

CAHIER DES CLAUSES PARTICULIERES

Acquisition d'un système d'imagerie hyperspectrale

La présente consultation est passée sous la forme d'un appel d'offres ouvert selon les articles L2124-2 du Code de la Commande Publique (de l'ordonnance n°2018- 1074 du 26 novembre 2018) et R 2124-2 alinéa 1 (du décret n°2018-1075 du 3 décembre 2018).

Marché n° :

Notifié le :

Contexte

Dès 2009, INRAE a structuré son activité de recherche en i) regroupant au sein de l'UMR Agroécologie de larges équipes pluridisciplinaires (agronomie, physiologie végétale et écophysiologie, génétique et microbiologie) et ii) en se dotant des outils et méthodes les plus performants et innovants tels que la plateforme Serres-4PMI (Plant Phenotyping Platform for Plant and Microorganisms Interactions).

La plateforme Serres-4PMI est ainsi une Installation Expérimentale associée à l'UMR Agroécologie au sein de laquelle elle évalue les variétés concernant leur intérêt/importance dans une agriculture durable, en utilisant de nouveaux outils (phénotypage associé aux « omics »). **La plateforme Serres-4PMI est porteuse d'enjeux régionaux, nationaux et internationaux bien au-delà de ceux de l'UMR Agroécologie.** Des projets montés avec le soutien du pôle de compétitivité VITAGORA et d'autres industriels (e.g. France2030-OPTILEG, FUI EAUPTIC) bénéficient de cette plateforme de phénotypage et de ses fonctionnalités. Serres-4PMI participe à, ou coordonne de nombreux projets académiques nationaux tels que des projets ANR (PHENOMINNOV, Pivert, Chronopeas...), des projets Investissement d'Avenir (PHENOME, OPTILEG, SPECIFICS, LETSPROSEED...), et collabore activement avec des partenaires privés (Groupe Roullier, Lesieur, Goemar, Limagrain, GIE PeaBoost, Arvalis, RAGT..) dans le cadre de FUIs ou de conventions (IRIS+, SERAPIS, EAUPTIC, ARECOVER), ainsi qu'à plusieurs projets Européens (EPPN2020, LEGATO, EUCLEG et SOLACE, ROOTED, CoolFarmLab...).

La plateforme Serres-4PMI a pour projet de développer l'offre de service concernant le phénotypage haut débit en concevant de nouveaux outils et méthodes d'imagerie de l'architecture et de la croissance des parties aériennes et racinaire des plantes. Pour cela, elle souhaite enrichir les possibilités de phénotypage de la Serres-4PMI en couplant la caractérisation fonctionnelle des différents compartiments de plantes (aérien et racinaire) au phénotypage structural des plantes. Il s'agira de pouvoir fournir aux utilisateurs académiques ou aux partenaires privés la possibilité de caractériser la transpiration des plantes et leur activité de prélèvement et d'utilisation des minéraux. Ces nouveaux services permettront d'élargir l'offre de la plateforme Serres-4PMI et d'attirer de nouveaux partenaires pour ensemble sélectionner les plantes et les pratiques culturales les mieux adaptés à des environnements contraignants.

Aujourd'hui, la plateforme dispose d'une caméra RGB permettant une prise d'image des parties aériennes et des parties racinaires des plantes. Elle souhaite acquérir un système d'imagerie permettant d'accéder à une large gamme de longueurs d'ondes, et ce de manière spatialisée et à très haute résolution, toujours au niveau des parties aériennes et des parties racinaires.

Article 1er - Objet du marché - Dispositions générales

Le présent marché comporte un lot unique.

Le présent marché consiste à acquérir un système d'imagerie hyperspectrale.

Article 2. – Contenu de la prestation de base

2.1 Description générale du système d'imagerie VNIR-SWIR

Ce cahier des charges porte sur un système d'imagerie hyperspectrale (*Full range*) couvrant l'intervalle spectral [400, 2500] nm. La technologie visée repose sur une architecture pushbroom (balayage linéaire) utilisant une ou deux caméras linescan couplées à un système d'éclairage optimisé. Compte tenu des limites physiques des capteurs actuels, une architecture bi-capteur (VNIR et SWIR séparés) est privilégiée pour garantir une sensibilité maximale. Toutefois, une solution monocapteur pourra être considérée si le candidat démontre une homogénéité parfaite des performances sur l'ensemble de la bande, sans compromis sur le rapport signal sur bruit (SNR) ou la vitesse d'acquisition.

Il faut également que le système soit compatible avec la technologie RhizoTube, i.e. un cylindre en PMMA de 50 cm de longueur et 5 mm d'épaisseur. L'acquisition des images s'effectue durant la rotation du cylindre sur son propre axe. Cette spécificité impose une maîtrise rigoureuse de la géométrie de balayage et aberrations chromatiques, notamment dans le cas d'une architecture bi-capteur où un alignement optique parfait est requis pour assurer la superposition exacte des lignes de scan VNIR et SWIR.

La **visite** des installations est fortement recommandée.

Les personnes à contacter sont Mickael Lamboeuf et Julien Martinet aux adresses suivantes mickael.lamboeuf@inrae.fr et julien.martinet@inrae.fr

Les visites pourront avoir lieu les :

- jeudi 4 juin de 10h à 12h00
- mardi 9 juin 10h à 12h00

Les entreprises prendront contact auprès de ces deux personnes.

L'intégration au sein de la plateforme Serres-4PMI nécessite une automatisation complète. Le pilotage doit être asservi au logiciel de gestion des cycles du robot de phénotypage via un module de connexion dédié. La prise d'image sera déclenchée par l'automate de gestion des cycles, en recevant de sa part des signaux de synchronisation (*triggers*) provenant du variateur du lifteur. Ce mécanisme est critique pour garantir un pas d'échantillonnage spatial constant malgré les variations de vitesse mécanique. Un mode de fonctionnement dégradé devra être disponible en cas de déconnexion au système automatisé pour un fonctionnement autonome.

Les données brutes seront stockées sur le poste d'acquisition avant d'être transférées vers le serveur NAS de la plateforme et enregistrées dans une base de données PostgreSQL. L'architecture logicielle et matérielle du système devra être découplée des infrastructures informatiques sous-jacentes, de manière à permettre leur évolution ou leur remplacement, sans impact sur les capteurs, le système d'éclairage ou le logiciel d'acquisition.

La stabilité du système et sa fiabilité, l'ergonomie logicielle et la disponibilité d'un SDK sont des conditions sine qua non pour une exploitation scientifique pérenne.

2.2 Spécifications techniques

L'équipement devra répondre aux spécifications suivantes :

Système d'acquisition (70%, répartis comme suit dans le tableau ci-dessous) :

Paramètre	Spécification VNIR	Spécification SWIR
Intervalle d'acquisition [400, 2500 nm] (20%)	[400,1000] nm	[1000,2500] nm
Résolution spectrale (FWHM) (15%)	< 2 nm	< 5 nm
Résolution spatiale sur l'axe de balayage (15%)	> 1800 pixels	> 600 pixels
Niveau de bruit - Pic SNR (5%)	> 180	> 350
Bruit de fond (5%)	< 3 e ⁻	< 80 e ⁻
Plage Dynamique (5%)	>= 10000	>= 1500
Profondeur (5%)	16 bits	16 bits
Cadence d'acquisition (5%)	>= 200 fps	>= 200 fps

Les distorsions spectrales et spatiales doivent être inférieures à 0,5 pixel pour permettre une fusion de données précise et fiable entre le VNIR et le SWIR.

Deux distances de travail sont souhaitées, qui permettent l'acquisition d'un RhizoTube en une seule passe (vue globale), et l'acquisition d'un RhizoTube en 2 ou 3 passes afin d'augmenter la résolution spatiale. Chaque acquisition doit supporter la synchronisation par trigger et être réalisée rapidement sans nécessiter d'intervention et reconfiguration mécanique complexe.

Des procédures documentées d'étalonnage radiométrique et spatial ainsi que toutes autres procédures documentées de bonne installation et utilisation sont attendues.

Éclairage (12.5 %)

Une source de lumière compatible avec la page spectrale visée est nécessaire. La solution pourra reposer sur une ou deux sources (les sources halogènes ou, plus généralement, les

sources à fort rayonnement thermique sont à éviter afin de ne pas altérer les échantillons). L'homogénéité spatiale doit être supérieure à 90% sur l'ensemble du champ de vision pour éviter les artefacts de mesure sur la surface cylindrique du RhizoTube. Une alimentation stabilisée en courant continu est exigée pour éliminer tout scintillement perceptible lors des acquisitions à haute cadence. Le système de refroidissement de l'éclairage ne doit induire aucune vibration ni perturber la signature thermique des échantillons.

Pilotage (12.5 %)

L'intégralité du système d'acquisition doit être centralisée et pilotée par une seule station de travail unique hautes performances (dimensionnement CPU, RAM et Stockage appropriés). Le logiciel associé doit permettre une opération synchronisée et automatique via le système global de la plateforme Serres-4PMI ainsi qu'accepter un fonctionnement en mode manuel. La fourniture d'un SDK (Software Development Kit) complet et documenté est impérative pour permettre le développement de modules logiciels internes et l'accès aux fonctions bas niveau des capteurs (temps d'intégration, gain, gestion des buffers). Les images générées seront enregistrées dans un format standard documenté et comporteront des informations d'identification et de traçabilité redondantes, intégrées aux métadonnées et à des éléments persistants du fichier (nommage structuré et/ou contenu), afin d'en permettre l'identification même en l'absence d'accès aux métadonnées.

La cadence d'acquisition annoncée devra être démontrée en conditions réelles, incluant le transfert des données vers le stockage, et non limitée à une performance théorique du système et non uniquement à partir des performances nominales des capteurs. Toute dégradation du débit liée à l'infrastructure matérielle devra être explicitement documentée.

Évolutivité du système (5%)

Le design optique et mécanique du système doit être conçu pour permettre une évolution future, notamment par l'intégration de filtres de polarisation. La faisabilité de cet ajout ultérieur sera précisée sans nécessiter de modification structurelle majeure du système.

Chaque candidat fournira ainsi à l'appui de son offre :

- * la fiche technique du matériel proposé**
- * la réponse aux critères de la valeur technique dans le cadre de réponse technique joint**
- * la liste des trois derniers clients à qui il a livré ce modèle (de préférence des laboratoires/plateformes publiques), afin qu'INRAE soit en mesure de les contacter pour un retour d'expérience.**

2.3 Prestations supplémentaires éventuelles

Chaque candidat chiffrera de **façon obligatoire** dans la Décomposition des Prix Globale et Forfaitaire (DPGF) jointe au présent dossier de consultation :

- PSE 1 : le coût d'une extension de garantie d'un an

- PSE 2 : le coût d'une extension de garantie de deux ans
- PSE 3 : le coût d'une extension de garantie de trois ans
- PSE 4 : contrat de maintenance 1 an
- PSE 5 : contrat de maintenance 2 ans

2.4 Formation

Une formation complète sur site des utilisateurs au système devra être réalisée à titre gracieux.

Elle devra, entre autres, permettre au personnel d'assurer la conduite et l'entretien des matériels de manière autonome et sera prise en charge par le fournisseur pour au moins 5 utilisateurs.

Chaque candidat indiquera précisément dans le Cadre de Réponse Technique la formation correspondante et sa durée, ainsi que le programme de la formation.

2.5 Garantie

Le matériel est garanti pendant une période **d'au moins 2 ans**, pièces, calibration, main d'œuvre et frais de déplacements à compter du jour de la mise en service. La mise en service est assurée par le Titulaire. Tout vice de construction, fabrication, fonctionnement ou défaut de matières premières ainsi que les matériels informatiques et les mises à jour des logiciels doivent être également pris en compte dans la garantie de 2 ans.

Il est demandé à chaque candidat de décrire précisément dans le cadre de réponse technique, les services couverts par la garantie du matériel ainsi que l'organisation de l'équipe du service après-vente.

Chaque candidat précisera les délais maximums d'intervention pour le dépannage.

La réponse SAV à une sollicitation ne devra pas excéder 48 heures en cas d'anomalie de fonctionnement signalée par les responsables techniques de l'équipement.

En cas de retour en usine des matériels pour réparation, les frais d'expédition aller et retour sont à la charge du titulaire.

A noter que la réponse SAV en moins de 48h et les conditions de retour usine décrites ci-dessus doivent être valables pour l'extension de garantie (chapitre 'Prestations supplémentaires éventuelles').

2.6 Contrat d'entretien

Il est demandé à chaque candidat de décrire précisément dans le cadre de réponse technique le contrat d'entretien qu'il propose en termes de maintenance préventive uniquement (prestations et fréquence).

2.7 Documentation

Le titulaire s'engage à fournir à la livraison, toute documentation nécessaire à une utilisation et un fonctionnement correct du matériel livré et à son entretien courant (manuel d'utilisation et de maintenance à minima, 2 exemplaires en Français, ou à défaut en Anglais).

Le titulaire s'engage à fournir les éventuels rectificatifs documentaires ainsi que les améliorations logicielles sans supplément de prix pour une durée de 5 ans.

Article 3. – Variantes

Les variantes ne sont pas autorisées.

Article 4. – Environnement - Livraison – Mise en service

La livraison devra se faire dans un délai de 2 mois maximum après la notification du marché. L'équipement sera installé dans la plateforme Serres-4PMI située sur le centre INRAE de Dijon, 17 rue Sully, 21000 DIJON.

Si l'équipement est importé depuis un pays extérieur à l'UE, les frais de douane devront être inclus dans l'offre ou faire l'objet d'un accord préalable de dérogation de frais de douane.

La personne à contacter pour organiser la livraison est Julien Martinet (julien.martinet@inrae.fr ; tel : +33 6 70 90 87 50).

Le jour de la livraison, appeler au moins 1h à l'avance pour s'assurer de la présence de M. Julien Martinet.

La livraison se fera par l'entrée du 17 rue Sully si petit porteur ou par la rue Jean-Mazen si gros porteur.

La vérification de la livraison et de l'installation de l'équipement complet est à la charge du titulaire.

La vérification consiste à contrôler la conformité des fournitures livrées avec les spécifications de la commande.

Si les fournitures ne sont pas conformes, elles sont refusées et doivent être remplacées immédiatement par le titulaire sur demande verbale ou écrite.

Code de champ modifié

La vérification de l'installation de l'équipement devra être réalisée par un test de mise en service.

INRAE demande un **délai de 2 mois** à compter de la mise en service pour tester le bon fonctionnement de l'équipement avant de l'admettre définitivement. La facture ne pourra être envoyée qu'après la notification du procès-verbal d'admission au titulaire ou 6 semaines après la mise en service en cas de silence d'INRAE.

Article 5. – Pièces constitutives du marché

Les pièces constitutives du marché sont les suivantes, par ordre de priorité décroissante :

5.1. Pièces contractuelles particulières :

- L'acte d'engagement (AE) et son annexe financière la Décomposition des Prix Globale et Forfaitaire (DPGF)
- Le présent cahier des clauses particulières (CCP)
- Le Cadre de Réponse Technique du candidat et les fiches techniques

5.2. Pièces contractuelles générales :

Le cahier des clauses administratives générales applicables aux marchés publics de fournitures courantes et services (C.C.A.G. - FCS.) approuvé par l'arrêté du 30 mars 2021.

Article 6. – Planning prévisionnel non contractuel

Juin 2026	Analyse des offres
Juillet 2026	Notification du marché
Septembre 2026	Installation de l'appareil et formation

Article 7. – Prix et règlement des comptes

7.1 - Contenu des prix - Règlement des comptes

Le marché est conclu à prix définitifs.

L'unité monétaire est l'euro.

7.1.1 - Modalités d'établissement des prix

Les prix du marché sont établis hors T.V.A.

Les prix sont fermes sur la durée du marché.

7.1.2 - Caractéristique des prix pratiqués

Les prix du marché sont forfaitaires.

7.1.3 - Modalités de règlement des comptes

Le règlement du titulaire interviendra selon l'échéancier prévu à l'article 7.3 du présent document.

Conformément à la loi n°2014-1 du 3 janvier 2014 sur la simplification de la vie des entreprises et l'ordonnance n°2014-697 du 26 juin 2014 relative au développement de la facturation électronique, le titulaire ainsi que, le cas échéant, ses cotraitants et ses sous-traitants concernés, doivent transmettre leurs demandes de paiement sur le portail mutualisé de l'Etat Chorus Pro.

A l'heure actuelle, la transmission par le créancier de sa demande de paiement ne peut être prise en compte par INRAE que par dépôt au format PDF sur le site <https://chorus-pro.gouv.fr>. Les factures seront établies en un original selon les règles prévues par la comptabilité publique. Elles comprendront outre les mentions légales, les renseignements suivants :

- Le numéro SIRET du centre INRAE 180 070 039 00680
- Le numéro du marché
- Le numéro du bon de commande
- Les prestations réalisées ou fournitures livrées
- Le montant HT des prestations ou fournitures
- Le taux et le montant de la TVA
- Le montant total TTC

Conformément aux dispositions de l'article 4.1 du décret n°2016-1478 du 2 novembre 2016 relatif au développement de la facturation électronique, l'utilisation du portail de facturation est exclusive de tout autre mode de transmission.

Le délai global de paiement est de 30 jours maximum à compter de la réception de la facture dans les formes prescrites.

Le taux des intérêts moratoires est égal au taux d'intérêt de la principale facilité de refinancement appliquée par la Banque centrale européenne à son opération de refinancement principal la plus récente effectuée avant le premier jour de calendrier du semestre de l'année civile au cours duquel les intérêts moratoires ont commencé à courir, majoré de huit points. Une indemnité forfaitaire de 40 € correspondant aux frais de recouvrement sera versée.

Le règlement sera effectué au compte bancaire ou postal indiqué par le titulaire ci-dessus

7.2 – Avance

Selon l'article R.2191-3, du code de la commande publique, l'acheteur accorde une avance pour les marchés d'un montant supérieur à 50 000 euros HT et d'une durée supérieure à deux mois.

Selon l'option B, définie dans l'article 11.1 du CCAG-FCS 2021, le taux d'avance appliqué est de 10% pour les PME et de 5% pour les autres entreprises.

Les modalités de remboursement des avances s'effectuent suivant les articles R.2191-11, R.2191-12, R.2191-14 et R.2191-19 modifiés du Code de la Commande Publique :

Le remboursement de l'avance est échelonné en tenant compte du montant de l'avance accordée et des sommes restant dues au titulaire.

Ce remboursement s'impute par précompte sur les sommes dues au titulaire et débute :

- pour les avances inférieures ou égales à 30% du montant TTC du marché quand le montant des prestations atteint 65 % du montant du marché TTC ;
- pour les avances supérieures à 30% du montant TTC du marché à la première demande de paiement ;

Pour les sous-traitants, le remboursement de l'avance par le titulaire, qui s'impute sur les sommes dues, débute à compter de la notification de l'acte spécial (modification de l'article R.2193-21 2ème alinéa).

Le souhait de bénéficier ou non de l'avance sera formulé dans l'acte d'engagement par le candidat.

7.3 – Echancier

Le paiement s'effectuera 30 jours maximum après la réception de la facture.

Article 8 : Clauses environnementales et d'insertion sociale

8.1 - Clauses environnementales

Éco-conception des caméras

Les caméras hyperspectrales proposées devront être conçues selon une démarche d'éco-conception visant à réduire leur impact environnemental sur l'ensemble du cycle de vie (fabrication, utilisation, maintenance, fin de vie).

Chaque candidat fournira une description des mesures mises en œuvre (choix des matériaux, réduction du nombre de composants, modularité) dans le cadre de réponse technique.

Performance énergétique

Les équipements devront présenter une consommation énergétique optimisée en fonctionnement normal et en mode veille.

La consommation électrique maximale devra être précisée dans le cadre de réponse technique et mesurée selon un protocole standardisé ou équivalent.

Substances dangereuses et conformité réglementaire

Les caméras devront être conformes aux réglementations environnementales en vigueur, notamment la directive RoHS et le règlement REACH. L'utilisation de substances dangereuses devra être limitée autant que possible et justifiée le cas échéant.

Chaque candidat confirmera le respect de ces normes dans le cadre de réponse technique et indiquera les substances dangereuses éventuellement utilisées.

Durabilité et réparabilité

Les caméras devront être conçues pour une durée de vie minimale de 10 ans, avec disponibilité des pièces détachées pendant au moins 10 ans après la fin de la fabrication. La structure devra permettre le remplacement des composants principaux sans destruction de l'équipement.

Chaque candidat confirmera dans le cadre de réponse technique que le matériel proposé répond à ces exigences et que les pièces détachées seront disponibles pendant 10 ans.

Emballages

Les emballages utilisés pour la livraison devront être recyclables ou réutilisables, et exempts de plastiques à usage unique non recyclables. Le recours à des matériaux recyclés ou biosourcés sera privilégié.

Chaque candidat indiquera le type d'emballage utilisé pour protéger le matériel pendant le transport.

8.2 - Clause sociale

Il est dérogé à l'obligation de clause relative au domaine social ou à l'emploi dans le marché pour la raison suivante : le besoin peut être satisfait par une solution immédiatement disponible.

Article 9 : Délai d'exécution – Pénalités- Confidentialités

9.1- Durée du marché

Le présent marché a une durée globale de **1 an** à compter de sa notification.

La durée maximale de mise en service de l'équipement à compter de la notification du marché **2 mois**.

9.2 – Enveloppe prévisionnelle

Le budget prévisionnel pour l'acquisition du système d'imagerie hyperspectrale est **235 000 euros HT**.

9.3 - Pénalités pour retard

Par dérogation à l'article 14 du CCAG-FCS, INRAE se réserve la possibilité d'appliquer, sans mise en demeure préalable, une pénalité de **105 €** par jour calendaire de retard.

Article 10 : Protection des données à caractère personnel dans la relation contractuelle

Les parties s'engagent, dans le cadre de traitement de données à caractère personnel à des fins de gestion de la relation contractuelle et de l'exécution du présent contrat, à respecter le règlement européen EU 2016/679 (GDPR) du 27 avril 2016 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données ainsi que les lois nationales applicables relatives à la protection des données à caractère personnel.

A des fins exclusives de la gestion de la relation contractuelle et de l'exécution du présent accord, les parties peuvent collecter, stocker, partager et traiter les données personnelles des personnes impliquées dans la gestion et l'exécution du présent accord telles que : nom, téléphone professionnel, adresse professionnelle, fonction.

Les parties prendront toutes les mesures techniques et organisationnelles appropriées pour protéger et sécuriser ces données. Les parties mettront tout en œuvre pour empêcher tout traitement non autorisé ou illégal de ces données.

Article 11 : Propriété intellectuelle

Sans objet

Article 12 : Litiges et Résiliation

En cas de désaccord, le représentant du pouvoir adjudicateur apportera une réponse par écrit à la sollicitation du titulaire.

Si le différend né à l'occasion de l'exécution du présent marché persiste, les parties s'efforceront de trouver un accord amiable à leur litige.

A défaut d'accord amiable, le tribunal administratif de Dijon est seul compétent.

Pour la résiliation, les articles 38 à 45 du CCAG-FCS pris par arrêté du 30 mars 2021 s'appliquent.

Article 13 : Dérogation au CCAG-FCS

L'article 9 du présent CCP déroge à l'article 14 du CCAG FCS de 2021.

Fait à, le

Cachet et signature de l'entreprise précédés de la mention « Lu et approuvé »