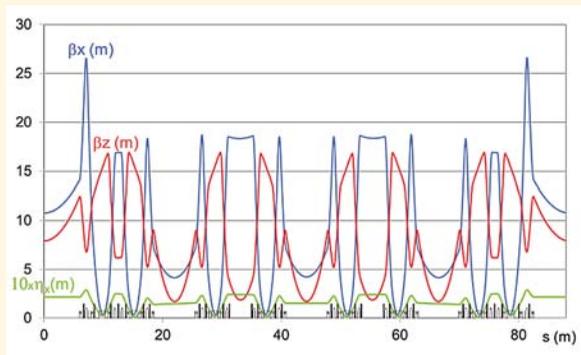


POINT FORT

Les nouveaux réglages optiques de l'anneau de stockage



Fonctions optiques du réglage nominal pour un quart d'anneau allant du milieu d'une section droite longue au milieu de la section droite longue suivante. Les aimants qui constituent la structure magnétique sont représentés en noir. Les trois sections droites moyennes et les deux sections droites courtes possèdent un minimum de la fonction β_z en leur milieu. L'émission horizontale ϵ_x est de 3,7 nm.rad.

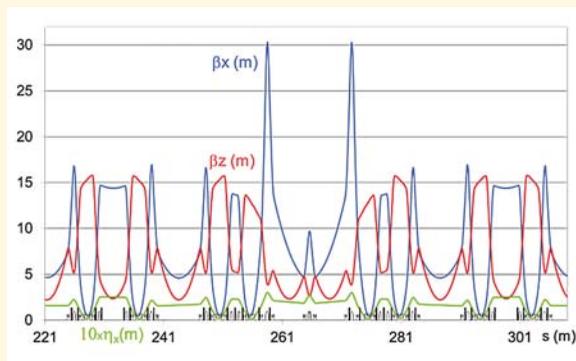
Le réglage optique nominal de l'anneau de SOLEIL a été optimisé pour satisfaire les utilisateurs en termes de dimensions du faisceau d'électrons aux points « source », tout en garantissant des performances excellentes pour le fonctionnement de la machine (durée de vie et rendement d'injection). Plusieurs raisons peuvent faire évoluer le réglage optique : pallier certaines limitations des performances imposées par les onduleurs et wigglers, satisfaire une demande de utilisateurs en termes de caractéristiques de faisceau, ou tenir compte d'une modification de la machine pour la construction de nouvelles lignes de lumière.

Qu'est-ce qu'un réglage optique ?

Dans l'anneau de stockage, le système de focalisation du faisceau d'électrons est assuré par 160 quadrupôles. Chaque quadrupôle est focalisant dans le plan horizontal et défocalisant dans le plan vertical, ou inversement. Associés par deux ou par trois, les quadrupôles constituent un système de focalisation dans les deux plans et les électrons subissent en permanence des forces de rappel qui leur confèrent un mouvement oscillant. La vérification du réglage optique se fait en mesurant le nombre d'oscillations par tour dans les plans horizontal et vertical : ce sont les nombres d'onde horizontal (ν_x) et vertical (ν_z). Le réglage du

gradient des 160 quadrupôles permet de focaliser le faisceau transversalement aux endroits stratégiques que sont les milieux des sections droites (onduleurs) et les dipôles. Trois paramètres sont couramment utilisés en Physique des Accélérateurs pour représenter cet effet de focalisation, ce sont les fonctions optiques : β_x pour la focalisation horizontale, β_z pour la focalisation verticale et η_x pour la fonction dispersion horizontale (trajectoire des électrons ayant un défaut d'énergie). Plus elles sont petites, plus le faisceau d'électrons est focalisé. La structure magnétique de l'anneau (arrangement des dipôles, quadrupôles et sextupôles) possède une symétrie d'ordre 4 que l'on retrouve sur les fonctions optiques. La figure 1 présente l'allure des fonctions optiques sur un quart de machine pour le réglage nominal.

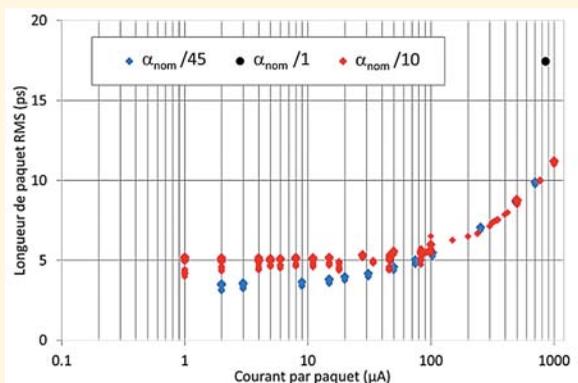
Les fonctions optiques, associées à l'émission horizontale (ϵ_x), au couplage, à la dispersion en énergie, permettent de calculer la valeur des dimensions et divergences transverses du faisceau d'électrons, en tout point de l'anneau. Ces fonctions optiques permettent aussi de calculer l'effet de tout champ magnétique inséré à un endroit donné de la machine. Les effets linéaires et non linéaires d'un onduleur, par exemple, sont donc d'autant plus importants que les fonctions optiques à l'endroit de l'onduleur sont grandes.



Fonctions optiques du réglage «Nanoscopium» dans la section droite longue SDL13 et les deux sections droites moyennes et courtes adjacentes. L'émission horizontale ϵ_x est de 3,9 nm.rad.

Réduction de l'effet de l'onduleur HU640 sur la durée de vie

L'onduleur HU640 est installé dans la section droite longue SDL05 et dessert la ligne DESIRS. Quand il est utilisé en polarisation Linéaire Verticale (champ magnétique horizontal), ses effets non linéaires augmentent avec le champ magnétique et sont la cause d'une réduction significative de la durée de vie et du rendement d'injection. L'origine de ces effets a été identifiée à partir des mesures sur le faisceau d'électrons, qui ont révélé que les intégrales de champ de l'onduleur, vues par les électrons, sont anormalement grandes. Un système de correction magnétique est actuellement à l'étude et, en parallèle, une modification des fonctions optiques a été faite dans la section droite SDL05 et dans les trois autres sections droites longues pour maintenir la symétrie 4 du réglage optique. La fonction β_x , facteur d'amplification des effets non linéaires aux grandes amplitudes horizontales, a été réduite d'un facteur 2, les fonctions optiques restant semblables partout ailleurs dans l'anneau. Ce réglage, qui possède la même émittance horizontale et les mêmes nombres d'onde que le réglage nominal, permet de diminuer significativement l'effet de l'onduleur HU640, et de maintenir une durée de vie supérieure à 10 h et un rendement d'injection supérieur à 60 %, même en présence des autres ondu-



Variation de la longueur de paquet RMS en fonction du courant par paquet pour $\alpha_{nom}/10$ et $\alpha_{nom}/45$ et une tension RF de 4 MV (mesures effectuées à la streak camera).

leurs. De plus, les nouvelles valeurs des fonctions optiques dans l'onduleur sont favorables à la qualité du faisceau de photons. Ce nouveau réglage optique a été mis en opération sur la machine de novembre 2010 à juillet 2011.

Installation de deux onduleurs sous-vide cantés² dans la section droite longue SDL13

La section droite longue SDL13 va accueillir deux onduleurs sous-vide qui desserviront, chacun, une des deux lignes longues cantées NANOSCOPIUM³ et NANOTOMOGRAPHIE. Ceci conduit à une modification importante de la machine avec l'installation de nouveaux équipements : quatre aimants dipolaires pour dévier la trajectoire du faisceau d'électrons uniquement dans les deux onduleurs afin de séparer les faisceaux de photons des deux lignes de lumière, deux nouveaux mesureurs de position, trois quadrupôles et deux sextupôles supplémentaires au milieu de la section droite. En effet, comme pour tous les autres onduleurs sous vide, le faisceau d'électrons doit être focalisé en vertical, ce qui n'est pas le cas dans les sections droites longues avec le réglage nominal. Les trois quadrupôles supplémentaires assurent la focalisation verticale dans chacun des deux onduleurs et un nouveau réglage optique a été optimisé, c'est le

réglage optique dit « Nanoscopium ». Les fonctions optiques dans les autres sections droites sont identiques à celles du réglage nominal excepté dans les sections droites courtes où la fonction β_x a été réduite pour minimiser les effets non-linéaires des onduleurs et wiggler sous-vide (figure 2).

L'ajout des trois quadrupôles casse naturellement la symétrie 4 de la structure magnétique de la machine et impacte de façon très significative la dynamique transverse non-linéaire du faisceau d'électrons. L'optimisation expérimentale de ce réglage, en termes de durée de vie et de rendement d'injection, a conduit à choisir des nombres d'onde différents du réglage nominal. La durée de vie mesurée en présence des onduleurs sous-vide est meilleure que pour le réglage nominal, montrant ainsi l'effet bénéfique de la réduction de la fonction β_x dans les sections droites courtes, qui n'impacte que légèrement les dimensions du faisceau d'électrons. La qualité des faisceaux de photons ne sera pas modifiée par l'utilisation de ce nouveau réglage. *La validation de ce réglage, en présence des deux onduleurs sous-vide, est prévue pour l'automne 2011.*

Production de paquets courts

Une demande pour travailler avec des longueurs de paquet plus courtes, provenant des utilisateurs de la structure temporelle du faisceau mais aussi du rayonnement synchrotron cohérent (CSR) dans le domaine du THz, a conduit à la recherche d'un réglage optique dit « low-alpha ». Dans un anneau de stockage, la longueur des paquets dépend principalement de l'énergie des électrons, de la tension appliquée dans les cavités radiofréquence (RF) et du paramètre α , le facteur de compression des moments (« momentum compaction factor »). Ce paramètre α caractérise la variation relative de la longueur de la trajectoire en fonction de la variation relative de l'énergie des électrons. Pour le réglage nominal ($\alpha_{nom} = 4,4 \cdot 10^{-4}$), la longueur des paquets à courant nul est de 15 ps RMS (4,5 mm) pour une tension de la cavité RF de 3 MV et quand le courant par paquet augmente, l'interaction du faisceau d'électrons avec son environnement conduit à une augmentation de la longueur des paquets.

Un moyen de réduire la longueur des paquets est de diminuer le paramètre

α d'un facteur significatif. Pour SOLEIL, un réglage a été optimisé par Maher Attal (SESAME, Jordanie) pour obtenir une réduction de α_{nom} d'un facteur 10 tout en maintenant une émittance horizontale petite et une grande acceptance en énergie longitudinale. Les fonctions optiques de ce réglage sont très différentes de celles du réglage nominal, et sa mise en place sur la machine nécessite l'inversion des alimentations d'une famille de quadrupôles et d'une famille de sextupôles. Deux points critiques ont été étudiés. Le premier est la stabilité de la position transverse (plus α est petit, plus le transfert des oscillations en énergie vers le plan horizontal est grand), obtenue grâce aux deux feedbacks de position, lent et rapide. Le second est le rendement d'injection. Sa faible valeur (10 %) est imposée par la dynamique non-linéaire spécifique de ce réglage. Pour éviter les injections fréquentes avec un mauvais rendement, la durée de vie est augmentée à 20 h par gonflement de la dimension verticale du faisceau d'électrons.

À partir de ce réglage, la valeur de α a pu être réduite d'un facteur 100 pour un courant par paquet de 2 μ A : des longueurs de paquet de 3,2 ps RMS ont été mesurées à $\alpha_{nom}/45$. Pour $\alpha_{nom}/10$, l'allongement naturel du paquet se produit à partir de 50 μ A par paquet mais le bénéfice de la réduction de α , en deçà de $\alpha_{nom}/10$, est maintenu jusqu'à un courant par paquet de 100 μ A (figure 3). Suite à des sessions d'étude Machine dédiées à l'utilisation de ce réglage par la ligne AILES⁴, la gamme de courant par paquet optimale pour augmenter de 3 à 4 décades la puissance émise dans le domaine infrarouge⁵ a été déterminée. Finalement, un remplissage hybride constitué de 20 mA répartis sur $\frac{3}{4}$ d'anneau et d'un paquet isolé de 70 μ A, devrait satisfaire les deux types d'expérience. *Une mise en opération de ce réglage est prévue les 10 et 11 décembre 2011.*

1. www.synchrotron-soleil.fr/SourceAccelerateur#Insertions
 2. Afin d'installer deux lignes de lumière issues d'une même section droite, les axes des deux onduleurs sont décalés en angle par rapport à l'axe de la section droite.
 3. <http://www.synchrotron-soleil.fr/Recherche/LignesLumiere/NANOSCOPIUM>
 4. <http://www.synchrotron-soleil.fr/Recherche/LignesLumiere/AILES>
 5. C. Evain et al. «Terahertz coherent synchrotron radiation at the synchrotron SOLEIL», IRMMW-THz2010, Sept. 2010.

→ **Contact :**
 pascal.brunelle@synchrotron-soleil.fr

