

X Le présent cahier des charges ne contient aucune information de niveau « Diffusion Restreinte » ou « classifiées » ou relevant de la protection du potentiel scientifique et technique de la nation, ce qui permet la mise en ligne de ce document sur la plate-forme dématérialisée du CEA,

☐ Le présent cahier des charges contient des informations Diffusion Restreinte (DR) ou relevant de la Protection du Potentiel Scientifique et Technique de la Nation de ce fait la mise en ligne sur la plateforme dématérialisée du CEA de ce document **est possible via un conteneur chiffré ZED !**,

☐ Le présent cahier des charges contient des informations classifiées, de ce fait **la mise en ligne** sur la plate-forme dématérialisée du CEA de ce document **est strictement interdite**.

SPECIFICATIONS TECHNIQUES

Objet : Mise en place des contraintes de timing et optimisation de placement sur Zynq-7030

N° Chrono : DRT-LETI-DSYS-SSCE-LAIC-26-03-000553

Date : 09/03/2026

Affaire suivie par : Sébastien Boisseau

Nom	Fonction	Entité	Visa
Auteur(s)			
S. BOISSEAU	Chef de laboratoire	DSYS/SSCE/LAIC	BOISSEAU, Sébastien Signé numériquement Le 06/03/2026
Vérificateurs			
M.MIELET	Ingénieur Sécurité	DSYS/DIR	MIELET, Magali Signé numériquement Le 06/03/2026
K. WARLOUZEL	ASSI	DSYS/DIR	WARLOUZEL, Karine Signé numériquement Le 09/03/2026
Approbateur			
M. PLISSONNIER	Chef de Service	DSYS/SSCE	PLISSONNIER, Marc Signé numériquement Le 10/03/2026
F. CLERMIDY	Chef de Département	DSYS/DIR	CLERMIDY, Fabien Signé numériquement Le 10/03/2026

Diffusion :
Prestataires



GLOSSAIRE

ASM-V	Absolute Scalar Magnetometer (magnétomètre hélium-4 précédemment développé par le laboratoire pour la mission ESA Swarm)
DPU	Data Processing Unit
EDU	Engineering Development Unit
EGSE	Electrical Ground Support Equipment
EM	Engineering Model
EQM	Engineering Qualification Model
FM	Flight Model
HFM	High Frequency Magnetometer
HW	Hardware
MAM	Miniature Absolute Magnetometer
NMS	NanoMagSat
NA	Non Applicable
OS RT	Operating System Real Time (système d'exploitation temps réel)
SW	Software
TBC	To Be Confirmed
TBD	To Be Defined

Tableau 1 : glossaire

1 Objet

Le CEA développe un projet relatif à la spatialisation de magnétomètres hélium-4 « MAM » et « HFM » dans le cadre du projet NanoMagSat pour le programme SCOUT de l'ESA.

Le présent cahier des charges décrit dans ce cadre le contenu de la prestation attendue pour la définition, la mise en œuvre et la validation des contraintes de timing, ainsi que l'optimisation de placement sur cible Zynq-7030.

La prestation sera réalisée sur site ou en partie sur site, pour le compte du CEA. Elle est structurée en une tranche ferme de 4 mois et de 1 tranche optionnelle de 2 mois ; pour un estimatif global de 96 jours de travail (64 dans le lot ferme ; 32 dans le lot optionnel).

Description de l'unité et contexte :

Le laboratoire LAIC du département système au CEA-Leti développe actuellement un projet relatif à la spatialisation de magnétomètres hélium-4 dans le cadre du projet NanoMagSat de la mission SCOUT de l'ESA, lancé en novembre 2024. L'objectif de cette mission est l'étude du champ magnétique et ionosphérique terrestre, réalisée à l'aide d'une constellation de trois nano satellites lancés sur des orbites basses. Chacun des satellites de cette constellation repose sur une plateforme CubeSat 16U qui embarquera dans sa charge utile scientifique deux types de magnétomètres à hélium-4 fournis par le laboratoire :

- Le MAM (pour Miniature Absolute Magnetometer) qui réalisera une mesure scalaire absolue du champ magnétique terrestre, sur lequel a été rajouté une modalité de mesure vectorielle absolue basse fréquence du champ magnétique. Cet instrument est l'équivalent du magnétomètre ASM-V mis en œuvre sur la mission spatiale Swarm de l'ESA et qui avait déjà été développé par le laboratoire.
- Le HFM (pour High Frequency Magnetometer) qui réalisera une mesure vectorielle haute fréquence du champ magnétique terrestre à l'instar des magnétomètres de type fluxgate mais avec une résolution améliorée.
La phase d'implémentation de NanoMagSat est lancée sur 4 ans, le contrat avec l'ESA ayant été signé avec le maître d'œuvre Open Cosmos en novembre 2024. Au cours de cette phase d'implémentation, le laboratoire doit réaliser et opérer les modèles de qualification et les modèles de vol des instruments MAM et HFM et leur une électronique mutualisée, le DPU. Le lancement du premier satellite doit avoir lieu dans les 2 ans, soit avant octobre 2027.

Le présent cahier des charges décrit le contenu de la prestation attendue pour la définition, la formalisation et la validation des contraintes de timing du design FPGA, ainsi que l'optimisation de son implémentation sur cible Xilinx Zynq-7030, et prenant en compte les contraintes d'occupation de la matrice.

Les prestations à réaliser comprendront :

- la définition, la documentation et l'implémentation des contraintes de timing pour chaque IP utilisée (environ une trentaine),
- la définition, la documentation et l'implémentation des contraintes de timing pour le design global,
- la définition, la documentation et l'implémentation des contraintes d'optimisation de placement, si nécessaire,
- l'estimation de la consommation du cœur numérique aux températures nominales, maximales et minimales,
- l'aide au repliement des modules (avec éventuellement du recodage de module) afin que toutes les fonctionnalités puissent être intégrées dans la matrice 7030,
- l'amélioration des modèles externes de composant et la génération des reporting de simulation explicite qui soit exploitable par un outil de traitement automatique (Junit sous environnement jenkins), et,
- la suppression de l'intégralité des warnings ou leur explication afin de les masquer vis-à-vis de l'outil vivado via un fichier TCL de traitement des exceptions suite à une analyse des warnings.

Le FPGA utilisé est un Xilinx Zynq 7030. Le design est actuellement développé à environ 90 % et a été testé fonctionnellement. L'occupation de la matrice est d'environ 90 % des LUT et 75 % des DSP48.

À ce jour, aucune contrainte de timing n'a été formalisée ; seule la clock clkchip est décrite, avec une fréquence cible de 150 MHz. La fréquence AXI est de 15 MHz. Le design comporte plusieurs interfaces CAN/CNA, et la génération des PL est effectuée dans un contexte d'intégration continue à l'aide de Jenkins.

Le projet fait appel à une trentaine d'IP custom ainsi qu'à des IP classiques Xilinx (telles que DDS Compiler, CIC Compiler, axi_clock_converter, xlconstant, xlslice, util_vector, etc.).

L'ensemble du projet est intégralement scripté en TCL.

2 Définition de la prestation

2.1 Description détaillée des tâches

La prestation est composée de 2 Missions ferme (Mission 1 et Mission 2) et de 1 Mission optionnelle (Mission 3). Ces différentes tâches sont décrites ci-dessous :

Mission 1 : Contraintes de timing et optimisation de placement sur Zynq-7030 (ferme) [M1-M4]

Tâche 1.1 : Optimisation de l'implémentation des contraintes de timing

Cette tâche consiste à :

- analyser l'architecture du design FPGA et identifier les domaines d'horloge et les interfaces critiques ;
- optimiser la stratégie globale de contraintes de timing ;
- rédiger et implémenter les fichiers de contraintes (.xdc) nécessaires pour :
 - les IP custom utilisées dans le projet ;
 - les IP Xilinx intégrées ;
 - le design global ;
- optimiser et documenter les horloges et domaines d'horloge ;
- identifier et implémenter les exceptions de timing appropriées :
 - false paths
 - multicycle paths
 - contraintes spécifiques aux interfaces ;
- analyser les rapports de timing et identifier les chemins critiques ;
- produire une documentation détaillant la stratégie de contraintes adoptée.

Livrable L1.1 :

- Documentation technique décrivant :
 - la stratégie de contraintes adoptée
 - les horloges et domaines d'horloge
 - les exceptions de timing utilisées (false path, multicycle, etc.)
- Rapports d'analyse de timing (chemins critiques, marges de timing)

Tâche 1.2 : Aide au repliement des modules

Cette tâche consiste à analyser l'occupation actuelle du FPGA et à proposer des optimisations permettant l'intégration complète du design sur la cible Zynq-7030.

Elle comprend notamment :

- l'analyse de l'occupation des ressources FPGA (LUT, DSP, BRAM)
- l'identification des modules critiques en termes de ressources ou de timing
- la proposition et la mise en œuvre d'optimisations d'architecture ou de codage
- le recodage éventuel de certains modules RTL si nécessaire
- la mise en place de contraintes de placement (floorplanning, pblocks) si nécessaire
- l'analyse et l'optimisation des résultats d'implémentation

Livrable L1.2 :

- Documentation des optimisations réalisées
- Liste des modifications apportées au RTL
- Contraintes de placement éventuelles (pblocks)
- Rapports d'implémentation et d'occupation des ressources

Mission 2 : Amélioration des modèles et traitement des exceptions (ferme) [M1-M4]

Tâche 2.1 : Amélioration des modèles externes de composants

Cette tâche vise à améliorer les modèles externes de composants utilisés dans les simulations afin de garantir leur cohérence avec le comportement réel attendu et de faciliter leur exploitation dans les campagnes de test automatisées. Elle comprend notamment :

- l'analyse et l'amélioration des modèles existants ;
- la correction ou la réécriture éventuelle de certains modules ;
- la génération de rapports de simulation exploitables automatiquement dans l'environnement d'intégration continue (Jenkins / JUnit).

Livrable L2.1 :

- *Code des modules recodés avec leur tests associés*

Tâche 2.2 : Traitement des exceptions

Cette tâche vise à analyser l'ensemble des warnings générés par les outils de synthèse et d'implémentation Vivado, puis à :

- supprimer les warnings lorsque cela est possible
- documenter les warnings restant lorsqu'ils sont justifiés
- les expliciter afin de les masquer vis-à-vis de l'outil vivado via un fichier TCL de traitement des exceptions suite à une analyse des warnings.

Livrable L2.2 :

- *Fichiers de warning_analysis_exception.tcl commentés*

Mission 3 : Amélioration de la maturité technologique (optionnel) [M5-M6]

Tâche 3.1 : Amélioration de la maturité du design et du flot de développement

Cette tâche vise à améliorer la maturité technologique du design FPGA et du flot de développement associé, afin d'en renforcer la robustesse, la maintenabilité et la traçabilité dans le cadre du projet NanoMagSat.

Elle comprend notamment :

- l'analyse du flot de développement existant (synthèse, implémentation, simulation et tests)
- l'identification des améliorations possibles en termes de robustesse, reproductibilité et automatisation

- l'amélioration ou la mise en place de scripts d'automatisation pour les différentes étapes du flot (génération, synthèse, implémentation, vérification)
- l'amélioration de la génération et de l'exploitation des rapports techniques (timing, ressources, simulation) afin de faciliter leur analyse
- l'intégration ou l'adaptation de ces mécanismes dans l'environnement d'intégration continue existant
- la production d'une documentation décrivant les bonnes pratiques et les améliorations mises en œuvre

Livrable L3.1 :

- Scripts ou outils d'automatisation développés ou améliorés
- Rapports techniques générés dans le cadre du flot amélioré
- Documentation décrivant les améliorations apportées au flot de développement et au design.

2.2 Mise à disposition des résultats de la prestation

Les résultats seront documentés et transférés au CEA par le biais des livrables dont la nature, la fréquence et le nombre sont détaillés ci-dessus (§2.1).

Il sera en outre demandé au prestataire d'assister aux réunions de projet hebdomadaires en interne CEA et, à cette occasion, de faire un bref résumé au reste de l'équipe de son avancement sous forme de synthèses techniques régulières (planches powerpoint). Ce suivi vient en complément du suivi d'avancement administratif et organisationnel décrit au paragraphe 5.3 ci-dessous.

2.3 Répartition de la charge de travail et facturation :

A titre purement indicatif, nous estimons que la répartition des efforts pourrait être la suivante :

- Mission 1 : 33% (ferme)
- Mission 2 : 33% (ferme)
- Mission 3 : 33% (optionnelle)

3 Planning prévisionnel

Démarrage souhaité de la prestation : 5 mai 2026

<i>Tâches</i>	<i>Livrables</i>	<i>Durée estimée</i>	<i>Début</i>	<i>Fin</i>	<i>Tranche</i>
Mission 1 : Contraintes de timing et optimisation de placement sur Zynq-7030 (ferme) [M1-M4]					

Tâche 1.1 : Optimisation de l'implémentation des contraintes de timing	Livrable L1.1	2 mois	T0	T0+2mo is	Ferme
Tâche 1.2 : Aide au repliement des modules	Livrable L1.2	2 mois	T0+2m ois	T0+4mo is	Ferme
Mission 2 : Amélioration des modèles et traitement des exceptions (ferme) [M1-M4]					
Tâche 2.1 : Amélioration des modèles externes de composants	Livrable L2.1	2 mois	T0	T0+2mo is	Ferme
Tâche 2.2 : Traitement des exceptions	Livrable L2.2	2 mois	T0+2m ois	T0+4mo is	Ferme
Mission 3 : Amélioration de la maturité technologique (optionnel) [M5-M6]					
Tâche 3.1 : Amélioration de la maturité du design et du flot de développement	Livrable L3.1	2 mois	T0+4m ois	T0+6mo is	Optionne l

4 Compétences requises

Pour le présent cahier des charges, les compétences attendues sont les suivantes :

- Expert FPGA en contrainte de timing et d'optimisation d'occupation, rédaction de fichier xdc
- Maitrise de l'outil Vivado pour cible Zynq 7030
- VHDL/Verilog (les tests fonctionnels sont écrits en verilog)
- Scripting TCL
- Expérience en pilotage de capteurs hautes performances (magnétométrie, spectrométrie, capteurs quantiques, capteurs pour le spatial ou la défense...)
- Floorplanning (si nécessaire)

5 Conditions d'exécution des prestations

5.1 Mise à disposition de locaux et équipements

La prestation sera effectuée sur le site ou en partie sur le site du CEA Grenoble.

Les modalités de mise à disposition des locaux sont décrites dans le document « PROJET DE MARCHE » joint au dossier de consultation.

5.2 Moyens techniques d'exécution - Mise à disposition de fichiers ou programmes informatiques

Dans le cadre des Prestations confiées au Prestataire et pour leur bonne exécution, le CEA peut mettre à la disposition du Prestataire des fichiers informatiques de données, des programmes informatiques, sous quelque forme que ce soit (codes sources, codes objets, codes exécutables).

Il est de convention expresse que le CEA est et reste propriétaire des ensembles mis à la disposition du Prestataire. Les données contenues dans ces fichiers ou programmes ne peuvent être exploitées par le Prestataire que pour les besoins des Prestations qui lui sont confiées. Toute autre diffusion ou exploitation, sous quelque forme que ce soit, lui est interdite. De même, il lui est interdit d'effectuer des copies de ces fichiers ou programmes.

En conséquence, le Prestataire doit s'obliger à prendre toutes mesures tendant à assurer le secret le plus absolu sur les données communiquées. Il ne peut communiquer les éléments relatifs à celles-ci qu'aux membres de son personnel appelés à travailler pour exécuter les Prestations considérées. A l'issue des Prestations, le Prestataire doit restituer sans délais les fichiers ou programmes au CEA et n'en conserver aucune trace.

Les modalités de mise à disposition des fichiers informatiques sont décrites dans le document « PROJET DE MARCHE » joint au dossier de consultation.

5.3 Suivi

Le suivi de l'avancement des prestations sera réalisé entre le chef de laboratoire LAIC et/ou le responsable projet du CEA, et le responsable identifié par le prestataire. La fréquence sera tous les mois et/ou à chaque livraison de livrable comme spécifié dans la description des tâches.

Ces réunions s'accompagnent de remise de comptes rendus d'activités en se basant sur les livrables. Des réunions « projet » seront également organisées entre les responsables techniques CEA et le prestataire, comme décrit au paragraphe 2.2 ci-dessus.

Toutes ces activités de suivi (réunions et comptes rendus) sont comprises dans le prix indiqué dans l'offre financière.

5.4 Confidentialité

Les obligations en matière de secret et de confidentialité sont régies par les articles 11 et 12 des Conditions Générales d'Achat (CGA) applicables aux marchés passés par le CEA.

Le prestataire doit préciser quelles sont les informations confidentielles contenues dans son offre. Il précise l'usage qui peut en être fait, la durée de l'obligation de confidentialité, les personnes tenues au secret et les personnes auxquelles l'information ne doit pas être transmise

6 Garanties

Sous réserve de leur acceptation par le CEA, le prestataire explicitera les conditions de garanties de sa prestation.

7 Sécurité

Les règles de sécurité applicables aux entreprises extérieures sont définies dans le document EQ/CS 23-10 indice A, qui est joint au présent cahier des charges.

L'attention du prestataire est attirée sur l'importance d'examiner attentivement ce document, afin de pouvoir répondre point par point à ces règles et s'y conformer dans le cadre du Marché.

Dans sa réponse à l'appel d'offres, le prestataire donnera au CEA les éléments permettant de s'assurer que les exigences en matière de sécurité, définies notamment dans le document EQ CS23-10 indice A, sont bien comprises et appliquées.

Les éléments mentionnés ci-dessous, dans la partie sécurité du cahier des charges ne se substituent pas aux règles définies dans le document EQ/CS 23-10 indice A, qui font référence.

7.1. Dispositions générales

Voir le document **EQ/CS 23-10 indice A**

Le PRESTATAIRE conserve l'entière responsabilité des personnels qu'il emploie. Il est donc de sa responsabilité d'appliquer et de faire appliquer les règles de sécurité en vigueur au CEA-Grenoble.

Un Plan de Prévention (ref. page 4 document EC/CS 23-10) sera conjointement établi, entre le CEA, le Prestataire et ses sous-traitants éventuels, préalablement au démarrage du contrat, et à l'issue de la « visite d'inspection commune ».

L'analyse des risques et le plan de prévention seront mis à jour en cas de travaux non définis dans le plan de prévention initial (activités, lieux, changements des risques d'interférence ou de coactivité etc...).

Le personnel du PRESTATAIRE devra assister aux réunions d'accueil sécurité des nouveaux arrivants d'entreprises extérieures (ref. page 2 document EC/CS 23-10).

7.2. Dispositions particulières (réf. pages 5-6-7 et 8 document EQ/CS 23-10)

Le prestataire est responsable de la formation et de la qualification de son personnel (ref. page 8 document EQ/CS 23-10)

Produits chimiques :

Toute introduction de produits chimiques par le prestataire est soumise à l'accord préalable du Chef d'installation et de l'ingénieur sécurité d'Installation, avec à minima la fourniture au CEA de la Fiche de Données de Sécurité des produits concernés, et leurs quantités.

Risque électrique : Le personnel du prestataire doit être formé, habilité et désigné par son employeur. Le travail sous tension et au voisinage de la tension est interdit (ref. page 6 document EC/CS 23-10).

Un état des formations et habilitations du personnel affecté au Marché sera communiqué en début de contrat, cet état sera nominatif (ref. pages 7 et 8 document EC/CS 23-10).

Les attestations des différentes formations et habilitations seront présentées par le prestataire à toute demande du CEA, lors de l'établissement du plan de prévention, et avant tout changement de personnel.

L'attention du prestataire est attirée sur sa responsabilité de fournir l'ensemble des matériels nécessaires à l'exécution du Marché, y compris les équipements de protection individuelle.