

Transmission vidéo basse latence pour drone FPV

Cahier des charges

Travail de Bachelor

Non Confidentiel

Départements : TIC

Filière : Informatique et systèmes de communication

Orientation : Systèmes informatiques embarqués

Auteur : Tschantz Nathan

Supervisé par : Favrat Pierre

Date : 28 février 2026

Historique du document

Version	Date	Changements
V1.0	28 février 2026	première version du cahier des charges fonctionnel incluant les objectifs de performance (MVP) et les options de communication.

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Références normatives	5
1.2	Abréviations	6
2	Description du problème	8
3	Analyse du besoin	9
4	Fonctions et exigences du système	10
5	Note sur l'utilisation de l'intelligence artificielle	12
6	Bibliographie	13

Liste des tableaux

2	Références normatives	5
3	Liste des abréviations	6
4	Analyse des besoins des utilisateurs	9
5	Fonctions de service et exigences du système à concevoir	10
6	Fonctions techniques et exigences du système à concevoir	10
7	Fonctions de contrainte et exigences du système à concevoir	11

1 Introduction

Le pilotage de drones FPV (First Person View) requiert un retour vidéo en temps réel très fiable. Actuellement, la majorité de ces systèmes repose sur des liaisons analogiques ou numériques fonctionnant dans la bande des 5.8 GHz. Bien que cette bande offre une large bande passante, elle a une faible capacité de pénétration des obstacles (Non-Line-Of-Sight) et donc une portée limitée en environnement urbain ou forestier.

La norme IEEE 802.11ah ou Wi-Fi HaLow, quant à elle utilise une bande sub-GHz (inférieure à 1 GHz). Elle permet théoriquement une portée kilométrique et une bien meilleure pénétration des matériaux. Cependant, le Wi-Fi standard n'étant initialement pas conçu pour le flux vidéo déterministe, des adaptations de la couche physique (PHY) et de la couche de liaison (MAC) sont nécessaires pour minimiser la latence.

Ce Travail de Bachelor a pour objectif de concevoir, développer et valider un prototype de transmission vidéo basé sur des modules Morse Micro. L'enjeu principal réside dans l'optimisation de la liaison radio, notamment par le forçage des schémas de modulation (MCS) et l'activation du codage correcteur d'erreurs LDPC (Low-Density Parity-Check).

1.1 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences ou des bases théoriques fondamentales du présent projet.

TABLE 2: Références normatives

Norme / Standard	Description
IEEE 802.11ah-2016	Amendement au standard IEEE 802.11 définissant les spécifications des couches PHY et MAC pour le fonctionnement dans les bandes exemptes de licence sous 1 GHz (Wi-Fi HaLow).
IETF RFC 768	Spécification du protocole UDP (User Datagram Protocol), utilisé pour la transmission vidéo à faible latence.
ITU-T H.264 / H.265	(Si applicable) Normes de codage vidéo très efficace utilisées par l'encodeur vidéo embarqué sur le drone.

1.2 Abréviations

Cette section précise les terminologies techniques et les acronymes propres au domaine des télécommunications, des systèmes embarqués et du projet.

TABLE 3: Liste des abréviations

Terme	Définition
BCC	Binary Convolutional Code (Code convolutif binaire) - Méthode de correction d'erreur standard en Wi-Fi.
FPV	First Person View (Vol en immersion) - Pilotage via une caméra embarquée retransmettant la vidéo en temps réel au pilote.
HEIG-VD	Haute École d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud.
IICT	Institut des Technologies de l'Information et de la Communication.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
LDPC	Low-Density Parity-Check (Code de contrôle de parité à faible densité) - Algorithme avancé de correction d'erreurs offrant une meilleure robustesse que le BCC.
MAC	Media Access Control (Contrôle d'accès au support) - Sous-couche de liaison de données.
MCS	Modulation and Coding Scheme (Schéma de modulation et de codage) - Indice définissant le débit de données physique en fonction de la modulation et du taux de codage (code rate).
MVP	Minimum Viable Product (Produit Minimum Viable) - Version fonctionnelle de base garantissant la validation du concept technique.
NLOS	Non-Line-Of-Sight (Absence de ligne de vue) - Situation où un obstacle sépare l'émetteur du récepteur.
OS	Operating System (Système d'exploitation)
PHY	Physical Layer (Couche physique) - Première couche du modèle OSI.
RTOS	Real-Time Operating System (Système d'exploitation temps réel) - Système conçu pour traiter les événements avec des contraintes temporelles strictes (utilisé sur le RX).
RX	Receiver (Récepteur) - Station au sol.
Suite à la page suivante	

Table 3 – suite de la page précédente

Terme	Définition
TX	Transmitter (Émetteur) - Module embarqué sur le Drone.
UDP	User Datagram Protocol - Protocole de communication en mode non connecté, privilégié pour les transmission en temps réel.

2 Description du problème

Un drone FPV nécessite un retour vidéo avec une latence très faible et une grande robustesse aux obstacles (pénétration NLOS). Le standard Wi-Fi HaLow (802.11ah) en bande Sub-1 GHz offre des caractéristiques qui le rendent idéales pour ce cas d'usage, mais n'est pas nativement optimisé pour un flux continu à basse latence.

Le défi technique majeur de ce projet se trouve dans le contrôle de bas niveau des puces Morse Micro (MM8108). La documentation constructeur étant limitée, l'activation des paramètres aux quels nous souhaitons accéder pour optimiser la portée (codage LDPC et Schéma de Modulation et de Codage MCS restreint à 1 ou 2) requiert une analyse du fonctionnement bas niveau de ces éléments et de leurs firmware. Impliquant donc des modifications directement dans les pilotes matériels.

Objectifs par paliers (Gestion du temps - 450h) :

Afin de garantir un résultat intéressant du projet malgré les incertitudes matérielles et logicielles, les livrables sont divisés en deux niveaux :

- **Objectif Minimum (MVP)** : Établir l'architecture matérielle complète de bout en bout et prouver la transmission de paquets de données génériques (texte, fichiers) avec les contraintes physiques imposées (HaLow, MCS 1 ou 2, LDPC activé).
- **Objectif Final (Idéal)** : Remplacer les données génériques par le flux vidéo réel de l'encodeur, en respectant les contraintes de basse latence jusqu'à l'affichage sur la station au sol.

Architecture matérielle flexible :

- **Émission (TX)** : Encodeur vidéo → NVIDIA Jetson (OS Linux) → Module Wi-Fi MM8108-EKH19 (Option de repli : EKH05-01 si l'EKH19 s'avère incompatible avec les modifications du pilote).
- **Réception (RX)** : Module Wi-Fi EKH05-01 (RTOS (FreeRTOS) pour minimiser la latence logicielle) → PC (Décodage et Affichage).

3 Analyse du besoin

Les utilisateurs cibles sont les pilotes de drones FPV devant piloter dans des environnements contenant beaucoup d'obstacle ou à très long distance (kilomètres) et les ingénieurs concepteurs de systèmes embarqués. Le tableau ci-dessous résume leurs besoins.

TABLE 4: Analyse des besoins des utilisateurs

#	Besoins
1	Transmettre des informations (données ou vidéo) à travers des obstacles (NLOS) sur de longues distances.
2	Garantir une latence de transmission la plus faible possible pour permettre un pilotage en temps réel.
3	Disposer d'une architecture système modulaire permettant de changer les composants d'émission si nécessaire.

4 Fonctions et exigences du système

Pour pallier le manque de documentation et gérer la complexité, trois stratégies de communication ont été identifiées. Elles sont classées par ordre de préférence et font partie intégrante des exigences techniques du système.

- **Option A (Privilégiée)** : Protocole UDP Broadcast côté TX (Jetson) combiné à une réception en mode moniteur (Monitor Mode) via `libpcap` côté RX (RTOS).
- **Option B (Alternative performance)** : Diffusion brute (Raw Broadcast) avec LDPC. C'est l'option la plus rapide mais la plus complexe techniquement.
- **Option C (Sécurité)** : Utilisation des exemples standards du constructeur. Solution techniquement simple mais avec des performances potentiellement trop faible.

TABLE 5: Fonctions de service et exigences du système à concevoir

Fonctions de service	Exigences
FS 1 : Transmettre des données sans fil (MVP)	E 1 : Utiliser la norme IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLow).
	E 2 : Forcer l'utilisation d'un MCS bas (index 1 ou 2).
	E 3 : Activer la correction d'erreur LDPC.
FS 2 : Transmettre un flux vidéo (Objectif Final)	E 4 : Interfacer l'encodeur vidéo avec la carte Jetson.
	E 5 : Assurer le décodage et l'affichage sur la station de réception.

TABLE 6: Fonctions techniques et exigences du système à concevoir

Fonctions techniques	Exigences
FT 1 : Assurer la communication	E 6 : Implémenter la communication selon l'Option A (UDP Broadcast / Monitor mode) en priorité.
	E 7 : Les options B (Raw) et C (Exemples) serviront de plans secondaire.
Suite à la page suivante	

Table 6 – suite de la page précédente

Fonctions techniques	Exigences
FT 2 : S'adapter aux limitations matérielles	E 8 : L'architecture doit permettre la substitution du module TX (EKH19 par EKH05-01) en cas d'incompatibilité avec les modifications du pilote.

TABLE 7: Fonctions de contrainte et exigences du système à concevoir

Fonctions de contrainte	Exigences
FC 1 : Respecter la contrainte temps	E 9 : Réalisable en 450 heures. Le MVP fait foi si l'objectif final (idéale).
FC 2 : Composer avec la documentation limitée	E 10 : Justifier les choix techniques basés sur l'ingénierie inverse et les tests empiriques.

5 Note sur l'utilisation de l'intelligence artificielle

Conformément aux directives académique, l'auteur déclare avoir utilisé des outils d'intelligence artificielle générative (notamment Gemini 3 Flash et Pro) durant la phase de rédaction de ce cahier des charges.

L'utilisation de cet outil a été ciblée sur les points suivants :

- **Assistance à la mise en page** : Génération de structures de tableaux complexes en syntaxe LaTeX (*longtable*, *cline*).
- **Aide à la formulation** : Reformulation de concepts techniques pour améliorer la clarté et la fluidité de la rédaction.
- **Recherche documentaire** : Aide à l'analyse du code source du pilote Morse Micro.

Note importante : L'intégralité des tests techniques, l'analyse des logs du noyau Linux, les analyses et modifications du code source C du driver ont été réalisés et validés personnellement par l'auteur. De plus les prompts utilisé pour on été fortement basé sur les notes journalières prise lors de discussion avec monsieur Mahboob Karimian (chargé de R&D, insitut IICT, HEIG-VD), de recherche personnel et de logs du noyaux linux.

6 Bibliographie

Références

- [1] Morse Micro. *Morse Micro OpenWrt 2.8 Web UI User Guide*. Morse Micro, 2024. Documentation technique constructeur.
- [2] Morse Micro. *MM8108-EKH05 User Guide*. Morse Micro, 2025. Guide utilisateur du module d'évaluation.
- [3] Morse Micro. Morse micro openwrt feed and configuration. <https://github.com/MorseMicro/openwrt>, 2026. Accédé le 28 février 2026.
- [4] Morse Micro. Morse micro wi-fi halow driver source code. https://github.com/MorseMicro/morse_driver, 2026. Accédé le 28 février 2026.