

Destinataire : CIDN-NAE
Objectif : Rapport étude final drone RFID



Date, 16/12/2021
A Caen

22 Rue du Petit Clos Saint Marc
14 000 – Caen
06 66 19 02 49
y.allaman@dae-system.fr

Détection RFID par drone

Rapport d'étude final

Suivi du document :

	Nom	Entité	Poste	Date
Rédigé par :	Yoan ALLAMAN	DAE System	CEO & CTO	16/12/2021
Validé par :				

Liste de diffusion éventuelle du document :

Nom ou Service	Société	Type d'envoi (papier ou électronique)	Nombre d'exemplaires
ADMINISTRATION	NAE	Electronique .pdf	1

Table des matières

I. RAPPEL DU CONTEXTE	5
II. PORTÉE DE L'ÉTUDE	5
III. APPROCHE UTILISÉE	6
IV. PRINCIPE PHYSIQUE UTILISÉ	10
V. LA CAMPAGNE DE TESTS	16
VI. CRÉATION D'UN OUTIL COMPLEMENTAIRE	38
VII. CONCLUSION DE L'ÉTUDE	40
LISTE DES FIGURES	44
ANNEXE	45
1. Architecture mécatronique	45
2. Synthèse démarches réglementaires	47
3. Autonomie théorique – Drone DJI M210 V2	48
4. Essais en vol – Cas badge autour du cou	48
5. Essais en vol – Cas badge caché poteau/végétation	50
6. Essais en vol – Cas badge enceinte plastique/Acier	51
7. Essais en vol – Cas badge dans un véhicule	52
8. Essais en vol – Cas badge dans un arbre	53
9. Essais en vol – Cas badge caché sous un bâtiment	54

But de la démarche

Le CIDN souhaite évaluer la faisabilité de nouveaux usages innovants autour de l'utilisation de drones aériens. La présente étude doit servir à identifier des verrous technologiques permettant l'émergence de projets spécifiques mais aussi et surtout de pouvoir sensibiliser largement sur la maturité et la faisabilité de telles solutions.

- **But du rapport** : Capitaliser sur les moyens de tests, sur l'organisation et le fond des méthodes. Il permet également de déterminer les prochaines actions à mettre en œuvre et de souligner les bonnes pratiques. Dans ce cas précis, le bilan de test permettra de mettre en évidence les prérequis nécessaires pour un potentiel déploiement du système, par exemple, sous forme de prestation de service.

GLOSSAIRE

- **CIDN** = Centre d'Innovation Drone Normandie
- **DGAC** = Direction Générale de l'Aviation Civile
- **DSAC** = Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile
- **Beta testeur** = Système technique complet adapté pour la présente étude
- **Dispositif conventionnel** = Dispositifs matures utilisés actuellement
- **Brique technologique** = Capteurs/dispositifs embarqués sur drone en fonction des missions (Ici Caméra et RFID)
- **RFID « Radio Frequency Identification »** = Dispositif d'indentification électronique non visuel muni de :
 - ✓ Lecteur et son antenne embarquée sur un drone
 - ✓ Badges d'identification (Cibles) pré-programmables
- **Cible** = Support matériel ou immatériel des badges RFID à identifier lors des rondes par drone
- **UAS** = Unmanned Aircraft System

CONFIDENTIALITÉ

Cette proposition contient des informations réservées au « Client » et au personnel de la SAS DAE SYSTEM qui ont un besoin opérationnel de telles informations. Cette proposition ne doit pas être citée ou mise à la disposition de personnes extérieures au CIDN (« Client »), NAE (« Client ») ou DAE SYSTEM sans l'approbation préalable de DAE SYSTEM. L'ensemble des personnes morales citées seront désignées par la suite comme («Parties»).

I. RAPPEL DU CONTEXTE

DAE SYSTEM est une société normande spécialisée dans l'adaptation et l'exploitation de drones professionnels pour réaliser des missions de prévention et de collecte de mesures scientifiques pour des sites sensibles et logistiques.

L'adaptation est réalisée à travers de la fabrication, l'intégration et l'exploitation de « briques technologiques » sur-mesure couplées à de l'imagerie aérienne pour proposer de nouveaux services par drone(s) plus performants et simples d'utilisation.

Plus particulièrement, l'équipe *projet DROSS (DROne Safety and Security) by DAE System* développe un système de détection d'anomalies spécifiques par drone.

L'étude sera axée sur l'évaluation des limites opérationnelles d'un système RFID dans le cadre d'une lutte contre les intrusions dans des surfaces extérieurs délimités.

Nous profiterons également de ce cadre d'étude pour identifier et confronter d'autres systèmes de capteurs communicants qui pourraient répondre à l'attente, à partir des résultats obtenus avec le support drone et les moyens aéroterrestres.

II. PORTÉE DE L'ÉTUDE

DAE System s'était engagé à fournir dans le cadre de cette proposition 2 livrables clés :

No	DATE	LIVRABLE	DESCRIPTION
1	17.Juin.2021 - 17.Sept.2021	COMPTE RENDU MENSUEL DES ESSAIS DE TERRAIN	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Moyen technologique fonctionnel</u> ➤ <u>Essais terrain scénarisés :</u> Espace naturel privé de 1,5 hectares + Aérodrome Berre-La Fare
2	18.Oct.2021	RAPPORT FINAL PRECONISATION	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mise en avant des performances et typologie de solution à préconiser pour des cas d'intrusion prédéfinis (RFID ou autre alternative de capteur communicant) pour une suite basée sur les résultats.

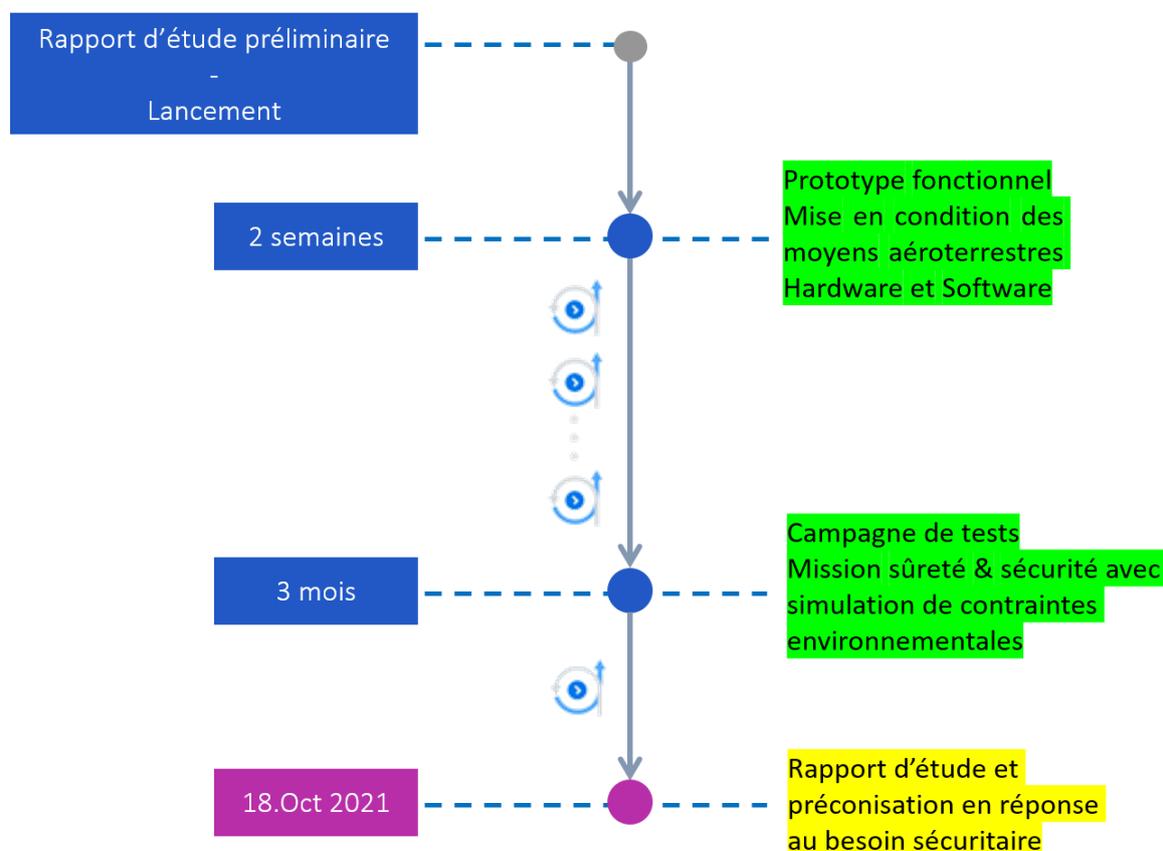
Il est important de décrire ce qui n'était pas inclu dans le champ d'application de cette proposition :

- Développement pratique d'une solution commercialisable et dédiée au cas d'usage,
- Mise en œuvre pratique d'un autre système communicant que la RFID,
- Etude d'une autre technologie communicante que la RFID.

Ce projet demandait les deux expertises de l'entreprise : l'expertise mécatronique - systèmes embarqués et l'expertise aéronautique.

Les moyens utilisés se sont basés sur la technologie du projet DROSS avec des adaptations techniques pour faciliter et étendre la prise de mesure sur le terrain. Détaillé succinctement dans la partie « APPROCHE UTILISÉE » du présent rapport final, le beta testeur a été validé au préalable suite à la lecture du « *rapport d'étude préliminaire* » pour

assurer l'alignement entre les parties. Aussi, rappelons les principales phases de l'étude :



Timeline synthétisée de l'étude

III. APPROCHE UTILISÉE

Les capteurs présents sur les drones peuvent être utilisés pour effectuer des prises de mesures de pression atmosphérique, détection et évitement de collision, navigation du drone, acquisition de données, détection de mouvement, surveillance de l'alimentation,... . Alors que la technologie des systèmes aériens sans pilote (UAS), ou drones, continue de s'améliorer, l'application de ces dispositifs hautement polyvalents s'est étendue à presque toutes les industries.

Par exemple, l'utilisation de drones a déjà fait ses preuves dans l'arpentage et la cartographie de grandes zones; l'inspection d'un nombre d'industries différentes; y compris les parcs solaires et les centrales énergétiques; l'acquisition 360° d'images panoramiques pour la publicité; l'immobilier et la construction; la surveillance des plantes et la conservation de la faune et bien plus encore.

De manière générale, il nous semble important de connaître l'état de *l'industrie des capteurs de drones* afin d'anticiper les potentiels verrous identifiés par les précurseurs.

La situation en 2020 est à un stade de croissance après une période de développement. Avec l'amélioration continue de la technologie et de l'économie, le marché ne cesse de se développer. Cependant, la concentration du marché reste modérée avec une part des trois premières entreprises en 2019 de 27,31%.

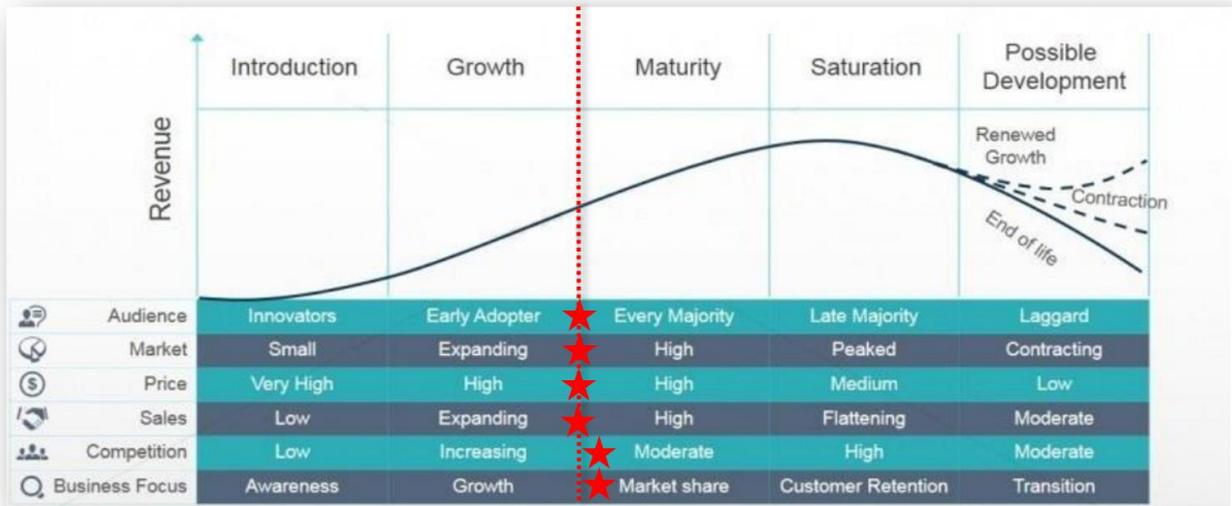


Fig. 01 : Maturité & Stratégie au niveau mondial (Source : « Global Drone Sensor Industry Market Research Report » by Maia Research services)

Du côté de l'Europe, le marché sur l'industrie des capteurs de drones est important : Parmi les 500 plus grandes entreprises mesurées par le chiffre d'affaires, 184 ont leur siège en Europe. Le tableau suivant propose un bref résumé de la situation du marché sur l'industrie des capteurs de drones en 2020 :

Légende :

- SWOT Europe
- Afrique Milieu EST

Forces

- + Chaîne industrielle des capteurs de drones bien établie;
- + Facteurs supplémentaires liés à la croissance du marché comprennent l'expansion de l'urbanisation, l'augmentation des produits jetables revenus dans les économies émergentes;
- + L'Europe a une bonne base industrielle.

Faiblesses

- La taille du marché est inégale entre l'Europe de l'Est et Europe de l'Ouest;
- Industrie extrêmement compétitive. Les fournisseurs peuvent adopter des stratégies telles que les primes de prix pour rester compétitives sur le marché, ce qui a finalement un impact sur les marges et volumes de ventes.

Menaces

- La réglementation a posé des défis qui se libèrent avec les nouvelles notions de catégories dites « ouvertes »;
- Concurrence par les prix des produits bas de gamme dans des pays comme la Chine.

Opportunités

- + Les entreprises européennes continuent de développer de nouveaux produits (Ex : Aides à l'innovation avec Horizon Europe);
- + L'importance de la technologie comme source d'innovation a été identifiée comme un facteur de succès essentiel pour une compétitivité accrue sur le marché.

Forces

- + Les économies émergentes du Moyen-Orient et d'Afrique offrent des opportunités intéressantes aux entreprises mondiales pour développer le commerce de détail et la distribution;
- + Les consommateurs se sont également tournés vers les produits de luxe et au commerce en ligne, démontrant le potentiel de croissance de la région.

Faiblesses

- Les niveaux technologiques et économiques sont relativement faibles. Certains se focalisent sur le bas de gamme;
- Dans certaines régions, le secteur de la logistique est sous-développé ce qui donne des défis.

Menaces

- Les produits bas de gamme ne sont pas propices au long terme;
- Le Moyen-Orient et les pays africains ont des infrastructures et des chaînes d'approvisionnement immatures.

Opportunités

- + De plus en plus de fabricants de l'industrie commencent à établir des bureaux de vente régionaux au Moyen-Orient et en Afrique;
- + Un marché de production potentiel en raison du faible coût de la main-d'œuvre.

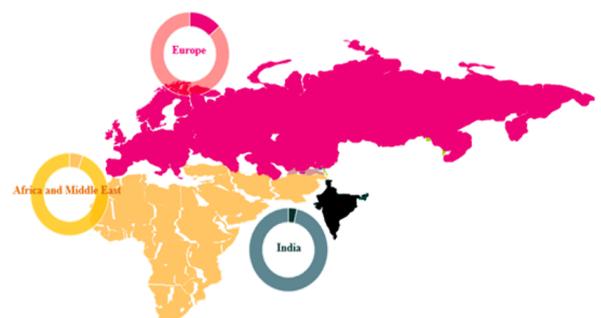


Fig. 02: Source: DAE SYSTEM© market studies / Inspiration: « Global Drone Sensor Industry Market Research Report » by Maia Research services)

Vis-à-vis de la multitude des moyens technologiques disponibles, la plus-value d'une solution repose majoritairement sur sa cohérence avec les exigences terrain et attentes clients. Dans une optique de sûreté & sécurisation de sites sensibles, nous présentons ci-dessous notre diagramme de contrainte basé sur nos données client et sur notre étude de cas. Nous considérerons les différents points comme des drivers de solution et comme des éléments de tests pour évaluer la faisabilité opératoire d'un tel système :

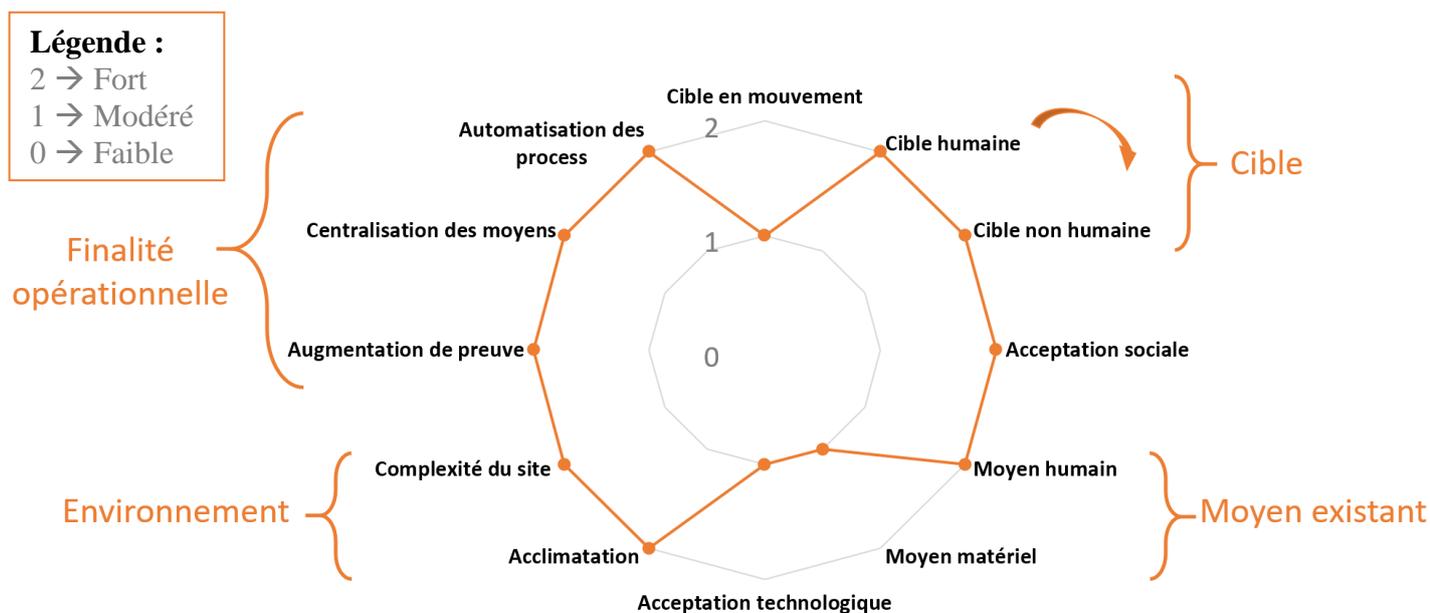


Fig. 03 : Diagramme de contrainte client DAE System© : Mission de sûreté et sécurité périmétrique

Détail des drivers :

- **Cible** : Référence à un suivi de cible en mouvement/statique, Humaine (Contrôle/Gestion de flux (Habilitation), vérification d'identité et aspect véridique), Non humaine (Container, animaux, transport, Contrôle/Gestion de flux (Entrée/sortie, stockage/surveillance de marchandise)) ;
- **Acceptation sociale** : Référence à comment la cible est suivie (Détection, Identification ou authentification?) ;
- **Présence de moyen** : Complexité organisationnelle de corrélation avec l'existant (Complexité d'intégration, complémentarité applicative non compatible,...) ;
- **Acceptation technologique** : Solution imposante, intrusive, nouvelle et donc non maîtrisée/Manque de compétence par le client et ses salariés;
- **Environnement client** : Référence aux conditions météorologiques, complexité du site (Obstacle structurel/naturel, Interférence hertzienne, Couverture d'intervention plus ou moins étendue)
- **Finalité de la mission** : Référence à l'augmentation des preuves (Exposition humaine limitée avec des interventions qui « valent la peine », rassurer la prise de décision), centralisation des moyens (Optimiser les moyens, Gestion des alertes et prise de décision à distance, intervention guidée et fluidifiée) et l'automatisation des process (Scalabilité du service par la prise d'expérience)).

Ainsi, le diagramme de contrainte permet de distinguer rapidement que l'ajout d'un tel moyen de prévention contre des phénomènes anormaux en extérieur sur sites sensibles délimités nécessite une combinaison logistique et technique avec les moyens conventionnels (Driver « Acceptation technologique » et « Moyen existant ») pour authentifier des cibles multiples et variés (Driver « Cible ») de manière efficace et automatisée (Driver « Finalité opérationnelle » attendue in fine).

Il suit alors des critères de succès opérationnels qu'une solution de sûreté et sécurisation par drone se doit d'apporter :

Réduire fortement :

- Les brèches sur sites (Pallier aux angles morts des moyens conventionnels),
- Les doutes (Aléas humain, manque de preuves pour agir),
- L'utilisation des moyens (Exposition des personnes et biens engagés dans les missions).

Augmenter :

- Le rayon d'action des services dédiés.

Enjeux de l'étude résultants des éléments d'informations cités précédemment :

- Evaluer le taux de détection d'un système RFID longue portée embarqué sur un drone en extérieur : **Fiabilité du système choisi,**
- Interpréter les résultats en fonction des finalités sécuritaires : **Parcours de vol optimisé pour une mission fiable,**
- **Valider un intérêt et/ou préconiser des alternatives basées sur les solutions communicantes couplées à de l'imagerie aérienne.**

Il en ressort seulement 3 verrous majeurs à considérer et à transformer en levier :

- **Verrous Règlementaires** : Utiliser la maturité technologique et la conformité réglementaire des drones du marché pour favoriser l'implantation de ce nouveau service par les métiers de la Sûreté & Sécurité. Permet de se concentrer sur une stratégie opérationnelle adéquate (Vol Automatique et/ou Semi-Automatique).
- **Verrous Environnementaux** : Mesurer la précision des données collectées avec des contraintes terrain identifiées (Aléas météorologiques, Obstacles/Manœuvres restreintes, Evolutivité du quotidien/Fréquentation, ...)
- **Verrous Technologiques** : Evaluer les limites d'un tel système au sol et proposer un Interface Homme-Machine qui permettra d'analyser à distance les données récoltées pendant un vol en condition, Exploiter les retours d'expériences du terrain pour optimiser et proposer des moyens adaptés au cas d'usage de protection périmétrique.

Dans cette optique d'amélioration continue des pratiques par la maîtrise des risques, nous utiliserons ces 3 verrous principaux pour structurer ce retour d'expérience via un bilan des apports, contraintes et limites d'un drone à RFID active.

IV. PRINCIPE PHYSIQUE UTILISÉ

1. Le système communicant

Aujourd'hui, l'imagerie est majoritairement utilisée pour effectuer des missions d'inspection et surveillance. Cependant, nous constatons une ouverture vers de nouveaux moyens, jusque-là inexploitable avec les drones pour acquérir des données (capteurs).

Fondamentalement, nous cherchons à trouver un compromis entre la bande passante, la portée, la puissance et le coût. Nous retrouvons également, dans la plupart des moyens, une ou plusieurs passerelles afin de récolter, transmettre et centraliser des données provenant de capteurs terrain nommées « end nodes ».

Pour certains protocoles (NB-IOT, LTE-M), le prix de la passerelle est trop élevé voir irréaliste à tester par des particuliers ou entreprises naissantes.

Dans une optique de comparaison et de mise en lumière des différents moyens de communication sans fil pour les systèmes embarqués, nous proposons une synthèse qui permet d'effectuer le bon choix technologique en fonction du besoin :

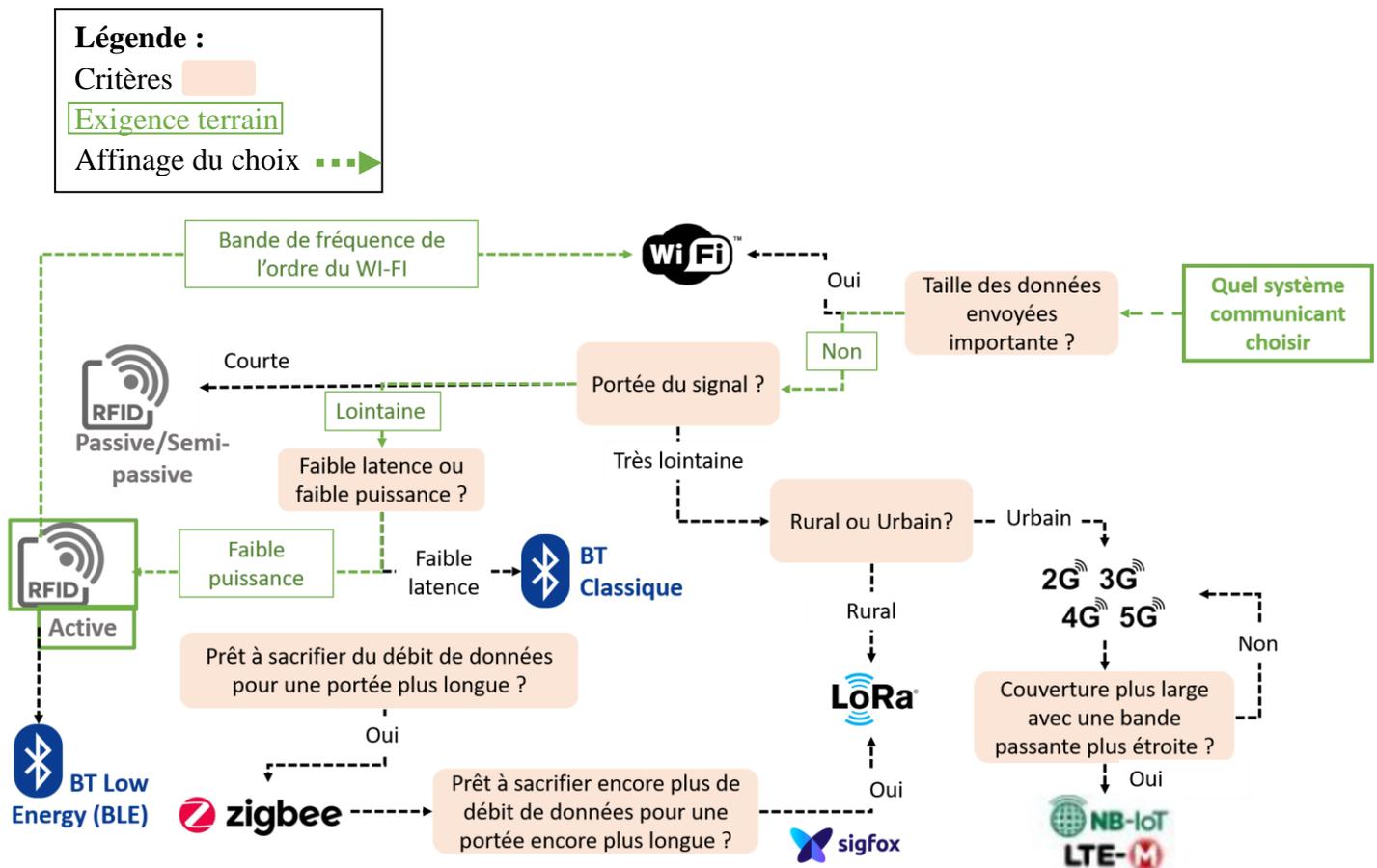


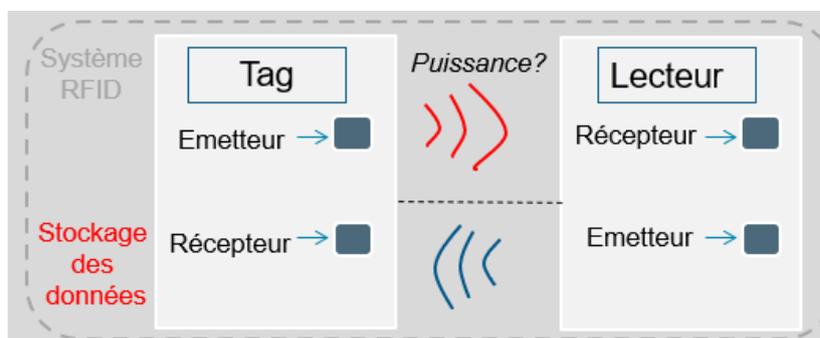
Fig. 04 : Diagramme de choix DAE System© : Système communicant



Là où les méthodes d'identification optiques ne suffisent plus, la RFID peut apporter une complémentarité significative.

L'identification par la RFID ouvre une nouvelle approche de la gestion de l'information et de l'amélioration de la productivité. L'entreprise dans sa globalité est concernée par la mise en place de cette nouvelle solution : de l'opérateur à la direction industrielle (gestion de production aux services organisationnels et sécuritaires).

Dans une optique de captation de données pour une interprétation de résultats, une couche logicielle (middleware) sera nécessaire pour interfacier les données récoltées par détection issues des badges actifs avec un système de traitement et d'analyse visuelle de données. La dimension du projet, l'environnement de travail, la quantité de données à traiter, la nécessité de piloter les données de manière centralisée sont autant de critères à prendre en compte.



0 : Principe de télécommunication bidirectionnelle d'un système RFID (DAE System©)

De manière pratique, nous allons positionner des *badges RFID actifs* sur divers supports terrain afin d'évaluer leur impact sur la qualité d'échange des données au passage d'un drone.

Il est important de noter qu'un système RFID représente seulement la partie stockée des données à transmettre. Une puce embarquée qui contient les informations récoltées par un ou des capteur(s) spécifique(s) couplés. Des données préprogrammables peuvent également être enregistrées afin de dédier le badge à un bien ou personne en toute autonomie.

Afin d'être en mesure de tester convenablement la faisabilité d'un système drone RFID, nous avons établi et utilisé les spécifications techniques suivantes pour l'étude :

-	+	++
Non adapté	Réglable	Idéal

CONTRAINTES TECHNIQUES REQUISES		SYSTÈME RFID CHOISI
<i>Impact sur batteries et durée de vol</i>	Consommation	+
<ul style="list-style-type: none"> • Contrainte de l'embarqué sur drone (Essentiellement : Taille et masse) • Contrainte supports des badges (Format carte) 	Encombrement	+
<i>Exigence terrain : Contrainte de portée, directivité RF, préprogrammation des badges, API de réglage et de test de communication des données</i>	Configuration	++
<i>Durée avant changement de la pile intégrée en fonction de la période d'émission cyclique</i>	Autonomie des badges	++
<i>Accessibilité des badges et lecteurs pour maintenance personnelle (Ex : Changement pile des badges actifs)</i>	Maintenance	++
<i>Lecteur + antenne (Déportée ou non) + badges actifs + software de configuration</i>	Coût package RFID actif	+

Fig. 06 : Exigence terrain DAE System© : Système RFID actif

2. Le drone aérien

Au-delà de la partie contrainte pour la charge utile, nous avons identifié des attentes opérationnelles vis-à-vis du drone :

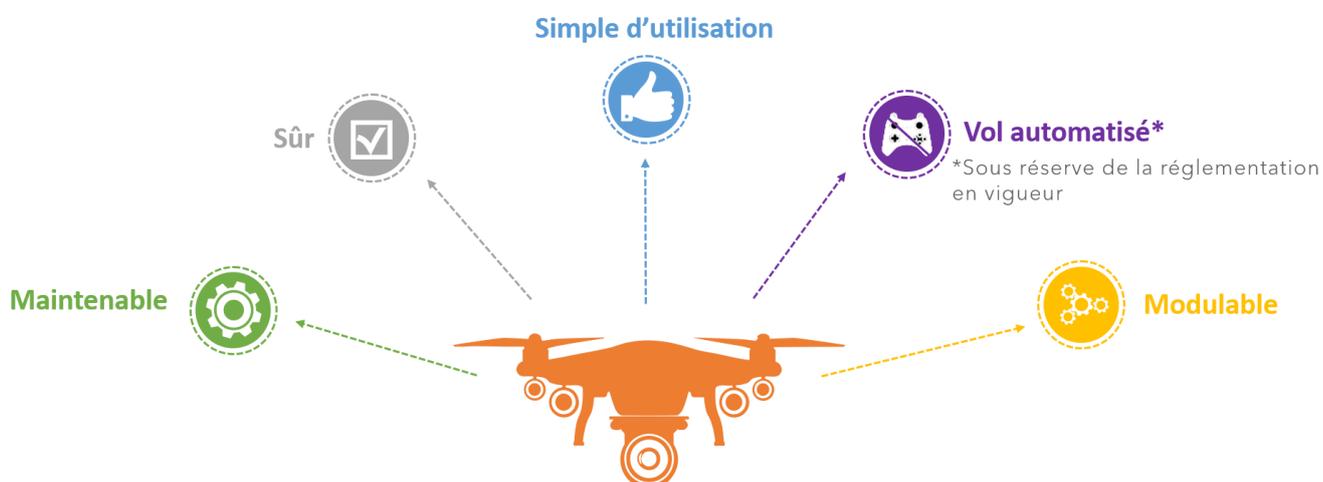


Fig. 07 : Exigence terrain DAE System© : Drone aérien

De manière générale, le fait d'exploiter la maturité des drones du commerce offre souvent

un gain de temps non négligeable sous réserve que l'on y trouve réponse à notre besoin. Ainsi, dans le cadre de cette étude, le développement d'un drone spécifique aurait été inadapté et nous avons privilégié l'utilisation de drones « prêts à voler ».

Si nous extrapolons la réflexion sur des projets drone pour des sites sensibles, les restrictions réglementaires régies par la DGAC, la DSAC et les instances responsables des sites nous imposent l'utilisation de supports aériens homologués pour des scénarios de vols à proximité de zones peuplées (Conformément à la réglementation et aux nouveaux arrêtés drones en France). D'ailleurs, si nous reprenons les drivers énumérés dans la partie « [Approche utilisée](#) », la complexité des sites imposera souvent un parcours de vol particulier à la fois pour des raisons de sécurité que pour des raisons d'intrusivité afin de ne pas perturber le quotidien du site. Par conséquent, tous ces éléments ont favorisé le choix d'un vecteur déjà commercialisé pour consacrer cette courte période à l'étude elle-même.

En ce sens, nous constatons que l'univers des aérodynes est vaste. Les contraintes de temps, de moyens et les compétences disponibles orientent naturellement la réflexion sur des drones professionnels ou semi-professionnels du marché. De plus, la maniabilité du support aérien sera cruciale pour positionner le drone à divers points stratégiques en stationnaire et évaluer les limites spatiales du système embarqué. Nous avons donc choisi d'écartier les drones à voilure fixe pour ces raisons.

Ainsi, un comparatif de tous les constructeurs de drone serait inadapté. C'est pourquoi nous avons sélectionné 5 principaux constructeurs de drones multirotors qui peuvent offrir des solutions aériennes capables de répondre au mieux à nos exigences :

CRITERE		DJI	MMC UAV	YUNEEC	SONY (Pas encore commercialisé)	HEXADRONE
		Mauvais	Faible	Bien	Excellent	
Comparatif des meilleurs drones de chaque constructeur choisi pour notre cas d'usage	Illustration	Matrice series (M300 RTK) 	Notuzi X85 	Yuneec Typhoon H+ Real Sense 	Airspeak 	Tundra 
	Modularité	++	+	-	+	++
<ul style="list-style-type: none"> - « Open innovation », - Capacité d'emport de charge utile > 1,5kg, - Intégration de minimum 2 payloads : Capteur tiers + caméra pour drone. - Commutation manuelle des fréquences de communication 	Autonomie	++	+	--	--	+
	Performances	++	+	-	N/A	+
<ul style="list-style-type: none"> - Avec charge utile maximale (Dans un cadre d'étude et de prototypage : Système embaqué lourd), - Autonomie > 30min 	Prise en main	++	+	-	(Prometteur si ajout d'un mobile sdk personnalisable)	-
	Autre	-	+	++	-	-
Préconisation DAE SYSTEM		OUI	OUI <i>Sous condition de vol idéale</i>	NON	NON	NON

Fig. 08 : Matrice de choix DAE System© : Drone aérien

Coût d'achat* : Les drones seuls coûtent généralement moins de 10 k€. Ce sont les assurances, homologations, options d'équipement, payload et transports qui rendent le produit onéreux.

Concernant la dernière ligne, celle-ci regroupe des critères de choix qui peuvent également se révéler déterminants dans la démarche d'implémentation d'un drone de manière permanente chez un client.

Par ailleurs, nous estimons que les résultats de la campagne de test optimiseront le plan de vol et minimiseront l'utilisation des performances du drone pour assurer la collecte de donnée pendant une ronde. Ainsi, les notions de vitesse de vol, de temps de recharge des batteries, de hauteur et d'altitude de vol (notions souvent confondues) ou de portée de communication entre le drone et le télépilote ne sont pas des critères pris en compte ici dans la mesure où l'ensemble des drones énumérés offrent des performances de vol supérieures au besoin opératoire.

3. La chaîne complète de test

Concernant la chaîne de valeur prévue initialement pour l'étude, nous avons ajouté des briques technologiques conçues spécialement lors de la phase de test, suite aux premiers retours du terrain :



- Drone DJI Matrix series 210 V2,
- Caméras DJI XT2
- Communication fiable (Chiffrement AES-256),
- Possibilité d'embarqué plusieurs capteurs spécifiques
- Détection d'obstacle / évolutif,
- Homologué ancien S1-S2-S3.

- Lecteur RFID longue portée de fréquence 2.4GHz
- Antenne omni et **directionnelle**,
- Lecture de tags actifs (ID unique).
- **Housses protectrices sur-mesure**

- Plateforme centralisée/Station sol:
- Collecte de données provenant du drone
 - Retour vidéo drone/Appui visuel
 - Données de vol
 - Statut des badges RFID et lecteurs détectés,
 - Fonction d'exportation des diverses données collectées **enrichie**
 - **Outil de « reporting » clé en main et local**

Fig. 09 : Technologies DAE System© utilisés pour l'étude

Nous avons choisi d'utiliser le drone de chez DJI matrix series 210 V2 qui suffisait largement pour cette phase d'étude de faisabilité.

Cette initiative constitue l'opportunité d'adapter la solution complète DAE SYSTEM et de confronter notre solution technique au terrain avec des résultats concrets. Ces résultats seront présentés ultérieurement dans ce rapport avec les axes d'amélioration envisagées et suites identifiées.

De plus vous trouverez en [Annexe 1](#) l'architecture mécatronique du système testé au travers d'une représentation schématique des liens entre les différents composants et les critères de succès « en jaune » qui reprennent les principales contraintes techniques requises ([cf. p.12](#)).

Côté embarqué, le lecteur RFID est positionné sur le dessus du drone avec la partie électronique placée sous le Gimbal II. La caméra est positionnée sous le Gimbal I.

V. LA CAMPAGNE DE TESTS

Rappel des axes d'étude :

- Campagne de tests à échelle réelle: Identifier de manière pratique les limites de la RFID active couplée à un drone aérien en scénario réel extérieur,
- Profiter de ce cadre d'étude pour identifier et confronter théoriquement d'autres systèmes de capteurs communicants qui pourraient répondre à l'attente

Semaines	Planning des essais	Zone d'essais	Vols	Météo
Début 1 semaine plus tôt	<ul style="list-style-type: none"> Essais des limites du système complet drone RFID au sol Configuration des badges sur terrain Validation de l'IHM « DrossAPP » 	Parcelle viticole délimitée – La Ciotat Alt 200m	N/A	
2	<ul style="list-style-type: none"> Essais des limites du système complet drone RFID en vol Essais des flux vidéo + tests RFID embarquée + Calibration du vecteur (IMU) avec les charges utiles embarquées Essais des performances (maniabilité & Autonomie) 	Parcelle viticole délimitée – La Ciotat Alt 200m	6 vols 102 min	
3	<p>Essais des limites du système complet drone RFID en vol :</p> <p>Essais scénarisés (2 terrains en extérieur) AVEC limites du système complet drone RFID en vol</p>	Parcelle viticole délimitée – La Ciotat Alt 200m Aérodrome/Site sensible CTR – La Fare Alt 33m	11 vols 180 min	
4	<p>Essais des limites du système complet drone RFID en vol :</p> <p>Essais scénarisés (2 terrains en extérieur) AVEC limites du système complet drone RFID en vol</p>	Parcelle viticole délimitée – La Ciotat Alt 200m Aérodrome/Site sensible CTR – La Fare Alt 33m	15 vols 260 min	
5	<ul style="list-style-type: none"> Rebouclage technique grâce au REX terrain Adaptation de l'application DROSS pour faciliter le post-traitement des données collectées 	N/A	N/A	N/A
6	Création d'un outil informatique de « reporting » clé en main et local pour le traitement automatique des données électroniques issues de la mission drone. Génération d'un rapport de mission automatique sur la base d'un modèle équivalent au rapport d'étude.	N/A	N/A	N/A

Fig. 10 : Tableau de gestion des essais 1/2

7-12 SEMAINES	Planning des essais	Zone d'essais	Vols	Météo
7	Intégration d'une nouvelle antenne directionnelle	N/A	N/A	N/A
8 Retard : Recherche d'un terrain 9	RFID - Antenne directionnelle : Essais des limites du système complet drone RFID au sol	Parcelle viticole délimitée – La Ciotat Alt 200m	N/A	
	Mise en œuvre d'un moyen technique pour réaliser des vols expérimentaux en condition météo défavorable (Bruine, pluie légère, salinité/poussière...)	N/A	N/A	N/A
10	Mise en œuvre d'un moyen technique pour réaliser des vols expérimentaux en condition météo défavorable (Bruine, pluie légère, salinité/poussière...)	N/A	N/A	N/A
11	RFID - Antenne directionnelle : Essais scénarisés (1 terrains extérieurs) AVEC limites du système complet drone RFID en vol	Zone rurale délimitée – Aubagne Alt 110m	9 vols 153 min	
12	Préparation démonstration du système : Journée au Havre le 28/09 – Matinée ISEL	Zone rurale délimitée – Aubagne Alt 110m	5 vols 65 min	 
		Aéroport Le Havre – Terrain CIDN Alt 95 m		

Fig. 11 : Tableau de gestion des essais 2/2

Dans un premier temps, il a fallu mobiliser le matériel présenté précédemment dans «La chaîne complète de test» sur une durée d'environ 1 semaine. A cela s'est ajouté un premier point dur : La disponibilité des terrains d'essais en extérieur. En ce sens, nous avons choisi d'utiliser nos terrains d'expérimentation disponibles dans le sud de la France.

🔒 Verrous Réglementaire

Ce point soulève aujourd'hui une réelle problématique engendrée en grande partie par la non acceptabilité sociale et technologique des UAS (Unmanned Aircraft Systems). Si nous reprenons le « [diagramme des contraintes clients](#) » de la partie « Approche utilisée », nous avons annoncé que le manque de connaissance technique couplé à la peur des nouveautés technologiques influenceraient l'acceptabilité sociale. Le cadre de cette étude était l'occasion de confirmer concrètement cette idée.

Site viticole délimité :

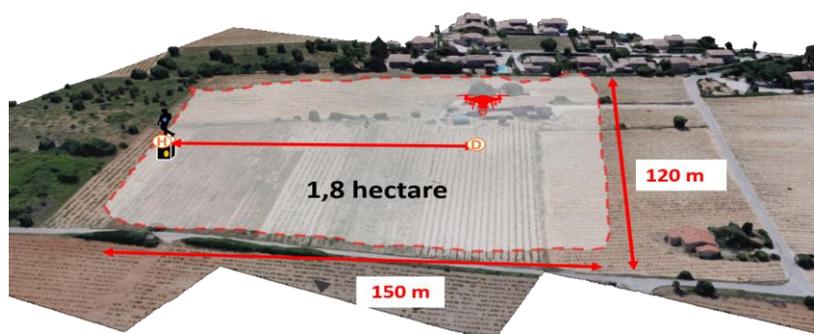


Fig. 12 : Source : Captation aérienne DAE System© à La Ciotat (13)

Site sensible délimité :



Fig. 13 : Source : Captation aérienne DAE System© à La Fare (13)

Parmi les deux sites initialement prévus, il a été tout juste possible de réaliser la première moitié de la campagne de test avec l'antenne omnidirectionnelle. Ainsi, deux points essentiels doivent être soulignés lorsque l'on souhaite mettre en service un système par drone aérien :

📌 Atout d'utiliser la maturité technologique des drones du marché :

La deuxième phase d'essais a été réalisée dans un espace rural mis à disposition de DAE SYSTEM pour des vols expérimentaux ponctuels.

Site arboré délimité :

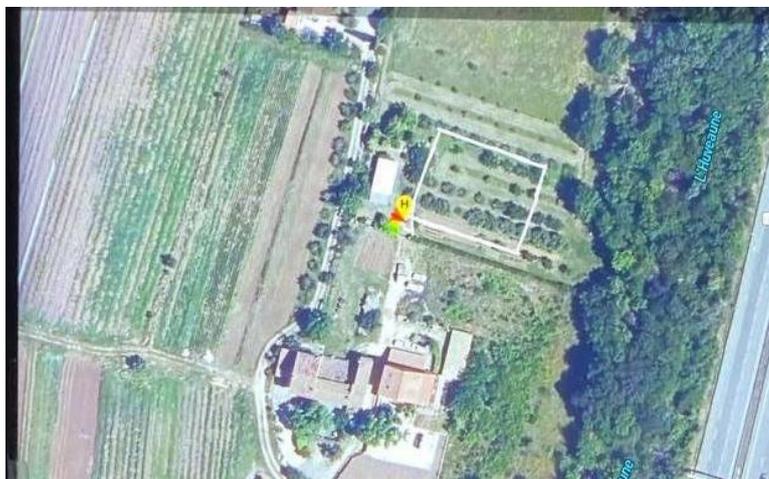


Fig. 14 : Source : Captation aérienne DAE System© à Aubagne (13)

Nous avons profité de la notoriété du constructeur DJI et de la bonne promotion de ses capacités. En effet, le fait de corréliser la vaste connaissance publique d'un vecteur aérien avec une explication concrète des moyens mis en œuvre dans le cadre d'une étude, nous a dispensé de toute altercation avec des tiers sur ce site.

De plus, malgré l'intrusivité de ce type de drone, une démonstration du système de protection des tiers avec les charges utiles embaquées ont permis de rassurer et d'œuvrer sereinement.

En effet, dans le cadre d'une intervention « classique » par drone (Prise de vues, entraînements,...), les aléas humains peuvent grandement influencer sur les résultats (extraits du manuel du pilote ULM et des recommandations FFAM) :

- Sommeil, fatigue (long voyage juste avant vol, effet du jet-lag , rythme circadien),
- Santé , hygiène
- **Stress (concentration, confiance, contrôle, engagement)**
- **Prise de décisions, attitudes et jugements : Anticiper les aléas et s'entraîner**

Lors de mission spécifiques comme dans le cas présent, il est primordial d'œuvrer sans éléments perturbateurs. Nous le verrons ultérieurement, au-delà de l'attention portée sur les sens cognitifs qui servent pendant le télépilotage du drone dans un espace aérien, l'ajout de capteurs tiers peut complexifier la mission et requiert, instinctivement, trois choix de configuration :

- Utilisation d'une deuxième charge utile qui se doit de fonctionner sans s'en soucier,
- Utilisation d'une seule charge utile,
- Intervention en double opérateur (1 au télépilotage et 1 à la collecte de donnée).

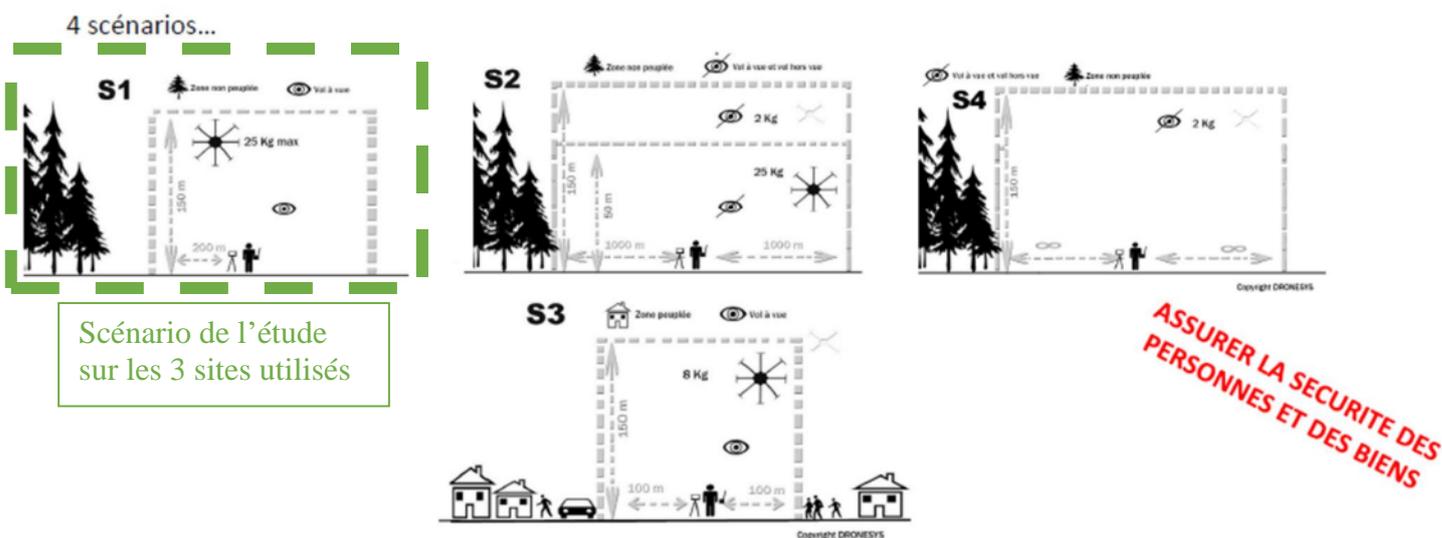
➤ Conformité réglementaire :

Malgré le bon respect des contraintes réglementaires, l'intrusivité du drone via sa nuisance sonore a engendré des questions éthiques provenant du voisinage, sans prendre connaissance des composantes technologiques employées.

Il me semble important de rappeler brièvement le cadre réglementaire en vigueur pour des

interventions concrète avec les drones aériens en France :

Cadre et contraintes de mise en œuvre Le cadre réglementaire :



Avec une exigence commune à tous les scénarios : Licence télépilote pratique et théorique, DNC (déclaration de niveau de compétence), déclaration et bilan d'activité, MAP (Manuel d'activités Particulières) et MANEX. Pour en savoir plus, je vous invite à consulter un bref résumé en [Annexe 2 : « Synthèse démarches réglementaires »](#) et vous diriger sur le site du ministère de la transition écologique rubrique AlphaTango : <https://www.ecologie.gouv.fr/alphatango>

Par conséquent, si nous souhaitons favoriser l'implantation de ce nouveau service pour les métiers de la Sûreté & Sécurité, nous devons mener des actions de sensibilisation autour des drones aériens comme la matinée de sensibilisation autour de la logistique organisée par Normandie Aéro Espace le 28/09/21 sur le parking de l'ISEL à Le Havre. Cette initiative a permis de communiquer largement sur les bienfaits des drones aériens suivi d'une démonstration que nous avons commandé et que je corrèlerai ultérieurement dans ce rapport avec les suites envisagées du présent système drone RFID longue portée.

🔒 Verrous Technologique

➤ Partie 1 - Résultat des essais au sol

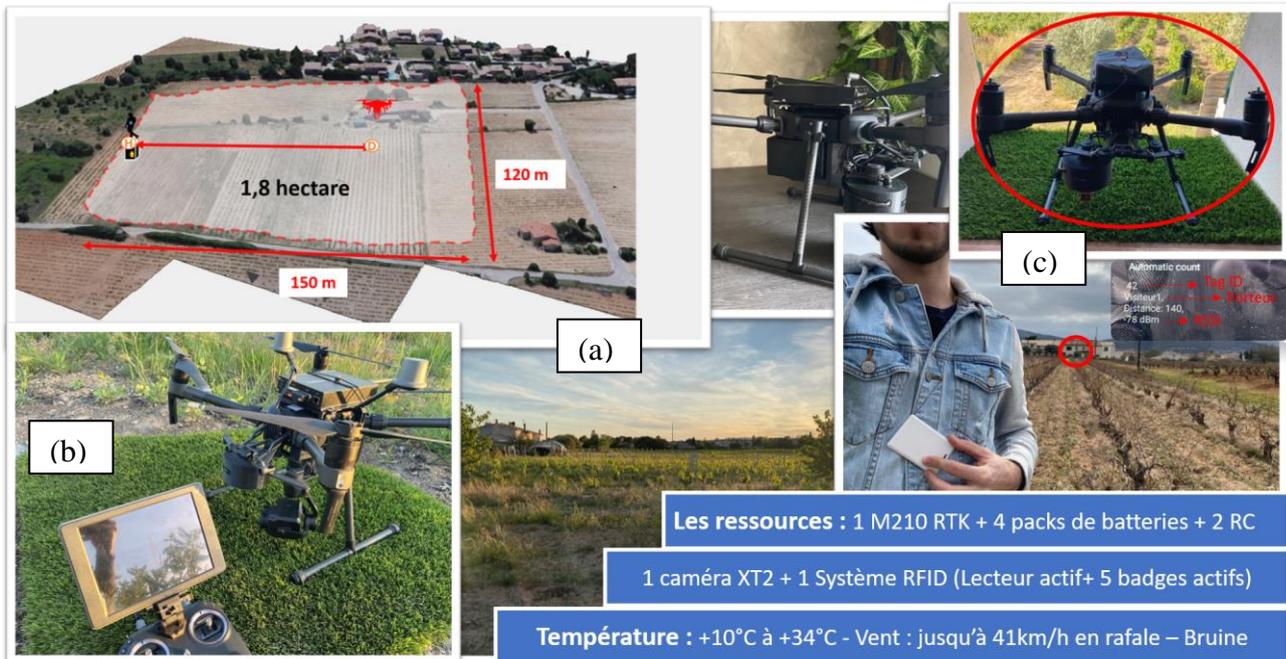


Fig. 15 : DAE System© (a) Représentation de la zone de caractérisation : (b) Moyens utilisés : (c) Positionnement du badge et lecteur avec leur support.

Dans cet environnement, aucune perturbation électromagnétique (Ligne haute tension, autres systèmes communicants, Brouilleurs, ...) n'est présente.

Nous avons également forcé la fréquence de fonctionnement du drone avec la Radio Commande en 5GHz malgré que la fréquence 2.4GHz n'est aucune influence sur le système RFID.

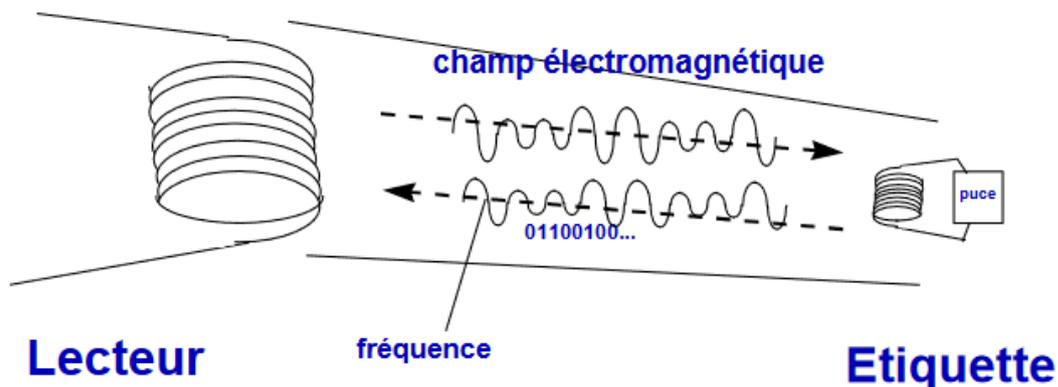


Fig. 16 : Principe physique entre un lecteur et un badge/Étiquette - Source : [igm.univ « EPC2004-032-RFID Principes et Applications.pdf »](http://igm.univ-lyon3.fr/~michel/teaching/EPC2004-032-RFID-Principes-et-Applications.pdf)

L'échange des données entre un lecteur et un tag RFID peut se faire pour des distances différentes, ce qui fait intervenir deux types de mécanisme : par couplage de proximité ou par **propagation d'ondes électromagnétiques**.

En effet, on a pour habitude de caractériser le champ émis par une antenne en fonction de la zone dans laquelle se situe le récepteur. Cependant ici, il est de rigueur de connaître la zone d'évolution du lecteur et celle du badge pour caractériser au mieux l'échange entre les deux.

La dimension de la zone de chacun est notée « L » et s'exprime en fonction de la dimension maximale de l'antenne « D » et de la longueur d'onde de fonctionnement, comme le montre l'expression suivante :

$$L = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Ainsi, on distingue deux mécanismes relatifs à la portée maximale d'échange : **Le champ lointain*** où fonctionne notre système étudié et le **champ proche****. En voici les caractéristiques théoriques :

Typologie du système conçu	RFID active 2.45GHz
Fréquence de fonctionnement	2.4GHz ~2.5GHz ISM
RF Power	- 30.0 dBm ~ 1.0dBm
Portée max. d'échange de données avec les antennes installées	0 ~ 150m
Consommation des badges	<22mA, 3V (Périodicité 500ms)
Modulation du signal utilisé	"Gaussian frequency shift keying" (GFSK)
Débit de communication des badges	250Kbps
Température supportée pas les badges	-20°C~+60°C 90%RH
Autonomie des badges	3 ans environ (Cycle de transmission : 2s)
Spécificité	Badges préprogrammés à ID unique

Champ lointain* : Zone où les données sont acheminées par un phénomène de propagation d'ondes électromagnétiques.

Champ proche** : Zone au voisinage immédiat de l'antenne lecteur où la communication RFID se fait par couplage, le plus souvent inductif, c'est à dire en utilisant le champ magnétique.

Par ailleurs, les badges contiennent une antenne « patch ». Vis-à-vis de son positionnement dans le boîtier au format carte, les performances sont optimales lorsque le badge est positionné à l'horizontale :



Fig. 17 : Positionnement optimal du badge vis-à-vis du lecteur RFID sur le drone

A partir de ces données théoriques, nous nous intéressons à tester le système en pratique pour évaluer son comportement dans de potentiels environnements finaux qui peuvent influencer drastiquement les performances.

Synthétisons le phénomène attendu :

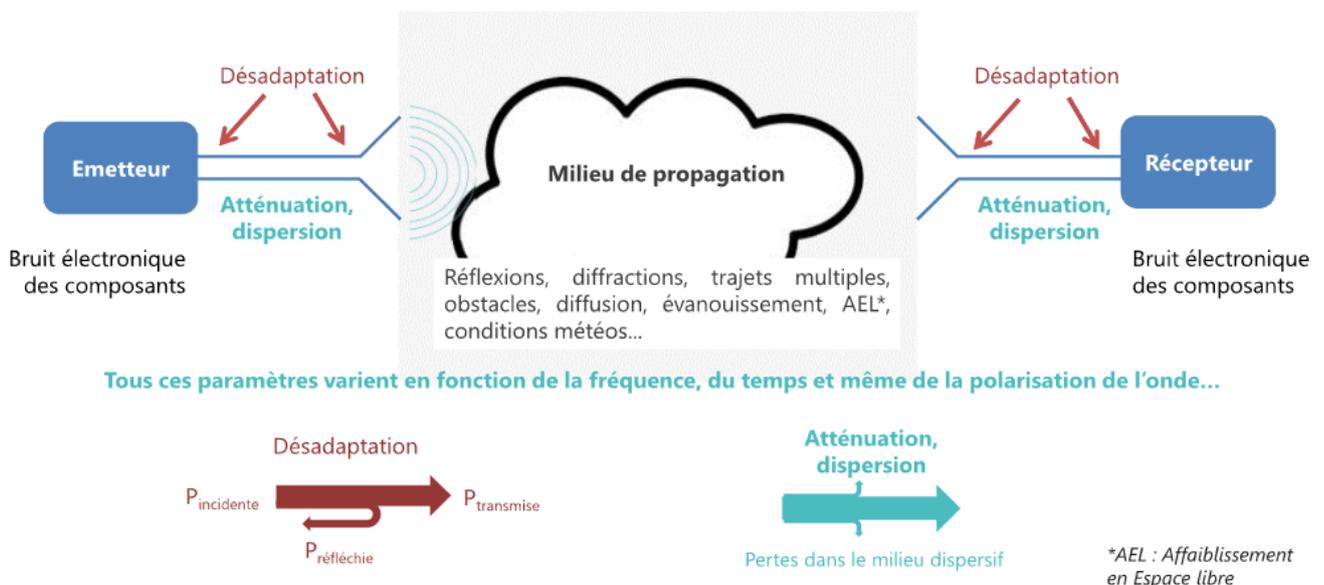


Fig. 18 : Source « Introduction au cours sur les antennes » ESIX Normandie

✓ Caractérisation pratique du système - Antenne non directive

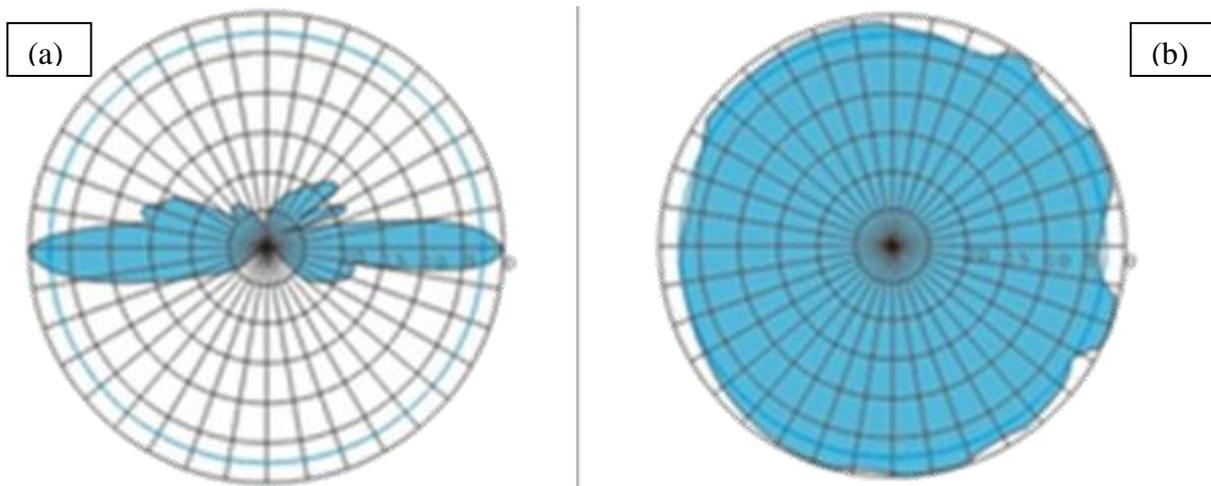


Fig. 19 : Diagramme de rayonnement (Radiation pattern) : (a) E plane pattern : (b) H plane pattern

Caractéristiques de notre antenne :

- ¼ d'onde – Impédance de 50 Ω (1 Monopole),
- 0 dBi – Isotrope,
- Illumination quasi uniforme de l'espace environnant,
- Applications où l'information doit être diffusée largement.

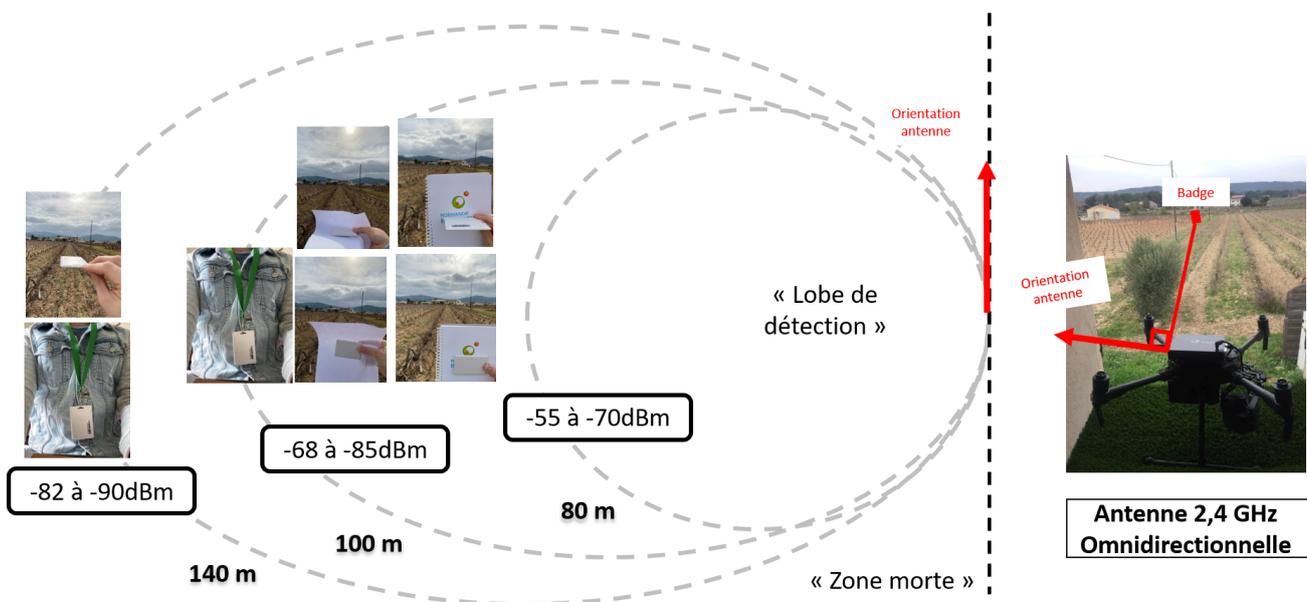


Fig. 20 : DAE System© Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID sur le drone - Position optimale de l'antenne pour détecter des badges

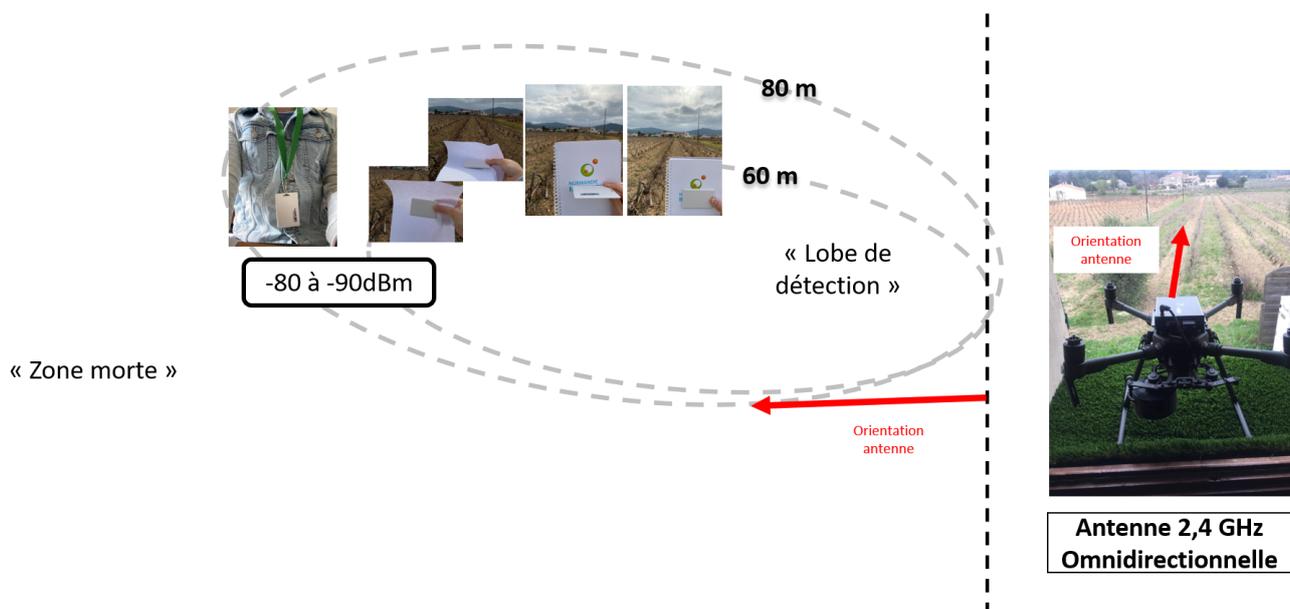


Fig. 21 : DAE System© Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID sur le drone - Position la moins optimale de l'antenne pour détecter des badges (Détection en périphérie)

Au travers de 5 mesures enregistrées par scénarios, nous avons quantifié l'impact des obstacles sur notre système. Une plage de résultat exprimé en « dBm » est donnée pour chaque cas représenté par des images.

Les images situées dans les lobes de détection représentent divers scénarios d'obstacles qu'il sera possible de rencontrer sur des sites sensibles/industriels. Ces images sont donc positionnées en fonction de leur distance de détection et tentent de représenter l'impact des obstacles sur la qualité de réception du signal.

Les résultats illustrés correspondent donc aux distances maximales enregistrées en fonction de divers scénarios identifiés comme les plus courants :

- Badge porté autour du cou d'un humain (Position verticale face au lecteur RFID)
- Badge derrière une feuille simple (2 positions : Horizontale et verticale)
- Badge derrière un cahier (2 positions : Horizontale et verticale)
- Badge en champs libre face à l'antenne du lecteur RFID (2 positions : Horizontale et verticale)

Nous mesurons les variations de qualité du signal grâce à la valeur du rapport entre la puissance du signal source provenant du badge vis-à-vis de la puissance du signal reçu par le lecteur RFID présent sur le drone (RSSI « Received Signal Strength Indication » exprimé en dBm). Cette valeur est symbolique et moins précise que RSRP (« Reference Signal Recived Power »). Cependant elle est tout à fait suffisante pour mesurer l'influence des éléments extérieurs (Matériel ou immatériel) sur un système, ce qui est le cas recherché ici.

Remarque : Dans ce cas, l'antenne est omnidirectionnelle. Ainsi, les lobes de détection se situent autour de l'antenne en formant un cercle de détection de 360° avec une zone morte dans l'alignement direct de l'antenne.

✓ Caractérisation pratique du système - Antenne « directive »

Nous avons choisi de compléter cette étude avec la caractérisation d'une antenne directionnelle pour en étudier l'intérêt.

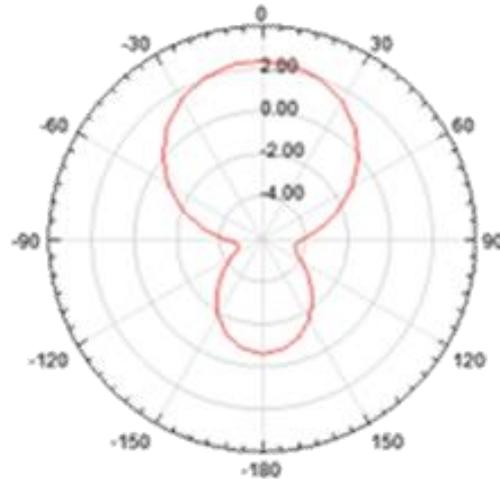


Fig. 22 : Diagramme de rayonnement (Radiation pattern) : E plane

Caractéristiques de notre antenne :

- ¼ d'onde – Impédance de 50 Ω (Lobe secondaire arrière),
- GAIN : 3 dBi,
- Puissance rayonnée dans une direction privilégiée,
- Concentration de la puissance nécessaire pour compenser la forte atténuation de la puissance (en $1/\text{rayon}^2$) due à la propagation entre les antennes d'émission et de réception très éloignées (Longue portée).

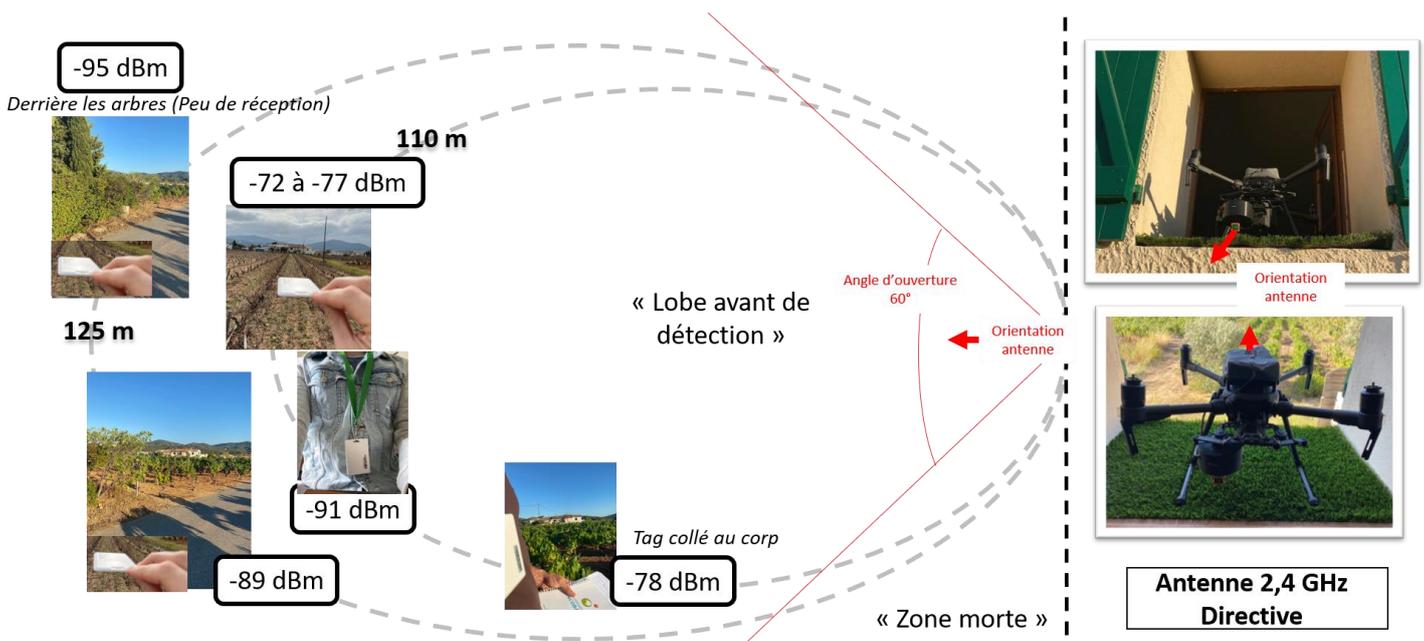


Fig. 23 : DAE System© Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID - Position optimale de l'antenne pour détecter des badges

Certains scénarios d'obstacles ne sont pas visibles pour chaque typologie d'antenne car les mêmes résultats ont pu être observés (Exemple : Badges derrière un cahier/feuille, Badges derrière les arbres).

L'antenne directionnelle testée a été "modélisée" spécifiquement pour être embarquée avec la caméra du drone. Sa mise en œuvre ne sera pas détaillée ici car ce n'est pas le sujet de l'étude. Par contre, celle-ci représente encore un axe d'amélioration aujourd'hui car les tests ont révélé que celle-ci n'avait pas un gain suffisamment élevé (3dBi) pour être "totalement" directionnelle. Pour cela, nous avons tenté d'orienter les ondes en l'entourant d'un tube en aluminium.



Cependant la puissance rayonnée par l'antenne semble avoir subi des effets de rebond sur les parois, ce qui a atténué les performances de l'antenne. L'antenne omnidirectionnelle donne donc de meilleurs résultats vis-à-vis de celle « directive » et offre une meilleure couverture de détection des badges.

📌 Conclusion de la partie 1

Au travers des essais pratiques, nous avons créé une plage de valeur qui peut donc varier de -45 dBm à -95 dBm :

- **Optimal** si < -70 dBm
- **Bon** si < -80 dBm ;
- **Acceptable** entre - 80 dBm et -90 dBm : On peut recevoir mais avec un débit plus faible.
- **Aléatoire** (risque de micro-coupures) entre -88 dBm et - 95 dBm

De manière générale, nous validons que le système est capable de détecter nos badges à identifiants uniques entre **60m et 80m** en respectant la périodicité de réception théorique de 2s.

Il ressort que la qualité du signal dépend de plusieurs facteurs :

- L'état des obstacles présents directement entre le badge et le lecteur
- La pollution électromagnétique environnante
- Le positionnement du badge vis-à-vis de l'antenne du lecteur et vice-versa
- Les performances des antennes utilisées fonction de la puissance fournie par le support

Points durs :

- Il est démontré qu'un système RFID actif reste complexe dans sa caractérisation pratique car la qualité de signal est facilement impacté par son environnement.
- Si la périodicité des badges est plus courte (Exemple : 500ms), cela viendra surcharger le buffer du lecteur et causera de la latence qui pourra perturber l'analyse temps réel des données reçues, malgré une bonne qualité de signal.

Axes d'amélioration :

- Amélioration de l'antenne directionnelle en augmentant ses performances,
- Analyse plus précise du rayonnement émis grâce à un laboratoire équipé d'appareils de mesure de CEM.

➤ **Partie 2 - Résultat des vols**

✓ **Performances - Système assemblé**

Suite à la phase au sol, la 2^{ème} semaine a comptabilisé 6 vols pour calibrer et valider le système volant :

- 2 vols étaient pour les premiers essais techniques où nous nous y sommes repris 2 fois
- 4 vols manuels pour les essais d'autonomie divisés en 2 vols similaires pour chaque tests (Information constructeur en [Annexe 3](#)) avec une marge prise de 20%. Marge évaluée suffisante vis-à-vis du parcours de vol envisagé.

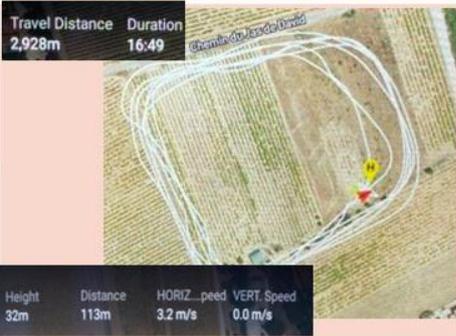
N°	Critère	Donnée théorique	Résultat essais	Illustration
 Test 1	Vitesse	3 m/s	3 m/s	
	Autonomie (CU max)	21 min	16min49s	
	Distance estimée	3,780 km	Nb trs réalisables : 7 tours	
 Test 2	Vitesse	5 m/s	5 m/s	
	Autonomie (CU max)	20 min	19min11s	
	Distance estimée	6 km	Nb trs réalisables : 11 tours	

Fig. 24 : DAE System© Autonomie du système en vol avec une marge de 20%

L'objectif était de comptabiliser le nombre de tours possibles avec ce chargement encombrant. Nous avons donc coupé les moteurs avant d'arriver au 20% de marge batterie pour le test à 3m/s car nous ne pensions pas faire d'autres tours complets avec ce qu'il restait. Contrairement à celui de 5m/s où le dernier tour s'est terminé pile en fin de batterie.

De plus, la différence de vélocité du drone a causé des survirages plus importants qui facilitaient les reprises en ligne droite. Les essais ont été réalisés manuellement donc il n'y avait pas d'arrêts brusques du drone lors des virages et donc pas de départs nécessitant plus d'énergies en fonction de la vitesse (Autonomie plus grande en manuel qu'en vol

automatique).

Ce qui justifie le fait que l'autonomie sur le « Test 2 » est plus importante sachant que la vitesse de vol est elle, plus élevée.

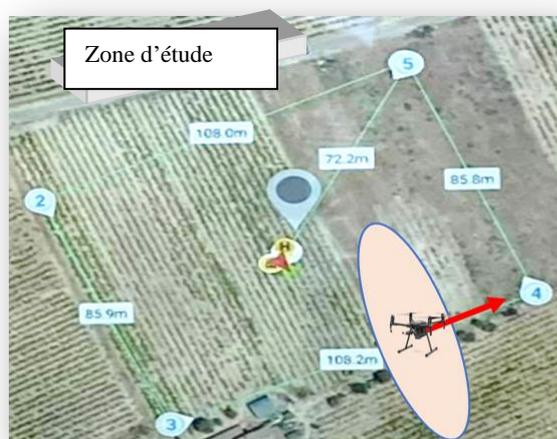
Remarque : Peu de différences dans les résultats sont visibles entre ces 2 vitesses identifiées comme suffisantes pour contrôler la mission. Ainsi, nous devons évaluer l'influence de ce paramètre sur la qualité du signal émis et reçu par notre système aéroterrestre.

✓ Antenne non directive – Caractérisation du système en vol

□ Conditions d'essais

Afin de caractériser le comportement du système RFID actif avec un drone aérien, un seul badge était nécessaire. Nous avons donc programmé un parcours de vol automatisé afin d'évaluer :

- ✓ L'impact de supports statiques sur la qualité d'échange de données au passage d'un drone,
- ✓ Le taux de détection d'un badge afin de préconiser un plan de vol optimal,
- ✓ Les limites et l'intérêt d'une telle solution pour des applications de sûreté et sécurisation.



- Parcours choisi suite aux résultats d'essais RFID au sol
- Portée de l'antenne RFID embarquée : Zone de détection des badges

Fig. 25 : DAE System© Illustration d'un parcours de vol du drone lecteur de badges RFID actifs avec antenne omnidirectionnelle

Les deux surfaces de vol ont été choisies arbitrairement en prenant en compte la portée de détection validée dans la [Partie 1](#). Le badge RFID de test est placé généralement au centre de la zone. Nous avons donc pré-programmé :

- Une surface de **9000 m²** : Le drone se déplacera en périphérie avec une distance maximale entre le lecteur embarqué et le badge dans les virages de 72.2m
- Un surface de **6000 m²** : Le drone se déplacera en périphérie avec une distance maximale entre le lecteur embarqué et le badge dans les virages de 54.6m

Sous ces conditions, le lecteur devrait détecter toutes les 2s le badge tout en se déplaçant.



Fig. 26 : Moyens d'analyse mis en œuvre par DAE System©

Remarque : Même si le positionnement est bien optimal lorsqu'un badge par rapport à l'antenne du lecteur au sol est comme sur la [fig.17](#), cette optimalité devient celle du badge autour du cou car l'antenne viendra se positionner au dessus en vol.

❑ Résultat des essais scénarisés

L'objectif est de quantifier les variations de détection d'un lecteur à RFID active en mouvement via une plateforme volante qu'est le drone. Ainsi, nous avons élaboré un outil de mesure nommé « Taux de détection » qui se calcul comme suit :

Taux de détection = $\frac{\bullet \text{ Nombre de détection pratique}}{\text{nb théorique pour chaque segment de parcours}}$
(Périodicité émission des badges : 2s)

De plus, nous avons pondéré un barème de satisfaction pour comparer les résultats :

<u>Taux moyen avec les 4 segments :</u>	Faible	< 30%
	Modéré	30% ≤ nb% ≤ 70%
	Bon	>70%

Les résultats :

- [Annexe 4](#) : Cas d'un badge positionné autour d'un cou au centre de la zone survolé
- [Annexe 5](#) : Cas d'un badge caché par un poteau métallique et par de la végétation

Sans obstruction d'un corp humain, la détection est visible sur l'ensemble de la zone.
Nous remarquons que des obstacles non épais dégradent très peu la qualité du signal.

- [Annexe 6](#) : Cas d'un badge dans une enceinte plastifiée avec une armature métallisée
- [Annexe 7](#) : Cas d'un badge dans un véhicule – Placé sous un pare-brise de voiture
- [Annexe 8](#) : Cas d'un badge suspendu dans un arbre
- [Annexe 9](#) : Cas d'un badge caché sous un bâtiment (Béton et Tôle en acier) à proximité d'un hélicoptère

Aucune perturbation notable avec un hélicoptère NH90 sur piste :

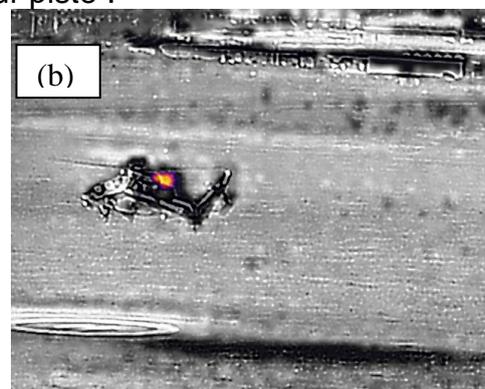
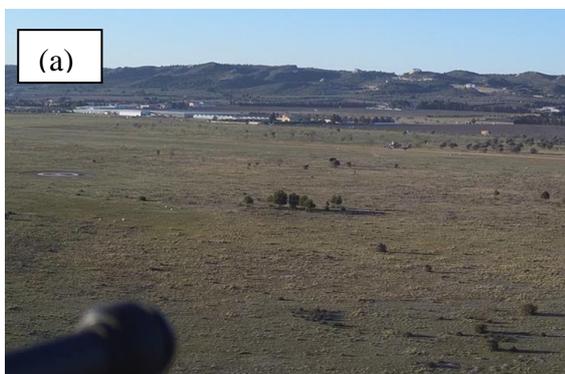


Fig. 27 : (a) Illustration de la zone de caractérisation : (b) Hélicoptère NH90 – Test de perturbation CEM

□ Bilan des semaines de tests 3 et 4 :

***Orange** : Facteurs à influence directe sur l'homogénéité et le taux de détection.

Interprétation des résultats :

Nous avons remarqué lors du cas d'un badge placé autour du cou d'un Humain ([Annexe 4 :](#)), que lorsque le drone évolue à basses **vitesse**s (3m/s ici) nous avons un meilleur taux de détection sur un plus une plus grande **surface** (9000m²). Or, la zone est ici plus grande, les **obstacles** traversés pour une surface de 6000m² sont donc les mêmes qu'une surface de 9000m² et le fait de se rapprocher devrait faciliter la détection en améliorant la qualité du signal. Nous pensons que cela est dû à la **périodicité d'émission des badges** et la présence de « zones mortes » obstruées par les obstacles.

A 5m/s le drone semble se déplacer suffisamment vite pour passer à temps sur un nouvel "espace" de détection. Les tests à vitesse plus grande que 5 m/s ont révélé l'effet inverse (On loupe des émissions provenant des badges).

De plus, le taux de détection étant limité par le nombre de signal émis par le badge sur une longueur, il semblerait qu'un vol à 3 m/s soit trop lent pour une captation de signal optimale sur de grandes surfaces. Cependant une surface d'action plus petite permet de nous rapprocher de la source et expose le drone à plus de signal émis en s'y attardant à faible vitesse (Ce qui induit aussi plus d'homogénéités sur de faibles surfaces).

D'autres résultats similaires sont observables : Meilleur taux de détection à vitesse élevée, mais homogénéité plus faible...

Ici, c'est la hauteur de vol entre en jeu. Plus la **hauteur de vol** sera grande, plus il y aura de détection sur toute la surface. Sous réserve de respecter les limites de portées.

Le dernier facteur à ne pas oublier est celui de la **position angulaire du badge** par rapport à son lecteur. D'où les problèmes de non homogénéités parfois inattendus et autres résultats surprenants car les conditions météorologiques (Surtout le vent) viennent bouger le badge dans diverses positions angulaires moins optimales (Visible particulièrement sur les scénarios avec le badge en l'extérieur).

Exemple non exhaustif d'une mission avec le système testé - Mission de sûreté et sécurisation de sites sensibles/Privés :

Dans ce cadre, l'objectif est de détecter une anomalie à n'importe quel moment pour toujours mieux anticiper et contrôler son site. L'intérêt ici est d'assurer la détection d'une présence indépendamment de l'imagerie pour apporter une réelle complémentarité. **Ainsi, le plus important ici n'est pas d'obtenir le plus de détection possible d'un même badge mais de tous les détecter au moins une fois.**

Suite aux résultats des tests, nous pouvons définir un premier plan de vol pour assurer au moins une détection de chaque badge présent dans la zone à surveiller :

- Vitesse de vol : 5m/s
- Hauteur de vol : 50m maximum (Attention à la réglementation aérienne en vigueur)
- Parcours :



Fig. 28 : Extrapolation des essais scénarisés - Exemple de quadrillage d'un site privé à surveiller by DAE System©

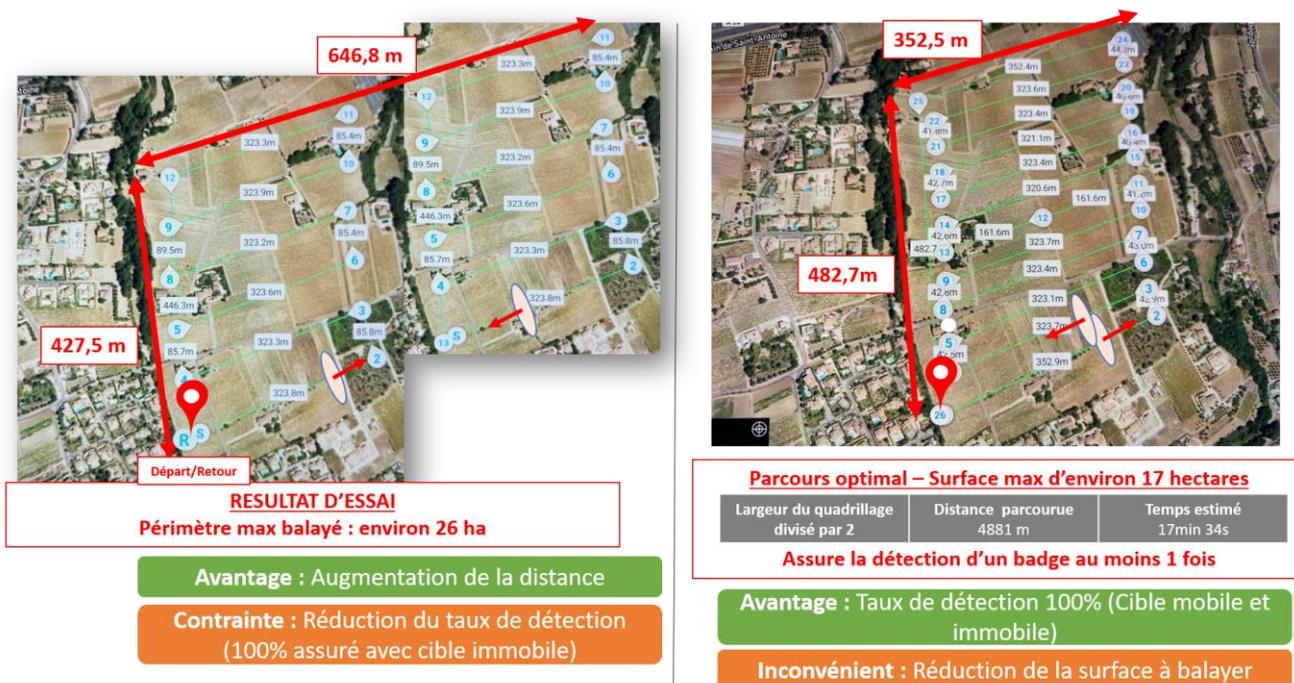


Fig. 29 : Plan de vol préconisé avec une antenne omnidirectionnelle couplé à un lecteur à RFID active sur drone by DAE System©

✓ Antenne directive – Un axe de développement pertinent

Au regard des essais précédents, ce système ouvre un large éventail de possibilités si l'on respecte certaines contraintes opérationnelles. Ainsi, pour une mission de sûreté et sécurisation, le système s'avère suffisamment fiable. Cependant, d'autres cas d'usages nécessitent plus de précision. Au-delà d'approximer une distance, nous devons connaître une position.

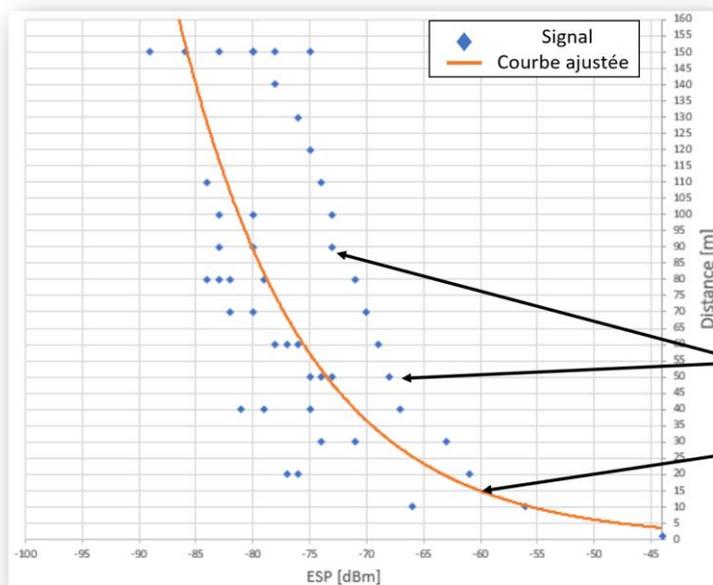


□ Parcours choisi suite aux résultats d'essais RFID au sol

○ Portée de l'antenne RFID embarquée : Zone de détection des badges

Fig. 30 : Illustration d'un parcours de vol du drone lecteur de badges RFID actifs avec antenne directionnelle by DAE System©

Lors des essais au sol et en vol, nous avons relevé plusieurs valeurs RSSI en fonction des différentes configurations. Au-delà de la caractérisation du système, l'objectif était de trouver une relation entre la distance et la force du signal reçu des badges :



Données collectées à différentes distances

Résultat : Courbe exponentielle

$$Distance = a * \exp(b * ESP) - \text{erreur}$$

Fig. 31 : Distance (m) en fonction du rapport de puissance (Donnée RSSI) by DAE System©

Suite à l'amélioration de l'antenne directionnelle, il sera possible de trouver un badge en orientant l'antenne pour collecter des notions de distances entre la position du drone et du badge pour localiser bout à bout celui-ci.

Nous avons présenté la solution le 28/10/21 lors d'une journée de sensibilisation aux drones aériens pour la logistique. Nous avons monté une antenne directionnelle sur le drone RFID et avons effectué un état des lieux du site. Le système a engendré des opportunités de suites à partir des améliorations du système identifiées.

Démonstration
finale

~
Aéroport Le
Havre-Octeville



Conclusion de la partie 2

Un des atouts du présent système est que l'échange de données peut se réaliser seulement au passage d'un drone. Dans un cadre sécuritaire, cela permet de limiter l'exposition de données sensibles lors d'échanges continus qui pourrait nuire à la sécurité ou à l'exclusivité de biens et/ou de personne présents uniquement sur un site.

Il ressort les performances suivantes en vol :

- Autonomie : Un vol en automatique permet d'obtenir, à quelques secondes près, la même autonomie avec des vitesses de 3m/s et 5m/s. Cependant, moins de distances peuvent être parcourues.
- La mobilité des badges sur le terrain : Si les badges changent de position, l'une d'entre-elles peut permettre une nouvelle détection au passage du drone.



Mission Sûreté et Sécurité

Site privé

- Autonomie de **18 min**
- Parcours max. de **5,5 km**
- Plus-value identifiée : **Collecte de données locale (Sous passages ponctuels, Courte portée VS LoRa/Sigfox...etc), sans oubli et sécurisant pour la solution et les moyens présents sur site**

Points durs :

- Les essais de la 2^{ème} semaine ont démontré une limite d'encombrement supportable par le drone choisi (Masse limite d'emport atteinte, passage des pales avec trop peu de marge, Parachutes DJI non installable),
- L'autonomie du drone est réduite à moins de 20 min avec marge alors que le constructeur annonce 24 min sans marge,
- Les badges ne sont pas détectés toutes les 2s. Un plan de vol adéquat sera à définir avec le client pour apporter suffisamment de données.

Exemple d'interprétation : Cahier des charges d'un client pour un opérateur de drone à RFID active :

- Zone à couvrir → Distance maximale à parcourir → Autonomie à prévoir,
- Objectif de la mission (Collecte de mesure, surveillance...) → Vitesse optimale de vol,
- Structuration du site et disposition des badges → Hauteur de vol, Zone de protection des tiers, surface rapproché...,
- Badges en mouvement/immobiles → Réglage des badges, IA de géolocalisation embarqué, Déplacements manuels du drone...,
- Environnement du site → Intégration d'élément de protection contre le vent, bruine, sel/corrosion, Température, Réflectivité, pollution hertzienne... .

Opportunité : En plus de faire parti de l'Internet des objets (IoT), les drones peuvent jouer un rôle important en tant que facilitateurs.

La mobilité 3D unique des UAS peut être exploitée, entre autres applications, pour améliorer la localisation des puces communicantes pour, par exemple, la recherche et le sauvetage ou la localisation et le suivi d'actif.

Etude de faisabilité conceptuelle :

Hypothèse: Drone en vol stationnaire à différents « waypoints » autour de la dernière position estimée la plus proche du badge RFID cherché.

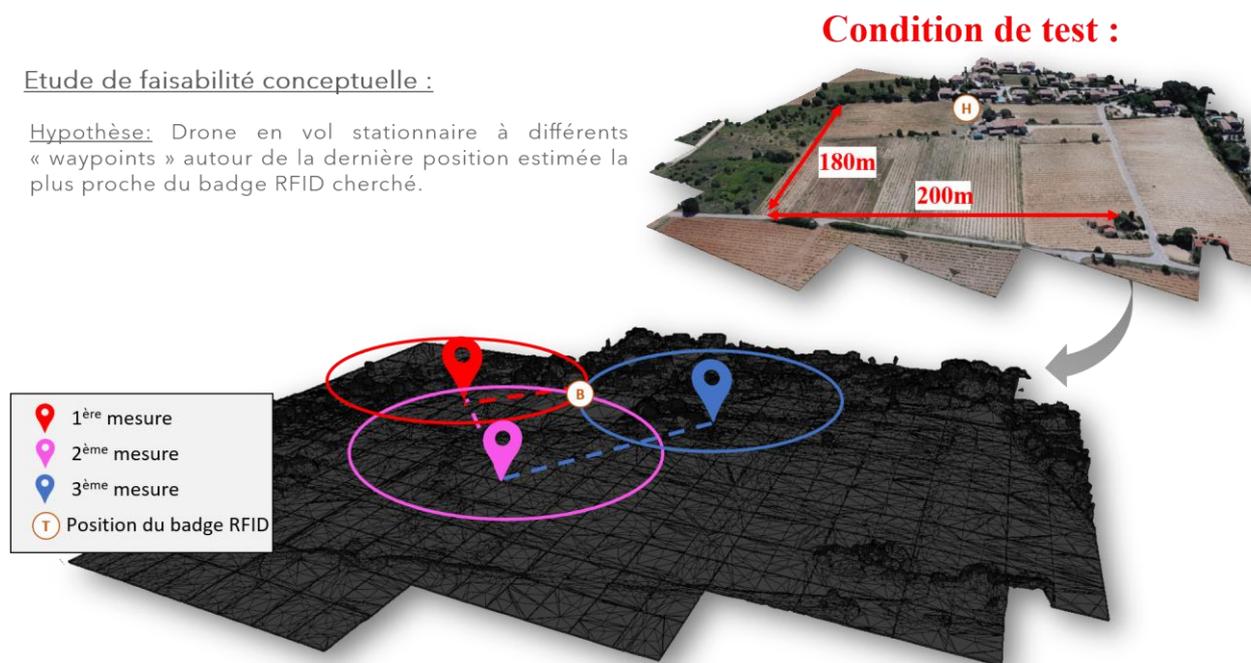


Fig. 32 : Illustration du concept de localisation d'un badge avec des mouvements du drone by DAE System©

🔒 Verrous Environnementaux

Comme évoqué lors de la dernière conclusion de partie l'environnement du site, notamment ses conditions météorologiques, reste souvent la première barrière contre l'implantation de la solution. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous n'avons pas débuté la phase « campagne de tests et essais en condition » avec la démonstration BATTLE LAB TERRE & industriels prévue le 17 juin 2021 sur l'aéroport du Havre-Octeville.

En effet, les démarches de prototypage nécessitent des phases de tests qui exposent souvent du matériel non certifié contre les intempéries, aussi faibles soient-elles. Notre écosystème qui englobe la région Normandie, des zones portuaires et aéroportuaires sont des environnements où les aléas météorologiques sont souvent peu favorables aux vols expérimentaux ou prestations avec du matériel non industrialisé.

C'est pourquoi nous avons profité de ce cadre d'étude pour ouvrir **un pôle sellerie en interne de DAE SYSTEM**. Cette activité nous permettra de concevoir des housses et autres accessoires de protection sur-mesure grâce à une partenaire experte dans le domaine.

Dans le cas présent, le drone M210 de DJI a été conçu pour lutter contre la bruine. Ainsi, nous avons choisi d'équiper seulement les payloads RFID embarqués qui pourront être sujets à d'autres expositions dangereuses. Les housses se présentent donc comme suit :



Fig. 33 : Housses protectrices de capteurs sur mesures by DAE System©

Lors des démonstrations en vol du 27-28 octobre 2021 sur l'aéroport du Havre-Octeville, les housses ont surtout protégé la partie alimentation des capteurs alors que quelques gouttes, du vent poussiéreux et des insectes heurtaient le système en vol. Non possible en l'état originel.

VI. CRÉATION D'UN OUTIL COMPLEMENTAIRE

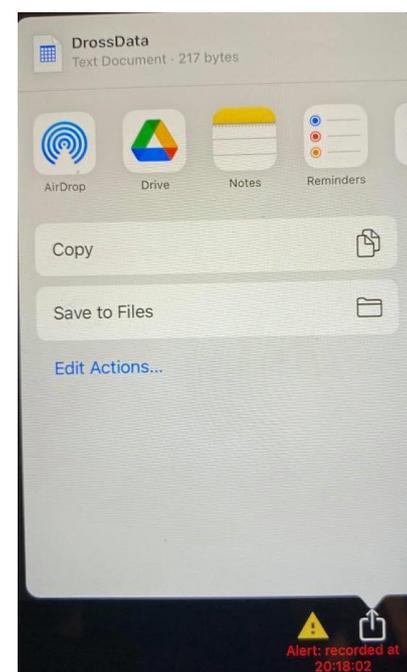
D'un point de vue opérationnel, la finalité d'une solution par drone est de générer un rapport d'activité (Exemple : Rapport FNE) avec des preuves à l'appui. C'est une étape incontournable pour les métiers de la sûreté et sécurité.

Bien que, aujourd'hui, un **vol de drone en automatique ne soit pas possible** nous pouvons par contre faciliter et accélérer le post-traitement des données collectées. Grâce à notre outil de reporting, il sera désormais possible pour le client de réaliser sa propre génération automatique de documents.

Mis en œuvre pendant cette étude, nous avons donc réalisé un exemple de diagnostic technique et sécuritaire à partir de ce rapport final. Nous avons généré un simple rapport de diagnostic (PDF) de manière automatique depuis les données collectées lors de la démonstration du 28 septembre 2021 sur l'aéroport du Havre-Octeville.

De manière pratique, nous avons exporté les données de l'application BETA « DrossAPP » qui nous semblaient pertinentes pour une mission de sûreté et sécurité de site :

Date	Time	ID	Reader ID	Distance	Drone Latitude	Drone Longitude	Color	Warning
28/09/2021	15:04:53 CEST	46	1	69.0	49.53088470054398	0.09400174990607187	green	No
28/09/2021	15:04:55 CEST	54	1	35.0	49.530884828476985	0.09400152608820914	blue	No
28/09/2021	15:04:59 CEST	54	1	35.0	49.53088481778442	0.09400148667559763	blue	No
28/09/2021	15:05:00 CEST	46	1	45.0	49.530884766994475	0.09400148312136587	green	No
28/09/2021	15:05:02 CEST	46	1	35.0	49.53088491045448	0.0940016642322989	green	No
28/09/2021	15:05:03 CEST	52	1	41.0	49.53088491276301	0.09400183365519026	purple	No
28/09/2021	15:05:04 CEST	46	1	45.0	49.53088492088732	0.09400200997633532	green	No
28/09/2021	15:05:07 CEST	46	1	45.0	49.53088463292916	0.09400175777169285	green	No
28/09/2021	15:05:11 CEST	52	1	43.0	49.530884309596715	0.09400080064823624	purple	No
28/09/2021	15:05:13 CEST	52	1	43.0	49.5308838572451	0.09400011632389911	purple	No
28/09/2021	15:05:14 CEST	54	1	33.0	49.5308836809412	0.09399993355985183	blue	No
28/09/2021	15:05:15 CEST	46	1	43.0	49.53088370764158	0.09399969260898754	green	No
28/09/2021	15:05:16 CEST	52	1	41.0	49.53088353001457	0.0939995229751903	purple	No
28/09/2021	15:05:20 CEST	54	1	37.0	49.530883151417626	0.09399913291529678	blue	No
28/09/2021	15:05:24 CEST	52	1	43.0	49.53088220206409	0.09399845661533361	purple	No
28/09/2021	15:05:25 CEST	52	1	41.0	49.53088167377162	0.0939983015857815	purple	No
28/09/2021	15:05:27 CEST	46	1	41.0	49.53088107892545	0.09399812179962914	green	No
28/09/2021	15:05:29 CEST	52	1	41.0	49.530880734248996	0.09399776994522623	purple	No
28/09/2021	15:05:29 CEST	54	1	37.0	49.53088071620299	0.09399797688778389	blue	No
28/09/2021	15:05:34 CEST	46	1	47.0	49.530880233625005	0.09399845907288579	green	No
28/09/2021	15:05:39 CEST	52	1	41.0	49.53087978778472	0.09399931740350788	purple	No



Bouton d'alerte et d'exportation

Fig 34 : « DrossAPP » Données brutes exportées le 28/09 - Fichier .CSV

Outil de reporting by DAE SYSTEM	
MODELE 	C:\Users\yoana\Documents\Private\SAS-DAE-SYSTEM\2 - MARCHE\3 - CO-PROJET_NAE\1 - CIDN_ETUDE RFID (EN COURS)\P2-RAPPORT FINAL\DAEsystem_rapportFinEtude_191021_RFID.doc
CHOIX CAS D'USAGE	<input type="checkbox"/> Inventaire <input type="checkbox"/> Supervision d'actifs <input checked="" type="checkbox"/> Etat des lieux site sensible
Importer les données	C:\Users\yoana\Documents\Private\SAS-DAE-SYSTEM\3 - PROJETS\1-DROSS\MOYEN REPORTING\Difficile-Exceltest2.csv
CHOIX ENREGISTREMENT	<input type="radio"/> AFFICHAGE DU DOCUMENT WORD <input type="radio"/> ENREGISTREMENT AUTOMATIQUE DOCUMENT WORD <input checked="" type="radio"/> ENREGISTREMENT AUTOMATIQUE DOCUMENT FORMAT PDF
Générer le document	

Fig 35 : Interface outil de génération de rapport automatique by DAE System ©

Après l'exportation des données, nous avons réalisé à titre d'exemple un simple post-traitement automatique sous forme de tableau synthétique avec l'alerte du moment de l'anomalie et un code couleur lié automatiquement à l'ID des badges pour une analyse visuelle rapide :

Date	Time	ID	Reader ID	Distance	Drone Latitude	Drone Longitude	Warning
28/09/2021	15:07:45 CEST	46	1	45.0	49.53	0.093	No
28/09/2021	15:07:49 CEST	52	1	41.0	49.53	0.093	No
28/09/2021	15:07:52 CEST	54	1	37.0	49.53	0.093	No
28/09/2021	15:07:53 CEST						Yes

Dans ce cas, nous avons un badge bleu qui ne devait pas être présent sur site. Nous pouvons donc repérer le moment de l'alerte à la suite du problème et retourner avec le drone ou un agent de sécurité sur le lieu exact de l'anomalie grâce aux coordonnées GPS du drone.

A cela peut s'ajouter d'autres éléments comme un mapping automatique des détections via les coordonnées ou l'ajout de images.

➤ PLUE-VALUE : Gain de temps et diminution des erreurs :

- Un seul document de base de référence au bon format (présentation)
- Un seul document de base de référence à mettre à jour.
- Moins de risques d'erreur avec les copier-coller depuis d'anciens documents
- Extrapolation simple et rapide du principe pour d'autres cas d'usages atteignables avec la même solution drone aérien

Il sera bien entendu primordial que le client puisse s'approprier l'outil ou connaitre les données attendues en fonction du cas d'application pour générer un rapport au plus proche des attentes.

VII. CONCLUSION DE L'ÉTUDE

Rappelons les critères de succès opérationnels mentionnés lors du « **rapport d'étude préliminaire** », qu'une telle solution par drone se doit d'apporter :

Réduire fortement :

- Les brèches sur sites (Pallier aux angles morts des moyens conventionnels),
- Les doutes (Aléas humain, manque de preuves pour agir),
- L'utilisation des moyens : Exposition des personnes et biens engagés dans les missions.

Augmenter :

- Le rayon d'action des services dédiés.

La campagne de test a révélé un intérêt concret de la solution drone avec des dispositifs RFID autonomes. Les résultats démontrent la capacité de réponse de notre solution vis à vis des limites sécuritaires que les moyens conventionnels détiennent aujourd'hui. Plus particulièrement, une telle solution polyvalente permet à la fois d'appuyer la surveillance des sites déjà couverts et d'augmenter la couverture opérationnelle de ceux-ci grâce à sa mobilité. Ce faisant sans arrêt du site.

➤ Les verrous réglementaires, un levier positif :

Au-delà des contraintes que la réglementation française impose, il est primordial de bien s'entendre sur l'objectif de la mission et ses limites : la détection d'un point d'intérêt badgé et son authentification seulement en cas d'anomalie ou force majeure.



Nuance trop souvent mal comprise, notre drone à RFID active ne collecte aucune donnée personnelle lors de son déploiement qui permettrait d'identifier et analyser la vie privée d'une personne sans son autorisation préalable. Les données visuelles sont analysées en

temps réel sans enregistrement et des photos sont effectuées si des preuves d'anomalie sont à placer dans un rapport de mission.

Ainsi, le professionnalisme reconnu permettra l'implantation des solutions par drones aériens

➤ Confrontation d'autres solutions communicantes identifiées :

Les solutions communicantes à puces RFID peuvent stocker davantage de données qu'un simple identifiant, ont une plus grande portée de lecture et constituent un excellent choix pour les solutions à moyenne précision exigeant une traçabilité en temps réel. Plus précisément, notre système propriétaire pourrait s'apparenter au protocole sans fil suivant :

- **ISO 24730.** Protocole sans fil normalisé à 2,4 GHz qui coexiste avec la norme Wi-Fi/802.11. Il donne généralement de meilleurs résultats que le Wi-Fi dans les environnements industriels où se trouvent des matériaux métalliques, des équipements et d'autres obstacles qui bloquent ou réfléchissent les signaux, provoquant des interférences physiques, et qui constituent un environnement RF délicat.

Cependant, d'autres solutions avec d'autres qualités pourraient être mentionnées :

- **Technologie ultralarge bande (UWB).** Ces balises déterminent très précisément un emplacement à portée moyenne. Le nombre élevé de périodes de transmission permet la localisation exacte en temps réel. Parmi les exemples d'utilisation, citons le contrôle des outils (veiller à ce que le bon outil soit utilisé dans la bonne position au cours de l'opération), le suivi du mouvement et de l'orientation des personnes pour des raisons de sûreté et de sécurité, lorsqu'un haut niveau de précision est requis pour la localisation. Protocole de communication pouvant être couplé à des puces RFID.
- **Bluetooth Low Energy.** Construites sur le standard Bluetooth universel, ces balises et étiquettes abordables conviennent bien aux applications à faible consommation. Elles sont lisibles à partir de tout équipement ou smartphone Bluetooth. Les balises transmettent les données recueillies aux équipements mobiles ou passerelles dédiées, puis les acheminent par le biais d'un réseau Wi-Fi ou cellulaire vers une plateforme (intermédiaire) qui les convertit en données de localisation. Parmi les exemples, citons les situations où il faut installer un système sans interrompre les processus métier (secteur de la santé, par exemple) et où vous passez par les équipements existants des personnes (téléphones mobiles, terminaux portables) pour déterminer collectivement l'emplacement de vos actifs.

En résumé, voici les bonnes questions à se poser pour choisir le bon capteur communicant :

- L'objet à tracer doit-il être géolocalisé à tout instant ? Dans le bâtiment ou en dehors ?
- L'objet à tracer doit-il être identifiable via un lecteur avec interrogation au contact (<1m), à distance moyenne (<30m) ou à longue portée (>100m) ?
- Combien d'objets à tracer ?

- Quelle est la typologie du support à identifier ?
- Quelle est la valeur du support à identifier ?
- Le tag doit-il suivre la vie complète de son support ?
- Le site client est-il équipé d'un maillage réseau ? Si oui, quel est le protocole présent ?

Par ailleurs, la solution RFID active par drone apporte un intérêt pour améliorer la maîtrise de sites avec peu de moyens automatisés (Sites non « connectés »). A titre d'exemple, ce type de solution, dite « locale », peut être déployée sur un terrain militaire hostile ou de petits sites sensibles sans couverture réseau à cause de contraintes de discrétion.



Enfin, terminerons cette étude avec les huit grandes thématiques identifiées par le GICAT auquel doit répondre un dispositif de sécurité :

- **Contrôle, identification et authentification** : cette fonction a pour but de déterminer qui ou quoi a le droit d'entrer dans le site et où a le droit d'aller et de vérifier autant que possible que les identités de ces personnes et objets sont véridiques.
- **Dissuasion** : Une partie du dispositif doit être visible voire affichée, ceci afin de décourager les vellétés d'actions malveillantes.
- **Retardement** : Il est fondamental de retarder l'intrusion ou sa progression ceci afin d'augmenter le délai disponible pour une réaction ou une intervention et les chances de succès de cette dernière. On cherche donc en pratique à élaborer un parcours d'obstacle comprenant de multiples barrières à franchir et d'éléments retardateurs.
- **Détection de l'intrusion** : Cette détection doit être la plus précoce possible pour permettre une intervention efficace et à temps. Elle est en général à double objets : détection d'un intrusion et détection de phénomènes anormaux à l'intérieur d'une zone, tels que des incidents d'exploitation ou des comportements anormaux d'entrants « licites ».
- **Alerte** : remontée d'information relative à une détection vers l'opérateur de sécurité du site. Les indicateurs de performances classiques sont la probabilité de détection (La plus élevée possible) et la probabilité de fausse alarme (La plus faible possible).
- **Analyse et décision** : cette fonction centrale doit permettre de comprendre ce qui se passe et de remonter l'alerte à un niveau supérieur ou l'appel de renforts.
- **Intervention** : La nature et la forme de l'intervention dépend de l'alerte (feu, intrusion, accident du travail,...) Elle doit être la plus rapide et la plus efficace possible.
- **Retour à la normale** : Cette fonction a pour but de pouvoir constater la fin de l'alerte en vue de revenir à l'activité normale.

Nous retrouvons bien tous ces éléments dans la présente solution testée et préconisée.



Vous remercie de votre intérêt !

Suivi des versions :

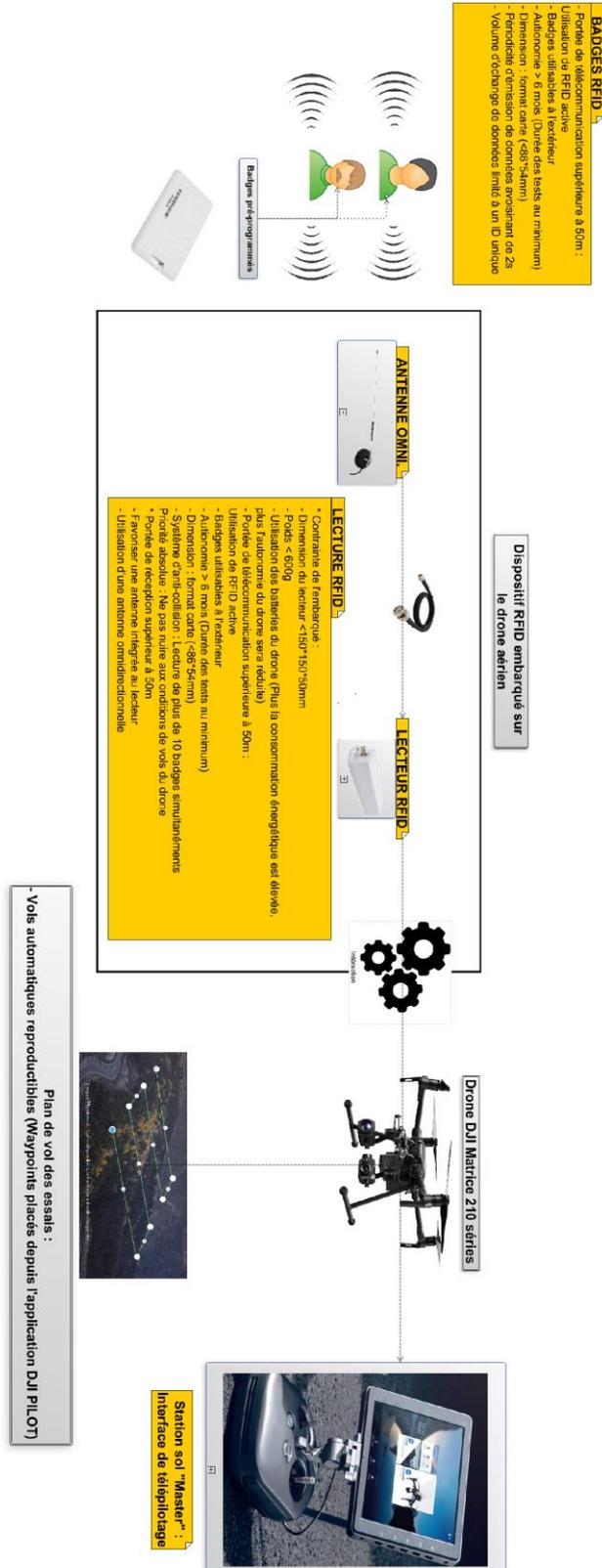
Version	Date	Nom du rédacteur	Nature de la modification
1	15/06/2021	Yoan ALLAMAN	Rapport d'étude préliminaire
2	26/06/2021	Yoan ALLAMAN	Ajout des éléments manquants suite aux remarques
3	18/10/2021	Yoan ALLAMAN	Rapport d'étude final en 2 formats : Synthèse visuelle et manuscrite
4	16/12/2021	Yoan ALLAMAN	Nouveau rapport d'étude avec remarques 2

LISTE DES FIGURES

- [Fig. 01](#) : Maturité & Stratégie au niveau mondial (Source : « Global Drone Sensor Industry Market Research Report » by Maia Research services)
- [Fig. 02](#) : Source: DAE SYSTEM© market studies / Inspiration: « Global Drone Sensor Industry Market Research Report » by Maia Research services)
- [Fig. 03](#) : Diagramme de contrainte client DAE System© : Mission de sûreté et sécurité périmétrique
- [Fig. 04](#) : Diagramme de choix DAE System© : Système communicant
- [Fig. 05](#) : Principe de télécommunication bidirectionnelle d'un système RFID (DAE System©)
- [Fig. 06](#) : Exigence terrain DAE System© : Système RFID actif
- [Fig. 07](#) : Exigence terrain DAE System© : Drone aérien
- [Fig. 08](#) : Matrice de choix DAE System© : Drone aérien
- [Fig. 09](#) : Technologies DAE System© utilisés pour l'étude
- [Fig. 10](#) : Tableau de gestion des essais 1/2
- [Fig. 11](#) : Tableau de gestion des essais 2/2
- [Fig. 12](#) : Source : Captation aérienne DAE System© à La Ciotat (13)
- [Fig. 13](#) : Source : Captation aérienne DAE System© à La Fare (13)
- [Fig. 14](#) : Source : Captation aérienne DAE System© à Aubagne (13)
- [Fig. 15](#) : (a) Représentation de la zone de caractérisation : (b) Moyens utilisés : (c) Positionnement du badge et lecteur avec leur support.
- [Fig. 16](#) : Principe physique entre un lecteur et un badge/Etiquette – Source : igm.univ « EPC2004-032-RFID Principes et Applications.pdf »
- [Fig. 17](#) : Positionnement optimal du badge vis-à-vis du lecteur RFID sur le drone
- [Fig. 18](#) : Source « Introduction au cours sur les antennes » ESIX Normandie
- [Fig. 19](#) : Diagramme de rayonnement (Radiation pattern) : (a) E plane pattern : (b) H plane pattern
- [Fig. 20](#) : Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID sur le drone – Position optimale de l'antenne pour détecter des badges
- [Fig. 21](#) : Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID sur le drone – Position la moins optimale de l'antenne pour détecter des badges (Détection en périphérie)
- [Fig. 22](#) : Diagramme de rayonnement (Radiation pattern) : E plane
- [Fig. 23](#) : Représentation de l'impact d'un obstacle sur la qualité du signal reçu par le lecteur RFID – Position optimale de l'antenne pour détecter des badges
- [Fig. 24](#) : Autonomie du système en vol avec une marge de 20%
- [Fig. 25](#) : Illustration d'un parcours de vol du drone lecteur de badges RFID actifs avec antenne omnidirectionnelle
- [Fig. 26](#) : Moyens d'analyse mis en œuvre par DAE System©
- [Fig. 27](#) : (a) Illustration de la zone de caractérisation : (b) Hélicoptère NH90 – Test de perturbation CEM
- [Fig. 28](#) : Extrapolation des essais scénarisés - Exemple de quadrillage d'un site privé à surveiller
- [Fig. 29](#) : Plan de vol préconisé avec une antenne omnidirectionnelle couplé à un lecteur à RFID active sur drone
- [Fig. 30](#) : Illustration d'un parcours de vol du drone lecteur de badges RFID actifs avec antenne directionnelle
- [Fig. 31](#) : Distance (m) en fonction de l'ESP (Donnée RSSI)
- [Fig. 32](#) : Illustration du concept de localisation d'un badge avec des mouvements du drone
- [Fig. 33](#) : Housses protectrices de capteurs sur mesures by DAE System©
- [Fig. 34](#) : « DrossAPP » Données brutes exportées le 28/09 - Fichier .CSV
- [Fig. 35](#) : Interface outil de génération de rapport automatique by DAE System ©

ANNEXE

1. Architecture mécatronique



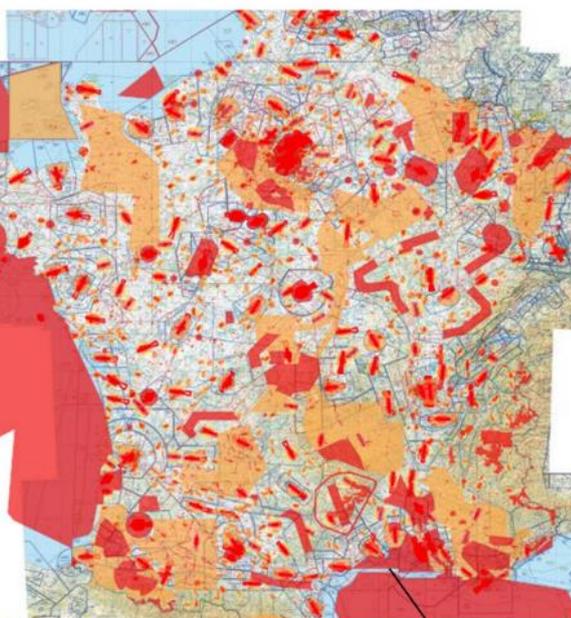
DAE System© Architecture système Drone RFID 1

2. Synthèse démarches réglementaires

Sites web pour préparer les vols



GEOPORTAIL Drone



MACH 7



<https://www.sia.aviation-civile.gouv.fr/schedules>

<https://www.geoportail.gouv.fr/>

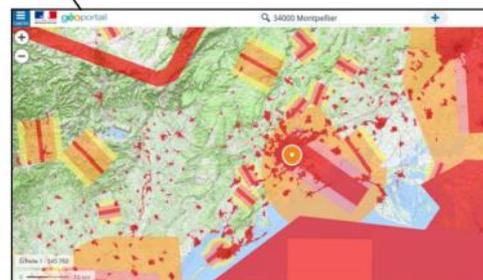
<http://www.mach7drone.com/>

Conseiller Aéronautique du CNRS (dircu.drones@cnsr.fr)

<https://extra.core-cloud.net/collaborations/conseiller-aeronautique/SitePages/Drones.aspx>

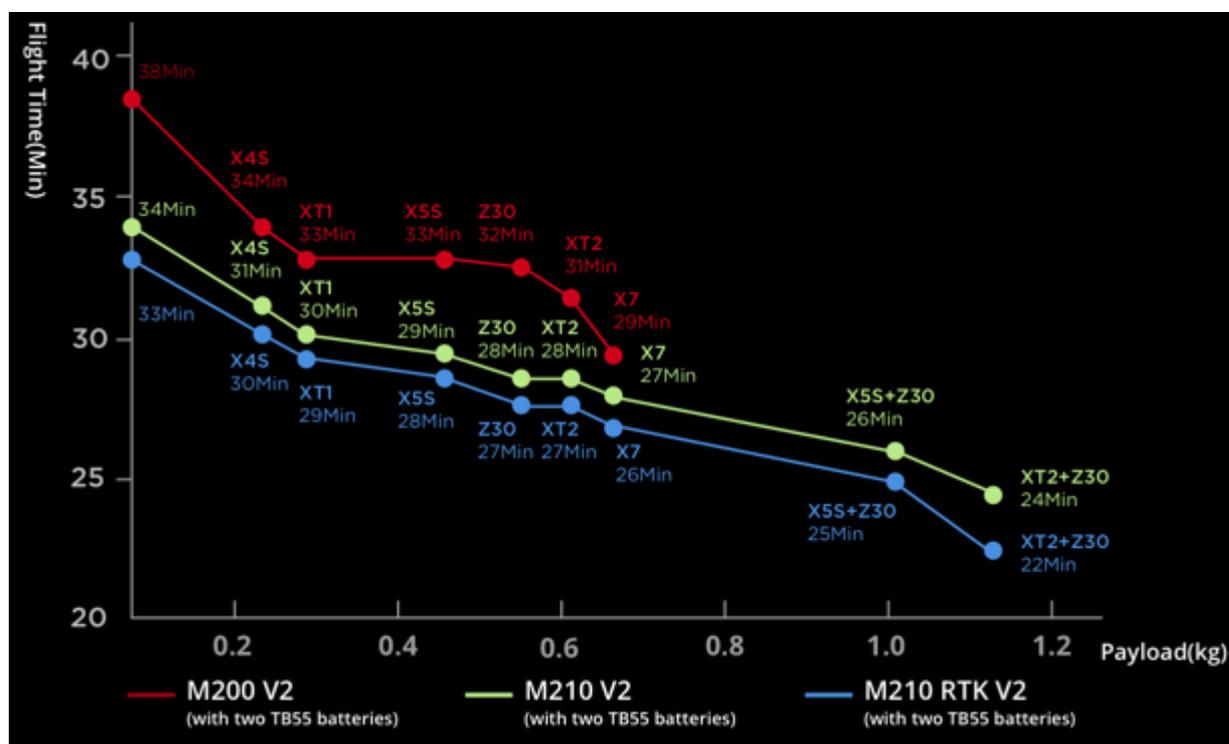
Demande de dérogation auprès du Centre de contrôle et de coordination Marine Atlantique (CCMAR)

Vol en zone urbaine (S3) demande auprès le préfecture



Source : Rapport limites drones de J. Ammann (CNRS / IUEM)

3. Autonomie théorique – Drone DJI M210 V2



Source : <https://www.dji.com/fr/matrice-200-series-v2/info>

4. Essais en vol – Cas badge autour du cou

N°	Plan de vol	Résultat – Périmètre : 9000 m ²	Résultat – Périmètre : 6000 m ²
Test 1	Vitesse : 5 m/s	<p>17 tours possibles</p> <p>13,25%</p>	<p>14 tours possibles</p> <p>27,68%</p>
	Vitesse : 3 m/s	<p>18 tours possibles</p> <p>20,02%</p>	<p>14 tours possibles</p> <p>14,94%</p>



Résultats DAE System© : H = 30m - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre : 9000 m ²	Résultat – Périmètre : 6000 m ²
Test 2	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 50 m		
			Vitesse : 3 m/s	

Résultats DAE System© : H = 50m - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre : 9000 m ²	Résultat – Périmètre : 6000 m ²
Test 2	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 50 m		
			Vitesse : 3 m/s	

Résultats DAE System© : H = 50m avec mesures RSSI - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

5. Essais en vol – Cas badge caché poteau/végétation

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre : 9000 m ²
Test 1	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 50 m Non illustré : H = 30 m → La détection est parfaite (100%) sous les 2 vitesses	
	Vitesse : 3 m/s		



Résultats DAE System© : Surface 9000m² - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

6. Essais en vol – Cas badge enceinte plastique/Acier

N°	Plan de vol	Résultat – Périmètre 9000 m ²
Test 2	Vitesse : 5 m/s	
	Vitesse : 3 m/s	



Résultats DAE System© : Surface 9000m² - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

7. Essais en vol – Cas badge dans un véhicule

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre 9000 m ²
Test 1	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 50 m	
		Hauteur : 30 m	



Résultats DAE System© : Surface 9000m² - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

8. Essais en vol – Cas badge dans un arbre

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre 9000 m ²
Test 1	Vitesse : 3 m/s	Hauteur : 30 m	
		Hauteur : 50 m	



Résultats DAE System© : $V_{\text{drone}} = 3\text{m/s}$ - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre 9000 m ²
Test 2	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 30 m	
		Hauteur : 50 m	

DAE System© : $V_{\text{drone}} = 5\text{m/s}$ - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone

9. Essais en vol – Cas badge caché sous un bâtiment

N°	Plan de vol		Résultat – Périmètre 9000 m ²
Test 1	Vitesse : 5 m/s	Hauteur : 30 m	
	Vitesse : 3 m/s		



Résultats DAE System© : Surface 9000m² - Lecteur de badges RFID actifs à antenne non directionnelle sur un drone