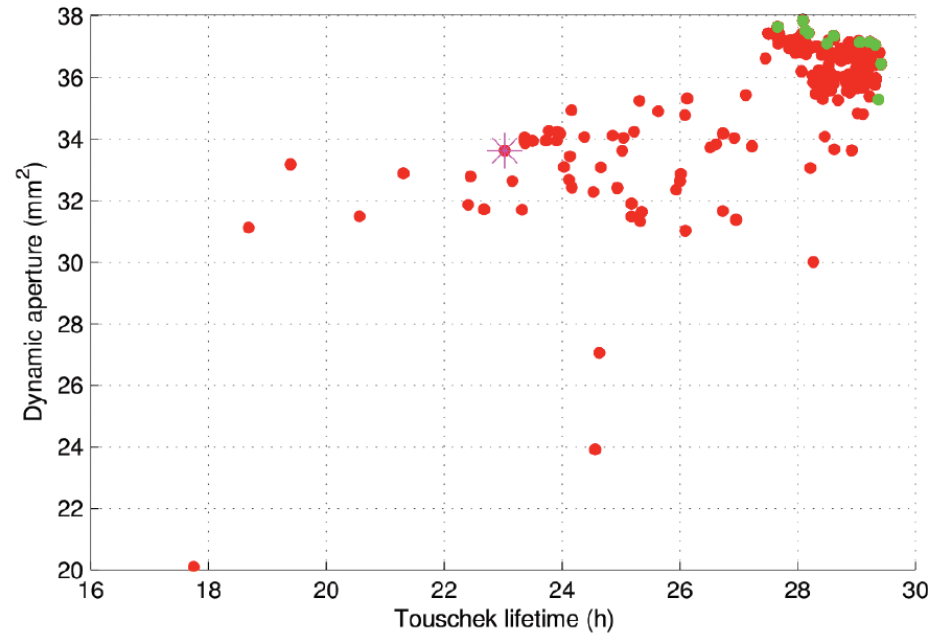
Point d'injection

- Fonction β au point d'injection augmentée à 17.4 m afin d'améliorer l'efficacité d'injection: cellule sensiblement modifiée autour de la section droite, symétrie non conservée
- Avance de phase et fonctions β aux sextupôles constantes + optimisation non-linéaire: impact sur la durée de vie limitée



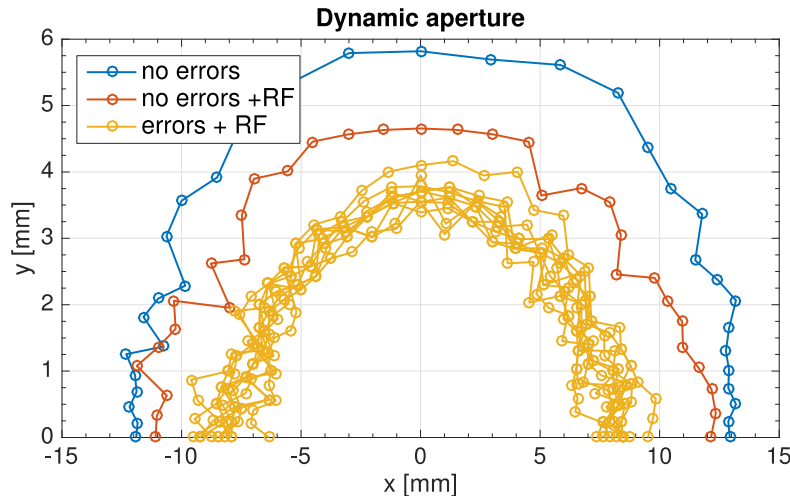
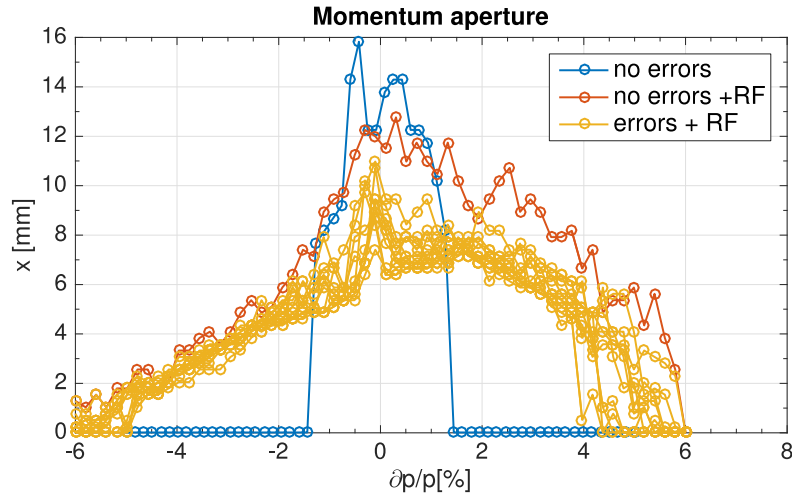
OPTIMISATIONS NON LINÉAIRE

Energy [GeV]	6
Circumference [m]	843.978
Natural emittance [pm]	134
Damping time (H/V/L) [ms]	8.5/13/8.6
$E_{\text{loss}}/\text{turn}$ [MeV]	2.61
Momentum compaction	$0.84 \cdot 10^{-4}$
Tunes (H/V)	76.21/27.34
Natural chromaticity (H/V)	-109/-82
Operation chroma. (H/V)	6/4
Oper. Emittance (H/V) [pm]	110/5
Lifetime multibunch [h]	19
Lifetime 16bunch [h]	1.8
Lifetime 4bunch [h]	1.2



- L'optimisation non-linéaire réalisée grâce à l'algorithme génétique multi-objectif NGSА-II
- Les objectifs sont la durée de vie et l'ouverture dynamique

OUVERTURE DYNAMIQUE

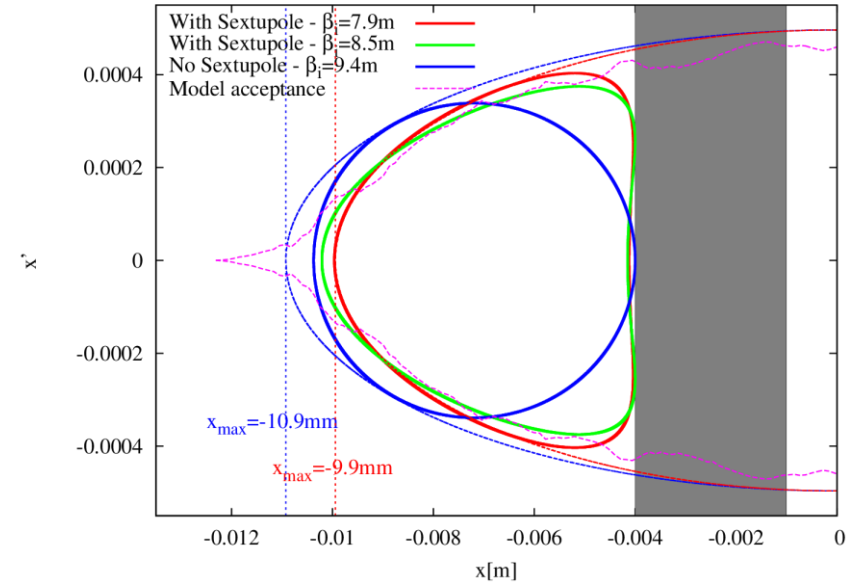
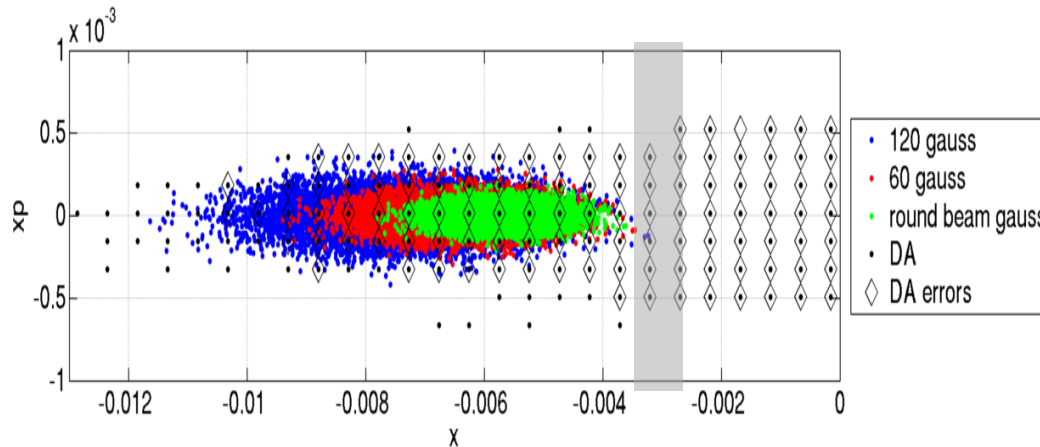


- Tracking 6-D sur 512 tours
- Ouverture dynamique calculée à la position du septum (point d'injection, $\beta_x=17.4$ m)
- La différence entre le tracking 4-D and 6-D provient de l'allongement de la trajectoire avec l'amplitude
- Moyenne sur 10 graines incluant toutes les erreurs connues:
 - Position des girders,
 - Alignement des aimants
 - Erreurs de champ
- **Ouverture dynamique du côté de l'injection:**
 - **$x = -8.2 \pm 0.4$ mm**

EFFICACITÉ D'INJECTION

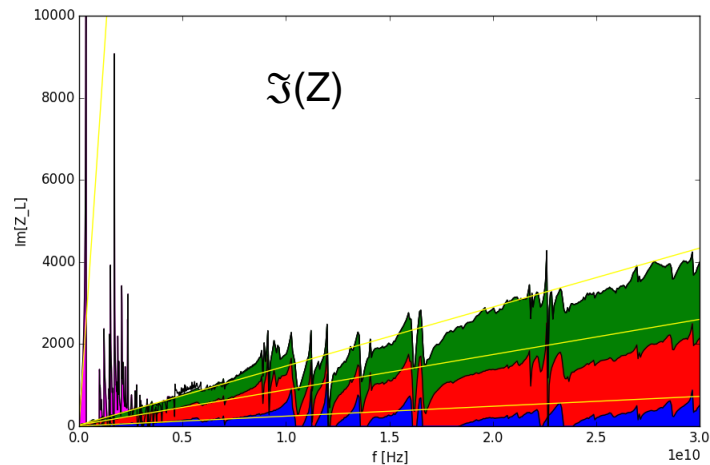
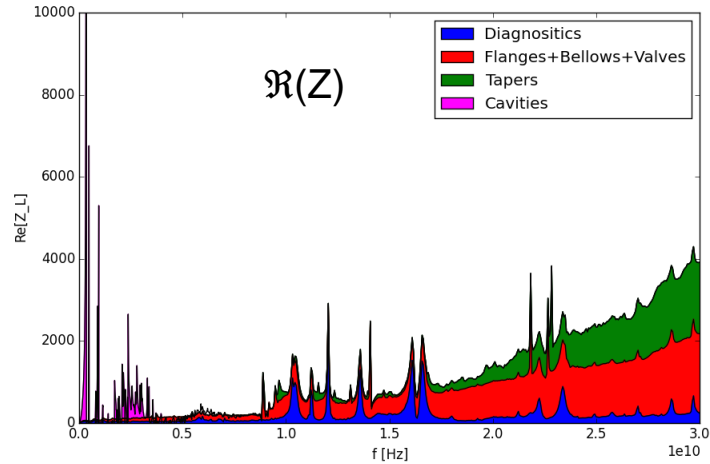
- Efficacité d'injection optimisée grâce à une réduction de l'émittance horizontale en sortie des injecteur:
 - **Booster hors-énergie: facteur ~2**
 - **Couplage H/V (booster sur la résonance): facteur ~2**

emittances H/V [μm]	120/5 *	60/5 *	30/30*
injected beam offset [mm]	6.9	6.0	5.3
optimum β [m]	8.0	7.4	6.7
efficiency without scraper	62%	84%	94%
efficiency with scraper	46%	72%	90%



- Après optimisation des injecteurs une efficacité de 100% n'est pas atteinte:
 - **Optimisation de l'espace des phase du faisceau injecté**
 - **Augmentation de β_x au point d'injection**

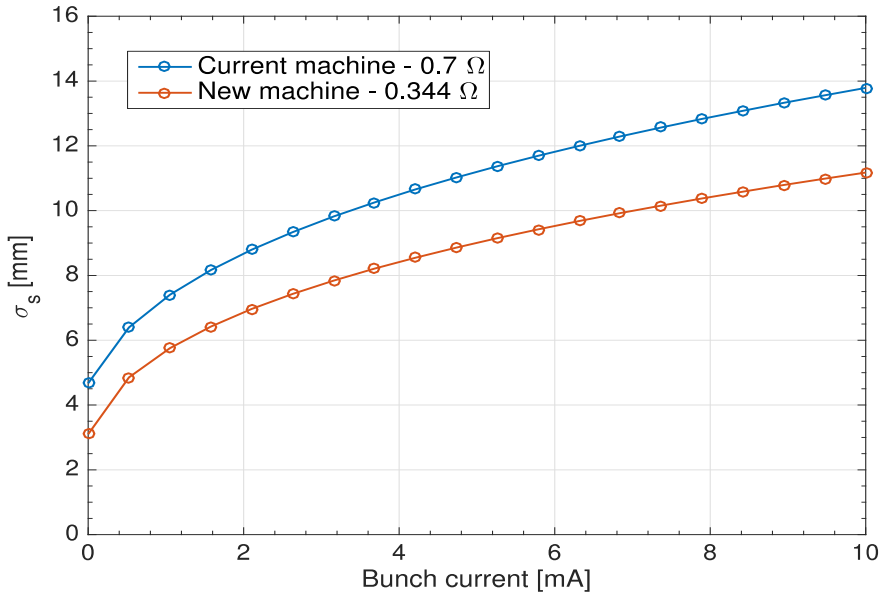
IMPÉDANCE LONGITUDINALE



- Une attention particulière a été portée à la minimisation de l'impédance des soufflets et des brides
- Le modèle comprend à ce jour:
 - Diagnostiques: BPM, transformateur de courant
 - Transitions entre les chambres
 - Cavités
 - Impédance des chambre à vide (resistive wall)
- Le modèle prédit a ce jour une impédance longitudinale deux fois plus faible que celle mesurée dans la machine actuelle (0.7Ω)

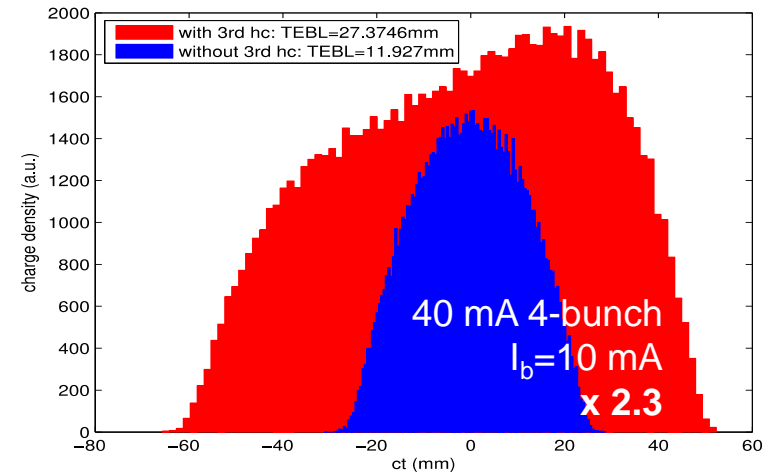
	$K_{\text{loss}} [\text{V/pC}]$	$Z/n_{\text{eff}} [\Omega]$
Diagnostics	4.02	$8.4 \cdot 10^{-3}$
Flanges+bellows	9.27	$25 \cdot 10^{-3}$
Tapers	3.2	$20 \cdot 10^{-3}$
Cavities	6.66	$69 \cdot 10^{-3}$
Resistive wall	38.7	0.222
Total	51.85	0.344

ALLONGEMENT DES PAQUETS



- En cas de problèmes de durée de vie il est possible d'allonger les paquets avec une cavité harmonique
- Cette option est actuellement évaluée à l'ESRF

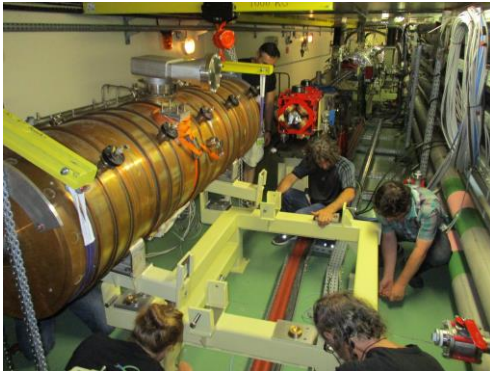
- Malgré un allongement plus fort à impédance constante due aux paramètres faisceaux (α_p , σ_p) l'impédance plus faible a pour conséquence des paquets plus courts pour la nouvelle machine: **durée de vie réduite**
- Concernant le seuil d'instabilité microwave une dégradation d'environ un facteur 2 (4.5mA \rightarrow 2.3mA) est prédit par la théorie: **à confirmer avec des simulations de tracking**



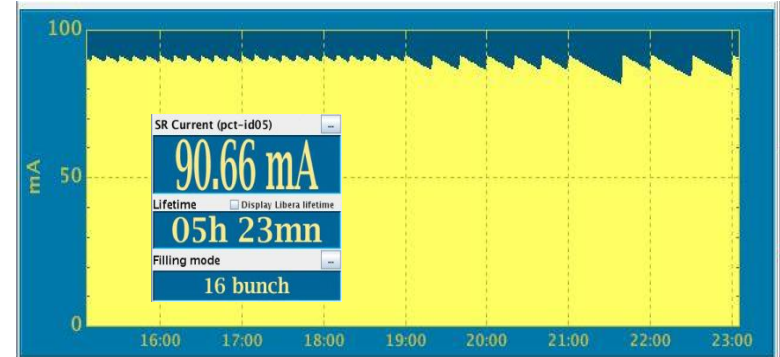
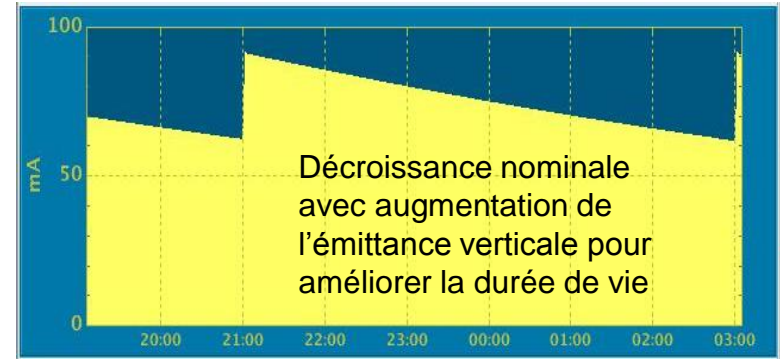
MISE A NIVEAU DES INJECTEURS



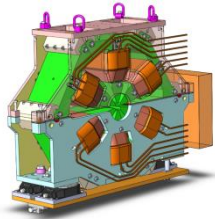
- Mise en place de l'opération en mode 'top-up' en 2016:
 - Nouveau système d'alimentation pour le booster (4Hz)
 - 2 cavités supplémentaires dans le booster



- Changements liés au nouvel anneau de stockage:
 - Réduction de la circonférence du booster
 - Adaptation des lignes de transfert

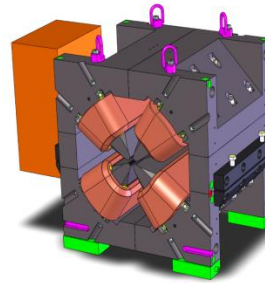


Test du top-up avec les systèmes actuels



192 Sextupôles

Longueur 200mm
 $900\text{-}2200 \text{ Tm}^{-2}$
 Aussi utilisé comme dipôle
 et quadrupôle tourné



128 Quadrupôles Gradient Elevé

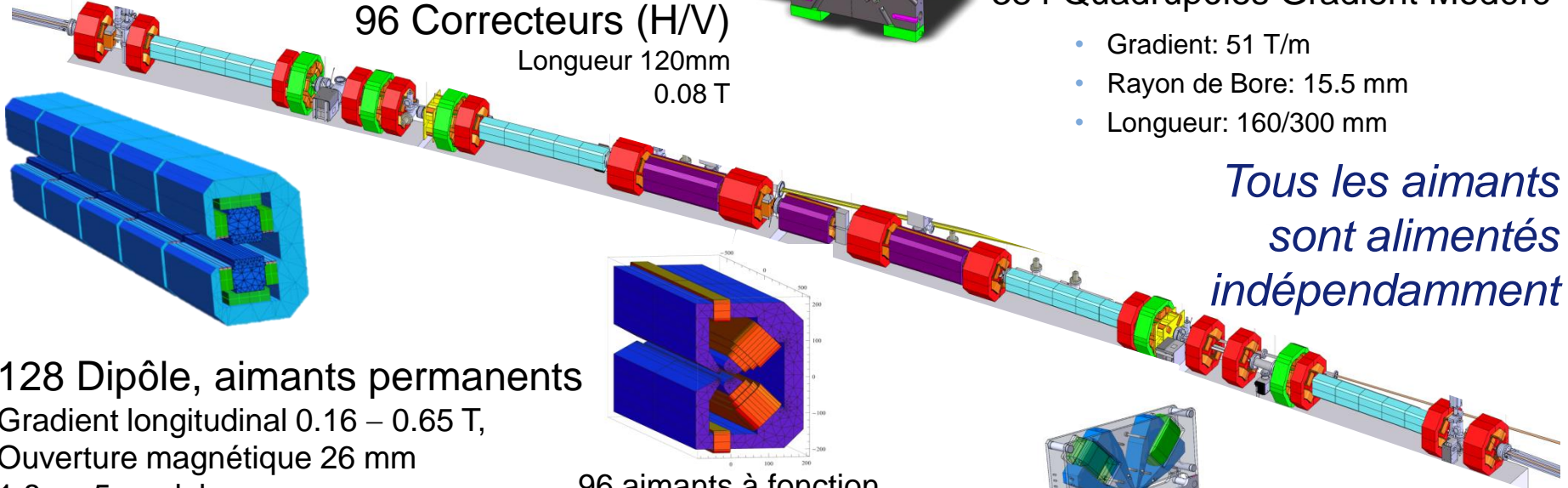
- Gradient: 85 T/m
- Rayon de Bore: 12.5 mm
- Longueur: 390/490 mm

384 Quadrupôles Gradient Modéré

- Gradient: 51 T/m
- Rayon de Bore: 15.5 mm
- Longueur: 160/300 mm

96 Correcteurs (H/V)

Longueur 120mm
 0.08 T



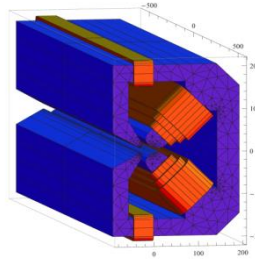
*Tous les aimants
 sont alimentés
 indépendamment*

128 Dipôle, aimants permanents

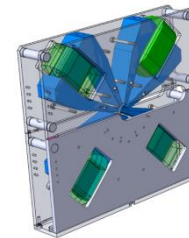
Gradient longitudinal 0.16 – 0.65 T,
 Ouverture magnétique 26 mm

1.8 m, 5 modules

Hybride Sm₂Co₁₇ / Strontium Ferrite



96 aimants à fonction
 combinée dipôle-quadrupôle
 $0.54 \text{ T} / 34 \text{ Tm}^{-1}$
 & $0.43 \text{ T} / 34 \text{ Tm}^{-1}$

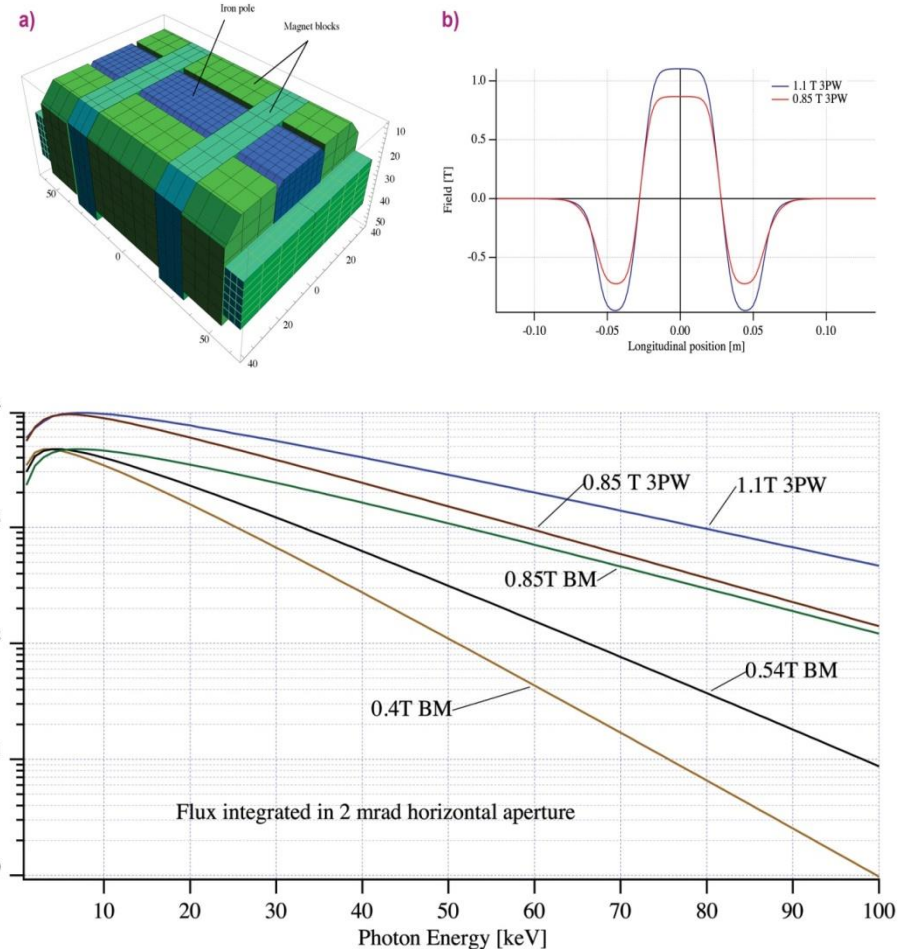


64 Octupôles

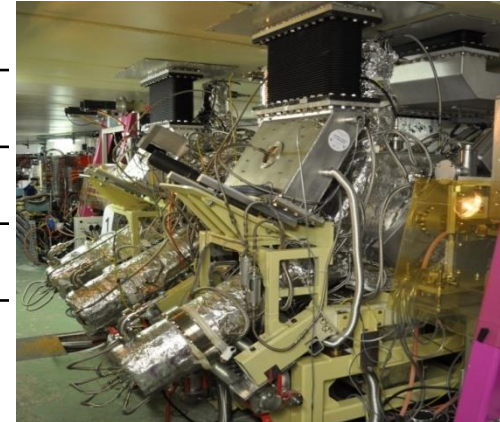
$51.2 \cdot 10^3 \text{ T/m}^{-3}$

RAYONNEMENT DANS LES DIPÔLES

- Les nouvelles sources de rayonnement s'approchant de la limite de diffraction doivent s'adapter à:
 - Augmentation du nombre de dipôles: champ plus faible
 - Conflit avec les lignes de lumière de ces mêmes dipôles qui demandent des X durs
 - L'ESRF va réduire le champ de ses dipôles de 0.85T à 0.54T
- Cette source de rayonnement peut être remplacée par un wiggler:
 - Champ adapté aux besoins avec un large portion constante
 - Aimant compact ($l < 150\text{mm}$)
 - Une version à 2 pôles est considérée pour l'ESRF



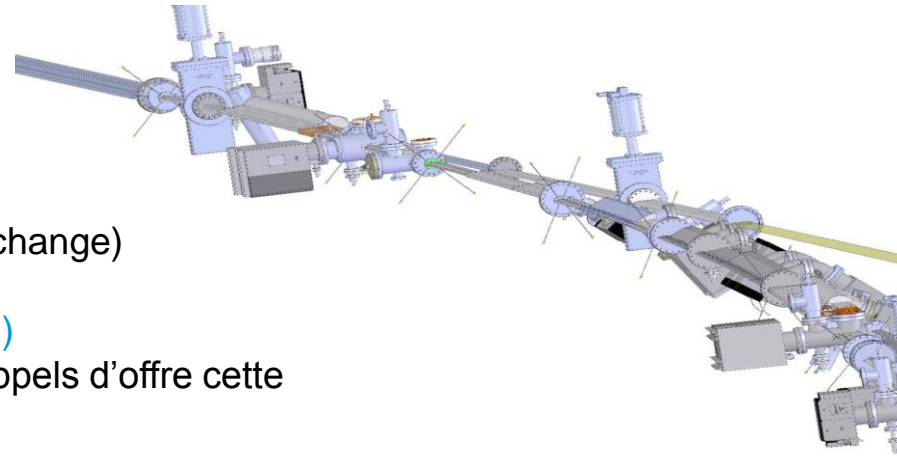
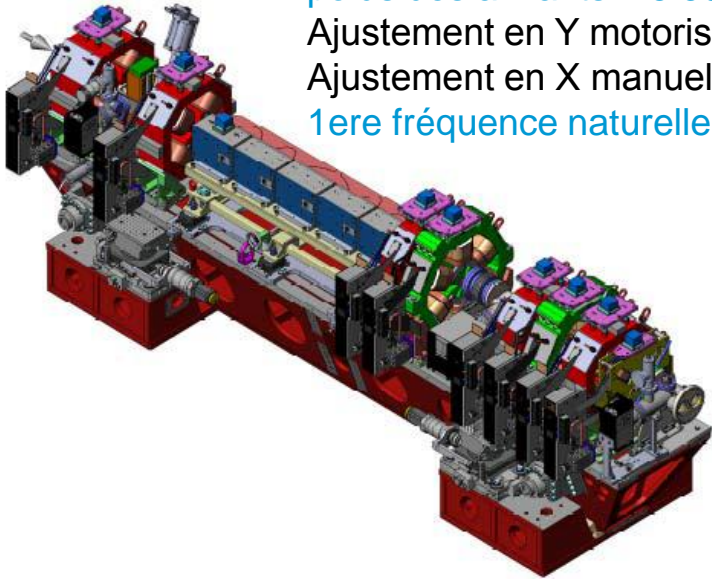
Paramètres RF	Présent	Nouvelle
Perte d' énergie (+ 0.5 MeV/tour des IDs)	5.4 MeV/tour	3.1 MeV/tour
Temps d'amortissement longitudinal	3.5 ms	8.86 ms
Fréquence RF	352.200 MHz	352.371 MHz
Nombre harmonique	992	992
Voltage RF nominal	8 MV	6 MV
Acceptante en énergie	2.9%	4.9%
Nombre de cavités	5 cavités 5 cellules	14 cavités mono-cellule HOM amortis



- **3 cavités prototypes ont été installées, alimentées par SSA**
- **12 cavités supplémentaires ont été commandées**

CHAMBRES A VIDE ET SUPPORTS

Longueur= 5.1m
poids des aimants = 3.500kg
Ajustement en Y motorise résolution= 5 μ m
Ajustement en X manuel résolution= 5 μ m
1ere fréquence naturelle = 50Hz



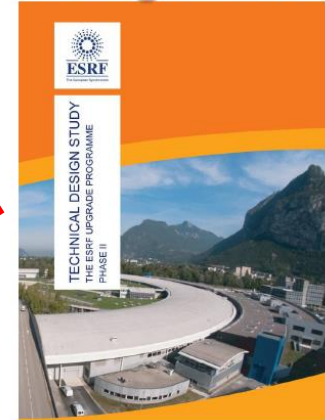
Quantité : 480 (14 x 32 + speciale + rechange)
Longueur: 0.6 m to 2.8 m maximum
Matériel: 316 LN or AL (chambre dipôle)
Echéance: end 2016-2018 (premiers appels d'offre cette année)

Nov. 2012 **White paper**

Nov. 2012-Nov. 2014 **Technical Design Studies**

Juin 2014 **Approbation par le conseil**

Orange Book



Jan 2015-Oct 2018 **Conception détaillée & achats**

Dec 2018-Nov 2019 **Fermeture pour installation**

Sep 2019-Juil 2020 **Mise en service**

Aout 2020 **Opération standard 'User mode'**

- **Le programme ESRF-EBS est officiellement lancé et budgétisé:**
 - Construction d'une nouvelle source haute brillance
 - Conservation des infrastructures, injecteurs et ligne de lumières actuellement en opération
- **Dynamique faisceau:**
 - La maille et les principaux paramètres faisceau sont maintenant fixés
 - Optimisation non linéaire, injection, effet collectifs sont en cours d'étude
- **Conception technique:**
 - Conception des principaux éléments (aimants, chambre à vide, etc...) finalisés
 - Les premiers appels d'offre ont été envoyés et les premiers prototypes arrivent

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

