Finalité mission objectif IS PROJECT AIDA :

Ce document a pour objectifs d’utiliser la méthodologie de l’ingénierie système dans le cadre de la création d’un Jumeau Numérique du drone spécifié dans le projet AIDA développé par l’IRT AESE (IRT Saint Exupéry).

# Analyse de mission

La **définition de la finalité et de la mission** d’un système est une étape cruciale dans tout projet de recherche ou de conception, notamment dans le développement d’un **jumeau numérique**. La finalité permet de clarifier **l’objectif principal** du système, en répondant à la question fondamentale : *« Pourquoi ce système est-il créé ? »*. Elle établit une vision globale, en alignant les attentes des parties prenantes sur les résultats attendus et sur les bénéfices à long terme du système. La mission, quant à elle, précise **le périmètre fonctionnel** et les responsabilités associées, c’est-à-dire *« Comment le système va-t-il remplir sa finalité ? »*. Cela inclut la définition des usages concrets, des interactions avec d’autres systèmes, ainsi que des exigences techniques et opérationnelles. Définir ces éléments en amont garantit une **cohérence** dans le développement du système, facilite les arbitrages techniques et réduit les risques d’écart par rapport aux besoins initiaux. Pour un projet aussi complexe qu’un jumeau numérique, cette démarche permet de **structurer les objectifs**, d'optimiser les ressources et d'assurer que le système réponde aux exigences métier.

Le **digital thread** joue un rôle clé dans la définition et l'affinement de la finalité et de la mission d’un système en permettant une **traçabilité numérique complète** des données tout au long du cycle de vie du système. En reliant l’ensemble des **modèles numériques**, des **données opérationnelles** et des **analyses** provenant des différentes phases (conception, simulation, exploitation, maintenance), le digital thread crée un **fil conducteur** permettant de centraliser et d’organiser les informations nécessaires pour définir les objectifs stratégiques et les missions opérationnelles du système.

Lors de l'analyse de mission, le digital thread permet d’intégrer les données historiques, les contraintes techniques et les besoins des parties prenantes, il aide à formaliser la finalité du système. De plus grâce à une vue unifiée et synchronisée des différentes étapes du projet, il permet d’aligner la mission du système avec sa finalité globale.

Ainsi, le digital thread fournit un **support dynamique et évolutif** pour définir, suivre et ajuster la finalité et la mission du système tout au long de son cycle de vie. Dans le cadre d’un **jumeau numérique**, il garantit que les décisions prises pendant la phase de conception et d’analyse de mission sont basées sur des données fiables, traçables et continuellement mises à jour, facilitant ainsi une approche systémique et orientée performance.

## Finalité

La finalité du système est d’améliorer la sécurité et l'efficacité des opérations aériennes en simulant, optimisant les prés contrôles d’avant vol effectués par le drone AIDA tout en surveillant et en analysant les performances du drone, assurant ainsi des inspections précises et fiables avant chaque décollage.

## Mission

La mission du système est de représenter virtuellement sur la base de données avec une interaction synchronisée à une fréquence et une fidélité spécifiée, des paramètres chois d’un drone de contrôle d’avant-vol ainsi que des paramètres sur le processus d’inspection effectué par ce même drone.

## Objectifs

Tout ce que tu as détaillé dans le tableau ci-dessous est plus de l’ordre des missions, des tâches ou des besoins principaux auxquels le drone doit répondre et qui seraient utile pour commencer à éliciter des exigences.   
Les objectifs sont des grandeurs chiffrées qui caractérise le système : le JN du drone doit pouvoir avoir une vitesse de synchronisation des données de : xxx Mbit/s en débit montant, xxxMbit/s en débit descendant, il doit pouvoir indiquer la positions du drône dans l’espace avec une marge d’erreur admissible de xxx cm, stocké xxx Gbit de données, proposer une simulation en xxx secondes….

|  |  |
| --- | --- |
| Simulation | Développer un modèle numérique précis du drone et de ses capteurs pour simuler les conditions réelles de vol et d'inspection. |
| Optimisation | Utiliser le jumeau numérique pour optimiser grâces au simulations les comportements du drone |
| Vérification | Développer des séquences de test pour assurer la capacité du drone à assurer ses missions |
| Prédiction | Utilisations de simulations prédictives pour une aide à la conduite du drone |
| Intégration | Utilisation du jumeau numérique pour intégrer le système AIDA dans de nouvelles configurations |
| Sécurité | Utilisation des modules de prédictions et de vérification pour assurer le respect des normes de sécurité énoncés dans le projet AIDA |
| Formation | Utilisation du jumeau pour la formation des opérateurs dans un environnement virtuel avant de passer en environnement dit critique |

## Analyse opérationnelle :

## 2.1 Cycle de vie

Les jumeaux numériques traversent plusieurs phases au cours de leur cycle de vie. La première phase est la conception. Durant cette étape, les ingénieurs et les concepteurs définissent les spécifications et les exigences du Jumeau en prenant en comptes tout les éléments, données et modélisations contenues dans le digital thread du système

La deuxième phase est le développement. À ce stade, les équipes de développement travaillent sur la création de modélisation et de simulation pour créer une représentation virtuelle précise du système physique, combiné à l'intégration des composants du jumeau numérique. Cela inclut la programmation, la configuration des capteurs et des systèmes de collecte de données, ainsi que l'intégration des modèles de simulation. L'objectif est de créer un jumeau numérique fonctionnel et opérationnel.

La troisième phase est l'utilisation du système. Une fois le jumeau numérique développé, il est mis en service pour surveiller et optimiser le système physique. Les données collectées du système physique en temps réel sont analysées pour détecter les anomalies, prévoir les pannes et améliorer les performances globales du système. Cette phase est cruciale pour tirer parti des avantages du jumeau numérique en termes de maintenance prédictive et d'optimisation des processus.

La dernière phase est la fin de vie. À ce stade, le jumeau numérique peut être mis hors service ou recyclé. Les données et les connaissances accumulées au cours de son cycle de vie peuvent être archivées pour une utilisation future ou pour améliorer les versions ultérieures du système. La gestion de la fin de vie inclut également la désactivation sécurisée des composants et la gestion des données sensibles.

## 2.2 Parties prenantes et systèmes à l’interface

Dans le cadre du système définis comme le jumeau numérique les parties prenantes sont aux nombres de 3, le développeur, l’opérateur et l’autorité aérienne représenté ici par la tour de contrôle :

**Le développeur** est responsable de la conception, de la mise en œuvre et de la maintenance du système. Ses tâches incluent la création d'un modèle numérique précis du drone et de ses capteurs, l'optimisation des trajectoires de vol, l'intégration d'algorithmes de vérification des capteurs, l'utilisation de techniques d'apprentissage automatique pour prédire les performances de vol, le développement d'une interface utilisateur intuitive, l'intégration avec les systèmes de gestion des opérations aériennes et la fourniture de documentation et de formation pour les utilisateurs finaux.

**L’opérateur** intervient durant les phases d’opération du système, il est chargé de l'utilisation quotidienne du jumeau numérique et du drone pour effectuer les contrôles d’avant-vol des avions. Ses responsabilités incluent le pilotage du drone via le jumeau numérique, la surveillance en temps réel des performances du drone et des capteurs, la vérification des données collectées, l'utilisation des prédictions de performance pour la maintenance et la génération de rapports détaillés des inspections pour les autorités aériennes et autres parties prenantes.

**L’autorité aérienne**, représentée par la tour de contrôle, supervise et régule les opérations aériennes, y compris celles impliquant le drone. Ses responsabilités incluent la coordination des missions de pré-flight checks avec les autres opérations aériennes, la surveillance des opérations du drone pour assurer le respect des réglementations et des normes de sécurité, la validation des données collectées par le drone, le maintien d'une communication fluide avec les opérateurs et l'établissement des réglementations concernant l'utilisation des drones dans les opérations aériennes

**Les opposants aux drones** : Ils jouent un rôle critique dans la gestion des risques et des préoccupations éthiques, environnementales et légales associées à l’utilisation des drones. Leur intervention se concentre sur la surveillance, l’évaluation et, parfois, la contestation des impacts potentiels des drones AIIDA sur les communautés, les écosystèmes et les infrastructures. Leurs responsabilités incluent l’identification des infractions aux réglementations, la documentation des impacts négatifs potentiels, tels que la perturbation de la vie privée ou les menaces pour la sécurité aérienne, et la présentation de ces préoccupations aux autorités compétentes. Ils peuvent également proposer des ajustements ou des restrictions aux cadres réglementaires existants pour garantir que l’utilisation des drones reste conforme aux normes sociétales et environnementales. En outre, ils interagissent avec les opérateurs, les développeurs et les régulateurs pour exprimer leurs préoccupations et influencer les décisions liées à l’intégration des drones dans les espaces publics et commerciaux. Leur rôle peut inclure la participation à des consultations publiques, la formulation de critiques constructives et la mise en avant des alternatives pour réduire les impacts négatifs des drones sur les parties prenantes concernées.

**Entreprise**

L’entreprise regroupe plusieurs rôles critiques dans la mise en œuvre, le déploiement et la maintenance du système intégré de drones et de jumeaux numériques, en état le propriétaire de ces systèmes. Elle est responsable de la fourniture des ressources matérielles, des infrastructures nécessaires et des services complémentaires pour assurer le bon fonctionnement du système. En tant que **ressources providers**, l’entreprise s’assure que les matériaux, composants et équipements nécessaires, sont disponibles et conformes aux standards de qualité requis. Elle joue également un rôle essentiel en tant qu'**infrastructures providers**, garantissant la disponibilité des installations physiques, ainsi que des plateformes numériques, comme les serveurs et le stockage cloud, pour supporter les opérations. De plus, en tant que **services providers**, l’entreprise propose des solutions pour l’analyse, le traitement des données et l’assistance technique.

**Les autres humains présents dans l’environnement d’opération :** Ils jouent un rôle passif mais essentiel dans le cadre de la conception et de l’utilisation du drone et de son jumeau numérique. Ils représentent les individus qui se trouvent à proximité des zones d’intervention du drone sans en être des utilisateurs directs, comme les passagers et le personnel au sol. Leur sécurité et leur bien-être doivent être garantis à toutes les étapes des opérations du drone.

Les responsabilités liées à cette partie prenante sont indirectes et prises en charge par les développeurs, les opérateurs et les autorités régulatrices. Ces responsabilités incluent l’élaboration de protocoles de sécurité robustes pour éviter toute mise en danger, la définition de zones de sécurité interdites aux drones, et la mise en place de systèmes de détection et d’évitement pour prévenir les collisions. De plus, les opérateurs doivent surveiller en temps réel l’environnement du drone pour s’assurer que les trajectoires et les opérations n’interfèrent pas avec les humains présents.

**Autorité aérienne :**

L’autorité aérienne joue un rôle central dans la supervision, la régulation et la coordination des opérations aériennes impliquant les drones et leurs jumeaux numériques. Elle est responsable de l’élaboration et de l’harmonisation des normes et standards techniques nécessaires pour garantir la compatibilité, la sécurité et l’efficacité des systèmes de drones dans un cadre légal bien défini.

En tant que représentant du **gouvernement et de la communauté**, l’autorité aérienne agit comme un médiateur entre les parties prenantes pour garantir que les opérations des drones n’interfèrent pas avec le bien-être public et les activités locales.

Cette partie prenante incarne le principe de **"ne pas nuire"**, qui guide les réglementations et les normes de sécurité. Les interactions avec cette catégorie de personnes sont souvent indirectes mais cruciales, car elles influencent les décisions relatives au déploiement des drones et au respect de la vie privée. Enfin, des mécanismes de communication claire et des signalisations adaptées doivent être déployés pour garantir qu’ils soient informés des opérations en cours et des mesures de sécurité en place.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nom | Type | Responsabilité | Pouvoir | Légitimité | Urgence |
| Développeurs | Responsable | Responsable | 4 | 4 | 3 |
| Opposants au drone | Personnes qui agissent contre le système | Consulté | 3 | 3 | 2 |
| Opérateurs | Opérateur/Utilisateur | Interagis | 3 | 5 | 4 |
| Autres utilisateurs de l'environnement | Publique | Informé | 1 | 3 | 2 |
| Entreprise | Propriétaire/financeur | Consulté | 5 | 5 | 3 |
| Autorité aérienne | Législateur / régulateur | Consulté | 5 | 5 | 4 |

Figure : Classement des parties prenantes

De plus les systèmes , il est utile de définir les systèmes a l’interface de notre jumeau numérique

**L’environnement :** L'environnement regroupe l'ensemble des éléments clés nécessaires aux missions d'inspection, intégrés et coordonnés grâce au jumeau numérique : les conditions météorologiques, le drone, l'avion, et la piste de décollage. Les **conditions météorologiques** sont prises en compte via des données en temps réel pour ajuster les trajectoires de vol en fonction du vent, des précipitations ou d'autres facteurs climatiques. Cela permet d'assurer la stabilité et la sécurité du drone, tout en optimisant les missions d'inspection. Ces données alimentent également la création d'une **représentation virtuelle de l'avion**, permettant d'inspecter des zones critiques telles que les ailes, les moteurs et les trains d'atterrissage, et de simuler des scénarios pour prévenir les défaillances. Enfin, la **piste de décollage**, incluant les mouvements des avions, véhicules et personnel au sol, est analysée pour planifier des trajectoires sécurisées. Le jumeau numérique anticipe les risques, tels que les collisions, en intégrant ces éléments dynamiques pour garantir une coordination fluide et une sécurité optimale. Cette interaction globale permet de maximiser l'efficacité des opérations tout en répondant aux exigences de sécurité et de fiabilité.

**Le drone** est le principal acteur du système. Le jumeau numérique simule les performances du drone en temps réel, incluant la vérification des capteurs et la prédiction des performances de vol. Les données collectées par les capteurs du drone sont transmises au jumeau numérique, qui les analyse pour détecter toute anomalie ou besoin de maintenance. Cette interaction permet de surveiller et d'optimiser les opérations du drone, assurant ainsi des inspections précises et fiables.

**Le système d’alimentation en énergie :** Le système d’alimentation en énergie est essentiel pour garantir le fonctionnement continu du drone, des capteurs et des infrastructures associées. Le jumeau numérique interagit directement avec ce système pour surveiller en temps réel la capacité des batteries du drone, planifier les recharges nécessaires et optimiser la consommation énergétique lors des missions. De plus, il peut simuler des scénarios de défaillance énergétique, tels qu’une batterie faible ou une panne d’alimentation, pour anticiper et éviter les interruptions pendant les opérations. Ce système inclut également la gestion des stations de recharge sur la piste ou sur d'autres sites, garantissant que l’énergie disponible est suffisante pour mener à bien les inspections prévues. L’intégration au jumeau numérique permet d’optimiser la durée des missions et d’assurer une continuité opérationnelle.

**Le système d’information de l’entreprise :** La connexion au système d’information de l’entreprise joue un rôle central dans l’intégration des données collectées par le drone et le jumeau numérique avec les outils de gestion et de planification de l’organisation. Ce système assure le stockage, le traitement et le partage des informations issues des inspections, des conditions météo et des performances du drone. Le jumeau numérique interagit avec le système d’information pour transmettre des rapports détaillés, notifier les équipes de maintenance des besoins identifiés, et coordonner les ressources nécessaires aux opérations. En retour, le système d’information fournit des données utiles au jumeau numérique, telles que les calendriers de maintenance des avions, les plannings de vol, ou encore les alertes réglementaires. Cette interaction garantit une gestion fluide des opérations et renforce la prise de décision grâce à une centralisation et une analyse rapide des données.

**Les autres jumeaux numériques** regroupent les répliques virtuelles des systèmes physiques avec lesquels le drone interagit, tels que le jumeau numérique de l’avion. Ces jumeaux fournissent des données détaillées sur leurs systèmes respectifs, permettant une coordination fluide avec le drone et son jumeau numérique. Par exemple, le jumeau numérique de l’avion partage des informations sur l’état des moteurs, des ailes ou des trains d’atterrissage, facilitant des inspections précises et efficaces.

En outre, ces jumeaux numériques interagissent pour anticiper les risques, optimiser les opérations et garantir la sécurité. Ils jouent un rôle clé dans la gestion des interdépendances, créant un écosystème numérique interconnecté pour des performances globales améliorées.

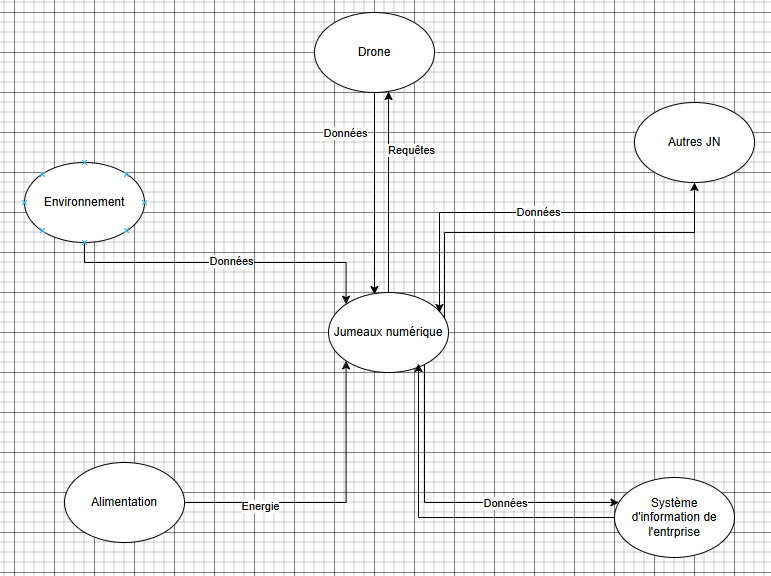


Figure : Diagramme de contexte du système

**Une image contenant texte, capture d’écran, nombre, reçu

Description générée automatiquement**

Figure : Classement des parties prenantes / systèmes à l’interface

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Norme | Equivalence aiida | Compléments |
| Digital twin stakeholder | Developpers | Développeurs | Opposants au drone |
| Integrators | Développeurs | Autres utilisateurs de l'environnement |
| Users | Opérateurs |  |
| Operators | Opérateurs |  |
| Ressources providers | Entreprise |  |
| Ecosysteme partners | Infrastrucutres providers | Entreprise |  |
| Services providers | Autorité aérienne |  |
| Standards development organization | Autorité aérienne |  |
| Government and community | Autorité aérienne |  |

Le tableau présenté propose une comparaison entre les parties prenantes définies par la norme ISO et celles intégrées dans le cadre du projet jumeau numérique, tout en soulignant les compléments spécifiques au projet.

Les équivalences identifiées dans le tableau montrent une bonne adéquation entre les catégories de parties prenantes de la norme ISO et celles du projet AIDA. Par exemple, les "Developers" et "Operators" sont des entités centrales dans les deux cadres, soulignant leur rôle clé dans la conception et l’opération des jumeaux numériques. De plus dans la définition opérée précédemment toutes les parties prenantes

de la normes ISO sont bien représentés. Cependant, le projet jumeau numérique se distingue de la norme par l’ajout de parties prenantes spécifiques comme les Opposants au drone et les Autres utilisateurs de l’environnement.

Cette partie prenante, absente de la norme ISO, est essentielle pour garantir que les préoccupations sociétales soient prises en compte et pour anticiper les éventuelles résistances ou critiques qui pourraient affecter l’acceptation du système. Par ailleurs, la prise en compte des Autres utilisateurs de l’environnement, tels que le personnel au sol ou les passagers, démontre un engagement envers la sécurité des personnes concernés par les opérations du drone. Cette attention portée aux autres opérateurs et à l’environnement du système va au-delà des prescriptions de la norme.

Bien que les équivalences soient globalement bien établies, l’absence explicite de certaines catégories dans la norme ISO, comme les "Opposants au drone", pourrait limiter la portée de celle-ci dans des contextes sensibles ou hautement régulés comme celui d’AIIDA.

## 2.3 Modes et scénarios

(Faisandier 2012) définit le mode comme une situation opérationnelle du système d'intérêt (SOI) caractérisée par ses fonctions actives. À l'intérieur d'un mode opérationnel, le SOI peut exécuter des scénarios opérationnels spécifiques et activer les fonctions correspondantes, en tenant compte de la configuration du SOI qui peut autoriser ou non l'exécution du scénario opérationnel.

Voici une définition des principaux modes de fonctionnement du système jumeau numérique en respectant les principes d’ingénierie système :

**Mode : Intégration et vérification**

Durant cette étape, le jumeau numérique est soumis à des processus d'intégration et de vérification, permettant d'assembler ses sous-parties et de les utiliser pour des tests de vérification sur le site de production. Cela inclut la modélisation et la simulation pour s'assurer que toutes les composantes fonctionnent correctement ensemble.

**Scénario :**

Tests de vérification planifiés (Plan IVTV)

Tests de validation planifiés (Plan IVTV)

**Mode : Transition et la validation**

À ce stade, le jumeau numérique est soumis à des processus de transition et de validation sur le site opérationnel avant sa qualification finale. Cela garantit que le système est prêt à être déployé et à fonctionner correctement dans un environnement réel.

**Scénario :**

Tests de vérification planifiés (Plan IVTV)

Tests de validation planifiés (Plan IVTV)

Tests de qualification hors site du SoI pour la qualification pré-opérationnelle

**Mode : Attente de déploiement**

Le jumeau numérique est prêt pour le déploiement : il est immobilisé, prêt à être déployé sur le site opérationnel (on-site) pour être mis à disposition des parties prenantes. Cette phase permet de s'assurer que le jumeau numérique est prêt à être utilisé dès que nécessaire.

**Scénarios :**

Gestion des situations (stockage / maintenance préventive hors site / ...)

Tests de fonctionnement hors site

Tests de vérification / validation hors site

Tests de qualification hors site pour la qualification pré-opérationnelle

**Mode : Tests pour l'exploitation, les exercices, la maintenance réglementaire ou la formation hors site**

Le jumeau numérique fonctionne pour des tests de validation, des qualifications ou des formations hors de tout site opérationnel (off-site). Bien qu'il ne soit pas déployé, il peut être exploité, éventuellement de manière dégradée ou avec une couverture fonctionnelle réduite, à des fins de test, de formation ou de maintenance réglementaire au-delà de tout site opérationnel.

**Scénario :**

Tests de vérification / validation hors site

Tests de qualification hors site pour la qualification pré-opérationnelle

Formation des opérateurs / utilisateurs finaux hors site

**Mode : Mise en veille.**

Le jumeau numérique est déployé (transféré/installé/éventuellement configuré) et vérifié sur le site opérationnel (on-site) et prêt pour les opérations, c'est-à-dire prêt à accomplir sa mission, atteindre ses objectifs et remplir son but sur site, éventuellement dans divers contextes opérationnels à identifier. Cette phase permet de s'assurer que le jumeau numérique est prêt à être utilisé dès que nécessaire.

**Scénario :**

Transfert hors site vers sur site

Gestion des situations (stockage / maintenance préventive sur site / ...)

Assemblage et configuration du SoI sur site

Installation et configuration du SoI sur site

Tests de vérification / validation sur site liés aux configurations attendues

Tests de qualification sur site pour la qualification opérationnelle

**Mode : Opérations de préparation.**

Le jumeau numérique est configuré et préparé pour assumer sa mission dans des conditions nominales et des situations si cela nécessite une préparation avant de pouvoir accomplir sa mission sur site (par exemple, vérification et utilisation de listes de contrôle, etc.). Cela inclut la mise à jour des modèles et des données pour s'assurer que le jumeau numérique est prêt pour une nouvelle mission.

**Scénario :**

Préparation du SoI sur site

Tests de qualification sur site pour la qualification opérationnelle

**Mode : Opérations normales**

Le jumeau numérique fonctionne dans des situations/conditions normales/nominales, c'est-à-dire qu'il accomplit sa mission sur site, maximisant ses performances. Cela inclut la surveillance en temps réel et l'optimisation des processus.

**Scénario :**

Exécution de la mission nominale sur site

Tests de qualification sur site pour la qualification opérationnelle

**Mode : Opérations de clôture**

Le jumeau numérique est préparé pour terminer normalement sa mission, c'est-à-dire qu'il nécessite une préparation avant de mettre fin à sa mission (par exemple, fin des protocoles, nettoyage des données, rafraîchissement, vérification de l'état, etc.). Cela inclut la sauvegarde des données et la mise à jour des modèles pour une utilisation future.

**Scénario :**

Fin normale de la mission sur site

Tests de qualification sur site pour la qualification opérationnelle

**Mode : Maintenance**

Le jumeau numérique est confronté à une maintenance attendue :

* Diagnostique (auto-diagnostique ou diagnostique automatisé, diagnostique humain)
* Maintenance corrective : il subit des opérations pour éliminer les dommages ou les altérations de fonctionnement de l'un de ses composants, par divers moyens tels que la réparation, la restauration à l'état antérieur et/ou le remplacement des composants concernés. L'objectif est de le restaurer à un état spécifique afin qu'il puisse de nouveau accomplir sa mission.
* Maintenance préventive : il subit des opérations pour remplacer, réviser ou réparer un ou plusieurs de ses composants avant l'apparition redoutée d'un défaut ou selon un calendrier établi.
* Maintenance évolutive : il subit des opérations pour évoluer, par exemple en raison de la possibilité d'utiliser de nouvelles technologies ou de modifier sa couverture fonctionnelle pour répondre à de nouvelles exigences ou adapter ses capacités à une mission étendue. Cette phase correspond à la réingénierie des activités pour atteindre une nouvelle version du jumeau numérique.

**Scénarios**:

Maintenance corrective

Maintenance préventive

Maintenance adaptative

Maintenance évolutive

Tests de vérification / validation

Tests de qualification du SoI pour la qualification opérationnelle

**Mode : Arrêt en cas de défaillance/dysfonctionnement.**

Le jumeau numérique s'arrête après la détection d'un défaut ou d'un dysfonctionnement (d'origine interne ou externe) et doit assurer et/ou préserver son intégrité et sa stabilité ainsi que l'intégrité et la stabilité de son environnement. Cela inclut la mise en place de mesures de sécurité et la sauvegarde des données critiques.

**Scénarios :**

Formation des opérateurs / utilisateurs finaux sur site

Tests de vérification / validation sur site

Tests de qualification sur site pour la qualification opérationnelle

**Mode : Diagnostic de défaillance/dysfonctionnement**

Le jumeau numérique est soumis à des tests et des procédures (internes entreprises par le jumeau numérique lui-même ou externes conduites par un ou plusieurs de ses contributeurs ou par le système de soutien logistique) afin d'évaluer et de diagnostiquer les pannes qui ont conduit à l'arrêt total ou partiel (pour analyser les causes et évaluer les effets avant de définir une décision de maintenance).

**Scénario :**

Cessation ou abandon de la mission du SoI sur site

Diagnostic sur site

Préparation du SoI sur site pour la maintenance

Diagnostic hors site

Préparation du SoI hors site pour la maintenance

**Mode : Exploitation dégradée**

Le jumeau numérique fonctionne dans une situation non nominale (comportement et performances dégradés), c'est-à-dire qu'il subit les conséquences d'une défaillance d'origine interne ou externe affectant ses capacités opérationnelles mais remplit sa mission avec une efficacité réduite tout en restant dans une plage de valeurs acceptables à la lumière des risques, des performances ou de l'importance de certaines caractéristiques non fonctionnelles attendues (telles que la sécurité, la sûreté, la survivabilité, la maintenabilité, l'interopérabilité...).

**Scénario :**

Exécution de la mission dans des situations / configurations non nominales

Détection et prévention des défauts / pannes / dysfonctionnements internes sur site d'origine interne ou externe

**Mode : Retrait permanent**

Le jumeau numérique est soumis à des processus de retrait afin d'être retiré du service. Cela inclut la sauvegarde des données et la mise à jour des modèles pour une utilisation future.

**Scénario :**

Cessation ou abandon de la mission du SoI

Retrait du SoI

**Mode : Dé-commissionnement/démantèlement/recyclage**

Le jumeau numérique est soumis à des processus de dé-commissionnement et de démantèlement, c'est-à-dire qu'il est démantelé et ses divers composants et sous-systèmes peuvent être stockés ou emballés pour être réutilisés, convertis, retraités ou éliminés. Cela inclut la gestion des données sensibles et la mise à jour des modèles pour une utilisation future.

**Scénario :**

Démantèlement du SoI

Archivage des données du SoI

Réutilisation des pièces du SoI

Stockage des pièces du SoI (politiques et stratégies de stockage à moyen et long terme)

## 2.4 Définitions des Besoins et Exigences

Pour définir les besoins du jumeau numérique du drone AIIDA, j'ai utilisé le *digital thread mis à ma disposition*, en exploitant les modèles et les données qu'il contient. En particulier, l'architecture du drone et sa modélisation à l’aide de l’ingénierie système (IS) m'ont permis d'identifier les besoins spécifiques du projet.

Grâce à cette approche, il est apparu que le jumeau numérique doit répondre à plusieurs exigences clés : fournir un environnement réaliste pour la formation, améliorer la maintenance prédictive et corrective, centraliser et structurer les informations pour une gestion optimisée, renforcer la collaboration entre les parties prenantes, et offrir des simulations avancées pour optimiser les processus, notamment en aidant à la conduite et au lancement des opérations du drone.

Tableau : Besoins du Jumeau Numérique

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nomenclature | Nom du besoin | Description | Définition | Justification | Origine |
| B1 | Formation | Le Jumeau permet la formation des opérateurs | Le système permet la formation des opérateurs au travers d'une interface graphique de l’avion à inspecter contenant des informations spécifiques | Le drone vol dans un environnement sensible es complexe et nécessite un temps de formation conséquent. | Opérateurs |
| B2 | Aide à la Conduite | Le Jumeau permet une aide à la conduite du drone | Le système offre une aide à la conduite pour les opérateurs tout en relevant tout écart avec des prédictions pour assurer le bon fonctionnement du système | La conduite du drone répond à un grand nombre de règles. | Opérateurs CEA |
| B3 | Simulation | Le jumeau permet de simuler le comportement du drone | Le système doit intégrer et interopérer les différentes modélisations de disciplines spécifiques pour simuler dans sa globalité le comportement du drone. | La conduite du drone répond à un grand nombre de règles. Le digital thread du système contient un grand nombre de modélisation | Operateurs et ingénieurs |
| B4 | Maintenance | Le jumeau intègre les plannings prévisionnels ainsi que les informations nécessaires à la maintenance. | Le jumeau intègre les plannings prévisionnels ainsi que les informations liées à la maintenance pour créer une base de connaissances et de recherche consultable par les opérateurs. | La complexité de l’environnement et l'existence d'une multiplicité de règles lié à celui-ci impliquent la création d'une base de données de maintenance accessible à tout moment. | Opérateurs |

Les applications principales des jumeaux numériques définies par la norme ISO 23247 trouvent une correspondance significative avec les besoins identifiés pour le projet AIIDA, bien qu'elles nécessitent une adaptation aux spécificités du système de drone. L'aide à la conduite (B2) et la simulation (B3) décrivent parfaitement les capacités de contrôle en temps réel, de surveillance vidéo et les capacités simulatives des jumeaux numériques définies dans la norme, notamment pour respecter les règles complexes de conduite et interagir avec des modélisations multidisciplinaires.

Le besoin **maintenance** (B4), intégrée au jumeau numérique du projet AIIDA, correspond aux usages de maintenance prédictives et de bilan de santé du système

L'usage pour la **formation** (B1) dépasse les usages de la norme en offrant une interface graphique interactive pour réduire le temps de formation sur des environnements complexes. Ainsi, bien que le projet AIIDA partage les fondations des applications génériques des jumeaux numériques, ses besoins spécifiques renforcent les fonctionnalités de formation, la gestion de la complexité et l'interopérabilité des modèles multidisciplinaires.

Après avoir défini les besoins de notre système, j’ai identifié une série d'exigences essentielles pour garantir son bon fonctionnement et sa performance. Ces exigences ont été réparties en deux catégories distinctes : les exigences fonctionnelles et les exigences non fonctionnelles. Les exigences fonctionnelles détaillent les capacités et les fonctionnalités spécifiques que le système doit offrir pour répondre aux besoins des utilisateurs. Les exigences non fonctionnelles, quant à elles, concernent les aspects de performance, de sécurité, de fiabilité et d'autres caractéristiques qualitatives du système.

Le tableau suivant présente ces exigences de manière structurée, facilitant ainsi leur compréhension et leur mise en œuvre, chaque exigence a été soigneusement définie pour assurer que le système répondra aux attentes et aux besoins des utilisateurs.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| R.1.1 | Être utilisable par du personnel de plusieurs corp de métier | Non Fonctionnelle |
| R.1.2 | Proposer une représentation virtuelle de l’avion et de son environnement | Fonctionnelle |
| R.1.3 | Associer à tout éléments du jumeau des DIK | Fonctionnelle |
| R.1.4 | Associer à tout éléments du système une /plusieurs procédures de vol | Fonctionnelle |
| R.1.5 | Afficher les valeurs des capteurs associés au drones | Fonctionnelle |
| R.1.6 | Est utilisable par une personne non formée à l’usage du drone | Non Fonctionnelle |
| R,1,7 | Afficher les plans mécaniques | Fonctionnelle |
| R.1.8 | Intégrer une fonctionnalité de recherche bibliographique qui permet aux utilisateurs de trouver des documents et des références de manière précise et rapide. | Fonctionnelle |
| R.1.9 | Situer dans le drone ou sur la piste un élément sélectionné | Fonctionnelle |
| R.2.1 | Récupérer les valeurs des capteurs du drone en temps réel | Fonctionnelle |
| R.2.2 | Simuler le comportement du drone | Non Fonctionnelle |
| R.2.3 | Repérer tout écart entre la simulation et le réel | Fonctionnelle |
| R.2.4 | Alerter les opérateurs | Fonctionnelle |
| R.2.5 | Afficher des valeurs choisies par les opérateurs | Fonctionnelle |
| R.3.1 | Proposer différentes simulations du drone | Non Fonctionnelle |
| R.3.2 | Permettre le choix des paramètres de simulations | Fonctionnelle |
| R.3.3 | Afficher les résultats des simulations | Fonctionnelle |
| R.3.4 | Comparer les résultats de la simulation avec les données réelles du drone. | Fonctionnelle |
| R.4.1 | Intégrer un calendrier de maintenance | Fonctionnelle |
| R.4.2 | Intégrer une base de données de maintenance sur le drone | Fonctionnelle |
| R.4.3 | Associer les opérations de maintenances aux éléments du drone et de la piste | Fonctionnelle |
| R.4.3 | Alerter les opérateurs en cas de maintenance | Fonctionnelle |
| R.5.1 | Le jumeau est utilisable sans formation au préalable | Non Fonctionnelle |
| R.5.2 | Les utilisateurs doivent pouvoir échanger des messages en temps réel. | Fonctionnelle |
| R.5.3 | Intégrer un espace de travail collaboratif où les utilisateurs peuvent partager des documents, des notes, et des idées en temps réel (DIK). | Fonctionnelle |
| R.5.4 | Gérer les droits d'accès pour contrôler qui peut voir, modifier, et partager les documents et les informations. | Fonctionnelle |
|
| R.6.1 | Le système doit être disponible 99% du temps et garantir que les informations de maintenance sont mises à jour en temps réel. | Non Fonctionnelle |
| R.6.2 | Les utilisateurs doivent pouvoir modifier le modèle 3D du drone ou de la piste pour refléter les changements physiques ou les mises à jour. | Fonctionnelle |
| R.6.3 | Les utilisateurs doivent pouvoir mettre à jour la base de données avec de nouvelles informations ou corrections. | Fonctionnelle |
| R.6.4 | Les utilisateurs doivent pouvoir ajouter, supprimer ou modifier les modules du jumeau numérique pour s'adapter aux nouvelles exigences. | Fonctionnelle |
| R.6.5 | Les utilisateurs doivent pouvoir réorganiser l'architecture du jumeau numérique. | Fonctionnelle |

# Architecture Fonctionnelle

L'architecture fonctionnelle de notre système est conçue pour répondre de manière structurée et efficace aux exigences fonctionnelles identifiées. Ces exigences, détaillées dans le tableau précédent, ont été traduites en fonctions spécifiques qui forment la base de l’architecture. Chaque fonction a été décomposée en sous-fonctions plus détaillées, permettant une compréhension approfondie et une mise en œuvre précise.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Nomenclature | Nom | Description | Nomenclature des fonctions associés | Nom | Description |
| F.1 | Former | La fonction "Former" vise à fournir un environnement virtuel réaliste pour la formation des opérateurs. Elle permet de naviguer dans le milieu ou le drone opère, de sélectionner des équipements spécifiques, et d'afficher des informations détaillées telles que les plans mécaniques ou des procédures de maintenance. Cette fonction facilite l'acquisition de nouvelles compétences et la mise à jour des connaissances des opérateurs sans risque pour les équipements réels. | F.1.1 | Visiter | Permettre aux utilisateurs de naviguer virtuellement dans la piste pour une meilleure compréhension de l'environnement |
| F.1.2 | Sélectionner un élément | Offrir la possibilité de choisir spécifiquement un équipement pour une explication détaillée. |
| F.1.3 | Afficher DIK | Afficher des Données, des Informations et des connaissances (Knowledge) pour une explication détaillée des équipements du drone. |
| F.1.4 | Afficher liste capteurs/actionneurs | Lister les capteurs et actionneurs associés à l'équipement sélectionné pour une compréhension approfondie. |
| F.1.5 | Afficher plans mécaniques | Présenter les plans mécaniques détaillés des équipements pour une formation technique approfondie. |
| F.1.6 | Afficher procédure | Afficher les procédures détaillées pour l'utilisation des équipements. |
| F.1.7 | Tracer évolutions valeurs capteurs | Suivre et tracer les évolutions des valeurs des capteurs pour une analyse. |
| F.2 | Simuler | La fonction "Simuler" permet de recréer numériquement les comportements des équipements et du drone. Elle permet de sélectionner des simulations spécifiques, de configurer les paramètres de simulation, et d'exécuter des simulations pour observer et analyser les résultats. Cette fonction est essentielle pour tester et valider des améliorations avant leur mise en œuvre, réduisant ainsi les risques d'erreurs et les coûts associés. | F.2.1 | Sélectionner la simulation | Permettre de choisir parmi différentes simulations disponibles pour répondre à des besoins spécifiques. |
| F.2.2 | Sélectionner les paramètres de simulation | Configurer les paramètres de la simulation pour des conditions précises. |
| F.2.3 | Jouer la simulation | Exécuter la simulation pour observer le comportement des équipements dans différentes conditions. |
| F.2.4 | Afficher les résultats | Présenter les résultats de la simulation sous forme de graphiques, tableaux ou autres visualisations. |
| F.2.5 | Comparer avec les données du drone | Comparer les résultats de la simulation avec les données réelles du drone pour valider l'exactitude. |
| F.3 | Aide à la conduite | La fonction "Aide à la conduite" assiste les opérateurs dans la gestion et la conduite du procédé en temps réel. Elle permet de sélectionner et de lancer des simulations, de choisir et d'afficher des données spécifiques, de comparer les données de simulation avec les données réelles et de commander le drone à l’aide du jumeau numérique. Cette fonction inclut également des alertes en temps réel et l'affichage des procédures de conduite, améliorant ainsi la prise de décision et la réactivité des opérateurs. | F.3.1 | Sélectionner la simulation | Choisir une simulation spécifique pour la conduite du drone. |
| F.3.2 | Piloter le drone | Démarrer le drone et le piloter en parallèle du module d'aide à la conduite. |
| F.3.3 | Choisir les données à afficher | Sélectionner les données spécifiques à afficher pendant la conduite. |
| F.3.4 | Afficher les données | Présenter les données choisies en temps réel pendant la conduite. |
| F.3.5 | Récupérer les données | Collecter les données générées pendant la conduite pour les afficher. |
| F.3.6 | Jouer la simulation | Exécuter la simulation pour l'aide à la conduite. |
| F.3.7 | Comparer les données | Comparer les données de la simulation avec les données réelles pour évaluer les performances. |
| F.3.8 | Alerter les opérateurs | Envoyer des alertes en temps réel en cas de déviations ou d'anomalies pendant la simulation. |
| F.3.9 | Afficher les procédures | Présenter les procédures de conduite en cas d'alerte. |
| F.4 | Rechercher | La fonction "Rechercher" permet aux utilisateurs de trouver rapidement et efficacement les informations nécessaires pour leur travail. Elle recueille les demandes de recherche, les transforme en requêtes compréhensibles par le système, récupère les informations pertinentes à partir des bases de données, et les affiche de manière claire et organisée. Cette fonction simplifie l'accès à la documentation et aux données, améliorant ainsi la prise de décision et l'efficacité opérationnelle. | F.4.1 | Recueillir la demande | Collecter les demandes de recherche des utilisateurs. |
| F.4.2 | Transformer la demande en requête machine | Convertir les demandes en requêtes compréhensibles par le système. |
| F.4.3 | Récupérer les informations | Extraire les informations pertinentes à partir de la base de connaissances. |
| F.4.4 | Afficher les informations | Présenter les informations recherchées de manière claire et organisée. |
| F.5 | Connecter | La fonction "Connecter" assure une intégration fluide et sécurisée entre les différents composants du jumeau numérique et les systèmes réels. Elle permet l'authentification des utilisateurs, la connexion au jumeau numérique, la synchronisation avec les équipements réels, et la communication entre les modules du jumeau et la base de données. Cette fonction garantit une interaction cohérente et en temps réel entre tous les éléments du système. | F.5.1 | Authentifier l'utilisateur | Vérifier l'identité de l'utilisateur pour un accès sécurisé. |
| F.5.2 | Connecter l'utilisateur au jumeau | Établir une connexion entre l'utilisateur et le jumeau numérique. |
| F.5.3 | Connecter le jumeau au drone | Relier le jumeau numérique aux équipements réels pour une synchronisation en temps réel. |
| F.5.4 | Connecter les modules du jumeau à la base de données | Assurer une communication fluide entre les modules du jumeau et la base de données. |
| F.6 | Modifier | La fonction "Modifier" permet de mettre à jour et d'adapter le jumeau numérique en fonction des évolutions des équipements. Elle permet de modifier le modèle 3D des équipements, la base de données, les modules du jumeau, et même l'architecture du jumeau numérique. Cette fonction assure que le jumeau numérique reste à jour et précis, reflétant fidèlement les conditions réelles. | F.6.1 | Modifier le modèle 3d | Permettre la modification du modèle 3D des équipements pour une mise à jour continue. |
| F.6.2 | Modifier la base de données | Mettre à jour la base de données avec de nouvelles informations ou corrections. |
| F.6.3 | Modifier les modules du jumeau | Ajouter, supprimer ou modifier les modules du jumeau numérique. |
| F.6.4 | Modifier l'architecture du jumeau | Réorganiser l'architecture du jumeau numérique pour une meilleure efficacité. |
| F.7 | Stocker | La fonction "Stocker" assure la sauvegarde et la gestion des données générées par le jumeau numérique. Elle permet de stocker les données du jumeau, les modèles 3D des équipements, les données liées au drone, les messages collaboratifs, et les données collaboratives. Cette fonction garantit la disponibilité et l'intégrité des données, facilitant ainsi leur analyse et leur utilisation future. | F.7.1 | Stocker les données du jumeau | Sauvegarder les données générées par le jumeau numérique. |
| F.7.2 | Stocker le modèle 3D | Conserver les modèles 3D des équipements pour une référence future. |
| F.7.3 | Stocker les données drone | Archiver les données liés drone pour une analyse historique. |
| F.7.4 | Stocker les messages collaboratifs | Sauvegarder les messages échangés entre les collaborateurs. |
| F.7.5 | Stocker les données collaboratives | Conserver les données partagées entre les collaborateurs. |
| F.8 | Aide à la maintenance | La fonction "Aide à la maintenance" soutient les opérations de maintenance en fournissant des informations et des outils essentiels. Elle permet d'afficher le planning de maintenance, de modifier ce planning en fonction des besoins, d'afficher les procédures de maintenance, et de consulter les Données et Information spécifiques à la maintenance. Cette fonction améliore la planification, l'exécution et le suivi des activités de maintenance, contribuant ainsi à la fiabilité et à la durabilité des équipements. | F.8.1 | Afficher le planning de maintenance | Présenter le planning de maintenance des équipements. |
| F.8.2 | Modifier le planning de maintenance | Permettre la modification du planning de maintenance en fonction des besoins. |
| F.8.3 | Afficher les procédures de maintenances | Présenter les procédures de maintenance détaillées. |
| F.8.4 | Afficher les DIK de maintenances | Afficher les Données, Informations et Connaissances spécifiques à la maintenance. |
| F.9 | Authentifier l’utilisateur | La fonction "Authentifier Utilisateur" est une composante essentielle de notre système, garantissant que seules les personnes autorisées peuvent accéder aux ressources et aux fonctionnalités du jumeau numérique. Cette fonction est cruciale pour maintenir la sécurité et la confidentialité des données, tout en assurant une expérience utilisateur fluide et sécurisée. |  |  |  |

# Architecture logique

|  |  |
| --- | --- |
| Nom | Composant |
| Visiter | Représentation virtuelle du système physique et de son environnement |
| Sélectionner un élément | Représentation virtuelle du système physique et de son environnement |
| Afficher DIK | Association d’une solution de gestion de donnée au jumeau numérique |
| Afficher liste capteurs/actionneurs | Association d’une solution de gestion de donnée au jumeau numérique |
| Afficher plans mécaniques | Utilisation d’une solution d’affichage sur le jumeau numérique |
| Afficher procédure | Affichage d'une série d'étape animée sur le jumeau numérique |
| Tracer évolutions valeurs capteurs | Association d’une solution de gestion de donnée au jumeau numérique |
| Sélectionner la simulation | Sélection des modèles de simulations sur le jumeau numérique |
| Sélectionner les paramètres de simulation | Sélection des paramètres de simulations sur le jumeau numérique |
| Jouer la simulation | Lancement des simulations sur un utilitaire de simulation interfacé au jumeau numérique |
| Afficher les résultats | Utilisation d’une solution d’affichage sur le jumeau numérique |
| Comparer avec les données procédé | Interfaçage d’une solution de gestion de données avec le jumeau numérique |
| Sélectionner la simulation | Sélection des modèles de simulations sur le jumeau numérique |
| Piloter le drone | Solution d’interfaçage du jumeau physique avec le jumeau numérique |
| Choisir les données à afficher | Sélection des données de pilotage et de simulations à afficher sur le jumeau numérique |
| Afficher les données | Utilisation d’une solution d’affichage des données de pilotage et de simulations sur le jumeau numérique |
| Récupérer les données | Solution d’interfaçage du jumeau physique avec le jumeau numérique |
| Jouer la simulation | Lancement des simulations sur un utilitaire de simulation interfacé au jumeau numérique |
| Comparer les données | Utilitaire de comparaison de données sur le jumeau numérique |
| Alerter les opérateurs | Utilisation d’une solution d’affichage et de traitement d’alertes sur le jumeau numérique |
| Afficher les procédures | Affichage d'une série d'étape animée sur le jumeau numérique |
| Recueillir la demande | Création d'un utilitaire de recherche bibliographique sur le jumeau numérique |
| Transformer la demande en requête machine | Utilisation d'ia générative pour traiter la requête du jumeau numérique |
| Récupérer les informations | Utilisation d'ia générative entrainés sur les DIK associés au projet |
| Afficher les informations | Interfaçage de l’ia générative avec le jumeau numérique. |
| Authentifier l'utilisateur | Création d’un utilitaire d'authentification |
| Connecter l'utilisateur au jumeau | Architecture type client-serveur, le jumeau numérique est hébergé sur une solution physique de stockage connectée et disponible |
| Connecter le jumeau au drone | Interfaçage du système physique et du jumeau numérique pour la capture et l’envoie des données |
| Connecter les modules du jumeau à la base de données | Utilisation d’un environnement de stockage de donnée connecté au jumeau numérique |
| Modifier le modèle 3d | Représentation virtuelle du système physique, Utilisation d'un utilitaire de CAO du type pour modifier le modèle. |
| Modifier la base de données | Utilisation d'un environnement de gestion de donnée ou interfaçage d’une telle solution au jumeau numérique |
| Modifier les modules du jumeau | Jumeau numérique disponible et modifiable dans son environnement de stockage |
| Modifier l'architecture du jumeau | Modifications des DIK associé au jumeau et des modèles d’ingénierie associés |
| Stocker les données du jumeau | Utilisation d'un environnement de stockage de donnée |
| Stocker le modèle 3D | Utilisation d'un environnement de stockage connecté et disponible |
| Stocker les données procédé | Utilisation d'un environnement de stockage de donnée |
| Afficher le planning de maintenance | Création d’un utilitaire de maintenance sur le jumeau numérique |
| Modifier le planning de maintenance | Création d’un utilitaire de modification de module de maintenance sur le jumeau numérique |
| Afficher les procédures de maintenances | Affichage d’une série d’étapes animés sur le jumeau numérique |
| Afficher les DIK de maintenances | Utilisation d’une solution d’affichage sur le jumeau numérique associée a un environnement de stockage numérique |