



<p align="center"><b>CNES</b>  Direction Technique et Numérique  Sous-Direction Techniques et  Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES  TECHNIQUES DU MARCHÉ-  CADRE ALGORITHMIQUE  SCIENTIFIQUE POUR  L'OBSERVATION DE LA  TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401  Date : 14/01/2026  Version : 1  Page : 2/10</p>
---	--	--

## Page d'analyse documentaire

Classification (+ qualification pour Diffusion Limitée) : <b>Non sensible</b>		
Mots clés : <b>Algorithmie, scientifique</b>		
Rédacteurs : <b>JM. LAHERRERE</b>		
Résumé :  Ce document décrit les besoins techniques pour la mise en place de marchés « cadre » pour l'algorithmie et les études scientifiques des missions spatiales d'observation de la Terre du CNES, à l'exception de la géodésie.		
Gestion en configuration : <b>non</b>	A dater du : <b>Date de parution</b>	Par :
Contrat :		
Logiciel(s) hôte : <b>Word MS-Office</b>		Nombre de pages supplémentaires :

## Historique des modifications

Version	Date	Chapitres modifiés / Raison / Nature de l'évolution
1	/26	Création du document.

<p><b>CNES</b>  Direction Technique et Numérique  Sous-Direction Techniques et  Performances Instruments</p>	<p><b>CAHIER DES CLAUSES  TECHNIQUES DU MARCHÉ-  CADRE ALGORITHMIQUE  SCIENTIFIQUE POUR  L'OBSERVATION DE LA  TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401  Date : 14/01/2026  Version : 1  Page : 3/10</p>
--	--	--

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION ..... 4

2. EXIGENCES GENERALES..... 4

2.1 COMPETENCES RELATIVES AUX DIFFERENTS DOMAINES  
D'ACTIVITE.....4

2.2 MOYENS DE CALCUL ET LOGICIELS .....5

2.3 EXIGENCES GENERALES RELATIVES AUX ACHATS DURABLES  
(RSE)..... ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.

2.4 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES ACTIVITES .....5

2.5 THEMATIQUES ET PROJETS ABORDES .....6

2.6 HABILITATIONS .....6

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 4/10</p>
--	---	---

## 1. INTRODUCTION

Ce document décrit les besoins techniques pour la mise en place de marchés « cadre » pour l'algorithmie et les études scientifiques des missions spatiales d'observation de la Terre du CNES, à l'exception de la géodésie.

Le but est de confier à plusieurs titulaires des activités d'ingénierie scientifique dans le domaine de l'observation de la Terre. Ces activités peuvent aussi bien concerner des études techniques, du développement d'outils logiciel, de la définition d'algorithmes de traitement, du maquettage d'algorithmes, de l'expertise technique ou du travail en assistance technique au sein d'une équipe du CNES. Les développements informatiques de chaînes de traitement des segments sol opérationnels, même pour des missions à vocation scientifique, ne font pas partie de ce marché.

Ces activités pourront concerner le maquettage et la maintenance d'outils métier, les phases amont d'un projet (aide à la spécification de mission, dimensionnement système, trade-off système ...), les phases de développement et validation d'un projet (modélisation, définition de l'algorithmie de traitement, bilans de performances, simulations, aide à la recette en vol...), l'algorithmie pour les applications aval et les phases d'exploitation (étalonnage et suivi des performances en orbite, validation de produits scientifiques, définition de nouveaux produits...). Concernant les études métier et la R et T relevant de ce domaine, on pourra consulter hors de la PA, ce qui permettra de travailler avec des sociétés non référencées dans le lot principal dans le souci de préserver la possibilité d'exploration de nouvelles approches ou de solutions innovantes.

Le domaine concerné est vaste et les compétences requises multiples, recouvrant les thématiques telles que l'imagerie optique, le sondage atmosphérique visible et infra-rouge, l'altimétrie, l'instrumentation active, micro-onde (radar) et lidar, l'instrumentation passive dans toutes les longueurs d'onde, et les traitements transverses permettant d'hybrider et d'exploiter les données provenant de différents types de sources.

Il est demandé aux soumissionnaires de couvrir l'intégralité du domaine de compétence.

Un cas test est présenté en annexe. Ce cas test ne donnera pas lieu à une consultation future et reste un cas test hypothétique, la réponse technique au cas test ne devra pas dépasser 15 pages.

## 2. EXIGENCES GENERALES

### 2.1 COMPETENCES RELATIVES AUX DIFFERENTS DOMAINES D'ACTIVITE

Dans leur proposition technique, les soumissionnaires devront démontrer qu'ils disposent des compétences nécessaires pour couvrir toutes les activités décrites dans ce document. Les exigences planning étant souvent fortes et devant être tenues, les propositions devront s'appuyer essentiellement sur du personnel expérimenté.

Au titre de chacune des thématiques, des connaissances scientifiques et techniques dans le domaine considéré sont demandées ainsi qu'une maîtrise de la physique de la mesure concernée. Les compétences requises concernent à la fois la physique des phénomènes observés, la physique des capteurs, les fondamentaux des systèmes spatiaux (repères, orbites, attitude), la capacité à modéliser des systèmes complexes, ainsi que l'algorithmie de traitement.

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 5/10</p>
--	---	---

Les différents titulaires devront justifier d'une triple compétence : thématique, algorithmique (mathématiques appliquées, physique, traitement du signal, extraction d'informations) et informatique. Une bonne maîtrise des différents types de produits sera également nécessaire (du niveau 0 au niveau 2, a minima), ainsi qu'une bonne maîtrise des processus de transformation lors de la montée en niveau de ces produits.

Pour la plupart des tâches liées aux études algorithmiques, une compétence mathématique dans le domaine de la statistique, des méthodes modernes de traitement du signal et de l'analyse numérique (optimisation de grands systèmes, problèmes inverses, pouvant aller jusqu'à l'assimilation dans des modèles géo/biophysiques, utilisation des techniques d'IA) sera nécessaire.

Une capacité à opérer et à faire évoluer des prototypes de chaînes de traitement complexe de façon pré-opérationnelle sera particulièrement appréciée.

## 2.2 MOYENS DE CALCUL ET LOGICIELS

Les moyens de calcul nécessaires à la réalisation des travaux demandés devront être disponibles chez les titulaires. Cependant, en première intention, il sera demandé aux titulaires de travailler sur le cluster de calcul TREX (ou ARYX pour les activités DRSF). L'accès sera défini en liaison avec les services de sécurité du CNES et après leur accord.

Un certain nombre de chaînes de traitement, de codes de transfert radiatif ou d'outils logiciel du CNES pourront être mis à la disposition des titulaires. Citons par exemple (liste non exhaustive) :

- MNP IASI, IRIS IASI-NG, codes de transfert radiatif 4AOP, SOS-ABS, 4ARTIC, BLISS.
- EUCLIDIUM, LibGeo, SIMILI, AGILE, SIGMA, MEDICIS, Xdem, CARS-Pandora-2D, Grid'R, Maja-Next ARDEO, MUSCLE-NEO, ROSAS, GROSTEC, OTB, S2P, PERSEUS, SUMULU, ASTERIX, simulateur 3D, QI LAB, SurfWater, dem4water...
- RADARSPY, [RADIOSPY](#), S1Tiling, ...
- GINS et DYNAMO (avec leurs bibliothèques de programmes).
- CARS, BULLDOZER, SLURP, modèles IA de segmentation sémantique (avec bases d'apprentissage associées)
- Les outils référencés sur le catalogue GEODES-TOOLS ([geodes-tools.cnes.fr](http://geodes-tools.cnes.fr))

## 2.3 LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES ACTIVITES

Les différentes activités devront être, par défaut, conduites dans les locaux des titulaires. Cependant dans le cas où des outils ou des moyens CNES sont indispensables à la réalisation d'une activité, ou si une interaction forte avec les équipes CNES est indispensable, celle-ci pourra se dérouler dans les locaux du CNES.

Une proximité géographique avec le Centre Spatial de Toulouse n'est pas indispensable.

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 6/10</p>
--	---	---

## 2.4 THEMATIQUES ET PROJETS ABORDES

Le marché cadre recouvre les thématiques suivantes dans les domaines de l'observation des terres émergées, de l'océan et de l'atmosphère :

- Instrumentation micro-onde passive.
- Instrumentation micro-onde active.
- Instrumentation visible et infra-rouge passive.
- Instrumentation visible et infra-rouge active (LIDAR).
- Hybridation de données pour l'extraction d'informations

Outre ces thématiques, le marché cadre couvre également les études et développements d'extractions d'informations de plus haut niveau à partir de tous types de systèmes spatiaux, éventuellement hybridés avec des données exogènes (sol, météo, SIG ...), briques de base pouvant mener aux développement de futures applications.

Les nouveaux projets CNES à venir, en plus des projets qui font déjà appel aux titulaires parmi lesquels (liste non exhaustive) CSO, Pléiades, IRIS, IASI et IASI-NG, Merlin, 3MI, MicroCarb, SWOT, CFOSAT, CO3D, C3IEL, TRISHNA ... du précédent marché cadre, sont : l'hyperspectral, SCALE, LYNX, ODYSEA, AOS, [REVALTO](#), [SalinityHR](#), [CFOSAT-NG](#), [CORSAIR](#) ou CMIM par exemple.

Certaines études concerneront aussi des données provenant de systèmes de télédétection au sens large (OT surtout, mais pas exclusivement) : missions CNES, mais aussi Sentinelles, missions Eumetsat, missions THR américaines ou autres, missions SAR (yc. SAR THR), capteurs multi-super- ou hyper-spectraux, etc. et d'instrumentation sol (spectromètre EM27, ASD, radiomètres visibles et IR, emissivity box ...).

Des études traitant de synergie ou d'hybridation entre des données de différents capteurs ou des données capteurs et des modèles seront également considérées.

Liste non exhaustive et appelée à s'enrichir durant les quatre ans du marché cadre.

## 2.5 HABILITATIONS

Certaines activités menées dans le cadre de programmes classifiés demandent une habilitation de niveau Secret et/ou Très secret. Pour les conduire, les titulaires devront proposer des personnels habilités.

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 7/10</p>
--	---	---

## Annexe : CAS TEST

### A1. ACTIVITES TPI/SA

#### A1.1 : Introduction

Au sein de la sous-direction « Techniques, Performances, Instruments », le domaine de compétence de ce service porte sur la physique de la mesure et le traitement des données des instruments optiques, destinés à l'observation de la colonne atmosphérique, à vocation scientifique ou environnementale : spectro-imageurs, spectromètres, lidars et autres sondeurs. Il porte également sur l'ingénierie mission des projets développés dans ce domaine.

Le service est chargé, pour les systèmes relevant de son domaine de compétence, de l'activité système portant sur la qualité des produits : analyses techniques de mission et traduction en spécifications système, simulations de produits, études de faisabilité, modélisation système, analyses de compromis bord-sol, établissement et suivi de bilans de performance de niveau système, spécification et validation des algorithmes de traitement, préparation et conduite de la recette en vol des systèmes, caractérisation des performances des produits et suivi des systèmes durant leur vie opérationnelle.

Ce service traite plus particulièrement les aspects radiométriques et spectraux des chaînes de mesure : prise en compte du besoin scientifique, expertise de la qualité des produits à vocation scientifique, physique de la mesure, traitement du signal, étalonnage des chaînes instrumentales etc. Il est également responsable de l'étalonnage absolu et de l'inter-étalonnage des sondeurs atmosphériques.

Par ailleurs le service est garant de l'accès aux moyens et outils de calcul nécessaires à l'ensemble de ces fonctions, tels les modèles de transfert radiatif, les codes d'inversion, les bases de données d'étalonnage etc.

Concernant la fonction "ingénierie mission", celle-ci est exercée pour le compte des projets portant sur le périmètre de l'optique UV-visible et infrarouge, cette fonction recouvre les activités et responsabilités suivantes :

- Suivi d'actions d'accompagnement scientifique menées dans les laboratoires ou chez les utilisateurs au titre des projets, comprenant les itérations en "boucle courte" sur les spécifications mission (afin de définir le « juste besoin » vis-à-vis du projet), élaboration et suivi de la partie aval du plan de CAL/VAL, la qualité des produits de niveau 2-3-4, l'extension de l'utilisation des données, le retour d'expérience et la promotion du projet.
- En support aux projets en développement : participation aux interfaces avec les utilisateurs et à la traduction des besoins mission en spécification système, maîtrise en tant que de besoin de l'algorithmie scientifique (niveaux 2-3), évaluation des performances système et mission du projet avant et après lancement (simulations, établissement de bilans), proposition et suivi de la partie amont du plan de CAL/VAL.

Dans le cadre de sa responsabilité « ingénierie mission » le service TPI/SA est amené, selon les projets (l'implication du ou des PI et le besoin ou non de coordonner la communauté utilisatrice, la structuration de l'équipe projet, les compétences des services verticaux dans la thématique), à effectuer tout ou partie de ces activités.

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 8/10</p>
--	---	---

Les prestations demandées s'adressent selon les sujets à des profils de compétences disposant des compétences suivantes :

- Capacité de développement logiciel scientifique appliqué au sondage de l'atmosphère selon le projet concerné, c'est-à-dire pouvant définir des algorithmes et réaliser de façon autonome des maquettes informatiques en langage de type Python
- Capacité à gérer des logiciels complexes et de forts volumes de données
- Connaissances en physique et mathématiques dans le domaine de la physique de la mesure optique, afin de pouvoir prendre en charge des activités relatives au transfert radiatif, à la compréhension physique des interactions onde-matière dans le système Terre-Atmosphère et à l'étalonnage des capteurs.

La maîtrise de l'anglais est indispensable, les projets suivis par TPI/SA étant en majorité réalisés dans un contexte international.

#### A1.2. Développement d'outils performance système

Cette activité consiste à spécifier et/ou maquetter puis valider des outils permettant d'effectuer les bilans de performance système. Ces bilans de performance prennent en compte les erreurs provenant de l'instrument, du satellite, de la scène géophysique observée, des algorithmes de traitement, des données auxiliaires utilisées dans les traitements...

Selon les cas, les outils de performance système peuvent prendre la forme de tableaux Excel, de codes informatiques simples, d'outils utilisant des codes industriels, ou, cas plus complexe, d'un simulateur orbital de performance.

**Exemple :** Le projet MicroCarb a développé un simulateur orbital de performances permettant de constituer une base de scènes d'entrées réalistes et suivant la même statistique que la mission, d'estimer les impacts des défauts de l'instrument et du système pour finaliser le bilan de performance mission, et générer des produits exemples et des outils de visualisation. Exemples de tâches demandées autour de ce simulateur :

- Implémentation de nouveaux types de scènes ou de modes d'acquisition (glint sur océan)
- Implémentation de nouveaux processus géophysiques (airglow, fluorescence de la végétation) à partir d'outils existants
- Implémentation de nouveaux défauts instruments (polarisation avec matrice de Mueller ; erreur de connaissance de VZA)
- Implémentation de nouvelles visualisations (Google Earth, etc.)
- Implémentation de nouveaux instruments (par exemple OCO-2)

## **A2. ACTIVITES TPI/QI**

### A2.1 : Introduction

Au sein de la sous-direction « Techniques et performances instruments », le service « Qualité Image » du CNES est responsable de l'adéquation des produits image aux besoins des utilisateurs, pour les systèmes d'observation optique à haute résolution spatiale.

<p align="center"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p align="center"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHÉ- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p align="center"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 9/10</p>
--	---	---

A ce titre, il participe à l'expression de besoin lors des phases d'avant-projet, élabore les spécifications système et satellite de qualité image, réalise les bilans de performances, définit les produits délivrés par le système et les traitements sols qui permettent de les réaliser, participe au suivi du développement du segment spatial (instrument, satellite) et du segment sol (production des données, méthodes et moyens d'étalonnages), définit et conduit la recette en vol de la qualité image du système et assure le suivi des performances qualité image en exploitation. Ses responsabilités s'exercent ainsi au cours de chaque phase d'un projet de la conception à l'exploitation en orbite.

Il intervient sur l'ensemble du périmètre de qualité image pour les projets d'imagerie défense (observation de la Terre et surveillance de l'Espace), civile ou planétologie : Pléiades, CSO, CO3D, EGIDE ... Sur un petit nombre de projets (coopération, démonstrateurs, rover), cette intervention peut se réduire à une partie cible de la chaîne image correspondant à de l'expertise spécifique QI CNES : Euclid, Dicos, Rashid...

Il intervient en appui au service TPI/MO pour la partie géométrie/résolution pour les projets d'observation scientifiques et environnementaux : Sentinel-2, Venus, MicroCarb, 3MI, Trishna, hyperspectral, ...

Il conduit des études de R&T pour la préparation des missions futures et l'amélioration des produits. Il participe également aux projets de valorisation et de mise à disposition des données de télédétection.

Il conduit les études QI préparatoires aux futures capacités d'observation de Défense et les études QI menées dans le cadre de contrats de recherche Défense en collaboration avec plusieurs organismes institutionnels, afin de préparer les futurs usages de données d'imagerie spatiale visible, infrarouge et hyperspectrale.

DTN/TPI/QI est en charge de la définition algorithmique des méthodes de traitement qui permettent de délivrer un produit image déspatialisé à partir de la télémesure image. Ces méthodes sont implantées dans des bibliothèques et logiciels opérationnels déployés au sein des segments sol utilisateurs dont le développement est conduit par le service DTN/CD/ID.

DTN/TPI/QI développe et capitalise des méthodes d'étalonnage qui permettent d'élaborer les paramètres nécessaires aux traitements de la chaîne image bord/sol et in fine d'établir les bilans de performance en vol. Ces méthodes sont opérées au sein de moyens opérationnels appelés cellules qualité image propres à chaque projet.

Les axes techniques métiers du service DTN/TPI/QI sont :

- La modélisation géométrique des prises de vue : développement et mutualisation des outils de localisation directe/inverse, méthodes de recalage de modèles (spatiotriangulation), méthodes de mise en correspondance géométrique (corrélations), méthodes de restitution de paramètres géométriques par l'image (trajectoires, navigation).
- Restitution 3D à partir de n-uplets d'images et études de performance altimétrique en fonction des paramètres de prise de vue et de la précision des modèles de localisation.
- L'optimisation du dimensionnement bord/sol de la prise de vue : optimisation conjointe de l'échantillonnage, de la fonction de transfert instrumentale, du bruit instrumental, de la compression, de la restauration, de la fusion multi-résolution, afin d'obtenir le meilleur

<p style="text-align: center;"><b>CNES</b> Direction Technique et Numérique Sous-Direction Techniques et Performances Instruments</p>	<p style="text-align: center;"><b>CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES DU MARCHE- CADRE ALGORITHMIQUE SCIENTIFIQUE POUR L'OBSERVATION DE LA TERRE_SEGMENT 1</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Non sensible</b></p>	<p>Réf : DTN/TPI-2026.0000401 Date : 14/01/2026 Version : 1 Page : 10/10</p>
---	---	--

compromis sur le partage bord/sol de la performance QI. Cet axe comprend notamment la prise en compte d'une boucle d'optique active à bord qui permet d'optimiser le développement, l'étalonnage et les performances des futurs satellites à très haute résolution spatiale. Il comprend également les techniques d'IA bord.

- La définition de traitements sol de restauration (décompression-déconvolution-débruitage), de fusion multi-résolution (PA+XS), d'interpolation adaptée à différents schémas d'échantillonnage, de traitement de super-résolution, de suppression de défauts structurés dans les images (RTS, ...).
- La simulation de données images représentatives de tous les effets induits par l'imageur à bord d'un satellite, afin de savoir spécifier le juste besoin en performances QI et d'évaluer les conséquences d'une anomalie bord ou d'un traitement sol. Les simulations d'images représentatives jouent un rôle complémentaire aux bilans et sont indispensables pour évaluer l'acceptabilité d'une performance auprès des utilisateurs.
- La définition de méthodes d'étalonnage en vol précises et contraignantes pour la mission opérationnelle, leur mise en œuvre et leur validation dans le cadre des recettes en vol, leur implantation opérationnelle en exploitation.

## A2.2 : Maquettage d'outil QI

La réalisation rapide et efficace de nouveaux outils est d'une importance majeure pour les études liées à la qualité image prospective.

**Exemple** : dans le cadre du projet TRISHNA, il est nécessaire de maquetter des fonctions géométriques essentielles afin d'estimer la qualité de recalage a posteriori d'une spatio-triangulation. Ces fonctions seront codées en se basant sur des ATBD fournis en entrée de l'étude. L'idée est d'estimer la qualité de recalage sur quelques points du champ, au moyen de la propagation de la matrice de covariance des paramètres estimés au sol. Cet estimateur calcule l'ellipse d'erreur long/lat an chaque point par la formule :

$$C_{lon/lat} = J^T C_{\lambda} J$$

Où  $C_{\lambda}$  est la matrice de covariance a posteriori des paramètres affinés, J est la jacobienne donnant la sensibilité des longitudes, latitudes d'un point donné en fonction de chaque paramètre ,et  $C_{lon/lat}$  est la matrice de covariance des longitudes/latitudes (dite aussi ellipse d'erreur).

Le titulaire produira la documentation claire et précise de conception technique, de validation et d'utilisation des outils développés, ainsi que le code source et d'installation correspondant.