

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES  
PARTICULIERES (CCTP) POUR LA FOURNITURE  
D'UN SYSTEME COMPLET ( GENERATEUR DE  
FORME D'ONDE ARBITRAIRE (AWG : 10 GHz A 16  
GHz) ET D'UN OSCILLOSCOPE HAUTES  
PERFORMANCES (10 GHz A 16 GHz).**

Date de diffusion	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur	Modifications
31/10/2025	Responsable de la ligne SEXTANTS	Chercheur CNRS Responsable de la ligne HERMES	Responsable de la ligne SEXTANTS	
Destinataires				

**PUBLIC**

*La version électronique fait foi.*



# TABLE DES MATIERES

1.	PRESENTATION DU SYNCHROTRON-SOLEIL .....	3
2.	PRESENTATION DE LA LIGNE DE LUMIERE / GROUPE .....	4
3.	CONTEXTE.....	4
4.	OBJET.....	5
5.	SPECIFICATIONS TECHNIQUES .....	5
5.1	GENERATEUR DE FORME D'ONDE ARBITRAIRE (AWG).....	5
5.2	OSCILLOSCOPE NUMERIQUE TEMPS REEL.....	6
5.3	SPECIFICATIONS COMMUNES AU GENERATEUR DE FORME D'ONDE ARBITRAIRE ET A L'OSCILLOSCOPE.....	6
6.	VARIANTES .....	6
7.	LIVRAISON, INSTALLATION ET MISE EN SERVICE .....	6
8.	DOCUMENTATION .....	7
9.	FORMATION .....	7
10.	GARANTIE .....	7

## 1. PRESENTATION DU SYNCHROTRON-SOLEIL



Situé au cœur du cluster Paris-Saclay, à une vingtaine de kilomètres de Paris, SOLEIL<sup>1</sup> est la source française de rayonnement synchrotron. Dans cette Très Grande Infrastructure de Recherche, les expériences reposent sur l'utilisation d'un rayonnement lumineux produit par des paquets électrons circulant quasiment à la vitesse de la lumière dans un anneau. Ce rayonnement, exceptionnellement brillant, couvre une gamme de longueurs d'onde très large : de l'infrarouge jusqu'aux rayons X, en passant par les ultraviolets. Ses caractéristiques (intensité, focalisation, stabilité...) permettent d'observer la matière à toutes les échelles, jusqu'à celle de l'atome, pour des expériences tant en recherche fondamentale qu'en recherche appliquée ou d'intérêt industriel. Depuis 2008, SOLEIL est au service de nombreux domaines qui mobilisent la science et l'industrie aujourd'hui : la physique, la biologie, la chimie, la science des matériaux, l'environnement, les sciences de la Terre ou le patrimoine culturel, notamment. SOLEIL est placé sous la double tutelle du CNRS<sup>2</sup> et du CEA<sup>3</sup>, et offre à son personnel un environnement de travail pluridisciplinaire et international.

Pour plus de détails, on pourra se reporter au site web : <http://www.synchrotron-soleil.fr/>

---

<sup>1</sup> SOLEIL : Source Optimisée de Lumière d'Energie Intermédiaire du LURE\* (\*Laboratoire d'Utilisation du Rayonnement Électromagnétique)

<sup>2</sup> CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

<sup>3</sup> CEA : Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

## 2. PRESENTATION DE LA LIGNE DE LUMIERE / GROUPE

Les lignes de lumière SEXTANTS et HERMES du synchrotron SOLEIL sont deux installations complémentaires dédiées à l'étude des matériaux magnétiques grâce aux rayons X mous (50-1700eV). SEXTANTS utilise principalement des techniques de diffusion et diffraction résonante des RX, tandis qu'HERMES est spécialisée dans la microscopie X en transmission.

La ligne SEXTANTS est dédiée à l'étude des propriétés magnétiques, électroniques et structurales des matériaux, utilisant des techniques avancées de diffraction magnétique des rayons X et d'holographie X. Grâce à la haute brillance de sa source (qui sera encore amenée à progresser lors de l'upgrade de SOLEIL) et sa résolution spatiale inhérente aux techniques de diffraction (limité à la longueur d'onde), SEXTANTS permet d'explorer avec grande précision les phénomènes magnétiques à l'échelle nanométrique. La diffraction magnétique des rayons X pratiquée sur cette ligne offre un outil puissant pour sonder les arrangements magnétiques complexes dans des systèmes ferro-, antiferro- ou ferrimagnétiques, ainsi que dans des nanostructures et matériaux fonctionnels. La diffusion résonante des rayons X permet également d'accéder à la chiralité des textures magnétiques et ferroélectriques. Par ailleurs, l'holographie X, technique d'imagerie innovante exploitant les propriétés de cohérence des rayons X, permet de reconstruire en trois dimensions la distribution magnétique locale à l'échelle nanométrique, combinant haute résolution spatiale et grande sensibilité magnétique. Cette approche ouvre la voie à l'étude détaillée des domaines magnétiques, interfaces et défauts dans les matériaux.

HERMES, quant à elle, est spécialisée dans la spectroscopie des rayons X mous avec une source à polarisation variable. Cette capacité unique permet d'étudier les propriétés magnétiques des matériaux grâce à des techniques comme le dichroïsme circulaire magnétique (XMCD). Dans le domaine des études résolues en temps, HERMES s'adresse particulièrement à la recherche sur les matériaux ferro- et antiferromagnétiques, la spintronique et la physique de l'état solide, en fournissant une lumière synchrotron polarisée qui révèle les détails fins des propriétés électroniques et magnétiques à l'échelle nanométrique. Récemment, grâce aux détecteurs rapides à base de sCMOS développés par le groupe Détecteurs en collaboration avec l'équipe de la ligne SEXTANTS, il est maintenant possible d'exploiter la cohérence des rayons X et de réaliser des expériences de ptychographie des rayons X. Cette technique permet d'obtenir des résolutions spatiales record de l'ordre de quelques nanomètres.

## 3. CONTEXTE

Souhaitant réaliser des expériences résolues en temps utilisant les nouveaux détecteurs de SOLEIL, il est nécessaire de s'équiper d'un système avec une grande bande passante  $\geq 10$  GHz qui permettra de sonder les propriétés magnétiques avec une combinaison inégalée de résolution spatiale et de domaine temporel, combinaison uniquement accessible par rayons X. Cette approche est donc complémentaire aux techniques de laboratoire telles que BLS (Brillouin Light Scattering), magnéto-optique, centre NV..., ou par RIXS résolue en temps sur XFEL. Avec ce système, il sera possible sur la ligne SEXTANTS, grâce à la diffraction magnétique résonante des RX, d'observer la dynamique d'ondes de spin avec une résolution spatio-temporelle inégalée (GHz et nm). Ce système permettra d'étendre vers les hautes fréquences les possibilités offertes par la ligne HERMES d'imagerie résolue en temps de déplacement de parois et d'ondes de spin, modes de résonance ferromagnétiques, déplacement de parois, skyrmions, et autres textures magnétiques. De façon similaire à la ligne HERMES, l'holographie résolue en temps permettra d'imager ces mêmes phénomènes y compris dans des conditions extrêmes (30K, 1T) mais aux prix d'une préparation d'échantillon plus complexe.



## 4. OBJET

Notre besoin est un équipement qui se compose de deux sous-ensembles indissociables:

- d'un générateur de fonctions arbitraires (AWG) haute fréquence (gamme 10GHz->16GHz) qui permettra de produire des séquences temporelles complexes d'impulsions — telles que des schémas de type "pompe / reset / lecture", ou encore des excitations continues cohérentes — pour exciter des systèmes magnétiques, électroniques ou structuraux.
- d'un oscilloscope numérique ( gamme 10 GHz->16 GHz) qui permettra d'observer avec une haute-fidélité temporelle les signaux électriques générés ainsi que les réponses électriques des échantillons.

Le soumissionnaire pourra proposer du matériel neuf ou reconditionné ou une combinaison de matériel neuf et reconditionné. Seule condition, le matériel reconditionné devra avoir les mêmes garanties que pour du matériel neuf et une certification de fonctionnement avec des performances identiques à du matériel neuf.

## 5. SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Le présent cahier des charges définit les exigences techniques pour l'acquisition d'un système complet permettant de réaliser des mesures stroboscopiques de type pompe-sonde par excitation électrique de dispositifs magnétiques.

### 5.1 GENERATEUR DE FORME D'ONDE ARBITRAIRE (AWG)

<u>Caractéristique</u>	<u>Spécification attendue</u>
<b>Taux d'échantillonnage :</b>	≥ 65 GSa/s
<b>Nombre de voies :</b>	≥ 2
<b>Bande passante :</b>	≥ 10 GHz (évolutive à 16 GHz)
<b>Niveau de sortie :</b>	Au moins ≥ 1 Vpp, jusqu'à 2 Vpp si possible (50 Ω) <ul style="list-style-type: none"><li>➤ <i>Spécifiez l'acceptance de tensions de retour échantillon en cas de désadaptation d'impédance.</i></li><li>➤ <i>L'AWG doit avoir un circuit de protection contre les puissances inverses DC.</i></li></ul>
<b>Durée des impulsions :</b>	Inférieures à 200 ps jusqu'à de l'ordre de 10µs.
<b>Synchronisation</b>	Synchronisation sur signal externe de niveau variable : <ul style="list-style-type: none"><li>➤ <i>Spécifiez le niveau de signal externe nécessaire pour la synchronisation, le type de signal accepté et le délai entre le signal externe et le déclenchement (jitter).</i></li><li>➤ <i>Précisez si cela dépend des modes de déclenchement.</i></li></ul>
<b>Contrôle :</b>	Interface logicielle dédiée, pilotable à distance sur PC

## 5.2 OSCILLOSCOPE NUMERIQUE TEMPS REEL

<u>Caractéristique</u>	<u>Spécification attendue</u>
<b>Bande passante :</b>	$\geq 10$ GHz (évolutive à 16 GHz)
<b>Taux d'échantillonnage :</b>	$\geq 65$ GSa/s
<b>Nombre de canaux :</b>	4 analogiques
<b>Mémoire :</b>	$\geq 500$ Mpts/canal ( $\geq 1$ Gpts /canal souhaité)
<b>Résolution verticale :</b>	$\geq 10$ bits (souhaitée 12 bits sur toute la bande )
<b>Bruit :</b>	$\leq 350$ $\mu$ V à 10 mV/div ( $\leq 350$ $\mu$ V à 2 mV/div souhaité) ➤ <i>Spécifiez les limites en tension d'entrée.</i>
<b>Interface :</b>	Écran intégré + pilotage logiciel, contrôle local et distant ➤ <i>Spécifiez les possibilités offertes par l'appareil en mesure de type analyse spectrale.</i>
<b>Contrôle</b>	Pilotage distant possible par logiciel sur PC
<b>Accessoires :</b>	Stockage amovible, valise de transport, kit de démarrage, assistance/formation au démarrage

## 5.3 SPECIFICATIONS COMMUNES AU GENERATEUR DE FORME D'ONDE ARBITRAIRE ET A L'OSCILLOSCOPE

- Logiciels de contrôle intégrés pour pilotage AWG et oscilloscope de manière synchronisée,
- Logiciel d'analyse et de Scripting.

Les deux équipements doivent être compatibles avec des extensions ultérieures :

- ✓ **Générateur AWG** : ajout de voies, augmentation de l'amplitude de sortie, montée en fréquence à 16 GHz,
- ✓ **Oscilloscope** : passage à un modèle 16 GHz par mise à jour logicielle ou matérielle.

## 6. VARIANTES

Variante autorisée : **Un chiffage** pour une possibilité d'une bande passante supérieure à 10 GHz de l'un ou des deux équipements.

## 7. LIVRAISON, INSTALLATION ET MISE EN SERVICE

La livraison est attendue à SOLEIL sous six semaines à partir de la date de la signature du marché par SOLEIL.

L'installation et la mise en service seront assurées par le Titulaire. A compter de la date de la livraison, le délai en jours ouvré pour l'installation des équipements devra être précisé dans l'offre. L'installation comprend l'ensemble des branchements nécessaires au bon fonctionnement des deux équipements. À ce titre, le titulaire sera doté de tout l'outillage nécessaire. Cette installation devra être chiffrée.

Le titulaire assure la disponibilité d'un interlocuteur pour répondre sous 48 heures aux éventuelles difficultés rencontrées lors de l'utilisation du matériel.

## 8. DOCUMENTATION

Une documentation des équipements doit être fournie (format numérique ou papier) en langue française et/ou anglaise.

## 9. FORMATION

La formation des utilisateurs doit être incluse dans l'offre et se faire sur site. L'offre doit contenir une formation pour 3 personnes.

Le titulaire devra préciser la modalité de l'organisation de la formation dans le cadre de réponse technique. La formation devra être effectuée dans un délai inférieur à X jours ouvrés à compter de la mise en service. Cette formation devra être chiffrée comme une prestation supplémentaire éventuelle (PSE n°1) dans l'offre. La PSE n°1 pourra être levée à la signature du marché.

## 10. GARANTIE

Les modalités de garantie, précisant ce qui est inclus et exclu, sont indiquées dans le cadre de réponse technique du titulaire.

Le soumissionnaire est invité à chiffrer des extensions de la garantie de 1an et de deux ans.

- Extension de garantie de 1 an (PSE n°2),  
La PSE n°2 pourra être levée à la signature du marché.
- Extension de garantie de 2 an (PSE n°3).  
La PSE n°3 pourra être levée à la signature du marché.