Université de Limoges

CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIÈRES

MARCHÉ PUBLIC DE FOURNITURES COURANTES ET DE SERVICES

---

907 26 81 - Conception de trois interfaces d'intégration robotique sécurisées

---

Cahier des charges

Interfaces d'intégration robotique sécurisées

1. Objet, périmètre et principes structurants

Le présent cahier des charges synthétise les besoins fonctionnels et non fonctionnels du projet GORT, en lien principalement avec la tâche 5.3 « Data integration (interfaces) and security », et limités à la spécification et la conception des interfaces graphiques. Il vise à rendre exploitables, par des utilisateurs de niveaux d'expertise différents, des données multi-sources et multi-formats, dont certaines produites en temps réel ou différé dans un champ agricole par les robots, capteurs et systèmes tiers, et d'autres disponibles dans des bases de données ou des systèmes informationnels, tout en garantissant interopérabilité, sécurité, traçabilité et utilisabilité.

Périmètre — l'architecture back-end, le modèle de données, la logique d'ingestion et l'API d'accès aux données sont définis et implémentés indépendamment de ce document. Les interfaces décrites ici doivent s'intégrer à cette API existante plutôt que la redéfinir ou en construire les briques.

Principe directeur — la solution est structurée en trois interfaces distinctes correspondant à trois contextes d'usage et trois niveaux de contraintes : (INT-1) interaction directe avec le robot pour sa configuration et l'enregistrement des sessions ; (INT-2) suivi et paramétrage des algorithmes et modèles embarqués — détection, segmentation, tracking, apprentissage en ligne — robot par robot, avec une vue de localisation de la flotte en temps réel ; (INT-3) exploitation centralisée, historique et décisionnelle.

1.1 Exigence de conception centrée utilisateur

La conception des trois interfaces doit respecter les principes de l'ISO 9241-210:2019 citée dans le document source. Cette exigence ne se limite pas à l'ergonomie graphique : elle impose une compréhension explicite des utilisateurs, tâches et environnements, la participation d'utilisateurs réels, une évaluation fondée sur des usages représentatifs, un processus itératif, une prise en compte de l'expérience utilisateur globale et une équipe de conception pluridisciplinaire.

- Chaque interface doit être conçue à partir de scénarios d'usage correspondant à son contexte réel : robot, champ, poste de recherche ou exploitation agricole.
- Les maquettes doivent être testées avant développement puis réévaluées à chaque itération.
- Les exigences Priorité 1 (P1) et les exigences non fonctionnelles doivent être reliées à des critères de recette mesurables.
- La terminologie, les statuts, alertes et mécanismes de confirmation doivent rester cohérents entre les trois interfaces.

1.2 Principes transversaux obligatoires

- Séparation claire entre fonctions temps réel (configuration robot, algorithmes), suivi de la flotte et exploitation historique des données.
- Fonctionnement local autonome du robot : une indisponibilité Internet ou du serveur central ne doit pas interrompre une session.
- Intégration à l'API back-end existante, documentée et versionnée, avec formats standardisés et traçabilité de la provenance des données ; les interfaces consomment cette API sans en redéfinir l'architecture ni la logique d'ingestion.
- Sécurité par conception : authentification, rôles, chiffrement, journalisation, intégrité, mises à jour signées et cloisonnement des données.
- Versionnement et journalisation de tout paramètre susceptible d'influencer le comportement robotique ou les résultats algorithmiques.

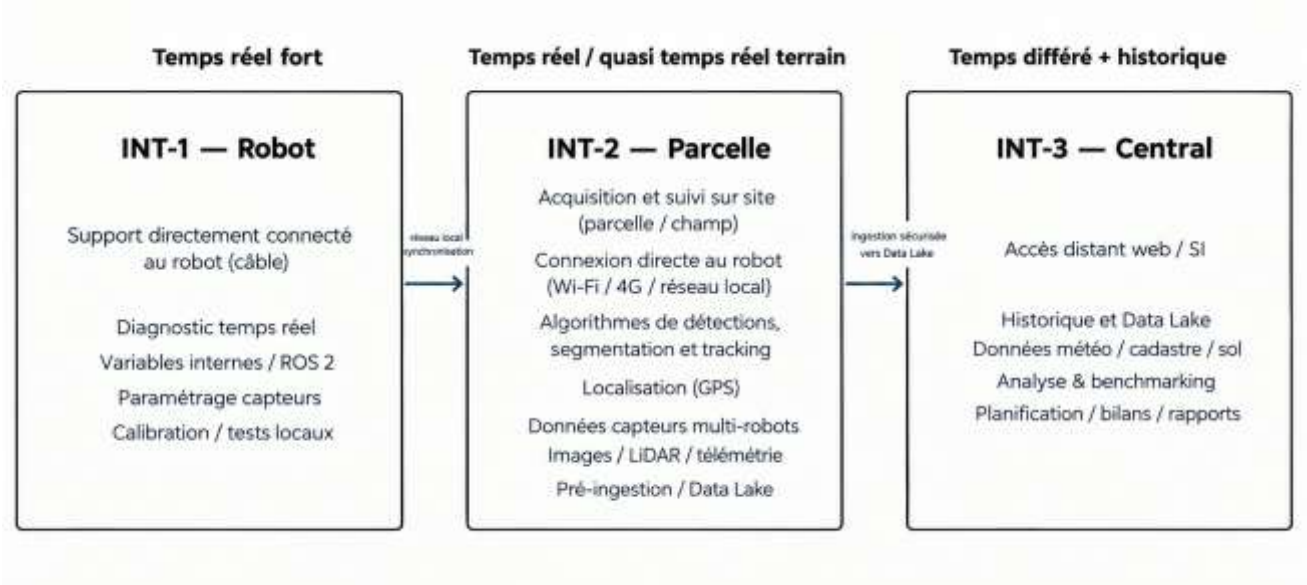
- Priorité à la lisibilité et à la simplicité pour les fonctions opérateur/agriculteur ; accès à la donnée brute et aux réglages avancés uniquement pour les profils habilités.
- Prévoir une synchronisation application mobile et robot régulièrement.

2. Architecture fonctionnelle

L'architecture cible distingue trois niveaux fonctionnels, reliés par des flux explicites. Cette séparation doit être reflétée dans les composants logiciels, les droits d'accès, les points d'intégration avec l'API backend ainsi que dans les stratégies de test.

1. INT-1 — Robot : le robot produit les flux ROS 2 (USB 3), les états, les événements et les Rosbags. INT-1 permet de superviser ces flux en temps réel et de configurer les données à enregistrer.
2. INT-2 — Parcelle : INT-2 exploite les données acquises ainsi que les sorties des algorithmes pour assurer leur suivi et permettre le paramétrage des modèles, robot par robot, capteurs et technologies IoT. L'interface permet également de démarrer et d'arrêter l'ingestion. La normalisation et le stockage des sessions dans le Data Lake, déjà implémentés, sont hors du périmètre du présent document.
3. INT-3 — Central : INT-3 permet d'accéder aux données consolidées et aux sources externes au travers de l'API backend, qui assure leur accès de manière sécurisée et versionnée.

L'architecture doit permettre une évolution des fonctionnalités, la mise à jour des modules et l'ajout et intégration de nouvelles fonctionnalités, et ceci quel que soit le niveau considéré INT-1 INT-2 ou INT-3



2.1 Matrice de positionnement des interfaces

Interface	Utilisateurs principaux	Contexte	Données	Connectivité	Contraintes dominantes
INT-1 — Robot	Roboticien ; opérateur (agriculteur) ; maintenance/diagnostic	Sur ou au contact du robot	Données brutes, variables internes, capteurs, état logiciel et matériel de certains composants	Directe filaire prioritaire (Ethernet/USB selon matériel) ; connexion aux catalogue des API robot et	Temps réel fort ; hors ligne ; sécurité locale ; une machine

Interface	Utilisateurs principaux	Contexte	Données	Connectivité	Contraintes dominantes
				catalogue API datalake	
INT-2 — Recherche	Chercheur ; roboticien (supervision) ; Opérateur (agriculteur)	Station de surveillance (camion) ; consultable à distance (planification mission, monitoring)	Sorties des algorithmes (détection, segmentation, tracking, apprentissage en ligne), hyperparamètres, modèles, données acquises, localisation temps réel de la flotte	locale prioritaire pour l'analyse ; HTTPS vers le backend pour la vue flotte ; connexion aux catalogue des API robot et catalogue API datalake	Temps réel fort pour l'algorithmie ; un robot en édition ; vue flotte en lecture seule
INT-3 — Central	Chercheur ; agriculteur ; analyste métier ; administrateur	Bureau, laboratoire, mobile, ferme, exploitation, accès distant	Historique Data Lake, indicateurs, données externes, rapports, plans de mission	HTTPS / API sécurisées ; connexion au catalogue API datalake	Temps différé ; historisation ; multi-utilisateurs ; gouvernance et droits par périmètre

2.2 Matrice utilisateurs × interfaces

Utilisateur	INT-1 Robot	INT-2 Recherche	INT-3 Central
Roboticien	● diagnostic, configuration robot, sélection des topics	○ supervision des algorithmes, consultation de la localisation flotte	● historique, benchmarking, comparaison campagnes
Opérateur / utilisateur robot	● paramétrage local, session, diagnostic guidé	○ consultation de la localisation temps réel si présent sur site	○ consultation de bilans selon rôle
Chercheur	○ accès local si besoin de diagnostic robot	● suivi et paramétrage des algorithmes/modèles, visualisation des données acquises	● analyse historique, requêtes, benchmarking, exports
Agriculteur	○ réglages autorisés avant mission	Planification des missions, monitoring réalisation, robots	● planification, alertes, bilans, rapports
Maintenance	● diagnostic / tests / mise à jour	○ consultation localisation flotte (accessoire)	● historique pannes / versions / interventions
Administrateur	○ gestion locale encadrée	○ supervision des accès	● comptes, rôles, audit, rétention, gouvernance

Légende : ● usage principal ; ○ usage secondaire ou conditionnel. Les droits réels restent pilotés par le rôle et le périmètre de données associé au compte.

Pour chaque interface, deux niveaux d’accès sont attendus : un niveau expert (développeur…) et un niveau simplifié (utilisateur final et diagnostic

premier niveau).3. INT-1 — Interface Robot : configuration, sélection des topics et diagnostic local

3.1 Finalité

INT-1 est l'interface de proximité. Sa fonction prioritaire est de permettre la configuration du robot et la sélection des topics à enregistrer pour une session. Elle permet également l'observation technique fine par le développeur/roboticien et les réglages autorisés par l'utilisateur du robot. Le suivi et le paramétrage des algorithmes de détection, segmentation, tracking et apprentissage en ligne sont assurés depuis INT-2. Pour les fonctions exigeant une forte réactivité ou un accès aux flux bruts, la connexion filaire directe est la référence de conception.

3.2 Fonctions attendues

Les fonctions attendues en priorité P1 compose l'offre de base.
Les priorités P2 et P3 seront proposées en PSE (Prestations Supplémentaires Eventuelles)

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT1-F01	Afficher en temps réel l'état du robot, des capteurs et des actionneurs : batterie, GNSS, IMU, caméras, LiDAR, températures, espace disque, modes de fonctionnement.	P1	Latence état robot < 500 ms au 95e centile.
INT1-F02	Visualiser les variables internes utiles au développement : nœuds/topics/services ROS 2, fréquences, journaux, métriques CPU/GPU/mémoire/réseau, états de navigation/localisation.	P1	Accès réservé aux rôles techniques ; fonctionnement hors Internet ; vue également accessible depuis INT-2 pour l'analyse algorithmique.
INT1-F03	Visualiser en direct les données capteurs : images, nuages de points, position, trajectoire et synchronisation multi-capteurs.	P1	Réseau local haut débit ; flux caméra ≥ 10 i/s ; pertes < 5 % sur 10 min.
INT1-F04	Diagnostiquer en temps réel : capteur muet, fréquence anormale, dérive temporelle, erreurs de nœuds, saturation CPU/GPU, perte GPS, espace disque insuffisant.	P1	Alertes explicites ; horodatage commun ; journal technique filtrable par sous-système (motorisation, capteurs, communication, alimentation).
INT1-F05	Paramétrer les caméras : exposition, mise au point, déclenchement/flash et paramètres autorisés par le matériel.	P1	Modification tracée et versionnée.
INT1-F06	Configurer/calibrer la géométrie des capteurs : position/orientation, paramètres intrinsèques/extrinsèques, alignement LiDAR–caméra, IMU.	P1	Action réservée au rôle habilité ; sauvegarde du jeu de calibration.
INT1-F07	Démarrer, mettre en pause, reprendre et arrêter une session d'acquisition ; sélectionner les topics enregistrés et estimer débit/volumétrie.	P1	Fonction prioritaire d'INT-1 ; la session doit rester autonome vis-à-vis du serveur central. La sélection produit une configuration de capture versionnée, embarquée avec la session, qui se substitue à l'édition manuelle de fichiers de configuration.
INT1-F08	Exécuter des autotests et diagnostics guidés pour maintenance.	P1	Résultats journalisés et rattachés au robot.

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT1-F09	Permettre uniquement les commandes locales nécessaires au diagnostic ou à l'exploitation, avec verrou de rôle et confirmation explicite.	P1	Pas de téléopération libre via Internet ; arrêt d'urgence local toujours disponible.
INT1-F10	Être informé immédiatement en cas de perte de connexion avec le robot, par un indicateur visuel distinct d'une simple absence de données, avec reprise automatique de l'enregistrement local si la liaison est rétablie.	P1	Alerte dédiée, distincte du diagnostic capteur (INT1-F04) ; reprise automatique sans perte de données.
INT1-F11	Consulter les logs système du robot en langage compréhensible pour un non-spécialiste (messages d'erreur explicites plutôt que codes techniques bruts).	P2	Vue simplifiée, distincte du journal technique détaillé (INT1-F02) ; accessible à l'opérateur.
INT1-F12	Consulter l'état matériel du robot : composants, usure, historique de maintenance.	P1	Historique consolidé également visible depuis INT-3 (cf. INT3-F05).
INT1-F13	Enregistrer une intervention de maintenance (nature, pièces changées, durée) et la rattacher à l'historique du robot concerné.	P1	Saisie horodatée et attribuée au technicien ; historique consultable depuis INT-1 et INT-3.
INT1-F14	Accéder à la documentation technique du robot (schémas, procédures de démontage) directement depuis l'interface utilisée sur le terrain.	P2	Documentation embarquée ou mise en cache pour un accès hors ligne.
INT1-F15	Permettre au technicien de maintenance de déclencher une mise à jour du logiciel embarqué du robot depuis l'interface.	P3	Mise à jour signée et vérifiée avant application (cf. SEC-05) ; autotest après installation et retour arrière possible.

3.3 Contraintes spécifiques INT-1

- Connexion directe filaire prioritaire pour le diagnostic temps réel, la calibration et les transferts volumineux ; un accès local sans fil peut être admis pour des fonctions limitées de consultation/alerte.
- Les fonctions d'analyse et de paramétrage des algorithmes (détection, segmentation, tracking, apprentissage en ligne) relèvent d'INT-2, même lorsqu'elles sont consultées depuis un poste proche du robot.
- Aucune dépendance au Data Lake ni à Internet pour les fonctions de session, diagnostic et paramétrage local.
- Le réseau embarqué doit être cloisonné ; seuls les topics/services nécessaires sont exposés par liste blanche.
- Authentification locale obligatoire avant toute modification ; mode dégradé en lecture seule + arrêt d'urgence si les identifiants locaux ne peuvent plus être validés.
- Lisibilité au champ : écran tactile ≥ 10 pouces, forte luminosité, mode contraste élevé, cibles utilisables avec des gants.
- Toute modification de configuration doit produire un enregistrement : utilisateur, date, ancienne valeur, nouvelle valeur, version logicielle et robot concerné.

4. INT-2 — Interface Recherche : suivi et paramétrage des algorithmes, localisation de la flotte

4.1 Finalité

INT-2 est l'interface dédiée aux chercheurs et aux agriculteurs pour le suivi et le paramétrage des algorithmes et modèles embarqués sur le robot — détection, segmentation, tracking et apprentissage en ligne (online learning) — robot par robot. Elle permet également de visualiser l'ensemble des données acquises par le robot au cours d'une session. La supervision de plusieurs robots reste possible mais secondaire : elle se limite à une vue cartographique de la localisation

de chaque robot en temps réel, sans les fonctions de gestion de flotte ou d'alimentation du Data Lake, qui relèvent du backend existant. Elle doit permettre d'afficher moins de détails techniques pour les agriculteurs (public non initié à l'IA). INT-2 ne présente que les données scopées à un robot et à une session en cours ; toute vue agrégée entre sessions, robots ou campagnes relève d'INT-3.

4.2 Fonctions attendues

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT2-F01	Suivre en temps réel les sorties des algorithmes de détection, segmentation et tracking, superposées aux données capteurs (images, nuages de points).	P1	Latence d'affichage cohérente avec le flux capteur ; superposition alignée temporellement.
INT2-F02	Visualiser l'ensemble des données acquises par le robot au cours d'une session : flux capteurs, résultats intermédiaires, métadonnées.	P1	Synchronisation multi-capteurs ; consultation en direct et en relecture (Rosbag).
INT2-F03	Superviser les performances de calcul associées aux algorithmes : CPU/GPU/mémoire, temps d'inférence, fréquence de traitement.	P1	Fonction partagée avec INT-1 (variables internes du robot).
INT2-F04	Consulter les configurations d'algorithme sur une même session ou un même jeu de données.	P2	Support du benchmarking ; export des métriques.
INT2-F05	Suivre l'apprentissage en ligne (online learning) d'un modèle : évolution des métriques, déclenchement, pause, reprise et arrêt de l'apprentissage.	P2	Traçabilité des versions de modèle produites ; le rollback restaure une version tracée sans perte de traçabilité.
INT2-F06	Afficher une vue cartographique de la localisation de chaque robot de la flotte en temps réel, avoir identité persistante des objets sur terrain et leur localisation.	P2	Fonction secondaire, en lecture seule ; position et statut de connexion uniquement, sans détail de mission ni commande.
INT2-F07	Recevoir les alertes techniques liées aux algorithmes : perte de détection, dérive du modèle, saturation CPU/GPU.	P2	Fonctionnement local même sans Internet.
INT2-F08	Consulter l'état de la synchronisation des sessions vers le Data Lake, assurée par le backend (progression, erreurs).	P2	Affichage en lecture seule ; aucune logique d'ingestion implémentée côté interface.
INT2-F09	Saisir et rattacher à une session, avant décision d'ingestion vers le Data Lake, les métadonnées déclaratives : culture, objectif de mission, opérateur, conditions observées. Cette saisie se substitue à l'édition manuelle de fichiers de configuration.	P1	Trois classes de métadonnées distinguées (cf. DAT-05) ; la saisie ne conditionne ni la capture ni le dépôt ; toute modification historisée.
INT2-F10	Acquérir et afficher les données multispectrales/proche infrarouge (NIR) en complément du flux RGB, avec alignement spatial et temporel entre les bandes.	P1	Superposition RGB/NIR alignée ; bandes identifiées et horodatées de façon cohérente avec les autres flux capteurs.
INT2-F11	Afficher et permettre l'ajustement assisté des résultats de détection des racines (segmentation fine, correction manuelle ponctuelle).	P2	Correction tracée et versionnée ; ne modifie pas le modèle sous-jacent.
INT2-F12	Afficher le statut d'identité persistante de chaque objet suivi : nouvelle détection, appariement à un suivi existant, doublon rejeté ; consulter	P1	Statuts distincts et lisibles ; historique de ré-observation consultable par objet suivi.

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
	l'historique des ré-observations (revisit) d'un même objet.		
INT2-F13	Afficher, par modèle exécuté, la latence de traitement et le nombre de trames rejetées avec leur motif ; proposer une vue synchronisée « propre » pour le suivi en direct et une vue distincte pour l'évaluation détaillée.	P1	Motifs de rejet catégorisés ; les deux vues (suivi et évaluation) restent cohérentes entre elles sans se substituer l'une à l'autre.
INT2-F14	Rechercher les sessions et Rosbags par métadonnées, tags et topics, et prévisualiser un extrait sans nécessiter son téléchargement complet.	P2	Recherche combinée sur métadonnées déclaratives et intrinsèques ; prévisualisation en flux, sans copie locale complète.
INT2-F15	Annoter une session ou un extrait de Rosbag par une note horodatée, rattachée à un identifiant unique et à l'utilisateur auteur.	P2	Annotation historisée, non destructive, consultable avec la session.

4.3 Contraintes spécifiques INT-2

- Connexion directe au robot pour l'accès aux flux et résultats algorithmiques et pour l'envoi de commandes et la communication des données
- Le réseau embarqué doit être cloisonné ; seuls les topics/services nécessaires à l'analyse algorithmique sont exposés.
- Authentification obligatoire avant toute modification de paramètre ou d'hyperparamètre.
- La vue cartographique multi-robots reste une fonction secondaire, en lecture seule, sans commande de flotte.
- Toute modification de paramètre ou d'hyperparamètre doit produire un enregistrement : utilisateur, date, ancienne valeur, nouvelle valeur, version du modèle et robot concerné.
- Les métadonnées d'une session se répartissent en trois classes qu'il ne faut jamais confondre : intrinsèques (captées par le robot), déclaratives (saisies par un utilisateur) et dérivées (calculées par le backend). L'interface ne propose à la saisie que les métadonnées déclaratives.
- La saisie de métadonnées ne doit jamais conditionner la capture, l'enregistrement local ni le dépôt d'une session : une session non annotée doit pouvoir être déposée, puis complétée ultérieurement.
- Les diagnostics de géoréférencement (qualité de la position ENU/WGS84 associée à chaque détection) sont affichés en temps réel sur INT-2 pour la session en cours ; la carte agrégée et historisée des positions relève d'INT-3.

5. INT-3 — Interface Centrale : exploitation, analyse, planification et bilans

5.1 Finalité

INT-3 est l'interface d'exploitation à distance. Elle s'appuie sur le Data Lake et sur des bases externes afin de produire des analyses historiques et croisées. Elle doit proposer deux parcours principaux : un parcours recherche/data pour l'exploration, le benchmarking et la reproductibilité ; un parcours agriculteur pour le suivi de l'exploitation, la planification des interventions et les bilans.

5.2 Fonctions communes

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT3-F01	Rechercher et filtrer les données historiques par période, parcelle, culture, robot, session, campagne et type de donnée.	P1	Temps de réponse API filtrée < 800 ms au 95e centile sur jeu de référence. La culture et les autres

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
			attributs qualitatifs reposent sur un vocabulaire contrôlé, et non sur de la saisie libre.
INT3-F02	Croiser les données robot avec des sources externes : météo, parcellaire/cadastre, sols, biodiversité, données de gestion agricole.	P1	Provenance, date et source visibles ; connecteurs documentés côté backend.
INT3-F03	Cartographier les parcelles, trajectoires, observations, alertes et couches externes avec filtres spatio-temporels.	P1	GeoJSON/RFC 7946 pour les données géographiques exposées.
INT3-F04	Construire des tableaux de bord, indicateurs et rapports, avec exports CSV/XLS/PDF/SVG selon le besoin.	P1	Chargement tableau de bord de référence < 3 s au 95e centile.
INT3-F05	Gérer l'historique des interventions, missions, versions logicielles, calibrations, alertes et rapports.	P1	Traçabilité bout-en-bout par identifiants stables.
INT3-F06	Gérer les utilisateurs, rôles, périmètres de données, mandats et journaux d'audit.	P1	RBAC ; cloisonnement par exploitation / flotte / projet.

5.3 Parcours Chercheur

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT3-R01	Sélectionner un corpus de sessions et produire un jeu de données reproductible avec provenance, version algorithme et calibration.	P1	Identifiants de version et métadonnées exportables.
INT3-R02	Exporter données, métriques et figures pour analyse scientifique ou publication.	P2	CSV, PNG/SVG, formats documentés.

5.4 Parcours Agriculteur / Responsable d'exploitation

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
INT3-A01	Visualiser l'état synthétique des parcelles et les alertes : adventices, anomalies, état des missions.	P1	Vocabulaire métier non technique ; mobile/tablette.
INT3-A02	Comparer les observations entre dates, parcelles et campagnes et suivre l'effet des interventions.	P1	Historique multi-annuel et filtres simples.
INT3-A03	Suivre l'avancement et l'issue des interventions, puis produire un bilan de campagne ou de parcelle.	P1	Rapport exportable et historique conservé.
INT3-A04	Partager un rapport ou donner un accès mandaté à un conseiller agronomique.	P2	Accès limité au périmètre explicitement autorisé.
INT3-A05	Évaluation de l'efficacité des actions réalisées.	P2	Présentation simple, sans compétences techniques requises.
INT3-A06	Recevoir des notifications/alertes pertinentes en push, sans consultation active du tableau de bord.	P2	Canal de notification mobile ; alertes filtrées par pertinence, cohérentes avec INT3-A01.

6. Intégration avec le backend et les données

6.1 Exigences d'intégration avec le backend

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
DAT-01	Consommer les API REST/HTTPS exposées par le backend pour les échanges structurés, et les flux WebSocket (ou équivalent) pour le temps réel local.	P1	Contrats d'API fournis par le backend, respectés côté interface.
DAT-02	Respecter les spécifications OpenAPI publiées par le backend pour chaque API consommée.	P1	Tests de contrat côté interface sur les points d'accès utilisés.
DAT-03	Traiter les formats fournis par le backend : JSON pour métadonnées, GeoJSON pour géographie, CSV UTF-8 pour exports tabulaires, formats binaires dédiés pour images/nuages de points et autres types de données capteurs	P1	Validation des schémas côté interface.
DAT-04	Afficher, pour chaque donnée présentée, les métadonnées de traçabilité fournies par le backend : source, horodatage, robot/capteur, session, version algorithme et calibration si pertinente.	P1	Traçabilité visible côté interface.
DAT-05	Distinguer, pour toute métadonnée affichée ou saisie, sa classe d'origine : intrinsèque (captée par le robot), déclarative (saisie par un utilisateur) ou dérivée (calculée par le backend à partir des données acquises).	P1	Les métadonnées intrinsèques et dérivées ne sont jamais éditables depuis les interfaces ; une valeur dérivée peut être affichée pour confirmation sans devenir modifiable.
DAT-06	Consommer les exports et journaux structurés fournis par le backend par catégorie : qualité des trames, métriques de détection, événements de suivi (tracking), qualité du géoréférencement, qualité de détection des racines, et journal d'exécution de l'apprentissage en ligne.	P2	Chaque catégorie identifiable et filtrable côté interface ; aucun calcul de ces métriques n'est effectué côté interface.

6.2 Modèle de données

Le modèle de données détaillé (entités, attributs, relations) est défini et maintenu côté backend, hors périmètre de ce document. Les interfaces consomment, sans les redéfinir, les entités qu'il expose : robot, capteur, session, parcelle, observation, mission/intervention, indicateur/rapport, utilisateur/rôle et alerte/incident. Une session peut associer plusieurs robots, même si INT-2 n'en édite qu'un à la fois : les interfaces ne doivent pas présumer une relation de un à un entre session et robot.

7. Sécurité, gestion des accès et gouvernance

Les exigences de sécurité s'appliquent aux trois interfaces.

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
SEC-01	Authentification obligatoire pour toute action sensible ; identité machine distincte pour chaque robot.	P1	Révocation individuelle possible.
SEC-02	Contrôle d'accès fondé sur les rôles et le périmètre	P1	Tests d'accès horizontal et vertical.

ID	Exigence	Priorité	Critère / contrainte
	de données : robot, parcelle, exploitation, flotte, projet.		
SEC-03	Chiffrement des échanges et des données sensibles au repos, y compris supports amovibles.	P1	Clés/secrets gérés hors code source.
SEC-04	Journaliser connexions, exports, modifications de paramètres, commandes, mises à jour, changements de droits et incidents.	P1	Horodatage commun ; journaux protégés contre l'altération.
SEC-05	Mises à jour embarquées signées, dépôt authentifié, interdiction pendant une session, autotest après installation et retour arrière.	P1	Paquet altéré/non signé refusé.
SEC-06	Cloisonnement du réseau robot ; liste blanche des services/topics exposés.	P1	Test d'intrusion sur périmètre embarqué.
SEC-07	Cloisonnement des données entre exploitations/partenaires, y compris vues agrégées et exports.	P1	Tests automatisés à chaque livraison.
SEC-08	Protection des données personnelles et géolocalisées : minimisation, rétention, droits, propriété et partage contractualisés.	P1	Registre de traitements et politique de gouvernance.
SEC-09	Procédure de gestion des incidents : détection, qualification, confinement, restauration, notification et retour d'expérience.	P1	Exercice périodique documenté.

8. Exigences non fonctionnelles par interface

Critère	INT-1	INT-2	INT-3
Temps réel / performance	État robot < 500 ms ; alerte < 2 s ; caméra ≥ 10 i/s	Latence d'affichage des sorties algorithmiques cohérente avec le flux capteur ; carte de localisation flotte rafraîchie en continu	Dashboard < 3 s ; API filtrée < 800 ms sur jeu de référence
Connectivité	Directe filaire prioritaire ; local sans fil limité	Connexion directe robot prioritaire pour l'algorithmie ; HTTPS vers le backend pour la vue flotte	HTTPS vers infrastructure centrale
Mode hors ligne	Obligatoire pour toutes fonctions locales	Obligatoire pour le suivi et le paramétrage des algorithmes sur le robot ; la vue flotte nécessite une connexion au backend	Non obligatoire ; mode dégradé possible selon cache/mobile
Robustesse	Aucune corruption lors coupure ; session récupérable	Aucune perte de paramétrage lors d'une coupure ; reprise de l'apprentissage en ligne à l'identique	RPO ≤ 1 h ; RTO ≤ 4 h pour serveur central
Ergonomie	Plein soleil, gants, actions	Lisibilité des sorties	Web responsive ; parcours

Critère	INT-1	INT-2	INT-3
	critiques très visibles	algorithmiques superposées aux données capteurs ; carte flotte simple et épurée	chercheur et agriculteur différenciés
Sécurité	Authentification locale ; réseau cloisonné ; ports maîtrisés	Authentification avant modification de paramètre/hyperparamètre ; traçabilité complète	RBAC, MFA profils étendus, audit, cloisonnement données
Interopérabilité	ROS 2 / Rosbag côté robot ; passerelle locale	Consommation des API backend exposant modèles, algorithmes et localisation flotte	OpenAPI, JSON/GeoJSON/CSV, API backend
Montée en charge	1 robot par session de diagnostic	Un robot en édition à la fois ; vue flotte, charge légère, contrôle à distance pour certaines fonctionnalités	Cible de référence : ≥ 50 robots, 500 parcelles, 5 ans historique à confirmer

9. Démarche de conception et validation ISO 9241-210

L'applicatif doit répondre à la norme ISO 9241-210. La conformité au cahier des charges doit être démontrée par un processus de conception centré utilisateur et non uniquement par une revue technique finale.

9.1 Étapes de la démarche

1. Cadrer : décrire pour chaque interface les profils utilisateurs, les tâches, l'environnement d'usage, contraintes terrain et risques associés.

=> Livrable : cahier de spécifications d'usage et d'ergonomie validé avec les acteurs du projet,

2. Concevoir : définir les parcours utilisateurs et produire les premières maquettes, avec une organisation claire des fonctions selon les rôles, les usages, et le niveau de criticité.

=> Livrable : parcours utilisateurs et maquettes fonctionnelles version initiale

3. Tester tôt : faire manipuler les maquettes par un panel représentatif d'utilisateurs avant développement complet.

   => Livrable : protocoles de test utilisateur (scénarios exécutés) et compte-rendu des essais (résultats, anomalies…)

4. Mesurer et évaluer : taux de réussite, temps de réalisation des tâches, taux d'erreur, compréhension des alertes, score SUS et verbatims utilisateurs.

   => Livrable : tableau consolidé des métriques d'utilisabilité et synthèse des retours utilisateurs

5. Corriger et itérer : traiter en priorité les difficultés majeures identifiées et tracer les choix effectués entre deux versions.

   => Livrable : plan d'actions correctives priorisé et registre des décisions

6. Recetter : vérifier que chaque exigence P1 et chaque exigence non fonctionnelle est couverte par au moins un test exécuté et documenté.

   => Livrable : matrice de traçabilité exigences-tests et rapport de validation finale.

9.2 Critères d'utilisabilité

- Score SUS cible > 70, avec possibilité d'un seuil différencié justifié pour l'interface technique INT-1.
- Aucune erreur de gravité majeure non corrigée avant recette.
- 100 % des exigences P1 et non fonctionnelles rattachées à un test exécuté.

- Pour INT-1 et INT-2, tests obligatoires en conditions de terrain : utilisation en plein soleil et sous forte luminosité, manipulation avec gants, condition de mobilité et de bruit ambiant, perte temporaire de connexion réseau, fonctionnement en mode dégradé et reprise automatique ou assistée.

11. Livrables attendus

- Spécification fonctionnelle détaillée des trois interfaces avec exigences identifiées et priorisées.
- Maquettes cliquables et parcours utilisateurs pour INT-1, INT-2 et les deux profils principaux d'INT-3.
- Spécification des points d'intégration avec l'API backend consommée par les interfaces (formats, contrats respectés), sans définition de l'architecture back-end ni du modèle de données, qui relèvent d'un périmètre distinct.
- Prototype(s) opérationnels permettant les scénarios de recette prioritaires.
- Plan de tests et rapports d'itération : utilisabilité, performance, sécurité, robustesse terrain et conformité API.
- Documentation d'installation, d'exploitation, de sécurité, de gouvernance et de maintenance à jour à chaque livraison.
- Inventaire des composants logiciels précisant leur origine (développement spécifique, open source, code généré ou assisté par IA), leurs licences et les validations réalisées.

Critère de réussite global — le système est accepté lorsque les trois interfaces couvrent leurs usages sans chevauchement fonctionnel ambigu, que les fonctions critiques restent opérationnelles dans leurs conditions réseau réelles, que la donnée est traçable du robot au Data Lake puis à l'analyse, et que les utilisateurs représentatifs réussissent les parcours P1 avec les seuils d'utilisabilité et de sécurité fixés.

12. Interaction assistée par IA générative

Les interfaces pourront proposer, en complément des modes d'interaction classiques, des fonctions s'appuyant **sur l'IA générative** afin de faciliter la manipulation, l'accès à l'information ou l'exécution de tâches : interaction en langage naturel, aide contextuelle, synthèse d'informations, génération assistée de commandes ou de procédures. Ces fonctions devront rester explicables, contrôlables par l'utilisateur et compatibles avec les exigences de sûreté, de confidentialité et de traçabilité du système

REMARQUE — tout développement **reposant sur des techniques d'intelligence artificielle** devra être clairement identifié et explicité dans la proposition, en précisant au minimum les fonctions concernées, les technologies envisagées, les données utilisées, les modalités de validation ainsi que les éventuelles limites ou risques associés.

13. Calendrier prévisionnel

Pour les 3 interfaces, pour un début prévisionnel des prestations au 7/12/26, calendrier d'itérations avec :
- 1ère itération architecture technique deadline 20/01/27
- 2ème itération 05/02/27
- date de remise du livrable 26/02/27

Est attendue la production de comptes rendus intermédiaires à chaque itération.

14. Maintenance et formations

Le candidat dans son offre de base intégrera une année de maintenance qui débutera à la réception de l'application. Cette maintenance comprendra à minima les correctifs et mises à jour nécessaires à un bon usage de l'application. Une année supplémentaire de maintenance sera chiffrée en PSE.

Le titulaire assurera la formation du personnel chargé d'utiliser les prestations. Il devra prévoir à minima la formation de 3 personnes sur une demie journée pour faciliter la prise en main de l'outil.