

DESCRIPTION SOMMAIRE DES AIMANTS A AIMANTS PERMANENTS DE L'ANNEAU DE STOCKAGE DE SOLEIL II

Date de diffusion	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Modifications
15/05/2026	Responsable WP1.1.2	Groupe Achats Coordinateur Programme 1.1	Directeur DAI	
Destinataires	Soumissionnaires			

PUBLIC

La version électronique fait foi.

Diffusion libre y compris à l'extérieur de SOLEIL. Cela n'entraîne aucune conséquence en termes de sécurité, ni de confidentialité.



TABLE DES MATIERES

1. CONTEXTE.....	3
2. DESCRIPTION DU BESOIN.....	3
2.1. LES AIMANTS A AIMANTS PERMANENTS – AFFAIRE 2026-040-PG	5
2.1.1. LES DIPOLES NORMAUX LONGS.....	5
2.1.2. LES DIPOLES NORMAUX COURTS	7
2.1.3. LES QUADRUPOLES	8
2.2. PLANNING PREVISIONNEL.....	10

1. CONTEXTE

Dix-huit ans après sa mise en service, le Synchrotron SOLEIL est entré, depuis le début de l'année 2024, dans une phase d'Upgrade de ses accélérateurs et de ses lignes de lumière. En effet, de nouveaux champs d'investigation scientifique sont apparus auxquels l'infrastructure de recherche qu'est SOLEIL doit répondre. Quatre domaines clés, essentiels pour relever les défis auxquels notre société est confrontée, structurent l'argumentaire scientifique de cette jouvence : matériaux avancés, sources durables d'énergie, biologie et santé, terre et environnement.

Le projet d'Upgrade repose sur une modernisation complète de ses accélérateurs et de ses lignes de lumière. Après une première phase d'Avant-Projet Sommaire (Conceptual Design Report ou CDR), les équipes de SOLEIL ont travaillé depuis quelques années sur l'Avant-Projet Détaillé (Technical Design Report – TDR). Le projet est maintenant validé et il porte le nom de « SOLEIL II ». La nouvelle source sera unique par la large gamme de rayonnement accessible, allant du THz aux rayons X durs, et qui sera même étendue par rapport à l'installation actuelle.

Le design ambitieux du futur anneau de stockage (voir Figure 1) permettra d'obtenir une émittance record et produira des faisceaux de photons d'une brillance exceptionnelle dépassant de 2 ordres de grandeur celle de l'installation actuelle. Les nouveaux composants, qui seront installés, doivent pouvoir répondre aux nouvelles caractéristiques de l'anneau de stockage que ce soit en termes de performance ou de fiabilité.

L'installation utilisera le tunnel existant de l'anneau de stockage et la majeure partie de l'infrastructure actuelle afin d'optimiser le coût du projet. SOLEIL II permettra une réduction de l'empreinte environnementale de l'installation, et l'utilisation exhaustive d'aimants permanents pour l'anneau de stockage permettra une diminution de moitié de sa consommation électrique, réduisant considérablement son coût de fonctionnement.

Ces nouveaux développements maintiendront la compétitivité et la longévité de SOLEIL II.

2. DESCRIPTION DU BESOIN

L'anneau de stockage nécessite l'utilisation de 1 300 aimants multipolaires (dipôles, quadripôles, reversebends, sextupôles et octupôles) afin de guider le faisceau d'électrons. Une représentation d'une cellule est montrée Figure 2.

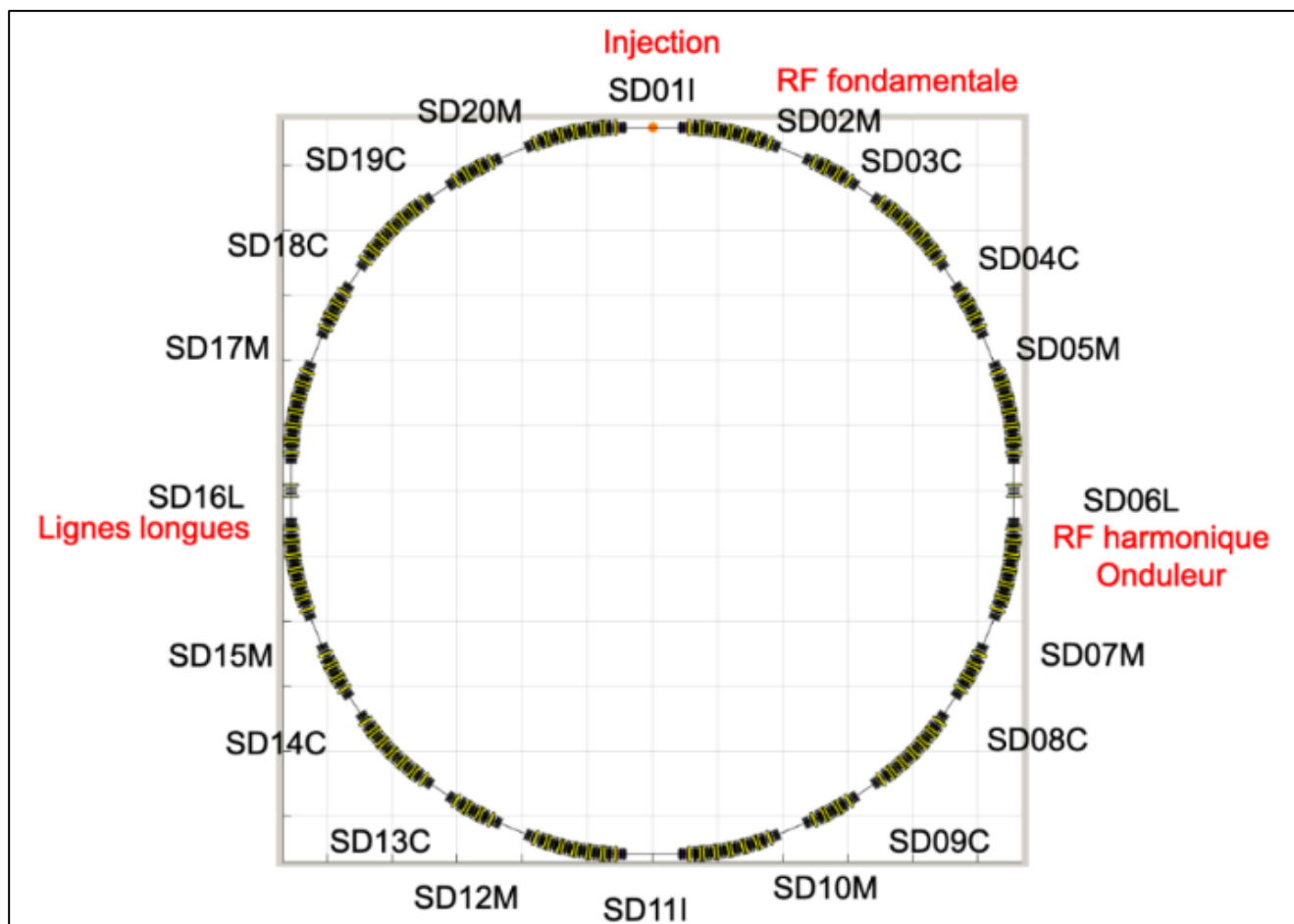


Figure 1: Vue générale de la maille de l'anneau de stockage de SOLEIL II composée de 20 « arcs » distincts.

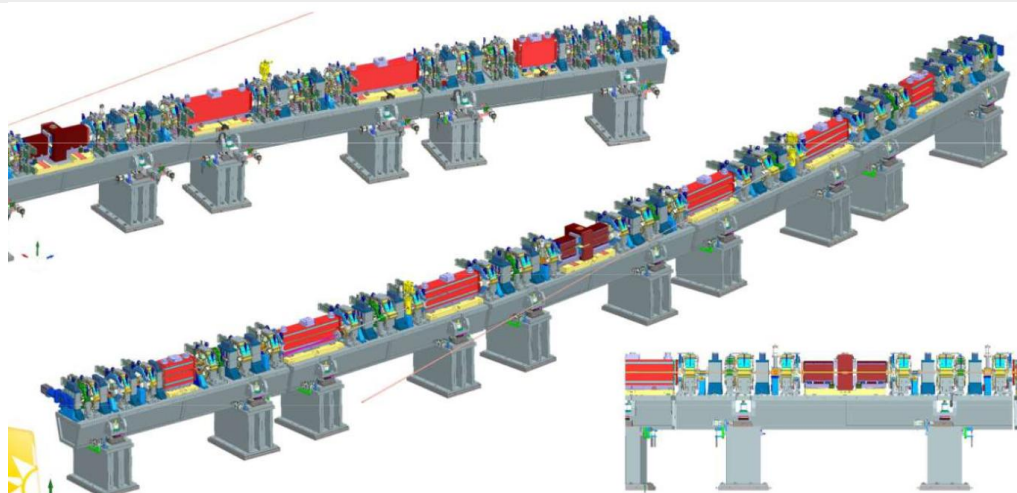


Figure 2 Vue générale d'un arc magnétique de l'anneau de stockage. Les électroaimants sont disposés de part et d'autre des dipôles (éléments en rouge) sur la figure.

Deux technologies sont utilisées pour ces aimants :

- Aimants permanents : Les dipôles et les quadrupôles intègrent des aimants en samarium-cobalt pour générer leur champ magnétique.
- Électro-aimants : Les sextupôles, les octupôles et les quadrupôles correcteurs sont réalisés à partir de culasses en acier feuilleté et de bobines composées de conducteurs creux et méplats.

[Le présent CCTP concerne la fabrication, et la fourniture des](#) Aimants à aimants permanents (dipôles et quadrupôles).

2.1. LES AIMANTS A AIMANTS PERMANENTS – AFFAIRE 2026-040-PG

Le marché se décompose en 3 lots :

1. Lot n°1 : fourniture de 64 dipôles normaux longs (DNL) et 4 dipôles de rechange,
2. Lot n°2 : fourniture de 40 dipôles normaux courts (DNC) et 4 dipôles de rechange,
3. Lot n°3 : fourniture de 366 quadrupôles (QUAP) et 21 quadrupôles de rechange.

À titre informatif, SOLEIL fournira, pour l'ensemble des trois lots, les matériaux principaux, à savoir :

- L'acier destiné aux culasses des aimants,
- Ainsi que les blocs d'aimants permanents en Samarium-Cobalt.

Par ailleurs, l'insertion des aimants permanents fera partie de la prestation.

2.1.1. LES DIPOLES NORMAUX LONGS

Soixante-huit dipôles normaux longs (DNL) sont requis pour l'anneau de SOLEIL II. Le tableau 1 donne la liste des DNL à réaliser.

Le circuit magnétique des DNL est constitué d'une culasse en forme de C, sur laquelle sont montés deux pôles courbés et de forme hyperbolique, le tout étant fabriqué en acier doux bas-carbone (XC06). Autour de chaque pôle sont disposées trois rangées de blocs d'aimants permanents en Samarium-Cobalt (SmCo). Ce circuit magnétique présente des dimensions de 839.5 mm de long, 159.6 mm de large et 266.6 mm de hauteur. L'acier XC06 utilisé pour la fabrication des culasses et des pôles, ainsi que les aimants permanents en SmCo destinés à être insérés dans les culasses, font partie de la fourniture livrée par SOLEIL.

Afin de limiter les effets de crosstalk magnétique entre les aimants de l'anneau de stockage de SOLEIL, chaque dipôle est équipé de deux plaques de garde, disposées de part et d'autre du dipôle. Ces plaques de garde sont fabriquées par un empilement de tôles d'acier doux (FeSi M1300-100A).

L'ensemble vient se fixer sur un système d'escamotage en inox, intégrant une pièce intermédiaire en aluminium. Une vue d'ensemble du DNL monté sur ce système est représentée dans la Figure 3.

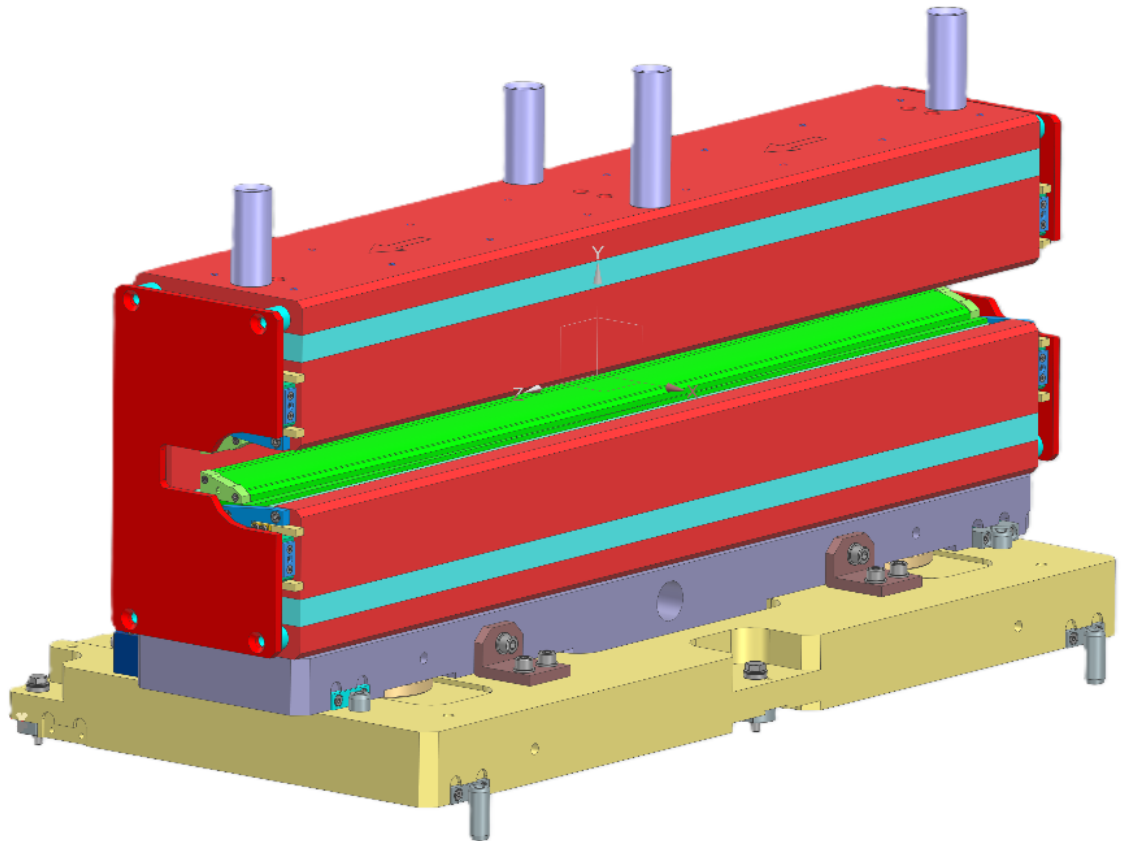


Figure 3 : Dipôle normal long (DNL) de SOLEIL II.

L'ensemble culasse et système d'escamotage (système permettant de translater les dipôles vers l'intérieur de l'anneau afin d'installer la chambre à vide) est identique pour tous les dipôles normaux longs.

Le profil polaire est illustré sur la Figure 4. Les performances magnétiques des dipôles étant fortement sensibles aux défauts géométriques, une exigence élevée de précision de fabrication et d'assemblage est attendue. Une tolérance de forme maximale de 50 μm est requise sur les profils des deux pôles après assemblage du dipôle.

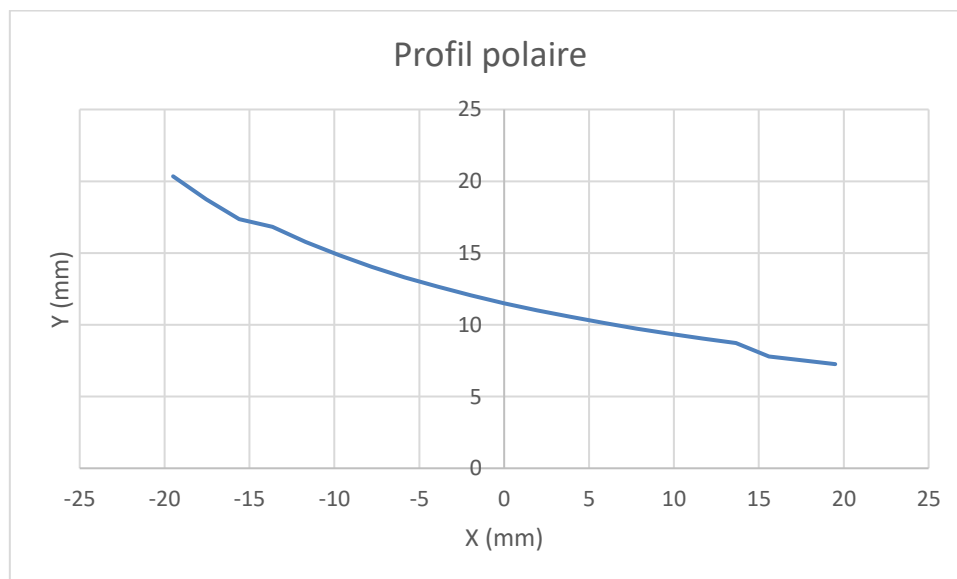


Figure 4 : Profil polaire des dipôles normaux longs.

Nom	Nombre	Rechange
DNL_A	62	2
DNL_B	1	1
DNL_C	1	1
Total	68	

Tableau 1 Liste des DNL à réaliser

2.1.2. LES DIPOLES NORMAUX COURTS

Quarante-quatre dipôles normaux courts (DNC) sont requis pour l'anneau de SOLEIL II. Le tableau 2 donne la liste des DNC à réaliser.

Le circuit magnétique des DNC est constitué d'une culasse en forme de C, sur laquelle sont montés deux pôles courbés et de forme hyperbolique, le tout étant fabriqué en acier doux bas carbone (XC06). Autour de chaque pôle sont disposées trois rangées de blocs d'aimants permanents en Samarium-Cobalt (SmCo). Ce circuit magnétique présente des dimensions de 411 mm de long, 202 mm de large et 320 mm de hauteur. L'acier XC06 utilisé pour la fabrication des culasses et des pôles, ainsi que les aimants permanents en SmCo destinés à être insérés dans les culasses, font partie de la fourniture livrée par SOLEIL.

Afin de limiter les effets de crosstalk magnétique entre les aimants de l'anneau de stockage de SOLEIL, chaque dipôle est équipé de deux plaques de garde, disposées de part et d'autre du dipôle. Ces plaques de garde sont fabriquées par un empilement de tôles d'acier doux (FeSi M1300-100A).

L'ensemble vient se fixer sur un système d'escamotage en inox, intégrant une pièce intermédiaire en aluminium. Une vue d'ensemble du DNC monté sur ce système est représentée dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.5**.

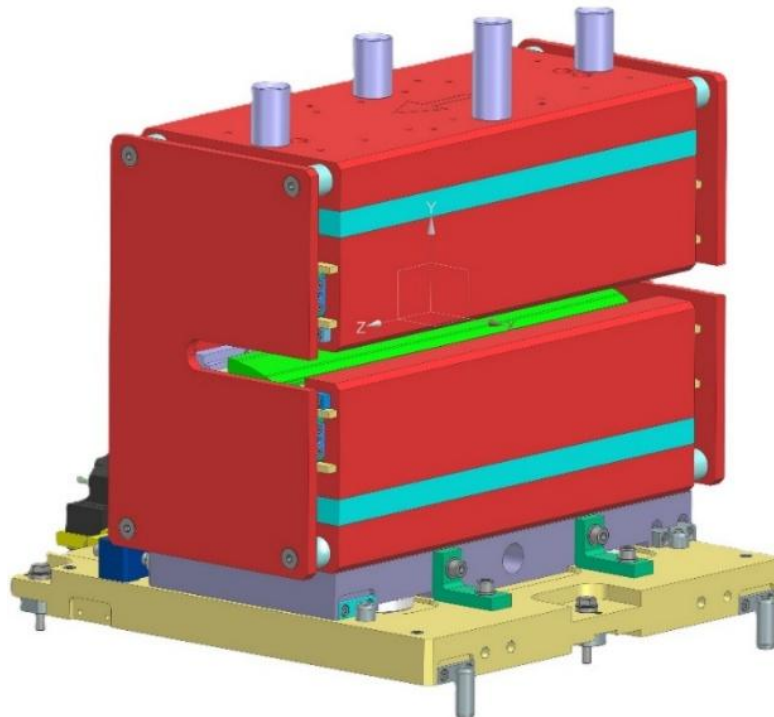


Figure 5 : Dipôle normal court (DNC) de SOLEIL II

L'ensemble culasse et système d'escamotage est identique pour tous les dipôles normaux courts.

Deux déclinaisons de profils polaires sont requises, avec 42 dipôles ayant un profil polaire 7BA/4BA/DNC1 et 2 dipôles avec un profil polaire DNC2. La Figure 6 illustre la différence entre ces deux profils polaires. Les performances magnétiques des dipôles étant fortement sensibles aux défauts géométriques, une exigence élevée de précision de fabrication et d'assemblage est requise. Une tolérance de forme maximale de 50 μm est requise sur les profils des deux pôles après assemblage du dipôle.

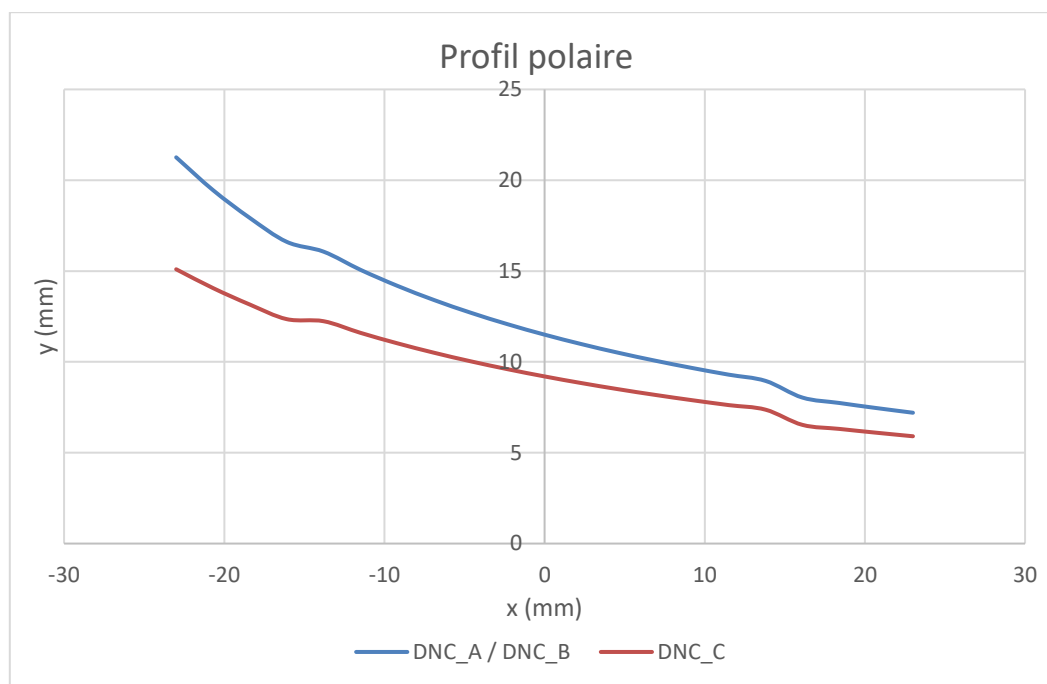


Figure 6 : Les profils polaires des dipôles normaux courts.

Nom	Nombre	Rechange
DNC_A	38	2
DNC_B	1	1
DNC_C	1	1
Total	44	

Tableau 2 Liste des DNC à réaliser

2.1.3. LES QUADRUPOLES

Un ensemble de 366 quadrapôles est requis pour SOLEIL II ainsi que 21 quadrapôles de rechange. Parmi ces quadrapôles, certains seront utilisés aussi comme des dipôles inversés. Afin d'atteindre les performances optimales de l'anneau et de satisfaire l'ensemble des contraintes mécaniques de l'anneau de stockage, ces quadrapôles se déclinent en 9 longueurs et 5 profils de pôles. Les 5 profils de pôles sont représentés en figure 7. La répartition des quantités par type de quadrapôle est donnée dans le tableau 3.

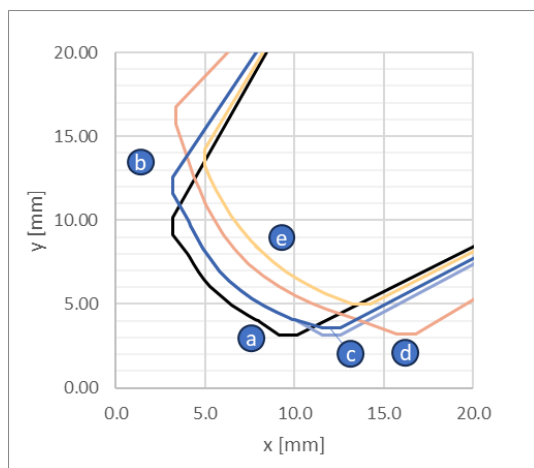


Figure 7 : détail des 5 profils des quadrupôles

Quadrupôle	Long. [mm]	Profil	Quantité
Quad_C	58	a	36
Quad_D	70	a	52
Quad_E	76	a	17
Quad_F	80	e	10
Quad_G	98	a	35
Quad_H	106	b	40
Quad_I	106	c	2
Quad_J	106	e	10
Quad_K	120	e	8
Quad_L/Quad_M	126	d	146
Quad_N	180	e	10
TOTAL			366

Tableau 3 Liste des quadrupôles à réaliser

La géométrie des quadrupôles à aimants permanents pour SOLEIL II est représentée en 11.

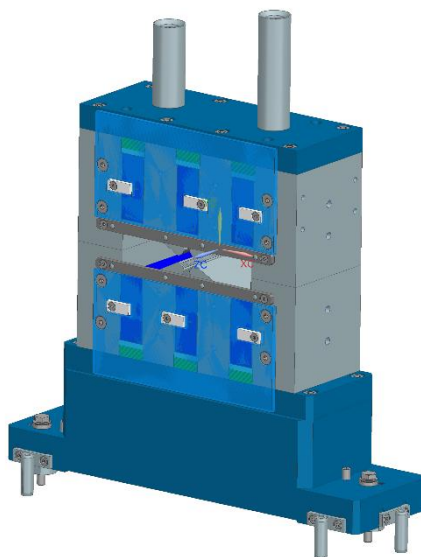


Figure 8 : Vue 3D d'un quadrupôle de SOLEIL II à réaliser

Le circuit magnétique est constitué de deux demi-culasses. Chaque demi-culasse est composée de trois rangées de blocs d'aimants permanents en Samarium-Cobalt, de deux pôles en acier doux (XC06), et de deux retours de flux en acier doux (XC06). L'acier (XC06) utilisé pour la fabrication des culasses et des pôles, ainsi que les aimants permanents en SmCo destinés à être insérés dans les culasses, font partie de la fourniture livrée par SOLEIL.

Le quadrupôle doit permettre :

- Le déculassage des deux demi-culasses afin de permettre l'accès à la chambre à vide,
- Le reculassage des demi-culasses avec maintien des performances mécaniques et magnétiques,

- La mise en place et le retrait des blocs d'aimants permanents dans des conditions compatibles avec la sécurité des opérateurs et la préservation des aimants.

Les performances magnétiques des quadrupôles étant fortement sensibles aux défauts géométriques, une exigence élevée de précision de fabrication et d'assemblage est requise. Une tolérance de forme maximale de 30 µm est requise sur les profils des quatre pôles après assemblage du quadrupôle.

2.2. PLANNING PREVISIONNEL

	Livraison 1er aimant	Livraison dernier aimant
Lot 1 (DNL)	T0+8 mois	T0+18 mois
Lot 2 (DNC)	T0+8 mois	T0+18 mois
Lot 3 (QUAP)	T0+8 mois	T0+18 mois