

DESCRIPTION SOMMAIRE DES ELECTROAIMANTS DE L'ANNEAU DE STOCKAGE DE SOLEIL II

Date de diffusion	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Modifications
02/06/2026	Responsable du WP 1.1.2	Groupe Achats Coordinateur Programme 1.1	Directeur DAI	
Destinataires	Soumissionnaires			

PUBLIC

La version électronique fait foi.



TABLE DES MATIERES

1. CONTEXTE.....	3
2. DESCRIPTION DU BESOIN.....	3
2.1.1. LES SEXTUPOLES	5
2.1.2. LES OCTUPOLES	6
2.1.3. LES QUADRUPOLES CORRECTEURS	7
2.2. PLANNING PREVISIONNEL.....	8
3. ANNEXE 1 DETAILS DES SEXTUPOLES.....	9
4. ANNEXE 2 DETAILS DES OCTUPOLES.....	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, quadrupôles, reversebends, sextupôles et octupôles) afin de guider le faisceau d'électrons. Une représentation d'une cellule est montrée Figure 2.

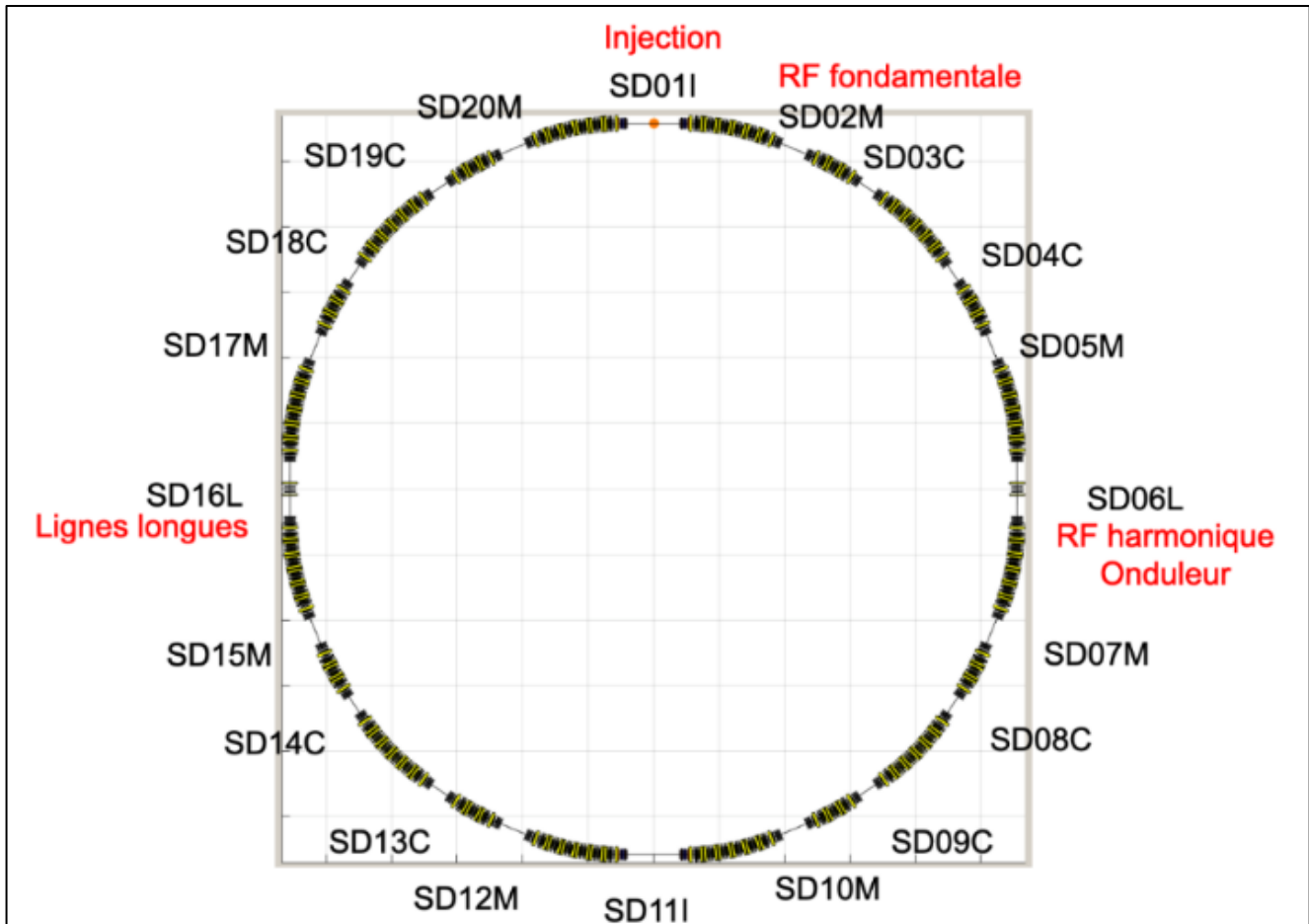


Figure 1: Vue générale de la maille de l'anneau de stockage de SOLEIL II composée de 20 « arcs » distincts.

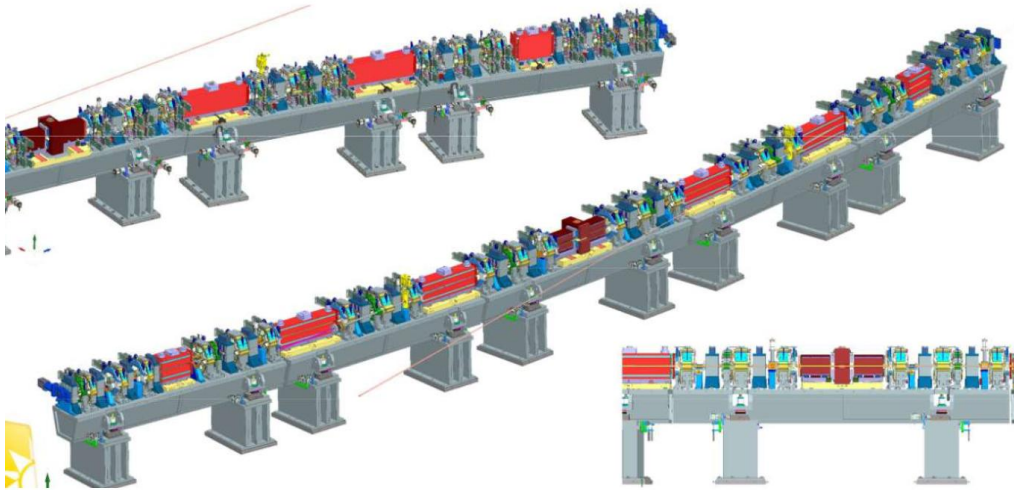


Figure 2 Vue générale d'un arc magnétique de l'anneau de stockage. Les électroaimants sont disposés de part et d'autre des dipôles (éléments en rouge) sur la figure.

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.
1. Le présent CCTP concerne la fabrication, et la fourniture des électro-aimants (sextupôles, octupôles et quadrupôles correcteurs).

Le marché se décompose en 3 lots :

1. Lot n°1 : fourniture de 412 sextupôles et 25 sextupôles de rechange,
2. Lot n°2 : fourniture de 160 octupôles et 13 octupôles de rechange,
3. Lot n°3 : fourniture de 212 quadrupôles correcteurs et 11 quadrupôles correcteurs de rechange.

Pour chacun des lots, un soin particulier sera pris afin de trouver parmi les nuances d'acier disponibles sur le marché, celle qui a un faible champ coercitif tout en garantissant de bonnes propriétés magnétiques à forte excitation. Le faible champ coercitif (inférieur à 35 A/m) permettra de limiter les effets d'hystérésis. Les propriétés magnétiques à forte excitation garantiront un fonctionnement le plus linéaire possible des électro-aimants. À titre indicatif, l'acier M270-50A ou équivalent répond à notre besoin.

Pour information, les électro-aimants seront fixés sur des supports acceptant deux types d'aimants pour former des « doublets ». Il y aura des doublets composés d'un sextupôle et d'un octupôle, ainsi que des doublets composés d'un sextupôle et d'un quadrupôle correcteur.

2.1.1. LES SEXTUPOLES

Les sextupôles sont composés de 6 sextants indépendants assemblés. Ces sextants sont réalisés à partir de tôles d'acier laminées.

Chaque sextant est équipé de blocs de bobines en cuivre comportant deux ou trois bobines ainsi qu'un capteur de température du type PT100 pour surveiller les échauffements. Dans ces blocs de bobines, les bobines principales génèrent le champ sextupolaire et les bobines de correction génèrent les champs dipolaires horizontaux et verticaux. Les bobines principales sont réalisées avec des conducteurs creux permettant leur refroidissement avec une circulation d'eau déminéralisée.

Afin de répondre à toutes les configurations possibles sur l'accélérateur, il y a douze familles de sextupôles qui se répartissent en différentes longueurs (60 mm, 75 mm, 90 mm et 120 mm), avec différentes formes polaires au centre et aussi en différentes largeurs pour le passage des chambres à vide des faisceaux de photons. La figure 3 montre un exemple de sextupôle et le tableau 1 donne la liste des sextupôles à réaliser.

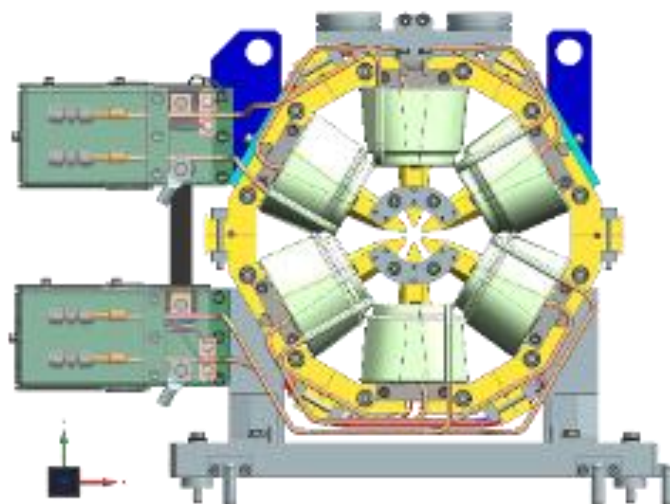


Figure 3 Exemple de sextupôle de SOLEIL II

Nom	Nombr e	Rechang e	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Intercorne (mm)	Type
Sextu_A	96	4	60	16	6.2	Standard
Sextu_B	12	4	75	21	6.2	Standard
Sextu_C	16	4	75	21	10	Standard
Sextu_D	10	1	90	16	6.2	Carved
Sextu_E	2	1	90	16	6.2	Carved
Sextu_F	84	2	90	16	6.2	Standard
Sextu_G	18	1	90	16	7	Oreilles
Sextu_H	58	1	90	16	7	Standard
Sextu_I	19	1	90	16	7.5	Notch
Sextu_J	1	1	90	21	10	Standard
Sextu_K	30	2	120	16	6.2	Oreilles
Sextu_L	66	2	120	16	6.2	Standard
Total	437					

Tableau 1 : Liste des sextupôles à réaliser

Les types de sextupôles sont détaillés en ANNEXE 1.

2.1.2. LES OCTUPOLES

Les octupôles sont composés de 8 octants indépendants assemblés. Ces octants sont réalisés à l'aide de tôles d'acier laminées.

Chaque octant est équipé des blocs de bobines en cuivre comportant 3 bobines ainsi qu'un capteur de température du type PT100 pour surveiller les échauffements. Dans ces blocs de bobines, les bobines principales génèrent le champ octupolaire et les bobines de corrections génèrent les champs quadripolaires normaux et tournés. Les bobines principales (octupôle) ainsi que les bobines du quadripôle tourné sont réalisées avec du méplat émaillé. Les

bobinages des quadrupôles normaux sont réalisés avec un conducteur creux, permettant leur refroidissement par circulation d'eau déminéralisée.

Afin de répondre à toutes les configurations possibles sur l'accélérateur, il y a cinq familles d'octupôles de 60 mm avec différentes formes polaires au centre et aussi en différentes largeurs pour le passage des chambres à vide des faisceaux de photons. La Figure 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre un exemple d'octupôle et le Tableau 2 donne la liste des octupôles à réaliser.

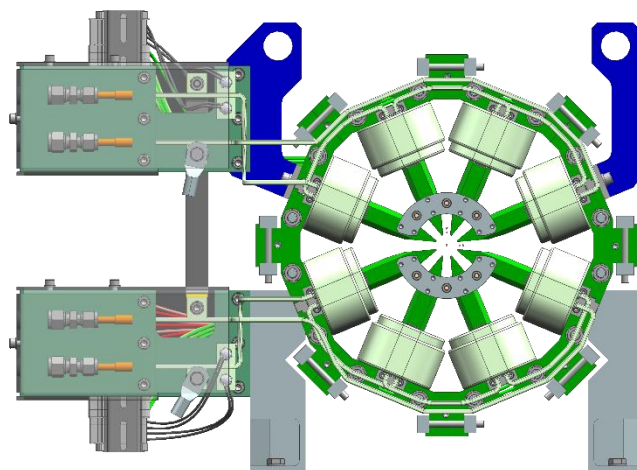


Figure 4 Exemple d'un octupôle pour SOLEIL II

Nom	Nombre	Rechange	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Intercorne (mm)	Type
OCTU_A	30	2	60	19	6.4	Oreilles
OCTU_B	19	1	60	19	6.4	Notch
OCTU_C	94	5	60	19	6.4	Standard
OCTU_D	1	1	60	21	7.18	Notch
OCTU_E	16	4	60	21	7.18	Standard
Total	173					

Tableau 2 Liste des octupôles à réaliser

Les types de octupôles sont détaillés en ANNEXE 2.

2.1.3. LES QUADRUPOLES CORRECTEURS

Les quadrupôles sont composés de 4 quadrants indépendants assemblés. Ces quadrants sont réalisés à l'aide de tôles d'acier laminées.

Chaque quadrant est équipé de blocs de bobines en cuivre comportant une bobine ainsi qu'un capteur de température du type PT100 pour surveiller les échauffements. Dans ces blocs de bobines, le bobinage est réalisé avec un conducteur creux permettant leur refroidissement avec une circulation d'eau déminéralisée.

Afin de répondre à toutes les configurations possibles sur l'accélérateur, il y a deux familles de quadrupôle correcteur. La Figure 5 montre un exemple de quadrupôle et le Tableau 3 donne la liste des quadrupôles à réaliser.

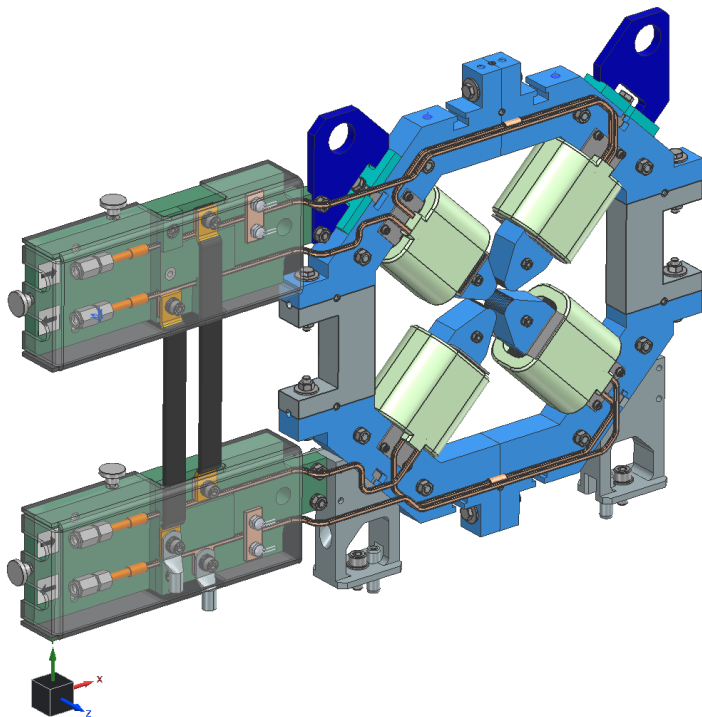


Figure 5 Exemple de quadrupôle correcteur de SOLEIL II

Nom	Nombre	Rechange	Longueur (mm)	Diamètre (mm)	Intercorne (mm)	Type
QUAD_A	200	7	24	19	7	Standard
QUAD_B	12	4	29	22	10	Standard
Total	223					

Tableau 3 Liste des quadrupôles correcteurs à réaliser

2.2. PLANNING PREVISIONNEL

	Livraison 1er aimant	Livraison dernier aimant
Lot 1 (Sextupoles)	T0+11 mois	T0+24 mois
Lot 2 (Octupoles)	T0+11 mois	T0+24 mois
Lot 3 (Quad. Correcteurs)	T0+8 mois	T0+14 mois

3. ANNEXE 1 DETAILS DES SEXTUPOLES

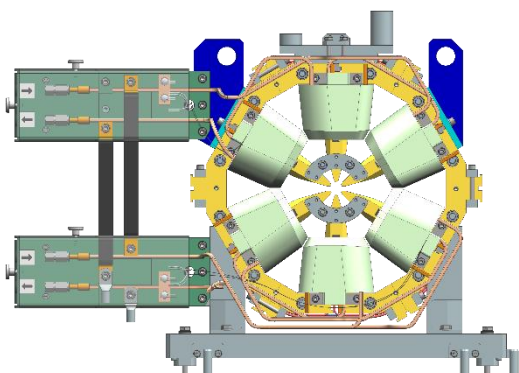


Figure 3 Sextupôle standard

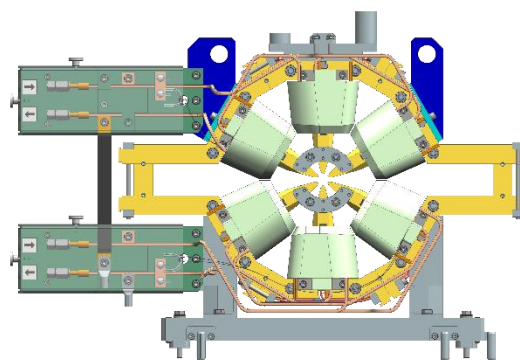


Figure 4 Sextupôle Oreilles

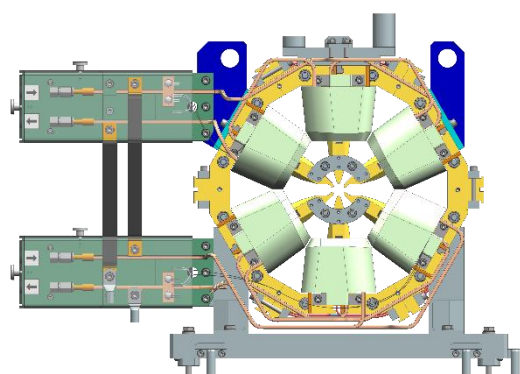


Figure 5 Sextupôle notch

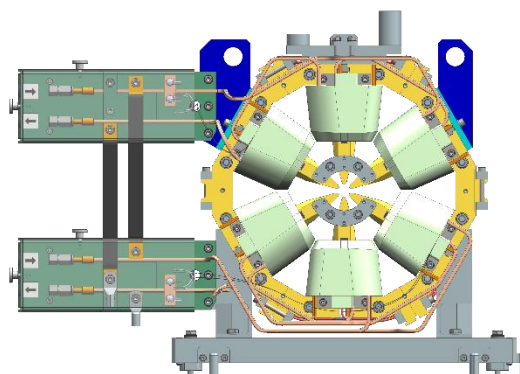


Figure 6 Sextupôle carved

4. ANNEXE 2 DETAILS DES OCTUPOLES

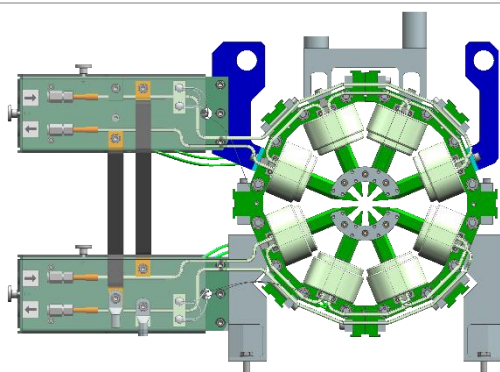


Figure 7 Octupôle standard

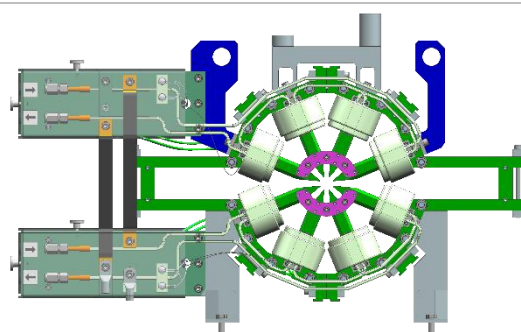


Figure 8 Octupôle Oreilles

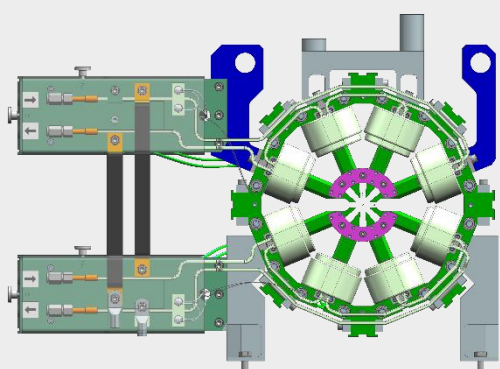


Figure 9 Octupôle notch