

International Telecommunication Union

ITU-R
Radiocommunication Sector of ITU

Rapport UIT-R SM.2486-0
(06/2021)

**Utilisation de drones commerciaux pour les
activités de contrôle du spectre de l'UIT-R**

Série SM
Gestion du spectre



International
Telecommunication
Union

Avant-propos

Le rôle du Secteur des radiocommunications est d'assurer l'utilisation rationnelle, équitable, efficace et économique du spectre radioélectrique par tous les services de radiocommunication, y compris les services par satellite, et de procéder à des études pour toutes les gammes de fréquences, à partir desquelles les Recommandations seront élaborées et adoptées.

Les fonctions réglementaires et politiques du Secteur des radiocommunications sont remplies par les Conférences mondiales et régionales des radiocommunications et par les Assemblées des radiocommunications assistées par les Commissions d'études.

Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR)

La politique de l'UIT-R en matière de droits de propriété intellectuelle est décrite dans la «Politique commune de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI en matière de brevets», dont il est question dans la Résolution UIT-R 1. Les formulaires que les titulaires de brevets doivent utiliser pour soumettre les déclarations de brevet et d'octroi de licence sont accessibles à l'adresse <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/fr>, où l'on trouvera également les Lignes directrices pour la mise en œuvre de la politique commune en matière de brevets de l'UIT-T, l'UIT-R, l'ISO et la CEI et la base de données en matière de brevets de l'UIT-R.

Séries des Rapports UIT-R

(Également disponible en ligne: <http://www.itu.int/publ/R-REP/fr>)

Séries	Titre
BO	Diffusion par satellite
BR	Enregistrement pour la production, l'archivage et la diffusion; films pour la télévision
BS	Service de radiodiffusion sonore
BT	Service de radiodiffusion télévisuelle
F	Service fixe
M	Services mobile, de radiorepérage et d'amateur y compris les services par satellite associés
P	Propagation des ondes radioélectriques
RA	Radio astronomie
RS	Systemes de télédétection
S	Service fixe par satellite
SA	Applications spatiales et météorologie
SF	Partage des fréquences et coordination entre les systèmes du service fixe par satellite et du service fixe
SM	Gestion du spectre

Note: Ce Rapport UIT-R a été approuvé en anglais par la Commission d'études aux termes de la procédure détaillée dans la Résolution UIT-R 1.

*Publication électronique
Genève, 2021*

© UIT 2021

Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite, par quelque procédé que ce soit, sans l'accord écrit préalable de l'UIT.

RAPPORT UIT-R SM.2486-0

Utilisation de drones commerciaux pour les activités de contrôle du spectre de l'UIT-R

(2021)

TABLE DES MATIÈRES

		<i>Page</i>
	Politique en matière de droits de propriété intellectuelle (IPR).....	ii
1	Introduction	2
2	Composants fonctionnels des systèmes de contrôle des émissions fondés sur les drones commerciaux	2
	2.1 Système de vol du drone.....	3
	2.2 Systèmes de mesure et de contrôle des émissions	3
	2.3 Commande de la mission de radiocommunication	4
	2.4 Commande à distance de la mission de radiocommunication	4
3	Autres considérations	5
	3.1 Conditions nécessaires au fonctionnement.....	5
	3.2 Facteurs liés à l'incertitude des mesures	6
	3.3 Limite actuelles présentées par les drones commerciaux	7
4	Expérience et cas d'utilisation	8
	4.1 Mesure de l'intensité du champ radioélectrique: signal de radiodiffusion télévisuelle numérique	8
	4.2 Localisation d'un signal satellite sur la liaison montante provenant d'une microstation	11
5	Acronymes.....	14

Résumé

Les drones commerciaux qui présentent des similitudes avec les stations de contrôle aéroportées classiques peuvent contribuer aux procédures réglementaires de mesure et de contrôle des émissions. Le contrôle des émissions au moyen de drones commerciaux peut être efficace dans des situations difficiles, lorsqu'il est impossible de surmonter les obstacles géographiques pour effectuer les mesures et les transmissions traditionnelles au sol ou pour assurer la sécurité des opérations. Il est entendu que l'utilisation des drones commerciaux traitée dans le présent Rapport s'effectue dans des conditions de visibilité directe par rapport aux opérations au sol et au sein du pays dont relèvent les autorités utilisant le drone.

Le présent Rapport donne des informations détaillées sur les éléments communs, les considérations liées aux incertitudes, les missions possibles ainsi que les cas d'utilisation des procédures de mesure et de contrôle du spectre effectuées au moyen de drones commerciaux.

1 Introduction

Selon la définition de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), les «systèmes d'aéronefs sans pilote», couramment appelés «aéronefs sans pilote», désignent des aéronefs ainsi que leurs éléments associés qui sont exploités sans pilote à bord. Les drones commerciaux relèvent de cette catégorie générale. À ce titre, ils sont en mesure de s'affranchir des limites géographiques et offrent un coût de vol relativement faible par rapport aux aéronefs avec pilote. Les drones commerciaux peuvent émettre et recevoir depuis des emplacements inaccessibles aux équipements au sol ainsi que depuis de multiples emplacements en un laps de temps très court, de la même manière que les stations d'aéronefs avec pilote classiques. Dans la mesure où les systèmes de contrôle des émissions fixes ou mobiles conventionnels effectuent des mesures et des transmissions au sol ou à une hauteur limitée par rapport au sol, ils peuvent perdre en précision sous l'effet de l'environnement du site, par exemple en raison de la présence, à proximité, de bâtiments urbains, de montagnes, d'antennes à haute altitude et de zones côtières.

Les activités de mesure et de transmission qui pourraient être effectuées au moyen de drones commerciaux sont notamment les suivantes:

- mesures de l'intensité du champ radioélectrique;
- mesure du diagramme d'antenne tridimensionnel;
- mesures de la couverture radio;
- inspection des stations de contrôle des émissions sur place;
- inspection des stations radio sur place;
- entretien et étalonnage des stations et des équipements de contrôle des émissions;
- recherche de brouillages;
- radiogoniométrie pour déterminer l'emplacement d'un émetteur;
- études techniques et scientifiques.

Le contrôle des émissions au moyen de drones a l'avantage de permettre l'observation du spectre et la réalisation de mesures et d'enregistrements des signaux à une hauteur beaucoup plus élevée que ne le permettent les systèmes de contrôle au sol. Ce gain d'altitude peut être extrêmement utile pour les applications susmentionnées. En outre, le coût d'acquisition d'une plate-forme de drone à des fins de contrôle des émissions est largement inférieur à celui de la plupart des plates-formes mobiles de base.

2 Composants fonctionnels des systèmes de contrôle des émissions fondés sur les drones commerciaux

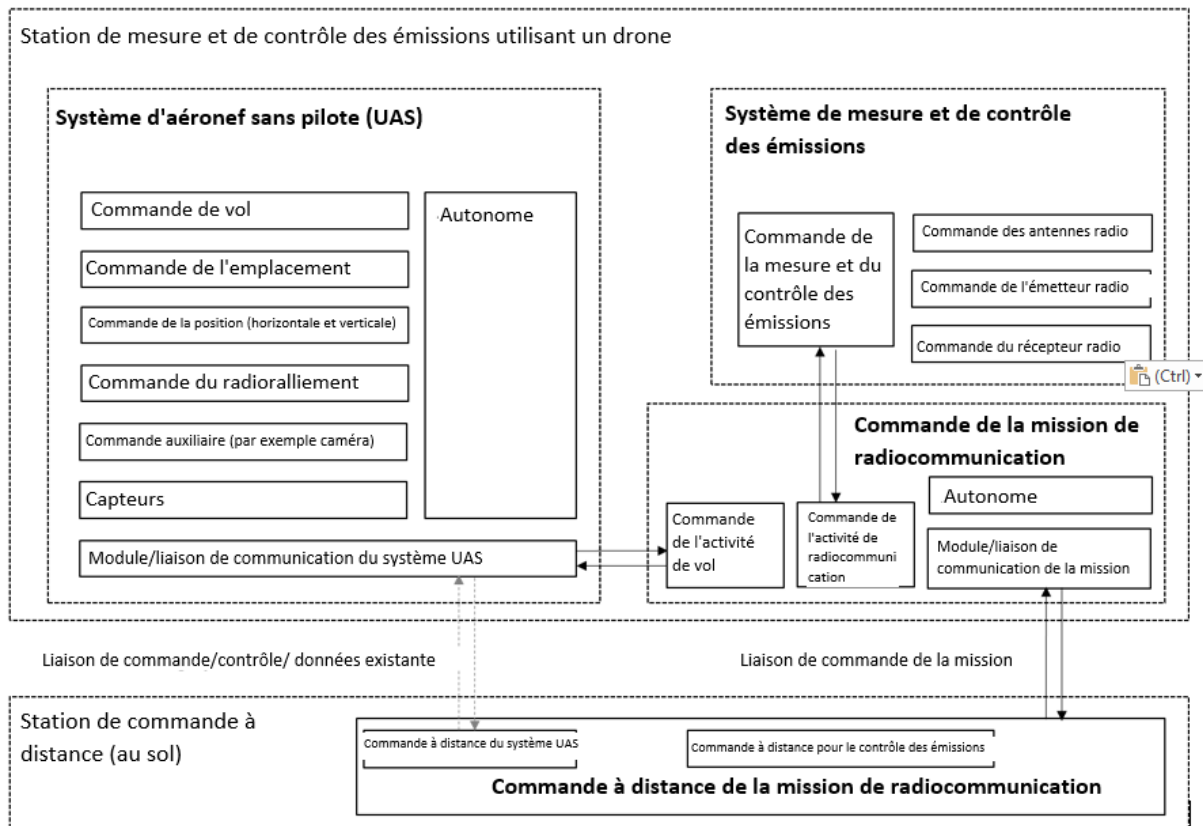
Les composants fonctionnels des systèmes de mesure et de contrôle des émissions fondés sur les drones commerciaux comportent quatre parties, comme indiqué dans la Fig. 1:

- le système de vol du drone;
- le système de mesure et de contrôle des émissions;
- la commande de la mission de radiocommunication;
- la commande à distance de la mission de radiocommunication.

La Figure 2 donne un exemple de station de contrôle des émissions utilisant un drone.

FIGURE 1

Architecture fonctionnelle d'une station de mesure et de contrôle des émissions utilisant un drone



2.1 Système de vol du drone

Les drones commerciaux ont des composantes de commande analogues à celles des aéronefs avec pilote, et les principales fonctions requises pour le contrôle des émissions, en mode automatique ou manuel, sont les suivantes :

- commande de vol avec ou sans évitement des collisions;
- commande de l'emplacement et de l'altitude;
- commande de la position horizontale et verticale (vol stationnaire);
- commande du radorallieement (origine).

Les drones commerciaux peuvent généralement être commandés entièrement à distance depuis un emplacement éloigné, ou programmés à l'avance pour effectuer un vol de manière autonome, sans intervention. La précision de chaque méthode de commande dépend de la qualité de fonctionnement du drone en vol.

2.2 Systèmes de mesure et de contrôle des émissions

Le système de mesure et de contrôle des émissions peut comporter des équipements de réception et de mesure des ondes radioélectriques et des équipements permettant d'émettre des signaux. Le concept sur lequel se fondent ces systèmes est identique à celui qui sous-tend les équipements de test et de contrôle des émissions existants, mais le type, la taille et le poids de ces équipements sont limités par la capacité du drone (par exemple charge utile maximale, consommation électrique, dimensions et forme). À titre d'exemple, la taille du drone a des incidences sur la taille de l'antenne ou du réseau d'antenne qui déterminent la gamme de fréquences, et la taille et le poids de l'émetteur, du générateur de signaux ou de l'amplificateur de puissance sont directement limités par les capacités en termes de

charge utile. En outre, les activités de mesure et de contrôle des émissions qui peuvent être effectuées dépendent de la précision de la commande de l'emplacement. À titre d'exemple, si le drone est utilisé pour mesurer un diagramme d'antenne tridimensionnel en champ proche, il est nécessaire de garantir la précision de l'emplacement et de la commande du maintien en position.

2.3 Commande de la mission de radiocommunication

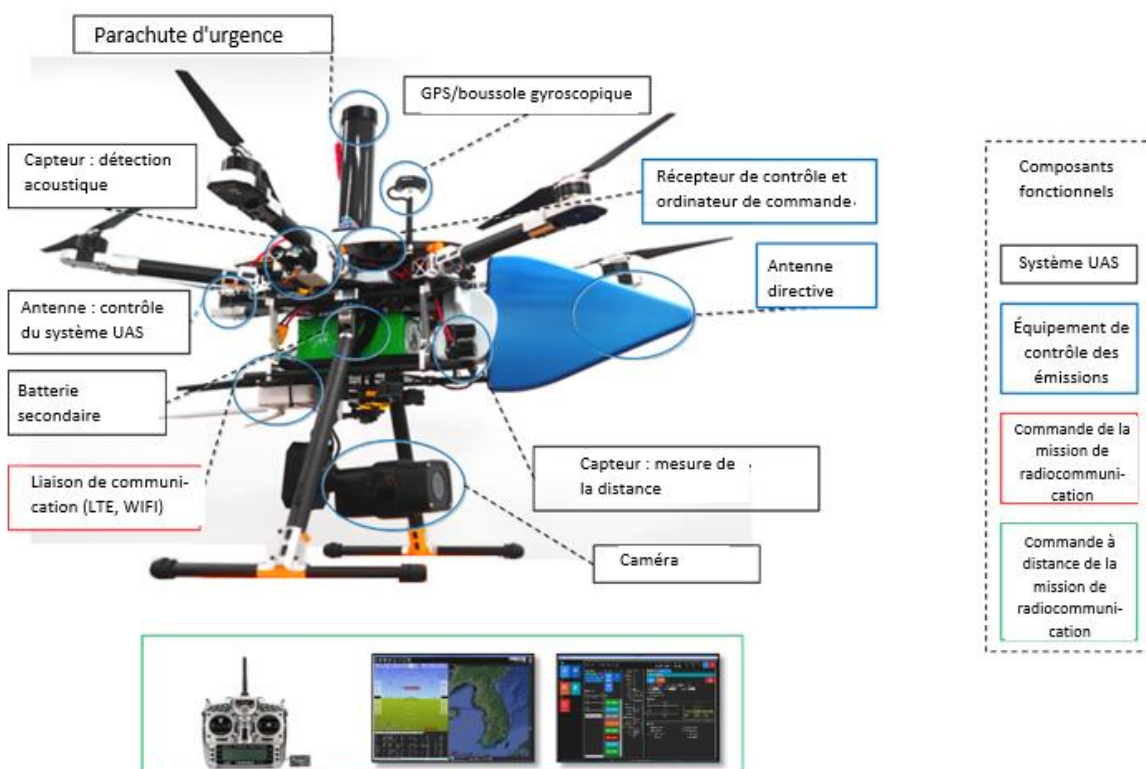
La commande de la mission de radiocommunication permet de coordonner le drone et le système de mesure et de contrôle des émissions afin d'effectuer une ou plusieurs tâches. La commande de la mission de radiocommunication permet de déplacer le drone vers un emplacement précis, d'effectuer des transmissions ou des mesures des émissions, de recueillir et de transférer les résultats. Elle comporte une liaison de communication pour le transfert de données de télémesure et d'autres données vers la station de commande à distance (au sol) et utilise certaines des liaisons ou toutes les liaisons, en fonction du mode de vol et de la tâche de mesure. Selon la situation, le drone peut utiliser les liaisons de communication dédiées existantes, et les missions liées au contrôle des émissions peuvent être effectuées au moyen de la liaison de commande de la mission.

2.4 Commande à distance de la mission de radiocommunication

Les stations de mesure et de contrôle des émissions des drones commerciaux peuvent être entièrement commandées au moyen de la commande à distance de la mission de radiocommunication dans le cadre du processus de contrôle des émissions. La commande à distance de la mission de radiocommunication communique avec la commande de la mission de radiocommunication au moyen de la liaison de commande de la mission. L'utilisation de la liaison dépend du niveau d'automatisation des procédures de mesure et de contrôle des émissions et du mode de commande de vol du drone.

FIGURE 2

Exemple de système de mesure et de contrôle des émissions utilisant un drone



3 Autres considérations

3.1 Conditions nécessaires au fonctionnement

3.1.1 Incidences de la taille, du poids et de l'alimentation électrique sur la qualité de fonctionnement

Dans la mesure où la taille relativement restreinte des drones limite l'espace d'installation, il est nécessaire de sélectionner les composants en fonction de leur taille, de leur poids et de leur consommation énergétique. Ces composants doivent être installés selon une configuration très peu encombrante, mais fonctionnelle, qui permet à la fois le vol et les opérations de mesure. Contrairement aux systèmes de mesure des émissions traditionnels, les composants radiofréquences pouvant être installés sur un drone (antennes, récepteurs et émetteurs) sont parfois caractérisés par une faible qualité de fonctionnement et une largeur de bande de fonctionnement étroite, c'est-à-dire présenter des caractéristiques particulières en termes de portée. Par conséquent, lors du déploiement d'un système de contrôle sur un drone, il est recommandé de mesurer, d'étalonner et de vérifier la qualité de fonctionnement globale du système avec tous les équipements de contrôle installés.

3.1.2 Diagrammes d'antenne

Les drones commerciaux comportent une quantité relativement faible de métal dans un souci de légèreté, mais il existe de nombreuses structures autour de l'antenne qui peuvent perturber la réception des signaux. Les trains d'atterrissage, les hélices ainsi que leurs bras, et les supports pour la fixation d'équipements périphériques tels que les caméras, peuvent perturber la réception des signaux dans certaines directions. Le diagramme d'une antenne installée sur un aéronef sans pilote a des incidences sur les résultats de la mesure. Pendant le vol, lorsque l'aéronef sans pilote est en mouvement continu, certains systèmes peuvent utiliser un réflecteur laser pour obtenir des données de position tridimensionnelles précises, de manière à pointer l'antenne dans la bonne direction. Afin d'élaborer un diagramme d'antenne efficace pour un drone, le diagramme est généralement mesuré dans une chambre anéchoïque. Dans le cas des mesures en chambre anéchoïque, tous les équipements nécessaires aux activités (par exemple le réflecteur laser) doivent être installés de façon à définir le diagramme avec précision.

3.1.3 Bruit de fond

Les drones commerciaux sont équipés d'un certain nombre de dispositifs radiofréquences à bord pour:

- le système existant de commande à distance et de transmission des données;
- les liaisons de communication pour la mission de contrôle des émissions; et
- les composants qui peuvent être sources de brouillages électromagnétiques, tels que les moteurs électriques et les sources d'alimentation.

En conséquence, les niveaux de bruit peuvent être anormalement élevés dans certaines bandes de fréquences. Il peut être nécessaire d'éteindre certains de ces équipements afin d'améliorer l'environnement de mesure.

3.1.4 Caractéristiques de sécurité et de protection

Les drones commerciaux se déplacent dans l'air comme n'importe quel aéronef. L'opérateur doit donc assurer la sécurité des autres utilisateurs de l'espace aérien et la sécurité des personnes et des biens au sol. Par ailleurs, un drone équipé d'un système de contrôle des émissions constitue un bien coûteux pour un organisme. Or, il peut être exposé à des chutes et faire l'objet de réparations coûteuses à la suite d'une chute. Dans ce contexte, il peut être nécessaire d'installer un capteur de détection acoustique permettant de détecter et d'éviter une collision en vol, un parachute en cas de chute accidentelle, une liaison de communication de secours et un système de localisation de secours.

3.1.5 Réglementations locales en matière de vol

Étant donné qu'il existe des réglementations nationales visant à limiter les zones, heures et modalités de vol pour chaque type de drone, il est nécessaire de contacter l'autorité de régulation nationale compétente à l'avance.

3.2 Facteurs liés à l'incertitude des mesures

Dans la mesure où ils ne sont pas fermement attachés au sol, les drones essaient de se maintenir à une position donnée à l'aide de divers capteurs et algorithmes. Par conséquent, toute volatilité ou mouvement soudain pendant le temps d'acquisition du signal peut entraîner une incertitude de mesure et une variation des résultats. Par exemple, si une mesure est effectuée en un même endroit à un moment différent, les résultats de mesure pour un signal à tonalité unique peuvent être différents. Bien que les drones soient commandés de façon à maintenir la même position, dans les mesures réelles, on peut supposer que la volatilité de l'environnement opérationnel aura des incidences sur les résultats.

Les principales sources d'incertitudes susceptibles de contribuer à la volatilité des mesures sont notamment les suivantes:

3.2.1 Commande de vol par un seul opérateur

Lorsque le drone est commandé à distance par un opérateur, il est difficile de gérer simultanément le vol jusqu'aux coordonnées de la cible et la réalisation des mesures ou des transmissions. Si la position du drone change soudainement en raison des conditions météorologiques, du vent ou de lectures de position inexactes, il est presque impossible pour un seul opérateur de confirmer visuellement et de maintenir la position fixe.

3.2.2 Commande de l'emplacement au moyen du système mondial de navigation par satellite (GNSS)

Les drones utilisent généralement le système GNSS pour la navigation, notamment le système mondial de localisation (GPS) ou les systèmes GLONASS, Galileo, Beidou, et s'appuient sur le système de navigation par inertie (INS) afin d'assurer une précision à court terme. Ces signaux sont également sensibles aux interférences ou aux brouillages et peuvent s'affaiblir ou disparaître de manière soudaine dans certains environnements pendant le vol. La qualité de la réception GNSS peut être dégradée en raison des brouillages électromagnétiques produits par différents périphériques du drone lui-même, ou des conditions météorologiques telles que les vents forts ou les nuages épais. Ces éléments peuvent entraîner l'instabilité du vol stationnaire, ce qui nuit à la précision des mesures ou des transmissions. Il est possible d'utiliser plusieurs récepteurs GNSS ou récepteurs multifréquences ou d'apporter des améliorations dans le domaine des brouillages électromagnétiques, par exemple, afin d'améliorer la qualité de réception des signaux de navigation et, partant, la stabilité de la plate-forme du drone.

Le système GPS comporte des erreurs dans le plan horizontal de l'ordre de plusieurs mètres dans des conditions normales et des erreurs dans le plan vertical qui sont 1 à 2 fois plus grandes que celles dans le plan horizontal. Afin d'améliorer la précision de la position, on peut utiliser la technologie GPS cinématique en temps réel (RTK), comme c'est le cas dans le domaine de la surveillance, par exemple. Il est ainsi possible d'obtenir une marge d'erreur de quelques centimètres en ce qui concerne la position.

3.2.3 Commande de la position horizontale et verticale (vol stationnaire) et radioralliement

Les drones se maintiennent à la position cible avec une grande précision, mais peuvent s'incliner ou tourner, ce qui entraîne des erreurs importantes dans les mesures en champ proche.

3.2.4 Caractéristiques de l'antenne de mesure et de transmission

En fonction de la mission, les drones peuvent être équipés d'antennes directives, omnidirectives ou de réseaux d'antennes. Même lorsque l'on installe une antenne dont le diagramme de rayonnement est connu, il est nécessaire de vérifier le diagramme de rayonnement après installation, en tenant compte des incidences produites par le corps du drone ou les périphériques. L'altitude et l'attitude/l'inclinaison du drone peuvent également être modifiées pendant la mesure ou la transmission, de sorte qu'il peut être nécessaire de mesurer le diagramme d'antenne tridimensionnel dans la bande de fréquences cible. Lors de l'utilisation d'une antenne directive, l'état de radioralliement du drone et le diagramme d'antenne ont des incidences plus importantes sur les résultats de la mesure. En règle générale, il est plus important de connaître le diagramme d'antenne dans les missions en champ proche. En effet, l'étalonnage a davantage d'importance dans le cas de la reconstitution de la source lorsque l'on effectue des mesures en champ proche et que l'on les convertit en mesures en champ lointain.

3.2.5 Influence du vent

Même lorsque l'on parvient à améliorer la précision de la localisation grâce la technologie cinématique en temps réel ou à une autre technologie, le vent peut influencer en permanence sur le drone et le faire dévier brusquement de sa position. La plupart des drones de loisir vendus dans le commerce ne garantissent pas un fonctionnement stable ou sécurisé dans des conditions venteuses, et l'on recense de nombreux accidents liés au vent dans le cadre de tests de contrôle hertziens effectués à l'aide de drones. Afin que la mission de contrôle des émissions soit couronnée de succès, il peut être nécessaire de surveiller et d'enregistrer la vitesse du vent pour chaque vol ou pour chaque mesure, ce qui peut permettre de mieux comprendre les résultats des mesures.

3.3 Limite actuelles présentées par les drones commerciaux

Malgré leurs nombreux avantages, les drones présentent bon nombre des limites qui caractérisent les aéronefs traditionnels.

3.3.1 Positionnement et radioralliement

Le contrôle de l'attitude présente certaines limites, lorsque les capacités de détection des capteurs sont imprécises et/ou qu'il existe des courants atmosphériques. Par exemple, il est possible que le drone ne signale pas la direction du point d'origine réel au moment où le capteur de mouvement du drone le détecte. Si le drone est utilisé sans élément supplémentaire visant à compenser la rotation et l'inclinaison, comme un équipement laser, l'angle de mesure peut facilement varier de plusieurs degrés, entraînant une erreur de mesure.

3.3.2 Dépendance par rapport aux conditions météorologiques

La planification des missions repose sur les prévisions météorologiques. Cependant, ce facteur doit être vérifié sur place, et il s'agit de l'aspect influant le plus sur les activités effectuées au moyen des drones. Les températures élevées ou basses peuvent également avoir des incidences négatives sur les batteries, les capteurs, les moteurs et les équipements de contrôle des émissions. Il est aussi difficile d'utiliser des drones dans des conditions de forte humidité, de brouillard, de pluie ou de neige, et leur utilisation peut être limitée par le climat local de la zone de mesure. En outre, les vents forts rendent les drones difficiles à piloter et peuvent avoir des incidences néfastes sur les résultats des mesures.

3.3.3 Courte durée de fonctionnement

L'alimentation électrique étant limitée, le temps de vol des drones est généralement inférieur à quelques dizaines de minutes, et des batteries de rechange et des bornes de recharge sont nécessaires pour une utilisation répétée.

3.3.4 Taille, poids et alimentation électrique

Les drones commerciaux, qu'il est facile de se procurer, sont relativement petits et légers, ce qui limite considérablement le poids de la charge utile, y compris l'alimentation électrique, les périphériques montables, les antennes et les récepteurs de contrôle des émissions.

3.3.5 Risque d'accident

Les systèmes présentent de nombreuses contraintes et comportent des risques d'accident. Lorsqu'ils sont en vol, les drones comportent toujours des risques d'accident, notamment en ce qui concerne des risques de blessures aux personnes et d'endommagement des biens ou des systèmes embarqués pendant le fonctionnement.

3.3.6 Coût et réglementation

Compte tenu des nombreuses limites liées à l'environnement et à la méthode d'exploitation, ainsi que du risque d'accident, il est nécessaire d'évaluer la rentabilité de l'utilisation de drones pour le contrôle des émissions à des fins particulières.

4 Expérience et cas d'utilisation

4.1 Mesure de l'intensité du champ radioélectrique: signal de radiodiffusion télévisuelle numérique

La présente sous-section vise à décrire la mesure des signaux radioélectriques pour la radiodiffusion de Terre au moyen d'une plate-forme UAV et à comparer les résultats avec les mesures effectuées avec un système de contrôle fixe traditionnel.

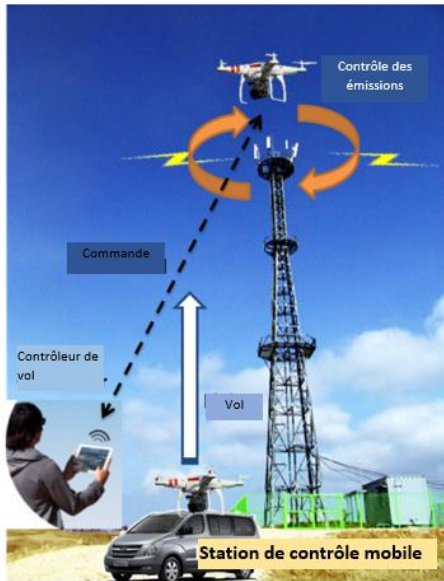
La Figure 3 donne une illustration du système de contrôle des émissions à distance au moyen d'un aéronef UAV.

FIGURE 3

Système de contrôle des émissions à distance au moyen d'un aéronef UAV

Domaine d'activité du système de contrôle des émissions au moyen d'un aéronef UAV

Système de contrôle des émissions au moyen d'un aéronef UAV



4.1.1 Considérations techniques

Des cardans à trois axes portatifs sont utilisés dans les systèmes de stabilisation conçus pour offrir à l'opérateur de la caméra l'indépendance qui caractérise la prise de vue à main levée, sans vibration ni tremblement de la caméra, afin d'éliminer les erreurs de mesure liées aux images floues pendant le vol.

Il convient d'envisager l'utilisation de la technologie cognitive visuelle pour définir correctement le lieu d'atterrissage. Le point d'atterrissage programmé du drone peut présenter un écart de trois mètres. Pour pallier ce décalage potentiel, l'aéronef UAV doit être contrôlé visuellement pendant le processus d'atterrissage.

Lorsque l'on effectue des mesures dans la bande des ondes décimétriques, il convient de documenter et de mesurer le bruit radioélectrique susceptible d'être causé par les moteurs de l'aéronef UAV.

Les exploitants doivent tenir compte de la taille, du poids, de la charge utile et de la durée de fonctionnement de l'aéronef UAV, puisque les équipements de mesure seront installés sur l'aéronef UAV.

Les facteurs qui doivent être pris en considération lors du choix de l'équipement de contrôle à utiliser sur l'aéronef UAV sont notamment la taille, le poids, l'alimentation électrique et la qualité de fonctionnement.

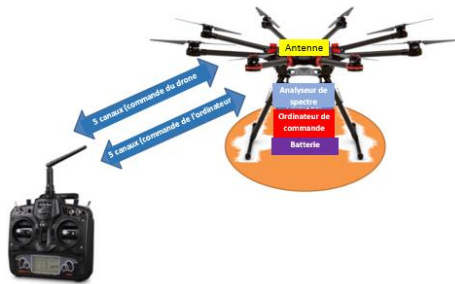
Lors du choix d'un ordinateur de commande, il est nécessaire de définir les spécifications pertinentes (système d'exploitation, unité centrale de traitement, capacité de la mémoire, etc.) en fonction des exigences de l'équipement de contrôle.

L'équipement de contrôle est commandé au moyen des dix canaux de communication disponibles de la commande à distance. Cinq des canaux sont utilisés pour commander l'aéronef UAV et les cinq autres canaux permettent de commander le programme informatique et faire fonctionner l'équipement embarqué.

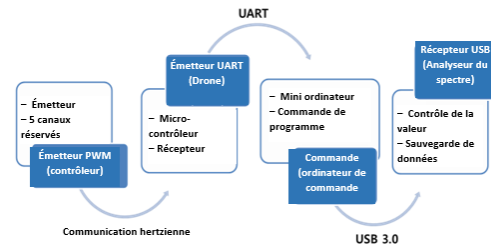
FIGURE 4

Schéma d'un système de contrôle des émissions au moyen d'un aéronef UAV

Plan des canaux pour la commande d'un aéronef UAV



Architecture du système de contrôle des émissions pour l'ordinateur de commande



4.1.2 Expérience concernant la mesure du signal de radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre au moyen d'un aéronef UAV

On trouvera ci-dessous une comparaison des résultats de mesure pour la radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre entre une station de contrôle des émissions fixe et une station de contrôle des émissions à distance au moyen d'un drone.

FIGURE 5

Station de contrôle des émissions pour la radiodiffusion télévisuelle numérique

Station de contrôle des émissions fixe



Station de contrôle des émissions utilisant un drone



Pour les signaux de radiodiffusion télévisuelle numérique, la hauteur de l'antenne est de 9 mètres au-dessus du sol aux fins de la mesure. La méthode existante (station de contrôle des émissions fixe) nécessite l'installation d'un mât d'antenne sur le véhicule et prend plus de temps. Elle est aussi plus coûteuse pour obtenir des mesures et des résultats sur un nombre limité de sites de mesure. Cependant, lorsque l'on utilise un drone dans le cadre du processus de contrôle, il est possible d'effectuer des contrôles à une hauteur de 9 mètres de façon stable et depuis des endroits difficiles d'accès pour les véhicules.

Les mesures ont été prises en utilisant les deux méthodes sur cinq chaînes de télévision numérique émettant depuis le mont Moak dans la ville de Jeonju. La comparaison des résultats entre les deux méthodes montre une variation de 1 à 2 dB, ce qui est négligeable, car cette variation correspond à l'erreur de mesure que l'on constate avec la méthode existante. La partie gauche de la Figure 6 montre le spectre de mesure sur la base de la méthode de mesure des ondes radioélectrique fixe au moyen du mât d'antenne, et la partie droite montre le spectre de mesure sur la base de la méthode de mesure des

ondes radioélectriques à distance au moyen de drones. Le Tableau 1 présente les résultats de mesure pour tous les canaux de radiodiffusion transmis depuis le mont Moak. Ce rapport démontre qu'il est possible d'utiliser les drones comme systèmes de contrôle des émissions à distance, étant donné que le résultat de la mesure obtenu au moyen d'un système de contrôle des émissions fixe conventionnel avec un mât d'antenne est comparable au résultat obtenu lorsque l'on utilise des drones.

FIGURE 6

Résultat du contrôle des émissions pour une station de radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre

Avec un système de contrôle du spectre fixe Avec un système de contrôle du spectre utilisant un drone

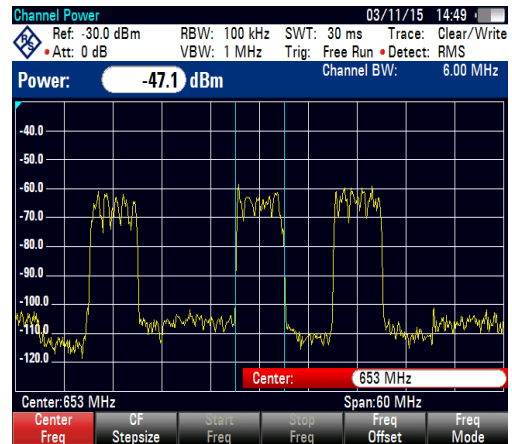
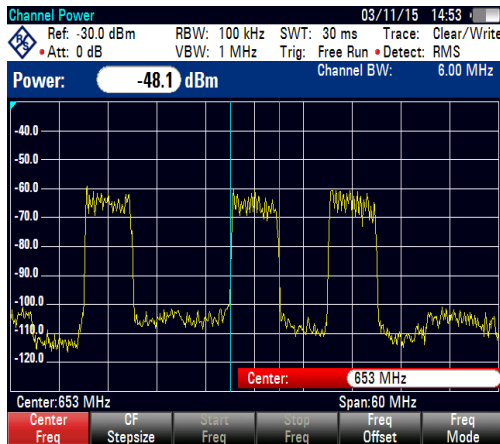


TABLEAU 1

Renseignements détaillés sur le contrôle des émissions pour une station de radiodiffusion télévisuelle numérique de Terre

Chaîne de télévision numérique (Mont Moak)	Fréquence	Station fixe	Drone	Variation
27	551 MHz	-46 dBm	-48 dBm	2 dB
33	587 MHz	-51 dBm	-49 dBm	2 dB
41	635 MHz	-48 dBm	-49 dBm	1 dB
44	653 MHz	-48 dBm	-47 dBm	1 dB
46	665 MHz	-47 dBm	-46 dBm	1 dB

4.2 Localisation d'un signal satellite sur la liaison montante provenant d'une microstation

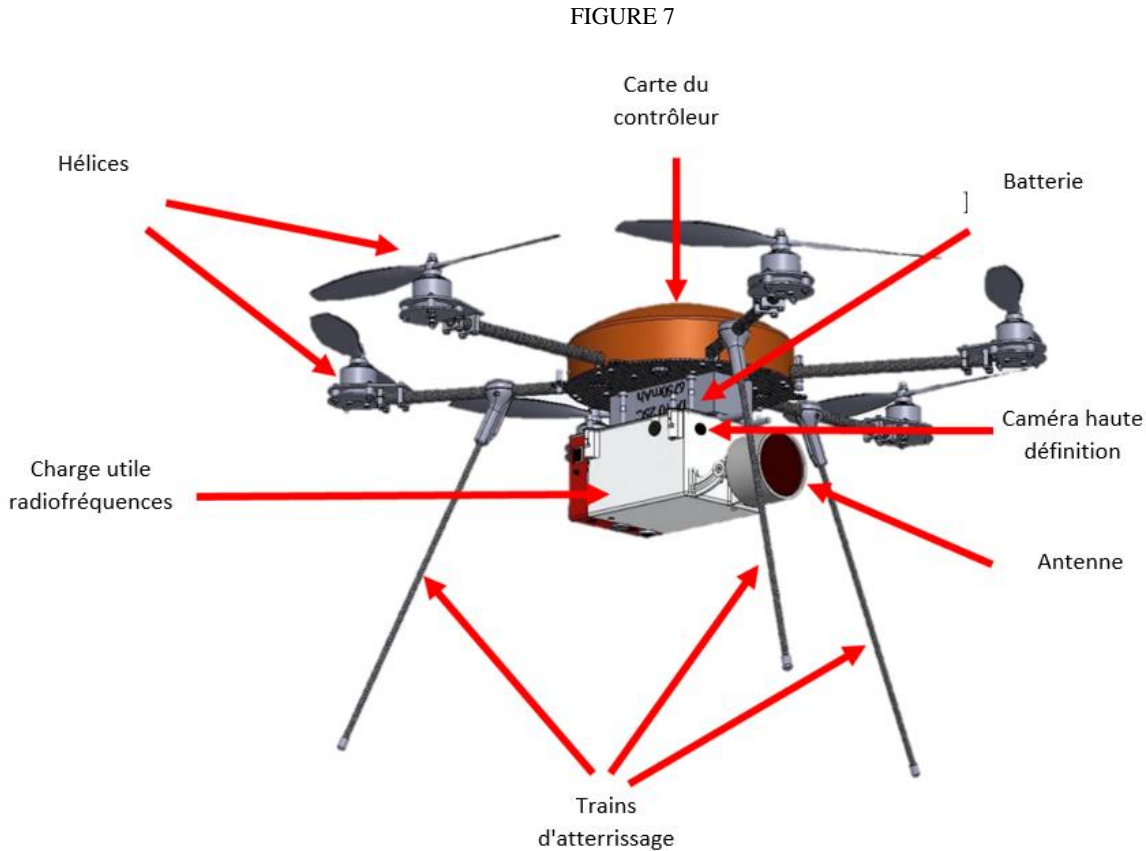
4.2.1 Introduction

La présente section contient un exemple concernant l'utilisation d'une plate-forme UAV pour détecter et localiser un signal satellite sur la liaison montante provenant d'une microstation.

4.2.2 Informations concernant le système

4.2.2.1 Aéronef sans pilote

La plate-forme UAV comprend 6 hélices et assure le décollage et l'atterrissage verticaux. Elle est équipée d'une caméra haute définition (HD) et de deux charges utiles couvrant la bande de fréquences 2-40 GHz. La Figure 7 présente les composants de l'aéronef UAV.



La station au sol de l'aéronef UAV comprend une manette, un ordinateur portable, un module de télémétrie et un anémomètre.

4.2.2.2 Système de contrôle des émissions (charge utile radiofréquences)

La plate-forme UAV peut contrôler la bande de fréquences 2-40 GHz en utilisant deux charges utiles, comme indiqué ci-dessous:

Paramètres	Charge utile en bandes L, C, X et Ku	Charge utile en bande Ka
Bande de fréquences	Antenne de réception 2-18 GHz	Antenne de réception 18-40 GHz
Polarisation	Polarisation circulaire gauche et droite	Polarisation circulaire gauche et droite

La communication entre la station au sol et l'aéronef UAV s'effectue au moyen d'une liaison hertzienne dans la bande des 2,4 GHz.

4.2.2.3 Commande et opérations

Le drone peut fonctionner selon deux modes: manuel et automatique. Il peut être commandé manuellement par un opérateur au moyen d'une manette afin de voler dans n'importe quelle direction voulue. Une autre solution consiste à définir et à programmer l'itinéraire de vol en amont, en utilisant le logiciel pour charger un plan de vol dans l'aéronef UAV. Pour des raisons de sécurité, l'aéronef UAV est équipé d'une fonction d'atterrissage de sécurité à la position de base en cas d'épuisement de la batterie.

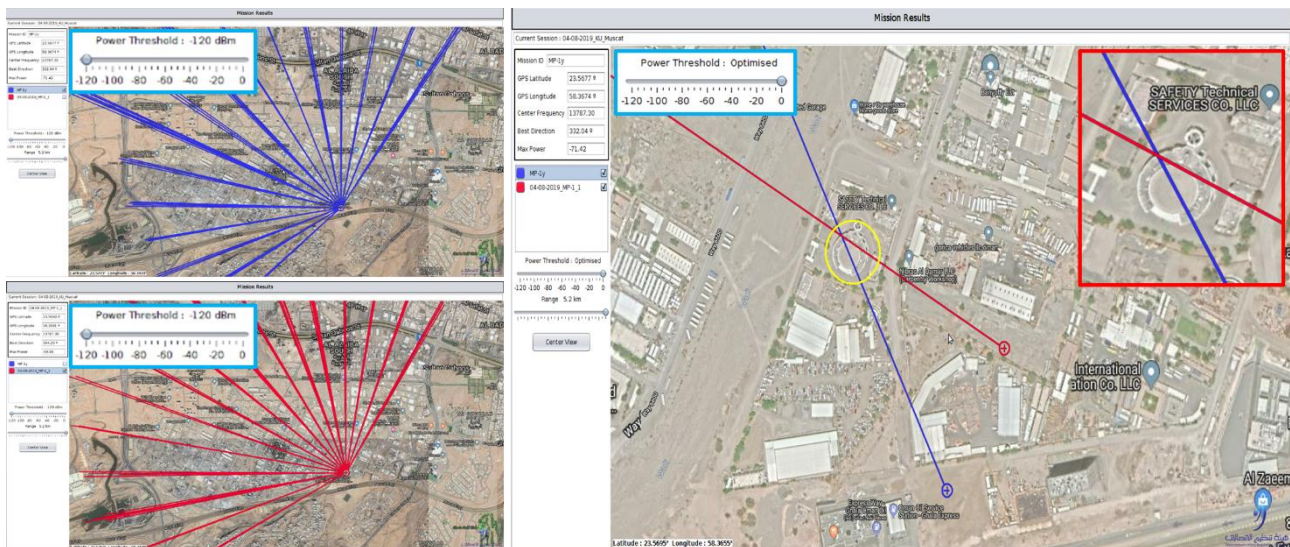
4.2.3 Mesures et résultats

Pour effectuer ce type de mesure, il faut prendre en compte certaines considérations avant d'effectuer la mission dans une zone étendue spécifiée, par exemple en identifiant le lieu de la mesure et les points en vol pour localiser l'antenne cible, ainsi que la direction de l'emplacement présumé de la cible.

La Figure 8 montre les résultats de mesure de la mission de l'aéronef UAV. Au cours de la mission, le drone a mesuré la fréquence cible à partir de deux points de mesure et à différents angles donnés. Grâce à l'utilisation d'un compteur de seuil de puissance, les résultats des mesures peuvent être filtrés sur la carte pour ne visualiser que les directions dans lesquelles la puissance reçue est élevée (image de gauche). Le système UAV peut ensuite fournir un résultat optimisé qui montre la meilleure direction de mesure calculée sur la base de la puissance reçue dans toutes les directions. L'intersection des résultats optimisés, entourée en jaune, à partir de deux points de mesure en vol montre l'emplacement de l'émetteur de la microstation (image de droite).

FIGURE 8

Résultats et analyse des mesures effectuées au moyen d'un aéronef UAV



Sur la base de la mesure ci-dessus, la caméra intégrée de l'aéronef UAV permet d'identifier toute antenne placée à haute altitude, et des photos sont prises à chaque angle pour vérifier si une antenne est visible dans la direction de la puissance maximale reçue. La Figure 9 montre la photo de l'émetteur de la microstation.

FIGURE 9
Photos prises par l'aéronef UAV



5 Acronymes

3D	trois dimensions
DTV	télévision numérique (<i>digital television</i>)
EMI	brouillage électromagnétique (<i>electromagnetic interference</i>)
GNSS	système mondial de navigation par satellite (<i>global navigation satellite system</i>)
GPS	système mondial de localisation (<i>global positioning system</i>)
OACI	Organisation de l'aviation civile internationale
INS	système de navigation par inertie (<i>inertial navigation system</i>)
RTK	cinématique en temps réel (<i>real-time kinematic</i>)
UAS	système d'aéronef sans pilote (<i>unmanned aircraft system</i>)
UAV	aéronef sans pilote (<i>unmanned aerial vehicle</i>)
VSAT	microstation (<i>very small aperture terminal</i>)
