

ANAFI USA

WHITE PAPER

V1.6



30 NOVEMBRE 2021
PARROT DRONES

Table des matières

| | |
|---|----|
| ANAFI USA en bref..... | 4 |
| Conception..... | 5 |
| Caractéristiques clés | 5 |
| Compacité..... | 5 |
| Robustesse | 6 |
| Aérodynamique..... | 9 |
| Groupe propulsif..... | 9 |
| Performances..... | 11 |
| Qualité | 11 |
| Image | 12 |
| Module triple caméra..... | 12 |
| Caractéristiques-clés des 3 caméras..... | 12 |
| Zoom de 1x à 32x ininterrompu | 12 |
| HDR..... | 13 |
| Blocs optiques visibles..... | 13 |
| Champs de vision diagonaux et horizontaux..... | 13 |
| Zoom sans perte | 14 |
| Résolution angulaire et détails discernables | 14 |
| Fabrication des blocs optique : alignement actif (<i>active alignment</i>)..... | 14 |
| Qualité | 15 |
| Bloc caméra thermographique infrarouge..... | 16 |
| Performances FLIR Bason | 16 |
| Modes de colorisation..... | 16 |
| Palette relative..... | 16 |
| Palette spot | 17 |
| Formats de fichiers..... | 18 |
| Fusion Infra-rouge/visible..... | 18 |
| Sécurité | 19 |
| Intégrité du logiciel et protection du drone..... | 19 |
| Chiffrement des connexions réseau..... | 19 |
| Chiffrement du contenu de la carte SD..... | 19 |

| | |
|--|----|
| Maîtrise des données | 19 |
| Flux vidéo..... | 20 |
| Caractéristiques clés | 20 |
| Performances du flux..... | 20 |
| Algorithmes d'optimisation du flux vidéo | 20 |
| Batterie intelligente | 23 |
| Caractéristiques clés | 23 |
| Performances..... | 23 |
| Fonctionnalités..... | 23 |
| <i>"Smart power management"</i> - gestion de puissance intelligente..... | 23 |
| <i>"Smart charging"</i> - chargement intelligent..... | 23 |
| <i>"Wintering"</i> - hivernage | 23 |
| Stockage | 24 |
| Interface USB-C « OTG » (<i>on-the-go</i>) | 24 |
| <i>"Powerbank"</i> - réserve d'énergie..... | 24 |
| Indicateur de charge..... | 24 |
| IP53..... | 24 |
| Qualité | 25 |
| Contrôle et modes de vol | 26 |
| Caractéristiques clés | 26 |
| Le contrôleur de vol..... | 26 |
| Composants : | 26 |
| Performances capteurs..... | 26 |
| Revêtement de la carte électronique | 27 |
| Algorithme d'estimation | 27 |
| Boucle de contrôle..... | 28 |
| Mode de Vol | 28 |
| Point fixe précis..... | 28 |
| Return Home (RTH) Précis..... | 28 |
| Smart RTH..... | 29 |
| Décollage automatique..... | 29 |
| Décollage à la main | 29 |
| Vol à basse altitude..... | 29 |
| Atterrissage automatique..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Modes de pilotage..... | 29 |
| Manuel : | 29 |
| Automatiques..... | 29 |
| FreeFlight 6.7..... | 32 |
| Caractéristiques clés | 32 |
| Ecran HUD (<i>Head-up display</i> ou viseur tête haute)..... | 32 |
| Ecran Flight Plan | 33 |
| Fond de carte..... | 33 |
| Visualisation des vidéos et photos..... | 34 |
| Mise à jour automatique du logiciel | 34 |
| GSDK..... | 34 |
| Outils Compatibles avec ANAFI USA..... | 37 |
| Pix4Dreact..... | 37 |
| Caractéristiques clés | 37 |
| Kittyhawk..... | 38 |
| Survae | 38 |
| Planck Aerosystems | 38 |
| DroneSense..... | 39 |
| DroneLogbook | 39 |
| Hoverseen..... | 40 |

ANAFI USA en bref

- Zoom x32
- 2 caméras de 21Mp
- Caméra IR FLIR Boson® 320x256
- Stabilisation hybride 5 axes
- Compact : 228x101x76 mm
- Léger : 496 grammes
- 32 minutes d'autonomie
- IP53 : résistant à la poussière et à la pluie
- Discret : 84 dB à 1 m
- Vitesse : 14,7 m/s
- Température de fonctionnement du drone : -35 °C à 49 °C
- Plafond de service : 6 000 m
- Vidéo : 4K
- Déployé en moins d'une minute
- Décollage lancé
- Atterrissage dans la main



Conception

Caractéristiques clés

- Ultraléger : 496 g
- Plié (228x101x76 mm), ANAFI USA est ultra transportable
- Fonctionne en condition IP53 pendant au moins 32 min, soit la durée d'une batterie



| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Déplié (L x l x h) | 282x373x84 mm |
| Plié (L x l x h) | 246x104x82 mm |
| Masse | 496 g |
| Déploiement | 28 secondes |
| Température d'utilisation | -35 °C/49 °C |
| Indice de protection solides/liquides | IP53 |

Compacité

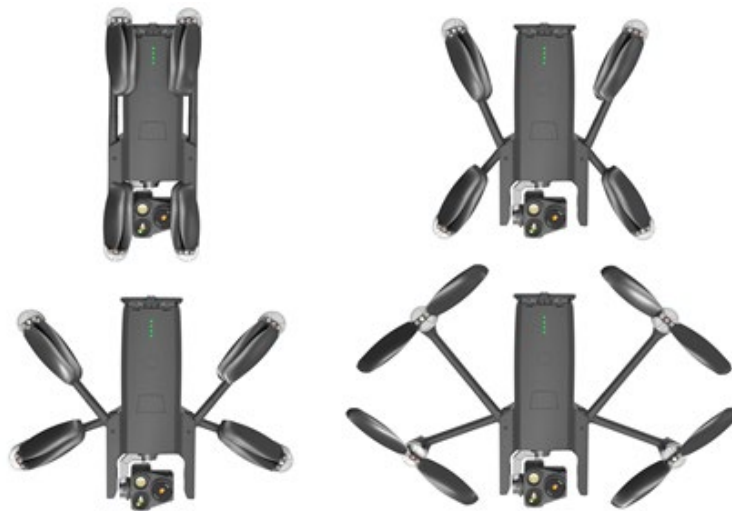
Compact et léger, ANAFI USA pèse 482 g pour un volume de 1,7 l. ANAFI USA est transportable dans un sac à dos ou dans un étui.

Fig. 1 : Illustration de la compacité d'ANAFI USA

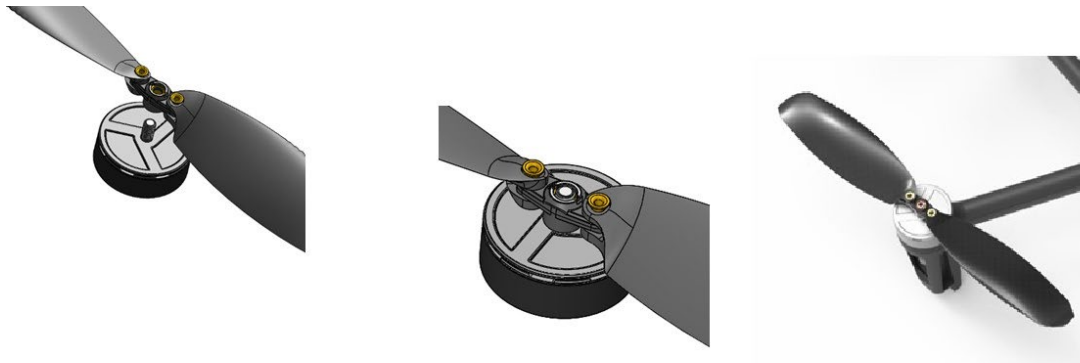


Sur son marché, ANAFI USA est le drone le plus compact et le plus léger des segments professionnel et militaire.

ANAFI USA se déploie en 3 secondes (Fig. 2 : Cinématique d'ouverture). Ses hélices, montées libres, permettent de réduire au maximum l'encombrement du drone, contrairement aux systèmes à hélices fixes.

Fig. 2 : Cinématique d'ouverture

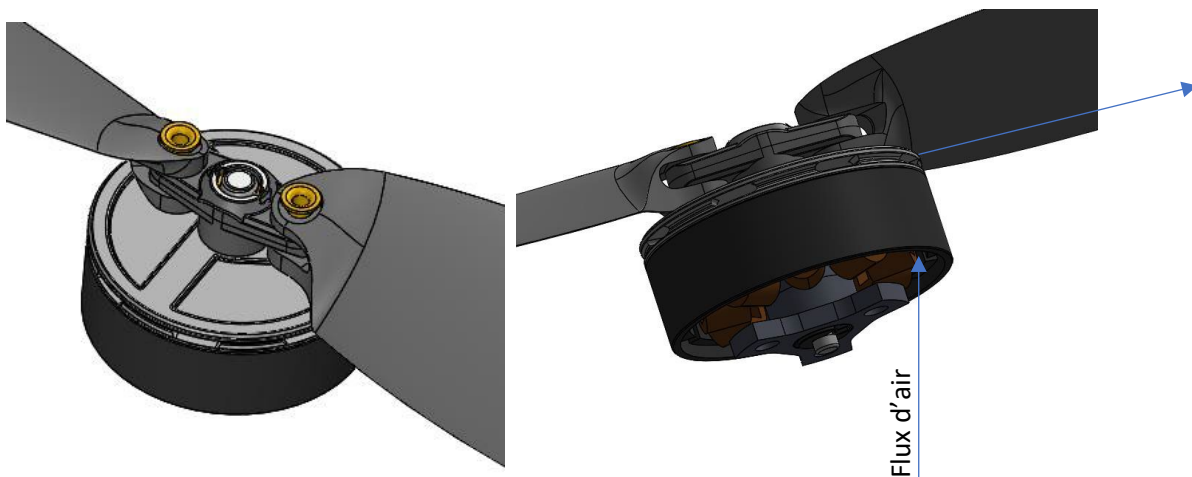
Le remplacement des hélices ne nécessite aucun outil : ces dernières se vissent dans le sens inverse de celui de la rotation des moteurs, sans risque de perte d'élément mobile.

Fig. 3 : Fixation rapide des hélices

Robustesse

La structure mécanique d'ANAFI USA est principalement constituée de polyamide, mais elle est renforcée de fibres de carbone et allégée par des billes de verre creuses.

Les moteurs d'ANAFI USA sont protégés de la poussière, du sable et de la pluie par un capot équipé d'évents latéraux, qui permettent l'évacuation de la chaleur.

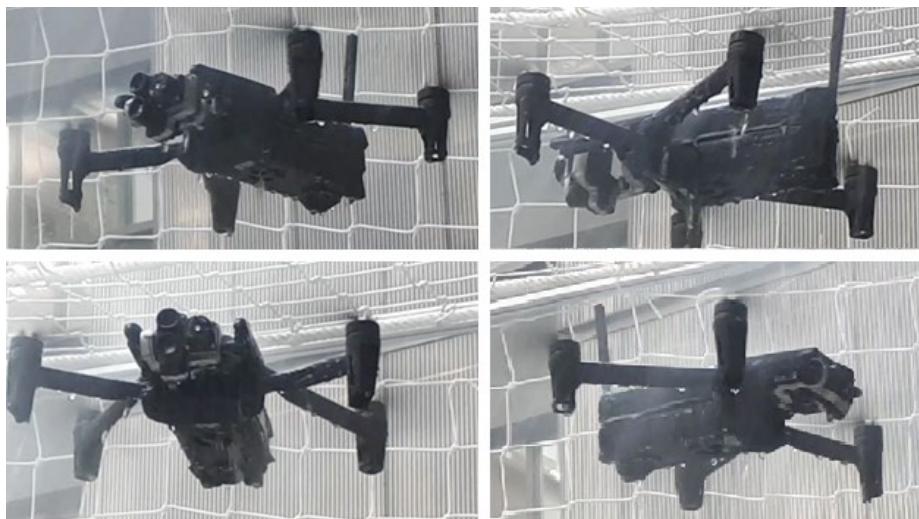
Fig. 4 : Capot moteurs

La caméra verticale et le capteur à ultrason d'ANAFI USA sont protégés de la pluie par une collerette, abritant l'encolure des deux capteurs.

Fig. 5 : Collerette de protection des capteurs verticaux contre la pluie

ANAFI USA a passé avec succès les essais suivants :

- IPX3 (norme CEI 60529) : résistant à la pluie en condition IPX3 (10 litres/min) pour la durée d'une batterie (32 minutes) au moins.

Fig. 6 : Tests IPX3 (aspersion : 10 litres par minute)

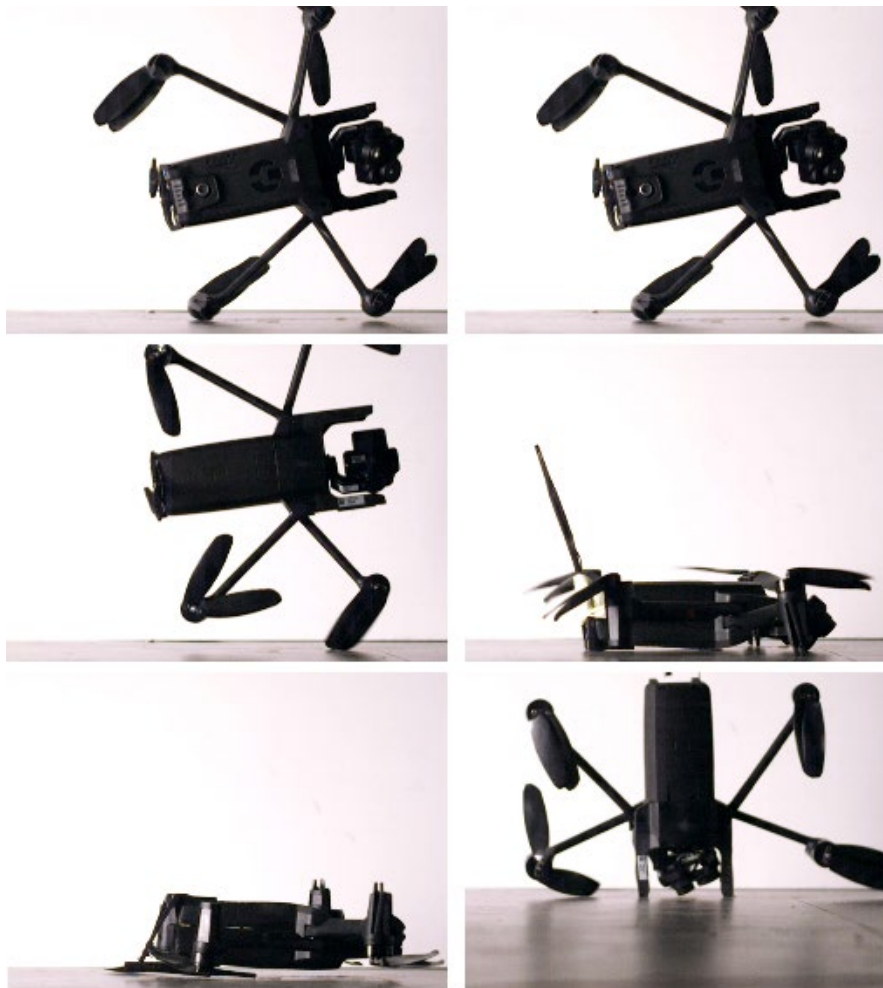
- IP5X : résistant aux poussières pendant au moins 32 minutes (CEI 60529).

Fig. 7 : Tests IP5X (sable)



- Chaleur humide (+40 °C et hygrométrie à 93 %) pendant 16 h (NF EN 60068-2-78)
- Chaleur sèche (+50 °C) pendant 16h (NF EN 60068-2-2)
- Chocs thermiques : 20 cycles d'une heure à -36 °C et +49 °C (NF EN 60068-2-14)
- Températures extrêmes : -20 °C et +70 °C pendant 4 h (NF EN 60068-2-1 & NF EN 60068-2-2)
- Basses températures : -36 °C pendant 16 h (NF EN 60068-2-1)
- 92 heures de vol, en continu, à température ambiante, sans usure mécanique
- ANAFI USA est fonctionnel après 18 chutes (3 par face) sur le béton, d'une hauteur d'un mètre

Fig. 8 : Epreuve de chute



Aérodynamique

Fig. 9 : Nageoire de baleine à bosse



Groupe propulsif

- Les pales de l'hélice d'ANAFI USA ont été conçues par biomimétisme, en s'inspirant des « tubercules » du bord d'attaque des nageoires des baleines à bosse.
- Chaque hélice, constituée de deux pales, se fixe par vissage.
- Les performances de vol d'ANAFI USA dépassent celles de drones jusqu'à 1,5 fois plus lourds et 2 fois plus encombrants.

Les avantages de la « pale baleine »

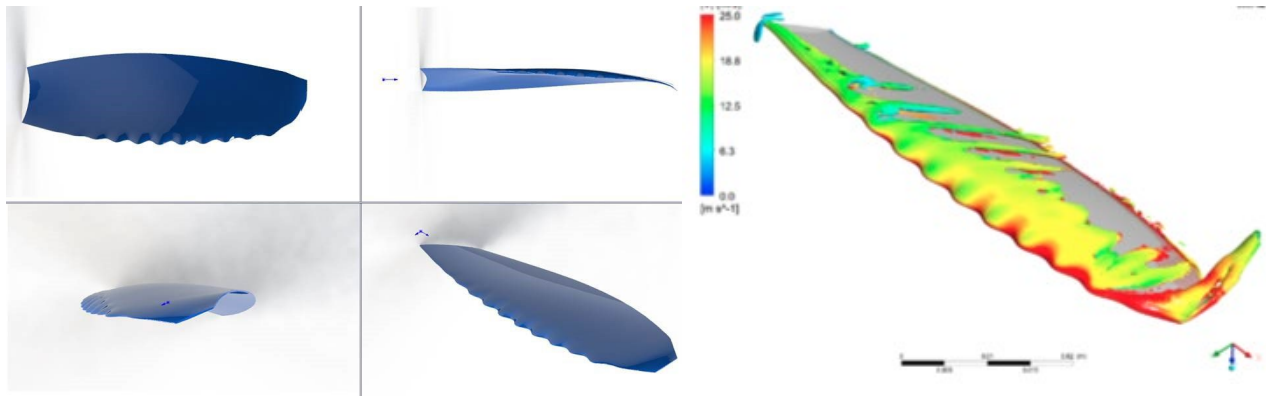
- 1. La conception de l'hélice réduit le détachement transitoire de la couche limite sur chaque pale pour :*
 - a. récupérer de la poussée à vitesse de rotation (rpm) des moteurs constante – ou inversement, conserver de la poussée en réduisant le régime moteur ;*
 - b. réduire la sensibilité de l'augmentation de la puissance mécanique au vrillage de la pale.*

Ainsi, avec une vitesse de rotation plus faible pour un couple moteur accru, ANAFI USA émule un rotor dont la puissance dépasse les capacités théoriques de son diamètre.

- 2. La puissance acoustique tonale du bord d'attaque de la pale est minimisée, réduisant le bruit du vol.*

Fig. 10 : Hélice ANAFI USA





- Les moteurs d'ANAFI USA sont puissants (46 W) et présentent un rendement (puissance mécanique sur puissance électrique) de 70 % en point fixe ; ils ont été conçus pour mettre à profit les caractéristiques de l'hélice sur l'ensemble de la plage de vol.
- Le meilleur rapport poids/autonomie du marché : ses 32 minutes d'autonomie, son faible poids (496 g) et le rendement élevé de sa chaîne de conversion permettent à ANAFI USA de voler vite (54 km/h) et loin (distance franchissable : 17,4 km à 40,6 km/h).
- Résistance au vent : 54 km/h
- Discrétion sonore : 84 dB

Performances

| Performances aérodynamiques | |
|-----------------------------|--|
| Vitesse | 14,7 m/s |
| Résistance au vent | 14,7 m/s |
| Temps de vol | 32 min |
| Vitesse ascensionnelle max | 4 m/s |
| Vitesse de descente max | 4 m/s |
| Plafond de service | 6 000 m (<i>MSL</i> - niveau de la mer) |
| Distance Franchissable | 17.4 km |
| Vitesse Angulaire max | 300 °/s |

Qualité

- PARROT est certifié ISO9001.
- Tous les drones sont contrôlés sur un banc de production (FVT).
 - Banc #2 : calibration thermique de l'IMU et test du baromètre & du magnétomètre sur le PCB.
 - Banc #3 : calibration dynamique de l'IMU et du magnétomètre.
 - Banc #4 : mesure de la perturbation des moteurs sur le magnétomètre.
 - Banc #5 : test et calibration de la caméra verticale.
 - Test en vol : Tous les drones produits effectuent un test en vol : décollage, vol stationnaire, atterrissage.
- Des tests de robustesse sont réalisés lors des phases de développements. Ces tests permettent également d'optimiser le dimensionnement du drone.

Image

Module triple caméra

La nacelle d'ANAFI USA comporte 3 caméras gyrostabilisées : une caméra EO 4K grand angle, une caméra EO 4K téléobjectif 32x et une caméra thermographique infrarouge à ondes longues (*Long-Wave IR*) FLIR Boson®.

Fig. 11 : Module triple caméra



Caractéristiques-clés des 3 caméras

- Caméra EO Grand angle
 - Capteur 1/2.4"
 - Vidéo RGB : 4K HDR (24 fps)
 - Photo : 21 Mp
 - Résolution angulaire : 0.016°/pixel
 - Résolution - fonction de transfert de modulation (*MTF*) > 45 % à 160 lp/mm
 - Zoom : x1 => x5 en 1080 p
 - Ouverture à F2.4
- Caméra EO Zoom
 - Capteur 1/2.4"
 - Vidéo RGB : 4K HDR (24 fps)
 - Photo : 21 Mp
 - Résolution angulaire : 0.004°/pixel
 - Résolution - fonction de transfert de modulation (*MTF*) > 45 % à 160 lp/mm
 - Zoom : x5 => x32 en 1080 p
 - Ouverture à F2.4
- Caméra IR
 - FLIR Boson 320x256
 - Champ de vision horizontal : 50°

Zoom de 1x à 32x ininterrompu

Le saut de focale de la caméra grand angle (x1 à x5) à la caméra téléobjectif (x5 à x32) est automatique, ce qui garantit un zoom continu.

Fig. 12 : Capacité de zoom



Standard image

Zoom x32



HDR

L'algorithme HDR (plage dynamique étendue ou *high dynamic range*) restitue jusqu'à 14 EV (valeurs d'exposition). Le capteur expose la moitié des pixels en temps long et l'autre moitié en temps court de façon simultanée, pour éviter les « flous de bougé ». Ces deux expositions sont fusionnées en une image correspondant à la définition native du capteur (21 Mp), en optimisant le contraste et en minimisant la perte détails. Le processeur graphique définit les temps d'exposition en fonction de la scène et réalise les optimisations de l'image finale (contraste, couleur, réduction de bruit).

Blocs optiques visibles

L'architecture des blocs optiques visibles repose sur des lentilles asphériques à faible dispersion (110° et 26° de champ de vision - FOV - diagonal, respectivement pour l'objectif grand angle et le téléobjectif qui garantissent un niveau d'aberration chromatique minimal. Les deux objectifs, chacun composé de six lentilles, ont été optimisés pour réduire la lumière parasite et offrir la meilleure résolution possible sur toute la plage thermique d'utilisation du drone (-35 °C à 49 °C).

Champs de vision diagonaux et horizontaux

L'objectif grand angle couvre la diagonale du capteur avec un champ de vision diagonal de 110°. Cela donne un champ de vision horizontal de 69° pour le mode vidéo standard et un champ horizontal de 75° pour le mode photo standard.

Le téléobjectif couvre la diagonale du capteur avec un champ de vision diagonal de 26°. Cela donne un champ de vision horizontal de 16° pour le mode vidéo standard et un champ horizontal de 16° pour le mode photo standard.

Zoom sans perte

La conception des blocs optiques d'ANAFI USA lui permettent d'atteindre un zoom x5 sans perte en 4K (3840x2160 px), un zoom x10 sans perte en Full HD (1920x1080 px) et un zoom x15 sans perte en HD (1280x720 px). Enfin, à x27, le zoom d'ANAFI USA conserve une qualité DVD (720x480 px).

Résolution angulaire et détails discernables

La résolution angulaire d'un objectif traduit la séparation angulaire entre deux pixels du capteur associé. Avec une résolution angulaire de $0,004^\circ$ sur son téléobjectif, ANAFI USA permet à ses utilisateurs de discerner des détails de 10 cm à 1 500 m, ou des détails d'un centimètre à 150 mètres.

Fig. 11 : Architecture d'un bloc optique d'ANAFI USA



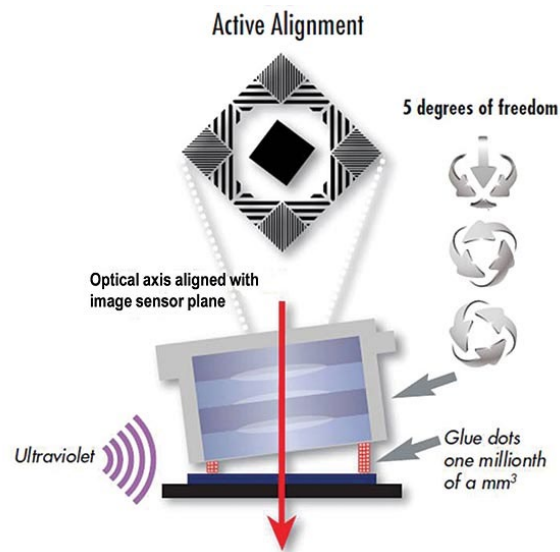
Fabrication des blocs optique : alignement actif (*active alignment*)

Les blocs optiques sont assemblés aux capteurs selon une technique d'alignement actif. Celle-ci consiste à positionner et fixer automatiquement le bloc optique au capteur à l'aide un bras robotisé pour obtenir les performances suivantes :

- positionnement en hauteur du bloc optique par rapport au capteur pour obtenir une mise au point à la température définie ($23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) et pour garantir les spécifications en résolution dans le champ ;
- orientation en lacet, roulis et tangage du bloc optique par rapport à l'axe optique, pour une résolution uniforme sur les bords de l'image ;
- alignement de l'axe du bloc optique au capteur, pour garantir les meilleures performances au centre de l'image ;
- alignement du centre optique sur le centre du capteur à ± 20 pixels (22 micromètres).

Une calibration de l'image est enfin réalisée en usine, qui permet au processeur graphique de garantir les spécifications de qualité d'image.

Fig. 12 : Fabrication de la caméra selon la technique d'alignement actif



Qualité

Voici la liste des tests optiques réalisés en production :

- Vérification MTF (*Modulation Transfer Function* ou fonction de transfert de modulation) au centre
- Vérification MTF sur les bords
- Tests de module caméra :
 - MTF au centre
 - MTF à 40% du champ
 - MTF à 70% du champ
- Irrégularités lumineuses (zones claires ou sombres dans l'image, poussières potentielles, etc.)
- Pixel défectueux (vérification du nombre de pixels morts)
- Centre optique
- Uniformité de la luminosité et de la couleur dans le champ
- Cosmétique (tâches, rayures, etc.)

Bloc caméra thermographique infrarouge

| Performances caméra IR | |
|--|--|
| Spectre | Infrarouge longues ondes (<i>longwave infrared</i>) 8 à 14 micromètres |
| Résolution | 320x256 pixels |
| Pas de pixel (<i>pixel pitch</i>) | 12 micromètres |
| Sensibilité | 0.05 °C |
| Focale | 4.3 mm |
| Champ de vision horizontal (<i>HFOV</i>) | 50° |
| Fréquence | 20 Hz |
| Plage thermique mesurable | -40°C à 180°C |
| Correction des aberrations | Obturbateur mécanique |

Performances FLIR Boson

ANAFI USA intègre un micro-bolomètre non refroidi FLIR Boson, cadencé à 60 Hz. Ce module est pourvu d'un obturbateur mécanique qui permet la recalibration automatique du capteur dès que nécessaire, garantissant ainsi en permanence l'uniformité de la réponse des pixels thermiques. L'objectif du FLIR Boson présente un champ de vision horizontal de 50°.

Modes de colorisation

La caméra thermographique d'ANAFI USA présente deux modes de colorisation complémentaires qui permettent au drone de s'adapter à toutes les missions.

Palette relative

La palette relative offre une vue générale de la situation thermographique d'une scène, sur une échelle colorée et graduée de 0 (bleu foncé) à 100 (jaune vif).

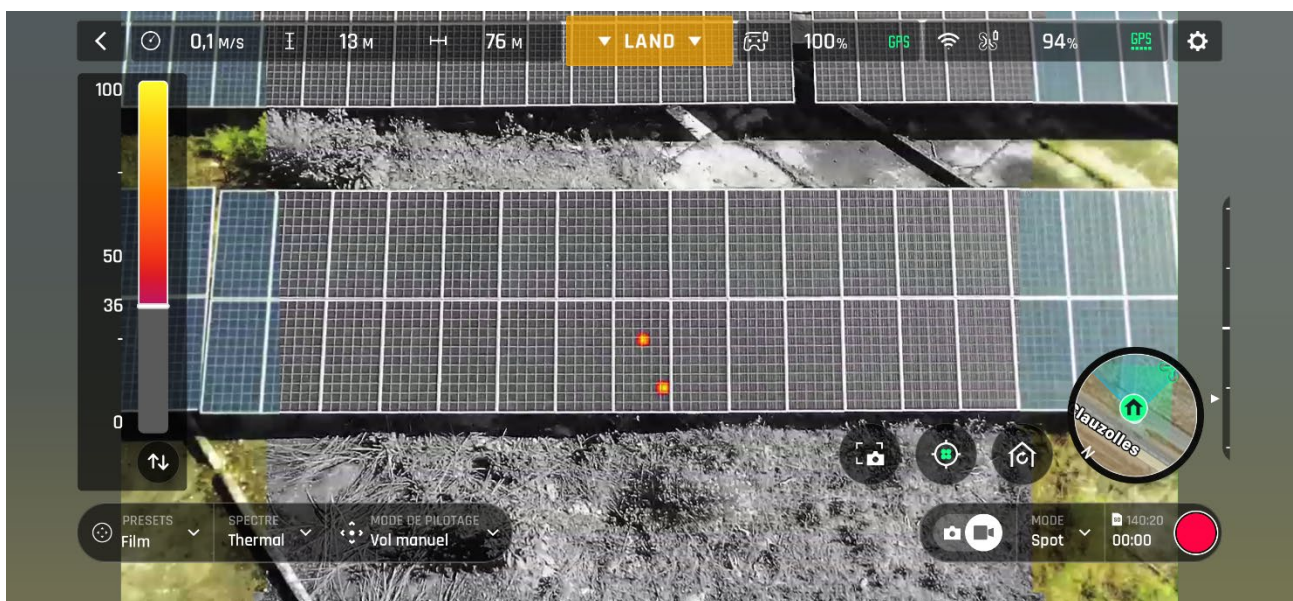
Fig. 15 : Capture écran Freeflight 6.7 « Mode Relatif »



Palette spot

Seuls les point les plus froids ou les plus chauds de l'image sont colorisés, selon les besoins de l'utilisateur.

Fig. 13 : Capture écran Freeflight 6.7 « Mode Spot »



Formats de fichiers

Les formats de fichier produits par ANAFI USA sont les suivants :

- Photo :
 - Format : JPEG
 - Résolution : 1280x720
 - Modes : single / Timelapse / GPS-lapse
- Vidéo :
 - Format : MP4 (H264)
 - Résolution : 1280x720, 9 fps

Fusion Infra-rouge/visible

Pour compenser la plus faible résolution de l'image thermique par comparaison à l'image visible et pour bénéficier d'informations non visibles en thermique, ANAFI USA affiche une fusion des informations des deux caméras. Les données de l'image visible sont injectées dans l'image de sortie, par luminance et pour mettre en évidence les contours de la scène.

La fusion des images procède de :

- l'acquisition de l'image visible ;
- l'acquisition des données thermiques ;
- la reprojexion des données thermiques ;
- la colorisation de l'image thermique ;
- l'extraction des contours de l'image visible ;
- le mélange.

Sécurité

ANAFI USA protège les données stockées sur le drone ou envoyées par le réseau et prémunit le drone contre les tentatives de modification malveillante de son logiciel.

Intégrité du logiciel et protection du drone

Le micrologiciel (*firmware*) d'ANAFI USA bénéficie d'une signature numérique qui permet de s'assurer que chaque mise à jour est intègre et qu'elle provient bien de Parrot.

L'accès au système embarqué d'ANAFI USA est protégé. Aucun mécanisme ne donne d'accès local ou à distance au système embarqué du drone.

Chiffrement des connexions réseau

Les flux réseau entre le drone et la télécommande sont authentifiés et chiffrés avec la protection WPA2 de la norme 802.1x. WPA2 est basé sur un chiffrement AES CCMP et une clé de chiffrement de 128 bits. AES CCMP inclut un mécanisme de CBC-MAC qui assure l'authentification et l'intégrité des échanges réseau.

Une clé unique de chiffrement est générée pour chaque couple drone / télécommande. De plus, l'utilisateur peut définir sa propre clé.

La protection des trames de management 802.1x est activée, ce qui empêche les attaques connues de désassociation, qui peuvent causer un déni de service.

Chiffrement du contenu de la carte SD

L'activation du chiffrement de la carte SD protège la confidentialité des données enregistrées dans la carte SD du drone même s'il est perdu ou volé.

Une fois le chiffrement activé sur la carte SD, les vidéos et les photos sont enregistrés dans un volume LUKS2 chiffré en AES-XTS 512 bits. L'utilisation d'un identifiant unique par container chiffré permet de gérer le chiffrement d'une flotte de carte SD utilisée sur plusieurs drones.

Une fois la carte mémoire chiffrée, elle ne pourra plus être lue sans la clé de chiffrement. La clé de chiffrement est transmise par FreeFlight 6 et n'est jamais enregistrée de manière permanente sur le drone.

Maîtrise des données

Par défaut, ANAFI USA, la télécommande et FreeFlight 6 ne disséminent aucune donnée, ni vers Parrot, ni ailleurs. Chaque utilisateur doit décider d'activer le partage de ses données pour stocker ses données de vol en ligne, faciliter le support de ses drones ou participer à l'amélioration des produits et services Parrot. Qu'il souhaite partager ses données anonymement ou en lien avec un compte Parrot qui permet de l'identifier, l'utilisateur doit activer la fonction de partage de ses données, qui est désactivée par défaut.

Flux vidéo

Caractéristiques clés

- Encodage H.264 avec protocoles de transmission RTSP et RTP
- Le flux vidéo est compatible avec les lecteurs prenant en charge le RTSP, comme VLC ou mplayer
- 720p, 30 fps, 5 Mbit/s
- Fonctionnalités avancées d'encodage vidéo et de streaming, pour une robustesse accrue aux erreurs, sur réseaux radio avec pertes
- Compatibilité avec les standards vidéo/réseau (ISO/IEC 14496-10 AVC / ITU-T H.264, RFC 3550, RFC 2326)
- Faible latence (< 300 ms "*glass-to-glass*" - optique à écran)
- Transmission de métadonnées avec la vidéo : télémétrie, métriques vidéo

Performances du flux

| <i>ANAFI USA Video stream performance</i> | |
|---|--|
| Résolution | 720p |
| Images par seconde | 24/25/30 |
| Débit (<i>bitrate</i>) | Jusqu'à 5 Mbit/s |
| Encodage | H.264 profile principal |
| Protocoles | RTSP et RTP (compatibles VLC) |
| Latence | < 300 ms optique à écran (<i>glass-to-glass</i>) |
| Métadonnées | Télémétrie drone et métriques vidéo |

Algorithmes d'optimisation du flux vidéo

"Advanced encoding for Error resilience" - Encodage avancé pour la résilience face aux erreurs

Le flux H.264 est conçu pour minimiser l'impact de la perte de paquets sur le réseau et pour éviter les congestions.

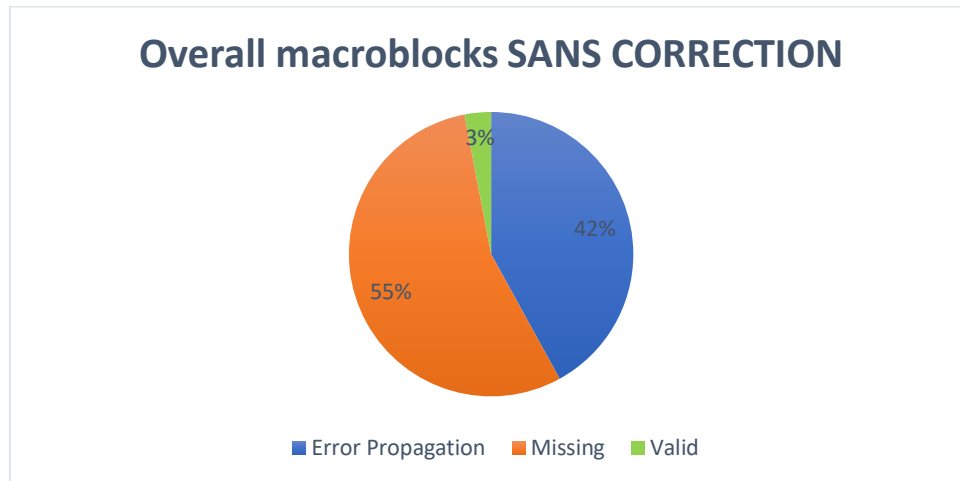
L'algorithme combine *slice-encoding* (encodage par tranches) et *intra-refresh* (rafraîchissement intermédiaire). Il encode les images en traitant 45 tranches de 16 pixels de hauteur, puis les rafraîchit par paquets de 5, toutes les 3 images (le rafraîchissement est complet après 29 images).

"Error concealment" - Masquage des erreurs

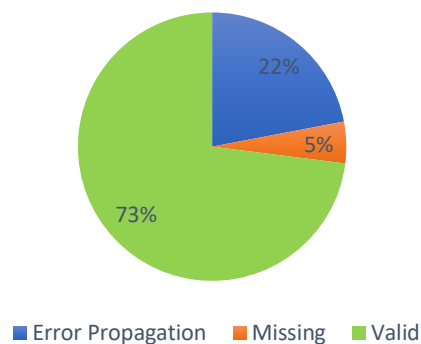
Cet algorithme réduit l'impact visuel des pertes de paquets sur le réseau et il assure l'interopérabilité de tous les décodeurs, en assurant un flux syntaxiquement complet : les portions d'image manquantes sont reconstruites à la réception avant le décodeur en tant que portions « sautées » (délaissées), c'est-à-dire identiques à celles de l'image de référence.

Les imperfections sur l'image se limitent donc aux zones impactées par des pertes et non sur l'image entière.

Les graphiques ci-dessous illustrent le taux de macroblocs correctement décodés, en erreur ou en propagation d'erreur, pour un taux de perte des paquets réseau fixé à 5 % - avec et sans les fonctionnalités de streaming avancées d'ANAFI USA. L'algorithme permet de décoder correctement trois-quarts des macroblocs (paquets de données). Les macroblocs corrigés permettent à l'utilisateur de poursuivre sa mission sans gel de l'image ou perte de flux.



Overall macroblocks AVEC CORRECTION



"Congestion control"

L'algorithme teste l'environnement Wi-Fi et radio pour anticiper et éviter les pertes de paquets et les congestions sur le réseau, ce qui contribue à réduire la latence.

Métadonnées

Des métadonnées sont transmises conjointement au flux vidéo. Elles contiennent notamment la télémétrie du drone (position, attitude, vitesse, niveau de batterie, etc.) et des métriques vidéo (attitude de la caméra, temps d'exposition, champ de vision, etc.).

La synchronisation entre les images et les métadonnées ouvre des fonctionnalités comme le positionnement précis sur une carte, le traçage d'instruments de vol dans un affichage tête-haute ou encore d'éléments de réalité augmentée.

La méthode d'inclusion de ces données est standard (extension d'en-têtes RTP) ; le format des données, défini par Parrot, est public : il est compris dans le SDK ANAFI (*Software development kit* : kit de développement logiciel).

SDK vidéo

Les outils et algorithmes de réception du flux vidéo live sont disponibles publiquement dans le SDK Parrot pour ANAFI : Ground SDK, sur plateformes mobile (Android et iOS) et desktop (Linux, Mac OS).

L'algorithme « *error concealment* », disponible dans Ground SDK, permet notamment le développement de nouveaux logiciels qui bénéficieront d'une robustesse et d'une qualité vidéo accrues, par comparaison avec un lecteur vidéo standard.

Batterie intelligente

Caractéristiques clés

- « High density » - 3 cellules haute densité (265 Wh/kg)
- « Smart Power Management » - dotée d'un composant de gestion de puissance
- « Smart Charging » - chargeur intégrée par connecteur USB-C
- « Wintering » - décharge et mise en sommeil automatique pour prolonger la vie de de la batterie
- « Black Box » - historique de la batterie intégrée
- IP53

Performances

| | |
|------------------------------|---|
| Poids | 195 g |
| Densité | 205 Wh/kg |
| Temps de recharge | 112 min (chargeur USB-PD - Power Delivery) |
| Type | Haute densité, haut voltage (HD & HV : 4,4 V) |
| Cellules | 3 x LiPo |
| Capacité | 3400 mAh |
| Chargeur | USB-C |
| Cycle Life | 96 % de capacité après 300 cycles charge/décharge |
| Température de stockage | -20 °C / 40 °C |
| Température min de décollage | -20 °C |
| Température max de décollage | 60 °C |

Fonctionnalités

“Smart power management” - gestion de puissance intelligente

La batterie est équipée d'une jauge qui contrôle ces paramètres principaux toutes les 250 ms : tension, courant, impédance et température. La batterie déduit l'énergie disponible en croisant ces paramètres avec ses données historiques et son « état de santé » (exprimé en pourcentage de sa capacité nominale - 3400 mAh). Ainsi, ANAFI USA détermine en temps réel l'énergie nécessaire (seuil critique) pour retourner à son point de décollage. ANAFI USA revient automatiquement à son point de décollage lorsque la batterie atteint ce seuil critique.

“Smart charging” - chargement intelligent

La batterie d'ANAFI USA se charge facilement et rapidement avec n'importe quel adaptateur USB-C, grâce à son chargeur intégré de 26 W, unique sur le marché. Elle est compatible avec le protocole USB Power Delivery (PD) 3.0. Ce protocole permet une charge rapide en 112 minutes avec un chargeur USB-PD 3.0 (profils 5 V, 9 V, 12 V, 15 V, 20 V). ANAFI USA est livré avec un chargeur capable de charger en même temps les 3 batteries du drone, le Skycontroller 3 et un et un terminal (smartphone ou tablette).

“Wintering” - hivernage

Après 10 jours d'inactivité, la batterie bascule automatiquement dans un état de charge optimal pour le stockage (65 % de charge nominale). Ce mode assure la meilleure conservation possible des batteries

lorsqu'elles sont stockées : il consiste à supprimer les courants de fuite en isolant les cellules du circuit électronique, pour conserver un niveau de tension minimal (3 V par cellule) pour préserver la qualité de la batterie dans le temps.

Stockage

La batterie peut être stockée pendant un an sans altération en maintenant la tension aux bornes des cellules à un niveau supérieur à la tension de dégradation (3 V).

Interface USB-C « OTG » *(on-the-go)*

Le port USB-C de la batterie peut fournir de l'électricité (3 A au maximum) à un périphérique externe comme une clef 4G, un détecteur de CO² ou tout type de carte électronique connectée par USB.

“Powerbank” – réserve d'énergie

La batterie peut être utilisée comme chargeur pour tous types d'appareils électroniques portables (smartphones, tablettes, etc.).

Indicateur de charge

Les quatre diodes de la batterie indiquent son niveau de charge dans les situations suivantes :

- quand la batterie est en charge ;
- quand son bouton est activé ;
- quand elle est installée sur un drone ANAFI USA sous tension.

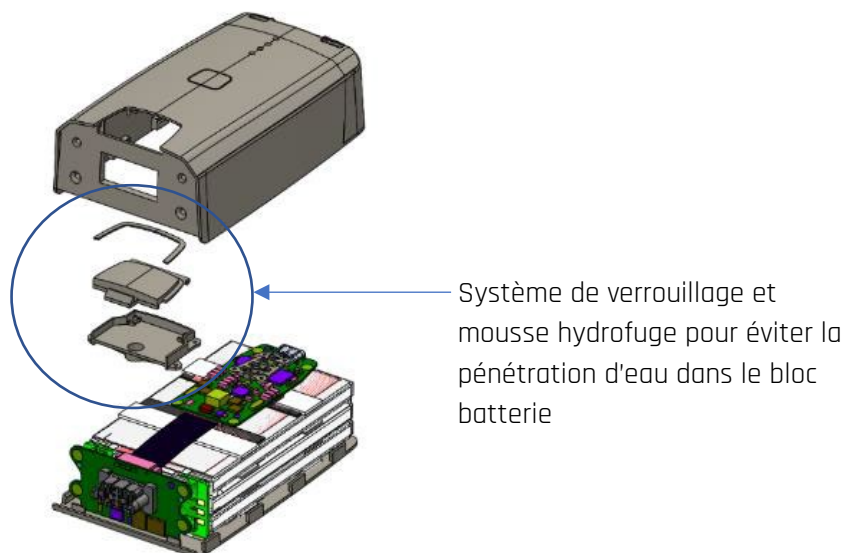
Le niveau de charge est une image de l'énergie restante en pourcentage de l'énergie totale que la batterie peut stocker.

IP53

La batterie d'ANAFI USA a été conçue pour être conforme à la norme IP53 : enveloppe mécanique étanche et revêtement des cartes électroniques pour éviter l'oxydation.

Mécanique

Fig. 14 : Enveloppe mécanique étanche



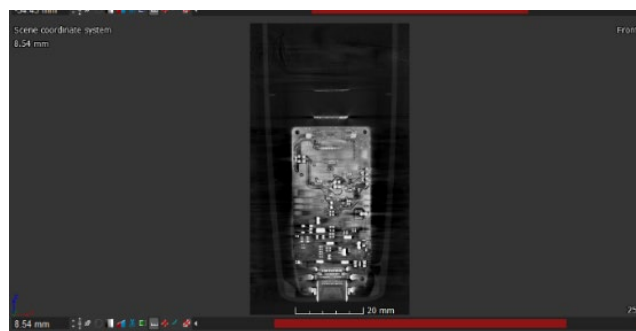
Revêtement de la carte électronique

La carte électronique de la batterie d'ANAFI USA est recouverte d'une fine couche d'uréthane qui, protégeant les composants des influences atmosphériques et de la corrosion, augmente leur durée de vie et la sécurité de leur fonctionnement.

Qualité

- Parrot est certifié ISO9001.
- Les batteries Parrot sont certifiées CE et FCC.
- Contrôle Qualité : Parrot a mis en place un contrôle qualité renforcé de la production des batteries (audit fournisseur, contrôles IQC) et des bancs de test à chaque étape d'assemblage chez le fournisseur.
- Contrôle lors de la fabrication : Parrot effectue également des contrôles en usine. Toutes les batteries sont contrôlées sur banc, dès la production. Ce test consiste à vérifier les paramètres principaux : tension, courant, impédance et les fonctions « *smart battery* » et « *wintering mode* ».
- Parrot réalise, par prélèvement, des contrôles rayons X et tomographie, pour vérifier la qualité des cellules (pliages, assemblage et connectique).

Fig. 15 : Image rayon X de la batterie ANAFI USA



- Contrôle en stockage : l'état des batteries (niveau de charge) stockées par Parrot est contrôlé tous les 4 mois.
- "*Firmware update*" : le micrologiciel des batteries est mis-à-jour « over the air » pour leur permettre de disposer des plus récentes améliorations et corrections de bugs.
- Le "*wintering mode*" évite la dégradation de la batterie et réduit considérablement les risques d'accident en stockage.
- Freeflight 6.7 informe l'utilisateur en cas de défaut.

Contrôle et modes de vol

Caractéristiques clés

Le contrôleur de vol d'ANAFI USA permet un pilotage facile et intuitif : aucune formation n'est nécessaire pour piloter ce drone. Il permet l'automatisation de nombreux modes de vol [Flight Plan (plans de vol), Follow Me (suivi du pilote), Cameraman (suivi de véhicule ou de sujet), Hand Launch (décollage à la main), Smart RTH (retour au point de décollage intelligent), etc.].

Le contrôleur de vol

Composants :

Le contrôleur de vol d'ANAFI USA tourne sur le processeur Ambarella H22. Il est équipé d'une centrale inertielle (IMU) Invensense MPU-6000, d'un magnétomètre ST Microelectronics LPS22HB, d'un GPS U-BLOX UBX-M8030, d'un ultrasonar, d'un baromètre et d'une caméra verticale. Le logiciel de vol Parrot fusionne les données de tous les capteurs pour estimer l'attitude, l'altitude, la position et la vitesse d'ANAFI USA.

Performances capteurs

IMU: Invensense MPU-6000

Gyroscope 3 axes

- Plage de mesure : ± 2000 °/s
- Résolution : 0,03 °/s
- Biais/exactitude : ± 7 °/s - après compensation
- Stabilisation en températures : 50°C

Accéléromètre 3 axes

- Plage de mesure : $\pm 16g$
- Résolution : 0,2 mg
- Biais/exactitude : $\pm 15mg$ (X-Y) $\pm 67mg$ (Z) - après compensation
- Calibration thermique et stabilisation en température : 50°C à +/- 0.1°C
- Fréquence de mesure : 1KHz

Magnétomètre ST Microelectronics LIS2MDL

- Plage de mesure : ± 50 gauss
- Résolution : 0,002 gauss

Baromètre - ST Microelectronics LPS22HB

- Plage de mesure : 260-1260 hPa
- Résolution : 0,0002 hPa
- Biais/exactitude : $\pm 0,1$ hPa
- Fréquence de mesure : 75 Hz
- Bruit de mesure : 20 cm RMS

GPS : U-BLOX UBX-M8030

- Sensibilité : *cold start* = -148 dBm / *tracking & navigation* = -167 dBm
- Première synchronisation (*Time-To-First-Fix*) : 35 secondes
- Position : écart-type 1,2 m
- Vitesse : écart-type 0,5 m/s
- Les constellations GPS, Glonass et Galileo sont activées*

* Beidou est désactivé.

Ultrasonar (mesure de la hauteur)

- Fréquence son : 40 KHz
- Fréquence de mesure : 17 Hz
- Portée max sur béton : 5 m
- Portée max sur herbe : 2 m

Caméra verticale (mesure vitesse horizontale et hauteur par flux optique)

- Capteur : MX388
- Résolution : 640x480
- Capteur à obturateur global
- Noir et blanc
- Champ de vision : 53,7°
- Champ de vision vertical : 41,5°
- Ouverture : f:2.8
- Flux optique à 60 Hz pour la mesure de la vitesse sol
- Calcul de points d'intérêt à 15 Hz pour vol stationnaire et atterrissage précis
- Estimation de vitesse : 160x120 pixels - 60 fps
- Vol stationnaire précis : 160x120 pixels - 15 fps

Revêtement de la carte électronique

La carte électronique est recouverte d'une fine couche d'uréthane qui, protégeant les composants des influences atmosphériques et de la corrosion, augmente leur durée de vie et la sécurité de leur fonctionnement.

Algorithme d'estimation

Cet algorithme estime les états du drone par un filtre de Kalman étendu qui fusionne les données des capteurs.

Les états estimés sont les suivants :

- vitesse sur 3 axes (x, y, z)
- attitude ($\Phi\Theta\Psi$: roulis, tangage, lacet)
- biais accéléromètres (x, y, z)
- biais du gyroscope
- biais du baromètre
- position x, y, z dans le repère *North-East-Down* (NED - Nord-Est-Bas)
- vent sur x, y dans le repère NED

Le biais du magnétomètre en x, y et z est estimé par fusion des données du gyroscope et du magnétomètre.

La distance sol est estimée par fusion des mesures de l'ultrasonar et du flux optique issu de la caméra verticale, que l'on combine avec la vitesse verticale déterminée par le filtre de Kalman.

Le facteur de correction du modèle de poussée est calculé à partir de l'erreur entre l'accélération prédite par l'équation de la dynamique sur l'axe z du drone et la mesure de l'accéléromètre. Ce facteur permet de calculer la commande d'équilibre du drone afin de compenser son poids.

Boucle de contrôle

La boucle de contrôle (200 Hz) détermine les consignes appliquées aux moteurs. Ces consignes s'appuient sur la commande en altitude, le contrôle en position, la commande en attitude et le mixage des commandes.

Commande Altitude

- Génération de trajectoire et de *feedforward*(précompensation) par modèle idéal : permet de dissocier les dynamiques de trajectoires du rejet de perturbation et réduit l'erreur de contrôle en altitude.
- Contrôle de l'altitude de type PID.

Boucle de contrôle en position

- Génération de trajectoire et de *feedforward*(précompensation) par modèle idéal : permet de dissocier les dynamiques de trajectoires du rejet de perturbation et réduit l'erreur de contrôle en position.
- Contrôle de la position de type PID.
- Compensation du vent.

Commande en Attitude

- Génération de trajectoire et de *feedforward*(précompensation) par modèle idéal : permet de dissocier les dynamiques de trajectoires du rejet de perturbation et réduit l'erreur de contrôle en attitude
- Contrôle de l'attitude en quaternion de type PID
- Compensation des couples aérodynamiques et des perturbations extérieures estimés en temps réel

Mixage des commandes

Le mixage des commandes d'altitude et d'attitude permet de déduire les consignes des moteurs et de gérer les saturations des moteurs.

- Les commandes sont priorisées dans l'ordre suivant :
 - *Feedforward*(précompensation) en altitude
 - Roulis
 - Tangage
 - *Feedforward*(précompensation) en altitude, en fonction du roulis et du tangage
 - Lacet
 - Altitude

Mode de Vol

Point fixe précis

En point fixe, la caméra verticale du drone capture une photo de référence. Celle-ci est comparée aux photos successives prises à 15 Hz. L'algorithme détermine ensuite le déplacement de la caméra qui minimise l'erreur de reprojexion entre la photo de référence et la nouvelle photo. Ce déplacement sert d'entrée pour recalculer l'estimation de position de l'autopilote.

Le drone est stable dans une sphère de 1,5 cm de rayon à 1 m d'altitude.

L'algorithme permet également de stabiliser le lacet du drone, accroissant la performance de stabilisation de l'image.

Return Home (RTH) Précis

La caméra verticale prend une photo de référence à la fin du décollage. Lorsque le drone atterrit ou arrive au-dessus de la cible en RTH, l'algo prend une nouvelle photo et détermine le déplacement par rapport à la photo de référence. Il mesure ensuite l'erreur de reprojexion entre les deux photos qui servira de consigne en position X et Y.

Smart RTH

Le drone calcule la quantité d'énergie nécessaire pour rentrer, fonction de la distance et de la force du vent, et la compare à l'énergie restante dans la batterie. Lorsqu'il n'y a plus une marge suffisante, un RTH automatique est enclenché. L'utilisateur peut l'annuler.

Décollage automatique

Le drone se stabilise à 1 m du sol en point fixe. Il utilise le GPS et la caméra verticale pour tenir le point fixe en présence de vent fort.

Décollage à la main

Le drone démarre les moteurs à régime minimal, et attend de détecter le lancement. Il se stabilise ensuite à l'altitude de lancer.

Vol à basse altitude

Le drone vole à 50 cm d'altitude sans subir d'effet de sol

Atterrissage automatique

Quelle que soit l'altitude du drone, lorsque la quantité d'énergie restante dans la batterie est proche de l'énergie nécessaire pour se poser (calculée en fonction de l'altitude), l'atterrissage d'urgence se déclenche. L'utilisateur peut toujours piloter le drone, mais l'atterrissage n'est pas annulable.

Modes de pilotage

Manuel :

Le Skycontroller 3 permet de piloter le drone selon 4 modes :

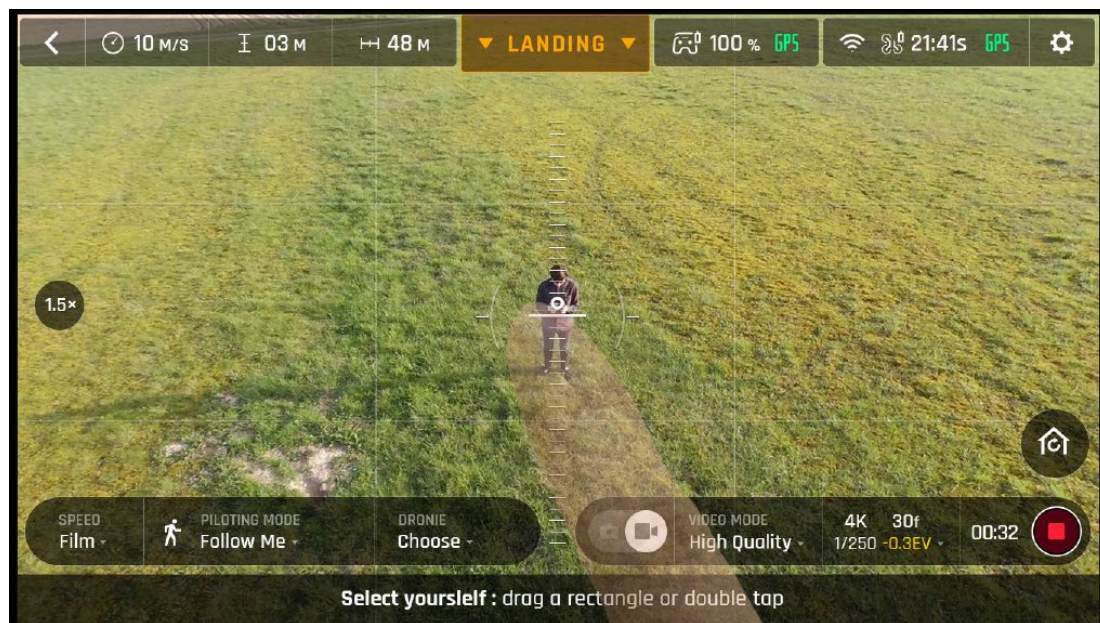
| | Manette gauche | Manette droite |
|--------|--------------------------|--------------------------|
| Mode 1 | Elévation et rotation | Direction |
| Mode 2 | Direction | Elévation et rotation |
| Mode 3 | Accélération et rotation | Elévation et rotation |
| Mode 4 | Elévation et rotation | Accélération et rotation |

Automatiques

Follow Me

L'utilisateur se sélectionne sur l'écran (touche et glisse ou double touche). ANAFI USA poursuit l'utilisateur, d'une distance comprise entre 10 et 30 mètres, selon trois modes de suivi (Track : le drone se positionne derrière le sujet et le poursuit ; Locked : le drone maintient sa position relative vis-à-vis du sujet ; Dynamic : le drone adapte sa course à la trajectoire du sujet et le contourne lorsqu'il change radicalement de direction).

Fig. 19 : Capture d'écran Follow Me



Le mode Follow Me combine un algorithme de « suivi visuel » et un algorithme de « suivi GPS et baromètre ».

Le suivi visuel consiste à fusionner :

- un modèle de mouvement de la position de la cible en fonction de la position du drone ;
- un algorithme de suivi visuel (flux optique et apprentissage en ligne à base de SVM) ;
- un algorithme de segmentation de la cible.

L'algorithme SVM initie le suivi avec une seule image et poursuit son apprentissage de la cible dans le temps. Il est capable de suivre les changements de silhouette de la cible (par exemple, pour un véhicule en mouvement : vue de profil, puis vue de derrière).

Un autre algorithme, particulièrement robuste, s'appuie sur un réseau de neurones MultiBox (de type convolutionnel léger) : il identifie des objets dans la scène et les reconnaît quelle que soit leur silhouette. Il est particulièrement adapté à un fonctionnement sur terminal mobile.

Le réseau détecte les véhicules et les personnes :

- hauteur de cible > 1/3 de l'image, taux de détection : 100 %
- hauteur de cible > 1/8 de l'image, taux de détection : 66 %
- hauteur de cible > 1/15 de l'image, taux de détection : 50 %

Un filtre de Kalman réalise la fusion des données issues du GPS et du baromètre, d'une part, et de la vision, d'autre part.

Cameraman

L'utilisateur sélectionne sa cible (véhicule, bâtiment, personne) sur l'écran (touche et glisse ou double touche). Le pilote contrôle ANAFI USA et la caméra du drone conserve la cible dans le cadre.

L'algorithme visuel mis en œuvre est le même que celui du mode Follow Me. Il s'adapte en permanence à l'évolution d'aspect et de direction de la cible.

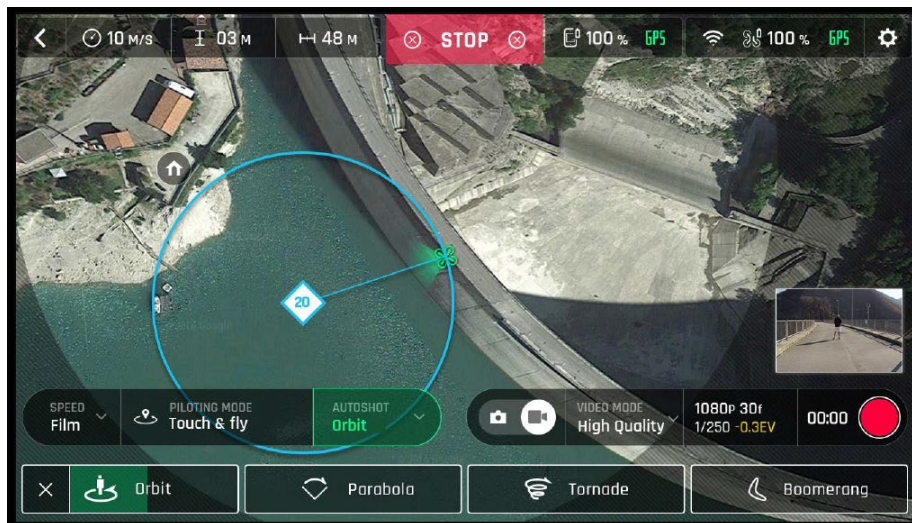
L'utilisateur se concentre sur le vol, la caméra adapte automatiquement son cadre (tangage et lacet) pour conserver la cible dans son cadre.

Touch & Fly

Depuis la carte, ce mode de vol permet de donner une destination au drone par simple désignation à l'écran.

Les coordonnées GPS du point sélectionné sont transmises au drone.

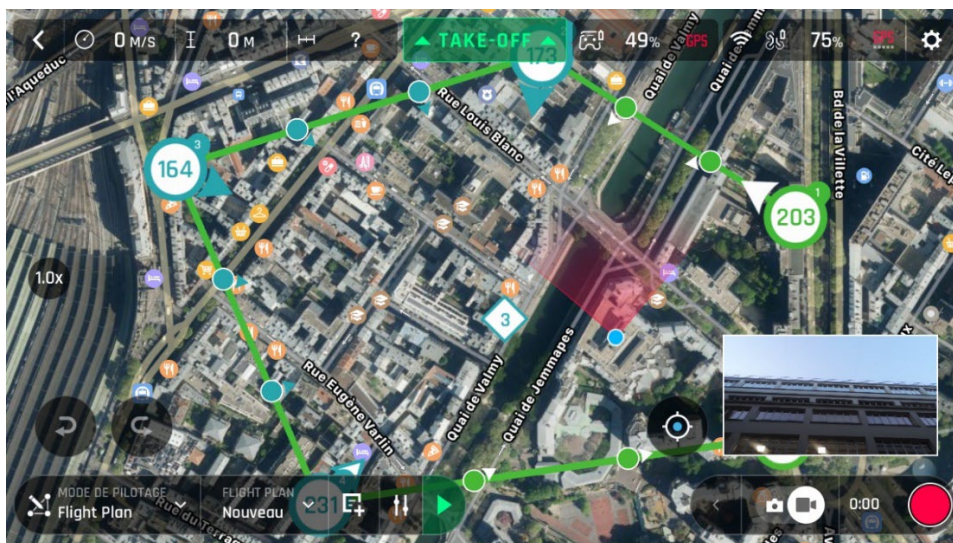
Fig. 20: Capture d'écran Touch & Fly



Flight Plan

L'utilisateur prépare sa mission hors ligne sur l'écran de son terminal mobile en sélectionnant les points de passage (WP ou Waypoints) et l'altitude du drone, ainsi que l'axe de la caméra. Parrot a simplifié l'ergonomie de la préparation de mission, opération généralement complexe pour l'utilisateur. Le plan de vol peut être édité, modifié et rejoué autant de fois que nécessaire. Le vol en Flight Plan est possible sans connexion radio.

Fig. 21: Capture d'écran Flight Plan



Plans automatiques

FreeFlight 6.7 propose une série de prises de vue automatisées (360, Reveal, Spiral, Epic). A la demande de ses clients, Parrot peut développer des séquences de vol automatisées spécifiques.

FreeFlight 6.7

Caractéristiques clés

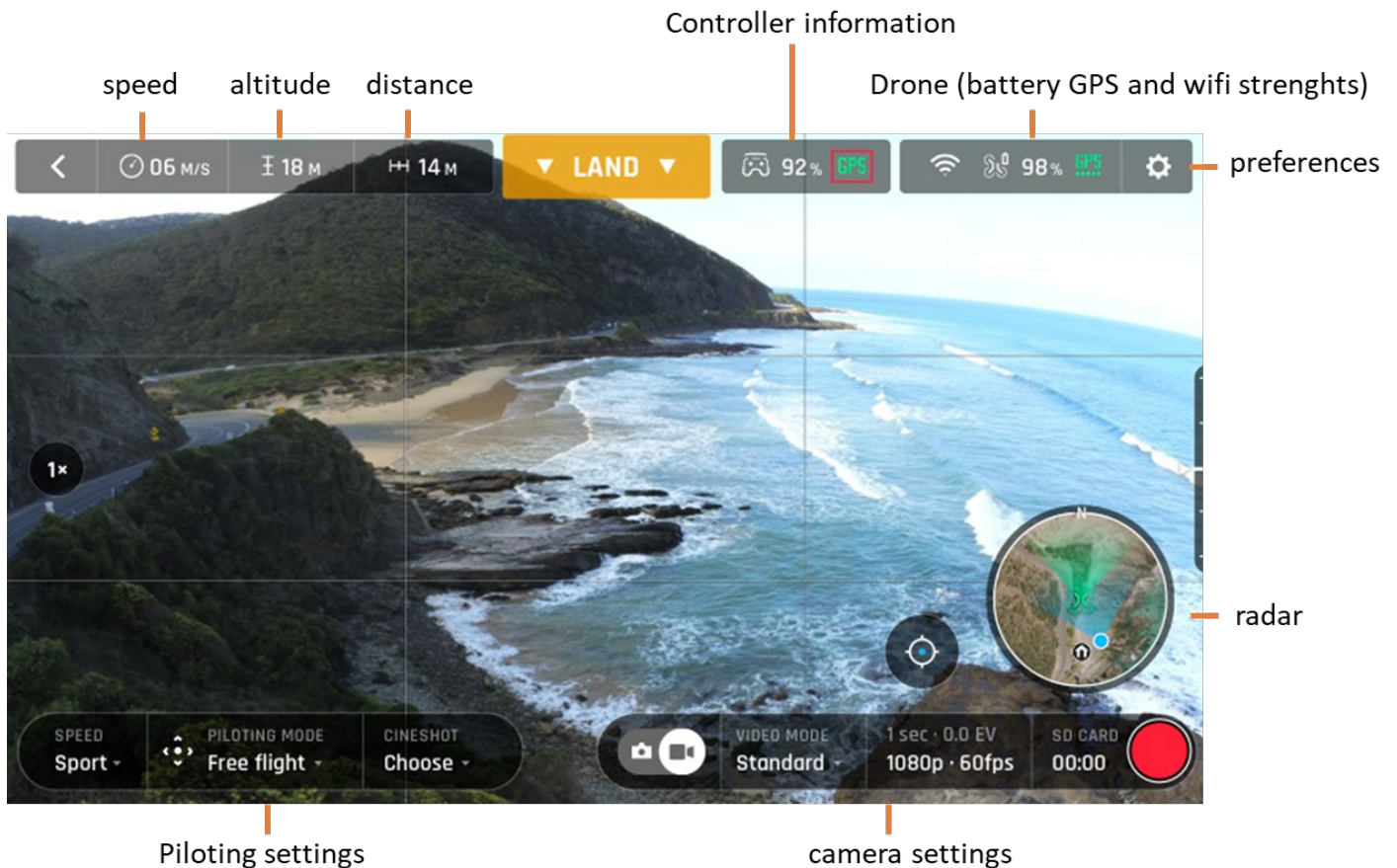
- L'application FreeFlight 6.7 permet de piloter et paramétrer le drone, la vidéo et les photos depuis un smartphone ou une tablette.
- ANAFI USA est prêt au décollage en 55 secondes, un record pour un drone de sa catégorie.

Ecran HUD (*Head-up display* ou viseur tête haute)

L'interface de FreeFlight 6 est particulièrement ergonomique : l'écran regroupe les commandes de pilotage, l'accès aux réglages et l'ensemble des informations de vol :

- Altitude
- Distance
- GPS
- Niveau batterie du drone
- Niveau batterie du contrôleur
- Radar

Fig. 22 : Interface FreeFlight 6.7

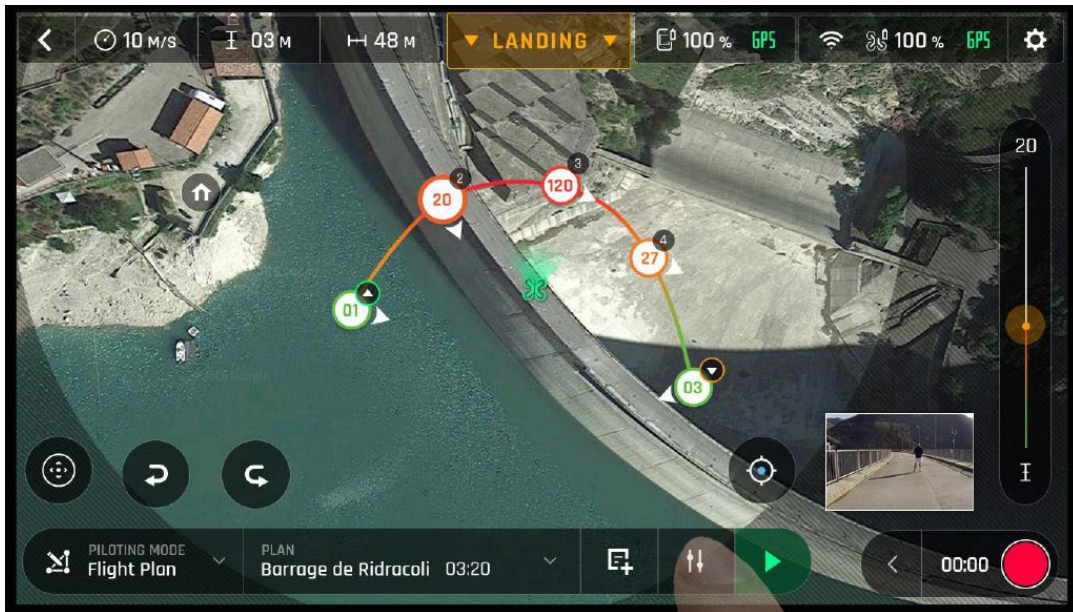


Ecran Flight Plan

Chaque plan de vol est constitué d'une succession de points de passage (WP ou *Waypoints*).

L'altitude et la vitesse du drone ainsi que l'orientation de sa caméra sont paramétrables pour chaque WP et entre chaque WP. La caméra peut être orientée vers un point d'intérêt (POI ou *Point of interest*) pour n'importe quel(s) WP.

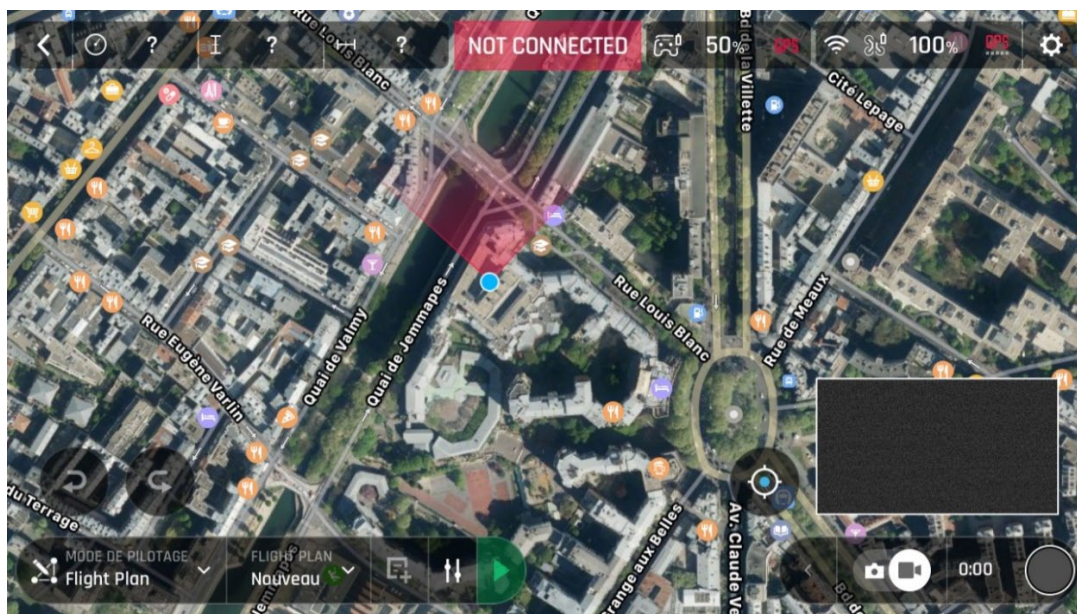
Fig. 23 : Capture d'écran Flight Plan



Fond de carte

Les cartographies disponibles : Apple (iOS) et Android

Fig. 16 : Cartographie iOS



Visualisation des vidéos et photos

La récupération des médias est possible directement en connectant ANAFI USA par câble USB à un ordinateur, sans extraire la carte microSD. Le téléchargement des médias est également possible directement depuis la galerie de FreeFlight 6.7, vers un terminal mobile : lorsque l'application est connectée au drone, elle a accès aux médias de la carte SD du drone.

Mise à jour automatique du logiciel

Les mise à jour de l'application FreeFlight 6.7 peuvent également comporter, selon les cas :

- une mise à jour du drone ANAFI USA
- une mise à jour du contrôleur Skycontroller 3
- une mise à jour des batteries intelligentes d'ANAFI USA

GSDK

Le SDK (*Software development kit* ou kit de développement logiciel) d'ANAFI USA est disponible publiquement. Il comprend les éléments suivants.

GroundSDK : Disponible pour iOS (Swift et Objective C) et Android (JAVA)

Le framework GroundSDK permet à l'utilisateur de développer ses propres applications mobiles pour piloter et récupérer le flux vidéo d'ANAFI USA. GoundSDK et toutes les bibliothèques qui le composent sont disponibles en code source prêt à compiler, ainsi que dans des versions CocoaPods pour iOS et ARR pour Android.

Le code est publié sous licence BSD-3 et il est accompagné d'un guide d'installation, de la documentation des API, ainsi que d'une application de démonstration.

PDrAW: Disponible sur les systèmes Unix (Linux and macOS)

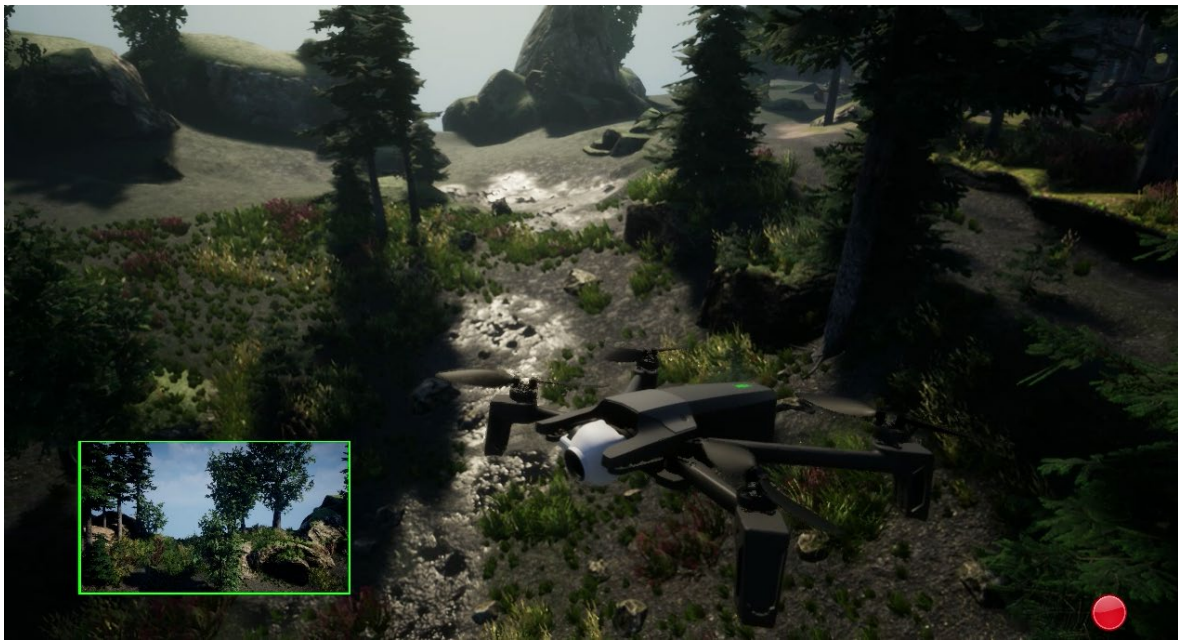
PDrAW et ses dépendances sont un ensemble de bibliothèques logicielles et d'outils qui permettent à l'utilisateur d'exploiter les flux vidéo live (RTP) et enregistrés (MP4).

PDrAW est utilisé par GroundSDK sur Android et iOS et il est utilisable indépendamment sur environnement Linux et macOS.

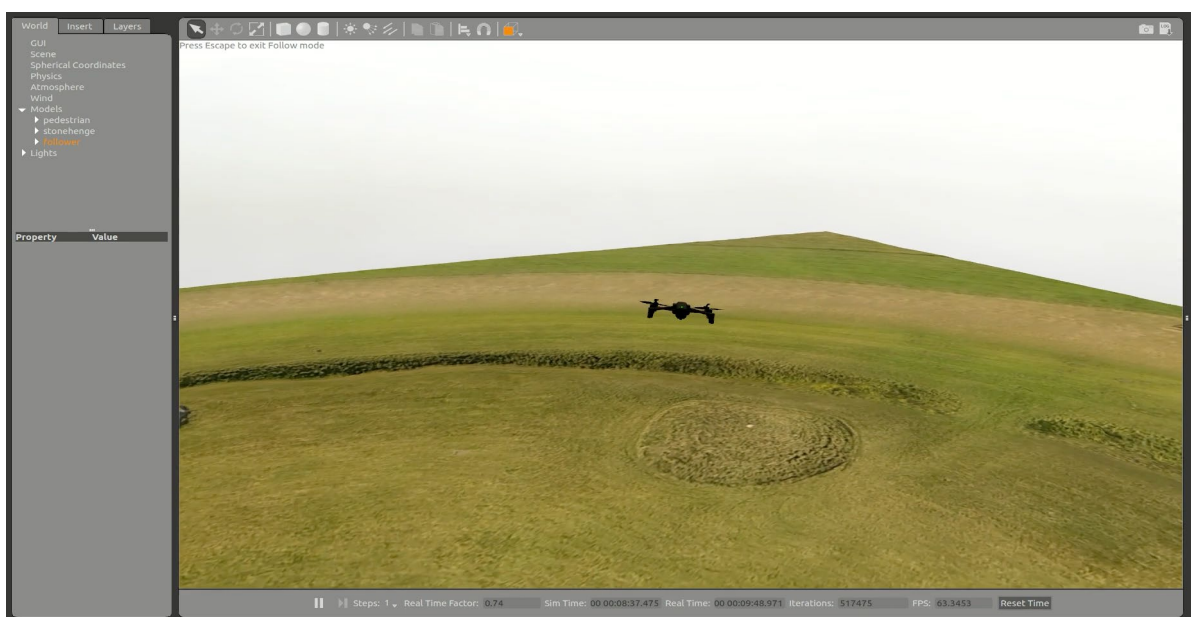
PDrAW et ses dépendances sont disponibles en code source. Le code est publié sous licence BSD-3, accompagné d'un guide d'installation et de la documentation des API.

Simulateur Sphinx

Ce simulateur de type « Software-in-the-loop » permet de faire évoluer ANAFI USA en 3D temps réel. Sphinx repose sur le framework de simulation robotique open source Gazebo.

Fig. 17 : Rendu du simulateur Sphinx

Le firmware d'ANAFI USA, simulé sur l'équipement émulé (caméra, capteurs et actuateurs), est identique à celui embarqué dans un ANAFI USA réel. Le simulateur permet notamment le test automatisé (*headless*) et l'altération d'un périphérique hardware en temps réel.

Fig. 18 : Capture d'écran du simulateur Sphinx

Compatibilité avec MAVLink

ANAFI USA est compatible avec le protocole open source MAVLink v1, qui permet l'échange en temps réel de données entre le drone et une station de contrôle. ANAFI USA peut ainsi être piloté manuellement ou en plan de vol automatique depuis n'importe quelle station de base compatible MAVLink – comme QGroundControl.

Fig. 19 : Protocole MAVLink

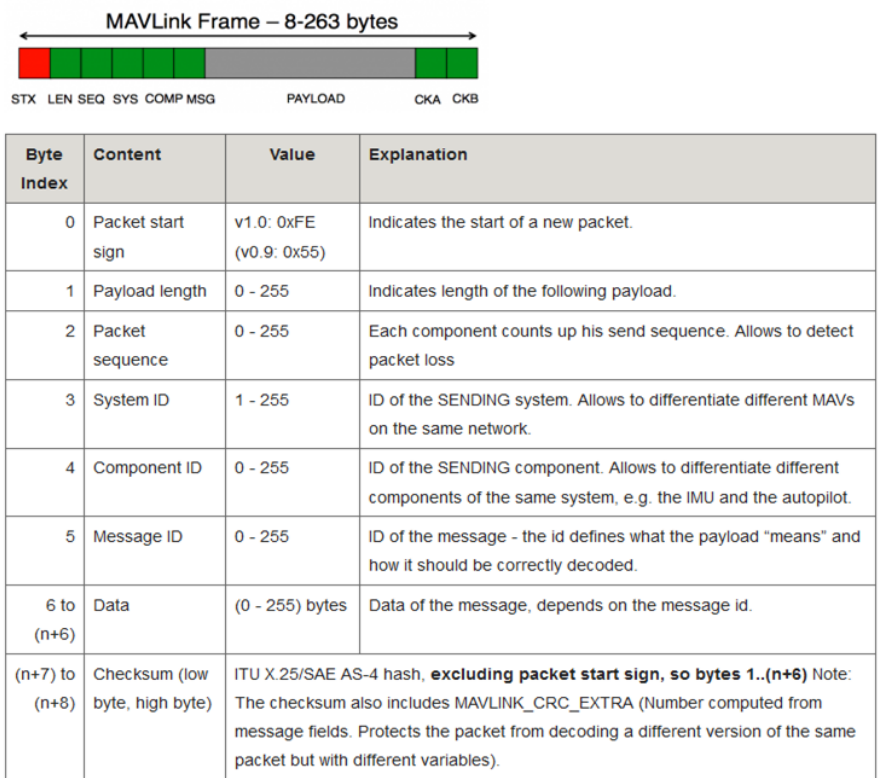
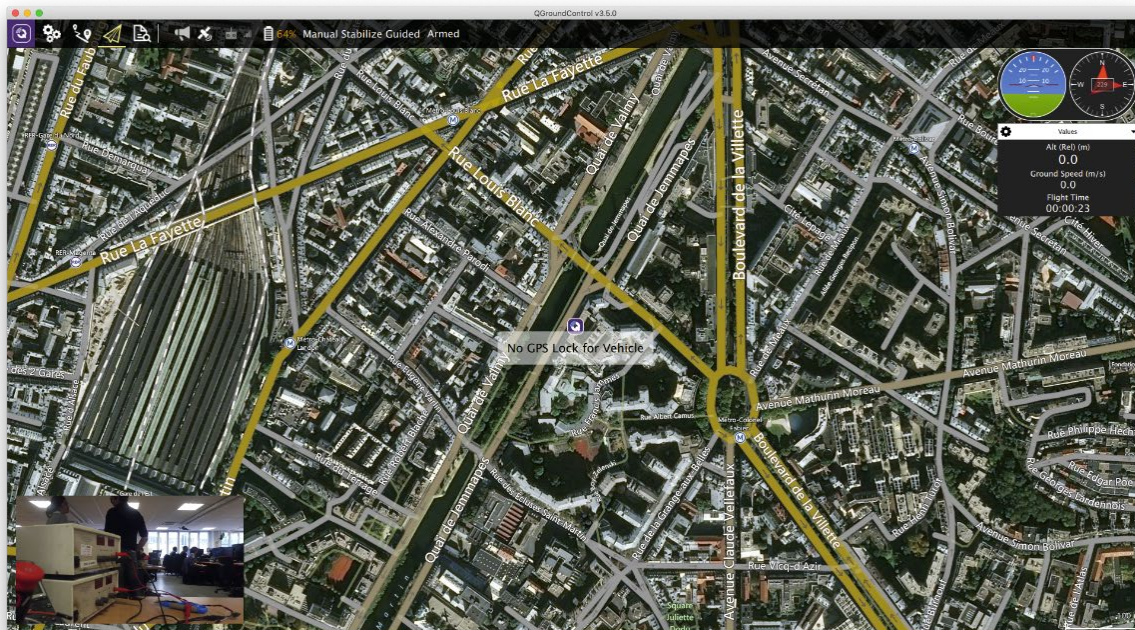


Fig. 20 : Interface QGroundControl pour le pilotage d'ANAFI USA



Outils Compatibles avec ANAFI USA

ANAFI USA est compatible avec les outils suivants.

Pix4Dreact

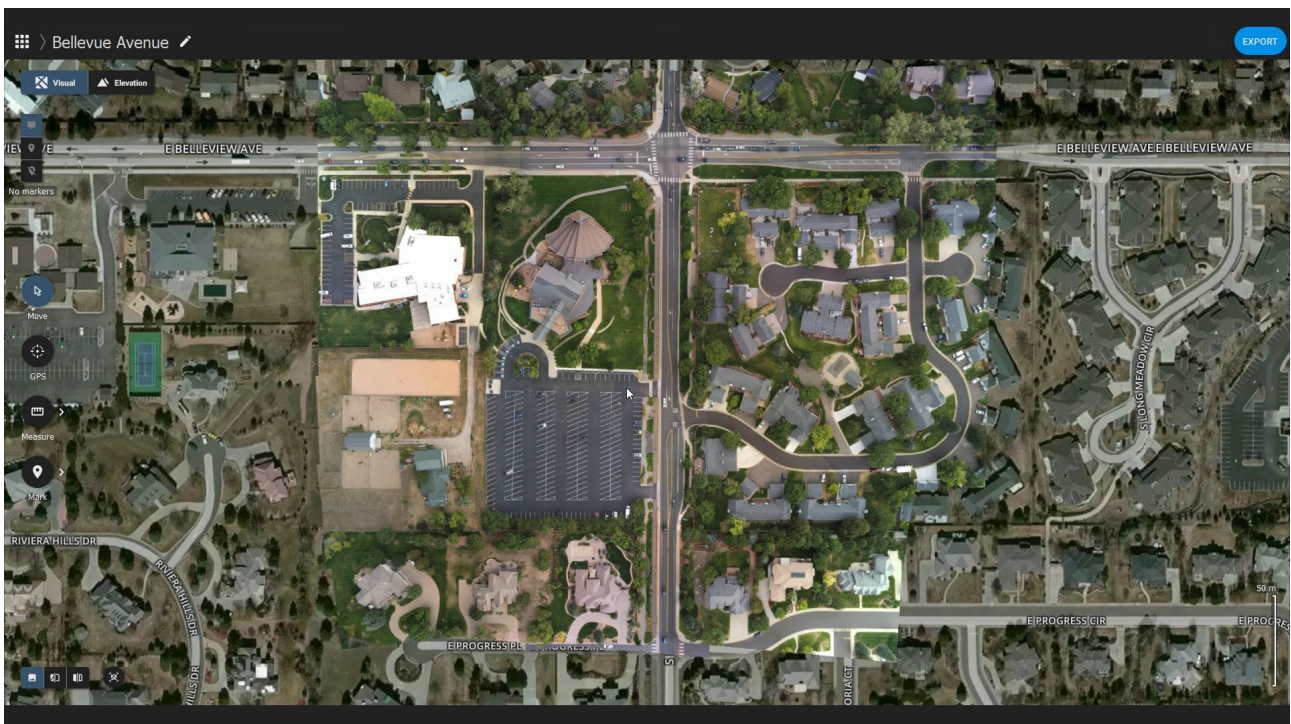


Caractéristiques clés

- Pix4Dreact permet de générer des cartes 2D à jour, fiables et en haute résolution, pour les situations d'urgence, à partir d'images prises par ANAFI USA.
- La carte 2D est générée sur un ordinateur portable en quelques minutes.
- Aucune connexion internet n'est requise.

Pix4Dcapture génère le plan de vol automatique qui permet à l'ANAFI USA de réaliser automatiquement les prises de vues nécessaires à la construction de la carte. Les images transmises sur un PC sont ensuite traitées automatiquement pour la génération de la carte. Une fois la carte 2D générée, l'utilisateur peut positionner des marqueurs et exporter les points d'intérêt. Pix4Dreact permet en outre de mesurer les distances et les zones pour une planification tactique précise de la mission.

Fig. 21 : Exemple de carte en 2D générée par Pix4Dreact



Kittyhawk



Kittyhawk est un système complet de gestion de flottes, de pilotes et de missions, avec gestion de l'espace aérien et flux vidéo live sécurisé.

Survae



Survae est un système de visualisation de médias (photos, vidéo, 360, time lapse) qui permet de générer des cartes interactives et dynamiques dans le temps.

Planck Aerosystems



Planck Aerosystems considère que les technologies robotiques autonomes apportent des atouts révolutionnaires à un grand nombre de secteurs. Planck concentre son activité sur la diffusion des atouts des technologies drone vers de nouvelles activités et de nouveaux marchés, en rendant les drones plus simples, plus sûrs et plus intelligents.

DroneSense



DroneSense propose une solution complète qui permet aux organisations de sécurité publique de concevoir, gérer et dimensionner leur programme drone.

DroneLogbook



Gestion des données et analyses de vols : DroneLogbook propose une bibliothèque digitale comprenant notamment des checklists paramétrables et des formulaires d'évaluation des risques.

Hoverseen



Hoverseen est spécialisée dans la mise en œuvre de solutions automatisées de surveillance par drones.