C2 -
Confidential

Haute École de Namur-Liège-Luxembourg

Départements économiques, technique et social

Campus Callemeyn Arlon

Intégration et déploiement d'un robot quadrupède autonome pour l'inspection industrielle dans le cadre du l'industrie 4.0

Travail de fin d'études présenté par

Leo Chastain

En vue de l'obtention du diplôme de

Bachelier en Électromécanique

Finalité Électromécanique et Maintenance

Juin 2026

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Remerciements

À l'issue de ce travail de fin d'études et de mon parcours en bachelier en électromécanique, je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à l'ensemble des personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réussite de cette expérience.

Je tiens à remercier en premier lieu Safran Blades pour m'avoir accueilli au sein de ses équipes et pour la qualité de l'environnement de travail ainsi que des conditions d'intégration qui m'ont été offertes tout au long de ce stage.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Iannello pour la confiance qu'il m'a accordée, pour ses conseils pertinents ainsi que pour les responsabilités et opportunités d'apprentissage qui m'ont permis de développer mes compétences de manière significative.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur Van Heymbeeck et à Madame Mignolet pour leur encadrement rigoureux, leur disponibilité et la qualité de leur suivi tout au long de ce projet. Leur expertise a constitué un soutien essentiel à sa bonne réalisation.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à Madame Hesse pour son implication, ses recommandations et la qualité de ses conseils, ainsi qu'à Monsieur Gustin pour son accompagnement et son suivi durant mon stage.

Je souhaite par ailleurs remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique de Hénallux Arlon pour la qualité de l'enseignement dispensé, leur engagement et leur disponibilité tout au long de ma formation.

Je n'oublie pas mes camarades de classe, avec lesquels j'ai partagé ces années d'études, pour l'entraide, la solidarité et l'ambiance de travail qui ont contribué à rendre ce parcours à la fois enrichissant et motivant.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus sincères à mes parents et à mes proches pour leur soutien indéfectible. Leur présence, leurs encouragements constants ainsi que leur aide précieuse, notamment lors de la relecture de ce travail, ont été déterminants dans l'aboutissement de ce projet.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Table des matières

1 Introduction et présentation de l'entreprise 4
1.1 Safran Blades 5
1.2 Organisation du département tactique opérationnelle 7
1.3 Présentation du produit 8
2. Cahier des charge et présentation de la solution robotique 10
2.1 Contexte et objectif du projet 10
2.2 Objectif de l'intégration de Spot 13
2.3 Introduction de Boston Dynamics 13
2.4 Présentations du robot 14
2.4.1 Fonctionnement de Spot 14
2.4.2 Les équipements de Spot 15
3. Spot en détails 16
3.1 Fonctionnement concret 16
3.2 Fonctionnements des équipements de Spot 17
3.3 Platform Orbit 19
3.4 L'admin consol 20
3.5 Tablette de contrôle 22
3.6 Les modes de Spot 24
3.7 Les fiduciaux (QR-codes) 27
3.8 Le Dashboard de Levatas 28
3.9 État de Spot à mon arrivée 28
4. Parcours et analyses de Spot 29
4.1 Créations des missions 30
4.1.1 Objectifs des missions 33
4.1.2 Exécution régulière des missions 37
4.1.3 Réalisation du câblage et des requêtes Spot pour les volets 40
4.1.4 Configuration des zones de fonctionnement 42
4.2 Configuration des missions de sûreté 44
4.3 Élaboration d'un planning journalier des missions Spot 47
4.4 Présentations des analyses 48

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4.4.1 Création des analyses 48
4.4.2 Transfert des analyses tablette vers PC 55
4.4.3 Paramétrages des analyses 58
4.4.4 Configuration des seuils et plages 61
4.5 Révision des analyses 65
4.6 Les jauges 66
4.6.1 Modélisation des jauges 66
4.6.2 Corrections des jauges 67
4.7 Analyse et filtrage des anomalies détectées 71
5. Assets ID 75
5.1 Etablissements des assets ID dans Orbit 76
5.2 Présentation de la GMAO 79
5.2 Créations des étiquettes 80
5.3 Créations des demandes d'intervention 83
6. Problèmes rencontré et solutions 85
6.1 Commande des volets 85
6.2 Indisponibilité de la licence Levatas 86
6.3 Exploitation de Spot sans carte graphique 86
6.4 Défaillance d'un moteur du robot Spot 87
7. Impact de Spot 88
8. Conclusion 89
8.1 Conclusion générale 89
8.2 Le futur 90
9 Bibliographie 92
10 Tables des illustrations 94

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

1 Introduction et présentation de l'entreprise

Dans le cadre de la formation de « Bachelier en Electromécanique », finalité maintenance, à la Haute École Hénallux d'Arlon, un stage en entreprise d'une durée de quatorze semaines est requis. Ce stage constitue une étape essentielle du cursus, permettant de confronter les connaissances théoriques acquises à des situations industrielles concrètes et d'acquérir une expérience professionnelle significative.

Le stage a été réalisé au sein de l'entreprise Safran Blades, implantée à Marchin. Cette entité du groupe Safran est spécialisée dans la fabrication de composants aéronautiques, notamment des aubes destinées aux moteurs d'avion. L'entreprise s'inscrit dans une dynamique de développement industriel avancé, orientée vers les principes de l'industrie 4.0. Cette orientation se traduit par l'intégration progressive de technologies telles que l'automatisation, la robotisation et l'exploitation des données numériques dans les processus de production et de maintenance

Le choix de cette entreprise s'explique par plusieurs facteurs. D'une part, Safran Blades se trouve dans une phase de montée en puissance de ses installations, offrant ainsi un environnement particulièrement riche en opportunités d'apprentissage. D'autre part, le secteur aéronautique présente des exigences techniques élevées, en parfaite adéquation avec les objectifs de la formation en électromécanique. Enfin, l'intégration de solutions technologiques avancées au sein de l'entreprise permet d'aborder des problématiques actuelles liées à la maintenance industrielle et à la digitalisation des processus

Le travail confié durant ce stage s'inscrit dans une démarche d'amélioration des opérations de maintenance industrielle par l'intégration de solutions robotisées autonomes. Plus précisément, le projet porte sur la programmation, la configuration et l'optimisation d'un robot mobile autonome de type Spot, développé par Boston Dynamics, destiné à réaliser des missions d'inspection de maintenance, sécurité et sûreté au sein du site industriel.

Ce robot permet d'effectuer des rondes d'inspection automatisées afin de détecter différents types d'anomalies, notamment thermiques, acoustiques et visuelles. Dans ce cadre, les missions réalisées ont consisté à configurer les capteurs embarqués, à définir et ajuster les seuils de détection en fonction des équipements, à concevoir et optimiser des parcours d'inspection, ainsi qu'à améliorer la fiabilité des analyses en limitant les faux positifs.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

1.1 Safran Blades

Le stage a été réalisé au sein de Safran Blades, une entité du groupe Safran spécialisée dans la fabrication de composants aéronautiques. L'entreprise est, aujourd'hui, engagée dans une phase d'évolution vers une Industrie 4.0. Concrètement, cela se traduit par l'intégration progressive de technologies avancées telles que l'automatisation des certains processus, la robotisation des lignes de production ou encore l'utilisation d'outils numériques. Certains de ces systèmes sont en cours de concrétisation. L'objectif de cette transition est l'amélioration de la traçabilité, de rendre les procédés plus fiables ainsi que la performance globale du système de la production.

Le projet Safran Blades a vu le jour en décembre 2022 à l'initiative de Safran Aero Boosters. Il représente un investissement d'environ 110 millions d'euros et est réalisé en collaboration avec les autorités publiques belges et wallonnes, ainsi qu'avec Wallonie Entreprendre et la Société Fédérale de Participations et d'Investissement (S.F.P.I.M.). Malgré ce partenariat, Safran Aero Boosters reste l'actionnaire principal de l'entreprise, ce qui permet d'assurer une cohérence stratégique avec les besoins industriels du groupe.

Située à Marchin, sur un ancien site industriel d'ArcelorMittal entièrement modernisé, l'usine s'étend sur une surface d'environ 10 000 m². Elle est équipée d'installations industrielles de dernière génération répondant aux exigences du groupe Safran.

Le site est actuellement en phase de test, avec pour objectif une montée en cadence progressive afin d'atteindre une production annuelle proche de 700 000 aubes d'ici 2029. Ces composants sont des éléments importants des moteurs aéronautiques, en raison des contraintes mécaniques et thermiques importantes qu'elles subissent, ainsi que d'importantes forces centrifuges auxquelles elles sont exposées.

La création de Safran Blades vise à répondre directement aux besoins de Safran Aero Boosters, notamment pour les compresseurs basse pression des moteurs. À l'échelle mondiale, la production de ces composants est concentrée entre un nombre limité de fournisseurs, principalement des concurrents du groupe Safran, ce qui constitue un risque à long terme.

Dans le contexte du contrôle qualité, Safran Aero Boosters occupe une position particulière : l'entreprise est à la fois le client exclusif de Safran Blades et l'un de ses principaux fournisseurs de matières premières, notamment pour les barres de titane.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Localisation de Safran Blades :

L'usine ainsi que les bureaux de Safran Blades sont situées rue des Forges 5, à 4570 Marchin, dans la province de Liège (Belgique).

L'emplacement du site présente un caractère stratégique. D'une part, la reconversion d'un ancien site industriel d'ArcelorMittal permet de disposer d'infrastructures adaptées à ce type d'activité. D'autre part, la proximité géographique avec Safran Aero Boosters, localisé à Milmort, constitue un avantage significatif en facilitant les livraisons que les échanges techniques.

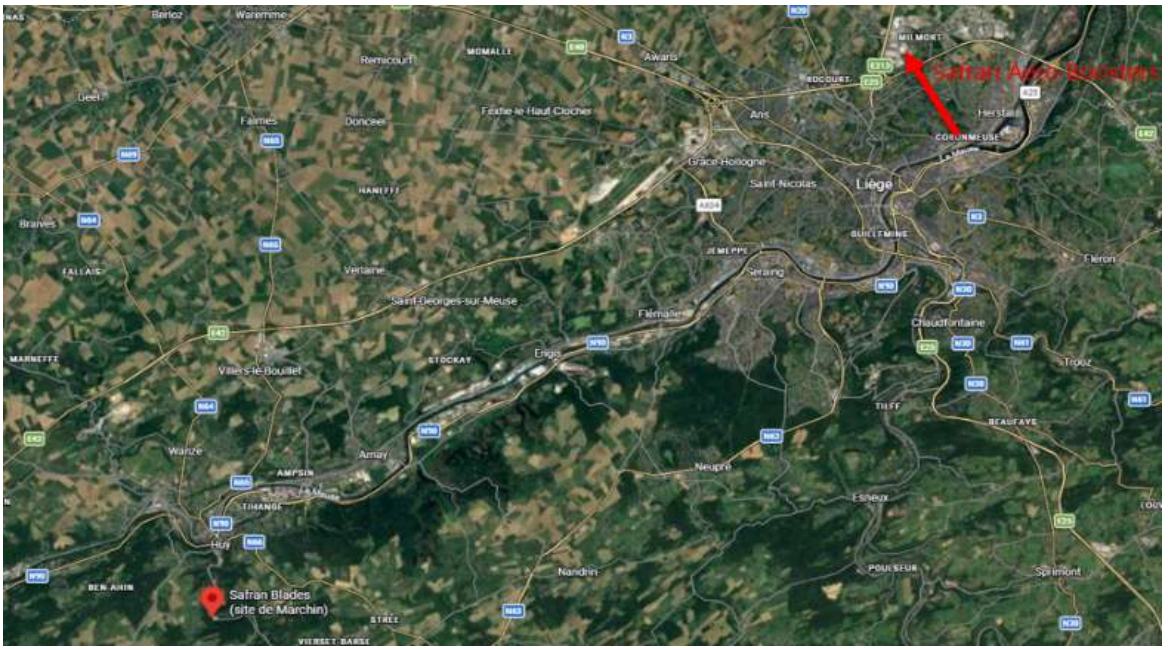


Figure 1 : Safran Blades et SAB

Figure 2 : représentation de Safran Blades

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

1.2 Organisation du département tactique opérationnelle

Le stage est réalisé au sein du département Tactique Opérationnelle (TO), sous la responsabilité de M. Iannello, au sein du pôle maintenance et fiabilité, en collaboration directe avec l'ingénieur fiabiliste et le consultant maintenance.

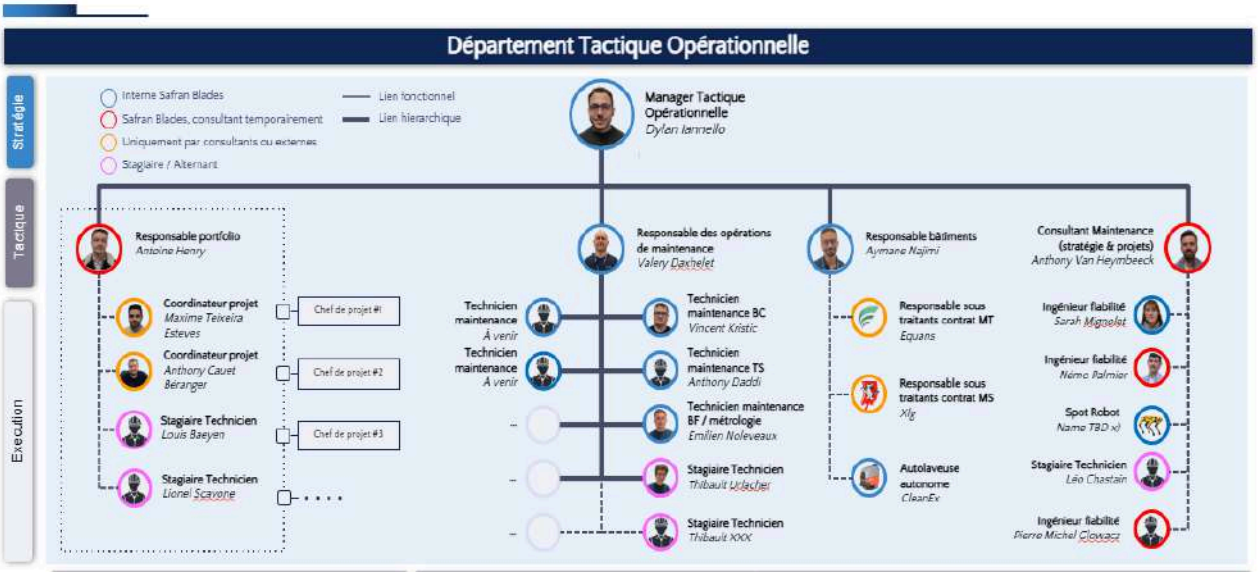


Figure 3 : organisation du département

Le département TO a pour mission d'assurer une capacité de production performante et durable, depuis la phase de conception des projets jusqu'à la fin de vie des installations. Cette mission s'articule autour de trois axes principaux.

Le premier axe concerne la sécurité, qui constitue une priorité fondamentale. Elle repose sur des procédures strictes de gestion des risques et sur un suivi rigoureux des installations dès leur conception et tout au long de leur intégration.

Le second axe porte sur la gestion des projets, visant à améliorer la coordination entre les différents acteurs et à optimiser l'utilisation des ressources. Cela implique notamment la mise en place d'une gouvernance structurée, le partage de bonnes pratiques et l'amélioration de la visibilité des projets.

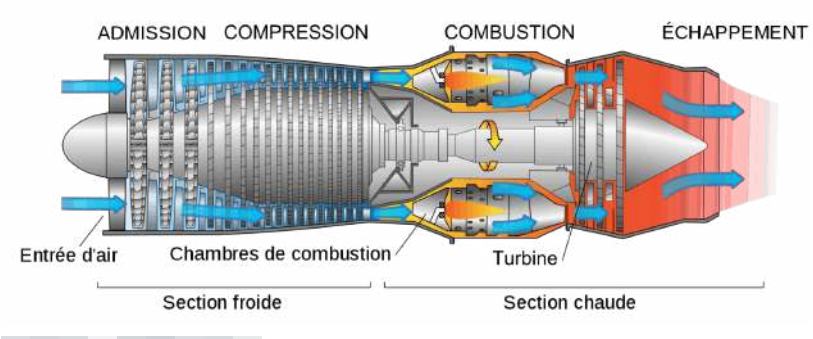
Enfin, le troisième axe concerne les équipements, avec pour objectif de garantir leur disponibilité et leur fiabilité. Le département s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue visant à prolonger la durée de vie des installations tout en maîtrisant les coûts de maintenance.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

1.3 Présentation du produit

Dans un moteur aéronautique, les performances globales reposent sur l'interaction de nombreux composants assurant chacun une fonction spécifique. Parmi ceux-ci, les aubes jouent un rôle essentiel dans les échanges d'énergie entre les parties mécaniques et le fluide. L'aube de compresseur basse pression constitue ainsi un élément clé du système de compression de l'air au sein du moteur.

Dans un moteur aéronautique à double flux, le compresseur basse pression constitue la première étape de compression de l'air admis dans le cœur du moteur. Comme illustré à la Figure 4, il est situé en amont du compresseur haute pression et est directement entraîné par la turbine basse pression, fonctionnant à une vitesse de rotation adaptée aux conditions d'entrée d'air. Les aubes qui le composent jouent un rôle fondamental dans l'augmentation progressive de la pression de l'air, tout en assurant un écoulement stable et efficace.



Une aube de compresseur basse pression est un élément mécanique de géométrie complexe, conçu selon un profil aérodynamique précis. Comme illustré à la Figure 5, ce profil est optimisé afin de canaliser et d'accélérer le flux d'air en modifiant sa direction et sa vitesse, tout en limitant les pertes énergétiques liées aux phénomènes de turbulence. Sa fonction principale est de transmettre de l'énergie cinétique à l'air, contribuant ainsi à l'augmentation progressive de sa pression. L'orientation, la courbure et la finesse du profil jouent un rôle déterminant dans les performances aérodynamiques de l'aube et sont soigneusement étudiées afin de garantir un rendement maximal du compresseur.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

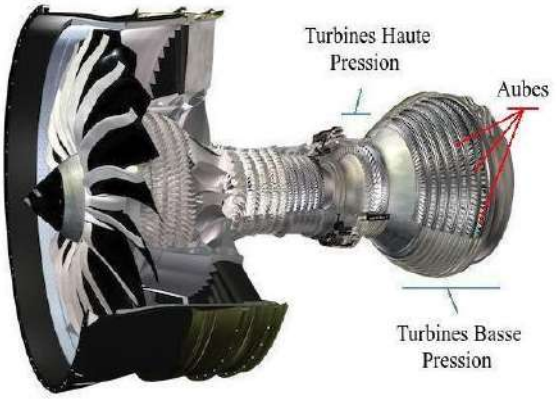
Ces composants sont soumis à des contraintes particulièrement sévères. Sur le plan mécanique, ils doivent résister à des efforts centrifuges importants liés aux vitesses de rotation élevées. Sur le plan aérodynamique, ils sont exposés à des phénomènes de turbulences, de décrochage et de vibrations pouvant engendrer de la fatigue matérielle. À cela s'ajoutent des contraintes environnementales telles que l'ingestion de particules ou les variations de température.

Dans la partie basse pression, les aubes présentent généralement une longueur plus importante. Cette caractéristique est liée à des vitesses de rotation plus faibles, ce qui permet de limiter les contraintes centrifuges au niveau de leur racine et contribue ainsi à améliorer leur durée de vie

Actuellement, Safran Blades est spécialisée dans la fabrication d'aubes statoriques destinées à la turbine basse pression.

La moindre dégradation d'une aube (fissure, érosion, déformation) peut entraîner une diminution des performances du moteur, voire des défaillances critiques. Par conséquent, leur fabrication et leur contrôle qualité répondent à des exigences extrêmement strictes, notamment dans un contexte industriel comme celui de Safran Blades.

Dans cette optique, les opérations d'inspection et de maintenance revêtent une importance majeure. L'intégration de solutions robotisées autonomes permet d'améliorer la fiabilité des contrôles, de réduire les risques humains et d'optimiser les processus de maintenance industrielle. Le développement d'un robot d'inspection s'inscrit ainsi directement dans la nécessité de garantir l'intégrité et la performance de ces composants critiques.



Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

2. Cahier des charge et présentation de la solution robotique

2.1 Contexte et objectif du projet

Le stage réalisé chez Safran Blades s'inscrit dans un contexte de transformation industrielle orientée vers les principes de l'industrie 4.0, caractérisée par l'intégration progressive de technologies avancées au sein des processus de production et de maintenance. Cette évolution vise notamment à améliorer la fiabilité des installations, optimiser les performances énergétiques et renforcer la sécurité des opérations.

Dans ce cadre, l'entreprise a intégré un robot mobile autonome, Spot, développé par Boston Dynamics, afin d'automatiser certaines opérations d'inspection sur le site industriel. Ce robot est capable de réaliser des rondes régulières et d'effectuer des analyses thermiques, acoustiques et visuelles sur différents équipements, permettant ainsi la détection d'anomalies telles que des surchauffes, des fuites de fluides ou des défaillances mécaniques.

L'intégration de ce type de solution s'inscrit dans un contexte où les méthodes d'inspection traditionnelles présentent certaines limites, notamment en termes de fréquence, de répétabilité et d'accessibilité à certaines zones du site (Spot étant un quadrupède, contrairement à d'autres robots, il a la capacité de monter et descendre des escaliers).

Par ailleurs, une détection tardive des anomalies peut entraîner des conséquences significatives, telles qu'une diminution de la disponibilité des équipements, une augmentation des coûts de maintenance ou une dégradation des performances énergétiques.

Ces situations peuvent également engendrer des impacts économiques significatifs, notamment en raison des arrêts de production, de l'augmentation des coûts de maintenance et des pertes énergétiques associées.

En complément des opérations de maintenance, le robot contribue également à la surveillance du site, notamment en dehors des périodes d'activité. Il permet ainsi d'identifier des situations anormales, telles que des accès non sécurisés ou des conditions de fonctionnement inhabituelles, participant à l'amélioration globale de la sécurité industrielle.

Les objectifs du stage :

- <u>Formation au fonctionnement du robot et de son écosystème</u> : maîtrise de l'architecture matérielle et logicielle de la solution Boston Dynamics, ainsi que des outils associés (Orbit et console d'administration), afin d'assurer une utilisation sécurisée et une exploitation optimale des fonctions de diagnostic.
- <u>Comprendre et analyser les anomalies présentes sur les différentes cellules</u> : comprendre le fonctionnement de la transmission des données entre le robot

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Spot et la plateforme Orbit. Cette compréhension était essentielle afin d'optimiser la gestion et l'interprétation des analyses.

- Attribuer un *Assets ID* à l'ensemble des composants analysés par Spot : mise en place d'un identifiant unique pour chaque équipement inspecté afin d'assurer la traçabilité dans la GMAO et de faciliter le suivi et l'historisation des interventions.
- Définir les seuils thermiques et acoustiques appropriés : définition de seuils d'alerte en collaboration avec les experts de maintenance, afin de limiter les fausses alertes tout en assurant une détection fiable des anomalies.
- Paramétrer les plages de fonctionnement des différents instruments (manomètres, thermomètres, etc.) : paramétrage des échelles des instruments analogiques afin de permettre l'interprétation des lectures par l'IA et la conversion en données numériques exploitables.
- Filtrer et qualifier les anomalies détectées : à l'arrivée sur le projet, un volume important d'anomalies issues de la phase de mise en service a dû être traité. Les analyses initiales, peu paramétrées, ont nécessité un travail de tri et de correction afin d'éliminer les erreurs de détection et de ne conserver que les alertes pertinentes pour la maintenance.
- Créer et configurer des actions d'analyse adaptées aux différentes missions : mise en place et paramétrage d'actions d'analyse en fonction des besoins spécifiques de chaque mission, afin d'assurer une collecte de données pertinente et exploitable pour la maintenance.
- Supprimer les actions inutiles sur les cellules : identification et suppression des actions redondantes ou non pertinentes afin d'optimiser les performances du robot et de réduire les analyses inutiles.
- Concevoir des missions dédiées à la sécurité et à la sûreté : développement de missions spécifiques visant à renforcer la surveillance du site, en intégrant des contrôles ciblés sur les accès, les zones sensibles et l'environnement de travail.
- Programmer le robot pour la détection d'individus lors des missions nocturnes : Configuration des outils de vision et des paramètres de détection afin de permettre l'identification d'individus sur le site, notamment en dehors des heures de production.
- Élaborer la fiche d'entretien : rédaction d'un document structuré décrivant les opérations de maintenance du robot, permettant d'assurer un suivi régulier et standardisé des interventions.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

- Exécuter régulièrement les missions de Spot afin d'en améliorer la fiabilité : réalisation de missions répétées dans le but d'évaluer le comportement du robot, d'identifier les anomalies de fonctionnement et d'optimiser les paramètres d'analyse.
- L'installation et le câblage des automates pour l'ouverture et fermeture des volets : mise en place et raccordement des automates nécessaires à l'automatisation des volets, afin de permettre l'intégration du robot dans son environnement opérationnel.
- Présentation du robot Spot devant des publics : réalisation de démonstrations du robot afin de présenter son fonctionnement, ses capacités et ses applications dans un contexte industriel.

2.2 Objectif de l'intégration de Spot

Le rôle de Spot est d'effectuer des rondes d'inspection de manière autonome pour détecter rapidement les anomalies telles que les surchauffes, les fuites d'air ou d'huile, ou encore les bruits mécaniques anormaux. Grâce à sa caméra thermique, son système d'analyse acoustique et sa caméra PTZ, il permet d'anticiper les pannes avant qu'elles ne deviennent critiques.

Le robot doit également être capable de transférer automatiquement les anomalies à la GMAO (gestion de la maintenance assistée par ordinateur) pour assurer un suivi précis et rapide des incidents.

Mais Spot ne se limite pas à la détection de défauts. Il représente également un véritable atout économique pour l'entreprise : en identifiant rapidement les fuites ou les problèmes susceptibles d'entraîner des arrêts de production, il permet à Safran d'éviter des pertes financières importantes. Le robot doit aussi savoir ouvrir et fermer des portes coulissantes à distance, afin de pouvoir accéder à certaines zones tout en respectant les contraintes de sécurité, comme les lignes chimiques ou les espaces extérieurs où les volets doivent rester fermés.

Spot joue également un rôle essentiel dans la sécurité du site, notamment grâce aux rondes nocturnes, renforçant la surveillance tout en optimisant les coûts. À terme, il doit devenir un outil stratégique, à la fois technique, sécuritaire et rentable.

2.3 Introduction de Boston Dynamics

Boston Dynamics est une entreprise américaine spécialisée dans le développement de robots mobiles avancés. Elle conçoit des solutions capables d'évoluer dans des environnements complexes, là où les robots industriels traditionnels présentent des limites,

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

notamment en termes de mobilité et d'adaptabilité. Son expertise repose principalement sur la locomotion, l'équilibre dynamique et l'interaction avec l'environnement.

Fondée en 1992, l'entreprise est aujourd'hui détenue majoritairement par le groupe Hyundai Motor Group. Elle conserve toutefois une orientation forte vers l'innovation et le développement de solutions robotiques destinées à des applications concrètes, notamment dans les domaines industriels, de l'inspection et de la maintenance. Le robot Spot, utilisé dans le cadre de ce projet, illustre cette approche en permettant la réalisation de missions autonomes dans des environnements industriels complexes.

2.4 Présentations du robot

Spot est un robot mobile quadrupède développé par Boston Dynamics. Sa conception à quatre pattes lui permet de se déplacer avec stabilité sur différents types de sols, y compris dans des environnements industriels complexes. Contrairement aux robots fixes, Spot est capable de se déplacer de manière autonome et d'accéder à des zones difficiles ou dangereuses pour l'homme.

Équipé de plusieurs capteurs, Spot peut réaliser des missions d'inspection, de surveillance et de collecte de données. Il est principalement utilisé pour observer l'état des installations, détecter des anomalies et assister les équipes de maintenance.

2.4.1 Fonctionnement de Spot

Le robot Spot est un système quadrupède dont la locomotion repose sur quatre pattes, chacune actionnée par trois moteurs électriques, soit un total de douze degrés de liberté. Cette architecture permet de reproduire des mouvements complexes et d'assurer une grande adaptabilité aux conditions du terrain.

Chaque patte est ainsi capable de réaliser trois types de mouvements : un mouvement latéral au niveau de la hanche, un mouvement longitudinal avant-arrière, ainsi qu'un mouvement de flexion au niveau du genou

La conception mécanique des pattes est optimisée pour assurer une transmission efficace des efforts vers le sol. L'orientation du genou vers l'arrière, bien que contre-intuitive, permet une meilleure répartition des

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

contraintes mécaniques lors des phases d'appui et contribue à la stabilité globale du robot.

La locomotion de Spot repose sur un contrôle dynamique en temps réel. Les moteurs ajustent en permanence leur position et leur couple en fonction de la posture du robot et des conditions de contact avec le sol. Lorsqu'une patte est en phase de déplacement, les autres assurent le maintien de l'équilibre en compensant les variations du centre de gravité. Ce principe permet au robot de se déplacer de manière stable, y compris sur des surfaces irrégulières ou en environnement contraint.

2.4.2 Les équipements de Spot

Figure 10 : équipements du robot

Le robot Spot est équipé d'un ensemble de capteurs et de modules lui permettant de réaliser des missions d'inspection de manière autonome dans un environnement industriel. Ces équipements assurent à la fois la perception de l'environnement, l'analyse des anomalies et la communication des données vers les systèmes de supervision.

Parmi ces dispositifs, Spot intègre notamment un capteur acoustique destiné à analyser les sons émis par les installations. Ce capteur permet d'identifier des anomalies telles que des fuites d'air comprimé ou des dysfonctionnements mécaniques, en se basant sur l'analyse des signatures fréquentielles.

Le robot est également équipé d'un système de vision combinant une caméra optique et une caméra thermique. Ce dispositif permet d'observer visuellement l'état des équipements tout en mesurant leur température, facilitant ainsi la détection de surchauffes ou d'anomalies thermiques.

Enfin, Spot intègre un module de calcul central, le Spot EAP2 associé à un modem, qui assure le traitement des données issues des capteurs, le pilotage des missions et la communication avec les systèmes externes. Ce module joue un rôle essentiel

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

dans l’autonomie du robot, en permettant la transmission des données et des alertes vers la plateforme de supervision utilisée par les opérateurs.

3. Spot en détails

3.1 Fonctionnement concret

Chaque patte est composée de trois moteurs électriques, offrant trois degrés de liberté par patte, soit douze moteurs au total. Ces moteurs contrôlent les mouvements de la hanche et du genou, permettant au robot de marcher, tourner, s’accroupir ou ajuster sa posture en temps réel. Les moteurs brushless, combinés à des réducteurs efficaces, fournissent un bon couple tout en limitant la consommation d’énergie, garantissant une grande fiabilité et durabilité.

Il est contrôlé à distance sans connexion physique telle qu’un câble entre une unité de commande et la machine

Ce document et les informations qu’il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Spot utilise un ensemble de complexe algorithme de control pour s'équilibré et se déplacer.

L'orientation des genoux vers l'arrière n'est pas un choix esthétique, mais mécanique : elle permet de mieux répartir les forces, d'améliorer la stabilité et de réduire les efforts sur les moteurs lors de la marche ou du franchissement d'obstacles.

En termes de dimensions, Spot mesure environ 0,84 mètre de hauteur (debout), pour une largeur de 0,5 mètre et une longueur de 1,1 mètre. Il pèse environ 31.7 kg dans sa version standard, ce qui lui permet d'être à la fois robuste et facilement déplaçable. Côté performances, Spot peut atteindre une vitesse maximale d'environ 1,6 m/s, ce qui lui permet de se déplacer rapidement entre différentes zones d'inspection tout en restant stable et sûr.

Sa batterie a une capacité de 605 Wh avec une moyenne sans charge utile de 90 minutes et le poids de la batterie est de 4.2 Kg

Le chargeur de la batterie à comme tension d'entrée 100-240 VCA 50/60 Hz avec 5,5AA max et en sortie nous avons du 35-58V VCC avec 7.2A max et une température maximum de 0 à 40 °C

La connectivité : 2,4 GHz et 802.11 b/g/n

La bande de fréquence 2,4 GHz est largement utilisée dans les réseaux Wi-Fi en raison de sa portée étendue et de sa bonne capacité à traverser les obstacles. Toutefois, elle offre des débits plus faibles et est davantage sujette aux interférences que les bandes plus récentes comme le 5 GHz.

Et la mention 802.11 b/g/n indique les normes Wi-Fi compatibles avec l'appareil. Les normes 802.11b, 802.11g et 802.11n correspondent à différentes générations de technologies sans fil. La norme b est une ancienne version offrant des performances limitées, la norme g constitue une amélioration en termes de vitesse et de stabilité, tandis que la norme n'est plus récente et permet des débits plus élevés ainsi qu'une meilleure efficacité de connexion. Ainsi, un appareil compatible 802.11 b/g/n peut se connecter à des réseaux Wi-Fi utilisant l'une de ces trois normes.

Analyse du terrain : champs de vision horizontal de 360° avec une portée de 4m et a un éclairage de 2 lux. Evitement des collisions, maintien d'une distance prédéfinie avec les obstacles stationnaires.

Déplacement : vitesse max de 1,6 m/s et une inclinaison max de 30° et hauteur de marche max (escalier) 300mm

Charge utile : des charges utiles peuvent être installées à Spot à l'aide des rails et des ports prévus à cette effets.

Environnement : indice de protection IP54, température de fonctionnement de 20 à 45° et humidité de fonctionnement de 0 à 70% HR

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

3.2 Fonctionnements des équipements de Spot

La caméra thermique utilisée par le robot Spot fonctionne grâce à un capteur appelé microbolomètre. Contrairement à une caméra classique qui détecte la lumière visible, une caméra thermique détecte le rayonnement infrarouge, c'est-à-dire la chaleur émise par les objets.

Tout d'abord, le rayonnement thermique traverse une lentille en germanium. Ce matériau est utilisé car il laisse passer le rayonnement infrarouge tout en bloquant la lumière visible.

Ensuite, ce rayonnement arrive sur une matrice composée de nombreux pixels du microbolomètre (327 000 au total). Chaque pixel contient une petite membrane très sensible à la température. Lorsque la chaleur provenant d'un objet frappe cette membrane, sa température augmente légèrement. Cette variation de température provoque une modification de la résistance électrique de la membrane : plus la température augmente, plus la résistance change.

Pour mesurer cette variation, un circuit électronique appelé ROIC (read out integrated circuit) envoie une tension aux différentes membranes du capteur. Il mesure ensuite le courant qui revient et compare ces valeurs avec un état de référence. Grâce à ces mesures, il est possible de déterminer la variation de température de chaque pixel.

Enfin, les informations électriques sont traitées par le processeur de la caméra, qui transforme ces données en une image thermique. Chaque pixel de l'image correspond alors à une température, généralement représentée par différentes couleurs afin de visualiser facilement les zones plus chaudes ou plus froides.

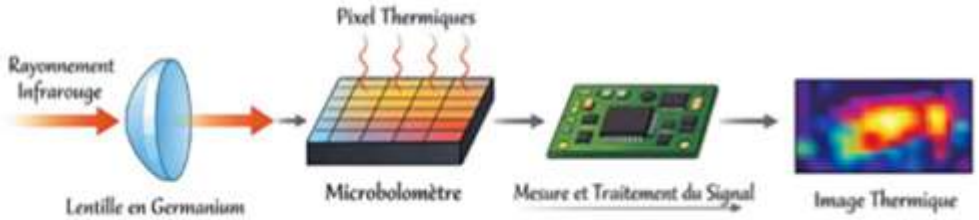


Figure 12 : processus d'une analyse thermique

Pour le capteur acoustique, lorsque qu'une fuite ou une anomalie se produit, elle génère des ondes sonores, souvent dans une plage de fréquences élevées appelée ultrasons. Les différents microphones du capteur détectent

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni
écrite de Safran Blac

ces sons presque simultanément. Comme chaque microphone reçoit le signal avec un léger décalage, le système peut analyser ces différences pour déterminer la direction exacte d'où provient le bruit.

Les signaux captés sont ensuite envoyés vers un système de traitement qui applique des algorithmes appelés beamforming. Cette technique permet de combiner les signaux des différents microphones afin de localiser précisément la source du son dans l'espace.

Enfin, les résultats sont représentés sous forme d'une image acoustique. Cette image est généralement superposée à une image visuelle de la zone observée. Les zones où l'intensité sonore est la plus forte apparaissent avec des couleurs différentes, ce qui permet d'identifier rapidement l'emplacement d'une fuite ou d'un défaut.

Ensuite le Spot EAP2 avec modem, ce module est équipé d'un processeur (CPU) 64 bits à 6 cœurs, ce qui lui permet d'exécuter plusieurs programmes en même temps. Cela est utile pour traiter différentes tâches simultanément, comme la gestion des capteurs, l'analyse des données et la communication avec les systèmes externes.

Le système possède également une unité de traitement graphique (GPU) composée de 384 cœurs ainsi que 48 cœurs Tensor. Ce composant est principalement utilisé pour le traitement d'images et peut aussi être utilisé pour des applications d'intelligence artificielle.

Pour le stockage des données, le module dispose d'une mémoire interne de 512 Go. Cet espace permet d'enregistrer les images, les vidéos et les données collectées par les différents capteurs du robot lors de ses missions d'inspection.

Le Spot Core I/O possède aussi plusieurs sorties d'entrées/sorties électriques (E/S) fournissant des tensions de 24 V, 12 V et 5 V. Ces sorties permettent d'alimenter et de contrôler d'autres équipements ou capteurs installés sur le robot.

On retrouve également un capteur laser de type Lidar pour percevoir son environnement et créer des cartes en trois dimensions. Ce capteur envoie des impulsions laser dans différentes directions autour du robot. Lorsque ces faisceaux laser rencontrent un objet (mur, machine, tuyauterie, etc.), ils sont réfléchis et reviennent vers le capteur. En mesurant le temps que met le laser à revenir, le système peut calculer très précisément la distance entre le robot et l'objet détecté.

En répétant cette opération des milliers de fois par seconde dans différentes directions, le robot est capable de générer un nuage de points en 3D représentant l'environnement qui l'entoure. Cette représentation permet ensuite de créer une carte tridimensionnelle précise de la zone, utilisée pour la navigation autonome du robot.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

3.3 Platform Orbit

Orbit est la plateforme pour gérer et exploiter les données collectées par le robot Spot. Concrètement, Orbit sert d'interface centrale permettant de superviser les missions du robot, d'analyser les informations qu'il récolte.

Grâce à Orbit, les utilisateurs peuvent programmer des rondes d'inspection, visualiser les données recueillies par le robot (images, données thermiques, relevés de capteurs, etc.) et suivre l'état des équipements surveillés. Les informations collectées lors des inspections sont ensuite centralisées et organisées afin de permettre une analyse plus simple et plus rapide. L'objectif est notamment de détecter des anomalies, d'anticiper des pannes potentielles et d'améliorer la maintenance prédictive des installations.

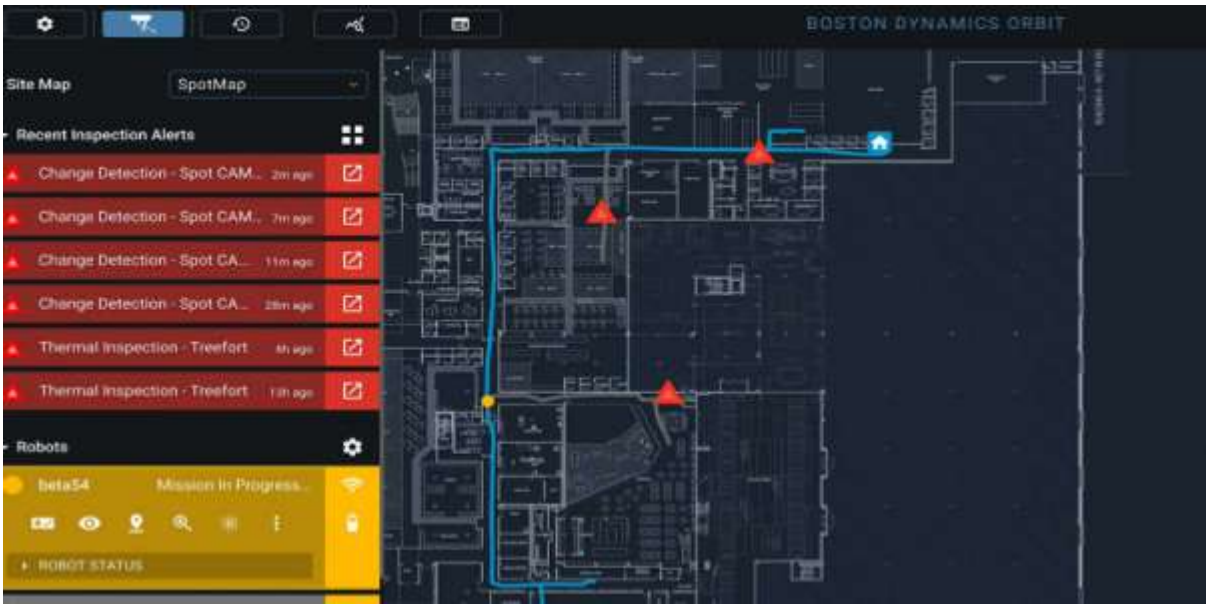


Figure 14 : Orbit

3.4 L'admin consol

Le Spot Admin Console est l'interface d'administration du robot. C'est une plateforme accessible via un navigateur web lorsqu'on est connecté au robot en mode client, et elle permet de gérer tous les paramètres techniques du système.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

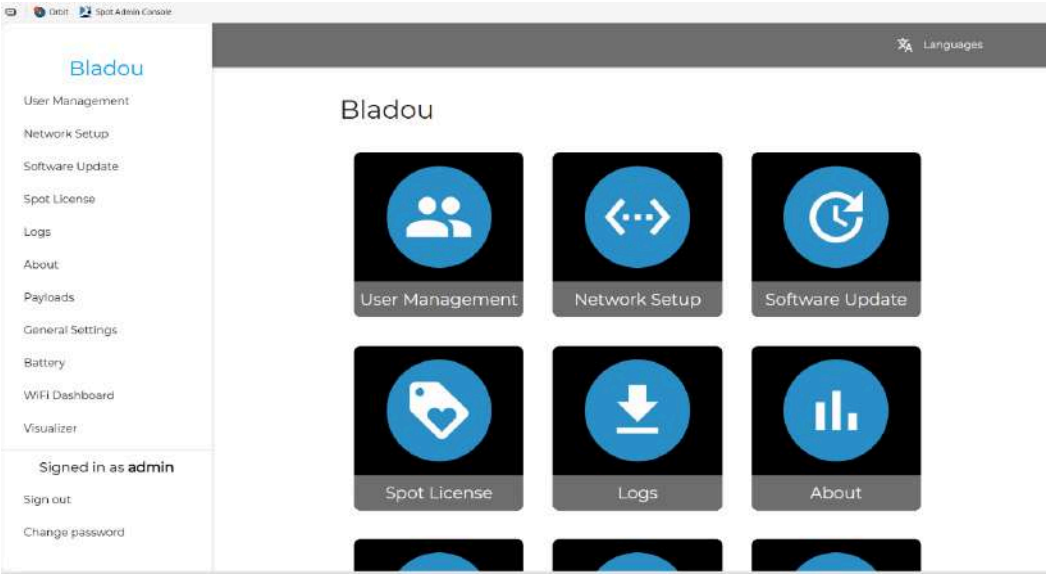


Figure 15 : menu principale de l'admin consol

Pour y accéder, il faut être connecté au robot (en mode client ou en mode Access Point), puis ouvrir un navigateur internet et taper :

https://[adresse IP du robot]

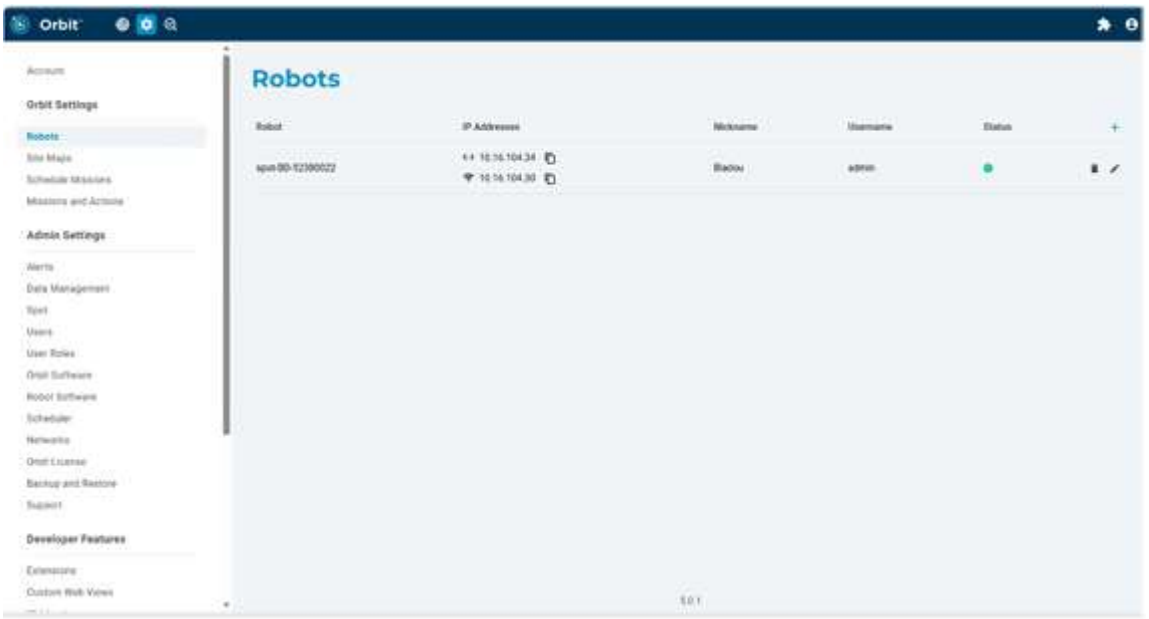


Figure 16 : paramètre Orbit

L'adresse IP du robot (10.16.104.34) est retrouvée dans Orbit, dans les paramètres, catégorie Robots. Une fois l'adresse IP renseignée dans le navigateur, l'interface d'administration s'ouvre et il faut s'authentifier avec un compte autorisé.

Comme on peut le voir sur l'interface, le Spot Admin Console permet de réaliser plusieurs actions importantes. Il donne accès à la gestion des utilisateurs (User

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Management), ce qui permet de créer, modifier ou supprimer des comptes et de gérer les droits d'accès au robot.

Il permet également de configurer le réseau via le Network Setup : connexion en mode client au Wi-Fi de l'entreprise ou configuration du mode Access Point. On peut donc gérer entièrement la communication réseau du robot depuis cette interface.

Le menu Software Update permet d'installer ou de vérifier les mises à jour du système, ce qui est essentiel pour maintenir le robot à jour et sécurisé.

La section Spot License permet de gérer les licences logicielles associées au robot.

L'onglet Logs donne accès aux journaux système, ce qui est très utile pour diagnostiquer un problème ou analyser un comportement anormal.

La partie Battery permet de consulter l'état de la batterie et certaines informations liées à l'alimentation.

Le WiFi Dashboard donne une vue d'ensemble des connexions réseau actives.

La section Payloads permet de gérer les équipements ajoutés au robot (caméras, capteurs, modules

3.5 Tablette de contrôle

Figure 17: représentation de la tablette

Cette tablette, équipée de l'application Spot, a été fournie avec le robot ainsi que l'ordinateur par Boston Dynamics.

La tablette est un élément central pour l'utilisation et la gestion du robot Spot. Elle permet à l'opérateur d'interagir directement avec le robot, de le contrôler, de configurer ses missions et d'accéder à différentes informations liées à son fonctionnement.

1. Interface de contrôle et de gestion du robot

La tablette sert tout d'abord d'interface principale pour piloter le robot. Grâce à l'application Spot installée dessus, l'utilisateur peut se connecter au robot et le

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

contrôler en temps réel. Il est possible de déplacer le robot manuellement, de l'orienter, de gérer sa position ou encore de lancer différentes actions.

2. Création et gestion des missions

Un autre rôle important de la tablette est la création et la modification des missions du robot. Lorsqu'un opérateur souhaite créer un nouveau parcours, il doit utiliser la tablette pour guider manuellement le robot dans l'environnement afin d'enregistrer les points de passage. Ces points servent ensuite de référence pour que le robot puisse se déplacer de manière autonome lors de ses inspections.

La tablette permet également d'ajouter des actions sur ces parcours, comme :

- La prise de photos pour une inspection visuelle,
- La capture d'images thermiques,
- L'enregistrement de données acoustiques,
- Ou encore la détection de personnes.

Ces actions sont ensuite exécutées automatiquement par le robot lorsqu'il réalise ses rondes d'inspection.

3. Consultation des données et des analyses

Une fois les missions réalisées, la tablette permet aussi de consulter les résultats collectés par le robot. L'opérateur peut visualiser les images prises, analyser les anomalies détectées et vérifier les données enregistrées pendant l'inspection.

Ces informations peuvent ensuite être utilisées pour le suivi de maintenance ou être envoyées vers d'autres systèmes comme une plateforme de supervision ou une GMAO.

4. Collecte et envoi de statistiques (SpotMetrics)

La capture d'écran montre la section SpotMetrics de l'application. Cette fonctionnalité permet de collecter certaines statistiques de performance du robot afin d'améliorer son utilisation. Comme indiqué sur l'écran, ces données servent à Boston Dynamics pour analyser le fonctionnement du robot et améliorer les performances du système.

Il est important de noter que ces statistiques ne comprennent pas les données sensibles telles que les images ou les enregistrements audio. Elles concernent uniquement des informations techniques liées au fonctionnement du robot.

L'utilisateur peut également choisir la manière dont ces données sont envoyées :

- Automatique : les données sont envoyées automatiquement lorsque la tablette est connectée à Internet.
- Manuel : l'utilisateur déclenche lui-même l'envoi des données.

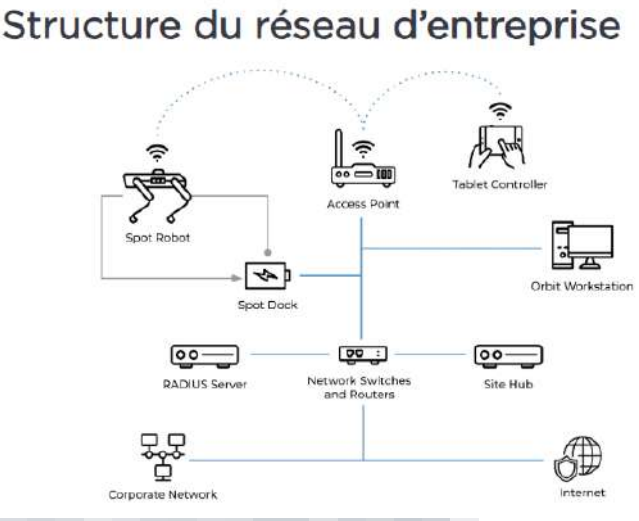
Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

L'écran permet aussi de voir :

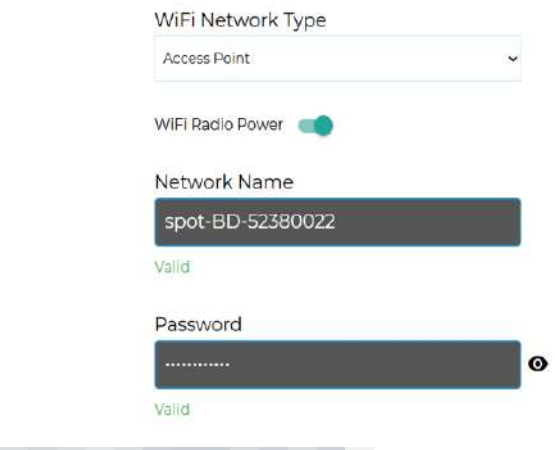
- le nombre de jours de données stockées sur la tablette,
- la date du dernier envoi vers les serveurs de Boston Dynamics,
- la possibilité d'envoyer immédiatement les données avec le bouton Upload Now,
- Ou de consulter les données collectées via Review Metrics Data.

3.6 Les modes de Spot

Le robot d'inspection peut fonctionner selon deux modes réseau différents : le mode client et le mode Access Point, et chacun joue un rôle bien précis dans l'entreprise.



Lorsqu'il est intégré au réseau de l'entreprise, Spot fonctionne en mode client. Cela signifie qu'il se connecte au Wi-Fi interne via les points d'accès déjà installés dans le bâtiment. Il reçoit alors une adresse IP comme n'importe quel équipement du réseau. Dans cette configuration, les données des missions (images, mesures, relevés thermiques, enregistrements) transitent par l'infrastructure réseau classique : points d'accès, switchs et routeurs. L'ordinateur utilisé pour consulter et analyser les missions, notamment via Boston Dynamics Orbit, est lui aussi un client du réseau. Il accède aux données stockées et permet la configuration ou la modification des parcours. Dans ce cas, toutes les communications passent par le réseau interne de l'entreprise.



En revanche, lorsque l'on souhaite piloter le robot directement sur le terrain avec la tablette, on utilise le mode Access Point (AP). Dans cette situation, c'est le robot qui crée son propre réseau Wi-Fi. Il génère un nom de réseau qui est dans notre cas (spot-BD-52380022) et agit comme un petit routeur sans fil. La tablette se connecte directement à ce Wi-Fi. La tablette est donc en connexion Access Point avec Spot, sans passer par le réseau de l'entreprise.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Dans ce mode, les informations transitent directement entre la tablette et le robot. Lorsque l'on envoie une commande (avancer, tourner, démarrer une mission), celle-ci passe par le Wi-Fi créé par Spot et arrive immédiatement au robot. De la même manière, le retour vidéo et les informations en temps réel sont envoyés directement à la tablette par cette connexion locale. Aucune donnée ne passe par les serveurs ou les équipements réseau de l'entreprise tant que Spot reste en mode Access Point.

Le passage de l'ordinateur à la tablette est une opération qui m'a souvent été demandée pour la création d'analyses et de parcours, donc au début de mon stage, période durant laquelle j'utilisais ces deux supports de manière équivalente.

Il est important de noter que, lors de l'utilisation du robot, il est possible soit d'utiliser l'ordinateur, soit la tablette pour contrôler manuellement le robot, mais il n'est pas possible d'être connecté simultanément sur les deux plateformes.

Pour passer d l'ordinateur à la tablette, il convient d'accéder à la console d'administration de Spot, puis de se rendre dans la section « Network Setup ».

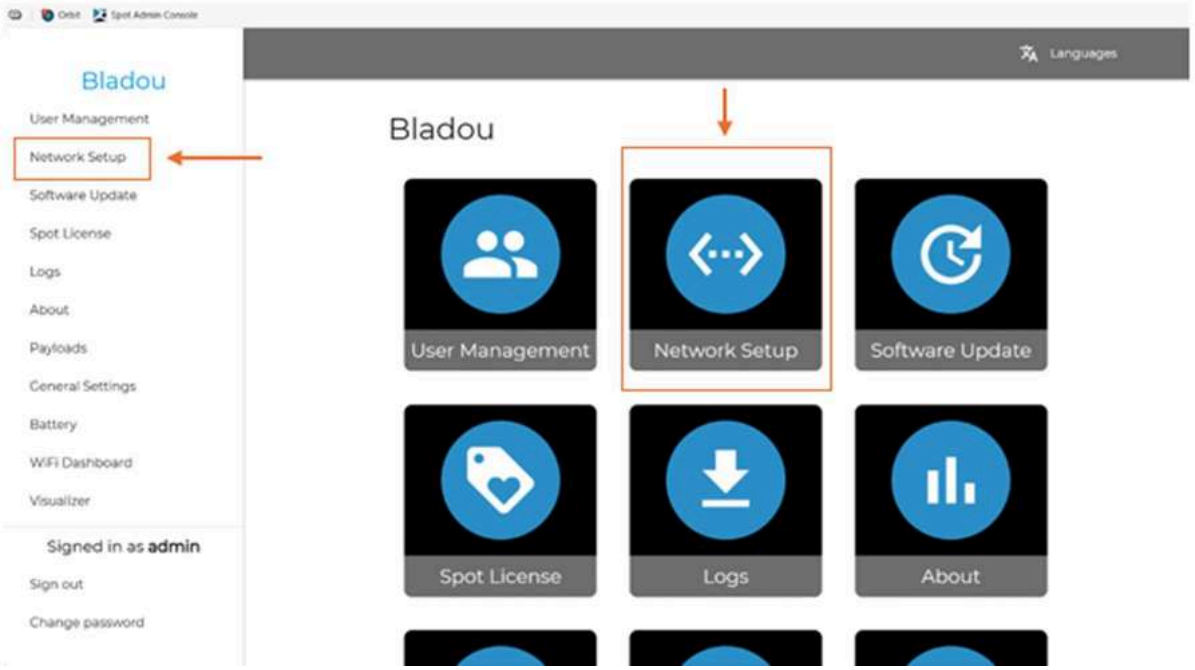


Figure 20 : Network setup

Une fois sur la page, il convient d'accéder à la section « Wi-Fi », puis de sélectionner le mode « «Client» afin de le remplacer par le mode «Access Point». Cette modification permet de changer le mode de fonctionnement de Spot : il ne sera alors plus connecté au réseau Wi-Fi de l'entreprise, mais créera son propre réseau sans fil.

À partir de ce moment, il devient nécessaire de se connecter au réseau Wi-Fi généré par Spot à l'aide de la tablette.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

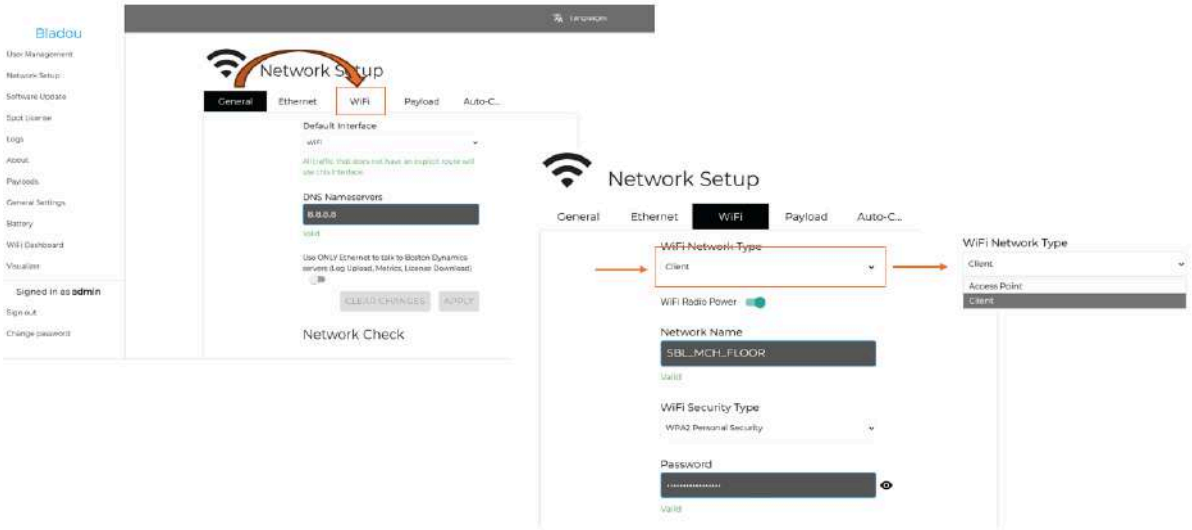


Figure 21: changement de mode de client à access point

Une fois connecté au réseau Wi-Fi de Spot avec la tablette, il convient d'ouvrir l'application Spot

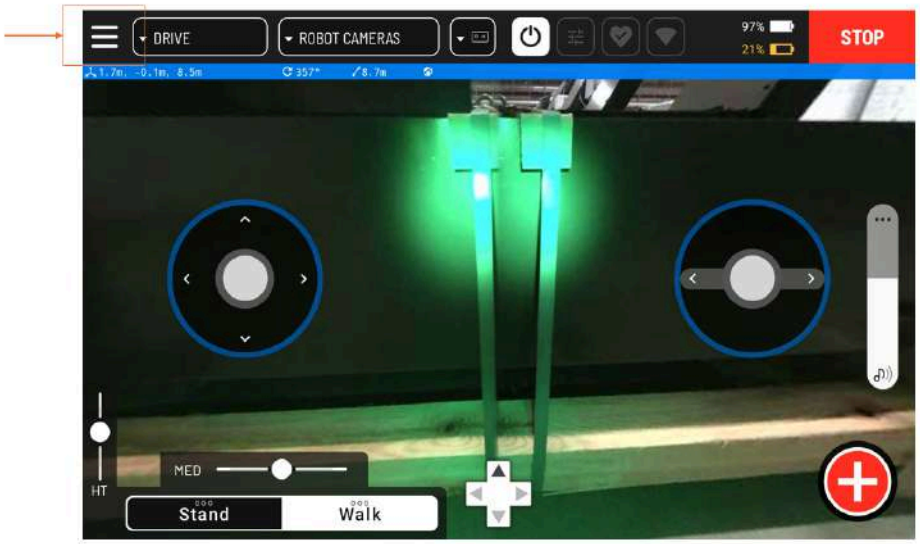


Figure 22 : tablette drive

Pour repasser de la tablette à l'ordinateur, et donc se reconnecter au réseau Wi-Fi de l'entreprise, il faut accéder au menu principal en cliquant sur les trois barres situées en haut à gauche. Ensuite, on ouvre la console d'administration (« Admin Console ») et on reconfigure le mode de connexion en sélectionnant le mode « Client

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

3.7 Les fiduciaux (QR-codes)

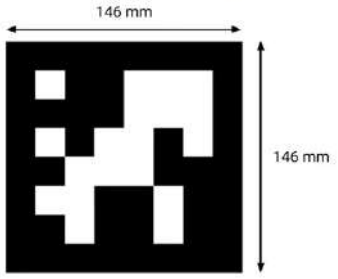


Figure 23 : un fiducial

Les QR-code appelé les fiduciaux sont des marqueurs visuels utilisés par le robot Spot, pour l'aider à se repérer dans son environnement. Ce sont des images imprimées en noir et blanc qui ressemblent un peu à des QR codes. Chaque marqueur possède un identifiant unique que les caméras du robot peuvent reconnaître.

Lorsqu'il se déplace, le robot peut détecter ces marqueurs avec ses caméras et les utiliser comme points de repère. En voyant un QR-code, il est capable de recalculer précisément sa position dans la carte de l'environnement. Cela lui permet de confirmer qu'il se trouve bien à l'endroit prévu et d'éviter les erreurs de localisation pendant une mission.

Les QR-code sont donc surtout utilisés pour améliorer la navigation autonome du robot. Ils sont généralement placés à des endroits stratégiques comme le point de départ d'une mission, les intersections de couloirs, certaines machines à inspecter ou encore près de la station de recharge. Grâce à ces repères visuels, le robot peut suivre son parcours

Dans les plages suivantes, les fiduciaux se voit attribuer des usages spécifiques.

- 1-299 : Localisation lors de l'opération automatique
- 520-549 : Identifiants de Spot Dock
- 580-584 : Identifiants Spot Dock pour une utilisation avec Spot Station
- 585-586 : Interruptions de mission lors d'une opération automatique

Attention, les QR-code ans chaque plage doivent être placés et utilisés uniquement selon les spécifications. L'utilisation du fiduciaire a d'autre fins pourrait entrainer des défaillances de locomotion entraînant des chutes ou des collisions, des pertes de localisation ou même d'autres comportements imprévisibles.

3.8 Le Dashboard de Levatas

Levatas est une solution d'intelligence artificielle utilisée avec le robot Spot de Boston Dynamics afin d'analyser les données collectées lors des inspections. Tandis que

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Spot assure la mobilité et la capture d'images, Levatas permet d'interpréter ces données grâce à des modèles de vision par ordinateur.

Le dashboard Levatas constitue l'interface principale du système. Il permet de gérer les missions, de visualiser les résultats et d'activer la licence Levatas, indispensable au fonctionnement des modèles d'intelligence artificielle.

Dans le cadre de mon travail, ce dashboard était particulièrement important, car c'est à cet endroit que je devais déposer et configurer les modèles de jauge. Ces modèles permettent de détecter et de lire automatiquement des instruments industriels (comme des jauges de pression ou de température) à partir des images capturées par le robot. Le dashboard représente donc l'environnement dans lequel ces modèles sont intégrés et utilisés.

L'accès au dashboard Levatas nécessite plusieurs étapes. Il faut d'abord mettre le robot Spot en mode point d'accès (Access Point). Ensuite, depuis un ordinateur, il est nécessaire de se connecter au réseau Wi-Fi émis par le robot. Une fois connecté, il suffit d'entrer l'adresse suivante dans un navigateur web : https://192.168.80.3:21000. Ce lien, fourni par les équipes de Boston Dynamics, permet d'accéder à la page du dashboard Levatas. Il faut alors se connecter à son compte Levatas pour accéder au menu principal du dashboard.

3.9 État de Spot à mon arrivée

Le robot Spot était déjà opérationnel au niveau déplacement dans l'ensemble de l'entreprise. Cette première configuration avait été réalisée par l'équipe de Boston Dynamics, qui avait parcouru les différentes zones du bâtiment avec le robot afin d'enregistrer les trajets à l'aide de la tablette de pilotage. La plupart des chemins de déplacement étaient donc déjà créés, enregistrés et parfaitement fonctionnels.

En revanche, toutes les actions d'inspection n'étaient pas encore configurées. Les parcours existaient bien, mais les points de contrôle liés aux équipements susceptibles de présenter des anomalies n'avaient pas encore été intégrés de manière complète. Il restait donc un travail important d'identification des zones critiques ainsi que l'ajout d'actions spécifiques (prises de mesures, captures d'images, relevés thermiques, etc.) afin que le robot puisse réaliser des inspections réellement adaptées aux besoins de l'entreprise.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4. Parcours et analyses de Spot

Ci-dessous, on peut voir à quoi ressemblent les chemins que le robot industriel peut emprunter. C'est de cette manière qu'ils sont représentés et enregistrés dans Orbit.

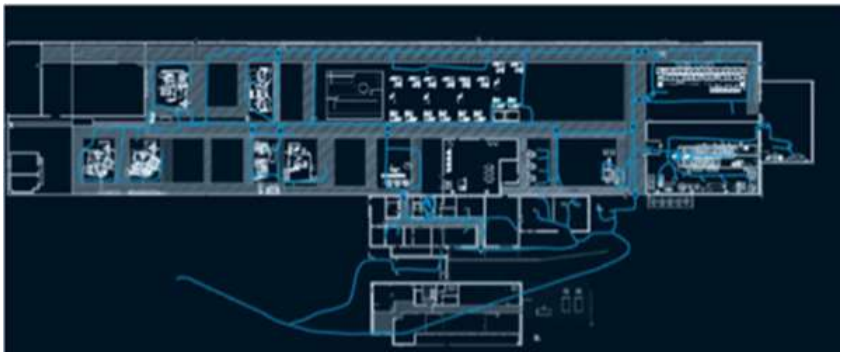


Figure 26 : parcours Orbit

Ensuite, les actions programmées le long du parcours apparaissent également dans Orbit sous une autre forme visuelle, permettant de visualiser précisément les points où le robot doit s'arrêter et effectuer une tâche spécifique,(appelé analyse).

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

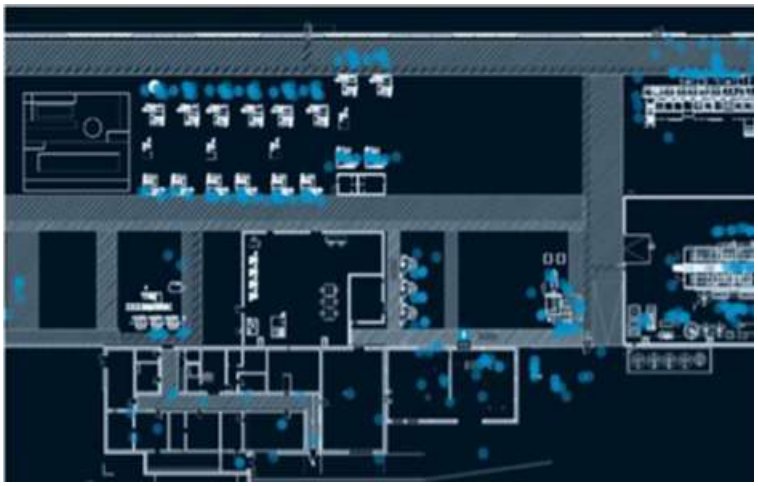


Figure 27 analyses orbit

Exemple d'une analyse.

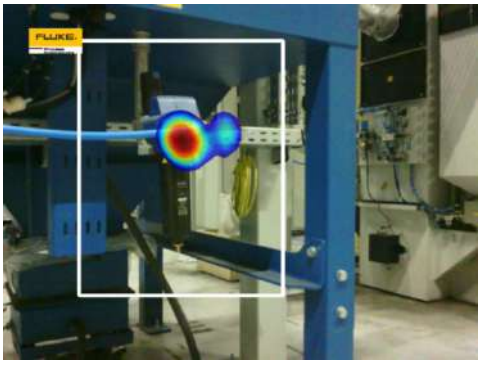


Figure 28 : exemple d'analyse

4.1 Créations des missions

Pour la création d'une mission, il est possible de passer soit par la tablette, soit par l'ordinateur. Les deux options sont disponibles, mais la création via ordinateur est généralement plus simple et plus rapide.

Depuis l'ordinateur, il suffit d'accéder au menu principal puis de cliquer sur le bouton Editor.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 29 : éditeur map

Ensuite, il faut cliquer sur le bouton « + », en vérifiant bien que l'on se trouve dans la section Mission and Actions Editor, représentée par une icône de drapeau.

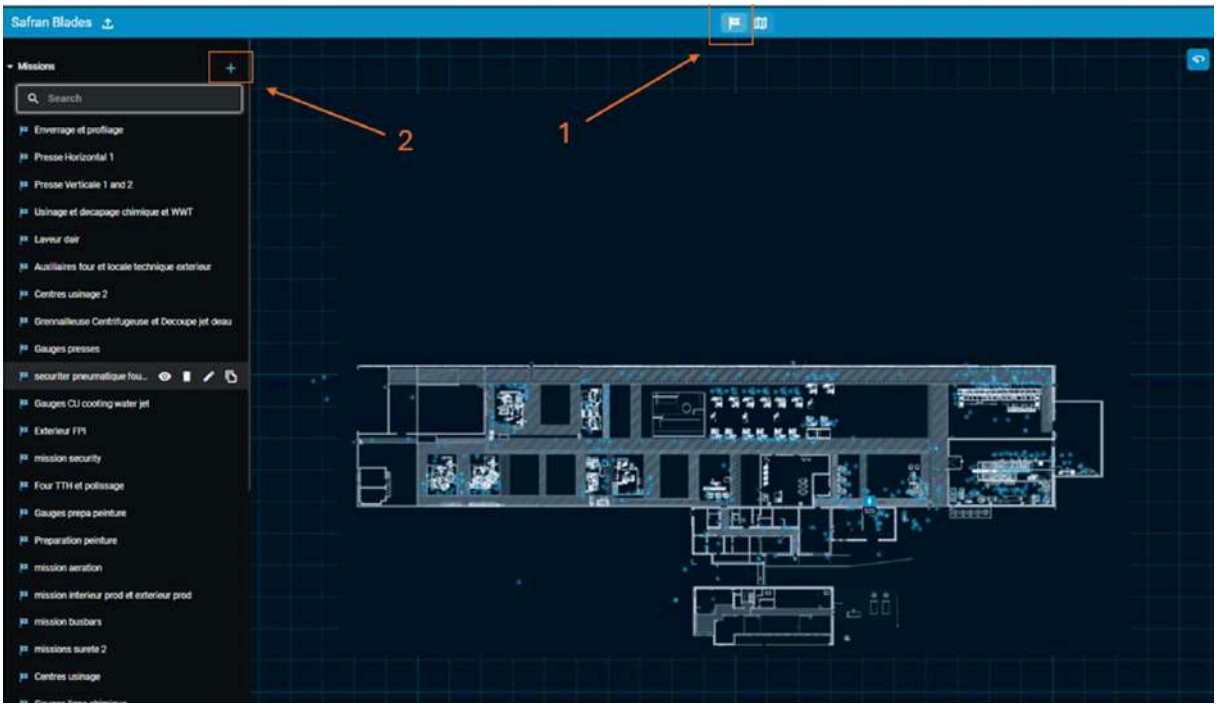
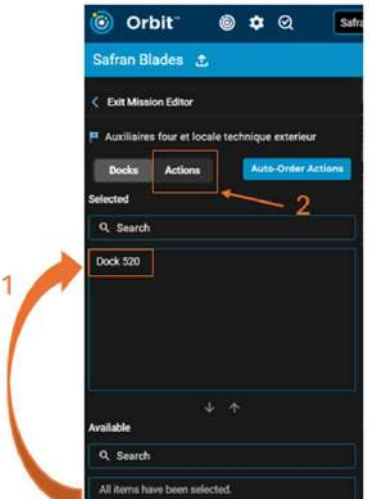


Figure 30 : ajouter une mission

Après avoir cliqué sur « ajouter », on accède à la page de création et de configuration des missions. La première étape consiste à sélectionner le dock 520, qui correspond à la borne de recharge du



Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni commu
écrite de Safran Blades

robot. Comme il s'agit de la seule borne disponible, c'est l'unique option. Une fois le dock sélectionné, on passe à l'onglet des actions

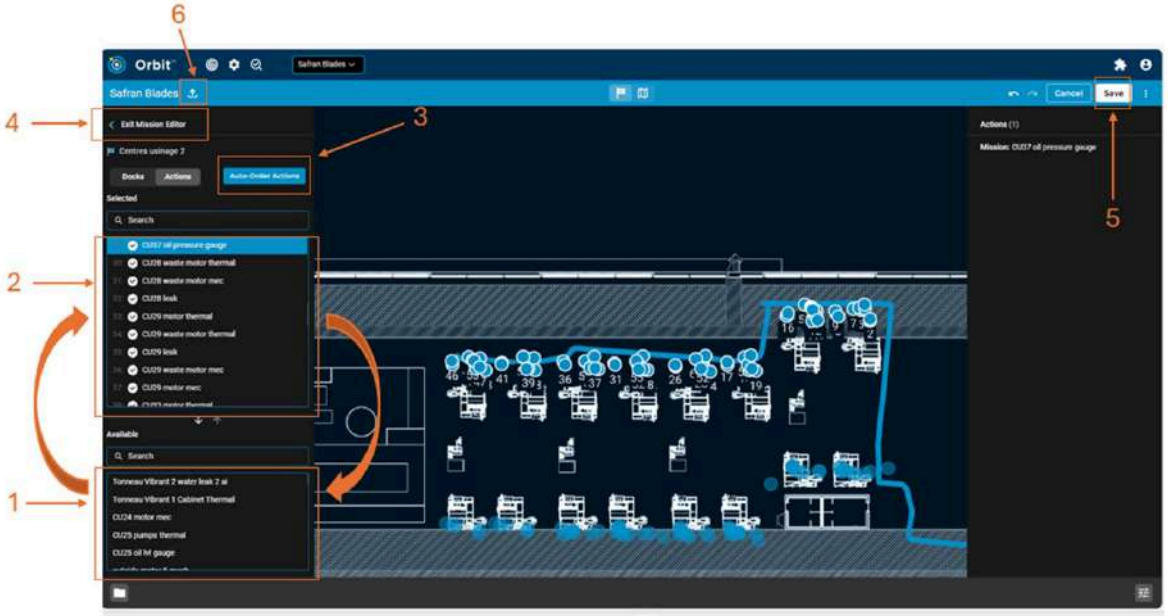
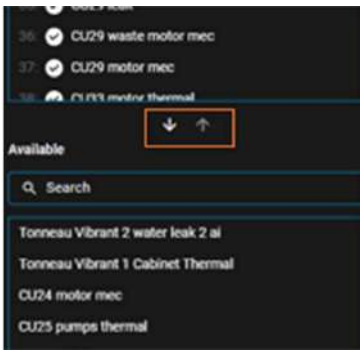


Figure 32 : placement d'analyses dans la mission

Dans cette section :

- (1) correspond à la liste de toutes les actions disponibles (analyses existantes),
- (2) correspond aux actions qui seront effectivement réalisées par Spot pendant la mission.



Il est possible de déplacer les actions de (1) vers (2) pour les ajouter, ou de (2) vers (1) pour les retirer. Pour ajouter une analyse, il suffit de sélectionner une action dans (1), puis de cliquer sur la flèche pour l'envoyer vers (2).

Une fois toutes les analyses ajoutées, il est recommandé de cliquer sur "Auto order actions" (3). Cette fonction permet de réorganiser automatiquement les actions dans un ordre optimisé, afin que Spot minimise ses déplacements et suive le parcours le plus efficace.

Ensuite :

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

- En (4), il est possible de renommer la mission,
- En (5), on enregistre la mission en cliquant sur Save (cela sauvegarde uniquement sur Orbit),
- Enfin, en (6), il faut cliquer sur télécharger vers Spot pour envoyer la mission au robot.

Il est important de noter que le bouton Save seul enregistre uniquement la mission dans Orbit, mais ne la transmet pas au robot. C'est l'action de téléchargement qui permet à Spot de recevoir les modifications et de les exécuter.

Ensuite pour la création des missions depuis la tablette de Boston Dynamics avec l'application Spot.

Nous allons dans le menu principal de Spot après avoir connecté le robot Spot a la tablette

À noter que depuis mon arrivée, j'ai créé 11 nouvelles missions, couvrant différents domaines tels que la sûreté, la sécurité, ainsi que des interventions liées aux installations, notamment les CNC et les nouveaux tonneaux vibrants.

4.1.1 Objectifs des missions

Concernant la création des missions, Boston Dynamics a participé à la mise en place initiale des missions liées aux machines(cellules), ainsi qu'à deux des quatre missions de sûreté. Toutefois, j'ai ensuite été amené à compléter et enrichir ces missions en ajoutant de nombreuses analyses sur différents composants.

Le reste des missions a été principalement initié et finalisé par mes soins, ainsi qu'avec l'aide des personnes m'ayant accompagné dans ce projet. Cela inclut notamment les missions de sûreté restantes, une partie des missions liées aux cellules, en partie celles concernant les busbars, les aérothermes et les alimentations d'air.

De manière générale, l'ensemble des autres missions de sûreté et de sécurité a été conçu, développé et finalisé dans le cadre de ce travail.

Mission des cellules

Les missions liées aux cellules constituent les missions principales du robot, exécutées quotidiennement. Elles regroupent l'ensemble des analyses réalisées par Spot sur les composants des installations industrielles.

Au total, 538 analyses sont effectuées sur 13 cellules différentes. Une cellule correspond à un regroupement de plusieurs équipements ou installations de même nature, par exemple l'ensemble des machines CNC.

Spot exécute ainsi 8 missions distinctes couvrant ces 13 cellules, sur une plage horaire comprise entre 6h30 et 22h, chaque jour. Afin de garantir la réalisation

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

complète de ces missions dans le temps imparti, j'ai mis en place une planification optimisée. Celle-ci prend en compte la durée de chaque mission ainsi que les temps de recharge du robot, permettant à Spot d'accomplir l'ensemble des inspections en environ 15 heures et 30 minutes.

Mission Busbars

Les busbars, ou barres omnibus, sont de larges conducteurs métalliques, généralement en cuivre ou en aluminium, utilisés pour distribuer le courant électrique au sein d'une installation.

Cette mission m'a été confiée par le responsable de la sécurité de l'établissement, avec pour objectif de surveiller la température de chaque busbar. Dans un premier temps, celui-ci m'a indiqué l'ensemble des emplacements où ces équipements étaient installés. J'ai ensuite pris en charge de manière autonome l'enregistrement de chaque busbar ainsi que la mise en place des analyses associées via Spot. La création de ces analyses a été réalisée depuis l'ordinateur, ce qui s'est avéré plus pratique pour le paramétrage. La mise en œuvre complète de cette mission a nécessité environ deux jours de travail.

Étant donné que les busbars sont situés à une hauteur d'environ 5 mètres, il était essentiel de vérifier la précision des mesures effectuées par Spot. Pour cela, un test a été réalisé à l'aide d'un objet dont la température était connue. En positionnant progressivement Spot jusqu'à une distance de 5 mètres, il a été constaté un écart de mesure d'environ 3 °C. Afin de garantir la fiabilité des analyses, une correction a donc été appliquée en ajustant les seuils de température maximale des busbars en conséquence.

Cette mission est réalisée à une fréquence hebdomadaire afin d'assurer un suivi régulier de la température des busbars et de détecter toute anomalie potentielle.

Mission Aérotherme

La mission des aérothermes n'a pas été demandée initialement, mais j'ai souhaité la développer en complément afin d'augmenter les capacités de Spot et de proposer un contrôle supplémentaire utile en cas de besoin.

Cette mission permet de vérifier le bon fonctionnement des aérothermes ainsi que leur capacité à fournir une chaleur suffisante. L'objectif principal est de détecter une éventuelle perte de performance : si la

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqué
écrite de Safran Blades

température d'un aérotherme descend en dessous du seuil attendu, cela peut indiquer une baisse de puissance ou un dysfonctionnement.

L'un des principaux défis de cette mission est que les plages de température varient en fonction des saisons. Pour répondre à cette contrainte, j'ai défini quatre plages de température différentes, adaptées aux quatre saisons de l'année.

Cette analyse permet également de vérifier que la température ambiante est correcte au démarrage de la journée, avec un minimum fixé à 20 °C. Spot est également capable de détecter des situations de surchauffe, bien que ce cas de figure soit plus rare.

Au total, 32 aérothermes sont analysés plusieurs fois par semaine afin d'assurer un suivi régulier de leur bon fonctionnement.

Mission des Alimentations d'air

Cette mission m'a été confiée par mon responsable. Dans l'entreprise, certaines installations sont alimentées par des réseaux d'air comprimé destinés à de futures utilisations. En attendant leur mise en service, il est important de s'assurer de leur étanchéité.

Dans ce cadre, Spot effectue une inspection hebdomadaire de ces alimentations afin de détecter d'éventuelles fuites. J'ai donc procédé à l'enregistrement, via la tablette de Spot, de plusieurs emplacements où se situent ces alimentations, en y associant des analyses réalisées à l'aide du capteur acoustique.

L'utilisation de la tablette s'est avérée nécessaire, car les analyses acoustiques ne peuvent pas être enregistrées directement depuis l'ordinateur, et les zones concernées étaient situées en dehors des parcours initialement définis. Il a donc été nécessaire de créer de nouveaux trajets afin d'intégrer ces points d'inspection.

Au total, une dizaine de points d'alimentation ont été enregistrés. Ils sont désormais analysés une à deux fois par semaine par Spot, ce qui permet de détecter rapidement toute fuite éventuelle. Cette surveillance contribue également à réduire les consommations inutiles des compresseurs, limitant ainsi le gaspillage énergétique et l'impact environnemental de l'installation.

Mission sureté

Ces missions de sûreté ont pour objectif de garantir la surveillance du site durant la nuit, entre 23h et 5h du matin, afin de s'assurer qu'aucune intrusion ne se produise. Quatre missions différentes ont été définies dans ce cadre. Boston Dynamics avait

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

initialement réalisé les missions de sûreté concernant les bureaux ainsi que les zones extérieures. De mon côté, j'ai développé les missions de sûreté pour les zones extérieures des magasins ainsi que pour l'intérieur de la production.

Un ajustement a toutefois été nécessaire concernant la sûreté en zone de production. En effet, à la fin de mon stage, des équipes de nuit ont été mises en place pour certains opérateurs, ce qui pouvait entraîner des déclenchements de fausses alertes. Afin d'éviter cela, j'ai configuré Spot pour qu'il ne démarre ses rondes de sûreté qu'à partir d'une zone définie, excluant ainsi les secteurs où des activités humaines étaient présentes.

Ces missions sont particulièrement importantes, car elles permettent à Spot de jouer un rôle équivalent à celui d'un opérateur de sécurité G4S, ce qui représente un potentiel d'économie estimé à environ 300 000 euros par an pour l'entreprise.

Concrètement, Spot effectue ses rondes de manière autonome en assurant une surveillance à 360°, notamment grâce à sa caméra thermique. Lorsqu'une présence humaine est détectée, le robot envoie immédiatement une alerte par e-mail à l'opérateur G4S. Celui-ci peut alors analyser la situation en temps réel, consulter les flux vidéo via un compte dédié dans Orbit, et si nécessaire contacter les forces de l'ordre.

Il est important de noter que Spot n'a pas de capacité d'intervention directe : son rôle est uniquement de détecter, analyser et transmettre l'information aux opérateurs humains responsables de la sécurité.

Mission sécurité

Ces missions sont orientées vers la sécurité du personnel. Dans ce cadre, Spot est utilisé pour vérifier la conformité et la présence des équipements de sécurité, tels que les extincteurs, les trousses de secours ainsi que les dévidoirs. L'objectif est de s'assurer que ces équipements sont correctement positionnés, accessibles et en bon état de fonctionnement.

Pour réaliser ces contrôles, les analyses reposent sur l'utilisation de l'intelligence artificielle, notamment via des systèmes de reconnaissance basés sur des prompts. Afin de préparer cette mise en œuvre, j'ai élaboré une liste de prompts dans un fichier Excel, permettant de structurer les différentes vérifications à effectuer, par exemple : vérifier si un dévidoir est correctement fermé ou si un extincteur est bien présent et accessible.

Cependant, l'exploitation de ces analyses basées sur l'intelligence artificielle nécessite des ressources matérielles importantes, notamment une carte graphique performante. Or, cet équipement n'était pas disponible durant la majeure partie de mon stage. En conséquence, je n'ai pas pu tester concrètement cette fonctionnalité, le matériel requis ayant été livré trop tardivement.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Ces missions sont réalisées de manière hebdomadaire par Spot afin d'assurer un suivi régulier des équipements de sécurité. Leur création a été effectuée principalement depuis l'ordinateur, notamment pour les analyses de type PTZ, qui sont plus facilement configurables via cette interface.

Toutefois, la tablette a également été utilisée pour enregistrer certains points d'inspection, en particulier pour des équipements tels que les extincteurs, les dévidoirs ou les trousses de secours situés en dehors des parcours initialement définis du robot. Cette approche a permis d'intégrer efficacement l'ensemble des zones à contrôler dans les missions de Spot.

4.1.2 Exécution régulière des missions

L'exécution régulière des missions m'a été confiée dès le début du stage, notamment parce que le robot était encore récent et nécessitait une phase de validation. L'objectif était d'assurer sa fiabilité en le faisant fonctionner plusieurs fois par jour (environ 6 à 7 exécutions), afin de détecter d'éventuels problèmes.

Durant les deux premiers mois, j'étais suivi de près par trois ingénieurs de Boston Dynamics. Chaque semaine, ils me donnaient des consignes précises, avec des missions à réaliser et à répéter un certain nombre de fois. Cette répétition permettait de vérifier le bon fonctionnement du robot, de s'assurer qu'il ne présentait pas d'erreurs, qu'il adoptait le comportement attendu et qu'il exécutait correctement les actions programmées.

Un suivi hebdomadaire était également mis en place, avec une réunion chaque vendredi pour faire le point sur les tests réalisés. De leur côté, les ingénieurs analysaient les données collectées, notamment sous forme de graphiques, afin d'évaluer la fréquence d'exécution des missions et leur niveau de fiabilité.

Ainsi, entre la fin février et la fin mars, une nette amélioration de la stabilité et de la fiabilité des missions a pu être observée.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Update - SAT mission run stats (as of 2/19/26)

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Interieur FPI	4x	100%	99%
Preparation peinture	7x	100%	86%
Enverrage et profilage	13x	100%*	90%
Presse Horizontal 1	2x	50%	0%
Presse Verticale 1 and 2	0x		
Centres usinage	12x*	100%*	83%
Auxiliaires four et locale technique exterieur	2x	100%	100%
Surete bureaux	5x	100%	97%

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Laveur dair	1x	100%	60%
Four TTH et polissage	12x	100%	81%
Surete Exterieur	0x		
Grennailleuse Centrifugeuse et Decoupe jet deau	18x	89%	83%
Exterieur FPI	11x*	100%*	82%
Usinage et decapage chimique et WWT	5x	100%	100%

*) adjusted by excluding exempted failure

Stats exclude mission failures deemed not relevant to the mission itself (see last slide) 3 BostonDynamics

Figure 37 : semaine 1 de la fiabilité des missions

Update - SAT mission run stats (as of 2/26/26)

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Interieur FPI	7x*	100%*	87%
Preparation peinture	7x	100%	86%
Enverrage et profilage	19x*	100%*	83%**
Presse Horizontal 1	12x	85%**	76%**
Presse Verticale 1 and 2	6x	100%	90%
Centres usinage	21x*	100%*	87%
Auxiliaires four et locale technique exterieur	7x	100%	100%
Surete bureaux	10x	100%	98%

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Laveur dair	1x	100%	60%
Four TTH et polissage	9x*	100%*	83%**
Surete Exterieur	3x	100%	99%
Grennailleuse Centrifugeuse et Decoupe jet deau	21x*	100%*	86%
Exterieur FPI	19x*	100%*	89%
Usinage et decapage chimique et WWT	5x	100%	100%

*) adjusted by excluding exempted failure
**) not yet adjusted for exempted failures, true value higher

4 BostonDynamics

Figure 38 : semaine 2 de la fiabilité des missions

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

SAT Mission Run Stats (as of 2026-03-06)

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Interieur FPI	7x*	100%*	87%
Preparation peinture	7x	100%	100%*
Enverrage et profilage	17x*	100%*	94%*
Presse Horizontal 1	13x	100%*	100%*
Presse Verticale 1 and 2	7x	100%	95%*
Centres usinage	20x	100%*	93%*
Auxiliaires four et locale technique exterieur	8x	100%	100%
Surete bureaux	10x	100%	100%*

Mission Name	#	Mission compl.	Action Success
Laveur dair	6x	100%	88%
Four TTH et polissage	10x*	100%*	86%*
Surete Exterieur	15x	100%	95%
Grennailleuse Centrifugeuse et Decoupe jet deau	21x*	100%*	94%*
Exterieur FPI	17x*	100%*	92%*
Usinage et decapage chimique et WWT	5x	100%	100%

*) adjusted by excluding exempted failures

BostonDynamics

Figure 39 semaine 3 de la fiabilité des missions

Tout est devenu vert, indiquant que les missions sont réussies. On peut aussi observer ici qu'en faisant fonctionner Spot quotidiennement et en corrigeant les points de blocage, sa fiabilité s'améliore progressivement. Ce tableau, réalisé par des ingénieurs de Boston Dynamics, montre clairement cette évolution : le taux de réussite des missions passe d'environ 70–80 % au début à près de 99 % de manière constante. Cela illustre la régularité et le suivi apportés au robot au quotidien.

Figure 40 : le succès des missions

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4.1.3 Réalisation du câblage et des requêtes Spot pour les volets

Ce travail m'a été confié par le service IT dans le cadre de l'installation des automates à proximité des armoires des volets rapides, ainsi que pour la réalisation du câblage associé. Au total, j'ai placé et câblé huit automates, chacun étant destiné à piloter un volet motorisé du site.

Les volets motorisés sont des dispositifs automatisés permettant l'ouverture et la fermeture des accès entre différentes zones. Leur contrôle est essentiel pour le déplacement du robot Spot, car sans l'ouverture de ces volets, le robot ne peut pas circuler d'une zone à une autre.

Les automates ont été ajoutés en complément des armoires existantes afin de permettre au système Spot de commander l'ouverture et la fermeture des portes. En effet, sans API (automate programmable industriel), il serait impossible d'exécuter ces actions à partir des requêtes envoyées par Spot.

Dans la zone encadrée en bleu, on peut observer l'armoire du volet, utilisée comme source d'alimentation électrique et comme point de raccordement des différents câbles. Quatre câbles sont tirés vers l'automate dans le cadre en bleu : deux sont connectés sur des contacts normalement ouverts, tandis que les deux autres sont raccordés aux entrées I1 et I2 afin de transmettre les informations provenant des capteurs. Enfin, deux câbles supplémentaires assurent la mise à la masse.

Figure 41 armoir d'un volet motorisé

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Les deux contacts normalement ouverts permettent de piloter l'ouverture et la fermeture des volets motorisés. Le fonctionnement repose sur une communication entre le robot Spot et le système automatisé. Spot envoie une requête sur le réseau afin de demander soit l'ouverture, soit la fermeture du volet.

À la réception de cette requête, l'un des contacts normalement ouverts est activé (fermeture du contact), ce qui déclenche l'action correspondante via l'automate, entraînant ainsi l'ouverture ou la fermeture du volet motorisé selon la commande émise par le robot. Les automates assurent donc le contrôle direct des volets.

Une fois l'action effectuée, le système renvoie l'état du volet (ouvert ou fermé) via le protocole MQTT (le MQTT est un système de messagerie où des appareils (comme Spot, des automates, des capteurs) envoient et reçoivent des informations via un réseau). Dès que le statut attendu est confirmé, Spot peut poursuivre son parcours en toute autonomie. Ces informations d'état sont accessibles au niveau de l'automate, via les entrées I1 et I2.

Par ailleurs, certains volets, dits « rapides », fonctionnent de manière autonome. Ils se ferment automatiquement après une temporisation d'environ 10 secondes et ne nécessitent donc pas d'intervention de Spot pour leur fermeture. Dans ces configurations spécifiques, un seul contact est câblé au lieu de deux, ce qui simplifie l'installation.

En l'absence de retour d'état dans un délai de 25 secondes, Spot considère que l'action n'a pas abouti. Dans ce cas, le robot interrompt la mission en cours (« skip ») et retourne automatiquement à sa station de charge.

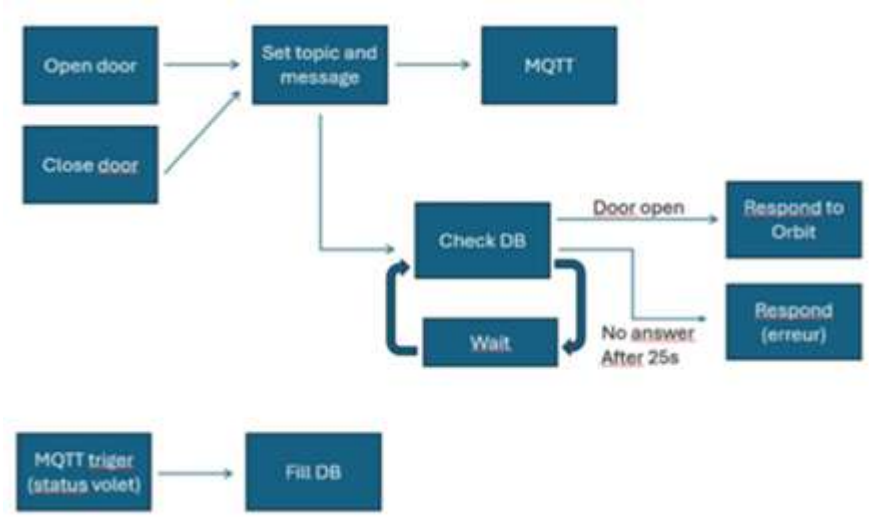


Figure 42 : réseau du N8N pour le robot

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4.1.4 Configuration des zones de fonctionnement

Les zones de fonctionnement, appelées *areas*, constituent un élément clé dans la gestion de la navigation du robot Spot. Une *area* correspond à une zone définie manuellement sur la carte, à laquelle est associé un comportement spécifique ou une action particulière. Cette approche permet d'enrichir la navigation autonome en intégrant des règles adaptées aux contraintes de l'environnement réel.

Il existe plusieurs types de zones pouvant être configurées dans l'outil Boston Dynamics Orbit. Cependant, dans le cadre de ce projet et en fonction des besoins de l'entreprise, seules trois catégories de zones ont été exploitées. Ces différentes *areas* sont visibles directement sur la carte utilisée pour la planification et le suivi des missions.

Parmi celles-ci, les zones d'escalier sont celles que j'ai le moins eu à configurer. En effet, ces zones étaient déjà préalablement définies par les équipes de Boston Dynamics. Elles constituent donc les seules *areas* que je n'ai pas eu à placer manuellement sur la carte.

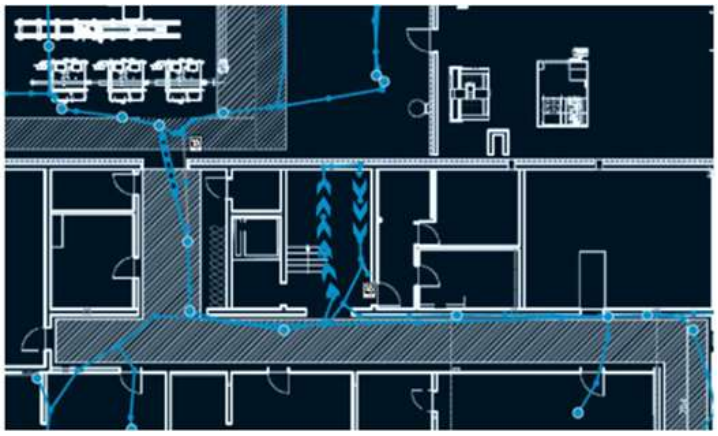


Figure 43 : zone éscalier

Ensuite, les zones que j'ai dû configurer le plus fréquemment sont celles dédiées à l'ouverture et à la fermeture des volets motorisés. C'est au sein de ces *areas* que le robot Spot envoie les requêtes nécessaires pour déclencher l'ouverture des volets.

Au total, huit zones de ce type ont été mises en place, correspondant aux huit volets motorisés présents sur le site. Contrairement à certaines autres zones, celles-ci n'étaient pas préconfigurées par Boston Dynamics. J'ai donc dû les créer et les intégrer moi-même sur la carte afin d'assurer le bon fonctionnement du système.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

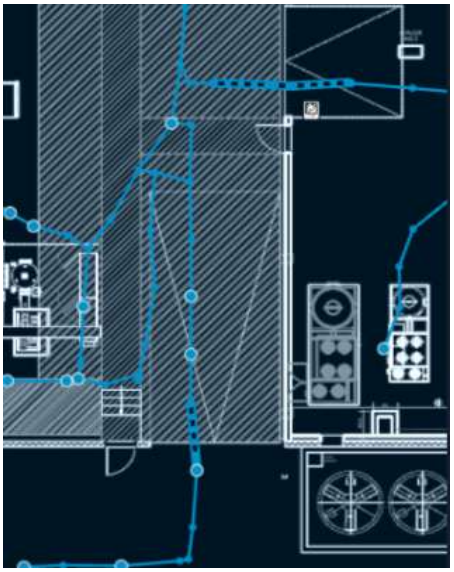


Figure 44 : zones volets motorisés

Enfin, les zones que j'ai dû assigner en plus grand nombre sont les zones de passage piéton. En effet, le robot Spot est amené à traverser plusieurs routes au sein de l'entreprise, ce qui nécessite la mise en place de nombreuses *areas* de ce type.

Lorsqu'il entre dans une zone de passage piéton, le robot adapte son comportement en vérifiant les deux côtés de la voie afin de s'assurer que les conditions de traversée sont sécurisées. Une fois cette vérification effectuée, il procède à la traversée tout en émettant un signal sonore, permettant d'indiquer sa présence et son intention aux éventuels usagers à proximité.

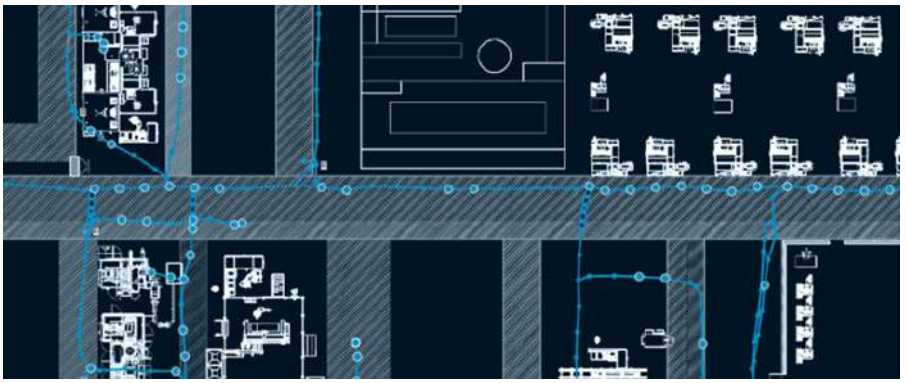


Figure 45 : zones passages piétons

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4.2 Configuration des missions de sûreté

Les missions de sûreté ont été plus complexes à configurer, car elles m'ont demandé davantage de temps pour être correctement comprises et paramétrées. Ce type de mission comporte en effet beaucoup plus de paramètres qu'une mission classique, comme une mission simple d'analyse de cellule.

Afin de mieux comprendre leur fonctionnement et de résoudre certains problèmes de configuration, j'ai échangé à plusieurs reprises avec les équipes de Boston Dynamics.

Au total, j'ai paramétré l'ensemble des missions de sûreté du projet. Concernant leur création, je n'ai cependant pas développé toutes les missions moi-même : j'en ai créé deux spécifiquement, à savoir la mission extérieure côté magasin ainsi que la mission destinée à la zone de production.

Pour la programmation des missions de sureté, en premier nous allons dans les missions and actions editor, ensuite nous cliquons sur une des missions de sureté pour obtenir la page de configurations sur le côté à droite,

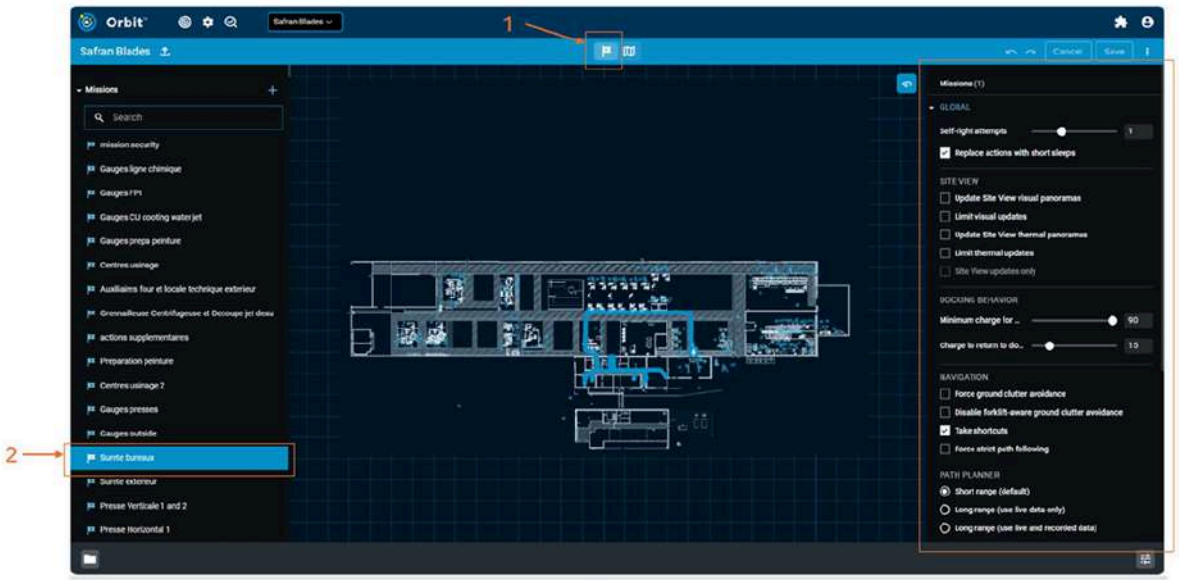
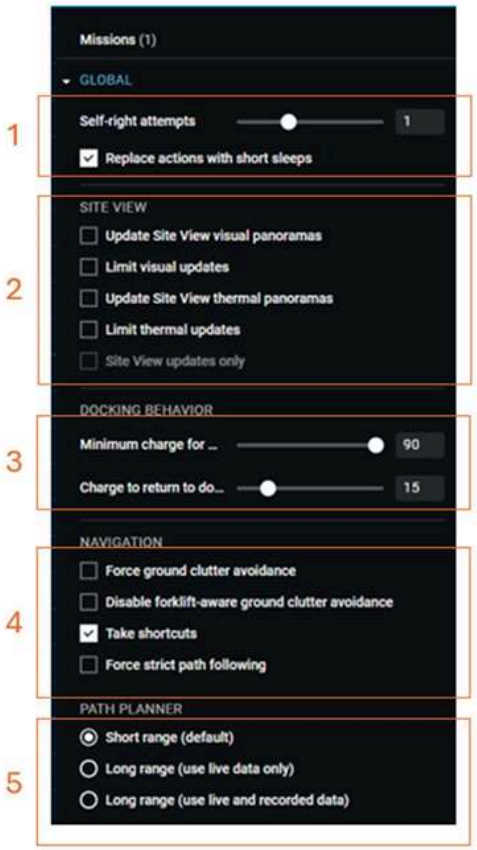


Figure 46 : mission de sureté

En premier lieu, nous avons le paramètre self right attempts, qui correspond au nombre de fois où le robot tente de se remettre debout ou de retrouver sa position normale après une chute ou une situation d'instabilité. Ensuite, l'option "Replace actions with short sleeps" permet de remplacer les actions réelles par de simples délais de quelques secondes. Cela donne l'impression que le robot effectue des analyses, alors qu'il s'agit uniquement de pauses simulées. Cette option est généralement désactivée par défaut et n'est utilisée que lors des phases de test.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Concernant le Site View, l'option "Update Site View" permet de faire évoluer la représentation 3D de l'usine au fur et à mesure des changements sur le site. Ainsi, si de nouvelles machines sont ajoutées, Spot en tient compte et met la carte à jour. L'option "Limit visual update" sert à contrôler la fréquence de rafraîchissement de l'affichage visuel du site. De son côté, "Update Site View thermal panoramas" permet de mettre à jour les panoramas thermiques du site, tandis que l'option associée permet d'en limiter la fréquence. Dans mon cas, ces fonctionnalités ne sont pas essentielles, car je n'utilise pas le robot pour reconstruire ou réactualiser régulièrement la modélisation de l'usine.



Ensuite, les paramètres liés à la batterie définissent un seuil minimal et un seuil de retour au dock. Ici, le seuil minimal est fixé à 90 %, et le robot retourne automatiquement à sa station de charge lorsqu'il atteint 15 %. Cette sécurité est importante, car l'exécution complète d'une mission en ligne droite consomme environ 12 % de batterie, ce qui a été pris en compte dans le paramétrage.

Enfin, la partie navigation comprend plusieurs options. L'option "Take shortcuts" permet au robot de prendre des chemins plus directs lorsqu'ils sont disponibles. L'option "Force ground clutter avoidance" force le robot à éviter les obstacles au sol, ce qui améliore la sécurité, notamment dans les missions officielles où elle est généralement activée. L'option "Disable forklift-aware ground clutter avoidance" désactive une logique sspécifique permettant au robot de prendre en compte les zones de circulation des chariots élévateurs. Enfin, "Force strict path following" impose au robot de suivre précisément le chemin planifié, sans déviation.

Le path planner est une configuration dans laquelle on distingue généralement deux niveaux de planification : le long range et le short range. Le long range correspond à la planification globale du trajet. Il définit le chemin général entre le point de départ et la destination en s'appuyant sur une carte de l'environnement. De son côté, le short range agit à une échelle locale. Il ajuste en temps réel les mouvements du robot pour éviter les obstacles proches et s'adapter aux imprévus. En résumé, le long range décide de la direction générale à

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués
écrite de Safran Blades

suivre, tandis que le short range gère la navigation immédiate et les corrections locales.

Dans le cadre de ce projet orienté vers une mission de sûreté, le choix du short range est particulièrement pertinent, car il permet une réaction rapide aux dangers ou obstacles imprévus, ce qui améliore la sécurité du robot et réduit les risques de collision dans un environnement potentiellement critique ou dynamique.

Ensuite, la configuration des moving objects permet au robot de gérer la présence d'obstacles dynamiques, tels que des personnes en déplacement ou des objets se trouvant sur sa trajectoire. Cette fonctionnalité améliore la capacité du robot Spot à évoluer de manière sécurisée dans un environnement non statique.

Concernant les human-robot interaction behaviors, cette option définit le comportement du robot lors de certaines interactions avec les utilisateurs. Par exemple, lors du undocking (c'est-à-dire lorsque le robot se détache de sa station de charge), Spot effectue un mouvement de levée des pattes, semblable à une courte chorégraphie, afin d'indiquer visuellement qu'il débute une mission. Cette animation permet d'informer les personnes présentes dans l'environnement qu'une opération est en cours, renforçant ainsi la transparence et la sécurité des interactions homme-robot.

Enfin, la section failure behaviors concerne la gestion des erreurs lors des analyses. J'ai configuré un prompt timeout de 1 minute, durée que je considère relativement longue, mais qui m'a été demandée par mes responsables afin de garantir la complétude des traitements. Durant ce laps de temps, le robot effectue son analyse. Si aucune réponse ou validation n'est obtenue après une minute, le processus est automatiquement interrompu.

Je n'ai pas activé l'option retry count, qui permettrait de relancer automatiquement une deuxième tentative en cas d'échec. À la place, j'ai défini un comportement par défaut (default behaviors) indiquant que si l'analyse n'aboutit pas dans le délai imparti, le robot peut passer à l'analyse suivante.

Enfin, dans le cadre de la configuration d'une mission de sûreté, nous abordons les paramètres liés aux mission interrupts. Pour cette partie plus complexe, l'appui de Boston Dynamics a été nécessaire afin d'obtenir un paramétrage optimal.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Ces réglages constituent un élément central du dispositif de sûreté : ils permettent notamment la détection de personnes ainsi que le déclenchement automatique d'une alerte dès qu'une présence est identifiée

4.3 Élaboration d'un planning journalier des missions Spot

Pour l'élaboration du planning sur 24 heures, il est nécessaire de prendre en compte l'autonomie de Spot, d'environ 1h20 (de 100 % à 15 % de batterie). À partir de ce seuil, le robot retourne automatiquement à sa station de recharge afin d'éviter toute interruption de mission liée à une batterie insuffisante lors du retour.

Le temps de recharge est globalement équivalent au temps d'utilisation, ce qui implique qu'environ la moitié du temps de fonctionnement est consacrée à la recharge.

La durée de chaque mission a donc été définie en tenant compte de ces contraintes, en veillant à équilibrer le temps d'exécution et le temps de recharge nécessaire au bon déroulement du cycle opérationnel.

	00h00		12h30	CU2
Horaire Spot	00h30	sureté exterieur four	13h00	
	01h00		13h30	
	01h30	sureté bureaux	14h00	FPI exterieur
	02h00		14h30	
	02h30	sureté production	15h00	cooting et profilage
	03h00	sureté production	15h30	cooting et profilage
	03h30		16h00	
	04h00	sureté exterieur magasin	16h30	
	04h30		17h00	WJ - grenailleuse - centrifugeuse
	05h00	sureté exterieur four	17h30	WJ - grenailleuse - centrifugeuse
	05h30		18h00	
	06h00		18h30	
	06h30	four et polissage	19h00	ligne chimique
	07h00	four et polissage	19h30	ligne chimique
	07h30		20h00	
	08h00	Z1000 - laveur d'air	20h30	
	08h30	Z1000 - lavur d'air	21h00	
	09h00		21h30	
	09h30		22h00	
	10h00	CU1	22h30	
	10h30	CU1	23h00	
	11h00		23h30	sureté exterieur magasin
	11h30			
	12h00	CU2		

Mission à faire :	durée de la mission
presse V	1h05
presse H	00h40
four et polissage	1h00
cooting et profilage	1h00
WJ - grenailleuse - centrifugeuse	0h50
ligne chimique - laveur d'air - Z1000	1h30
CU 1	1h10
CU 2	1h00
FPI exterieur	0h30
FPI interieur	1h
sureté exterieur magasin	0h30
sureté exterieur four	0h30
sureté bureaux	0h30
sureté production	1h
mission aérotherme	Lundi
mission busbars	Mardi
mission alimentation pneumatique	Mercredi
mission sécurité 1	jeudi
mission sécurité 2	vendredi
	Missions à faire tous les jours
	Missions à faire tous les soirs
	Missions à faire de manière hebdomadaire

Figure 50 : élaboration d'un planning pour le robot

Ensuite, cet horaire a été intégré dans Orbit, dans les paramètres de planification des missions de Spot.

Une charge minimale de sécurité a également été définie pour le lancement des missions. Ainsi, si Spot dépasse la durée prévue d'une mission, il est automatiquement contraint de retourner en charge jusqu'à atteindre 95 % de batterie avant de pouvoir démarrer la mission suivante.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 51 : élaboration du planning dans Orbit

4.4 Présentations des analyses

Spot permet de réaliser différents types d'analyses, notamment des analyses thermiques, acoustiques, de détection d'intrusion nocturne, ainsi que des analyses AIVI basées sur l'intelligence artificielle.

4.4.1 Création des analyses

La création des analyses a constitué une partie importante du projet, car de nombreux composants devaient être intégrés et surveillés par Spot. Cet aspect est particulièrement important dans le contexte de l'évolution de l'entreprise vers l'industrie 4.0, où les installations sont en constante évolution. Étant donné que l'entreprise est encore récente et continue d'intégrer de nouvelles machines, de nombreux équipements devaient être ajoutés aux analyses réalisées par Spot.

Au total, en prenant en compte l'ensemble des missions, j'ai ajouté environ 400 nouvelles analyses. Avant mon arrivée, le système comptait approximativement 300 analyses ; à la fin de mon stage, plus de 700 analyses étaient intégrées et prises en charge par Spot. Certaines analyses ont été créées directement depuis l'ordinateur, tandis que d'autres ont été configurées à l'aide de la tablette de contrôle.

Parmi les équipements ajoutés durant mon stage, plusieurs machines CNC ont été intégrées. Celles-ci comprennent différents composants tels que des pompes, des systèmes pneumatiques, des appareils pneumatiques, des manomètres ainsi que des cartouches de graisse. Une machine Z1000 (un centre de débitage et d'usinage multifonctionne) a également été ajoutée au cours du stage. Cette installation comporte notamment des moteurs, des manomètres, des réservoirs de graisse, des systèmes pneumatiques ainsi que de nouveaux extincteurs destinés à la sécurité.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Pour chaque nouvelle installation, j'ai appliqué une méthode de travail identique. Lorsqu'une nouvelle cellule n'était pas encore analysée par Spot, je commençais par comprendre son utilité ainsi que le fonctionnement global de l'installation. Ensuite, j'amenais Spot sur place à l'aide de la tablette afin d'identifier les éléments importants à surveiller. Tous les composants critiques tels que les moteurs, les manomètres, les systèmes pneumatiques ou encore les réservoirs de graisse étaient alors intégrés aux analyses. Après cette étape, je vérifiais que chaque élément avait bien été pris en compte et j'analysais la machine plus en détail afin de déterminer si d'autres composants nécessitaient également une surveillance.

Au total, cette démarche a été appliquée sur neuf installations différentes, comprenant plusieurs CNC, une Z1000 ainsi que d'autres systèmes industriels.

On peut voir ci-dessous une photo d'une nouvelle CNC placée et voici le repérage des points faibles et ensuite utiliser Spot pour les analyser

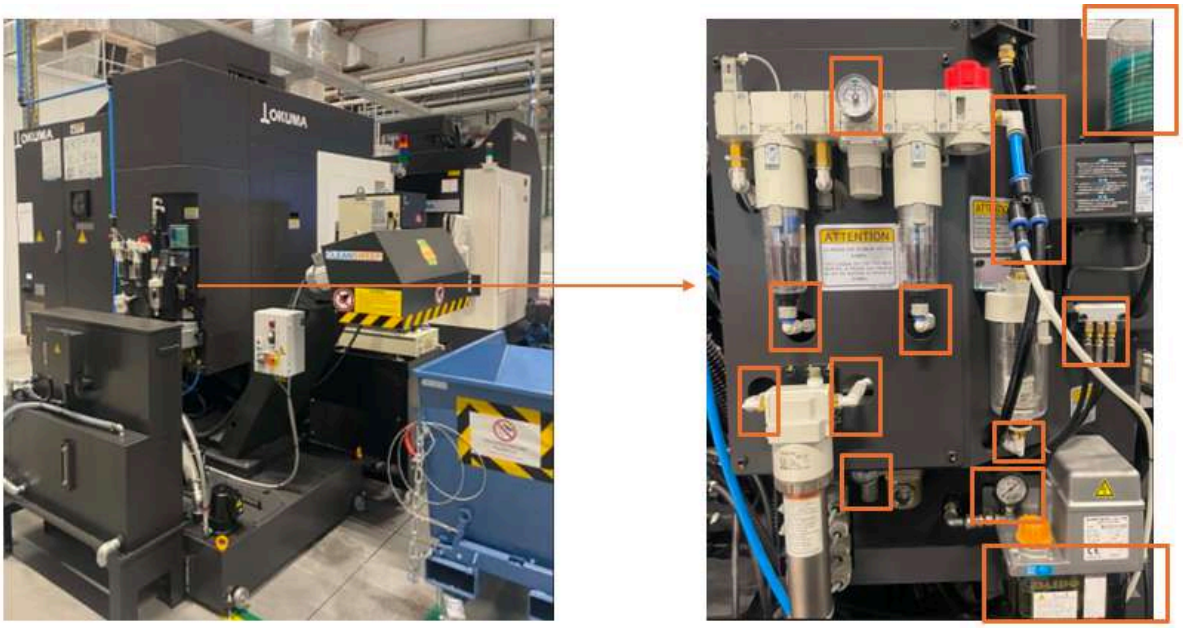


Figure 52 : repérage des points faibles

Sur les photos ci-dessous nous voyons une autre nouvelle installation ainsi qu'un nouvel extincteur que j'ai enregistré dans la foulée.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

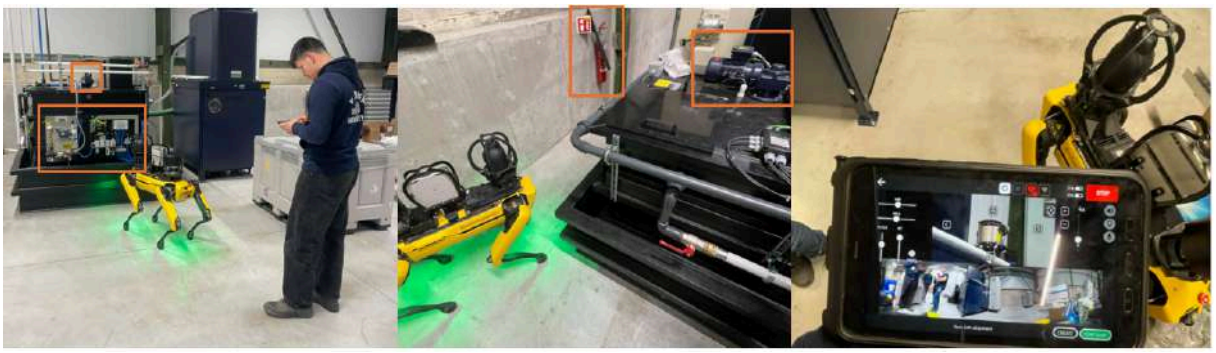


Figure 53 : création d'analyses sur la Z1000

Malgré ces avancées, certaines difficultés persistent, notamment concernant l'analyse de composants placés en hauteur, comme certains moteurs, qui restent difficiles d'accès pour Spot. Nous pouvons voir ci-dessous que dans la photo de gauche, l'installation est trop proche du mur qui fait que le robot n'arrive pas à analyser le manomètre et le réservoir de graisse il faut dans ce cas trouver un autre emplacement pour que Spot puisse être capable d'analyser ce réservoir sans avoir de souci dans le futur, et j'ai incliné le manomètre pour que Spot, sans être en hauteur, puisse bien l'examiner.

Figure 54 : problèmes sur la Z1000

Je me suis également déplacé régulièrement dans l'entreprise afin d'identifier les équipements déjà analysés et ceux qui ne l'étaient pas encore. Lorsqu'un composant n'était pas pris en charge, je me renseignais sur son utilité et son importance afin de déterminer s'il était pertinent de l'intégrer aux analyses de Spot. Cette démarche m'a notamment conduit à ajouter différents équipements présents dans plusieurs zones de l'entreprise, tels que des aérothermes, des moteurs ou encore des manomètres qui n'étaient jusqu'alors pas intégrés aux analyses de Spot.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 55 : repérage des analyses utiles hors des cellules

Il est en effet possible de créer des actions soit via la tablette fournie par Boston Dynamics, soit via l'ordinateur à l'aide de la plateforme Orbit.

Dans mon cas, j'ai utilisé ces deux outils de manière complémentaire. L'ordinateur permet de créer des analyses sur les parcours déjà enregistrés de Spot. En revanche, il est plus limité, puisqu'il ne propose que trois types d'analyses. À l'inverse, la tablette offre davantage de possibilités, avec plus de sept types d'analyses différents. Elle est notamment indispensable pour réaliser certaines analyses spécifiques, comme les analyses acoustiques.

La tablette est également utilisée pour intervenir dans des zones situées en dehors des parcours préprogrammés, par exemple pour des équipements excentrés tels que certains extincteurs ou des portes de secours. Dans ces cas, il est nécessaire de créer un nouveau parcours directement via la tablette, puis d'y associer les analyses.

Enfin, lorsque les analyses concernent des zones déjà couvertes par les trajets de Spot, leur création depuis l'ordinateur s'effectue via l'option « Open Site View », accessible dans la section *Missions and Actions Editor*.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

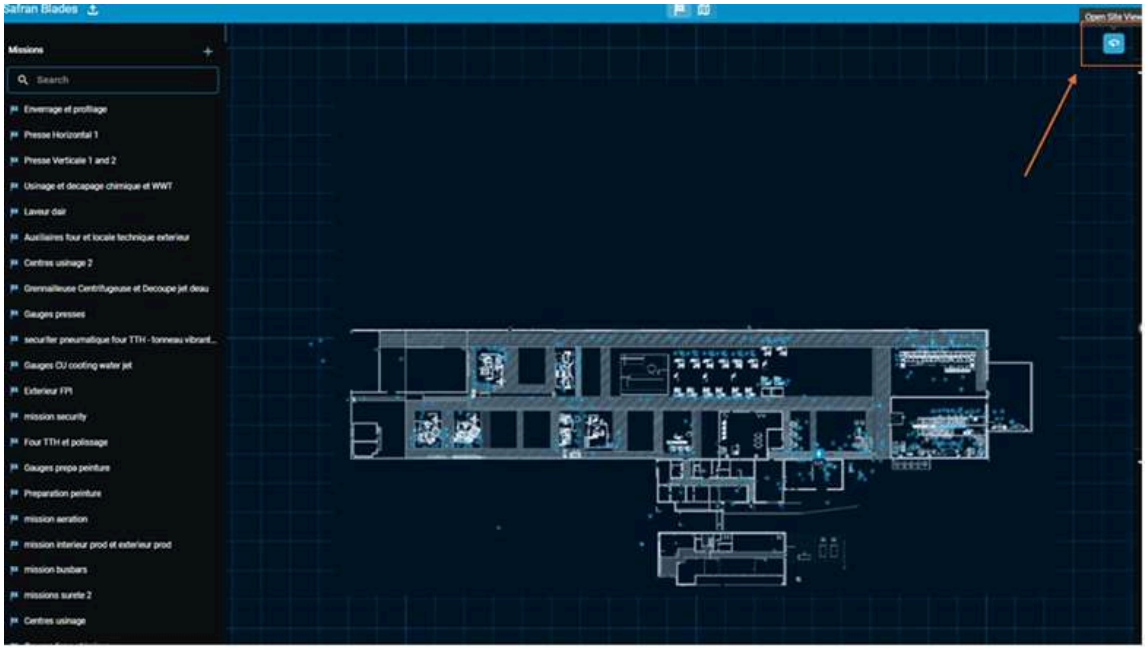


Figure 56 : site view

Ensuite, nous arrivons sur cette page où s'affichent, en bas, tous les points des trajets que nous avons enregistrés pour le robot. Nous pouvons nous positionner sur chacun de ces points et les visualiser en 3D.

Dans mon exemple, si nous souhaitons réaliser une analyse thermique de ce moteur au water jet, il suffit de cliquer sur le bouton rouge « + ». Trois types d'analyses informatiques sont alors proposés ; dans notre cas, nous choisissons « thermal inspection ».

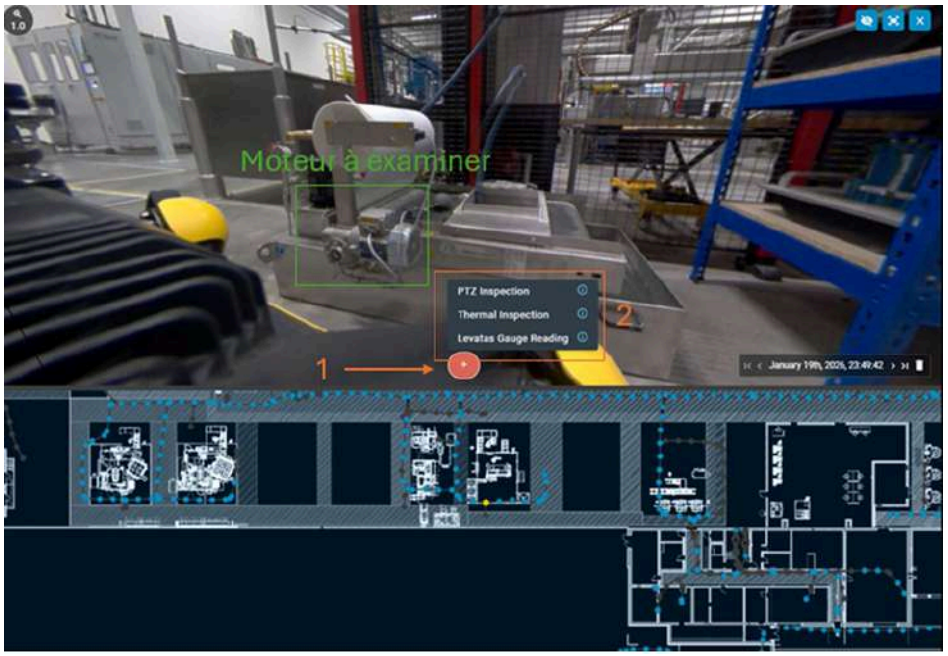


Figure 57 : création d'une action sur Orbit

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Nous ajustons désormais le cadrage du moteur afin qu'il soit parfaitement visible, puis nous pouvons configurer les paramètres de l'analyse.

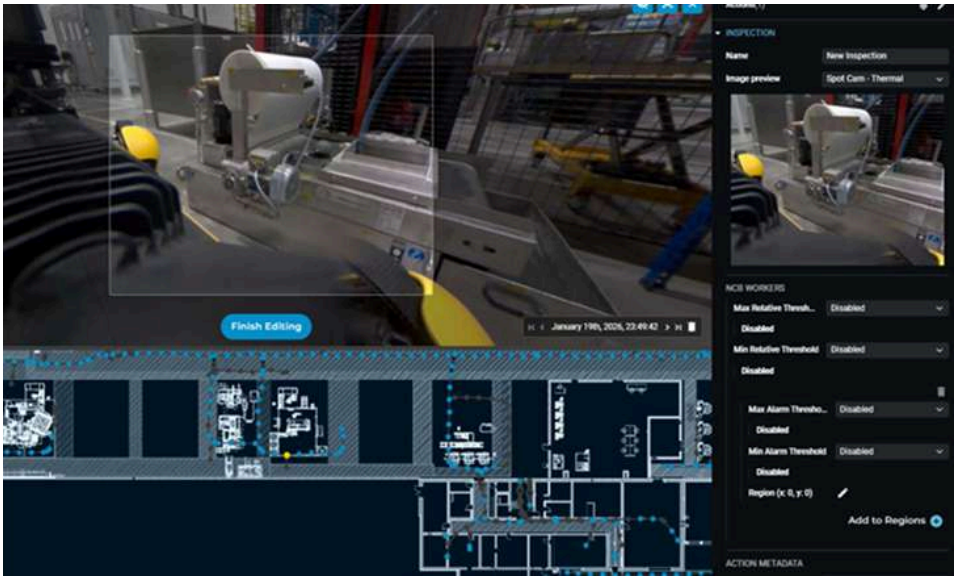


Figure 58 : confirmation de la création d'une analyse sur Orbit

Une fois terminé, nous enregistrons. Un symbole blanc représentant une loupe avec l'icône d'analyse apparaît alors : cela signifie que tout est correctement configuré.

Pour la création d'actions sur la tablette du robot Spot de Boston Dynamics, il est nécessaire d'accéder au mode Autowalk. Pour cela, il faut d'abord cliquer sur l'option Drive, puis sélectionner le mode Autowalk. Une fois dans ce mode, plusieurs missions existantes sont proposées. Dans le cadre de ce travail, il n'est pas nécessaire de créer une nouvelle mission ; il suffit de sélectionner l'option Continue Recording, qui permet de reprendre la dernière version de la carte précédemment enregistrée sur Orbit.

Ensuite, une étape essentielle consiste à positionner le robot à proximité d'un fiducial (marqueur visuel). Cette étape est indispensable, car elle permet au robot de s'initialiser et de se géolocaliser correctement dans son environnement. Sans cette initialisation, Spot ne peut pas se repérer ni exécuter correctement la mission. Il faut alors cliquer sur Initialize pour valider cette étape.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Une fois l'initialisation effectuée, l'interface principale de configuration apparaît. À partir de cet écran, il est possible d'ajouter des actions en cliquant sur l'icône « + » (Add Action). Ces actions sont ensuite associées à des positions spécifiques sur la carte, ce qui permet de définir précisément les tâches que le robot devra effectuer au cours de sa mission.

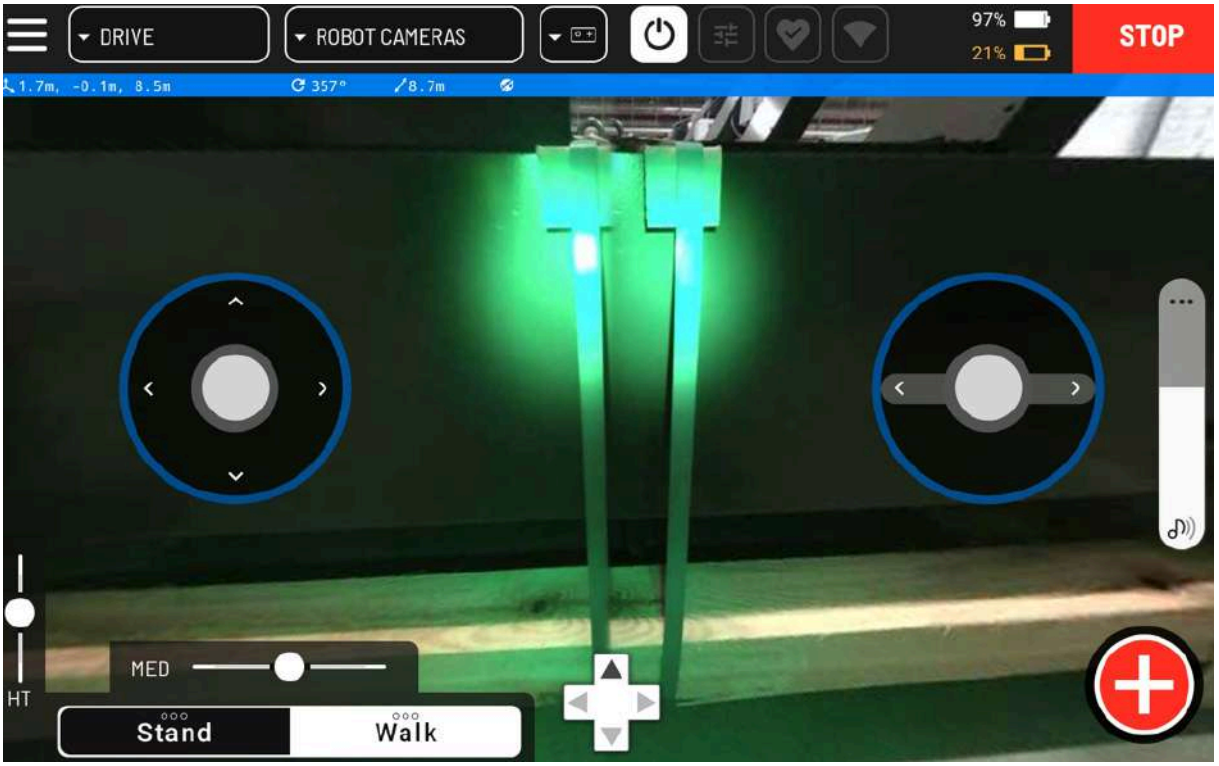


Figure 60 : view de la tablette

Une fois l'option Add Action sélectionnée, une interface s'affiche présentant l'ensemble des actions disponibles pour le robot Spot. Cette interface, accessible via la tablette, offre un éventail de fonctionnalités plus étendu que celui disponible sur ordinateur.

Parmi ces actions, on retrouve notamment des fonctionnalités avancées issues de la solution Levatas, telles que le Gauge Reading, qui permet de lire automatiquement la valeur des jauges, l'Acoustic Leak Inspection, utilisé pour détecter d'éventuelles fuites d'air à partir de signaux acoustiques, ainsi que l'Acoustic Mechanical Inspection, qui permet d'analyser le fonctionnement d'équipements tels que les moteurs ou les pompes en se basant sur leur signature sonore.

Ces différentes actions permettent d'enrichir les capacités d'inspection du robot en combinant analyse visuelle et acoustique.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

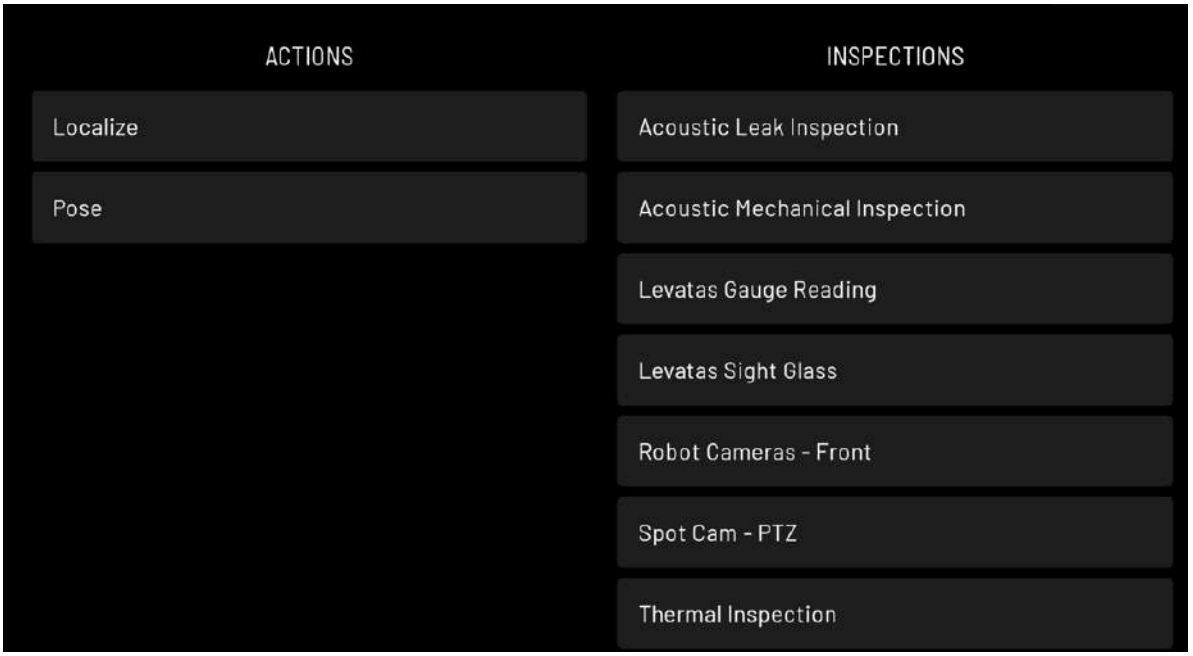


Figure 61 : les différentes analyses possibles sur la tablette

J'ai réalisé près d'une centaine d'actions via la tablette, ce qui souligne l'importance de cet outil dans mon travail. L'utilisation de la tablette s'est révélée essentielle en complément de l'ordinateur, notamment en raison de son accessibilité et des fonctionnalités supplémentaires qu'elle offre lors de la configuration des missions.

4.4.2 Transfert des analyses tablette vers PC

Dans le cadre de ce stage, de nombreuses analyses ont été réalisées sur différents équipements industriels tels que des manomètres, des systèmes pneumatiques, de nouvelles machines ainsi que divers moteurs. L'ensemble de ces analyses a été enregistré et créé directement via la tablette utilisée avec le robot Spot de Boston Dynamics.

Au total, près d'une centaine d'analyses ont été effectuées à l'aide de la tablette. Cela concernait notamment toutes les analyses acoustiques, mais également certains petits composants pour lesquels la création et le paramétrage des analyses étaient plus précis et plus pratiques sur tablette que sur ordinateur.

Dans le cadre du projet, il a ensuite été nécessaire de transférer l'ensemble de ces analyses vers un ordinateur afin de permettre leur exploitation sur Orbit. Pour ce faire, la tablette a été connectée à l'ordinateur à l'aide d'un câble USB-C. Une fois la connexion établie, l'accès au stockage interne de la tablette s'effectuait via l'explorateur de fichiers Windows, en sélectionnant « Ce PC », puis le périphérique correspondant à la tablette, identifié sous le nom « Galaxy Tab Active3 ».

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

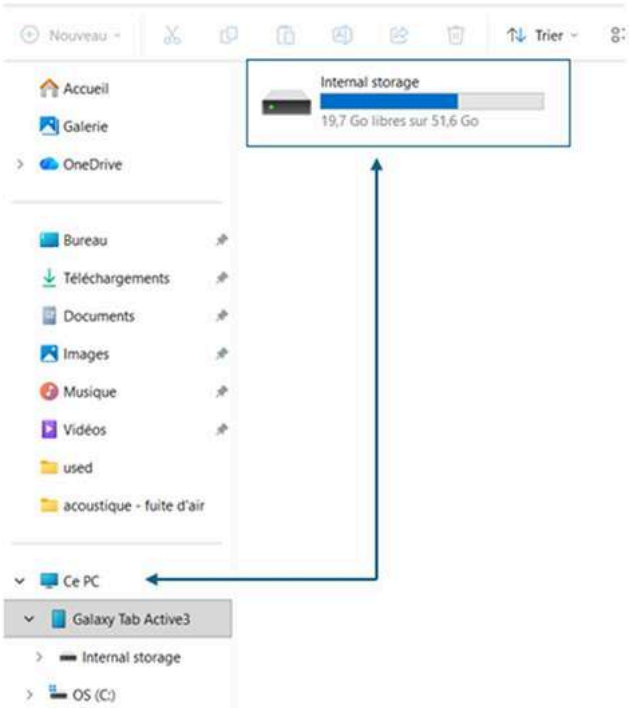


Figure 62 : internal storage

Une fois dans le stockage interne de la tablette, il suffit d'accéder au dossier « Documents », puis d'ouvrir le répertoire « bosdyn ».

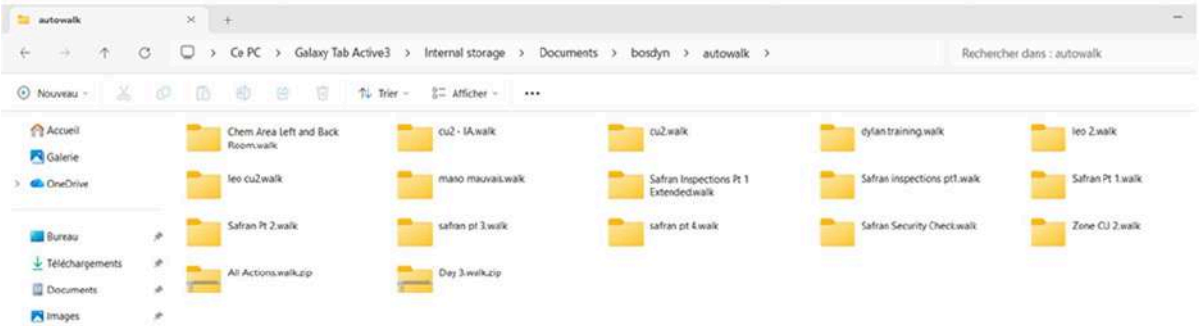


Figure 63 : document de la tablette

À ce niveau, il est possible d'accéder au dossier « autowalk », dans lequel sont regroupées l'ensemble des missions. Ce répertoire contient toutes les analyses

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

enregistrées par la tablette lors des différentes inspections.

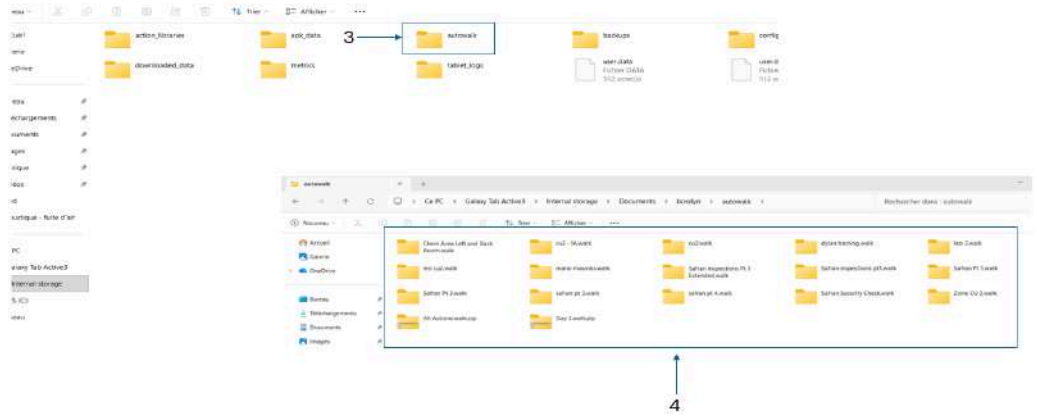


Figure 64 : autowalks

Il est ensuite possible de copier une mission contenant les analyses créées, puis de la coller dans l'espace de stockage de l'ordinateur. Cette étape permet de conserver une copie de sauvegarde en cas de perte des données initiales. Le dossier est ensuite compressé au format .ZIP afin de pouvoir être importé dans l'interface « Mission and Actions » des paramètres du logiciel Orbit.

Une fois dans cette interface, il suffit de cliquer sur l'icône « + » située en haut à droite pour importer le dossier compressé. Ce dossier contient l'ensemble des éléments nécessaires, notamment la cartographie (map) ainsi que les différentes analyses réalisées par Spot. Après importation, les analyses sont automatiquement ajoutées à la carte. Il est alors possible de les réorganiser dans les missions correspondantes et d'affiner leur paramétrage afin de garantir leur bon fonctionnement et leur pertinence.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

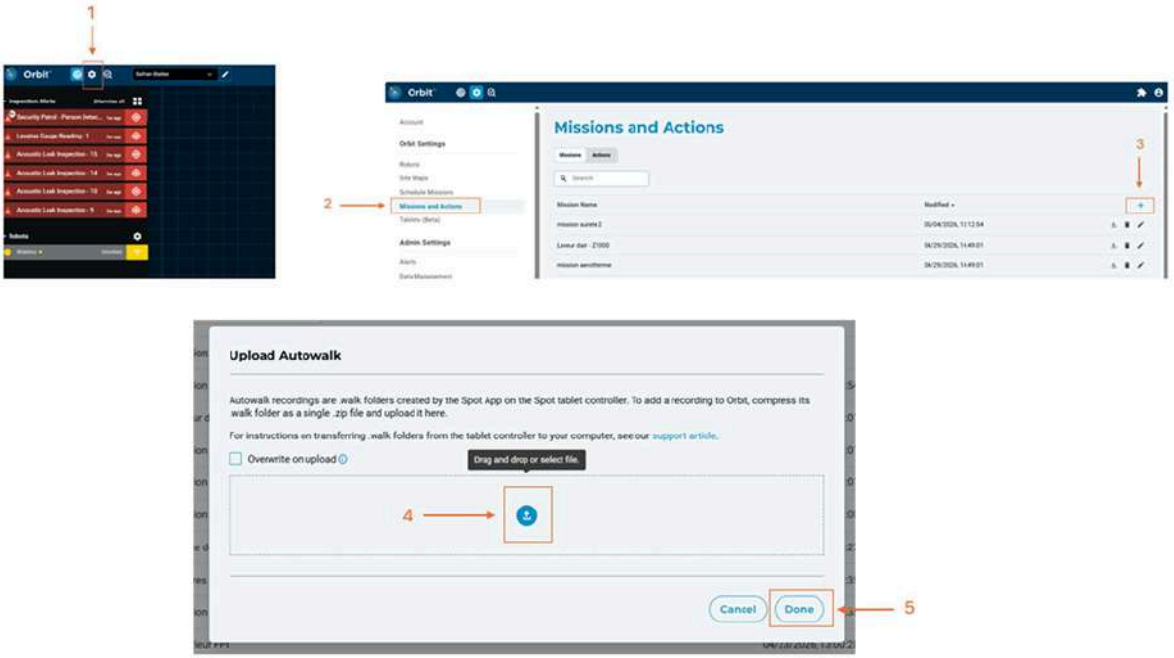


Figure 65 : upload mission de la tablette vers Orbit

4.4.3 Paramétrages des analyses

La configuration des analyses **thermiques** a constitué l'un de mes premiers travaux les plus importants. En effet, certaines analyses initialement créées par les équipes de Boston Dynamics n'avaient pas été correctement configurées. J'ai donc dû reprendre et paramétrer ces analyses, tout en configurant également celles que j'ai moi-même ajoutées.

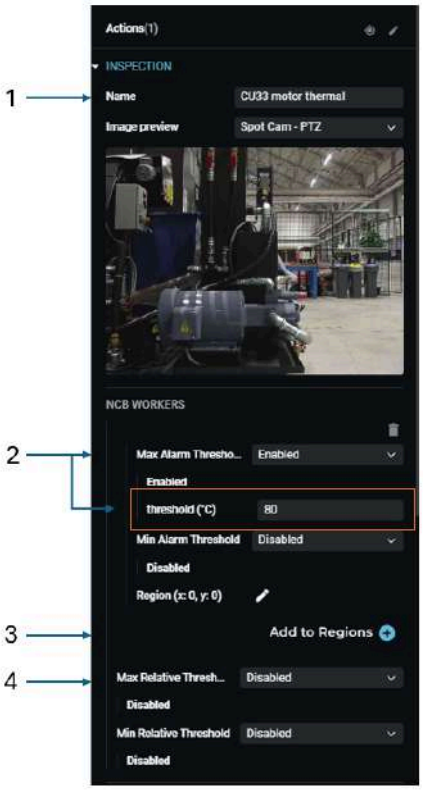
Définir correctement les seuils dès le départ m'a ainsi été confié comme tâche à réaliser sur le logiciel Obit. Cette étape est essentielle, car j'analyse différents types d'équipements tels que des moteurs, des armoires électriques et des transformateurs. Chaque appareil ayant ses propres caractéristiques, les températures varient, ce qui nécessite de bien identifier le type d'équipement analysé.

Dans une analyse thermique, la configuration se présente de la manière suivante :

1 : Le nom de l'analyse

2 : La plage de température maximale, également appelée seuil (threshold), exprimée en degrés

3 : Les ROIS (régions d'intérêt)



Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

4 : La possibilité de définir une plage de température spécifique pour ce second ROI

La mise en place des analyses **acoustiques** a également représenté une part importante de mon travail dès le début. Certaines analyses, initialement créées par les équipes de Boston Dynamics, n'étaient pas correctement paramétrées. J'ai donc dû les reprendre afin d'ajuster les configurations, tout en développant et configurant mes propres analyses.

La définition des seuils acoustiques s'est révélée être une étape essentielle dans le cadre de mon travail sur le logiciel Obit. Contrairement aux analyses thermiques, il ne s'agit plus de températures, mais de niveaux sonores et de fréquences. J'analyse différents types d'équipements, tels que des moteurs, des armoires électriques et des transformateurs, chacun produisant des signatures acoustiques spécifiques. Il est donc indispensable de bien identifier le type d'équipement afin d'interpréter correctement les variations sonores et de définir des seuils adaptés.

Dans une analyse acoustique, la configuration se présente de la manière suivante :

Tout d'abord, nous retrouvons le code de l'équipement. Ensuite, le second paramètre correspond à la fréquence de départ de l'analyse du bruit, fixée ici à 37 000 Hz. À

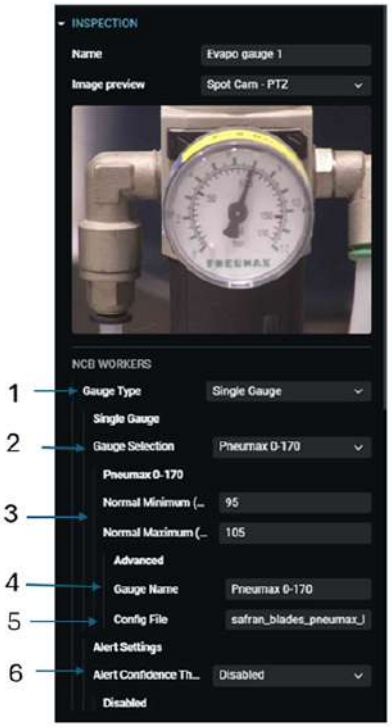
Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

cela s'ajoute la bande passante analysée, qui est dans ce cas de 4 000 Hz. L'analyse s'effectue donc sur une plage allant de 37 000 Hz à environ 41 000 Hz.

En troisième, on retrouve l'« opacity », qui correspond au niveau de confiance de Spot dans son analyse. Ici, un seuil de 70 % est requis : en dessous de cette valeur, l'analyse n'est pas prise en compte.

Enfin, le dernier paramètre est le seuil SNR (Signal-to-Noise Ratio), qui représente la valeur maximale à ne pas dépasser. Dans cet exemple, si la valeur dépasse 200 sur la bande passante définie (entre 37 000 Hz et environ 41 000 Hz), alors une anomalie est détectée.

Pour le paramétrage **des jauges**



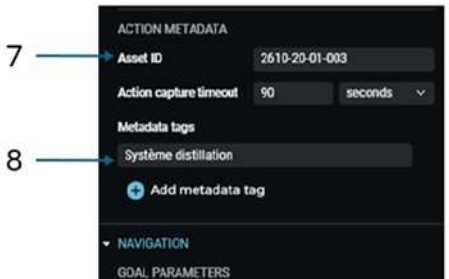
1 : Le choix entre single gauge et multi gauge dépend du nombre de jauges présentes dans le champ d'analyse. Dans notre cas, une seule jauge est visible, le mode single gauge est donc sélectionné.

2 : La gauge selection correspond aux différents modèles de jauges disponibles. Chaque modèle est défini selon une plage spécifique (par exemple 0 à 170 PSI, 0 à 150 PSI ou encore -20 à 60). Dans cet exemple, le modèle 0 à 170 PSI est utilisé.

3 : Cette partie définit la plage d'utilisation de la jauge, c'est-à-dire les valeurs minimale et maximale entre lesquelles l'indicateur doit être interprété.

4 : Le nom de la jauge peut être renseigné ici. Dans ce cas, le nom du modèle est conservé, étant donné qu'un nom plus global est déjà défini dans le champ Name situé en haut de la configuration.5 : Le config file correspond au nom du fichier de configuration enregistré sur la plateforme Levatas. Ce fichier contient les paramètres ainsi que les repères visuels nécessaires à l'analyse de la jauge.6 : L'alerte confidence threshold défini dans Orbit, correspond au niveau minimal de fiabilité requis pour valider une

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiq
écrite de Safran Blades



lecture effectuée par Spot. Par exemple, un seuil de 53 % signifie que la lecture ne sera acceptée que si le système estime être fiable à au moins 53 %.

7 : L'Asset ID, tel qu'il est défini dans Coswin, permet d'identifier de manière unique et numérique le composant que Spot est en train d'analyser.

8 : Espace commentaire

9 : Le goal distance, défini dans Orbit, correspond à la distance à laquelle le robot Spot doit se positionner par rapport à la jauge afin de réaliser une analyse

10 : Le prompt timeout, dans Orbit, correspond au délai entre deux analyses d'un même composant lorsque la première lecture est incorrecte. Si ce délai est dépassé, la tâche est interrompue ou considérée comme échouée. Ce paramètre permet d'éviter que le robot reste bloqué indéfiniment. Dans notre configuration, Spot est programmé pour répéter jusqu'à trois fois l'analyse avant de passer au composant suivant.

11 : Le navigation failure behavior définit le comportement de Spot lorsqu'un obstacle bloque sa trajectoire. Dans notre configuration, le robot tente de contourner l'obstacle jusqu'à trois fois, en attendant un délai de 10 secondes entre chaque essai. Le nombre de tentatives ainsi que le temps d'attente sont entièrement configurables.

4.4.4 Configuration des seuils et plages

L'ajustement des seuils (thresholds), c'est-à-dire des valeurs de température maximale pour les analyses thermiques, m'a demandé un certain temps. En effet, cela a nécessité de nombreux échanges avec le personnel, notamment avec des techniciens, afin de mieux comprendre les équipements et leurs composants, sans me limiter uniquement aux informations trouvées sur internet.

De plus, l'entreprise étant encore récente et les installations également, les moteurs ne sont pas encore fortement usés. Ainsi, même si certains peuvent présenter de légères différences, comme un bruit légèrement plus élevé, ils conservent généralement des plages de température similaires.

Pour définir un seuil pertinent, j'ai d'abord analysé l'historique de chaque moteur, accessible via les inspections. Pour accéder à ces inspections dans le logiciel Obit, il suffit de cliquer sur l'icône en forme de loupe depuis le menu principal.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

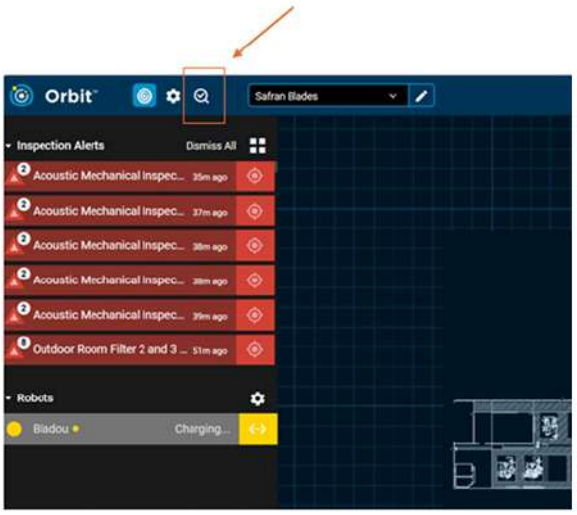


Figure 70 : view inspection

Ensuite, nous arrivons sur une page qui regroupe l'ensemble des inspections liées aux analyses.

- Dans la zone en bleu, il est possible d'appliquer des filtres, par exemple pour afficher uniquement les analyses d'une mission spécifique.
- Dans la zone en vert, on peut filtrer les résultats selon leur statut : uniquement les analyses ayant révélé une anomalie, celles conformes, ou encore afficher l'ensemble des analyses.
- Dans la zone en orange, il est possible d'effectuer une recherche afin de retrouver une analyse précise.

Une fois l'analyse recherchée trouvée, il suffit de cliquer dessus pour consulter son historique.

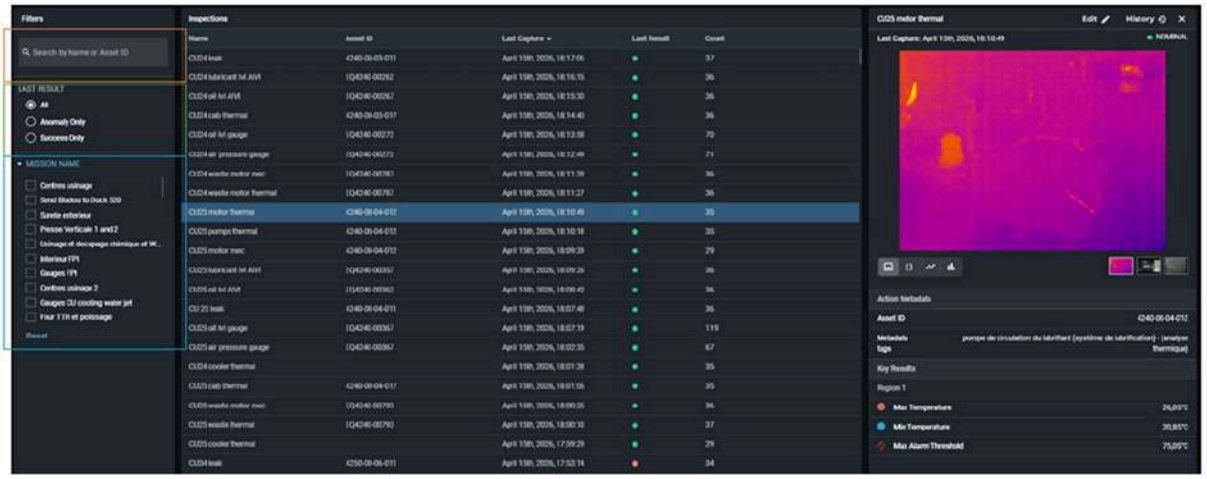


Figure 71 : liste des inspections

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Une fois l'analyse sélectionnée, il est possible de consulter l'ensemble des relevés effectués sur le composant concerné.

Dans cet exemple, il s'agit de la pompe « CU25 » . Il est important de préciser que chaque moteur, pompe,… est différent : ici, nous avons une pompe à lubrifiant qui ne fonctionne pas en continu, ce qui doit être pris en compte lors de l'analyse.

On observe que les températures relevées lors du fonctionnement sont d'environ 50,45 °C, 48,45 °C et 50,85 °C. Ces valeurs montrent que la pompe fonctionne de manière stable, avec une température relativement constante.

Afin de confirmer que ce comportement est normal, j'ai échangé avec les techniciens, qui m'ont confirmé que ces valeurs sont tout à fait correctes et que la pompe ne présente aucune anomalie. On peut donc conclure que la pompe fonctionne dans une plage de température normale.

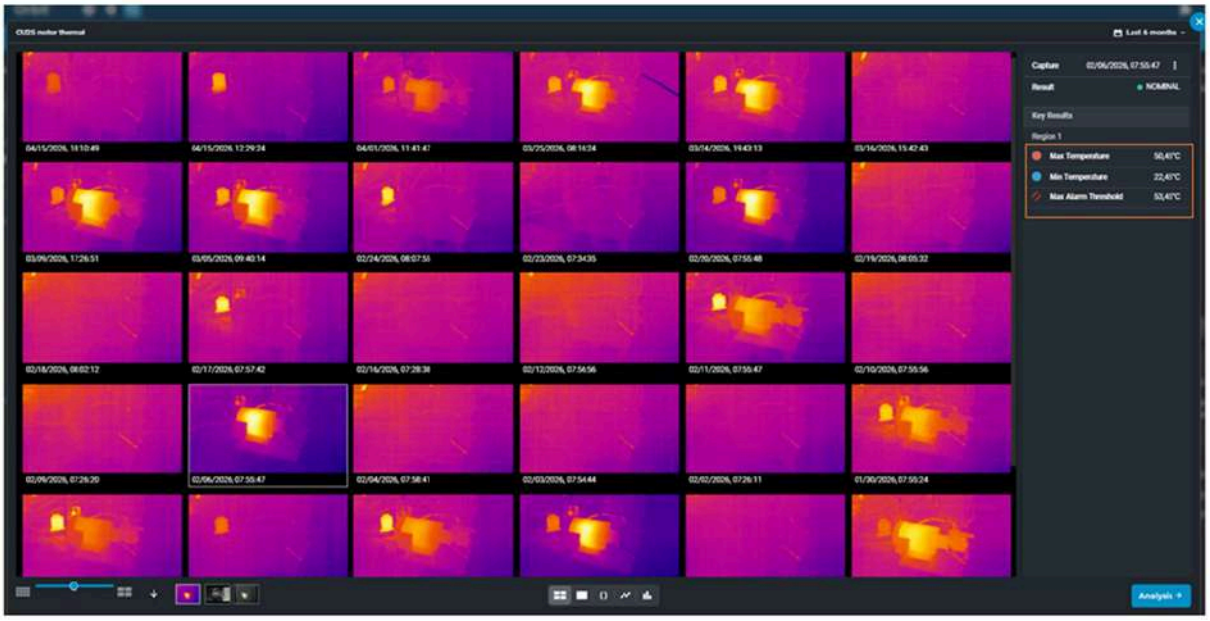


Figure 72 : historique d'une inspection

Pour définir une valeur maximale (threshold), j'ai d'abord consulté les techniciens de chez Safran Blades afin de connaître la température maximale que pouvait atteindre la pompe. Ils m'ont indiqué une plage comprise entre 80 et 90 °C.

Par la suite, j'ai également eu l'opportunité d'échanger avec des techniciens de chez Okuma, spécialisés dans l'installation de ces pompes sur des machines CNC. Je leur ai donc posé la même question. Ils m'ont précisé qu'il fallait tenir compte du fait que la pompe ne fonctionne pas en continu et qu'elle est utilisée pour le lubrifiant d'une CNC. Selon eux, la température maximale recommandée se situe plutôt entre 70 et 75 °C, soit légèrement inférieure à celle indiquée par Safran.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Au vu de ces informations, j'ai choisi de définir un seuil maximal de 75 °C. Ainsi, si le moteur dépasse cette température, il sera considéré en défaut.

Pour les autres moteurs, pompes et équipements, j'ai appliqué la même méthodologie afin de déterminer les seuils de température. Étant donné que nous évoluons dans un environnement orienté industrie 4.0, avec la présence de différents intervenants issus de plusieurs entreprises, J'ai régulièrement pu échanger avec des techniciens sur place. Lorsque cela n'était pas possible, je contactais directement l'entreprise concernée par e-mail.

Pour l'ajustement des paramètres par rapport aux valeurs de la plage et de l'étendue de fréquences les valeurs m'ont été fournies par Boston Dynamics. Elles sont donc imposées et ne doivent pas être modifiées. En revanche, le paramètre du *threshold* doit être ajusté.

Le threshold correspond au seuil de détection utilisé lors d'une analyse acoustique. Concrètement, le robot Spot enregistre le bruit ambiant d'une installation, puis compare chaque élément analysé à cette référence. Le *threshold* représente alors le niveau maximal, en décibels, autorisé au-dessus du bruit ambiant avant de considérer qu'il s'agit d'une anomalie.

Ce paramètre doit être adapté, car chaque type d'équipement (moteurs, pompes, etc.) possède une signature sonore différente. De plus, certains composants spécifiques, comme les pressostats de sécurité présents sur les pompes de lubrification des machines CNC, génèrent des bruits caractéristiques qui se distinguent nettement du bruit ambiant. Il est donc essentiel d'en tenir compte afin d'éviter les faux positifs.

Prenons l'exemple de la pompe CU25. Lorsque l'analyse existe déjà (créée par les équipes de Boston Dynamics), je consulte un technicien afin de vérifier si le bruit observé est normal, notamment celui du pressostat. En revanche, pour une nouvelle analyse que je mets en place, je commence généralement par définir un *threshold* initial de 70 dB. En effet, les moteurs fonctionnent généralement dans une plage de 75 à 95 dB, tandis que les pompes se situent plutôt entre 75 et 82 dB.

Ensuite, j'analyse les valeurs réellement enregistrées par Spot. Par exemple, si une pompe atteint 78 dB, je fais systématiquement valider cet enregistrement par un technicien expérimenté afin de confirmer que le fonctionnement est normal. Si c'est le cas, je fixe le *threshold* à 80 dB, soit au-dessus de la valeur mesurée, afin d'éviter d'être trop proche de la limite.

Cette méthodologie est appliquée de manière systématique pour chaque moteur, chaque pompe… . Je m'appuie toujours sur l'avis d'un technicien expérimenté pour valider les réglages. De plus, lorsque j'ai l'opportunité d'échanger avec les techniciens du fabricant des machines CNC, comme ceux de Okuma, je leur consacre quelques minutes pour leur faire écouter certains enregistrements. Cela me

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

permet d'obtenir une seconde validation et de confirmer les observations faites avec les techniciens internes.

4.5 Révision des analyses

Nous avons constaté que, lors de la création d'une action, Spot peut parfois prendre des photos de mauvaise qualité ou mal cadrées. Cela peut perturber l'analyse et provoquer la détection d'une anomalie alors qu'il n'y en a pas réellement.

Pour corriger ce problème, je recommence généralement l'action. Pour cela, je prends la tablette et je guide Spot jusqu'à l'endroit où l'analyse doit être réalisée. Ensuite, selon la situation, j'allume la Flash Cam du robot si cela peut améliorer la visibilité. Il m'arrive aussi d'ajuster légèrement l'élément à analyser, par exemple en l'inclinant un peu, afin que la caméra puisse mieux le voir.

J'ai également rencontré de nombreux cas où les éléments à analyser étaient partiellement cachés par des câbles électriques, pneumatiques ou hydrauliques. Dans ces situations, je devais trouver une solution pour que ces câbles ne gênent plus l'analyse. Par exemple, je fixais parfois les tuyaux avec des colsons afin de les maintenir sur le côté. Dans certains cas, je remplaçais aussi un tuyau par un autre plus long ou plus court afin de pouvoir le repositionner et dégager complètement la zone à analyser par les inspections PTZ (analyses utilisant l'intelligence artificielle).

J'ai également rencontré des difficultés avec certains éléments situés en hauteur. Pour permettre à Spot d'obtenir un meilleur angle de vue, j'ai placé des boxes au sol afin que le robot puisse poser ses pattes avant dessus et ainsi gagner un peu de hauteur. Cette solution s'est révélée efficace pour améliorer la qualité des analyses.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

C2 -
Confidential

4.6 Les jauges

Les jauges ont constitué l'une des analyses à la fois les plus complexes et les plus simples à appréhender. Au début, leur gestion s'est révélée difficile, notamment en raison d'un manque de maîtrise des outils. La situation s'est compliquée lorsque l'assistance de Boston Dynamics n'était plus disponible, m'obligeant à travailler de manière autonome, ce qui a représenté un véritable défi.

4.6.1 Modélisation des jauges

Durant les mois de février et mars, la procédure suivie était structurée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, des analyses de jauges étaient enregistrées sur la plateforme Orbit. Une fois ces analyses réalisées, un mail était envoyé à Boston Dynamics afin de signaler l'ajout de nouvelles jauges à configurer.

Par la suite, Boston Dynamics transmettait une requête de configuration à l'entreprise Levatas. Cette dernière était responsable de l'ajout d'une interface visuelle superposée à l'image de la jauge. Cette interface permet de définir une correspondance entre un indicateur virtuel et l'indicateur réel de la jauge.

Grâce à ce dispositif, le robot Spot est capable de repositionner précisément l'indicateur virtuel sur l'aiguille réelle de la jauge, ce qui lui permettait ensuite de calculer et d'interpréter la valeur mesurée.

À partir de mi-mars, le processus a été optimisé. En effet, l'étape intermédiaire impliquant Boston Dynamics a été supprimée. Désormais, la communication s'effectue directement avec Levatas pour la configuration des jauges, ce qui permet de réduire les délais et de simplifier la mise en œuvre.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

C2 -
Confidential

4.6.2 Corrections des jauges

Concernant les jauges, j'ai rencontré de nombreuses difficultés. Cela s'explique en grande partie par le fait que l'entreprise est en constante amélioration : de nouvelles machines sont régulièrement installées, et des obstacles apparaissent fréquemment sur les trajets d'analyse. Cela complique la réalisation des inspections. De plus, la présence de tuyaux devant certains manomètres rend parfois leur lecture difficile, ce qui ajoute une source d'erreur supplémentaire.

Un autre point important est que chaque jauge possède son propre modèle. Ce modèle correspond à la référence visuelle utilisée lors du contrôle automatique. Il est donc essentiel de ne pas se tromper dans l'attribution des modèles, sous peine de générer des erreurs de détection.

Afin de mieux gérer ces problèmes, j'ai mis en place une méthode de suivi basée sur des diagrammes de Pareto hebdomadaires. Pour cela, je réalisais 30 mesures par jauge, puis j'analysais le nombre d'anomalies détectées sur ces 30 essais. Cette approche m'a permis d'identifier rapidement les jauges les plus problématiques.

J'ai poursuivi cette analyse chaque semaine, ce qui a permis de constater une amélioration progressive des performances. En parallèle, je me suis concentré sur les erreurs les plus fréquentes identifiées dans les premiers diagrammes afin de les corriger et d'optimiser le processus.

Dans le premier diagramme de Pareto, on peut observer que presque toutes les jauges présentaient des erreurs, à l'exception d'une seule.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

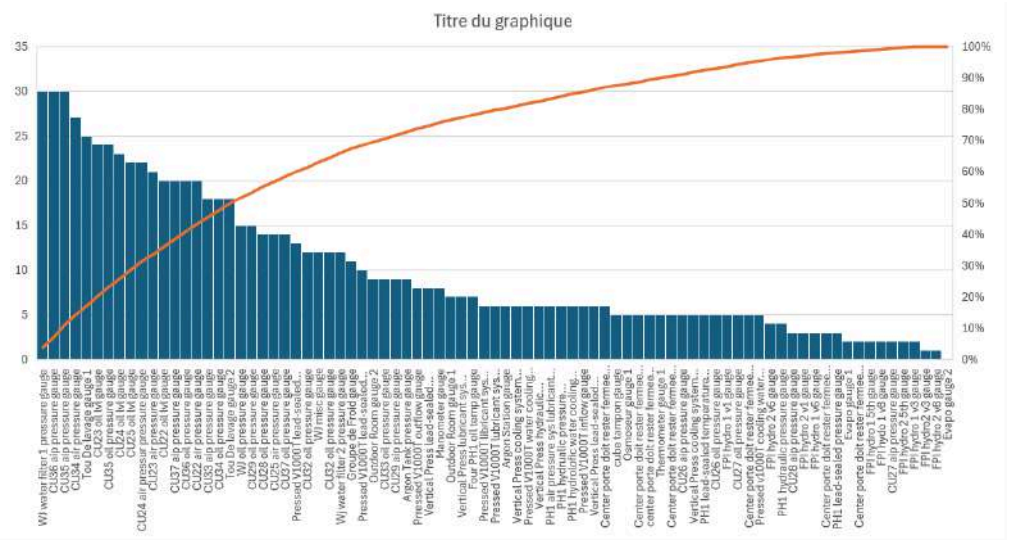


Figure 73 : semaine 1 des jauges

Ainsi, pour chaque jauge, j'ai analysé l'origine des anomalies afin de mettre en place des solutions adaptées. Dans environ la moitié des cas, ces erreurs étaient dues à la présence de tuyaux obstruant la vue du manomètre, ce qui empêchait le robot Spot d'effectuer correctement l'inspection.

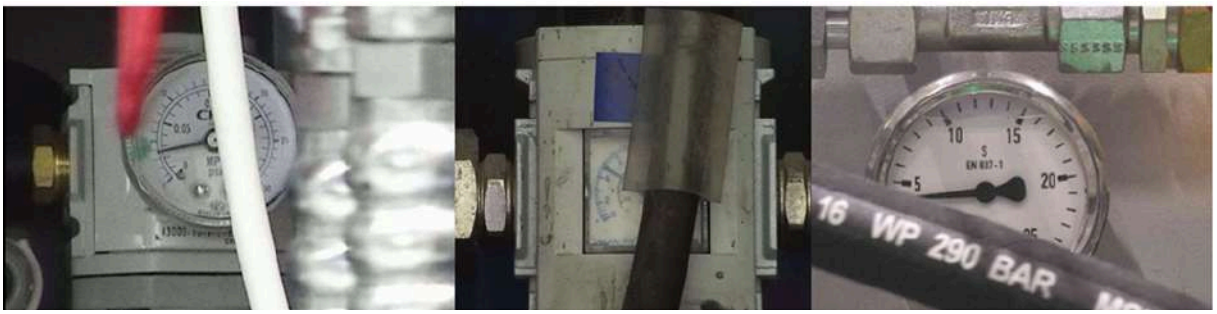


Figure 74 : présence de tuyaux devant des manomètres

Dans un premier temps, pour remédier aux problèmes liés aux tuyaux obstruant la vue, j'ai consacré un temps important à les fixer à l'aide de colliers de serrage afin d'améliorer la visibilité des jauges.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

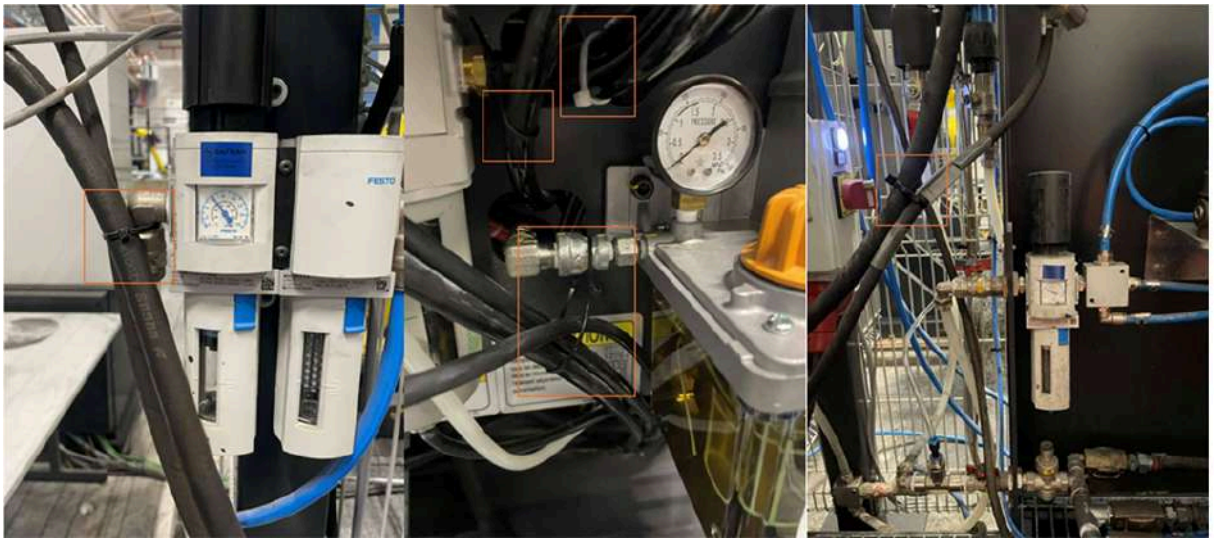


Figure 75 : solutions des tuyaux qui gênaient

On peut ainsi constater que la visibilité est nettement améliorée, ce qui permet de réduire le nombre d'anomalies.

J'ai également rencontré des problèmes de luminosité, que j'ai pu corriger en utilisant le flash de la caméra du robot Spot. Enfin, certaines anomalies étaient liées à la hauteur des jauges ; j'ai donc ajusté leur inclinaison afin de les positionner correctement dans le champ de vision du robot.

Figure 76 : solutions des problèmes liées aux jauges

Au terme de la deuxième semaine, une nette amélioration était déjà observable, comme en témoigne le diagramme de Pareto suivant.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

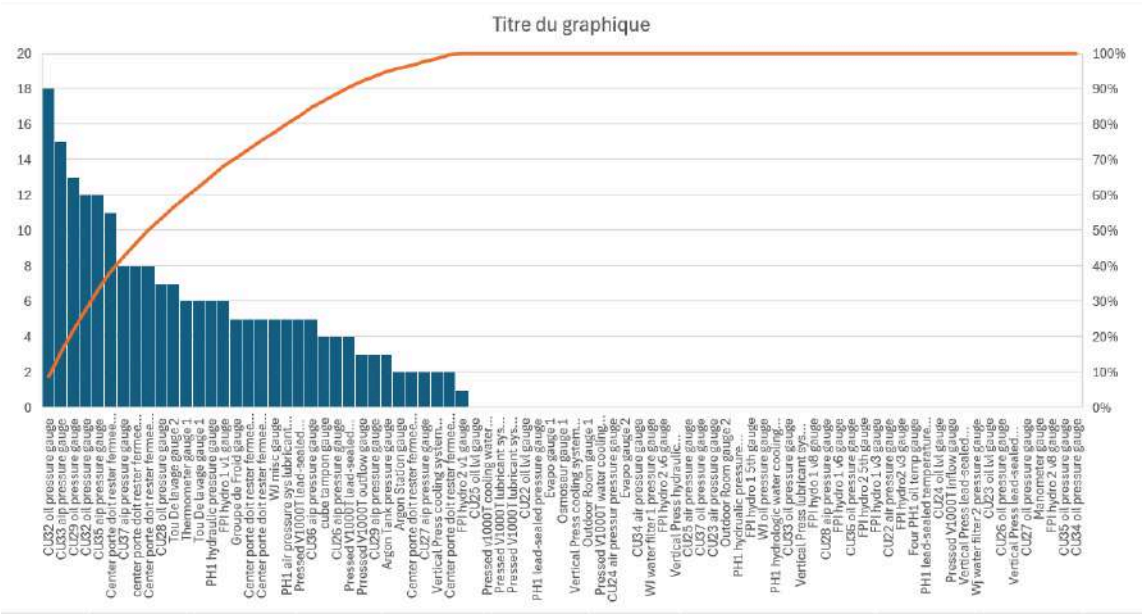


Figure 77 : semaine 2 des jauges

Même si une amélioration est visible, plusieurs problèmes subsistent encore concernant l'ensemble des jauges. Afin d'optimiser le système, il est donc nécessaire d'identifier les principales causes des erreurs.

Dans un premier temps, nous pouvons constater que les problèmes les plus importants proviennent tous du même emplacement : les CU (CU : terme utilisé chez Safran pour désigner un CNC). Après analyse, il apparaît rapidement qu'il s'agit du même type de manomètre présent sur l'ensemble des CU. Cependant, ce modèle de jauge n'existe pas encore dans la base de données de Spot, ce qui provoque des erreurs de détection et de reconnaissance.

J'ai donc effectué une demande de configuration afin d'ajouter ce modèle de jauge. Cette demande inclue également les jauges des « center porte », qui ne disposaient pas non plus d'un modèle associé.

Concernant les autres manomètres, les problèmes rencontrés ne sont pas liés aux modèles de jauges, mais à d'autres causes qui devront être analysées par la suite. La priorité actuelle est donc de corriger les erreurs liées aux modèles manquants afin d'améliorer les performances globales du système Spot.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

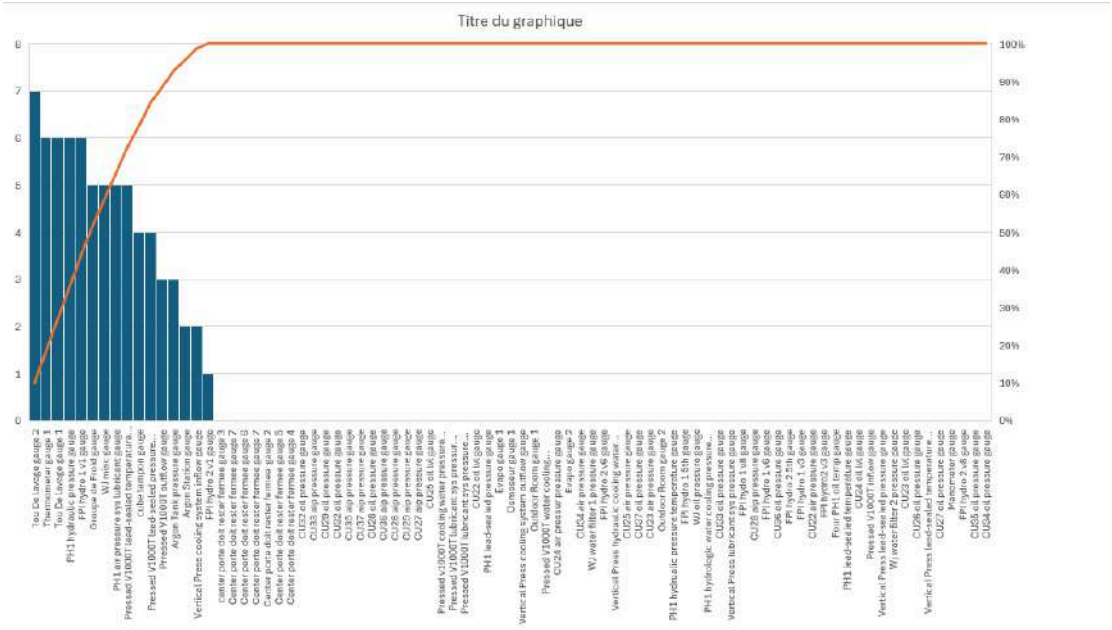


Figure 78 : semaine 3 des jauges

À partir de cette étape, nous pouvons constater qu'il reste encore plusieurs jauges en erreur qui ne parviennent pas à être analysées correctement. Cependant, je suis arrivé à la fin de mon stage sans pouvoir approfondir davantage cette problématique.

En effet, j'ai rencontré plusieurs difficultés techniques liées au robot Spot ainsi qu'à la licence Levatas, ce qui m'a empêché de poursuivre les tests et les analyses sur cette partie du projet. Malheureusement, ces contraintes n'ont donc pas permis d'aller plus loin dans l'amélioration et la résolution des dernières erreurs restantes.

4.7 Analyse et filtrage des anomalies détectées

Voici à quoi ressemble une anomalie thermique détectée par le robot Spot : la zone concernée apparaît clairement sur l'image avec des couleurs indiquant les variations de température.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

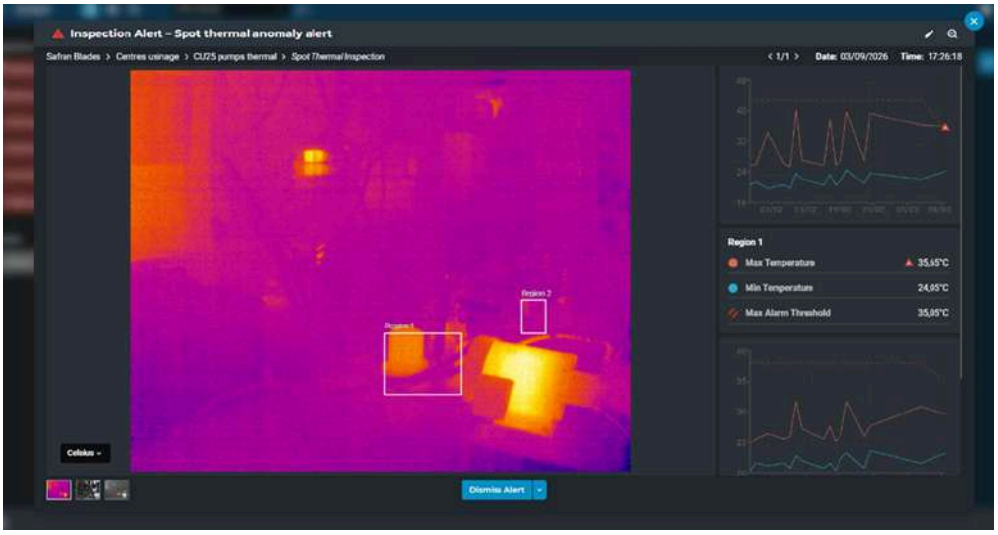


Figure 79 : anomalie thermique

Voici à quoi ressemble une anomalie détectée par le capteur acoustique : les zones où le bruit ou les ultrasons sont les plus intenses sont mises en évidence sur l'image, permettant de localiser rapidement une fuite ou un défaut dans l'installation.

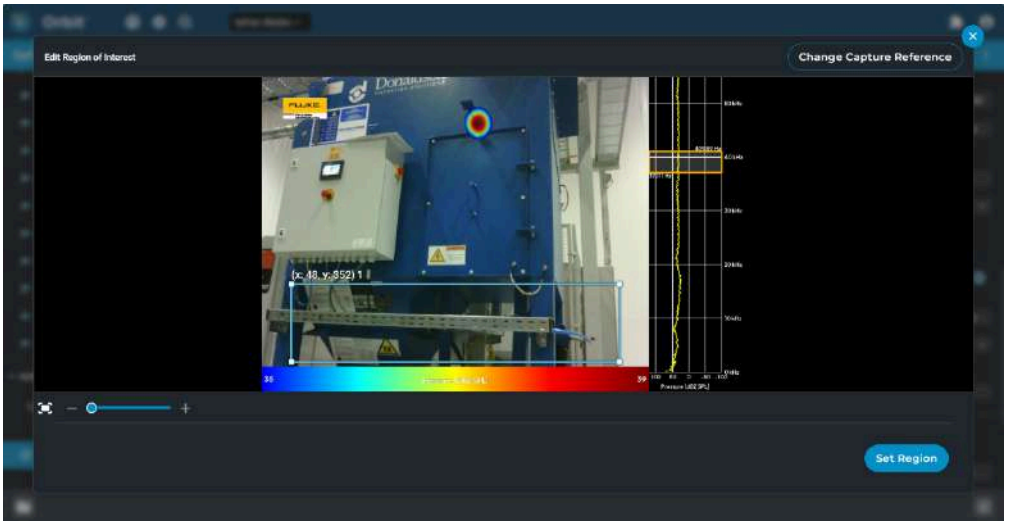


Figure 80 : anomalie acoustique

Voici à quoi ressemble la détection d'une personne sur le site : le robot identifie et met en évidence la présence d'une personne dans son champ de vision, permettant de suivre sa position et d'assurer la sécurité ou la supervision des zones surveillées

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

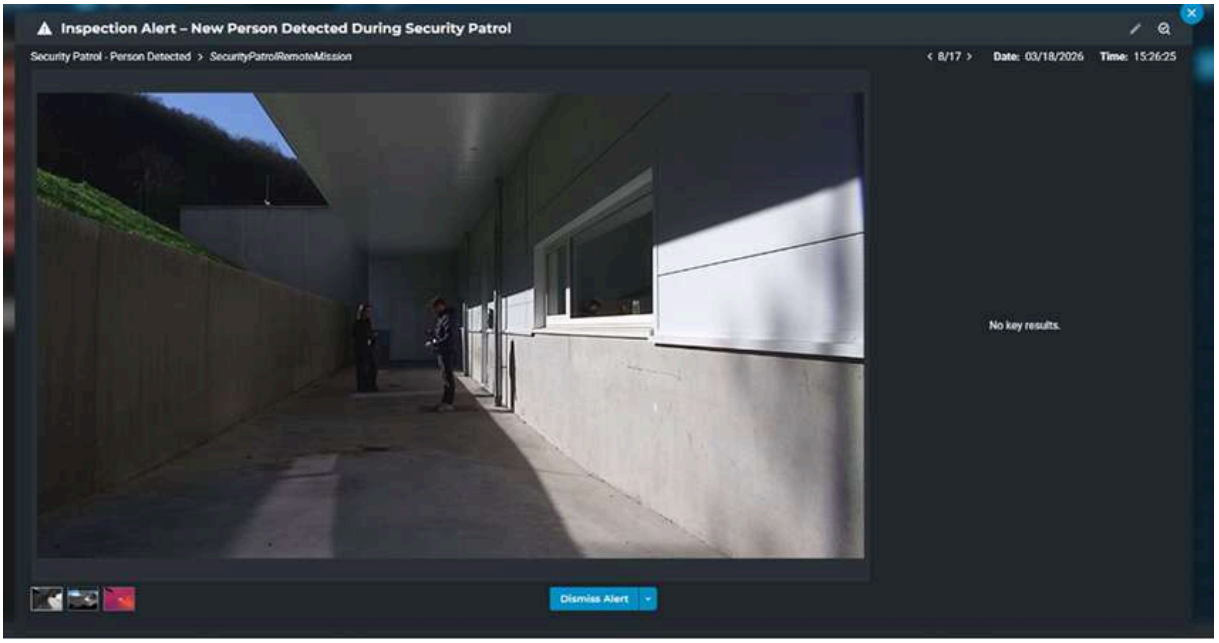


Figure 81 : anomalie de sureté

Voici un exemple d'anomalie détectée lors d'une analyse de jauge réalisée par le robot Spot.

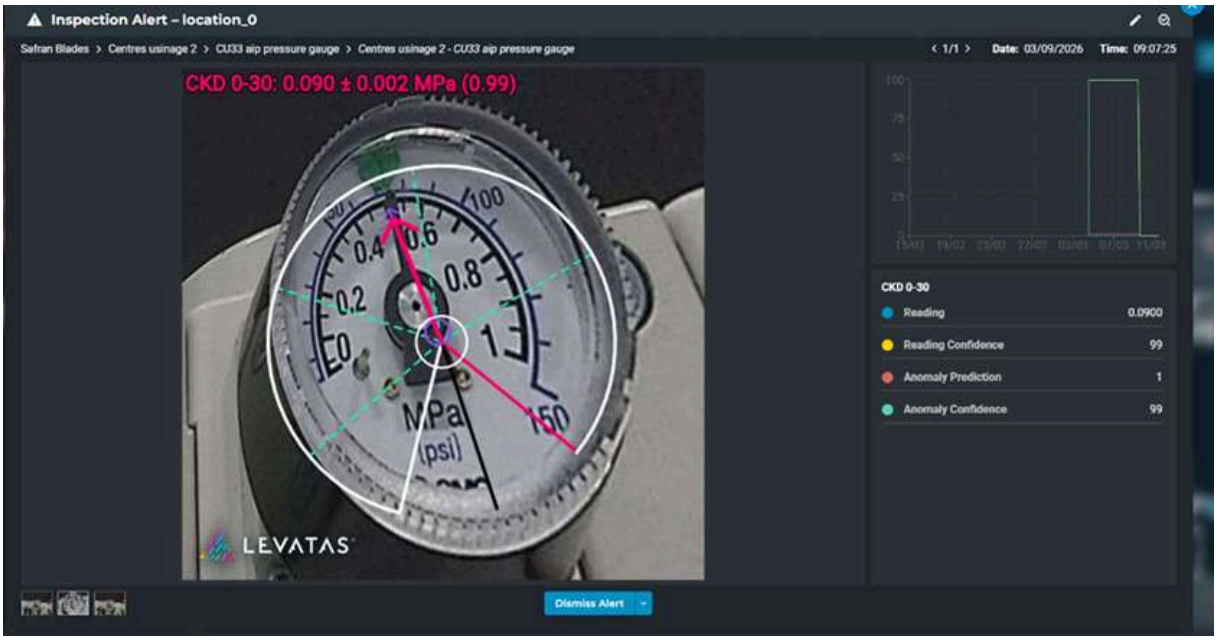


Figure 82 : anomalie d'analyse de jauge

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Le filtrage des véritables anomalies a été une étape très importante de mon travail. En effet, le robot générait beaucoup d'alertes qui ne correspondaient pas toujours à de réels problèmes, mais plutôt à des phénomènes ponctuels comme des bruits passagers ou de simples variations temporaires. Il était donc nécessaire de vérifier chaque anomalie et de comparer les données avec les références des équipements, afin de ne garder que celles qui représentaient réellement un risque ou un dysfonctionnement. Cela permet d'améliorer la fiabilité des inspections et de se concentrer sur les problèmes réellement importants.

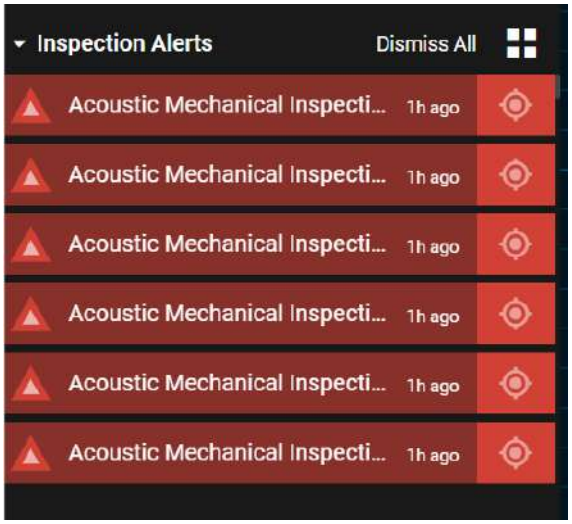


Figure 83 : accumulation de fausse anomalie

L'ajustement des seuils de déclenchement des anomalies a également été une étape clé. Un bon réglage permet d'éviter les fausses alertes tout en continuant à détecter les situations critiques.

Pour chaque anomalie, j'ai mis en place une méthode simple et systématique. Je commence par ouvrir l'alerte afin d'en comprendre l'origine : cela peut être une surchauffe, une fuite, un dépassement de seuil acoustique sur un moteur, un élément qui perturbe l'analyse, ou encore un problème de cadrage ou de zoom.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 84 : anomalie acoustique sur un CNC

Dans cet exemple, l'anomalie détectée correspond à une fuite d'air au niveau d'un sécheur dans un système pneumatique. Je me rends d'abord sur place afin de vérifier qu'il s'agit bien d'une fuite réelle et que Spot ne s'est pas trompé. Ensuite, j'évalue si cette situation est normale ou non.

Pour cela, je me renseigne à la fois via des sources en ligne et auprès des techniciens. J'apprends alors que cette fuite d'air est en réalité normale, car elle permet d'évacuer l'humidité du système.

Je peux donc supprimer l'alerte afin qu'elle n'apparaisse plus sur l'interface (notamment sous forme de triangle rouge). Par la suite, pour éviter que cette situation ne génère à nouveau des alertes inutiles, j'ajuste l'analyse de Spot en excluant cette zone. Pour cela, je définis des ROIS (Regions of Interest), c'est-à-dire des zones spécifiques sur lesquelles le robot doit concentrer son analyse.

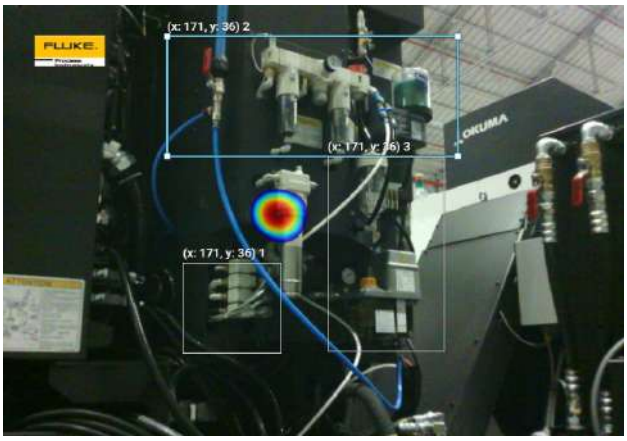


Figure 85 : placement de ROIS pour les analyses

Nous disposons maintenant d'une analyse fiable, qui n'est plus perturbée par une fuite d'air normale.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

5. Assets ID

Une Asset ID est une étiquette qui permet d'identifier une cellule, une installation, un module ou encore un composant. Dans notre cas, l'Asset ID me permet de savoir précisément quel appareil est analysé par le robot Spot.

Concrètement, l'Asset ID est placée physiquement sur l'élément qui doit être analysé. Elle est également renseignée sur la plateforme Orbit. Pour chaque action créée (une action correspondant à une analyse), je dois associer cette action à l'Asset ID correspondante.

Figure 86 : une étiquette d'identification

En 1, on retrouve le code d'équipement. En 2, le One Naming, c'est-à-dire la dénomination attribuée dans la GMAO afin d'assurer une appellation uniforme pour l'ensemble des utilisateurs. En 3, figure l'emplacement du composant sur le site Safran, et en 4, le QR code généré à partir du code d'équipement.

Grâce à cela, lorsqu'une anomalie est détectée et qu'un message est envoyé, il est possible d'identifier directement l'appareil concerné. À plus long terme, lorsque les anomalies détectées par Spot seront envoyées vers la GMAO, l'Asset ID permettra aussi aux techniciens de localiser rapidement l'équipement concerné et de savoir exactement sur quel appareil intervenir.

Il faut savoir que chaque étiquette d'une installation ne peut pas être de la même taille que celle d'un composant et c'était un point d'attention crucial. Donc dans l'ordre du plus grand au plus petit c'est la cellule, l'installation, les découpage fonctionnels et ensuite les composants qui ont les étiquettes les plus petites.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

5.1 Etablissements des assets ID dans Orbit

Pour renseigner les codes d'équipement dans Orbit, j'ai dû faire passer Spot au moins une fois sur l'ensemble des installations afin d'identifier les composants ne disposant pas de code d'équipement.

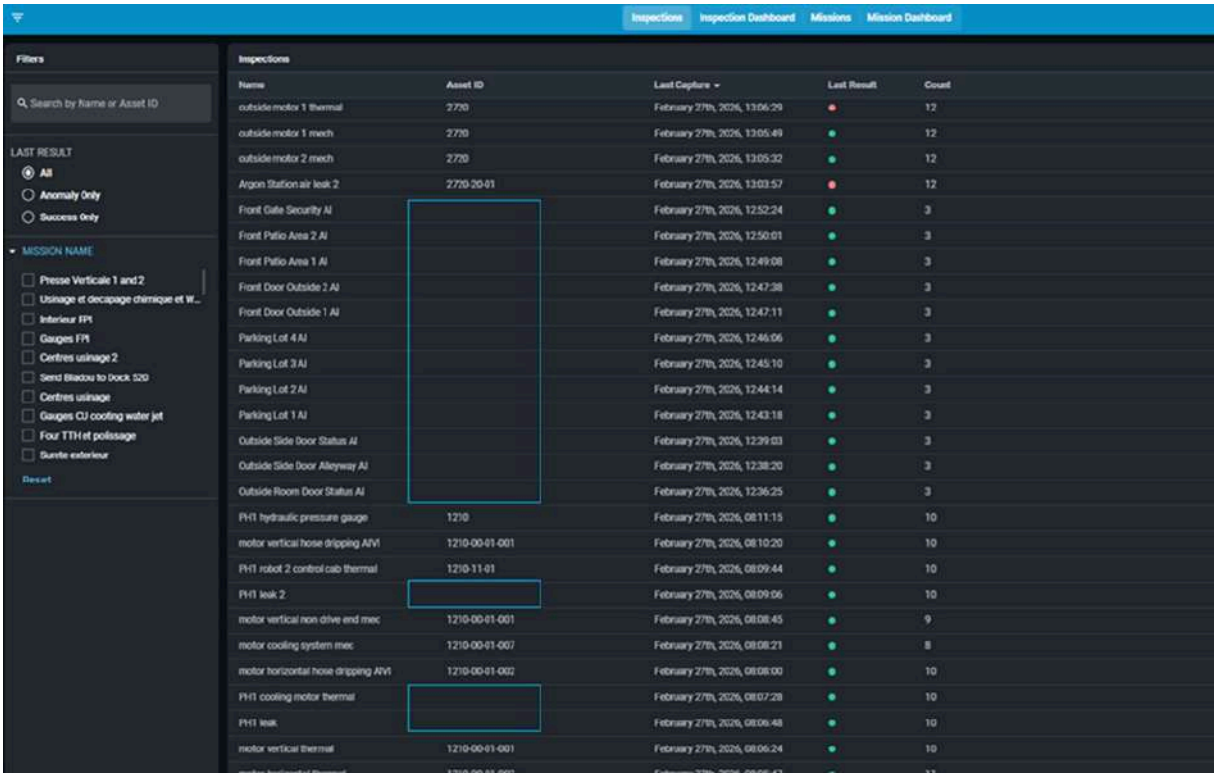
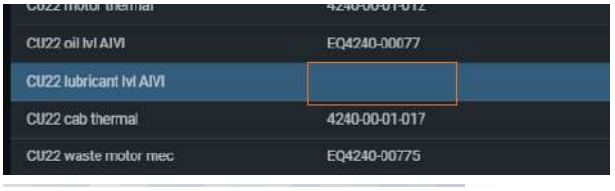


Figure 87 : code d'équipement des analyses

Sur l'image, on constate qu'un grand nombre de codes d'équipement sont manquants : environ les trois quarts des composants analysés par Spot n'en possédaient pas. J'ai donc procédé de la même manière pour chaque composant. Prenons l'exemple du composant « CU22 lubricant lvl AIVI ».

Je copie le nom du composant (« CU22 lubricant lvl AIVI »), puis je le colle dans la page Missions and Actions Editor. Pour accéder à cette page, je retourne dans le menu principal et je clique sur le bouton correspondant.



Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

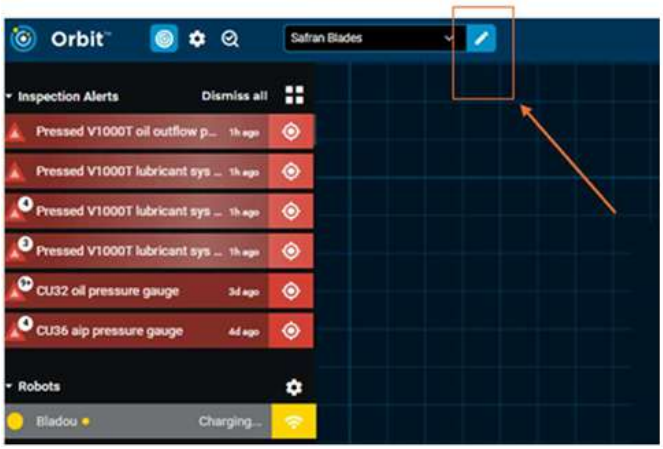


Figure 89 : map editor

Une fois sur cette page, je fais défiler vers le bas jusqu'à atteindre la section Actions. Dans la liste des actions, je colle le nom du composant dans la barre de recherche afin de le retrouver rapidement.

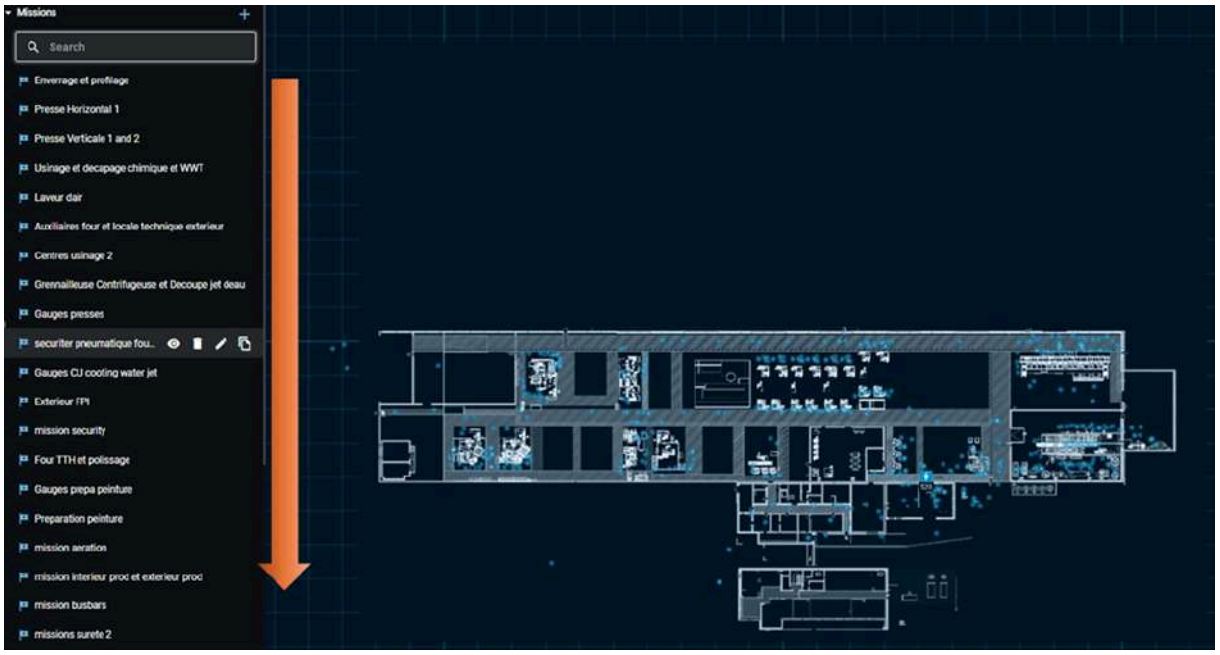


Figure 90 : les analyses

Dans la liste des actions, je colle le nom du composant dans la barre de recherche afin de le retrouver rapidement.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

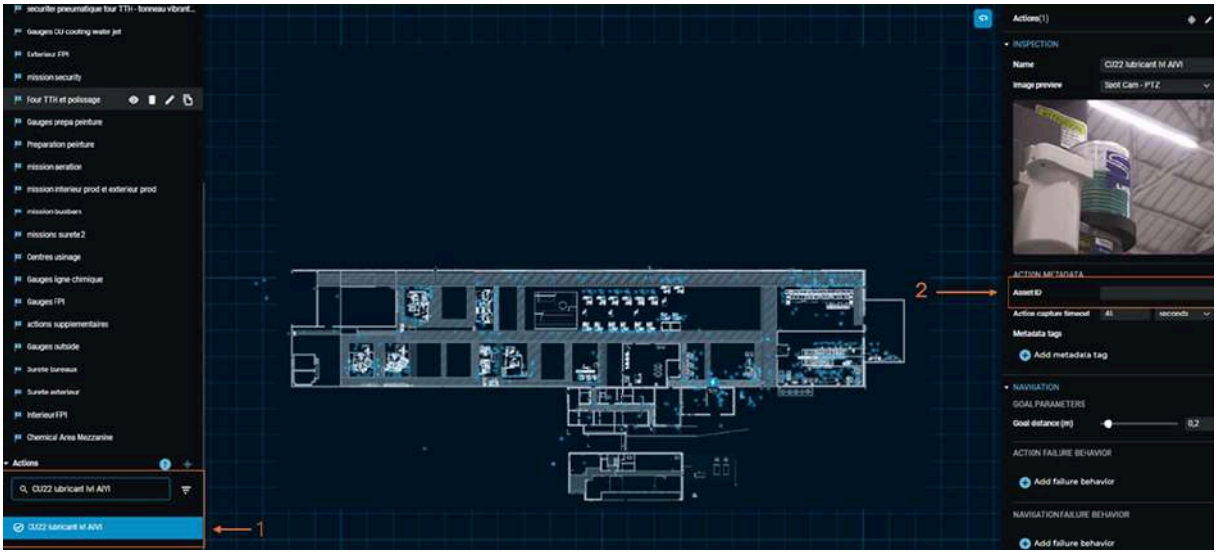


Figure 91 : recherche d'une analyse

En sélectionnant l'analyse correspondante, on remarque que le champ Asset ID est vide. C'est à cet endroit qu'il faut renseigner le code d'équipement.

À partir de là, deux solutions sont possibles :

- Soit une étiquette jaune contenant le code d'équipement est déjà présente sur le composant, et il suffit de reporter ce code ;
- Soit l'étiquette n'est pas encore en place, et il faut alors rechercher le code d'équipement dans Coswin, dans la liste des équipements.

Dans ce cas précis, l'étiquette n'était pas encore installée. J'ai donc recherché le code dans Coswin puis je l'ai renseigné dans Orbit.

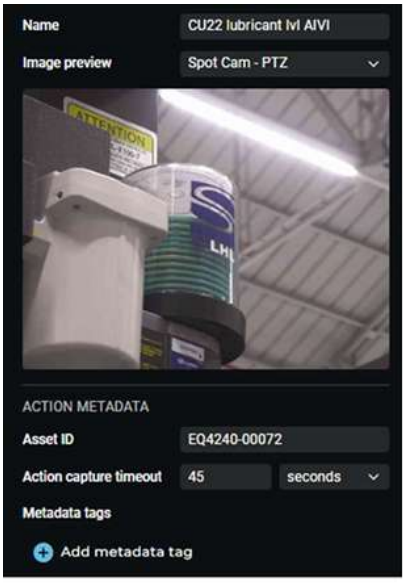


Figure 92 : présence d'un code d'équipement

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Une fois cette étape réalisée, tout est correctement configuré : Spot sait désormais quel composant il analyse. Ainsi, si une anomalie est détectée et envoyée vers Coswin, les techniciens peuvent immédiatement identifier le composant concerné. Sans l'enregistrement du code d'équipement dans Orbit, Spot enverrait des anomalies sans pouvoir préciser quel composant est en défaut.

5.2 Présentation de la GMAO

Coswin est un logiciel de gestion de maintenance assisté par ordinateur (GMAO) conçu pour aider les entreprises à gérer et optimiser leurs opérations de maintenance. Coswin est développé par SIVECO Group.

Dans Coswin on retrouve les asset ID des différentes cellules, installations, équipements et composants et qui va aider le robot industriel à nous dire quel élément est en défaut.

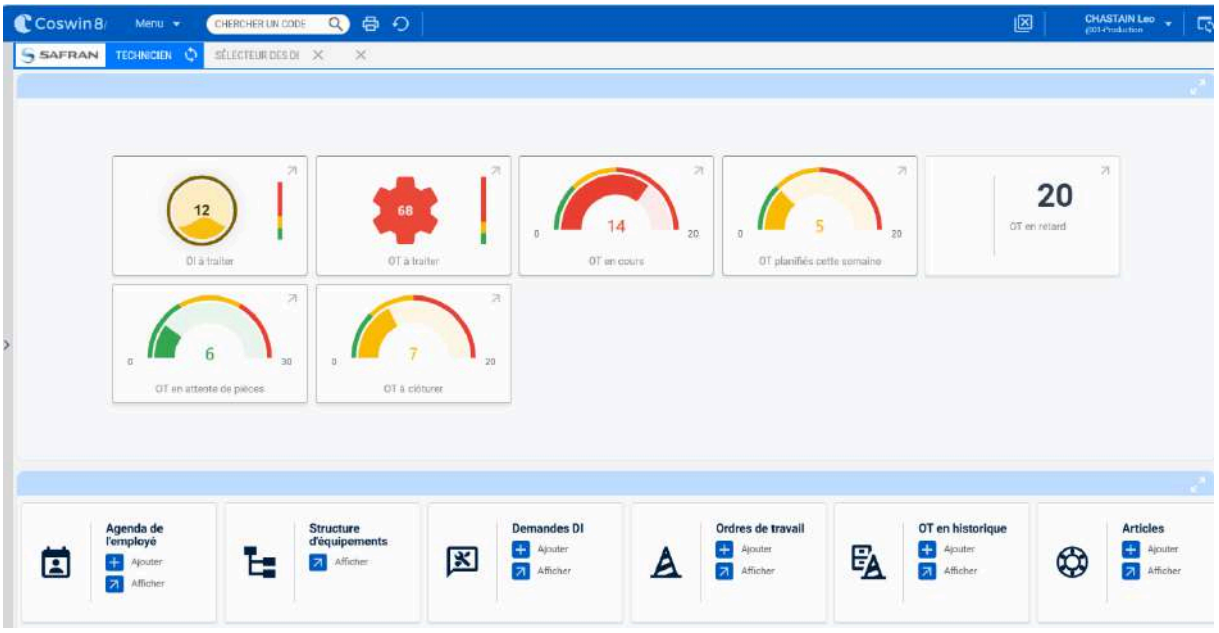


Figure 93 : menu principale de la GMAO

5.2 Créations des étiquettes

Dans le cadre de la création d'étiquettes servant d'Asset ID pour les composants, nous utilisons l'imprimante Brady M610, une étiqueteuse portable à la fois puissante et robuste, spécialement conçue pour un usage professionnel.

Cette imprimante est associée au logiciel Brady Workstation, qui permet de concevoir les étiquettes de manière précise et structurée. Grâce à ce programme, il est possible d'ajouter des zones de texte, de modifier la taille, la police et la disposition des éléments, ainsi que d'organiser le contenu selon les besoins. Le logiciel permet

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un
écrite de Safran Blades

également d'intégrer des symboles, des logos, ainsi que des codes-barres ou QR codes.

Par ailleurs, Brady Workstation propose des modèles prédéfinis, facilitant et accélérant le travail. Il offre aussi la possibilité d'importer des données (notamment via Excel) afin de générer automatiquement plusieurs étiquettes, par exemple sous forme de séries numérotées. Une fois les étiquettes créées, elles sont envoyées directement vers l'imprimante pour une impression rapide et efficace.

Lors de l'ouverture du logiciel, différents formats d'étiquettes sont disponibles selon leur utilisation : certaines sont destinées aux cellules, d'autres aux composants, et d'autres encore aux demandes d'intervention. Chaque type d'étiquette possède des caractéristiques propres, telles que la taille, le contenu ou la couleur, permettant de les différencier clairement.

Dans notre cas, l'objectif n'est pas de créer de nouveaux Asset ID, mais de réimprimer les étiquettes manquantes afin de les replacer. Pour cela, nous utilisons principalement les fichiers récents déjà enregistrés.

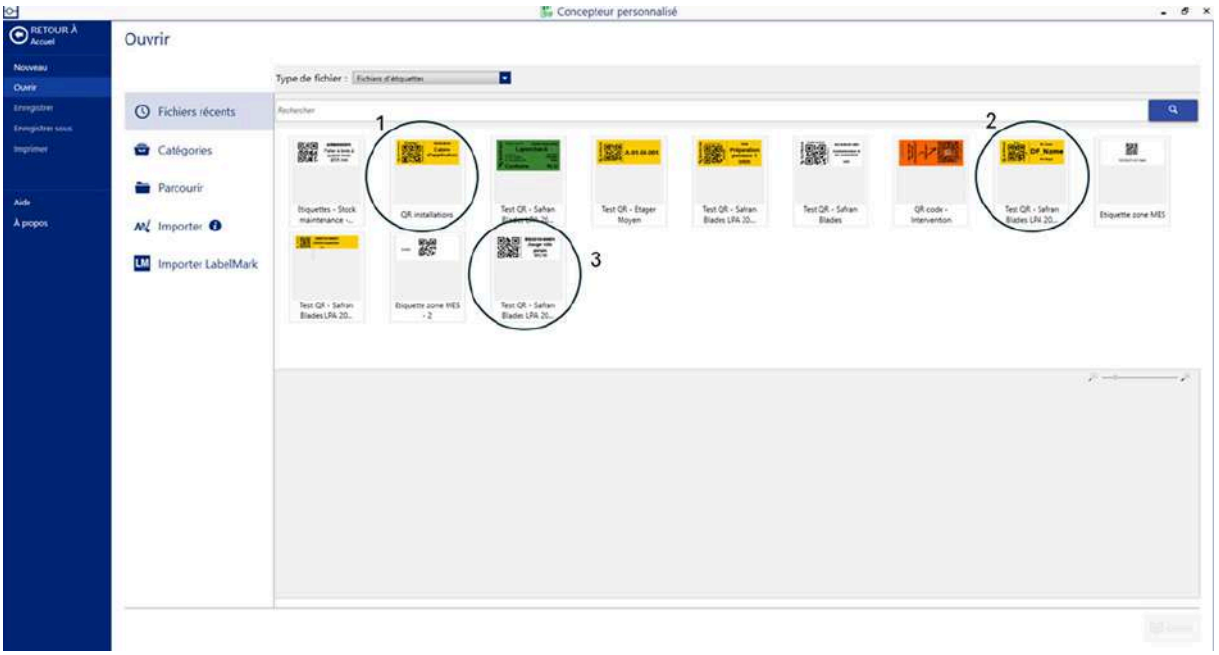


Figure 95 : les types d'étiquettes

Sur l'image, on distingue plusieurs types d'étiquettes : en (1), celles des installations, en (2), celles des cellules et en (3), celles des composants. Ces différentes étiquettes présentent des caractéristiques distinctes. À noter que, normalement, l'étiquette des composants (3) est de couleur jaune et non blanche.

Etant donné que je dois replacer des étiquettes pour les composants je vais cliquer sur l'étiquette numéro 3.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

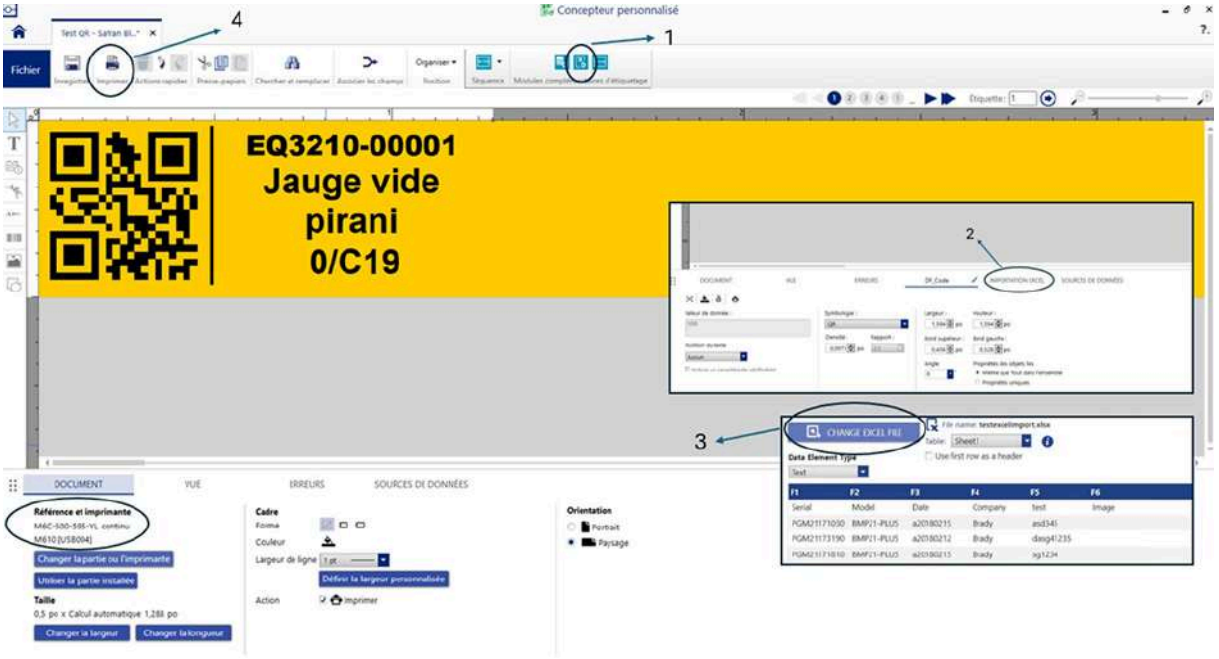


Figure 96 : caractéristique utile

Ensuite, après avoir cliqué sur cette option, je sélectionne « Modules complémentaires d'étiquetage ». Cela permet de faire apparaître l'onglet « Importation Excel », situé à côté de l'onglet « Sources de données ».

En cliquant sur cet onglet, il est possible d'importer un fichier Excel contenant la liste des composants d'une cellule pour lesquels des étiquettes sont manquantes.

Une fois le fichier Excel importé (avec le code équipement, le one naming et l'emplacement), il faut associer les champs F1, F2 et F3 aux bons éléments :

- F1 correspond au code équipement. Il doit être lié au QR code ainsi qu'au champ « EQ », puisque ces éléments sont générés à partir du code équipement.
- F2 correspond au one naming. Il doit être associé au deuxième texte situé au milieu.
- F3 correspond à l'emplacement sur le site. Il doit être relié au texte situé en dessous.

Ces associations permettent de structurer correctement les informations pour générer les étiquettes.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

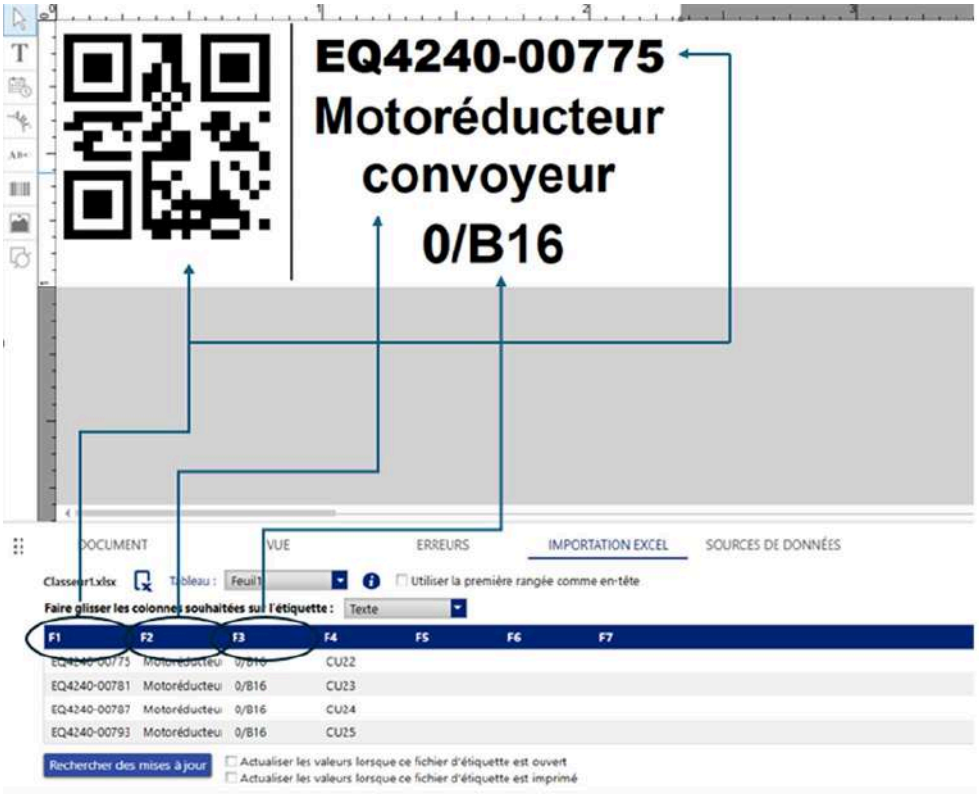


Figure 97 : bon placement des caractéristiques

Une fois les données importées et vérifiées, il suffit de s'assurer que la bonne imprimante est connectée dans « référence et imprimante » , puis de cliquer sur « Imprimer » en haut de l'écran pour lancer l'impression (4) .

Figure 98 : impression des étiquettes

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Une fois dans le menu d'impression, il est possible de choisir une plage spécifique, c'est-à-dire imprimer seulement certaines étiquettes (entre deux numéros), ou bien lancer l'impression de l'ensemble si aucune étiquette n'a encore été réalisée pour une cellule.

Après avoir sélectionné les éléments à imprimer, il suffit de cliquer sur « Imprimer » en bas à droite pour démarrer l'impression via le Brady M610.

5.3 Créations des demandes d'intervention

Une DI correspond à une demande d'intervention, c'est-à-dire une sollicitation adressée à un technicien pour qu'il intervienne.

Jusqu'au deuxième mois de mon stage, l'équipe IT n'avait pas encore mis en place l'automatisation du transfert des anomalies de Spot vers la GMAO. Je devais donc intégrer manuellement ces anomalies dans la GMAO. Pour cela, j'ai dû me familiariser avec le fonctionnement du système Coswin, en attendant que Spot soit capable d'envoyer directement et automatiquement ces demandes d'intervention (DI) vers Coswin.

Je réalisais cette tâche afin de pouvoir exploiter les retours fournis par Spot et éviter que certaines anomalies, comme des fuites d'air, ne passent inaperçues ou ne soient pas traitées le plus vite possible.

Pour avoir une idée du nombre de DI que j'ai encodées, on constate qu'à la mi-avril, j'en ai introduit un total de 23. Parmi celles-ci, 18 concernent des fuites d'air et 5 portent sur des interventions liées à l'acoustique de 5 moteurs.

Pour ce faire j'ai dû apprendre à utiliser Coswin

Pour ce faire je clique sur « DI à traiter »

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

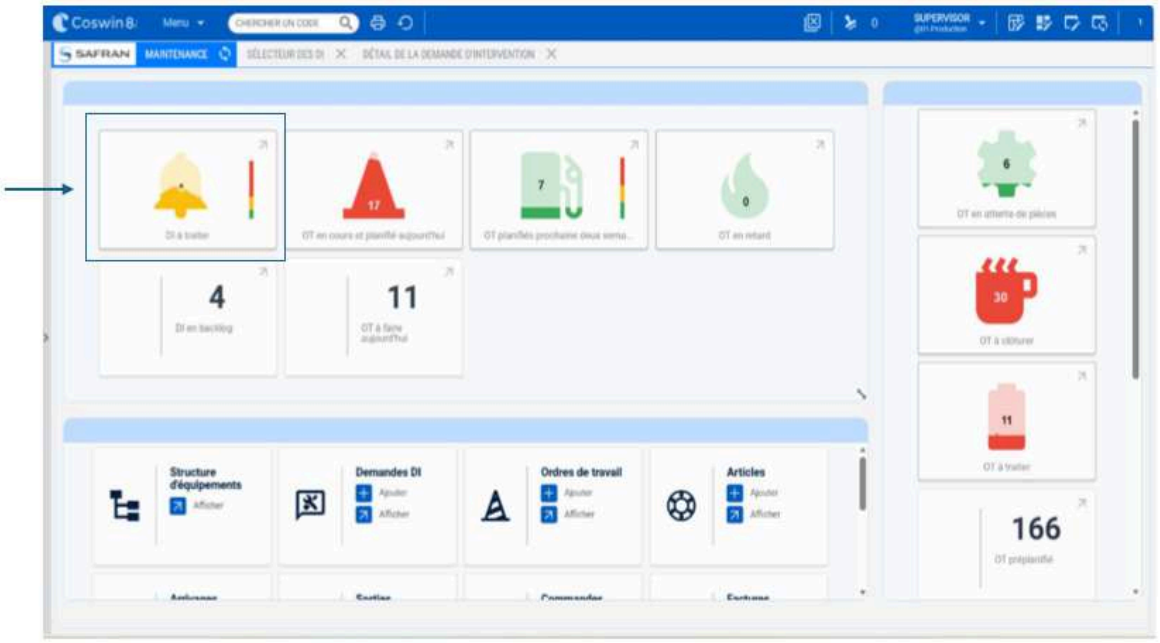


Figure 99 : les DI à traiter

Ensuite je clique sur ajouter (+)

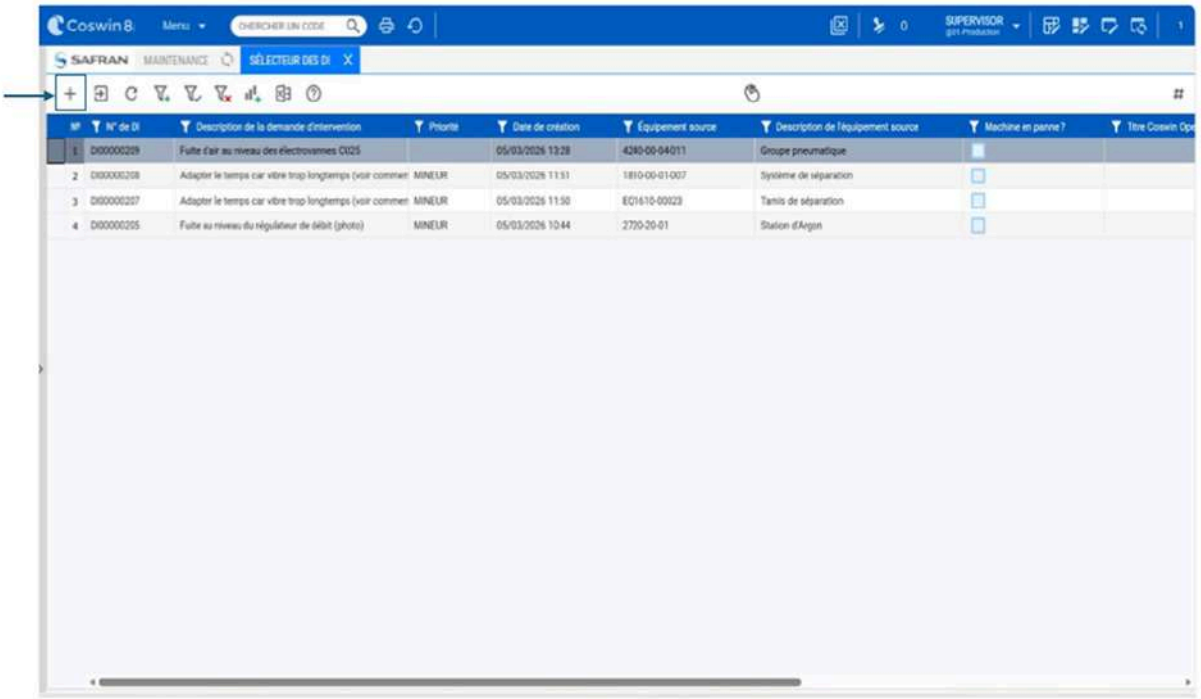


Figure 100 : l'ajout d'une DI

Et je suis dirigé vers cette page qui est le détail de la demande d'intervention.

Une fois sur cette page, je dois inscrire dans Nom et Prénom : SPOT.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

En deuxième, je mets le type de DI, ici ce sera souvent une MACHINE.
En troisième, je place l'équipement source, qui correspond au même code que celui indiqué sur l'Asset ID. Et en quatrième, j'ajoute un commentaire concernant la fuite.

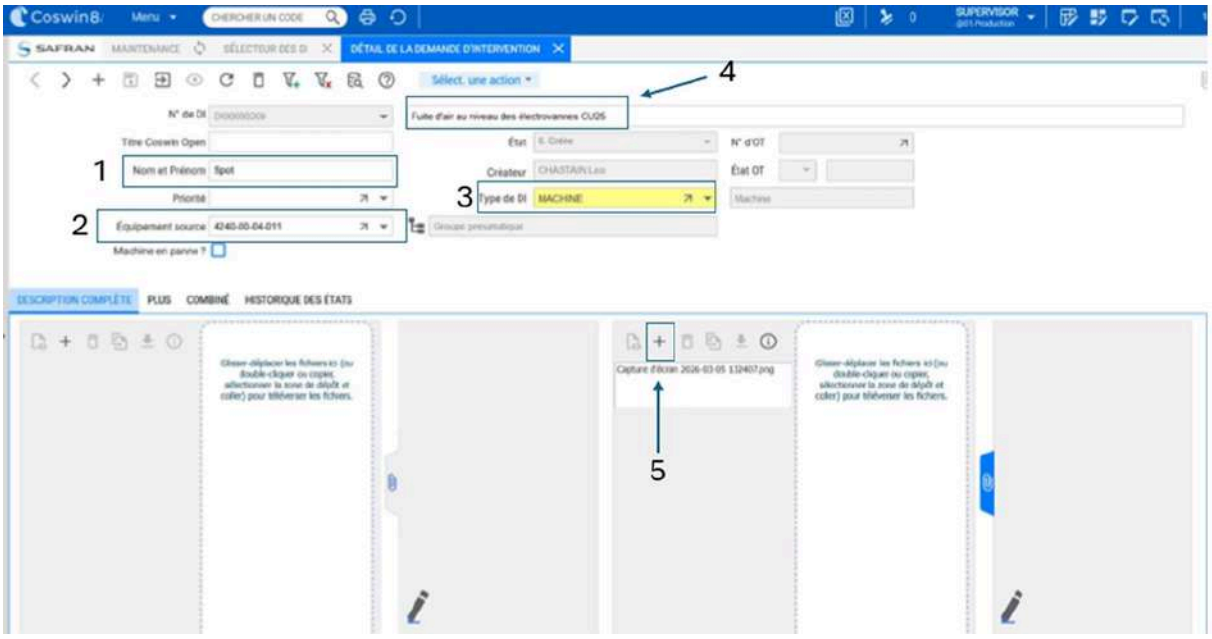


Figure 101 : configuration de la nouvelle DI

6. Problèmes rencontré et solutions

Les problèmes rencontrés avec Spot ont constitué une étape importante du projet. Certains ont été résolus rapidement, tandis que d'autres ont nécessité davantage de temps et de réflexion afin d'identifier des solutions adaptées.

6.1 Commande des volets

La gestion des volets motorisés a constitué l'un des derniers problèmes rencontrés, mais également l'un des plus contraignants, car il impactait directement l'autonomie du robot Spot dans ses missions. En effet, certaines tâches nécessitent que le robot ouvre des volets motorisés afin de pouvoir poursuivre son déplacement sans intervention humaine.

Pour permettre l'envoi de requêtes d'ouverture ou de fermeture, il est nécessaire d'associer à la mission une action spécifique appelée « Access Controlled Door ». Cette action doit normalement être disponible lors de l'enregistrement d'une mission. J'ai donc procédé à l'enregistrement d'une mission depuis la tablette , puis tenté d'y ajouter cette action. Cependant, celle-ci n'apparaissait pas dans la liste des actions disponibles.

Face à ce problème, j'ai entrepris une phase d'analyse afin d'en identifier la cause. Après vérification des différents paramètres, il s'est avéré que l'action « Access Controlled Door » était désactivée dans la configuration du système. J'ai donc

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

réactivé cette option, ainsi que les autres actions associées, avant de procéder à un nouvel enregistrement de la mission.

À la suite de cette modification, l'action est devenue accessible et j'ai pu l'intégrer correctement. Cela m'a permis de configurer l'envoi de requêtes nécessaires à l'ouverture et à la fermeture des volets motorisés, assurant ainsi la continuité et l'autonomie des missions du robot.

6.2 Indisponibilité de la licence Levatas

À la fin de mon stage, j'ai été confronté à un problème technique majeur lié à l'activation de la licence Levatas dans l'environnement Boston Dynamics Orbit. En effet, la licence ne s'activait plus correctement dans le tableau de bord Levatas, ce qui a entraîné la perte de l'ensemble des modèles de jauges précédemment configurés. Par conséquent, la section dédiée aux documents était vide et le robot Spot n'était plus en mesure d'effectuer les analyses associées.

Face à cette situation, j'ai consacré environ une semaine à analyser le problème et à tenter différentes solutions, notamment en réinstallant à plusieurs reprises la licence, sans succès. J'ai également soumis une demande d'assistance auprès de Boston Dynamics, mais les retours obtenus n'ont pas permis de résoudre efficacement le problème. J'ai alors orienté mes recherches vers une éventuelle mauvaise configuration du logiciel Orbit, susceptible d'empêcher la reconnaissance correcte de la licence Levatas.

En explorant les paramètres du système, j'ai constaté que l'extension Levatas n'était plus présente dans la liste des extensions installées dans Orbit. Toutes les autres extensions étaient disponibles, à l'exception de celle-ci. J'ai donc entrepris une recherche approfondie dans les fichiers de l'ordinateur afin de retrouver le module correspondant. Cette démarche m'a permis d'identifier un fichier avec l'extension *.spx*, correspondant à l'extension Levatas requise.

J'ai ensuite procédé à la réinstallation de cette extension dans Orbit en utilisant l'option d'importation de fichier (« *Choose File* » puis « *Upload* »). Une fois cette opération effectuée, je suis retourné sur le tableau de bord Levatas et j'ai relancé la procédure d'activation de la licence. Cette fois-ci, l'activation a été réalisée avec succès. L'ensemble des modèles de jauges a été restauré, et le robot a de nouveau été capable d'effectuer les analyses prévues.

6.3 Exploitation de Spot sans carte graphique

Au début du projet, l'absence de carte graphique dédiée n'a pas constitué un problème majeur dans l'utilisation du robot Spot. Cependant, cette limitation est devenue plus contraignante en fin de stage, notamment en raison des besoins liés à l'intelligence artificielle.

En effet, sans carte graphique, le système ne dispose pas de la puissance de calcul nécessaire pour exécuter efficacement des modèles d'IA. Or, plusieurs analyses

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

prévues dans le cadre du projet reposaient précisément sur ce type de traitement, comme la détection de l'état d'une porte (ouverte ou fermée) ou la vérification de la bonne position d'un extincteur. Ces tâches nécessitent l'utilisation d'algorithmes de vision par ordinateur, difficilement exploitables sans ressources matérielles adaptées.

Par conséquent, il ne m'a pas été possible de tester ces fonctionnalités dans des conditions réelles. Cette contrainte a également empêché la validation des différents prompts (c'est une instruction ou une consigne donnée à une intelligence artificielle pour lui dire quoi faire), que j'avais préparés pour piloter les analyses basées sur l'IA. Ainsi, bien que ces éléments aient été conçus en théorie, leur bon fonctionnement n'a pas pu être vérifié expérimentalement.

6.4 Défaillance d'un moteur du robot Spot

À la fin de mon stage, un problème technique est survenu avec le robot Spot lors de la réalisation de différentes chorégraphies de test. Durant une manipulation, le robot est soudainement tombé au sol. Lorsque j'ai tenté de le remettre en position, celui-ci retombait immédiatement et n'était plus capable de se stabiliser correctement.

Afin d'identifier l'origine du problème, j'ai créé un ticket d'assistance auprès de Boston Dynamics en détaillant la panne rencontrée. J'ai également transmis les fichiers de logs ainsi qu'une vidéo montrant le comportement du robot. Après analyse, le support technique m'a demandé d'effectuer un « Spotcheck », une procédure de diagnostic permettant de vérifier l'état des différents composants et capteurs du robot.

Cependant, cette procédure n'a pas permis de résoudre le problème. Spot était toujours incapable de se relever correctement et chutait immédiatement après chaque tentative de démarrage. À la suite de ces différents tests, les équipes de Boston Dynamics ont conclu qu'une réparation en atelier était nécessaire et ont demandé le renvoi du robot dans leurs locaux.

En conséquence, je n'ai malheureusement pas pu poursuivre les expérimentations et le travail pratique avec le robot durant les deux dernières semaines de mon stage.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

7. Impact de Spot

À la fin de cette phase de développement, l'impact de Spot a été considérablement renforcé. Le robot est passé d'environ 8 missions et près de 300 analyses à environ 18 missions actives, avec plus de 700 analyses réalisées régulièrement. Son utilisation s'est ainsi intensifiée et diversifiée, notamment grâce à l'ajout de nouvelles inspections liées aux machines installées durant la période du stage. Spot est désormais capable de réaliser des analyses thermiques, acoustiques, ainsi que des vérifications de jauges sur l'ensemble des équipements critiques du site.

En parallèle, des missions orientées sécurité ont été développées. Spot est aujourd'hui capable de vérifier la présence et la conformité des équipements de sécurité tels que les extincteurs, les trousses de secours et les dévidoirs. Il assure également la surveillance de certaines installations techniques, notamment les réseaux d'air comprimé afin de détecter d'éventuelles fuites, ainsi que le suivi thermique de composants sensibles comme les busbars et les aérothermes.

Son rôle a également évolué vers la surveillance du site en dehors des heures de production. Entre 23h et 5h du matin, Spot effectue plusieurs patrouilles sur différents parcours afin de détecter toute intrusion. En cas d'anomalie, il est capable d'envoyer automatiquement une alerte par e-mail à l'opérateur Safran, accompagnée d'une capture d'image. Lorsque les opérateurs sont en supervision, les flux vidéo peuvent également être partagés avec le centre de sécurité G4S pour une analyse en temps réel.

Dans cette continuité, une fiche d'entretien a également été élaborée afin de rapprocher les techniciens du robot et de structurer son suivi technique. Cette fiche regroupe les opérations essentielles telles que l'entretien général du robot, le nettoyage de ses ventilateurs ainsi que les différentes procédures de maintenance nécessaires à son bon fonctionnement.

Par ailleurs, la conception d'un covering a été réalisée afin de personnaliser le robot et de renforcer son identité visuelle au sein de l'entreprise. Ce covering permet à Spot de représenter clairement Safran Blades, en s'intégrant visuellement à l'environnement industriel et à l'image de la société.

Enfin, j'ai eu l'opportunité de présenter Spot à différents publics, afin d'expliquer son fonctionnement, ses capacités et son utilité au sein de l'entreprise. Ces présentations ont permis de rendre le projet plus accessible et de mieux faire comprendre l'apport concret du robot dans les activités de production, de maintenance et de sécurité.

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

8. Conclusion

8.1 Conclusion générale

Ce stage réalisé chez Safran Blades m'a permis de participer activement à un projet innovant s'inscrivant pleinement dans la transition vers l'industrie 4.0. L'intégration du robot Spot au sein de l'environnement industriel a représenté une expérience particulièrement enrichissante, tant sur le plan technique qu'humain.

Au cours de cette période, j'ai pu développer de nombreuses compétences liées à la robotique mobile autonome, à l'analyse de données industrielles, à l'intelligence artificielle ainsi qu'à la maintenance prédictive. Mon travail ne s'est pas limité à une simple utilisation du robot : il a consisté à comprendre son fonctionnement global, à analyser les anomalies détectées, à optimiser les missions existantes et à participer activement à son intégration dans l'écosystème industriel de l'entreprise.

Les différents objectifs fixés en début de stage ont pu être atteints progressivement grâce à un important travail de paramétrage, d'analyse et d'amélioration continue. L'augmentation du nombre de missions et d'analyses réalisées par Spot illustre concrètement cette évolution. Le robot est aujourd'hui capable d'effectuer des inspections thermiques, acoustiques et visuelles sur un grand nombre d'équipements critiques, tout en contribuant également à la surveillance et à la sécurité du site grâce aux rondes nocturnes et aux systèmes d'alerte automatiques.

L'intégration avec la GMAO constitue également une avancée importante, permettant de transformer les anomalies détectées en demandes d'intervention exploitables par les équipes de maintenance. Cette automatisation améliore la réactivité des équipes techniques et renforce l'approche de maintenance prédictive mise en place chez Safran Blades.

Ce projet m'a également confronté à plusieurs difficultés techniques, notamment concernant la gestion des volets automatisés, les problèmes de licence Levatas, les limitations matérielles liées à l'absence de carte graphique ou encore la défaillance mécanique du robot en fin de stage. Ces problèmes ont nécessité des phases de recherche, d'analyse et de diagnostic approfondies. Ils m'ont appris à travailler de manière méthodique, à rechercher des solutions techniques adaptées et à collaborer avec différents intervenants, y compris le support de Boston Dynamics.

Au-delà des aspects techniques, ce stage m'a permis de mieux comprendre les enjeux industriels liés à l'automatisation, à la sécurité et à l'optimisation des performances. J'ai également eu l'opportunité de présenter le robot à différents publics, ce qui m'a permis de développer mes compétences en communication et en vulgarisation technique.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Safran Blades pour la confiance qui m'a été accordée tout au long de ce stage ainsi que pour l'opportunité de participer à un projet aussi innovant et enrichissant. Cette expérience constitue une étape très

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

importante dans mon parcours professionnel. Elle m'a permis de mettre en pratique les connaissances acquises durant ma formation tout en découvrant des technologies innovantes utilisées dans un environnement industriel réel. Enfin, ce projet démontre le potentiel considérable de la robotique autonome dans l'industrie moderne, aussi bien pour la maintenance prédictive que pour la sécurité et la surveillance des installations.

8.2 Le futur

Les prochaines étapes du projet viseront principalement à renforcer les capacités d'analyse et d'autonomie du robot Spot au sein de Safran Blades.

L'une des évolutions les plus importantes concernera l'intégration d'une carte graphique dédiée (GPU) afin d'améliorer les performances liées à l'intelligence artificielle. Cette évolution permettra au robot d'exécuter des analyses avancées de vision par ordinateur nécessitant une puissance de calcul plus importante. Spot pourra alors traiter de manière fiable différentes tâches basées sur l'IA, telles que la vérification de la bonne fermeture des portes et des fenêtres, la détection de la présence et du bon positionnement des extincteurs ou encore l'identification d'équipements de sécurité manquants ou déplacés.

Par ailleurs, l'autonomie du robot continuera d'évoluer dans les prochains mois grâce à l'avancement du projet lié aux volets motorisés. À l'heure actuelle, Spot est déjà capable d'ouvrir certains volets de manière autonome, mais l'ensemble des accès n'est pas encore totalement opérationnel en raison de retards et de configurations encore en cours du côté des automaticiens. Une fois ces travaux finalisés, le robot devrait être capable d'ouvrir l'ensemble des volets nécessaires à ses déplacements, ce qui renforcera considérablement son autonomie sur le site industriel. L'objectif est que cette partie soit pleinement fonctionnelle avant les vacances d'été.

Concernant la sûreté du site, le projet n'est également pas encore totalement finalisé. Bien que Spot réalise déjà des rondes nocturnes et soit capable d'envoyer des alertes accompagnées d'images, les équipes de G4S n'utilisent pas encore directement les caméras du robot pour assurer la surveillance complète du site. Actuellement, les agents doivent toujours se déplacer physiquement sur place, notamment parce que Spot ne peut pas encore accéder de manière totalement autonome à toutes les zones nécessitant l'ouverture des différents volets. Une fois cette problématique résolue, l'objectif sera de permettre une exploitation complète des flux vidéo du robot par le centre de sécurité afin d'améliorer encore davantage la surveillance du site et d'optimiser les interventions.

Enfin, l'intégration de Spot dans l'écosystème industriel continuera d'être renforcée grâce à son interfaçage avec la GMAO. À terme, le robot pourra générer automatiquement des demandes d'intervention dès la détection d'une anomalie, permettant une prise en charge plus rapide par les équipes techniques. Cette

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

automatisation contribuera à améliorer la réactivité de la maintenance, à limiter les arrêts de production et à optimiser le suivi des équipements.

9 Bibliographie

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Boston Dynamics. (2025). Spot® robot (Consulté le 5 février 2026).

Adresse URL : https://bostondynamics.com/products/spot/

Boston Dynamics. (2025). Orbit (Consulté le 8 février 2026).

Adresse URL : https://bostondynamics.com/products/orbit/

Boston Dynamics. (2025). Spot CAM+. Consulté le 12 février 2026).

Adresse URL : https://bostondynamics.com/products/spot-cam-plus/

Safran. (2025). Safran Blades. (Consulté le 15 février 2026).

Adresse URL : https://www.safran-group.com

Safran. (2025). Safran Aero Boosters. (Consulté le 20 février 2026).

Adresse URL : https://www.safran-group.com

NASA. (2025). Beginners Guide to Propulsion. (Consulté le 25 février 2026).

Adresse URL : https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/

Microsoft. (2025). C’est quoi l’industrie 4.0? (Consulté le 3 mars 2026).

Adresse URL : https://azure.microsoft.com

IBM. (2025). C’est quoi la maintenance prédictive ? (Consulté le 10 mars 2026).

Adresse URL : https://www.ibm.com/topics/predictive-maintenance

Amazon Web Services. (2025). What is Industrial IoT (IIoT)? (Consulté le 15 mars 2026).

Adresse URL : https://aws.amazon.com/what-is/iot/

Teledyne FLIR. (2025). Caméra thermique. (Consulté le 22 mars 2026).

Ce document et les informations qu’il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Adresse URL : https://www.flir.com

UE Systems. (2025). Air leak detection using ultrasound. (Consulté le 29 mars 2026).

Adresse URL : https://www.uesystems.com

NVIDIA. (2025). NVIDIA Jetson Platform. Consulté le 5 avril 2026, sur

Adresse URL : https://www.nvidia.com

Cisco. (2025). Wi-Fi standards explication. (Consulté le 12 avril 2026).

Adresse URL : https://www.cisco.com

Wallonie Entreprendre. (2025). Investissements industriels en Wallonie. (Consulté le 20 février 2026).

Adresse URL : https://www.wallonie-entreprendre.be

10 Tables des illustrations

Figure 1 : Safran Blades et SAB 6
Figure 2 : représentation de Safran Blades 6

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 3 : organisation du département 7
Figure 4 : moteur avion 8
Figure 5 : représentation d'une aube 8
Figure 6 : représentation des aubes dans un moteur 9
Figure 7 : logo de boston dynamics 13
Figure 8 : représentation Spot 13
Figure 9 : moteur Spot 14
Figure 10 : équipements du robot 14
Figure 11 : caméra PTZ + thermique 17
Figure 12 : processus d'une analyse thermique 18
Figure 13 : SV600 18
Figure 14 : Orbit 19
Figure 15 : menu principale de l'admin consol 20
Figure 16 : paramètre Orbit 20
Figure 17: représentation de la tablette 21
Figure 18 : structure du réseau d'entreprise 23
Figure 19 : changement de mode 24
Figure 20 : Network setup 25
Figure 21: changement de mode de client à access point 25
Figure 22 : tablette drive 26
Figure 23 : un fiducial 26
Figure 24 logo levatas 27
Figure 25 : configuration d'un modèle de jauge 27
Figure 26 : parcours Orbit 29
Figure 27 analyses orbit 29
Figure 28 : exemple d'analyse 29
Figure 29 : éditeur map 30
Figure 30 : ajouter une mission 30
Figure 31: placement du dock dans la mission 31
Figure 32 : placement d'analyses dans la mission 31
Figure 33 : entrer et sortie des analyse 32
Figure 34 : busbars 33
Figure 35 : aérotherme 34
Figure 36 : alimentation d'air 34
Figure 37 : semaine 1 de la fiabilité des missions 37
Figure 38 : semaine 2 de la fiabilité des missions 37
Figure 39 semaine 3 de la fiabilité des missions 38
Figure 40 : le succès des missions 38
Figure 41 armoir d'un volet motorisé 39
Figure 42 : réseau du N8N pour le robot 40
Figure 43 : zone éscalier 41

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 44 : zones volets motorisés 42
Figure 45 : zones passages piétons 42
Figure 46 : mission de sureté 43
Figure 47: configuration d'une mission de sureté 44
Figure 48 : suite de la configuration d'une mission de sureté 45
Figure 49 : fin de configuration d'une mission de sureté 45
Figure 50 : élaboration d'un planning pour le robot 46
Figure 51 : élaboration du planning dans Orbit 47
Figure 52 : repérage des points faibles 48
Figure 53 : création d'analyses sur la Z1000 49
Figure 54 : problèmes sur la Z1000 49
Figure 55 : repérage des analyses utiles hors des cellules 50
Figure 56 : site view 51
Figure 57 : création d'une action sur Orbit 51
Figure 58 : confirmation de la création d'une analyse sur Orbit 52
Figure 59 : analyse supplémentaire sur Orbit 52
Figure 60 : view de la tablette 53
Figure 61 : les différentes analyses possibles sur la tablette 54
Figure 62 : internal storage 55
Figure 63 : document de la tablette 55
Figure 64 : autowalks 56
Figure 65 : upload mission de la tablette vers Orbit 56
Figure 66 : analyse thermique 57
Figure 67 : analyse acoustique 58
Figure 68 : paramètrage d'une jauge 59
Figure 69 : suite du paramètrage d'une jauge 59
Figure 70 : view inspection 60
Figure 71 : liste des inspections 61
Figure 72 : historique d'une inspection 62
Figure 73 : semaine 1 des jauges 66
Figure 74 : présence de tuyaux devant des manomètres 67
Figure 75 : solutions des tuyaux qui gênaient 67
Figure 76 : solutions des problèmes liées aux jauges 68
Figure 77 : semaine 2 des jauges 68
Figure 78 : semaine 3 des jauges 69
Figure 79 : anomalie thermique 70
Figure 80 : anomalie acoustique 70
Figure 81 : anomalie de sureté 71
Figure 82 : anomalie d'analyse de jauge 71
Figure 83 : accumulation de fausse anomalie 72
Figure 84 : anomalie acoustique sur un CNC 73

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades

Figure 85 : placement de ROIS pour les analyses 73
Figure 86 : une étiquette d'identification 74
Figure 87 : code d'équipement des analyses 75
Figure 88 : l'absence du code d'équipement 75
Figure 89 : map editor 76
Figure 90 : les analyses 76
Figure 91 : recherche d'une analyse 77
Figure 92 : présence d'un code d'équipement 77
Figure 93 : menu principale de la GMAO 78
Figure 94 : un brady M610 79
Figure 95 : les types d'étiquettes 80
Figure 96 : caractéristique utile 80
Figure 97 : bon placement des caractéristiques 81
Figure 98 : impression des étiquettes 82
Figure 99 : les DI à traiter 83
Figure 100 : l'ajout d'une DI 83
Figure 101 : configuration de la nouvelle DI 84

Ce document et les informations qu'il contient ne doivent être copiés ni communiqués à un tiers sans autorisation préalable et écrite de Safran Blades