

POINT FORT

Accélérateurs de SOLEIL

Spécificités et aspects innovants



Dans le tunnel du booster.

Dix ans après le début de sa construction et au bout de cinq ans de fonctionnement, SOLEIL délivre des photons à 27 lignes de lumière avec cinq modes de remplissage différents, et en mode d'injection Top-up. Leurs caractéristiques et leurs performances sont résumées dans le Tableau 1. Le feedback transverse (système de feedback

numérique paquet par paquet) de SOLEIL est indispensable pour maintenir la stabilité d'un faisceau de haute intensité avec des dimensions transverses proches des valeurs théoriques. Les systèmes qui ont été développés sont très efficaces en modes multipaquets, hybride, huit paquets et mono-paquet. Les objectifs de 500 mA stockés dans 416

paquets, 100 mA dans 8 paquets et 20 mA dans un seul paquet, ont été atteints avec de bonnes performances en termes de stabilité de la position, taille de faisceau, efficacité d'injection et durée de vie du faisceau.

La disponibilité du faisceau de photons en opération et le temps moyen entre deux pannes, augmentent chaque année (voir Figure 1) et ont atteint en 2011 les valeurs record de 98,4 % et 56 h, respectivement.

Des choix techniques ont été appliqués avec succès pendant la conception des accélérateurs et ont conduit à d'excellentes performances au bout de plusieurs années de fonctionnement :

- Taux élevé (45 %) de longueur de section droite pour les éléments d'insertion par rapport à la circonférence totale de 354 m de l'anneau de stockage.
- Utilisation intensive de dépôt NEG (Non Evaporable Getter) dans toutes les chambres à vide en aluminium (56 % de la circonférence de l'anneau).
- Développement d'une cavité RF supraconductrice « sans modes d'ordre supérieur ».
- Développement d'amplificateurs solides 180 kW à une fréquence de 352 MHz.
- Eléments d'insertion innovants.

Tableau 1 : Les différents modes de remplissage proposés à SOLEIL.

MODE DE FONCTIONNEMENT	CARACTÉRISTIQUES EN OPÉRATION	MEILLEURES PERFORMANCES OBTENUES
Multipaquets	430 mA	500 mA
Hybride	425 mA + 5 mA	425 mA + 10 mA
8 Paquets	88 mA	100 mA
1 Paquet	12 mA	20 mA
Low α (Hybride) : longueur de paquet et courant par paquet	4,7 ps RMS et 65 μA par paquet	2.5 ps RMS et 10 μA par paquet

- Tolérances très serrées pour la stabilité en position du faisceau et fonctionnement transparent du mode Top-up.
- Nouveau type d'électronique numérique pour les mesureurs de position du faisceau (BPM) : modules LIBERA.

SOLEIL a été conçu comme une source de lumière synchrotron de faible émittance avec une optique Chasman-Green modifiée comportant une longueur totale de sections droites de 162 m pour une circonférence de 354 m. Les réglages optiques de l'anneau de stockage ont évolué en permanence pour restaurer les performances nominales intrinsèquement affectées par l'augmentation constante du nombre d'éléments d'insertion utilisés en opération. En 2011, un triplé de quadrupôles et une chicane de quatre aimants ont été montés sur une longue section droite afin de pouvoir installer deux onduleurs sous vide cantés avec un entrefer de 5,5 mm, pour les deux lignes de lumières longues (Nanoscopium et ANATOMIX) issues d'une même section droite. Ce nouveau réglage est utilisé avec succès en opération depuis janvier 2012. Un mode de fonctionnement avec une faible longueur de paquet, basé sur le réglage « Low Alpha » a été développé et mis en opération pour les utilisateurs. Plus récemment, une correction du couplage a été mise en place afin de maintenir le rapport entre les émittances verticale et horizontale à une valeur fixe de 1 % quelle que soit la configuration d'insertions.

La stabilité en position des faisceaux de photons fournis aux lignes de lumière est l'un des critères de qualité demandés par les utilisateurs de rayonnement synchrotron. Des solutions adaptées ont été étudiées pour minimiser les effets de chaque type d'instabilité dès la conception

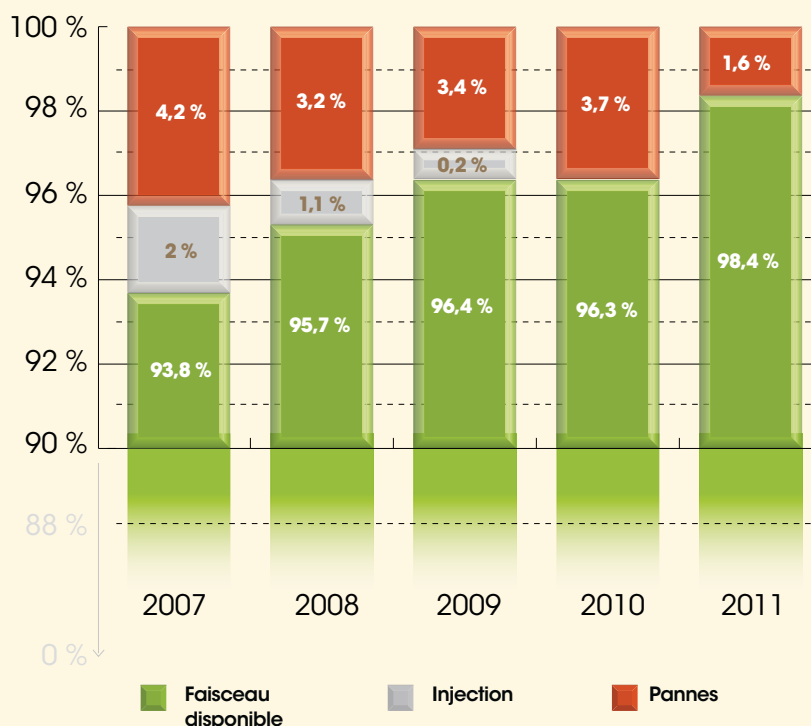


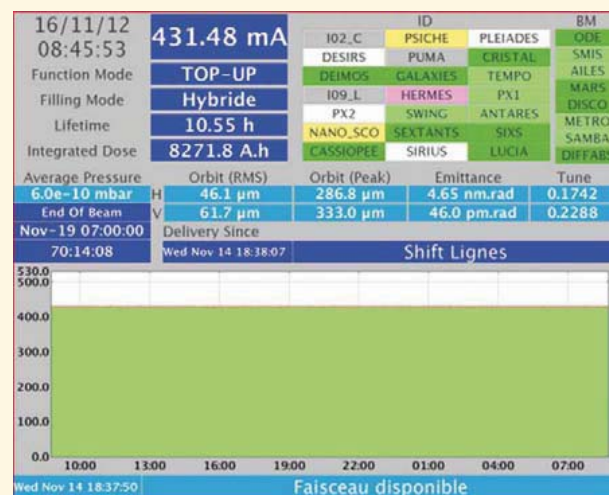
Figure 1 : Disponibilité des faisceaux de photons en opération.

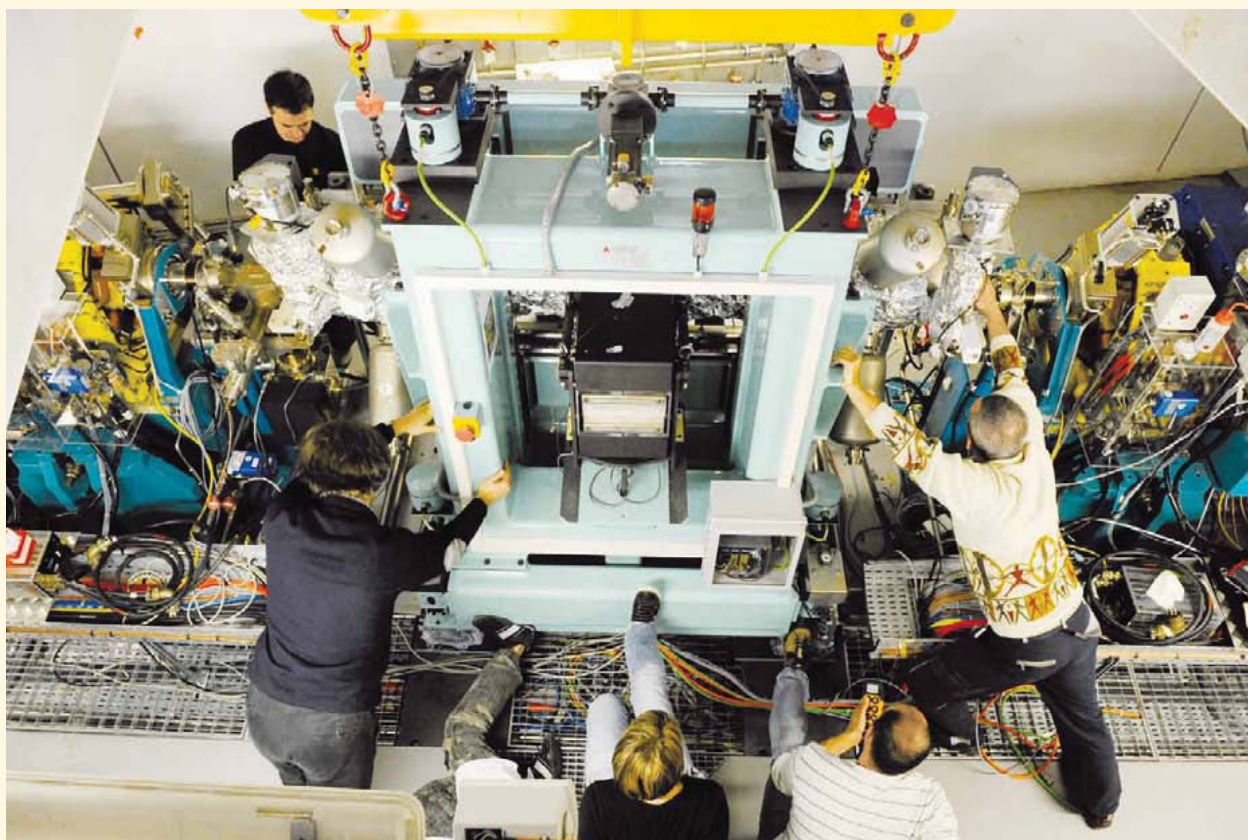
de l'anneau de stockage. De plus, deux feedbacks d'orbite (feedback d'orbite lent et feedback d'orbite rapide) fonctionnent ensemble grâce à un protocole sophistiqué. La stabilité en position à long terme (8 h) au niveau de tous les points sources est inférieure à 1 μm RMS dans les deux plans, et les sources de bruit de basse fréquence ont été identifiées et minimisées, permettant ainsi une réduction du bruit dans la plage 0,01 Hz à 500 Hz en dessous de 200 nm RMS à l'endroit des éléments d'insertion. Une attention particulière a été consacrée à la nouvelle ligne de lumière Nanoscopium. Des réunions « Relation de Conjugaison » ont été organisées régulièrement depuis janvier 2012 entre les membres de l'équipe technique et les responsables des lignes afin d'améliorer les critères de stabilité.

L'anneau de stockage de SOLEIL a été conçu pour fonctionner en mode d'injection Top-up dès la phase de conception. L'ensemble des équipements du système d'injection a été spécifié pour créer des perturbations aussi faibles que possible sur le faisceau stocké. Ces exigences ont

une incidence sur la conception et la réalisation des aimants pulsés d'injection, de leurs chambres à vide, de leurs alimentations pulsées et des dispositifs électroniques de synchronisation. Toutes les alimentations pulsées, conçues à SOLEIL, sont basées sur des amplificateurs solides, même pour la production de hautes tensions, et présentent une fiabilité exceptionnelle avec une contribution au taux de panne de l'anneau de stockage proche de zéro.

Figure 2 : Paramètres du faisceau d'électrons dans l'anneau de stockage pendant l'opération pour les utilisateurs (mode Top-up, remplissage hybride).





Installation d'un onduleur dans l'anneau de stockage.

Des travaux importants ont été effectués sur les mesures systématiques, l'analyse de chaque phénomène, le réglage ou la modification de chaque équipement jusqu'à atteindre des résultats relativement bons et acceptables pour les utilisateurs : le décalage résiduel à l'injection dans l'anneau de stockage a été réduit à $<100 \mu\text{m}$ RMS dans le plan horizontal et $<40 \mu\text{m}$ RMS dans le plan vertical. Les efforts continuent pour l'amélioration de ces résultats, notamment dans le plan vertical où un correcteur dipolaire pulsé a été installé et doit bientôt être testé.

Comme indiqué précédemment, une partie très importante de l'anneau de stockage de SOLEIL est dédiée à l'installation d'éléments d'insertion. Actuellement, 26 insertions de différents types sont installées dans l'anneau de stockage, plusieurs d'entre elles étant uniques. La région UV-VUV est couverte avec des dispositifs électromagnétiques (HU640 + 3 HU256) offrant des polarisations variables. Un onduleur à électroaimants et aimants permanents (EMPHU), utilisant des bobines en

feuilles de cuivre pour une commutation rapide de l'hélicité, est en cours de mise en opération. 13 onduleurs de type APPLE-II avec des périodes allant de 80 à 36 mm fournissent des photons dans la gamme 0,1-10 keV, certains d'entre eux présentant une structure magnétique aperiodique. Cinq onduleurs sous vide U20 (et un U24) couvrent typiquement la gamme 3-30 keV, tandis qu'un wiggler sous vide (WSV50), équipé d'un système de compensation des forces magnétiques par ressorts, couvre le domaine spectral 10-50 keV. Un onduleur cryogénique sous vide de R&D (U18) constitué d'aimants permanents en $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ a été construit et testé avec succès sur la machine. D'autres projets en phase de construction ou de conception sont en cours et seront présentés ultérieurement.

Le système RadioFréquence de l'anneau de stockage est basé sur des cavités supraconductrices qui facilitent l'amortissement des modes parasites d'ordre supérieur et améliorent ainsi la stabilité du faisceau. Le cryomodule de SOLEIL repose sur

une conception « maison » basée sur une paire de cavités à 352 MHz « sans modes d'ordre supérieur » installées dans un seul cryomodule. Pour les alimentations de puissance RF, il a été décidé que la technologie à amplificateurs solides pouvait offrir des avantages significatifs par rapport aux tubes à vide, en dépit de son caractère innovant et difficile pour la gamme de puissance exigée (environ 600 kW au total). De plus, l'absence de tubes à vide à 352 MHz dans le commerce pour la gamme de puissance désirée, ainsi que l'expertise acquise au LURE sur les prototypes d'amplificateurs solides, nous ont poussés à choisir d'alimenter chacune des cavités de l'anneau de stockage avec un amplificateur solide 180 kW et la cavité du booster avec un amplificateur solide de 35 kW. Ces amplificateurs solides se sont révélés très fiables, pratiques et souples pour le fonctionnement, avec une disponibilité opérationnelle et un temps moyen entre deux pannes (> 1 an) excellents.

➔ **Contact :**
nadj@synchrotron-soleil.fr