

## **CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)**

**Objet de la consultation :**

**Acquisition de trois systèmes automatiques d'acquisition de données issues de capteurs sur vigne et verger et fourniture des prestations associées (installation, mise en service et formation)**

Marché public de fournitures et de services passé en procédure formalisée d'appel d'offre ouvert en application des articles L 2124-1, L 2124-2, R 2124-1, R 2124-2 1° et R 2161-2 à R 2161-5 du Code de la commande publique (CCP)

**Désignation du pouvoir adjudicateur :**

**Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement  
Etablissement public à caractère scientifique et technologique**

Référence NACRES :

QB.41 : Equipements et matériels spécifiques pour la viticulture expérimentale

QB.42 : Equipements et matériels spécifiques pour la sylviculture et l'arboriculture

Classification code CPV :

16600000 – Machines spécialisées à usage agricole ou sylvicole

38540000 – Machines et appareils d'essais et de mesures



PROGRAMME  
DE RECHERCHE  
AGROÉCOLOGIE  
ET NUMÉRIQUE

## Table des matières

1	Contexte .....	3
2	Objet du marché et lieux d'exécution.....	3
3	Définition générale des besoins .....	3
3.1	Caractères à évaluer.....	3
3.1.1	Vergers .....	3
3.1.2	Vignobles.....	4
3.2	Exigences techniques .....	4
3.2.1	Vergers expérimentaux en place et à venir .....	4
3.2.2	Vignobles Villenave d'Ornon .....	6
3.2.3	Vignobles Pech Rouge .....	6
3.3	Synthèse des besoins .....	7
4	Description des spécifications techniques .....	8
4.1	Capteurs et éclairage.....	8
4.1.1	Prestations de base .....	8
a	Système de positionnement : GPS .....	8
b	Système de positionnement : IMU.....	8
c	Caméras RVB (stéréovision) et flashes.....	8
d	LIDAR .....	9
4.1.2	Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE1 - Caméra multispectrale et son système d'éclairage d'appoint 9	
4.1.3	Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE2 – Tête de mesure supplémentaire (2 caméras + 1 LIDAR) 10	
a.	Caméras RVB (stéréovision) et système d'éclairage .....	10
b.	Lidar.....	10
4.1.4	Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE3 – Intégration et interfaçage avec l'IHM d'une caméra infrarouge modèle FlirA655sc FOV80° pour le système Verger Toulenn .....	11
4.1.5	Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE4 – Système de correction GPS RTK en l'absence de couverture GSM .....	11
4.1.6	Prestations Supplémentaires éventuelles : Maintenance à l'issue de la période de garantie .....	11
a	PSE 5 maintenance pour le système Verger Toulenn .....	11
b	PSE 6 maintenance pour le système Vignoble Villenave d'Ornon. ....	11
c	PSE 7 maintenance pour le système Vignoble Pech Rouge .....	11
4.2	Structure de portage et carénage .....	11
4.2.1	Contraintes particulières.....	11
4.2.2	Châssis .....	12
4.2.3	Têtes de mesure.....	14
4.3	Système de supervision, d'acquisition et de commande.....	15
4.4	Évolutivité technique du système .....	16
5	Clause de développement durable .....	17
6	Garanties, service après-vente et maintenance .....	17
7	Livraison – installation.....	17
7.1	Système Verger – Lot 1 .....	17
7.2	Système Vignoble Villenave d'Ornon – Lot 1 .....	18
7.3	Système Vignoble Pech Rouge – Lot 2 .....	18
8	Formation – Documentation .....	18
9	Informations additionnelles – Visite non obligatoire.....	18
	Système Verger .....	18
	Système Vignoble Villenave d'Ornon .....	18
	Système Vignoble Pech Rouge .....	18

## 1 Contexte

La caractérisation des ressources végétales pour évaluer leur potentiel dans le cadre de la transition agroécologique est un des axes majeurs du PEPR AgroEcologie et Numérique grâce à la caractérisation de la diversité phénotypique et la création de variétés plus résistantes et résilientes.

Ceci nécessite l'acquisition de très nombreuses données sur les différentes composantes des agro-écosystèmes, sur le comportement de la diversité intra et interspécifique des espèces fruitières par la caractérisation de la diversité des collections gérées par les centres de ressources biologiques. Cette caractérisation permettra de cibler des génotypes d'intérêt à intégrer dans le programme d'innovation variétale.

Les innovations techniques actuelles basées sur différents capteurs et différentes méthodes d'imagerie doivent permettre un monitoring à différentes échelles, de l'organe à l'échelle de la parcelle. Cependant, ceci nécessite un développement méthodologique important pour les adapter aux systèmes horticoles souvent plurispécifiques.

La consultation porte sur la fourniture et l'installation de trois systèmes permettant d'acquérir et de stocker automatiquement au vignoble ou en verger des données issues de capteurs de différentes natures sur des microparcelles de vignes ou des arbres prédéfinis.

Le financement de ces équipements entre dans le cadre du PEPR Agroécologie et Numérique – Axe 2 : AgroEcoPhen (Phénotypage à haut débit des plantes pour l'agroécologie).

## 2 Objet du marché et lieux d'exécution

Le présent marché a pour objet l'achat de 3 systèmes, 1 en verger et 2 au vignoble, permettant d'acquérir et de stocker automatiquement (format HDF5) des données issues de capteurs de différentes natures (LiDAR, caméra RGB, et capteur multispectral) sur des arbres ou des microparcelles de vignes prédéfinis.

L'achat comprend la fourniture, la livraison, l'installation, la mise en service et la formation à l'utilisation.

Le présent marché est alloté comme suit :

Lot 1 : Système Verger pour l'Unité Expérimentale Arboricole site de Toulence (33210)

Système 1 Vignoble pour l'Unité Expérimentale Vigne site de Villenave d'Ornon (33140)

Lot 2 : Système 2 Vignoble pour l'Unité Expérimentale de Pech Rouge, Site de Gruissan (11430)

Points de livraison et d'installation :

- Système Verger : Unité Expérimentale Arboricole, 1 port de l'île, Domaine des Jarres, 33210 Toulence
- Système 1 Vignoble : Unité Expérimentale Vigne Bordeaux (1442), 71 av Edouard Bourlaux, 33140 Villenave d'Ornon
- Système 2 Vignoble : Unité Expérimentale de Pech Rouge, Domaine de Pech Rouge, 11430 Gruissan

## 3 Définition générale des besoins

### 3.1 Caractères à évaluer

#### 3.1.1 Vergers

Ce dispositif de phénotypage doit permettre l'acquisition d'informations permettant de caractériser :

- Les stades de développements (débourrement, floraison, nouaison, maturité, sénescence) ;
- Les composantes du rendement (floribondité, nombre de fruits par arbre/charge en fruit, diamètre des fruits) ;
- La sensibilité aux stress biotiques et abiotiques (dégâts sur feuilles ou fruits des bio-agresseurs, sensibilité à l'éclatement, tolérance à la sécheresse) ;
- Le fonctionnement de la plante (activité chlorophyllienne, statut azoté, statut hydrique) ;
- Architecture et vigueur de l'arbre (angle d'insertion des charpentières, diamètre du tronc).

### 3.1.2 Vignobles

Les traits intéressants pour la recherche concernent les organes aériens de la plante : bourgeons, rameaux, feuilles, tronc, inflorescences, boutons floraux, fleurs, baies. Il s'agit de pouvoir quantifier leurs différentes caractéristiques à un temps donné et de pouvoir suivre leurs dynamiques de développement. Ces caractéristiques ciblées des organes sont leur dénombrement, leur dimensionnement (longueur, diamètre, surface, volume), leur organisation spatiale (dimension du couvert, orientation des feuilles, etc.), leur état physiologique et nutritionnel, ainsi que leur état sanitaire. Il est également nécessaire de pouvoir reconnaître et quantifier différents symptômes liés à la présence de bioagresseurs ou de carences.

## 3.2 Exigences techniques

### 3.2.1 Vergers expérimentaux en place et à venir

Le système doit permettre le phénotypage de différents types de verger. Pour les différentes espèces étudiées l'espace inter-rang est de 5m. La distance des arbres sur le rang peut en revanche varier en fonction de l'espèce ou du dispositif expérimental (2m, 2,5m, 3m ou 4m). La longueur des rangs est comprise entre 100m et 200m en fonction des dispositifs expérimentaux. Suivant le parcellaire, la longueur des rangs peut varier d'un rang à l'autre (parcelle en pointe) et atteindre 20m. Une préconisation des vitesses d'avancement en fonction de la distance entre les arbres est demandée. De plus, en fonction de l'âge et des espèces concernées le recul par rapport au rang pour l'acquisition de données peut varier de 2 à 3m en fonction de la végétation (cf. fig.1 à 4). La hauteur des arbres peut également varier en fonction de l'espèce, de l'âge des arbres et le type de dispositif expérimental. L'équipement doit permettre l'acquisition de données pour chaque arbre ou pour un groupement d'arbres contigus dans toutes les configurations. La hauteur maximale dans le dispositif "alt droso" est limitée à 4m par la présence d'un filet. Les différentes configurations sont décrites dans les figures 1, 2 où :

- « A » représente la hauteur des arbres,
- « B » représente la largeur inter-rang minimum par rapport à la végétation,
- « C » représente la hauteur à partir de laquelle l'espace inter-rang est le plus étroit,
- « D » représente la largeur inter-rang au sol.

Le cas des arbres dépassant 3.5m (Annexe 2) fait l'objet d'une prestation supplémentaire spécifique.

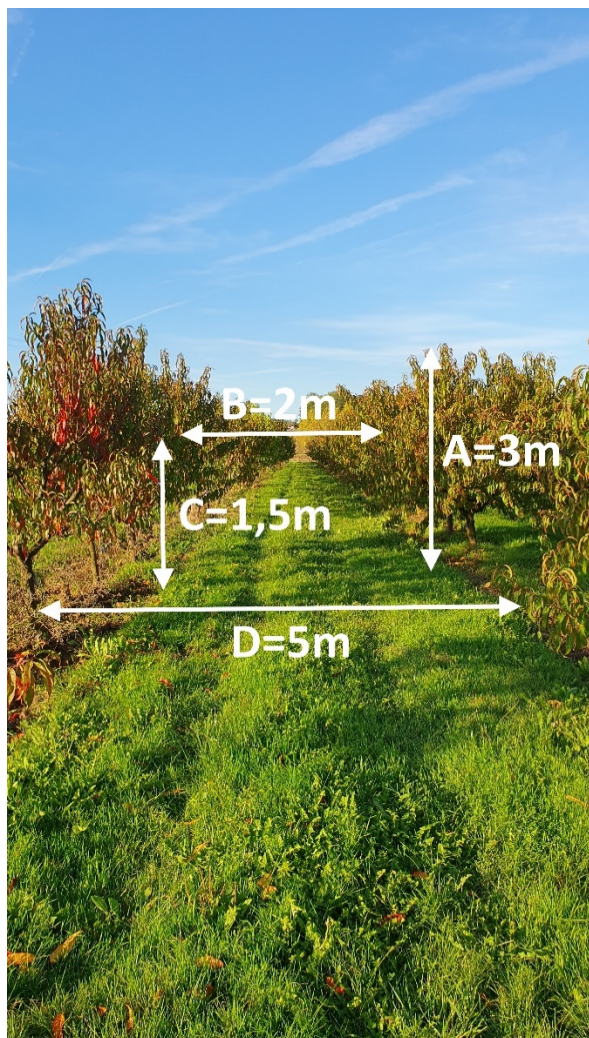


Figure 1 : Verger de pêchers de 10 ans  
Distance entre les arbres 2m

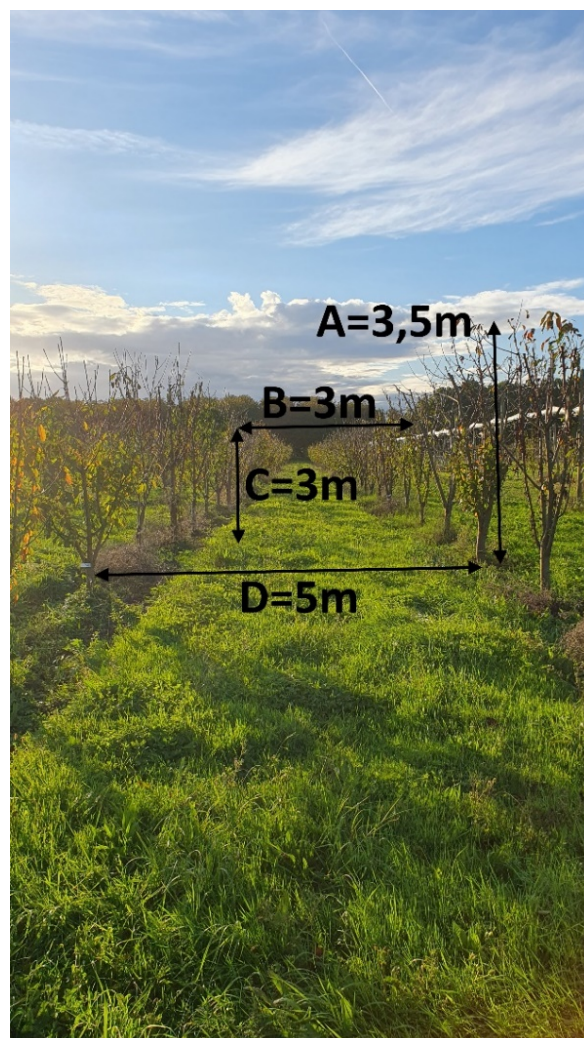


Figure 2 : Vergers de cerisiers de 5 ans,  
couverture monoparcelle à venir.  
Distance entre les arbres 3m.



### 3.2.2 Vignobles Villenave d'Ornon

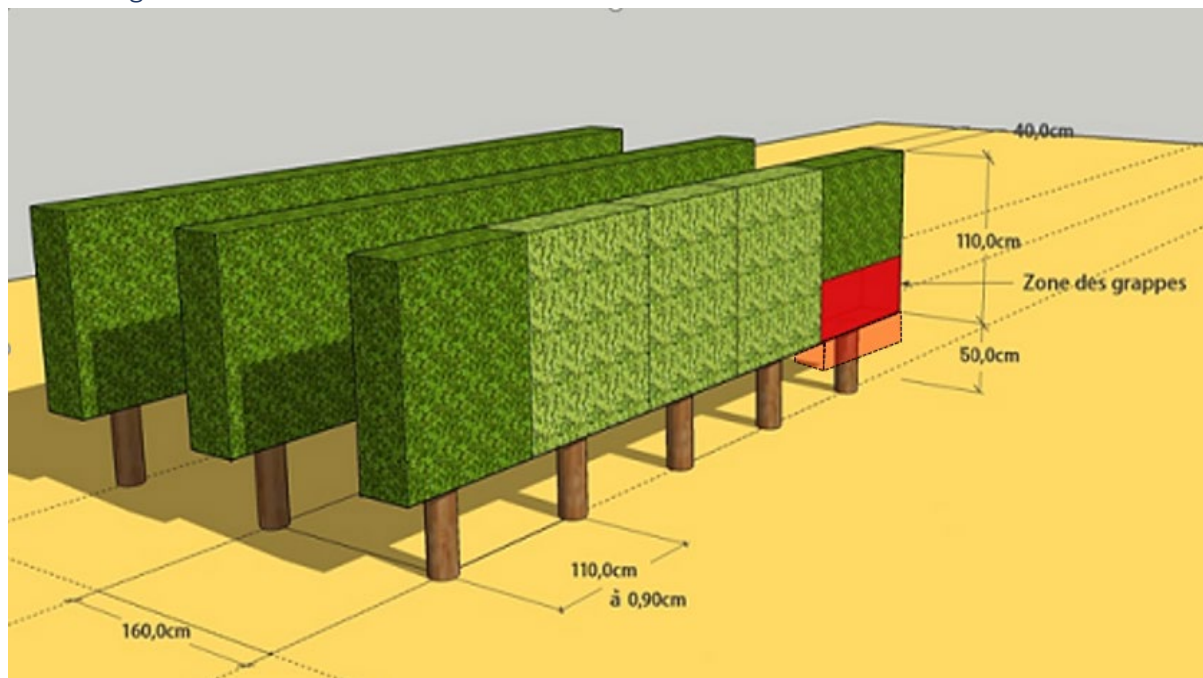


Figure 3: schéma de l'architecture de rangs de vigne. La parcelle unitaire (PU) sera composée de 3, 4 ou 5 ceps. Selon les cépages, la zone de grappes peut être au-dessus de la base du feuillage (50 cm du sol) ou bien en position plus « basse » en dessous de ces 50 cm. L'épaisseur du plan de palissage est de 40 cm en moyenne. Ceci entraîne que la distance entre le plan de palissage et le capteur ne peut pas dépasser 1 m à 1,10 m compte tenu de l'encombrement de certains capteurs.

Distance	Longueur (en cm) - Bordeaux
Entre le sol et le bas du rideau foliaire	40 à 60
Hauteur du rideau foliaire (palissage)	110
Largeur de la haie foliaire	40
Distance entre rangs	160
Distance entre souches	80 à 140
Zone des grappes (au-dessus du sol et dans le plan de palissage)	30 à 80

### 3.2.3 Vignobles Pech Rouge

Le système doit permettre le phénotypage de différents types de dispositif expérimentaux ou collections de ressources génétiques vigne. Un dispositif expérimental est un ensemble de « Parcelle unitaire » (PU) au sein d'une même parcelle de vigne. Un projet (de phénotypage) est une série de PUs au sein d'un dispositif expérimental sur lesquelles des données doivent être acquises. Un projet est donc composé d'une séquence de PUs.

L'équipement doit permettre l'acquisition de données pour des PUs, ou micro-parcelles, correspond à une succession de plusieurs souches (3, 5 voire 10 souches) sur un rang de vigne sur une face (fig. 4).

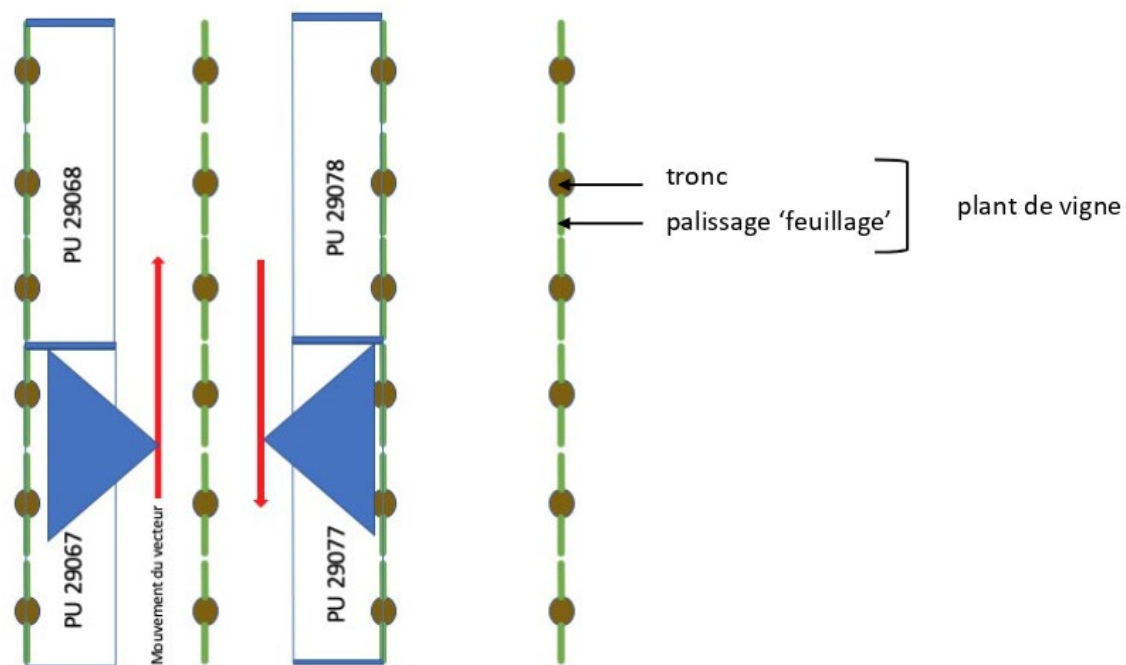


Figure 4 - Représentation d'un projet : exemple d'une séquence de quatre PUs de trois souches chacune.

Les dispositifs vigne considérés ont un espace inter-rang de 2.5m, et une distance entre les ceps sur le rang de 0,9 ou 1m.

Le fil porteur peut être situé à une hauteur comprise entre 0,80 et 1 m. Le fil releveur peut-être située à une hauteur comprise entre 1,3 et 1,6m. La zone d'intérêt peut être comprise entre 0,60 et 1,80 m, pour une amplitude comprise entre 1,0 et 1,2 m.

L'équipement doit permettre de caractériser des dispositifs d'au moins 300 PU en une seule mission.

### 3.3 Synthèse des besoins

Chacun des trois systèmes d'acquisition devra comporter les capteurs précisés dans le tableau ci-dessous.

Système	Largeur interrang (m)	Hauteur totale végétation (m)	Systèmes positionnement	Nbre têtes mesure	Capteurs (nombre)	Eclairage
Lot 1 : Verger Toulenne <i>Attelé tracteur</i>	5	3,5	1 IMU 1 GPS	1	LIDAR portée <b>5m</b> (1) Cam.RGB (2)	- oui
				OPTION 1	Cam.multispectrale (PSE1)	oui
				OPTION 2 2 <sup>nde</sup> tête	LIDAR portée 4-5m (1) Cam.RGB (2) (PSE2)	- oui
				OPTION 3	Cam. FlirA655sc (PSE3)	non
Lot 1 : Vignoble Villeneuve d'Ornon <i>Sur rover</i>	1.6	1.6	1 IMU 1 GPS	1	LIDAR portée 3m (1) Cam.RGB (2)	- oui
				OPTION 1	Cam.multispectrale (PSE1)	oui
Lot 2 : Vignoble Pech Rouge <i>Attelé tracteur</i>	2.5	1.6	1 IMU 1 GPS	1	LIDAR portée 3m (1) Cam.RGB (2)	- oui
				OPTION 1	Cam.multispectrale (PSE1)	oui
				OPTION 4	Système de correction GPS RTK autonome (PSE4)	-

Le système doit être évolutif et capable d'intégrer d'autres capteurs type caméra thermique, caméra multispectrale ou caméra hyperspectrale. Cette intégration doit être aussi bien au niveau des branchements qu'une intégration logicielle des capteurs (cf. 4.3).

## 4 Description des spécifications techniques

### 4.1 Capteurs et éclairage

Quelques références de matériels déjà utilisés à INRAE sont visibles en annexe 1 à titre indicatif.

#### 4.1.1 Prestations de base

Pour les contraintes particulières (environnement...), voir 4.2.1.

##### *a      Système de positionnement : GPS*

Le système de positionnement doit être constitué de :

- Un récepteur GNSS RTK et une ou plusieurs antennes positionnées sur le système fonctionnant à une fréquence minimale de 50Hz.
- D'antennes qui doivent être positionnées sur le système de manière à éviter tout choc avec la végétation (branche, rameaux) tout en assurant une réception du signal optimale.
- D'une proposition d'un modem GSM dont la couverture des zones considérées doit être vérifiée préalablement. Il est possible qu'un abonnement multi-opérateurs soit pertinent. Dans ce dernier cas, la latence du basculement d'un opérateur à l'autre doit être mesurée pour chaque site pour vérifier la pertinence de la solution pour un vecteur mobile. Le chiffrage de la PSE4 est demandé pour pallier les problèmes de couverture réseau du site de Pech Rouge.
- Même si un grand soin doit être apporté à la stabilité du châssis et des têtes de mesures, une centrale d'attitude du mât doit permettre la correction du tangage, du roulis et du cap permettant de corriger la visée des têtes de mesure (voir 4.1.1.b.). **Dans ce cadre, les incertitudes du GPS doivent pouvoir être extraite en x, y et en z (altitude).**

##### *b      Système de positionnement : IMU*

La centrale inertielle (IMU) :

- Doit permettre de faire une correction a posteriori des données GPS et LiDAR suite aux mouvements inévitables des capteurs au cours de l'avancement du tracteur sur les parcelles : correction du lacet, du roulis et du tangage, des accélérations selon trois axes et des vitesses angulaires
- Fréquence d'acquisition minimale : 50Hz
- Précision minimale : 0.1° sur le roulis et le tangage, 0.8° pour le lacet
- Pour une éventuelle utilisation future, l'IMU doit permettre, en plus d'écrire les données dans le système d'acquisition, de fournir simultanément ces mêmes données pour asservir un système actif de stabilisation et correction en temps réel.

##### *c      Caméras RVB (stéréovision) et flashes*

#### **Besoins communs aux vergers et vignobles :**

Pour réaliser des cartes de profondeur, une stéréovision est nécessaire : **toutes les têtes de mesure doivent comprendre 2 caméras RVB** juxtaposée (alignement horizontal) identiques synchronisées avec une baseline déterminée.

Les caméras RGB doivent être industrielles pour assurer la longévité et la robustesse des prises d'images pour plusieurs années et respecter :

- Normes Genicam pour permettre un réglage et un contrôle fin des prises d'images
- Déclenchement électrique de la prise d'image (non logiciel)
- Synchronisation de plusieurs caméras entre elles avec leurs flashes
- Déclenchement global shutter (déclenchement global de l'obturateur)



- Résolution supérieure ou égale à **12 MP**
- Taille des capteurs : supérieure à 14 x 10 mm
- Focale adaptée pour prendre en photo toute la hauteur de l'arbre ou du rideau de feuillage et une profondeur de champ suffisante vis-à-vis de la profondeur du rideau végétal.

Les flashes Xénon parfaitement synchronisés aux prises d'images doivent :

- Avoir une puissance réglable pour s'adapter aux différentes portées des têtes de mesures (visée horizontale pour les arbres ou visée en contre-plongée),
- Être assez puissants pour permettre une indépendance complète vis-à-vis du soleil et limiter le flou dû au déplacement et à la vibration de la machine (ordre de grandeur de prise d'image : 200 µs).
- La durée des flashes devra être supérieure à la durée d'exposition (de l'ordre de 200 à 300 µs)
- Prendre en compte les cas limites : cimes des arbres

Le système de vision RVB doit être capable d'atteindre une Résolution Spatiale maximale de :

- **0,5mm/px** au centre de l'image pour une visée horizontale du rideau de végétation
- **1mm/px** pour une cible située à une distance nominale maximale de 4,7m (cime cerisiers).

Les angles de champs doivent donc être adaptés à chaque situation.

Nous visons à échantillonner la totalité de la canopée ainsi que les troncs. Si toutefois l'acquisition des troncs posait problème pour le choix des capteurs, cette limitation doit être clairement mentionnée.

## *d LIDAR*

Pour tous les lidar choisis, la référence doit permettre :

- une description précise des rameaux les plus fins, de l'ordre de 5 mm de diamètre
- à une vitesse de 2km/h, à une distance de la végétation de 2.5 m, la densité de points acquise doit être au minimum de 300 000 points/m<sup>2</sup> (idéalement 450 000) au niveau du plan vertical passant par le milieu du rang et couvrir les volumes indiqués en 3.2.

- Vergers

- portée minimale de **4 m** et un angle d'ouverture tel que toute la profondeur et hauteur de la canopée soit acquise.
- permettre l'acquisition de points avec une densité minimale à 2 km/h de 300 000 points/ m<sup>2</sup> (sur un plan vertical qui serait à une distance de 4m).

**Le choix technique retenu doit être justifié par le calcul.**

- Vignobles Pech Rouge et Villenave d'Ornon
- portée minimale de **3 m** et un angle d'ouverture tel que toute la profondeur et hauteur d'un rang de vigne soit acquise.
- avoir une résolution angulaire maximale de 0.0833° ou une densité de points minimale à 2km/h de 450 000 points/ m<sup>2</sup> à une distance de 1,6 m.

### 4.1.2 Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE1 - Caméra multispectrale et son système d'éclairage d'appoint

**Ce besoin concerne les trois systèmes.**

- Installation d'une caméra multispectrale, avec son système d'éclairage flash d'appoint.
- Couplage au système d'acquisition (comme pour les autres capteurs)

La caméra multispectrale doit :

- Permettre d'évaluer l'activité photosynthétique du feuillage par des indices pertinents (NDVI, NDRE, LAI...). Les longueurs d'ondes requises pour calculer des indices pertinents sont centrées sur 3 bandes bleu (autour 450 nm), rouge (675nm), vert (560 nm), une bande red edge (entre 710 et 730), et proche infra-rouge (autour de 820). Des solutions permettant d'obtenir des informations dans les longueurs d'ondes 450 nm, et 550 nm et permettant de calculer des cartes de profondeur à partir des images acquises dans les différentes bandes seront privilégiées.
- La résolution doit atteindre 2mm/px par bande et 1mm/px après pan-sharpening.
- Avoir une distance de mise au point compatible avec la distance entre la caméra et le premier rideau de feuillage,

Le système d'éclairage synchronisé aux prises d'images doit permettre :

- d'avoir une puissance réglable pour s'adapter aux variations d'éclairage naturel et réaliser un réglage fin évitant les surexpositions
- d'être assez puissant pour permettre une indépendance vis-à-vis du soleil (variabilité, ombres), limiter le flou dû au déplacement et à la vibration de la machine (ordre de grandeur de prise d'image : 200  $\mu$ s), stabiliser et contrôler les conditions d'illumination (répétabilité des mesures de réflectance).

Éventuellement, si la solution technique est difficile à réaliser, un éclairage LED semi-continu ou pulsé peut être proposé ou éventuellement un système d'étalonnage interne continu s'il a fait ses preuves.

La structuration des données et métadonnées suit le modèle présenté au paragraphe 4.3.

#### 4.1.3 Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE2 – Tête de mesure supplémentaire (2 caméras + 1 LIDAR)

**Ce besoin concerne uniquement le système Verger de Toulenné.**

Il vise à pouvoir caractériser des hautes tiges (cerisiers) dont la hauteur peut atteindre 6 m. Les dimensions de ces plantations sont visibles en annexe 2. Cette tête de mesure supplémentaire doit permettre d'acquérir la totalité des arbres (tronc + canopée), avec un recouvrement des images acquises par les 2 têtes de mesure.

##### a. Caméras RVB (stéréovision) et système d'éclairage

Caractéristiques identiques des caméras et flashes à celles indiquées en 4.1.1.c. mais la résolution spatiale doit atteindre au maximum **1mm/px** au centre de l'image pour une cible située à une distance nominale maximale de 5 m (cime cerisiers).

L'éclairage doit permettre une indépendance vis-à-vis du soleil, même à ces distances importantes (5 m).

##### b. Lidar

La résolution du LIDAR doit être telle que pour un objet à une distance de 5m (cas des cerisiers), l'espacement maximal entre 2 points sur le plan vertical soit au maximum de 4 mm et que la densité de points soit au moins de 300 000 points/m<sup>2</sup> pour une vitesse de 2 km/h. **Le choix technique retenu doit être justifié par le calcul.**

**En résumé pour le site Verger Toulenné, il est attendu une solution technique permettant d'imager la totalité de la végétation de tous les cas de figure présentés pour les vergers.**

Cette prestation supplémentaire doit intégrer en complément les contraintes liées à l'alimentation électrique, la connectivité et tous les aspects techniques d'interfaçage. Ceux-ci ne sont pas compris dans le paragraphe 4.4 traitant de l'évolutivité du système.

#### 4.1.4 Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE3 – Intégration et interfaçage avec l’IHM d’une caméra infrarouge modèle FlirA655sc FOV80° pour le système Verger Toulenné

**Ce besoin concerne uniquement le système Verger de Toulenné.**

Ce capteur, déjà acquis, doit être intégré dans la tête de mesure principale et l’acquisition doit être interfacée avec l’IHM. La structuration des données et métadonnées suivra le modèle présenté au paragraphe 4.3.

Accès à la fiche technique du capteur : [modèle FlirA655sc FOV80°](#)

#### 4.1.5 Prestation Supplémentaire éventuelle : PSE4 – Système de correction GPS RTK en l’absence de couverture GSM

**Ce besoin concerne uniquement le vignoble de Pech Rouge.**

Certaines zones du site Vignoble Pech Rouge ne bénéficiant pas d’une couverture GSM fiable, pour cette raison, le chiffage d’un système de correction GPS RTK autonome est nécessaire (exemple : base de référence avec communication par UHF ou émetteur UHF sur borne Centipède proche).

#### 4.1.6 Prestations Supplémentaires éventuelles : Maintenance à l’issue de la période de garantie

##### *a PSE 5 maintenance pour le système Verger Toulenné*

Il est demandé un chiffage pour une année de maintenance à l’issue de la période de garantie de 24 mois. Le prestataire doit préciser dans son offre les délais et les modalités d’intervention du service après-vente (coût du déplacement et coût horaire de l’intervention sur site), dans le cadre de cette maintenance.

##### *b PSE 6 maintenance pour le système Vignoble Villenave d’Ornon.*

Il est demandé un chiffage pour une année de maintenance à l’issue de la période de garantie de 24 mois. Le prestataire doit préciser dans son offre les délais et les modalités d’intervention du service après-vente (coût du déplacement et coût horaire de l’intervention sur site), dans le cadre de cette maintenance.

##### *c PSE 7 maintenance pour le système Vignoble Pech Rouge*

Il est demandé un chiffage pour une année de maintenance à l’issue de la période de garantie de 24 mois. Le prestataire doit préciser dans son offre les délais et les modalités d’intervention du service après-vente (coût du déplacement et coût horaire de l’intervention sur site), dans le cadre de cette maintenance.

### 4.2 Structure de portage et carénage

*Cette partie comprend les éléments mécaniques, structurels et de protection.*

Le système doit être conçu pour un attelage et un dételage d’un système trois points de tracteur pour les cas de Toulenné et Pech Rouge, et fixé au rover pour le site de Villenave d’Ornon. Le détail des accroches du châssis au bras de relevage inférieur du tracteur est précisé dans la section 4.2.2 ci-dessous. Pour le stockage, des pieds à hauteur réglable sont requis sur le châssis (dans le cas d’un attelage tracteur). Les équipements électroniques (tête intégrant les flashes et capteurs, système d’alimentation et d’automatisme) doivent être amovibles et donc démontables du châssis, pour un rangement hors zone humide.

#### 4.2.1 Contraintes particulières

- L’ensemble du système doit être insensible aux intempéries, à la poussière, aux chocs modérés (rameau ou pousse sur le trajet par exemple) et fonctionnel à des températures comprises entre -5°C et +40°C.
- L’ensemble du système doit être compatible avec une circulation sur terrain accidenté (vibrations, cahots). Si possible, les capteurs doivent être stabilisés et amortis.
- Le système doit être manipulable pour pouvoir être monté/démonté sans difficulté.
- Les capteurs doivent acquérir des données sur l’ensemble de la hauteur des arbres. La fréquence d’acquisition et de stockage doit être adaptée à un embarquement sur tracteur, c’est-à-dire à une vitesse d’avancement comprise entre 1.5 et 3 km/h pour tous les types de capteurs envisagés (LIDAR, caméra RGB, thermique ou caméra multispectrales).

- L'alimentation électrique doit permettre l'acquisition de données sur des dispositifs d'1 Ha sans arrêt et rupture de courant (au minimum environ 4h00 d'autonomie). Une batterie supplémentaire peut donc être requise si la puissance électrique fournie par le tracteur n'est pas suffisante.
- L'offre doit prévoir la fourniture d'une alimentation sur prise 12V tracteur ou sur batteries indépendantes, permettant le phénotypage d'une parcelle de 1ha. Si alimentation directe par la batterie du tracteur : garantir toute coupure ou micro-coupure et garantir un réseau électrique unique de l'attelage vers le tracteur pour un démontage facile.
- La recharge de la batterie 12V doit se faire sur une prise type E.
- Le système doit être prêt à être installé sur le vecteur (alimentation, centrale de déclenchement et d'acquisition des mesures, antenne GNSS, capteurs et câblages).
- Le système doit pouvoir être évolutif et configurable pour piloter le déclenchement et l'acquisition d'images de caméras thermiques infrarouges et de caméras multispectrales ou d'autres capteurs (cf. 4.4.).
- INRAE souhaite que l'ensemble des codes sources du système soient ouverts et disponibles, afin de mettre en œuvre des évolutions futures si cela s'avérait nécessaire,
- En matière de sécurité, le système doit être conforme aux normes et réglementations en vigueur, en particulier concernant le risque électrique et directive machine (non exhaustif). Les justificatifs nécessaires doivent être fournis.
- La disposition des capteurs-imageurs doit être telle qu'il ne doit apparaître aucun élément structurel du système de phénotypage dans le champ de vision du capteur.

#### 4.2.2 Châssis

Le châssis doit être le support d'une à deux têtes de mesure.

Les liaisons mécaniques entre le châssis et le tracteur d'une part, et entre le châssis et les têtes de mesure d'autre part doit permettre le démontage. Le châssis doit disposer de supports escamotables pour la dépose après démontage.

Plus précisément, pour les systèmes Toulenné (Verger) et Pech Rouge (Vigne) : l'ensemble châssis-capteurs-système d'acquisition doit être détachable du tracteur très facilement (connectique appropriée).

Pour Villenave d'Ornon (montage sur Rover) : les capteurs doivent être montés sur une potence fixée au cadre qui doit être démontable facilement (voir plus bas).

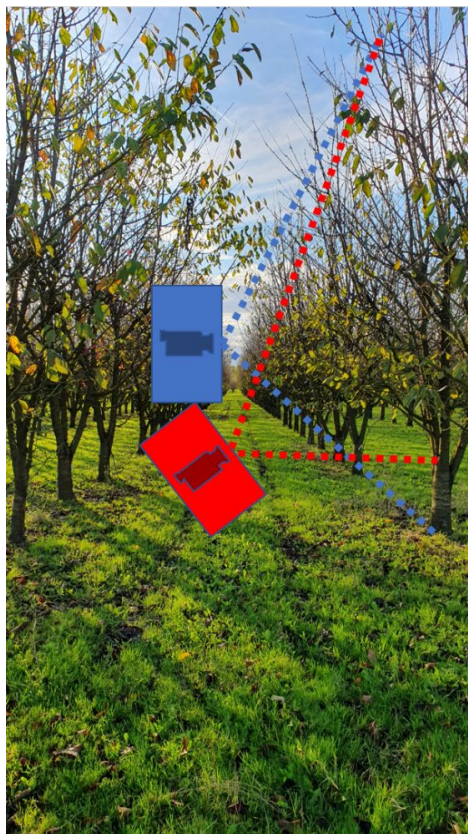
Le châssis et les têtes de mesure doivent être amortis pour s'affranchir des problèmes de planéité du sol (roulis, tangage... Cf. 4.2.1 (Contraintes particulières)).

**Idéalement, le châssis doit pouvoir être attelé à tout type de tracteur (vigneron et verger). Un exemple de fixation standard est visible en annexe 3.**

- **Verger**

Le châssis verger doit s'adapter à un attelage 3 points standard de tracteur. Le tracteur sera un [John Deer 5510N](#) ou un [Fendt 209F](#) (cliquer sur les liens pour avoir les références techniques). Le châssis verger doit pouvoir s'adapter sur l'un comme sur l'autre des tracteurs, ou sur tout autre tracteur de type équivalent.

Pour les vergers expérimentaux, la structure du châssis doit permettre une certaine évolutivité. En particulier, la position des têtes de mesure doit pouvoir être facilement modifiée, à la fois en termes de hauteur mais également pour permettre leur bascule d'une visée horizontale (vers le rang) à une visée en contreplongée (vers la canopée du rang). Les configurations décrites sont illustrées dans la Figure 5. Les dimensions des vergers expérimentaux sont décrites dans les figures 1, 2, et annexe 2.



### Légende



Têtes de mesure en position horizontale



Têtes de mesure en position contre-plongée



Champs de vision des capteurs de la tête de mesure en position horizontale



Champs de vision des capteurs de la tête de mesure en position contre-plongée

Figure 5 : Configurations des têtes de mesures pour vergers

Le châssis, au niveau des bras inférieurs de relevage de l'attelage trois points, doit respecter les dimensions  $a \geq 10\text{cm}$ ,  $b \geq 6,5\text{cm}$  et  $c = 2,8\text{cm}$  comme décrit sur la Figure 6, permettant un attelage à tous les bras de relevage inférieurs des tracteurs.

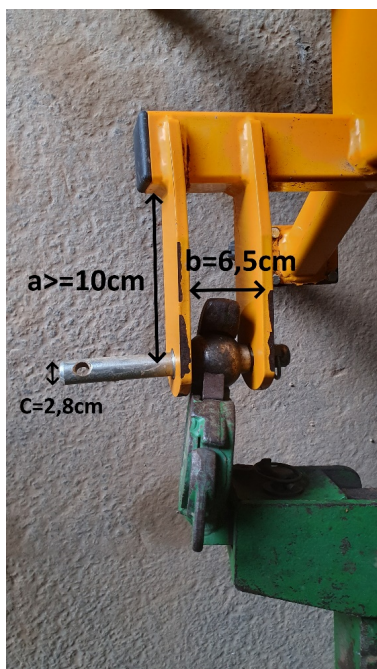


Figure 6 : Dimension du châssis pour l'attelage au bras inférieur de relevage.

- **Vignoble Pech Rouge**

Le châssis vignoble 1 doit s'adapter à un attelage 3 points standard de tracteur. Le tracteur sera un tracteur vigneron Renault dionis 140 ou tracteur fruitier John Deere 5616 F. Le châssis vignoble 1 doit pouvoir s'adapter sur l'un comme sur l'autre des tracteurs, ou sur tout autre tracteur de type équivalent.



- **Vignoble Villenave d'Ornon**

Le vecteur doit être un automoteur électrique de type enjambeur, à système de guidage par Ag Open GPS. La vitesse d'avancement sera comprise entre 0 et 3 km, réglage fin.

La configuration générale est celle de 2 arceaux avec roues, enjambant le rang de vigne à mesurer, reliés entre eux par un cadre adapté (cf figure 7).

Le coffret comportant les capteurs (LiDAR, camera RGB, flash...) sera fixé (boulon et écrous) sur l'arceau vertical arrière. Les coffrets contenant hardware et batterie doivent pouvoir être fixés sur les barres transversales supérieures reliant les 2 arceaux. La double antenne doit pouvoir être fixée sur les mêmes barres transversales. La centrale inertielle doit pouvoir être installée sur le coffret comprenant les capteurs.

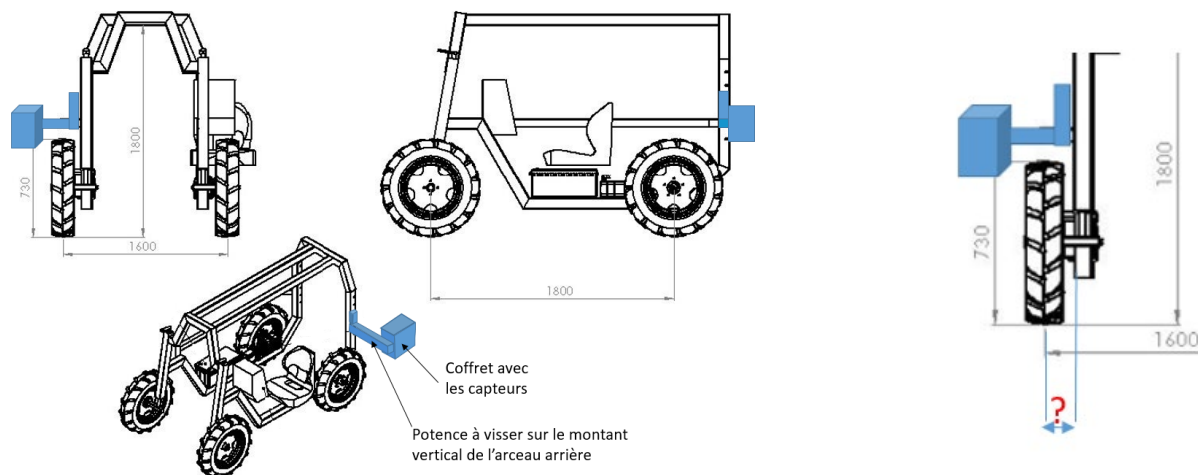


Figure 7 : Configuration générale du vecteur de Villenave d'Ornon (Vignoble)  
Les cotes exactes du vecteur seront fournies dès réception du vecteur.

#### 4.2.3 Têtes de mesure

L'ensemble du système doit être protégé, de sorte que les capteurs soient préservés de la pluie, du soleil et des chocs. Un coffret électrique adapté à une utilisation en extérieur, avec un espace intérieur suffisant pour les interventions techniques, doit être intégré au châssis et les capteurs doivent y être connectés. Il doit intégrer également les composants informatiques (décrit au paragraphe 4.3.).

Il est proposé de regrouper les capteurs sur des « têtes de mesures ». Éventuellement, pour le cas particulier des vergers (volumes de végétation importants, réglages nécessaires...), d'autres dispositions particulières pourront être proposées. Une tête de mesure complète doit comprendre 1 Lidar, 2 caméras RGB (stéréovision) et 2 flashes Xénon. Les perspectives d'évolutivité du système doivent être prises en compte également (capteurs supplémentaires : cf. 4.4.)

Chaque tête de mesure doit être conçue pour accueillir différents capteurs de phénotypage (Lidar, Camera, Flash). Pour chaque capteur, un support spécifique doit être installé pour les fixer sur la tête de mesure et garder la possibilité de les déplacer si besoin. Une possibilité de réglage de la hauteur des capteurs (course verticale) est impérative pour tous les systèmes sur une amplitude d'environ 20% de la hauteur de végétation observée. De même, un réglage fin de l'orientation des capteurs doit être proposé pour tous les systèmes. Des repères d'ajustement doivent être proposés (graduations), ou tout autre système qui permet d'intégrer précisément ces métadonnées dans les modules de traitement des données.

Pour les vergers, étant donnée la diversité des situations, un réglage de l'orientation des capteurs (tête de mesure) en roulis (autour de l'axe x) doit permettre de couvrir l'hétérogénéité des situations. L'opérateur doit pouvoir saisir ces paramètres dans l'IHM directement lors d'une mission et ces métadonnées doivent être intégrées aux données du fichier HDF5 en sortie.

Afin de minimiser la dégradation des données LIDAR due aux mouvements dynamiques du porteur (roulis, tangage et lacet induits par les irrégularités du terrain), il est impératif de limiter tant que possible la hauteur d'installation du capteur.

Pour la connexion des équipements, des connecteurs différenciés doivent être utilisés pour séparer la partie électrique nécessaire à l'alimentation et au contrôle des équipements.

Pour le site Verger Toulenn, une tête de mesure supplémentaire est envisagée (optionnelle) pour les cerisiers hautes tiges : cf. 4.1.3 : PSE2

### 4.3 Système de supervision, d'acquisition et de commande

*Cette partie comprend le montage général des éléments, l'intégration du système d'acquisition et le support technique.*

La qualité des données de phénotypage repose fortement sur un contrôle précis des acquisitions et sur un système de stockage des données rapide et bien dimensionné. Ceci est une exigence pour une étape de traitement de données efficace. La commande d'acquisition doit reposer sur 3 composants principaux :

- Une interface homme-machine pour programmer le scénario de mesure et suivre en temps réel depuis le poste de conduite l'acquisition des données,
- Une solution informatique et logicielle embarquée pour piloter les capteurs de phénotypage et stocker les données,
- Un système de géo-positionnement pour déclencher automatiquement les mesures en fonction de la position du porteur et pour géo-référencer les données (cf.4.1.1.)

**L'interface homme-machine** doit être assurée par :

- Une tablette PC durcie, capable d'échanger des données avec l'ordinateur de bord,
- Un logiciel de planification et de suivi des acquisitions,
- Les interfaces doivent être conviviales et relativement simples d'utilisation afin qu'un technicien tractoriste non informaticien puisse mettre en œuvre un projet sur le terrain après une formation rapide.
- Une fonction faisant état d'un récapitulatif des données acquises (nombre de parcelles unitaires effectivement mesurées / nombre total programmé, nombre de problèmes et types...) serait appréciée.

Toutes les données collectées par le système d'acquisition embarqué doivent être pilotées et suivies en temps réel via une **interface conviviale** :

- L'opérateur doit pouvoir créer un projet en important des objets géoréférencés, avec des identifiants et des coordonnées GNSS, puis le visualiser sur une interface graphique permettant de planifier un parcours,
- Il doit être possible de définir des « bordures » pour les modalités expérimentales, exprimées en centimètres, c'est-à-dire une zone en début et fin de parcelle dans laquelle l'acquisition de données ne doit pas se faire.
- Définition de programme :
  - Par capteurs permettant de changer facilement les réglages de chaque capteur
  - Par objet géoréférencé (une plante ou un ensemble de plusieurs plantes)
- Les intervalles entre événements doivent être paramétrables capteur par capteur et pour chaque source d'éclairage éventuel.
- Définition de séquences d'acquisition en fonction du temps ou de la géo-position, afin d'enchaîner une série de programmes au sein d'une parcelle,
- Démarrage/arrêt manuel ou automatique d'une séquence d'acquisition doit être possible, même en l'absence de signal GPS.
- L'opérateur doit pouvoir stopper manuellement le processus d'acquisition et le reprendre à sa convenance.
- L'opérateur doit pouvoir suivre visuellement le déroulement du projet :
  - Le système doit afficher sa position en temps réel sur un plan du dispositif expérimental,
  - Prévisualisation en temps réel des données en cours d'acquisition,
  - Surveillance en temps réel de la qualité des données du capteur, avec un ensemble d'alertes/alarmes si les données ne correspondent pas à un ensemble prédéfini de critères de qualité,
  - En cas de dysfonctionnement de l'acquisition de données (vitesse d'avancement inappropriée, problème sur un capteur, ...) le système doit proposer à l'opérateur soit de recommencer le processus, soit son abandon avec sauvegarde de l'information « acquisition impossible ».
- La récupération des données doit être possible sur un ordinateur ou un disque externe (haut-débit) pour sauvegarde et exploitation ultérieure.
- La récupération des données doit également être possible via un câble Ethernet (prise RJ45) pour un transfert des données vers un serveur local. Dans cet objectif, les configurations réseaux de l'ordinateur de bord doivent pouvoir être configurées à la livraison de l'appareil afin d'être intégré au réseau interne INRAE (allocation d'une

configuration IPV4 fixe et/ou dynamique). Afin de faciliter ces configurations, l'adresse MAC de la carte réseau de l'ordinateur de bord doit être précisée dans la documentation.

- La possibilité de réaliser une gestion du statut des données acquises (fichiers transférés ou non)

L'ensemble des données brutes d'acquisition et des métadonnées associées doit être structuré et persisté au format HDF5. En plus des métadonnées utiles et données brutes, le HDF5 doit contenir les données de l'IMU et du GPS. Chaque fichier HDF5 doit constituer l'unité d'archivage et d'exploitation de données, correspondant strictement à une unité parcellaire de mesure. Une unité parcellaire de mesure doit correspondre à 1 face d'un nombre de 1 à N plantes (mesures sur les 2 faces). La structuration des fichiers doit être conforme aux standards actuels utilisés à INRAE ; la structuration exacte de ces HDF5 est décrite ici : <https://github.com/arvalis-cigale/PhenoHDF5> ; toute modification de cette structure doit faire l'objet d'une concertation préalable.

**L'ordinateur de bord et l'électronique** doit comprendre :

- Un ordinateur durci avec si possible 4 To (au minimum 2 To) de stockage pour piloter les capteurs et enregistrer les données, la capacité de stockage doit être dimensionnée de manière à enregistrer les données pour tous les capteurs embarqués simultanément et pour l'ensemble de missions sur 4000 plantes environ.
- Une connexion possible à l'ordinateur de bord par le wifi
- Une connectique permettant d'alimenter la tablette embarquant l'IHM et une connectique ethernet pour permettre le transfert occasionnel de données vers la tablette
- Une sortie Ethernet (RJ45) permettant l'export des données acquises vers un serveur local à haut-débit
- Une carte de synchronisation permettant d'assurer la synchronisation des capteurs (ex : plusieurs caméras avec leurs flashes) de façon électrique,
- Distribution d'énergie électrique et câbles,
- Un logiciel qui contrôle les capteurs (maintenance préventive) et enregistre les données :
  - Test de santé des capteurs pour programmer une intervention,
  - Surveillance de l'état de la mémoire,
  - Intégrité de la chaîne de traitement,
  - Un système d'alerte global doit informer directement votre équipe de support en cas de problème majeur sans aucune action de vos opérateurs.
- Pour bénéficier d'un support technique et d'une maintenance à distance, un système de télémaintenance doit être proposé, par exemple grâce à un modem et une carte SIM et si possible via le récepteur GNSS ; cette dernière fonctionnalité du récepteur ouvre de plus la possibilité d'une connexion GSM sur les réseaux de bases RTK.

#### 4.4 Évolutivité technique du système

- **Capteurs**

Pour les 3 sites, il est envisagé d'acquérir de nouveaux capteurs à l'avenir. Le système fourni doit **prévoir l'ajout futur de 2 capteurs supplémentaires pour chaque système** (Vigne : Villenave et Pech Rouge) :

- Prédilections physiques et mécaniques
- Architecture de connectivité
- Alimentation et gestion de l'énergie
- Gestion des données et capacités de stockage
- Synchronisation temporelle et éclairage

Cette intégration future de 2 capteurs correspond aux demandes en option 4.1.2. (PSE1) et 4.1.4 (PSE3), mais n'inclut pas l'ajout de la tête de mesure supplémentaire pour Verger Toulenn (PSE2).

Il est proposé de dimensionner ces prédilections de chaque système sur les modèles de capteurs suivants ou équivalents (cliquer sur le lien pour avoir la référence technique) :

- [modèle FlirA655sc FOV80°](#)
- [modèle Micasense Altum-PT](#)

En effet, ces 2 modèles pourraient être intégrés à l'avenir. Leur fourniture n'est pas demandée hors prestation supplémentaires.

- **Châssis**

**Pour les 3 systèmes**, si c'est nécessaire, une correction dynamique de la visée des capteurs est envisagée à l'avenir. Cette correction nécessitera que le mât portant les capteurs bénéficie d'une actionnabilité bi-axiale. Ainsi il est demandé de construire le châssis afin d'avoir deux axes de rotation du mât portant les capteurs, ce qui permettra un mouvement de roulis (autour de l'axe X, sens de la marche) et de tangage (autour de l'axe Y, horizontal, perpendiculaire à X).

Les supports de fixation des éventuels 2 futurs actionneurs (vérins...) doivent être pré-installés, ainsi qu'un dispositif de verrouillage des axes lorsqu'ils ne sont pas utilisés.

## 5 Clause de développement durable

Afin de pouvoir évaluer le critère de développement durable, les candidats doivent détailler dans leur offre les mesures mises en place pour :

- Améliorer l'impact environnemental des livraisons,
- Limiter les emballages et réduire les déchets.

Nous serons attentifs à toutes les innovations permettant les économies d'énergie.

## 6 Garanties, service après-vente et maintenance

Les équipements doivent être livrés avec une garantie totale d'une durée minimale de 24 mois (pièces et main d'œuvre, déplacements). La garantie doit couvrir les dysfonctionnements informatiques, la durabilité du châssis, la conception de la chaîne d'acquisition et les capteurs.

La plus grande importance sera attachée à la qualité du service après-vente et la rapidité d'intervention en cas de panne.

Pour chaque équipement, il est demandé un chiffrage pour une année de maintenance, au-delà des deux ans de garantie (voir PSE 5 ci-dessus).

Une télémaintenance sera proposée (cf. 4.3.) et intégrée à l'offre de maintenance de base (pendant la période de garantie), ainsi qu'à l'issue de la période de garantie, pour le diagnostic des pannes, dysfonctionnements informatiques et paramétrages informatiques.

## 7 Livraison – installation

Pour le Vignoble Villenave d'Ornon, le système doit être installé sur le vecteur autonome qui doit être acheminé au frais du fournisseur.

Pour les 2 autres sites, la livraison du système complet prêt à être attelé au tracteur est au frais du fournisseur.

Le matériel doit être neuf et le délai entre la notification du marché valant engagement et la mise en service ne doit pas excéder 6 mois.

Le délai entre la livraison et la mise en service ne doit pas dépasser deux semaines.

Une phase d'admission en conditions réelles est effectuée sur une période de 1 mois à compter de la mise en service. Cette phase doit couvrir des situations météorologiques contrastées (temps couvert, temps ensoleillé).

L'admission du matériel sera prononcée après l'installation, la mise en service, la formation du personnel INRAE et la phase d'admission avec des tests en verger ou au vignoble. Les tests consisteront à obtenir des nuages de points LiDAR et des images exploitables sur des séries de parcelles géoréférencées.

### 7.1 Système Verger – Lot 1

Le ou les numéros de suivi doivent être fournis par le titulaire du marché à la personne responsable du projet à INRAE et permettront de suivre l'acheminement des colis.

L'équipement doit être livré à l'adresse suivante :

Unité Expérimentale Arboricole

A l'attention de M. David Allétru  
1 port de l'île - Domaine des Jarres  
33210 Toulence - France

## 7.2 Système Vignoble Villenave d'Ornon – Lot 1

L'équipement doit être livré à l'adresse suivante :  
Unité Expérimentale Vigne Bordeaux  
A l'attention de MM Mathias Robin et Jean-Pascal Goutouly  
Bâtiment D3  
71, avenue Edouard Bourlaux – CS 20032  
33882 VILLENAVE D'ORNON CEDEX – France

## 7.3 Système Vignoble Pech Rouge – Lot 2

Le ou les numéros de suivi doivent être fournis par le titulaire du marché à la personne responsable du projet à INRAE et permettront de suivre l'acheminement des colis.

L'équipement doit être livré à l'adresse suivante :

Unité Expérimentale de Pech Rouge  
A l'attention de M. Nicolas Saurin  
Domaine de Pech Rouge  
11430 Gruissan - France

## 8 Formation – Documentation

Une formation sur site, pour un effectif compris entre 4 et 6 personnes, à l'utilisation, la maintenance (entretien courant, calibration) et la gestion des différentes caméras doit être réalisée et être concomitante à la mise en service. La fourniture d'une notice en français et en anglais (montage, connectiques, utilisation des interfaces, dysfonctionnements et solutions...) d'utilisation est impérative.

Tous les documents techniques des capteurs doivent être fournis au moment de l'offre ainsi que les algorithmes de traitement des données au moment de l'installation.

L'offre du titulaire inclut un accompagnement aux utilisateurs pendant une période minimum de 1 an suivant l'admission du matériel, afin de leur garantir une utilisation optimale.

## 9 Informations additionnelles – Visite non obligatoire

Une visite peut être proposée aux candidats qui le souhaitent. Se reporter à l'article 2 du Règlement de Consultation.

### Système Verger

Prendre contact avec M. David Allétru par mail : [david.alletru@inrae.fr](mailto:david.alletru@inrae.fr) pour convenir d'un rendez-vous.

### Système Vignoble Villenave d'Ornon

Prendre contact avec M. Mathias Robin par mail : [mathias.robin@inrae.fr](mailto:mathias.robin@inrae.fr) pour convenir d'un rendez-vous.

### Système Vignoble Pech Rouge

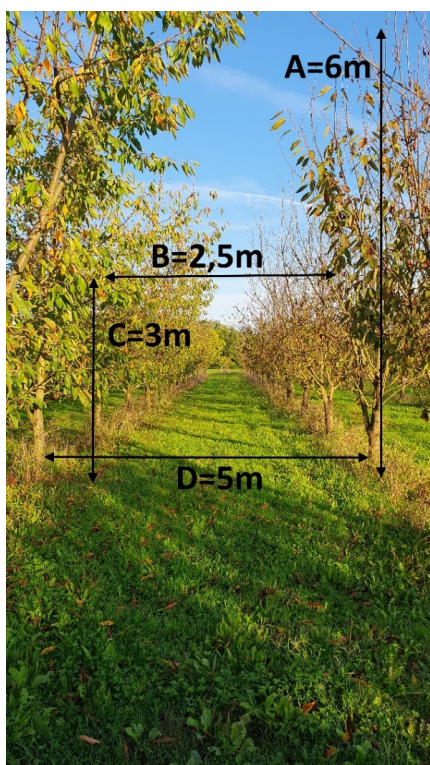
Prendre contact avec M. Nicolas Saurin par mail [Nicolas.saurin@inrae.fr](mailto:Nicolas.saurin@inrae.fr) ou par téléphone (06 77 65 89 47) pour convenir d'un rendez-vous.



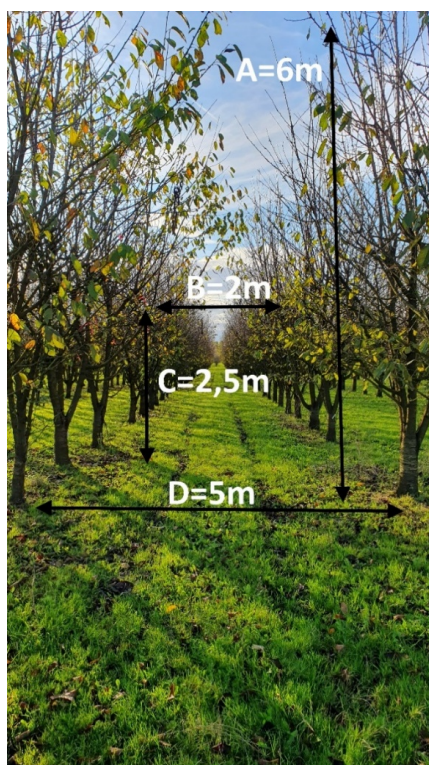
## ANNEXE 1 : Capteurs déjà testés sur d'autres systèmes à INRAE à titre indicatif

Matériel	Type ou équivalent
LiDAR	Sick LMS4000 121R ou éq.
Caméra RVB	Baumer VCXG.2-124C ou éq.
Système d'éclairage flash d'appoint	Flashes Phoxene Felin Fx-2 ou eq.
Centrale inertielle	SBG Ellipse3A ou eq.
Caméra multispectrale	Micasense Altum-PT et RedEdge-P

## ANNEXE 2 : Configuration des plantations de cerisiers hautes tiges nécessitant l'installation d'une tête de mesure supplémentaire (PSE2)



Verger de cerisier de 9 ans  
Distance entre les arbres 4m.



Verger de cerisiers de 12 ans  
Distance entre les arbres 2,5m

## ANNEXE 3 : Système d'attelage standard de l'UEAV (INRAE Colmar)



Montpellier le 09/02/2026